

**Dr. Oláh Ferenc - Dr. Rózsa Gábor**

**VILLAMOSENERGIA-ELLÁTÁS**



**Dr. Oláh Ferenc – Dr. Rózsa Gábor**

# **VILLAMOSENERGIA- ELLÁTÁS**



UNIVERSITAS-GYŐR Nonprofit Kft. ♦ Győr, 2009



**SZÉCHENYI ISTVÁN EGYETEM  
GYŐR**

**Írta: Dr. Oláh Ferenc – Dr. Rózsa Gábor**

**Lektorálta: Dr. Hodossy László**

ISBN: 978-963-9819-47-4

© UNIVERSITAS-GYŐR Nonprofit Kft., 2009

Minden jog fenntartva, beleértve a sokszorosítás, a mű bővített, illetve rövidített változata kiadásának jogát is. A kiadó írásbeli hozzájárulása nélkül sem a teljes mű, sem annak része semmiféle formában nem sokszorosítható.

Kiadja az UNIVERSITAS-GYŐR Nonprofit Kft. Felelős kiadó: a Kft. mindenkori ügyvezetője; Műszaki szerkesztő: Nagy Zoltán  
Készült a Palatia Nyomda és Kiadó Kft. nyomdájában. Felelős vezető Radek József

## Előszó

**Ez a jegyzet a Széchenyi István Egyetem, automatizálási szakirányon tanuló hallgatói számára készült. A jegyzet tartalma – helyhiány miatt - nem fedi át a témakör teljes tananyagát. Itt csak az alapokkal foglalkozunk. A teljes ismeretanyag megszerzéséhez az előadások látogatása ajánlott. A jegyzetben átfogóan ismertetjük a különböző létesítmények villamos energia ellátását. A jegyzet tartalma elegendő e területen az alapok megszerzéséhez olyan szinten, amelyre felépíthető a témakör bővebb ismerete.**

## 1. Fejezet

### Bevezetés

Rendelkezésre áll néhány korlátozott mértékű statisztika a szolgáltatott energia minőségéről, de az energiaszolgáltató (és az ipari szakmai felügyelet) által elfogadhatónak értékelt minőségi szint nagyon különbözhet a szükségestől, vagy a fogyasztó elvárásától. Legnyilvánvalóbb energiaszolgáltatási hibák a teljes feszültség-kimaradások (amelyek néhány másodperctől kezdve akár több órán át, tarthatnak), illetve a feszültségletörések, amikor egy rövid időre lecsökken a feszültség. A hosszú feszültség-kimaradások természetesen gondot jelentenek valamennyi fogyasztó számára, de igen sok technológiai művelet nagyon érzékeny még az igen rövid kimaradásokra is.

Ilyenek: folyamatos technológiák, többfokozatú egymásra épülő műveletek, adatfeldolgozás.

Mit értünk tehát a villamos energia minőségén? A tökéletes energiaellátás olyan lenne, amely folyamatosan rendelkezésre áll, a feszültség és frekvencia mindig a tűrési sávon belül van, a hullámalak tökéletesen szinuszos. A felhasználói alkalmazás jellegétől, a berendezésektől és a felhasználó igényétől függ, hogy a tökéleteshez képest mekkora elérés fogadható el.

A villamos energia minőségi hiányosságai – a tökéletestől való eltérések – öt fő csoportba sorolhatók:

Harmonikus torzítás

Feszültségkimaradások

Feszültségingadozás

Feszültségletörések és emelkedések

Tranziensek

Valamennyi felsorolt villamosenergia-minőségi problémának különböző oka van. Néhány probléma oka a közösen használt infrastruktúra. Például egy hálózati hiba feszültségletörést okozhat, amely néhány fogyasztót érint és minél nagyobb mértékű a hiba, annál nagyobb az érintett fogyasztók száma, vagy egy fogyasztói hiba tranziens okozhat, amely az ugyanabban az alrendszerben lévő összes fogyasztóra kihatással van. Egyéb zavarok, mint például a harmonikusok a fogyasztók saját berendezéseiben keletkeznek és lehet, hogy a hálózaton tovább terjednek és ezzel más fogyasztókra is hatnak. A harmonikus problémák a jó tervezési gyakorlat és a bevált szűrőberendezések együttes alkalmazásával kezelhetők.

Számos műszaki megoldás létezik az ellátás minőségi problémáinak kiküszöbölésére vagy csökkentésére, ez a tevékenység az innováció és a műszaki fejlesztés dinamikusan fejlődő területe.

A rövid feszültség-kimaradások és- letörések kérdése rávilágít a szolgáltató és a fogyasztó lehetőségei közötti különbségre. Vannak úgynevezett rövid idejű események, amelyek előfordulását – hacsak nem alkalmaznak egy állandó megfigyelő rendszert – nehéz bizonyítani. Még nehezebb üzleti veszteséget hozzárendelni egy bizonyos eseményhez. A villamosenergia-szolgáltató ipar egy kimaradást a nem szolgáltatott villamos energia költségének értékével fejez ki, míg a fogyasztó a

termelési szünet miatti bevételekiesésként értékeli. A villamos energia viszonylag olcsó és a kimaradás ideje viszonylag rövid, míg a termelési veszteség nagyon nagy lehet (mint a félvezetők estében) és az újraindításhoz szükséges állásidő nagyon hosszú (mint a papírgyártó iparban). A két fél álláspontja ezért teljesen különböző a feszültségletörések és a csökkentésükre szolgáló berendezések igazolható befektetési költségeit illetően.

A hosszabb kimaradásokról (feszültségkiesések) általában azt hiszik, hogy a szolgáltató okozza, de okozhatják a felhasználási helyen levő berendezések, vezetékek és csatlakozások hibái is. A rugalmas megoldásokat alkalmazó, körültekintő tervezés minimálisra csökkentheti a helyi berendezések, vezetékek és alkatrészek meghibásodásainak hatását. A feladat a hibalehetőségek felismerése és kiküszöbölése tartalék berendezéssel (redundancia beépítése), vagy alternatív ellátási út biztosításával, hogy a termelést egy-egyszeri meghibásodás esetén akár folytatni is lehessen. Az ily módon tervezett rendszereket könnyebb karbantartani és ennek eredményeként jobban üzemeltethetők. Fontos, hogy a karbantartási eljárásokat a körültekintő, rugalmas tervezés részeként kellő időben fejlesszék ki. A tartalék ellátás és a szünetmentes (UPS) rendszerek, amelyek a rövid és hosszabb idejű feszültségkimaradások pótlására szolgálnak, a rugalmas rendszer alapvető elemei.

Amíg a feszültségletörések és –kimaradások többsége az átviteli és elosztó rendszerekből származik és a szolgáltató felelőssége, addig a harmonikus torzítást majdnem mindig a fogyasztók okozzák. A harmonikus áramok – amelyek a berendezésekben problémákat okoznak – a táphálózat impedanciáján záródva, a csatlakozási ponton harmonikus feszültségeseést hoznak létre. Ez a feszültségtorzulás – vagy legalábbis néhány harmonikus komponense – szétterjed a rendszerben és fázishelyesen összegződik ez a fogyasztó nélkül is jelen lévő (például a transzformátorok nemlinearitása miatti) harmonikus feszültségtorzulással. A fogyasztók által termelt harmonikus áramok szintjének korlátozásával a hálózaton lévő feszültségtorzulás egy elfogadható szint alatt tartható.

A tranziens zavarok nagyfrekvenciás események, amelyek időtartama sokkal rövidebb, mint egy hálózati periódus. A lehetséges okok közé tartoznak a kapcsolási jelenségekből, vagy villámcsapásból származó lökőhullámok a hálózaton, valamint az induktív vagy kapacitív terhelések kapcsolása a fogyasztónál, vagy az ugyanazon áramkörhöz tartozó többi fogyasztónál. A tranziensek nagysága több ezer volt lehet, és így komoly károsodást okozhatnak a fogyasztói hálózaton és a hozzá csatlakozó berendezésekben. Az energiaszolgáltatók és a távközlési társaságok nagy gondot fordítanak annak biztosítására, hogy a káros tranziensek ne juthassanak be a fogyasztói berendezésekbe.

Viszonylag egyszerű meghatározni egy berendezés bizonyos részének viselkedését feszültségletörés esetén, magának a feszültségletörésnek az előfordulási valószínűségét az energiaellátó rendszer egy adott helyen meghatározni sokkal nehezebb, mivel időről időre változni fog egy új fogyasztó belépésével vagy egy készülék cseréjével. Rendkívül nehéz bármilyen értékelhető adatot összegyűjteni a berendezések nem szinuszos feszültséggel szembeni érzékenységéről, de még a

berendezés által keltett harmonikus áramokról is. Az igazi kérdés a fogyasztói berendezés és a táplálás összeférhetősége.

Néhány nemzetközi szabvány határértékeket ír elő a feszültség változására és a harmonikustorzításra, amelyeken belül a fogyasztói berendezéseknek hibátlanul kell működniük. Hasonlóképpen léteznek szabványos határértékek a táphálózat feszültségének változásaira és a harmonikus torzításra. Ideális esetben lennie kellene a két határérték között egy biztonsági sávnak, de mivel a táplálás minőségét nehéz folyamatosan mérni, a tápfeszültség határértékeit nem szigorú előírásként, hanem statisztikai mennyiségként írják elő. A megfelelő minőség jó tervezést, hatékony kompenzáló berendezéseket, a szolgáltatóval való együttműködést, gyakori ellenőrzést és megfelelő karbantartást igényel. Más szavakkal a kölcsönös összefüggések elismerésén alapuló (holisztikus) magközelítést, valamint a villamosenergia-minőség javítás alapelveinek és gyakorlatának megértését igényli.



## 2. fejezet

### Energiaellátás alapfogalmai

#### 2.1. Akkumulátor

Tölthető áramforrás. Töltése során a villamos energia kémiai energiává alakul, mely az áram kivételekor (kisütés) visszaalakul villamos energiává. Töltés közben az akkumulátor, mint fogyasztó, kisütés során, mint áramforrás működik az áramkörben. Az akkumulátor ipari méretekben nem alkalmas villamos energia tárolására.

#### 2.2. Alállomás

Villamos hálózati csomópont. Az azonos feszültségű hálózati elemeket kapcsolókészülékek (megszakítók, szakaszolók) segítségével köti össze. A különböző feszültségű hálózatokat a transzformátorok itt kapcsolják össze. Az alállomásokon mérik az egyes vezetékeken áramló teljesítményeket és a villamos energia egyéb jellemzőit. A rendszerirányító és a körzeti diszpécierszolgálatok ezeket a méréseket is felhasználják az energiarendszer üzemirányításában.

#### 2.3. Áram

A töltések (elektronok, ionok) rendezett irányú mozgása. Az áram zárt **áramkörben**, feszültségkülönbség hatására jön létre.

#### 2.4. Áramerősség

A vezető bármely keresztmetszetén áthaladó töltésmennyiség és az idő hányadosa. Mértékegysége az Amper (A).

#### 2.5. Áramforrás

Olyan berendezés, amely valamilyen energiát elektromos energiává képes átalakítani, pl.:

mechanikai energiát – generátor, dinamó  
vegyi energiát – galvánelem, akkumulátor  
hőenergiát – termoelem  
fényenergiát – fényelem

#### 2.6. Áramkör

Zárt áramút. A feszültséget létrehozó áramforrásból, fogyasztókból és az őket összekötő vezetékekből áll.

## 2.7. Áramszolgáltató

A fogyasztói igények közvetlen kiszolgálását biztosító szervezet. Az áramszolgáltatók a villamos energiát a nagykereskedőtől vásárolják és a végfelhasználók felé értékesítik.

## 2.8. Atomerőmű

Villamos energiát nukleáris energiából előállító erőmű.

Működési elvét tekintve hőerőmű, a gáz termelésére szolgáló hő nukleáris folyamat, maghasadás révén keletkezik. Az atomerőművek működésük során – szemben a hagyományos hőerőművekkel – lényegében nem bocsátanak ki a környezetre hatással lévő szennyező anyagot, ugyanakkor gondoskodni kell a kiégett, elhasznált nukleáris fűtőelemek és a működés közben radioaktívan szennyeződött hulladék anyagok elhelyezéséről.

## 2.9. Elektrofiter

Porleválasztó berendezés. Az erőművek füstgázaiból a porrészecskék elektrosztatikus úton történő leválasztására szolgál.

## Energia

Fizikai munkavégző képesség. A munka és az energia rokon fogalmak: az energia a munkavégzés lehetőségét, a munka a munkavégzésre fordított energia mennyiségét jelenti. Az energia a teljesítmény és az idő szorzata. A villamos-energetikában általánosan használt mértékegysége a kilowattóra (kWh).

## 2.10. Energiaátalakítás

Egy energiatípus más energiatípussá történő átalakítás.

Villamos energia a természetben közvetlenül felhasználható formában nem áll rendelkezésre, más energiatípusokból kell átalakítanunk. Az átalakítás legfőbb jellemzője a hatásfok, amely a folyamatban bevitt és onnan kinyert energia arányát jellemzi. A hatásfok annál magasabb, minél alacsonyabb a folyamat során a veszteség.

## 2.11. Energiafajta

A legfontosabb energiatípusok a kémiai energia, az atomenergia, a hőenergia, a helyzeti energia, a mechanikai energia, az elektromágneses tér energiája.

A hagyományos erőművekben, a tüzelőanyagban tárolt kémiai energiát kazánokban alakítják először hőenergiává (gőz), majd a gőzzel meghajtott turbina mechanikai energiáját a generátor alakítja villamos árammá. A vízerőművekben a víz helyzeti energiáját alakítják villamos energiává.

## 2.12. Energiaforrás

Villamos-energiatermelésre hagyományos és megújuló energiaforrásokat használunk. Főbb hagyományos tüzelőanyagok: szén, kőolaj, földgáz. Fontos energetikai célú energiaforrás még a nukleáris (hasadó) energia.

Ismertebb megújuló energiaforrások: szél, napenergia, geotermikus energia, stb.

## 2.13. Erőmű

Villamosenergia ipari méretben történő előállítására szolgáló létesítmény.

Az egyes erőműtípusokat a szerint különböztetjük meg, hogy milyen primer energiahordozó a villamos energia forrása, és milyen technológiával történik az energia-átalakítás. Ismertebb típusok: hőerőművek (szén- olaj-, gáztüzelésű, atomerőmű, gázturbinás erőművek), és megújuló energiaforrással működő erőművek.

## 2.14. Erőművek üzem módja

Az erőművek üzemeltetésének módja szerint megkülönböztetünk alaperőműveket, menetrendtartó erőműveket és csúcserőműveket. Az alaperőművek folyamatosan, nagy kihasználással üzemelnek, a villamosenergia-rendszer terhelésének állandó részét fedezik. Jellegzetes példája az alacsony üzemeltetési költségű atomerőmű. A menetrendtartó erőművek teljesítményük változtatásával követik a fogyasztói igények változtatását. Ezt a feladatot a magyar energia-rendszerben hagyományos hőerőművek látják el. A csúcserőművek szolgálnak a legmagasabb terhelésű időszakokban a csúcsterhelések fedezésére, rendszerint csak rövid időszakokra lépnek üzembe. Erre a célra alkalmasak például a gyorsan indítható gázturbinák.

## 2.15. Feszültség

A villamosság egyik alapmennyisége, mértékegysége a volt (V). Az energia rendszerekben magas – néhány százezer voltig terjedő – feszültséget alkalmaznak. A villamos-energia ellátásban leggyakrabban használt értékei: 0,4kV, 6kV, 10kV, 20kV, 35kV, 120kV, 220kV, 400kV, 750kV, hogy a nagy teljesítmények átviteléhez minél kisebb áramerősség legyen szükséges, és ezáltal kisebb legyen a szállítási veszteség.

## 2.16. Fogyasztó

Olyan berendezés, amely elektromos energiát más energiává alakít át, pl:

Mechanikai energiává – motor

Kémiai energiává – akkumulátor

Hőenergiává – fűtőberendezések, vasaló, stb.

Fényenergiává – izzólámpa, fénycső, stb.

A villamos-energetikában fogyasztónak nevezik a villamos-energiát vételező természetes vagy jogi személyt.

### **2.17. Forrástervezés**

A forrástervezés olyan rendszeres, célirányos tevékenység, mely biztosítja a villamos energia termelő berendezések és importforrások mindenkor elegendő, biztonságos, de ugyanakkor a legkisebb költséggel járó rendelkezésre állását, valamint e források fenti feltételeknek megfelelő megosztását a villamos energia igények pontos kielégítésére.

### **2.18. Forgó tartalék**

Azonnal rendelkezésre álló tartalék teljesítmény.

Az üzemben lévő generátorok ki nem használt teljesítménye, amely a villamos energia rendszerben a terhelésingadozások felvételére és a frekvencia szabályozására szolgál.

### **2.19. Földgáz**

Gáz halmazállapotú szénhidrogén energiahordozó.

Évmilliókkal ezelőtt elpusztult élőlények bomlási anyagaiból keletkezett és a tengeri üledékben halmozódott fel. A földgázt szárazföldön és partközeli tengerfenéken bányásszák, és csővezetéken juttatják el a felhasználási helyre. Az erőművek egyik fontos tüzelőanyaga. Előnye, hogy elégetése során alig keletkezik káros égéstermék.

### **2.20. Füstgáztisztítás**

A füstgázban lévő szennyező anyagok mennyiségének csökkentésére szolgáló eljárás. A hagyományos erőművek füstgáza szennyező anyagokat – pl.: kéndioxidot, nitrogén-oxidokat és port – tartalmaz. A füstgáztisztítás történhet mechanikai vagy kémiai úton (lásd katalizátor, kéntelenítő). A füstgáztisztító eljárást mindig az erőműben alkalmazott tüzelőanyagnak és az adott technológiának megfelelően kell megválasztani.

### **2.21. Fűtőerőmű**

Olyan hőerőmű, mely a hőszolgáltatás mellett termel villamos energiát.

Elsősorban városokban, vagy ipari körzetekben létesítik, ott, ahol kommunális vagy ipari célú hőigény jelentkezik. Előnye, hogy a kombinált hő-és villamos-energiatermelés összes - hatásfoka magasabb, mint a tisztán áram termelésre szolgáló erőműveké; hátránya, hogy a termelt villamos energia mennyiségét a mindenkori hőigény határozza meg.

### **2.22. Gázturbinás erőmű**

A gázturbinás erőműben a generátort, forgató turbinát a tüzelőanyag elégetésekor keletkező forró gázok hajtják. A gázturbina három fő része: a kompresszor, amely az égéshez szükséges levegőt sűríti, az égőtér, ahol a tüzelőanyagot (földgázt vagy olajat)

elégetik, és a turbina. A gázturbinás erőművek két fő típusa a nyílt és a kombinált ciklusú erőmű.

### **2.23. Generátor**

Mechanikai energiát villamos energiává alakító berendezés.

A villamos-energetikában háromfázisú generátorokat alkalmaznak. Fő részei: az állórész háromfázisú tekercselésének kivezetései jelentik a háromfázisú váltakozó áram forrását; a forgórész, melyet a turbina forgat, és melynek elektromágneses terét a gerjesztő biztosítja. A generátornak két alapvető típusa van: a turbógenerátor, melyet a hőerőművekben alkalmaznak, illetve a hidrogenerátor, melyet a vízerőművekbe építenek be.

### **2.24. Gőz**

A hőerőművek munkaközege.

A nagy energiatartalmú, telített vagy túlhevített gőzt megfelelően előkezelt vízből kazánban vagy –atomerőműnél – a gőzfejlesztőben állítják elő.

### **2.25. Hálózat**

A villamos energiát az előállítás helyéről a fogyasztókhoz eljuttató vezetékek és berendezések összessége.

Az energiarendszer különböző feszültségű hálózatokból épül fel:

Az alaphálózaton (400, 230kV) szállítják az áramot nagy távolságra.

A főelosztó hálózat (120kV) az alaphálózati állomásokról az egyes áramszolgáltatói körzetekbe szállítja az áramot.

Az elosztóhálózatra (20, 10, 0,4 kV) csatlakoznak a fogyasztók.

A különböző feszültségű hálózatokat transzformátorok kapcsolják össze. A hálózatok üzemét az országos rendszerirányító és a körzeti teherelosztók irányítják.

### **2.26. Hálózati üzem előkészítés**

A hálózati üzem-előkészítés olyan rendszeres, célirányos tevékenység, melynek keretében a villamosenergia-rendszerben várható fogyasztói igények, a rendelkezésre álló berendezések, kapacitások és a tervezett munkák alapján a villamosenergia-rendszer hálózati üzemállapotának és üzemállapot-változásainak előzetes megtervezése, az éves, havi, heti és napi igénybejelentések engedélyezése, feszültségmentesítési tervek elkészítése, a tervezett üzemállapotok meghatározása, vizsgálata, hálózati üzem-előkészítő számítások végzése, a várható kockázati tényezők előzetes meghatározása folyik.

## **2.27. Háromfázisú áram**

A villamos energia ipari méretű előállításának, szállításának és felhasználásának alapja.

A háromfázisú átvitel során, a három vezetéken ugyanolyan feszültségű és nagyságú váltakozó áram folyik, de ezek egymáshoz képest a váltakozó áram teljes periódusának harmadrészével eltoltak.

## **2.28. Hatásfok**

Az energiaátalakítási folyamatba bevitt és a kinyert energiamennyiség aránya.

Az átalakítás sohasem 100%-os, a bevitt energia egy része (az energetikában általában hő formájában) veszteség. A villamos-energia előállítás folyamatának hatásfokát az alkalmazott technológia és az azzal összefüggő termodinamikai törvények határozzák meg.

## **2.29. Hidegtartalék**

Tartalék teljesítmény

Az erőművekben üzemben kívül lévő, de a rendszerirányító utasítására bármikor elindítható generátorok teljesítményének összege.

## **2.30. Hőenergia**

A hőmérséklet emelkedésekor felvett, illetve csökkenésekor leadott energia. Mértékegysége a joule (J)

## **2.31. Hőerőmű**

A hőerőművekben a kazánban, (atomerőmű esetében a reaktorban) felszabaduló hőenergiával gőzt fejlesztenek, mely gőzturbinát hajt meg. Ennek mechanikai energiája forgatja a turbógenerátort, mely áramot termel.

## **2.32. Katalizátor**

Kémiai reakciókat gyorsító berendezés.

A széntüzelésű erőművekben füstgáztisztítására alkalmazzák. Segítségével a nitrogén-oxid ártalmatlan nitrogénné és oxigénné alakul át. A katalizátorok működésének alapelve, hogy különböző fémek és fénoxidok bizonyos kémiai reakciókat lehetővé tesznek, illetve felgyorsítanak, bár önmaguk a reakcióban nem vesznek részt.

## **2.33. Kazán**

A hőerőművekben a gőz előállítására szolgáló berendezés.

A kazánban megfelelően előkészített tüzelőanyagot (szén, földgáz, tüzelőolaj) égetnek el, és az így felszabaduló hő gőzt fejleszt.

### **2.34. Kéntelenítő**

Füstgáztisztító berendezés.

Segítségével a hőerőművekben a füstgáz kéndioxid tartalma más, ártalmatlan vegyületté (pl. gipsszé) alakul.

### **2.35. Kirchhoff törvények**

A villamos-energia áramlását meghatározó fizikai törvények.

A villamos-energiaszállítások és a rendszerirányítás számára fontos, a Kirchhoff törvényekből következő törvényszerűség, hogy hurkolt hálózatban az egyes ágakon folyó áramok erőssége fordítottan arányos az ágak ellenállásával.

### **2.36. Kisfeszültségű hálózat**

A villamos-energia ellátásban kisfeszültségű hálózatnak nevezzük a 400/230 V-os hálózatot. A háztartási fogyasztók a kisfeszültségű hálózatra csatlakoznak.

### **2.37. Kombinált ciklusú erőmű**

Gázturbinás erőmű.

A kombinált ciklusú erőműben a gázturbinából kiáramló forró füstgázt hőhasznosító kazánba vezetik és hőenergiáját felhasználva gőzt termelnek. Az így kapott gőz turbinát hajt meg és villamos áramot termel, de hőszolgáltatásra is hasznosítható. A kombinált ciklusú erőművek hatásfoka kedvezőbb, mint a hagyományos hőerőműveké.

### **2.38. Költségek**

A villamos energia előállítása, szállítása és elosztása során felmerülő költségek két fő csoportra bonthatók: Az állandó költségek (pl. erőmű-és hálózatépítés, személyi ráfordítások) a mindenkor fogyasztástól függetlenül merülnek fel. A változó költségek (pl. tüzelőanyag vásárlás, veszteségek) az elfogyasztott áram mennyiségével arányosak. A költségeket a fogyasztók a villamosenergia-tarifában térítik meg.

### **2.39. Kőolaj**

Folyékony halmazállapotú szénhidrogén energiahordozó.

Évmilliókkal ezelőtt elpusztult élőlények bomlási anyagaiból keletkezett és a tároló kőzetekben felhalmozódott folyékony ásványi anyag. Különböző lepárlási termékei (tüzelőolaj, gázturbinaolaj) erőművekben történő felhasználásra alkalmasak. A modern ipari társadalom egyik legfontosabb energiaforrása.

## **2.40. Körzeti Diszpécser Szolgálat**

Az áramszolgáltatók hálózatának és a területükön található, a rendszerszintű üzemirányításba nem bevont erőművek operatív üzemirányítását végző szervezet.

## **2.41. Középfeszültségű hálózat**

A villamos-energia ellátásban középfeszültségnek nevezzük a 10 kV-os, 20 kV-os és 35 kV-os feszültségű hálózatot.

## **2.42. Megújuló energiaforrás**

Olyan energiahordozók, melyek felhasználásuk során nem fogynak el. Alkalmazásukkal a környezet nem szennyeződik, és a Föld energiakészlete nem csökken. Napjainkban a legszélesebb körben felhasznált megújuló energiaforrás a vízenergia. A többi megújuló energiaforrást (szél, nap, árapály, geotermikus, biomassza) alternatívnak is nevezik, jelezve, hogy perspektivikusan a hagyományos energiatermelést kiváltó erőforrásokká válhatnak. Az ilyen energiaforrásokkal működő erőműveket nevezzük alternatív erőműveknek.

## **2.43. Nagyfeszültségű hálózat**

Az alaphálózatból és a főelosztó hálózatból álló villamosenergia-szállító rendszer. Feszültség szintje: 400, 220 és 120 kV.

## **2.44. Napelem**

A Nap energiáját fotoelektromos úton közvetlenül villamos energiává alakító berendezés. Alapelve, hogy a két félvezető határretegére eső fény feszültségkülönbséget hoz létre a félvezetőkben. Intenzív kutatások zajlanak világszerte, hogy az átalakítás hatásfokát növelve versenyképes energiatermelési lehetőséggé tegyék ezt a megoldást.

## **2.45. Naperőmű**

A Nap által a Földre sugárzott energiát közvetlenül (napelemek segítségével), vagy egy speciális hőerőmű közbeiktatásával villamos energiává alakító alternatív erőműtípus.

## **2.46. Napenergia**

Napsugárzás formájában a Földre jutó energia.

A megújuló energiaforrások jó része (víz, szélenergia) közvetve, a fotoelektromos elvű naperőmű közvetlenül hasznosítja a napenergiát.



## **2.47. Nyílfciklusú erőmű**

Gázturbinás erőmű.

Ennél az erőműtípusnál a gázturbinából kiáramló forró füstgázt közvetlenül a szabadba vezetik.

Az ilyen erőmű rendkívül gyorsan indítható és rugalmasan üzemeltethető, de a tüzelőanyag energiája viszonylag rossz hatásfokkal hasznosul. A magyar energiarendszerben szekunder tartalékként szolgál.

## **2.48. Ohm törvénye**

A villamosenergia-rendszerben a teljesítményáramlásokat meghatározó egyik alaptörvény.

## **2.49. Operatív üzemirányítás**

A villamosenergia-rendszer üzemének folyamatos felügyelete. Feladata a villamosenergia-rendszerben a fogyasztás és a termelés egyensúlyának állandó biztosítása, a villamos-energia paramétereinek az előírt értéken tartása a rendelkezésére álló műszaki berendezések alkalmazásával.

## **2.50. Porleválasztó**

Füstgáztisztító eljárás. Általában széntüzelésű erőművekben használják a füstgáz szilárd szennyezőanyagainak, portartalmának leválasztására. Az erőművekben elektrofiltereket, vagy zsákos szűrőket használnak.

## **2.51. Primer tartalék**

Tartalék teljesítmény. A forgó tartaléknak a frekvencia változása esetén automatikusan felhasználásra kerülő része. Értéke kb. a villamosenergia-rendszer összes teljesítményének 1%-a.

## **2.52. Rendszerirányítás**

Az együttműködő erőművek és hálózatok üzemállapotának meghatározása, változtatása, a biztonságos és legkisebb költségű energiaellátás, üzemzavarok megelőzése, megszüntetése, kiterjedésének korlátozása érdekében.

## **2.53. Rendszerirányító**

A villamosenergia-rendszer üzemének tervezését, irányítását ellátó, a termelőktől, kereskedőktől, fogyasztóktól független szakmai szervezet. Feladata a rendszerszintű operatív üzemirányítás, forrástervezés, hálózati üzem-előkészítés, villamos energia

elszámolás, a rendszerszintű szolgáltatások, a hálózathoz való szabad hozzáférés biztosítása.

#### **2.54. Rendszerszintű szolgáltatások**

A rendszerszintű szolgáltatások azok a villamos energiatermeléssel, szállítással, elosztással járó járulékos funkciók, amelyek a villamos energia közvetlen szolgáltatásán túlmenően biztosítják annak a megfelelő biztonságú és minőségű szolgáltatását. Ide tartoznak a hálózati frekvencia és a hálózati feszültség szabályozásához tartozó feladatok, valamint a villamos energia rendszer esetleges üzemzavarait megelőző, vagy az azt követő elhárító tevékenységek, ill. képességek.

#### **2.55. Szekunder tartalék**

Tartalék teljesítmény. A villamos energia rendszerben a fogyasztás változásának automatikus követését, a csereteljesítmény szaldó előírt értékén tartását szolgáló tartalék teljesítmény. A forgó tartalékból, és a gyorsan (15 percen belül) elindítható nyílt ciklusú gázturbinák teljesítményéből tevődik össze. Értéke megegyezik a villamosenergia-rendszerben üzemelő legnagyobb erőműi blokk teljesítményével.

#### **2.56. Szén**

Szilárd tüzelőanyag. A szén évmilliókkal ezelőtt elpusztult növényi maradványokból képződött a földfelszín alatt, nagy nyomáson, a levegő kizárása mellett. A szén minőségét (fűtőértékét) elsősorban az határozza meg, hogy mennyi idős. Az ipari forradalom időszakában (a XVII.sz. második felétől) a technikai fejlődés alapját jelentette.

#### **2.57. Széndioxid**

Égéstermék, színtelen, szagtalan gáz. A fosszilis tüzelőanyagú erőművek működésük során széndioxidot is bocsátanak ki a légterbe. Ez a gáz is felelős a légkörben fellépő üvegházhatásért és ez által a globális felmelegedésért. A széndioxid megkötésére jelenleg nem létezik gazdaságosan alkalmazható eljárás.

#### **2.58. Szénerőmű**

Primer energiaforrásként szenet alkalmazó hőerőmű.

A különböző fűtőértékű szenek energetikai célú hasznosításának legfőbb hátránya a káros anyag kibocsátás, amelyet csak különböző, költséges eljárásokkal lehet csökkenteni, egyrészt a tüzeléstechnika révén, másrészt a füstgáz tisztításával.

## **2.59. Vízerőmű**

A villamosenergia-rendszer alacsony terhelésű időszakában (pl. éjjel) vizet szivattyúznak fel egy magasan fekvő tározóba, majd azt a csúcsidőszakban leengedve áramtermelésre használják. A Magyar Villamos energia Rendszer szivattyús-tározós erőmű nélkül üzemel. A villamos energia piac megnyitása és a szűkebb határértékek között szabályozható vagy szabályozhatatlan (pl. szélerőmű) erőművek arányának növekedése indokoltá teszi ilyen erőmű típus létesítését.

## **2.60. Tartalékok**

A villamos energia ipari mértékben nem tárolható, ezért minden pillanatban a fogyasztói igényeknek megfelelő mennyiséget kell belőle előállítani. A fogyasztás előre nem becsülhető változásának követésére, és üzemzavarok esetére a villamos energia rendszernek állandó tartalékkal kell rendelkeznie. Ezek lehetnek forgótartalékok, vagy rövidebb-hosszabb idő alatt elindítható hidegtartalékok. A tartalék –felhasználásának célja szerint- lehet primer vagy szekunder tartalék.

## **2.61. Teljesítmény**

A munkavégző képességnek, vagy a munkavégzés intenzitásának pillanatnyi jellemzője.

## **2.62. Transzformátor**

A feszültség, áramerősség és az impedancia átalakítására szolgáló berendezés. A váltakozó áramú villamos energia felhasználásának elterjedését a transzformátor megalkotása tette lehetővé. A transzformátor működésének magyar tudósok által kidolgozott alapja a közös vasmagon lévő két különböző menetszámú tekercselés. A kivezetéseken a feszültség egyenesen, az áramerősség fordítottan arányos a menetszámmal. A transzformátor a villamos energia átalakítását nagyon kis veszteséggel teszi lehetővé.

## **2.63. Túlterhelés**

A villamosenergia-rendszer minden elemét (generátor, vezeték, transzformátor) meghatározott teljesítmény átvitelére tervezik. Ennek túllépése esetén a berendezés sérülhet. A villamos védelmek egyik feladata, hogy a berendezéseket a túlterheléstől megvédjük.

## **2.64. Váltakozó áram**

Váltakozó áram esetén az elektronok mozgásiránya periodikusan változik. A váltakozó áram fő jellemzője a hertz (H): e mérőszám azt fejezi ki, hogy

másodpercenként hányszor változik az áram iránya. A transzformátorok alkalmazása óta általánosan alkalmazott áramfajta az energetikában. Európában 50 Hz, Amerikában 60 Hz frekvenciájú váltakozó áramot használnak.

## **2.65. Védelmek**

A villamosenergia-rendszer elemeit a zárlatoktól, túlterheléstől vagy egyéb rendellenességektől védő készülékek.

A villamos védelmek a villamos energia jellemzőinek (áramerősség, feszültség, frekvencia) megváltozását érzékelik, ez alapján határozzák meg a meghibásodás helyét és jellegét, és kikapcsolják a hibát határoló megszakítókat.

## **2.66. Villamos-energia elszámolás**

A villamos elszámolás olyan rendszeres, célirányos tevékenység, amely regisztrálja mind a villamos energia szállítási tranzakciók megvalósulását, mind az azoktól való eltérés a szállítási menetrendek és a tényleges fizikailag mért villamos energia forgalmi adatok alapján.

## **2.67. Vízerőmű**

A víz helyzeti energiáját hasznosító erőmű.

Átfolyó és tározós rendszerű vízierőműveket különböztetünk meg. A vízierőművek előnye a gyors indíthatóság, a rugalmas terhelhetőség, és a minimális üzemeltetési költség. Hátrányuk, hogy létesítésükhöz kedvező földrajzi adottságokra és jelentős beruházási költségekre van szükség.

## **2.68. Zárlat**

A szigetelés meghibásodása miatt két vagy több, különböző feszültségű vezető között létrejött, nem szándékolt kapcsolat. A zárlati hely ellenállása a normál terhelésnél sokkal kisebb, így az áramkörben a megengedettnél jóval nagyobb áramok lépnek fel. A villamosenergia-rendszer elemeit (generátor, vezeték, transzformátor) meghatározott teljesítmény átvitelére tervezték, ezért a zárlat miatt fellépő túlterhelés jelentős károkat okozhat. A villamos védelmek gondoskodnak arról, hogy zárlat esetén a meghibásodott berendezés a lehető leggyorsabban, lekapcsolódjon a hálózatról.

### 3. Fejezet Erőművek

#### 3.1 A hőerőművek főbb üzemi jellemzői és főberendezései

A villamos energia termelése érdekében a hőerőművekben lejátszódó leglényegesebb folyamatok két csoportra oszthatjuk: ún. fő technológiai folyamatokra és az azt kiegészítő folyamatokra.

A fő technológiai folyamatok – amelyek az erőmű főberendezéseiben zajlanak – a következők:

- a tüzelőanyag kémiai energiájának átalakítása hőenergiává (elégetési folyamat);
- a hőenergia átadása a következő közegnek;
- a közvetítőközeg hőenergiájának átalakítása mechanikai energiává;
- a mechanikai energia átalakítása villamos energiává.

A főbb kiegészítő folyamatok – amelyek segédberendezéseket igényelnek – a következők:

- a tüzelőanyaggal kapcsolatosak (a tüzelőanyag beérkezése, tárolása)
- a hűtővízzel kapcsolatosak (a víz kinyerése és bevezetése az erőműbe, visszahűtése vagy visszavezetése);
- a pótvízzel kapcsolatosak (szűrés, vegyi előkészítés, bevétel a fő technológiai folyamatba)

#### 3.2. Gőzturbinás erőművek

A gőzerőműnek – a fő célja technológiai folyamatnak megfelelően – három fő berendezése van:

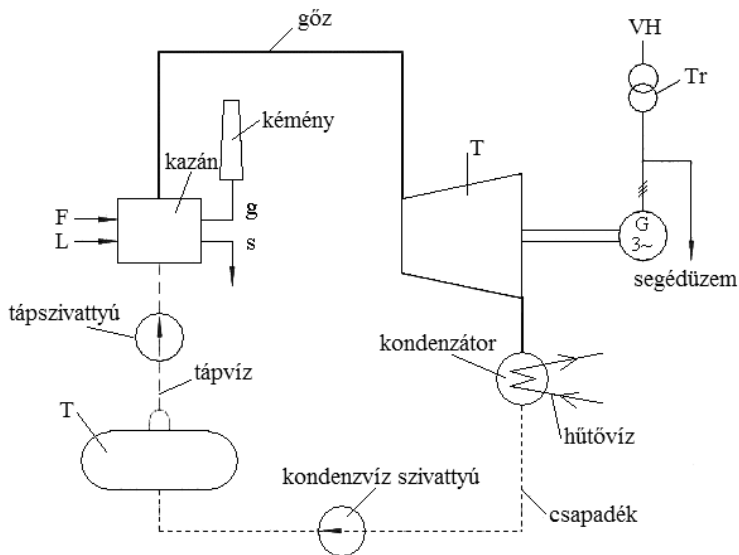
- a kazán
- a gőzturbina
- és a villamos generátor

A tiszta kondenzációs (3.1. sz. ábra) erőműben a teljes fejlesztett gőzmeny-

nyiség villamos energia termelésére szolgál.

A felhasználandó tüzelőanyagot – szén, fűtőolaj vagy földgáz - levegő

hozzáadásával a kazánban (K) elégetik, a keletkező füstgázt kéménybe (KE) vezetik, míg az égés utáni maradék – salak, hamu- a salaktérbe kerül. A kazánban termelt gőzt a turbinába (T) vezetik, amely a villamos generátort hajtja. (A generátorhoz egyrészt

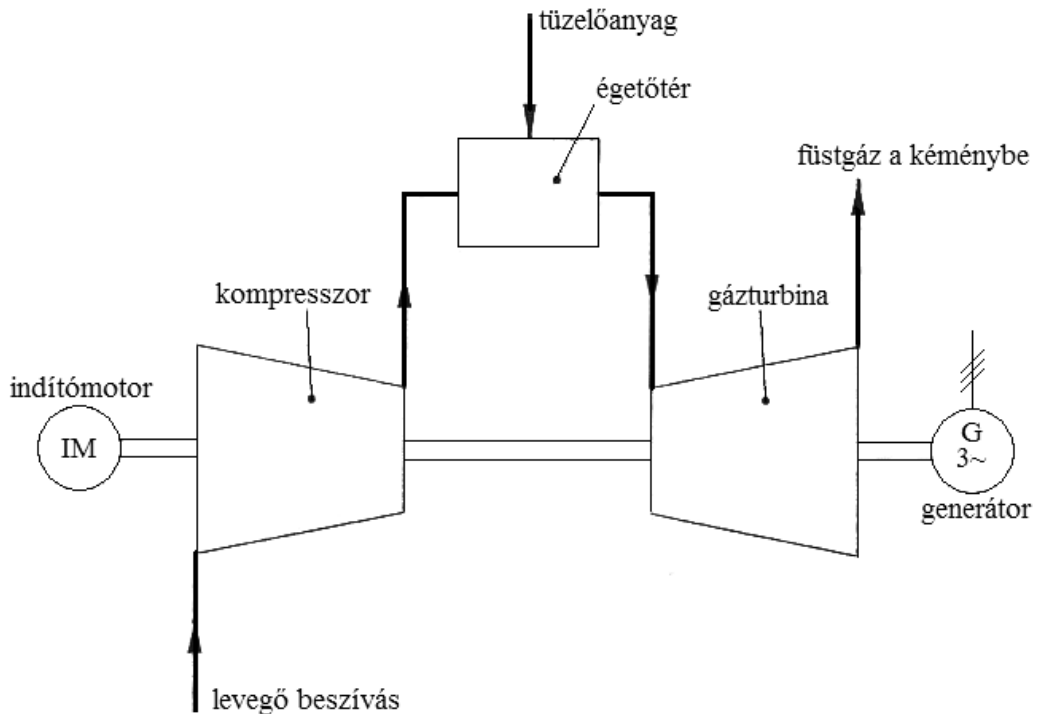


3.1 ábra. Kondenzációs erőmű egyszerűsített blokkvázlata

szén,

transzformátor (T) csatlakozik, amely a generátorfeszültséget a kívánt nagyobb feszültségre emeli, másrészt egy leágazás, amely a segédüzemetek táplálja.) Az ún. gőzkondenzátorban–azaz egy hűtővizet hőcserélőben- hő elvonásával a fűtött gőzt táptartályba (T) nyomják. A víz visszanyerésére azért van szükség, mert a kazánba csak tisztított lágy vizet lehet vezetni azért, hogy a forralócsövek ne vízkövesedjenek el. A tiszta lágy víz előállítása drága. A táptartályból a vizet a tápszivattyú a kazánba nyomja vissza, amivel a folyamat újra kezdődik.

A 3.1. sz. ábra kondenzációs erőművének hatásfoka alacsony. A hatásfok növelésére



számos műszaki megoldás született. Ilyen hatásfoknövelő megoldások az erőműben a

3.2 ábra. Egyszerű, nyitott rendszerű gázturbinás erőmű vázlata

léghevítés, a megcsapolásos tápvíz-előmelegítés és a közvetítő közeg újrahevítése:

a, A léghevítő a kazánból távozó fűtőgáz hulladékhőjét hasznosítja úgy, hogy az égéshez szükséges levegőt egy hőcserélőben felmelegíti. A léghevítőknél mind a tüzelés gazdaságossága, mind a tüzelőanyag-őrlelés és gyulladása szempontjából nagy a jelentősége.

b, A víz-előmelegítők hőcserélők, amelyekben a táptartályba, majd a kazánba juttatandó csapadék-, ill. tápvizet előmelegítik. A hőközlés céljára szolgáló gőzmennyiséget a turbina különböző fokozataiból (megcsapolásaiból) veszik el.

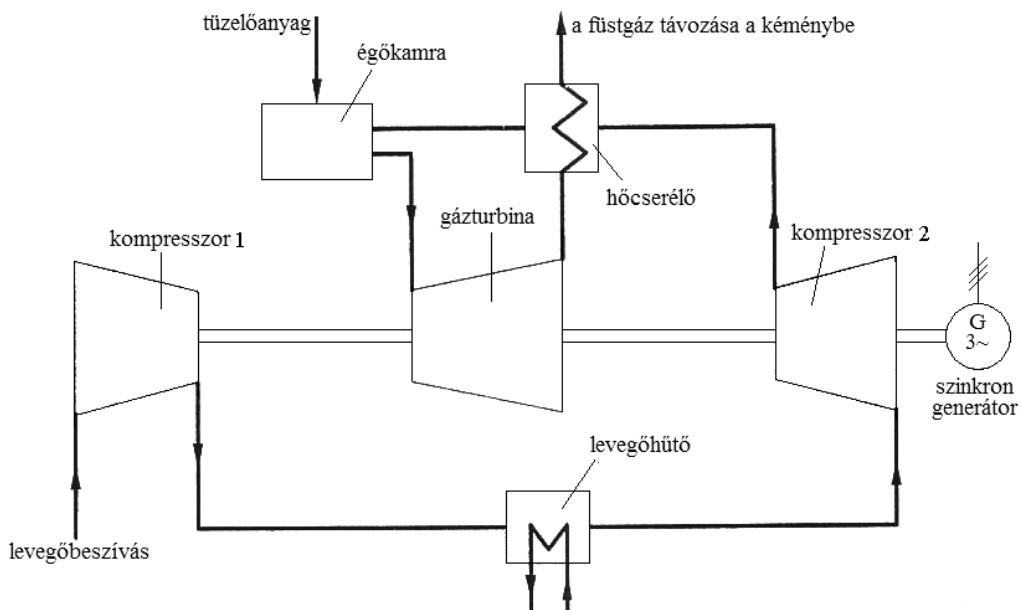
A túlhevítő a korszerű nagynyomású, nagyteljesítményű kazánok egyik legfontosabb része, a kazán felső, legmelegebb részén húzódó csőrendszer, amelyben a kazán

elgőzölögtető részében termelt 1...2% nedvességtartalmú gőzt a telítési hőmérséklet fölé, 500...600 C° hőmérsékletre hevítik)

### 3.3 Gázturbinás erőművek

A gázturbinás erőműben, az előző pontban leírt főberendezések közül a kazán elmarad, helyét

a gázturbina tölti be. A gázturbinás erőművek tüzelőanyaga elsősorban olaj vagy földgáz. A közvetítő közeg vízgőz helyett maga az égéstermék, a füstgáz. A legegyszerűbb gázturbinás erőműben a levegőt kompresszor nyomja az égőtérbe ahol



3.3 ábra. Nyitott rendszerű gázturbinás erőmű kétfokozatú kompresszorral

a gáz elég és a keletkező nagynyomású füstgáz a turbinalapátokra jutva, megforgatja a turbínát és a vele egytengelyű szinkron generátort. A turbina a generátoron kívül a légkompresszort is hajtja, így a gázturbina indítását külön motor végzi (3.2. sz. ábra)

Az erőmű hatásfokát alapvetően az határozza meg, hogy a gázturbina és a légkompresszor hatásfoka mekkora, hogy a turbinába beömlő gáz hőmérséklete milyen magas, hogy a turbínából kilépő gázok hőtartalmát milyen mértékben hasznosítják.

A (3.3 sz. ábra) olyan nyitott rendszert ábrázol ahol a kétfokozatú kompresszor hatásfokát levegőhűtő növeli. A szabadból hangtompítón át beszívott levegő a kompresszorok után hőcserélőben felhevítve kerül az égőkamrába, ahol az oda bejuttatott tüzelőanyag a levegővel keveredve elég. A keletkező magas hőmérsékletű, nagynyomású füstgázok energiája a turbínában mechanikai munkává alakul. A turbina

hajtja a villamos energiát termelő generátort. A fáradt füstgázok hangtompítón át a kéményből a szabadba távoznak.

A gázturbinás erőmű előnyei:

- gyors üzemkésztség
- a berendezés és a kezelés egyszerűsége
- a hűtővíz-ellátástól való teljes, vagy részleges függetlenség

A gázturbinás erőmű hátrányai:

- a gőzerőműveknél rosszabb hatásfok
- szerkezeti okok következtében kisebb egységteljesítményű turbina

Alkalmazási területek:

- a nagyobb egységteljesítményű gázturbinás erőműveket csúcserőműként alkalmazzák a villamosenergia-rendszerekben
- az együttműködő villamosenergia-rendszerben gyorsan indítható hideg tartalékként alkalmazzák

### 3.4. Hőerőművek főbb elemei

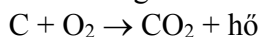
#### 3.4.1. A kazán

A hőerőművekben a villamos energia termelése a szén felhasználásával kezdődött. A hőerőművekben a gőzt kazánban állítják elő. A széntüzelésnél a szenet porrá őrlik, mert így gyorsabb és tökéletesebb lesz az égés. Ezt a lisztnél finomabb szénport a megfelelő mennyiségű kb. 300 °C hőmérsékletű levegővel, befújják az égéstérbe. A forró levegő előmelegíti és szárítja is a szenet, ezzel is növelve az égés hatásfokát.

A kazánban, az égéstérben kb. 1 200 °C van. Itt sok km hosszú vastag falú acél csövekben (forrcsővekben) melegszik fel, majd forr el a betáplált lágyított, sótlanított és gáztalanított előmelegített víz. A kilépő túlhevített gőz, hagyományosan 100 bar nyomású, és 540 °C hőmérsékletű. Ezen a hőmérsékleten már vörösen izzik a gőzt elvezető cső is.

Környezetkímélőbb a fluidágyas kazán, melyben a szén lebeg égés közben, így tovább tartózkodik az égéstérben. Az égés alacsonyabb, 850 °C hőmérsékletű, ezért itt nem keletkezik az egészségre káros nitrogén-dioxid. Másik előnye, hogy a kén-dioxid is leválasztható a tüztérben mészkőadagolás segítségével.

A gőzkazánokban történik – a tüzelőanyagok elégetése során – a tüzelőanyagok kémiaiilag kötött energiájának termikus energiává alakítása.



A szénből széndioxid, míg a szénhidrogénekből (földgáz, kőolaj) széndioxid és vízgőz keletkezik, miközben az oxidáció során a tüzelőanyag fűtőértékének megfelelő termikus energia felszabadul.

A felszabaduló termikus energiasugárzással (kazán tüztér), konvektív hőátadással (gőz túl- és újrahevítő, tápvizelőmelegítő) átadódik a vízgőznek. Tehát a gőzkazánban a hőátadó közeg („láng”, füstgáz) és a hőfelfekvő közeg (vízgőz) csőfallyal el van választva egymástól.



A két közeg áramlása a kazánban úgy van szervezve, hogy:

- a tápvíz-előmelegítő felület a lehűlt füstgázzal ellenáramban,
- az elgőzöltető felület (forrcsövek) a lánggal, a maximális hőmérsékletű füstgázzal,
- a gőz túl- és újrahevítő felület a tüztérből kilépő füstgázzal ellenáramban érintkezzen.

Ahhoz, hogy a kilépő füstgáz minél alacsonyabb hőmérsékletű legyen, ellenáramban a tüztérbe lépő levegőt is előmelegítik (levegő-előmelegítő). A vízgőz a tápvíz-előmelegítőben a belépő hőmérsékletéről a telítési hőmérsékletre melegszik, a forrcsövekben elgőzölög, míg a gőz túl- és újrahevítőben a kilépő hőmérsékletre melegszik fel.

A kazánok üzemének legfőbb jellemzője a hatásfoka, amely megmutatja, hogy a tüzelőanyag kémiaiilag kötött energiájának mekkora részarányát „vett fel” a vízgőz.

A következő típusú kazánok különböztethetők meg

- a) az előállított gőz nyomása alapján
  - szubkritikus ( $p_1 < p_{kr} = 222,1 \text{ bar}$ ) és
  - superkritikus ( $p_1 > p_{kr}$ );
- b) míg az elgőzöltető víz áramlása alapján
  - cirkulációs (természetes és kényszer- vagy szivattyús),
  - kényszerátáramlású.

A gőz kezdő nyomása kihat a kazán konstrukciójára is: a superkritikus gőzkazánok csak kényszerátáramlásúak lehetnek, míg a szubkritikus gőzkazánok cirkulációs és kényszerátáramlásúak egyaránt lehetnek.

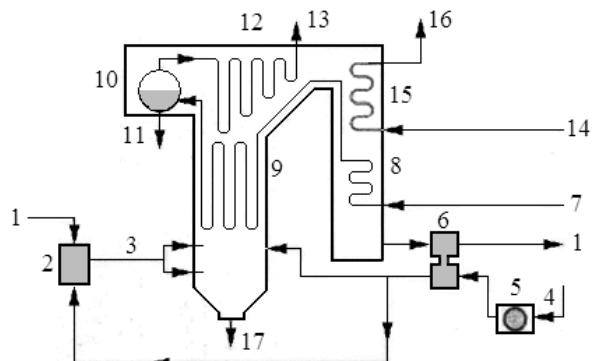
Hazánkban egyelőre csak szubkritikus erőművi kazánok üzemelnek, melyeknek döntő többsége természetes cirkulációjú.

c) Szerkezetük szerint

- Tűzcsöves kazánok. Itt hőforrás a csőben foglal helyet és a melegítendő víz, van kívül.

- Vízcsöves kazánok. A hőforrás a csöveken kívül, a víz a csövekben van. A nagy erőművi kazánok mind ilyen felépítésűek.

- Kezdetleges, gazdaságtalan típus, ahol egyetlen nyomástartó edény van, az edény egyik oldalát fűti a tűz. Ezt ma már gőzfejlesztésre nem használják, az

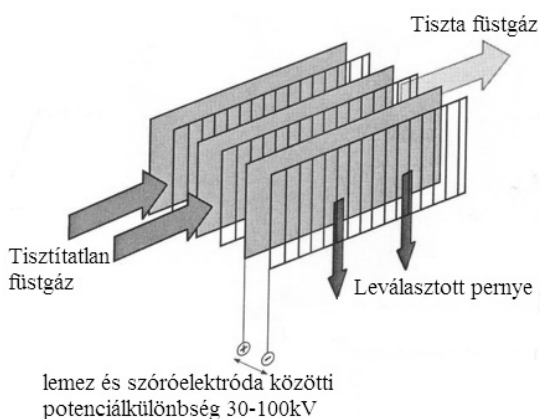


- |                         |                            |
|-------------------------|----------------------------|
| 1: Szén                 | 10: Kazándob               |
| 2: Malom                | 11: Levfűvés               |
| 3: Szén-levegő keverék  | 12: Gőztűlhevítő           |
| 4: Friss levegő         | 13: Nagynyomású turbinába  |
| 5: Aláfűvő ventilátor   | 14: Nagynyomású turbinából |
| 6: Léghevítő            | 15: Újrahevítő             |
| 7: Gáztalanított tápvíz | 16: Középnomású turinába   |
| 8: Tápvíz-előmelegítő   | 17: Füstgáz a kéménybe     |
| 9: Elgőzöltető          |                            |

3.4 ábra. Széntüzelésű erőművi kazán

ipari forradalom kezdetén volt használatban.

A vízcsöves kazánoknál a víz több vékony csövön áramlik át, melyeket a lángok körülvesznek. Tervezésüknél arra törekcsenek, hogy a fűtőfelület minél nagyobb legyen, így a csöveket U-alakúra készítik és esetleg többször is végigvezetik a tűztéren. A vízcsöves kazánál a kisátmérőjű csövek szilárdabbak és olcsóbbak, mint a nagyobb átmérőjű kazánok, ezért ezekben a nyomás növelhető a biztonság csökkenése nélkül.



3.5 ábra. Elektronikus pernyeleválasztó

kritikus nyomásnál nagyobb. Az ilyen kazánokat szuperkritikus kazánoknak hívják. Ilyen gőzparamétereket az erőmű hatásfokának lehet legnagyobb értéken tartása indokolja.

Egy tipikus széntüzelésű erőműi kazán látható a (3.4. sz. ábrán).

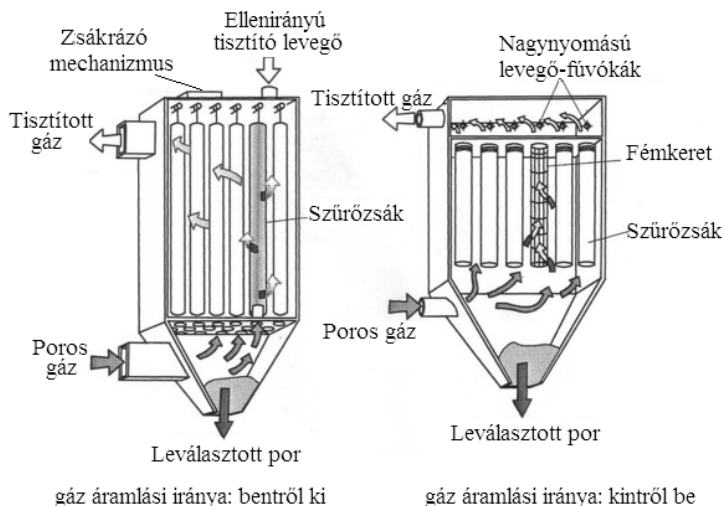
További elemek:

a, Elektrosztatikus pernye leválasztó

Az égéstermékcsennyezik a környezetet, ezért a lehető legnagyobb mértékben csökkenteni kell a környezet terhelését. Az

A lángcsöves kazánt 1812 körül találta fel Richard Trevithick, aki gőzgépekhez használta. Ez erősebb és gazdaságosabb volt, mint az egyszerű kazánok. A lángcső a felület növelése miatt hullámos, nagyobb átmérőjű cső, mely a tüzelőberendezést tartalmazza, és melyen a füstgázok végig áramolnak. A lángcső hengeres tartály hossz tengelyében helyezkedett el. Ezt a kazántípust kisebb nyomások és gőzmennyiség esetén ma is kiterjedten alkalmazzák egyszerűsége miatt.

A modern erőműi kazán a túlhevítéses kazán. Olyan nagy gőznyomást használ, ahol már nem lehet beszélni külön folyadék és gáz fázisról, sem pedig forrásról, vagyis a gőznyomás a



3.6 ábra. Zsákos szövetszűrő

égéskor keletkező füst tulajdonképpen az apró, szilárd égéstermékek miatt szokott látszani. Ezeket az elektrosztatikus pernye leválasztókkal (elektrofilterekkel) lehet leválasztani a füstből. (3.5. sz. ábra) Nagyfeszültségű lemezek között szál el a füst, s közben a füstszemcsék a lemezekre tapadnak az elektromos vonzás következtében. A lemezek időnkénti megrázásával a pernye lehullik a gyűjtőtérbe. A pernye leválasztás hatásfoka 99 %! A pernye egy részét felhasználják a cementgyártásnál, a megmaradt salakot és pernyét zagyatárolókban helyezik el.

Ennél is jobb leválasztási fok érhető el a zsákos szűrőkkel (3.6. sz. ábra), amelyek tisztítása a szűrő kikapcsolása után végezhető. Emiatt a folyamatos üzemű kazánoknál a zsákos szűrőket megfelelő tartalékkal, csoportokba foglalva építik be és egy-egy csoportot az üzemből kivéve végzik a tisztítást. A használat során a zsákok eltömődésével a leválasztási fok javul, de lényegesen megnő a zsákok áramlási ellenállása (mint a porszívónál), ami a ventilátor teljesítményigényét növeli. A tisztítási periódusokat általában a zsákok áramlási ellenállásáról vezérlik. A füstgázok közül a legnagyobb részt a szén-dioxid teszi ki. Ez növeli a Földön az üvegházhatást. Mivel a kőszén kéntartalmú, ezért a szénnel együtt a kén is elég. A keletkező kén-dioxid, ha nincs kéntelenítő beépítve, a levegő páratartalmával kénes savat és kénsavat alkot. Az így létrejövő savas eső a környezetet erősen károsítja.

Ha a tüztér hőmérséklete  $1\ 000\ ^\circ\text{C}$  feletti, akkor nitrogénoxidok is keletkeznek. A

levegőben lévő vízzel salétromsavat alkotnak, melyek szintén károsak a környezetre. A füstgáz összetevőit az erőműben folyamatosan mérik, és ha a megengedett határokat túllépi, azt jelzi a központnak.

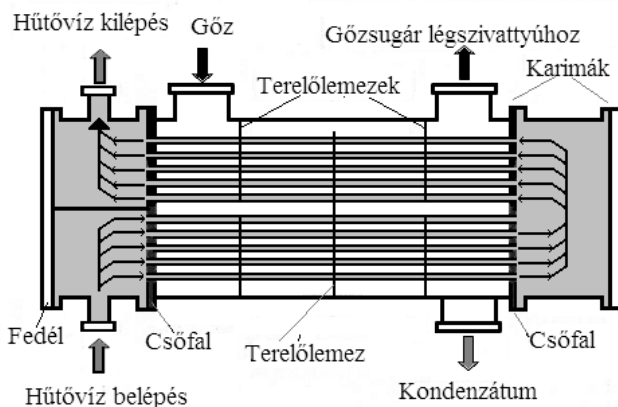
b, Kondenzációs berendezés

A turbinában expandálódott, további munkavégzésre alkalmatlan gőz kondenzációja (folyadékfázisú vízzé alakítása) a kondenzációs berendezésben megy végbe. Mivel nagy hőteljesítményt kell elvonni (a tüzelőanyaggal bevitt hőteljesítmény 50-65 %-át), és a környezetet csak meghatározott mértékben lehet felmelegíteni, ezért a gőz kondenzációjához nagy mennyiségű hűtővizet vagy levegőt kell áramoltatni.

A hűtőközeg alapján lehet:

- frissvíz-hűtésű (folyó, tó, tenger),
- léghűtésű hűtőtornyos (nedves és száraz) erőmű.

A frissvíz-hűtésű erőműveknél a folyóból, tóból, tengerből akkora tömegáramú vizet kell kivenni, hogy a hűtővíz felmelegedése ne haladja meg a  $8-10\ ^\circ\text{C}$ -ot,



3.7 ábra. Vízű hűtésű felületi kondenzátor

veszélyeztetve ezzel a folyó élővilágát (hőszennyezés) az oxigén-tartalom csökkenése miatt (Paksi Atomerőmű) (3.7.sz. ábra)

A hazai vizsgálatok alapján a hőerőműveinkből kikerülő csóva 80-100 km hossz után megszűnik (elkeveredve visszahűl a folyóvíz hőmérsékletére). Télen ez a felmelegedés kedvező, nyáron előfordult, hogy az erőmű villamosenergia-termelését korlátozzák a blokkok leállításával.

Hűtőtornyoknál a levegő hűti le a hűtővizet: nedves tornyoknál közvetlenül érintkezve a hűtővízzel, száraz tornyoknál (keverőkondenzátorral, Heller-Forgó rendszer) jó hővezető-képességű, alumínium hőcserélőben történik a belül áramló hűtővíz lehűtése a kívül áramló levegővel. Ha nem áll rendelkezésre elegendő hűtővíz, akkor nagyobb vízmennyiséggel a nedves, kisebb vízmennyiséggel a száraz hűtőtornyot választják. Újabban száraz hűtőtornyokban kondenzálódik a gőz.

c, Turbinák és a turbina meghajtás anyagai (vízgőz, égő, gáz, olajgőz, nemesgáz)

A gőzturbina általában a túlhevített vízgőz hőenergiáját alakítja át mechanikai forgási energiává. A gőzturbina hőerőgép. Nagyon fontos jellemzője a jó teljesítmény/súly arány. A gőzturbina a dugattyús gőzgéphez viszonyítva sokkal egyszerűbb konstrukció, nem tartalmaz ide-oda mozgó alkatrészeket a forgó mozgás előállításához. Az is előnye, hogy a hőenergiát több fokozatban képes átalakítani mechanikai energiává, ezzel az erőmű összehatásfokát is javítja.

d, A gőzturbina működési elve

Egy tipikus gőzturbinában a nagynyomású és nagy hőmérsékletű gőzt fűvókákon átvezetve felgyorsítják (ez akár szuperszonikus sebesség is lehet). A gőzárám a forgórészre sugárirányban felerősített hajlított lapátokra, a futólapátokra jut, ezáltal megforgatja a forgórészt. Ennek során veszít energiájából, csökken a nyomása és a hőmérséklete. A futólapátok által eltérített gőzárámot az álló részbe erősített álló terelő-lapátokkal visszafordítják és rávezetik a következő sor futólapátra, majd ez folytatódik addig, amíg a gőz hőmérséklete csaknem eléri a környezet hőmérsékletét. Ezen a hőmérsékleten a gőz nyomása sokkal kisebb az atmoszférikus nyomásnál, így a turbina utolsó fokozataiban nem is lehet elhelyezni, ezért két-három forgórész között osztják el.

A gőzturbinák szabályozása a szabályozószelepekkel történik. A szabályozószelepek kialakítása olyan, hogy finoman lehessen változtatni a turbinába beömlő gőz mennyiségét. A szabályozószelepek nyitását fordulatszám szabályozó vezérli, amíg a turbina önállóan üzemel. Erőműi turbináknál a turbina után kapcsolt generátort rákapcsolják a villamos hálózatra, és az ún. párhuzamos kapcsolás után a turbina fordulatszámát a villamos hálózat frekvenciája szabja meg. Ha valamilyen üzemzavar miatt a generátorterhelés nélkül marad, a turbina felesleges többleteljesítménye gyorsítani kezdi a turbina és generátor forgórészét, ekkor a fordulatszám szabályozónak kell meggátolni, hogy a rendszer veszélyesen felgyorsuljon.

- A gőzturbina segédberendezései:

A forgórészek siklócsapágyakban forognak. Nagyon fontos az olajos kenőrendszer. Ez nagy olajtartályból, szivattyúból és szűrőkből, valamint olajhűtőkből áll. Az olaj hűtésére nagy szükség van, mivel a forgórész forró gőzben forog, az olaj is nagyon felmelegedhet.

- A gőzturbinák fajtái:

- A kondenzációs turbinák azok a gépek, melyek az együttműködő villamos rendszer fő terhelését fedezik.
- Az ellennyomású turbinákból kilépő gőz nagyobb nyomáson és hőmérsékleten távozik, ipari hőcserélők fűtésére használják. Ezek teljesítményét nem a villamos energia igény szabja meg, hanem az ipari fogyasztó hőigénye.
- Az elvételes turbinák gőzének egy részét magasabb nyomáson ipari fogyasztókhoz viszik, ezek ugyancsak nem dolgozhatnak önállóan.
- A fűtőturbinák kiömlő gőzét egy hőcserélőbe vezetik, amely a távfűtés vizét melegíti fel, amely azután lakások, és egyéb épületek fűtését szolgálja.

- Generátor

A turbinával együtt forgó generátor percenként 3000 fordulatot tesz meg, azaz másodpercenként ötvenet fordul. A generátorban egy elektromágnezt forgatnak körbe ezzel a rendkívül nagy sebességgel. Az indukció révén itt keletkezik az állórészben lévő 3 tekercs-párban a háromfázisú váltakozó áram. Ennek a feszültsége 10 500 V. A turbógenerátor nagyjából egy tanterem méretű, rendkívül pontosan elkészített berendezés. Minden, ami az erőműben történik, a generátort szolgálja ki.

### 3.5. Atomerőművek

Az atomerőművek a bomlási (hasadási) magreakció fisszió energiájával fűtött hőerőművek.

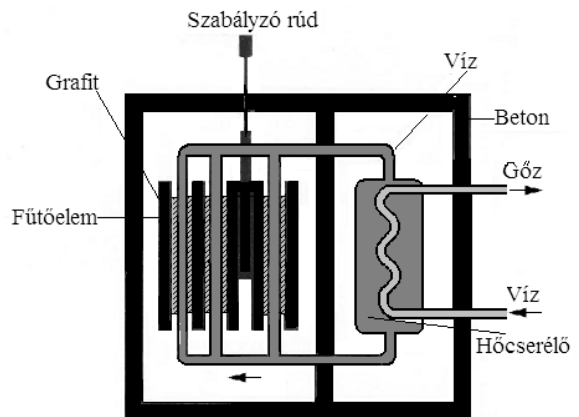
A hagyományos hőerőművek kazánjában lezajló égés helyett, a reaktorban lezajló folyamatok termelik az energiát, amellyel a vizet gőzzé alakítják, s a gőz (hasonlóan, mint a hőerőművekben) a turbógenerátorokat meghajtva villamos energiát termel.

A ma működő atomerőművek többségében a 235-ös uránizotóp hasadásának energiáját hasznosítják.

Ma az erőművek fűtőanyaga urán-dioxid, vagy urán-karbid pasztillák formájában kerül a reaktorba. Egy-egy ilyen pasztilla mintegy ceruzaelem méretű, melyből több millió szükséges egy átlagos erőművi reaktor működtetéséhez.

A pasztillákat speciális cirkónium-ón-krómnikkel-vas ötvözetekből készült csövekbe töltik, melyeket nyalábokba összefogva helyeznek el a reaktorba.

A maghasadási láncreakció szabályozásához szükség van neutronelnyelő anyagra. Ez általában a kadmium és a bór. Ezekből szabályzó rudak készülnek, melyek benyúlnak a fűtőelem-kötegek közé. A szabályzó rudak fel-le történő mozgatásával a reakció szabályozható. Ha a szabályzó rudakat teljesen leeresztjük a fűtőelemek közé, a folyamat leáll.



3.8 ábra. Csatorna típusú reaktor

Mivel az urán hasadási reakcióban egy neutron általában két vagy három neutronot vált ki, a szabályozó rudak beállításával kell elérni, hogy a neutron által kiváltott hasadás statisztikai értelemben mindig csak egy újabb bomlást kiváltó neutron eredményezzen, azaz a folyamat a kívánt szinten állandósuljon.

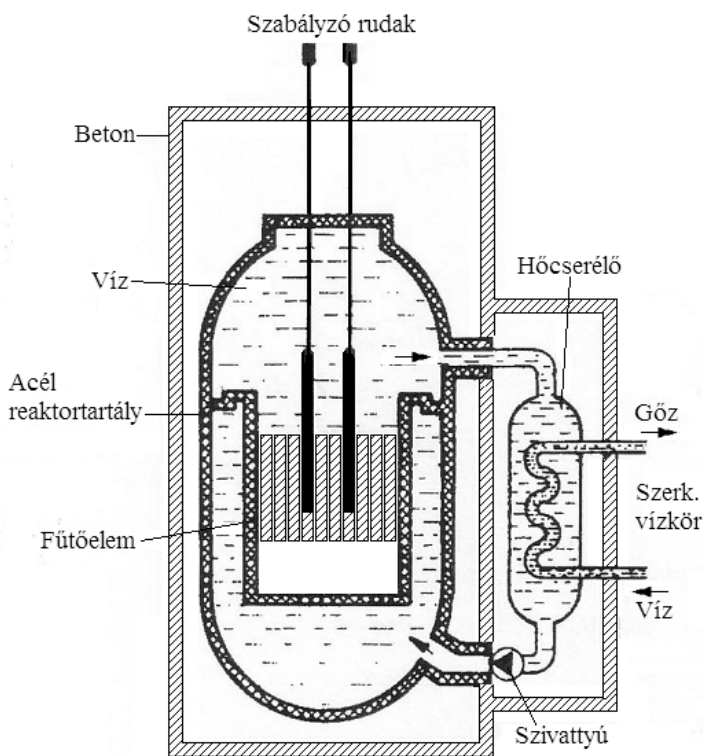
A láncreakció kiváltására és fenntartására csak a kis energiájú ún. termikus neutronok alkalmasak, viszont a folyamat, a hasadások nagy energiájú gyors neutronokat szolgáltatnak, tehát a gyors neutronokat termikus sebességre kell lefékezni. Ezt valósítja meg a moderátor közeg (lassító közeg).

Moderátornak olyan anyag alkalmas, amelyiknek kis tömegű az atommagja, ugyanis ha gyors neutron kis tömegű atommagba ütközik, energiájának egy részét leadja, s sorozatos ütközések (energia-leadások) révén termikus neutronná válik.

Leggyakoribb moderátorközégek : a közönséges víz, a nehézvíz és a grafit.

A víznek hátránya, hogy hidrogénje sok neutron befog és deutériummá alakul. Nehézvizet viszonylag ritkán használnak, a grafit hátránya pedig az, hogy atommagja lényegesen nagyobb a vizénél, tehát lassító hatása is rosszabb. Az atomerőműveknek sok típusa ismeretes, így csak a legfontosabbak közül mutatunk be néhányat.

### 3.5.1. Csatorna típusú reaktor



3.9 ábra. Nyomottvízes reaktor

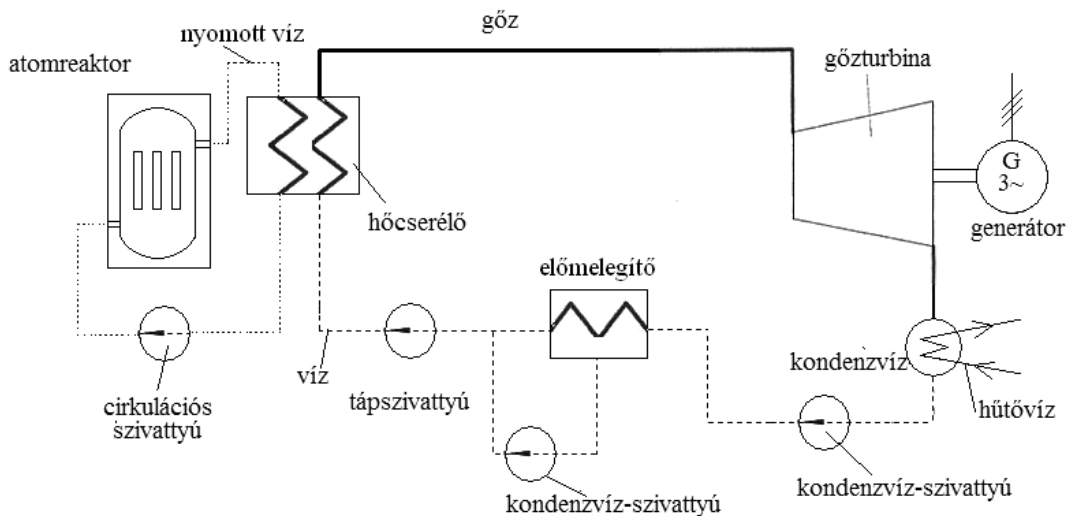
A (3.8. sz. ábrán) látható csatorna típusú reaktorban a grafitmoderátorokon keresztül csatornák futnak, melyekben a nagy nyomású hűtővíz kering.

A vízvezeték csövek, és a grafit mag közötti rész erősen dúsított uránnal van feltöltve.

### 3.5.2. Nyomottvízes reaktor

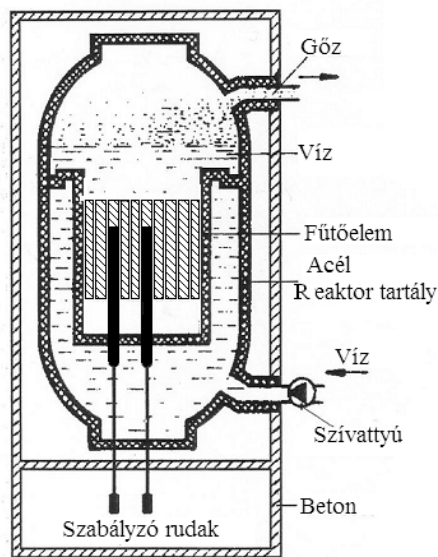
A nyomottvízes reaktorban a víz moderátor és hűtőközeg egyaránt. Az egész reaktort vízzel feltöltik és a nagy nyomású víz szabadon ke-

ring a fűtőelemek között (3.9. sz. ábra). Az erőmű sémája a (3.10. sz. ábrán) látható. PWR (Pressurized Water Reactor) reaktorok, vagyis a nyomottvizes reaktorokban a felmelegítés során a hűtőközeg mindvégig folyadékfázisban marad. Ebben az esetben a víz moderációs jellemzői gyakorlatilag nem változnak, mivel a víz sűrűsége közel állandónak tekinthető.



3.10 ábra. Nyomottvizes atomerőmű vázlatja

A nyomottvizes reaktorok aktív zónájának felépítése egyszerű és kompakt. Dúsított urán alkalmazása következtében az üzemanyagot urán-oxid formájában lehet beépíteni. Az üzemanyagrudak átmérője kisebb (6...9 mm), mint a gázhűtésű reaktoroké. Az üzemanyagrudak közötti viszonylag kis térben áramlik a hűtőközeg, ami egyúttal moderátor is. A kompakt felépítés az aktív zónában nagy fajlagos térfogati hőteljesítményt eredményez. Azonos hőteljesítmény mellett tehát az aktív zóna térfogata jóval kisebb, mint a gázhűtésű reaktoroknál, ill. elérhetővé vált igen nagy, 1000 MW és ennél nagyobb villamos teljesítményű reaktorok építése is. Az üzemanyagrud nagy felületi hőteljesítményének elvonását a nyomott víz hőátadásai tényezője lehetővé teszi. Nyomottvizes reaktorokban a hűtővíz



3.11 ábra. Forralóvizes reaktor felépítése

hőmérséklete átlagosan  $\Delta T_H = 30...50$  °C-szal emelkedik, kilépő hőmérséklete  $T_{ki} = 300...320$  °C-ot éri el. Az elgőzölgés biztonságos megakadályozása érdekében a hűtőközeg nyomása  $p_r = 120...160$  bar.

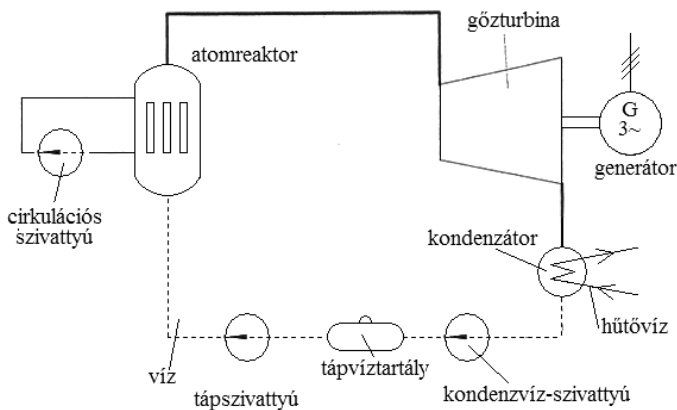
A rektorból kilépő forró vízből a gőzfejlesztőben csak  $p_1 = 40...70$  bar nyomású telített gőzt lehet termelni, amit telítettgőz-körfolyamatú atomerőműben hasznosíthatunk. A mérséklet paraméterű atomerőmű hatásfoka  $\eta = 0,3$ .

### 3.5.3. Forralóvízes reaktor

A forralóvízes reaktorban a víz közvetlenül a tartályban forr, a keletkezett gőz egyenesen a turbinákra áramlik, majd a kondenzátorból kikerülő vizet a tápszivattyú visszajuttatja a reaktorba (3.11. sz. ábra).

BWR (Boiling Water Reactor) reaktorok. Elgőzölögtető reaktorok felépítése sok tekintetben azonos a nyomottvízes reaktorokéval. Lényeges különbség, hogy a hűtővíz bizonyos mértékű elgőzölgését a reaktorcsatornában megengedjük, a reaktorból gőz-víz keverék lép ki. Elgőzölögtetés során változnak a víz moderációs jellemzői, s ez korlátozza az elgőzölögtetés megengedett mértékét.

Az elgőzölgés lehetővé tétele érdekében a hűtőközeg nyomása az elgőzölgés hőmérsékletéhez tartozó telítési nyomás, szokásos értéke  $60...70$  bar. Elgőzölögtető reaktoroknál a reaktortartályt ill. a hűtőcsatornát erre a nyomásra kell méretezni, ami lényegesen kisebb, mint a nyomottvízes reaktoroknál szükséges nyomás. Az elgőzölögtető reaktorban viszont a fajlagos térfogati hőteljesítmény kisebb, a honos hőteljesítménynél pedig az aktív zóna térfogata nagyobb, mint a nyomottvízes



3.12. ábra. Forralóvízes atomerőmű vázlatja

reaktoroknál. A kisebb nyomás és valamivel nagyobb átmérőjű aktív zóna végeredményében csökkenti az acéltartály falvastagságát a nyomottvízes reaktorokhoz képest. A forralóvízes atomreaktor teljes felépítése a (3.12. sz. ábrán) átható. A forralóvízes atomreaktorok lehetnek továbbá egy és kétkörűek

aszerint, hogy hány hőcserélőn át történik a hőátadás (3.13. és 3.14. sz. ábrák).

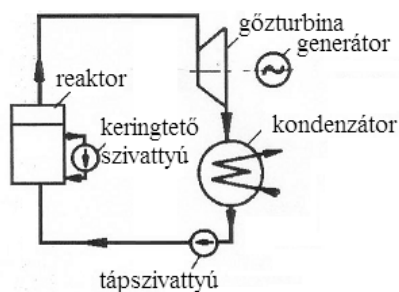


### 3.5.4. Szaporító reaktorok

Az atomreaktorok második generációjába az ún. szaporító reaktorok tartoznak. (Az első generációs reaktorok dúsított urán 235-tel, vagy plutónium 239-cel működnek) A szaporító reaktorok működése azon alapszik, hogy nem a természetes uránba csak igen kis százalékban (0,7%) előforduló 235-ös uránizotópot használják, hanem a mesterségesen előállított hasadó izotópokat.

A cél az, hogy a szaporító reaktorokban több plutónium képződjék, mint amennyi az elhasználódott urán. Ezért lehetőleg minél több neutronot kell bevinni az urán 238-ba anélkül, hogy ez a láncreakció lefolyását lényegesen megzavarná. Mivel az uránizotóp a gyors neutronokat rendkívül könnyen elnyeli a moderátorra sincs szükség.

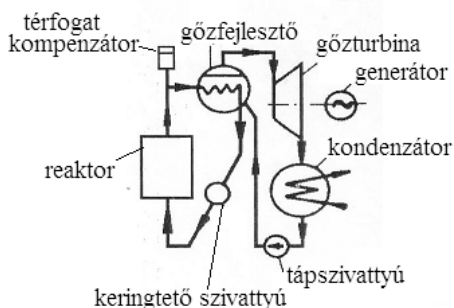
A szaporító reaktorok így több hasadóanyagot hoznak létre, mint amennyit felhasználnak. Azt az időtartamot mely alatt a reaktor a kezdeti fűtőanyag-mennyiséget megduplázza kétszeresési időnek nevezzük. Moderátorközeg hiányában a neutronok könnyen „megszökhetnének”, ezt azzal akadályozzák meg, hogy az urán 238-as izotópot ún. tenyészköpenyként (szaporító zóna) a reaktor magja köré építik.



3.13 ábra. Egykörös atomerőmű

### 3.5.5. HTGR (High-Temperature, Gas cooled Reactor) – reaktorok.

A gázhűtésű reaktorok harmadik generációjának fejlesztése során olyan magas hőmérsékletű reaktorokat kívánnak megvalósítani, amelyek hűtőközege



3.14 ábra. Kétkörös atomerőmű

- Egyrészt közvetlenül gázturbinába vezethető, azaz egyszerűbb felépítésű egykörös atomerőmű megvalósítását teszi lehetővé, amelynél a reaktor hűtőközege egyben a gázturbina munkaközege is
- Másrészt felhasználható technológiai folyamatok, pl. szénelgázosítás magas hőmérsékletű hőigényének fedezésére.

A nagyhőmérsékletű gázhűtésű reaktoroknál a fémes szerkezeti anyagokat el kell hagyni, szerkezeti anyagként (az üzemanyag burkolataként) megfelelő tömörségű grafitot alkalmaznak. Változik az üzemanyagelem felépítése, a rúd alakú üzemanyagelemek helyett a már megépített kísérleti reaktorban pl. mintegy 6 cm átmérőjű üzemanyag golyókat alkalmaztak. A grafit burkolat hosszabb besugárzást tesz lehetővé, mint a fémek. Ezért a grafitba nemcsak hasadó

izotópokat, hanem tenyésanyagokat is beágyaznak, ami a kiégetési szint jelentős növelését eredményezi.

A tervezett magas hőmérsékleten a széndioxid már nem alkalmas hűtőközeg, mivel a grafitral reakcióba lép. Helyette héliumot választottak.

A nagyhőmérsékletű gázhűtésű reaktorok fejlesztését az is motiválja, hogy a gázhűtésű reaktorok újra visszaszerezzék gazdasági versenyképességüket, amit az első két generáció a vízű reaktorokkal szemben gyakorlatilag elveszített.

### **3.5.6. Golyós reaktor**

A golyós reaktorok fűtőelemei 10 mm falvastagságú, 60 mm átmérőjű grafitgolyók, amelyek 0,5 mm átmérőjű apró urán-karbid golyócskákkal vannak megtöltve, tehát egy ilyen nagy golyó a fűtőelemet és a moderátorközeget egyaránt tartalmazza. Üzemelés közben a reaktorban több tízezer ilyen golyó van. A hűtőközeg hélium, melynek előnyös tulajdonsága, hogy nem válik radioaktívá.

A golyós reaktorban a golyók egy lassú körfolyamatban vesznek részt, a tartály alján elhagyják a reaktort, s automatikusan egy osztályozóba kerülnek, ahonnan a még üzemképes golyók visszakerülnek a reaktorba, s így a más típusoknál hosszú állásidőt jelentő üzemanyagcserék elmaradnak.

A golyós reaktornak további előnye, hogy a hagyományos típusúaknál magasabb (800-900C) hőmérséklet állatható elő bennük, valamint az, hogy miután egy-egy golyó három-hat alkalommal megy végig a reaktoron, ez a többi típusnál jobb kiegészítet tesz lehetővé.

### **3.6. Vízierőművek**

A vízierőművek a hőerőművektől eltérően állandó újratermelődő energiát használnak fel. A vízierőmű csak arra alkalmas helyre telepíthető, vagy minden esetben hozzá kell igazítani az energiafelhasználók létesítését.

Előnyei:

- Olcsó villamosenergia-előállítás, nincs szükség energiabefektetésre, az üzemeltetéshez kislétszámú személyzet is elegendő
- A duzzasztást kihasználhatja a mezőgazdaság
- A hajózási feltételek javulhatnak
- A duzzasztógáták sok esetben kis ráfordítással közúti hídként is szolgálhat
- Gyors indíthatóság

Hátrányai:

- Gátszakadás esetén nagy árhullám alakulhat ki
- A duzzasztás hatására a vízszintemelkedés megváltoztatja a már kialakult talajvízszintet, ez károsan hat a környezetre és a már megépült létesítményekre
- A szennyvízelvezetést folyamatosan üzemelő szivattyúkkal kell megoldani a környező településeken
- A csúcsrajáratásnál jelentkező állandó vízszintingadozás tönkreteszi a partot
- A zsilipelés miatt drágább és lassúbb lesz a hajózás

### 3.6.1. Vízierőművek osztályozása

A hasznosítható esés szerint

- Kis esésű vízierőmű

Esés: <15m

Vízhozam: nagy

Felhasználás: alaperőmű (teljesítmény kihasználás >50%)

Beépített turbinák: Kaplan-turbina, keresztáramú turbina, mint például a Bánki-turbina

- Közepes esésű vízierőmű

Esés: 15-50 m

Vízhozam: közepes-nagy

Felhasználás: alaperőmű, közepes kihasználás (30-50%)

Beépített turbinák: Francis-turbina, Kaplan-turbina, keresztáramú turbina

- Nagy esésű vízierőmű

Esés: 50-2000m

Vízhozam: kicsi

Felhasználás: csúcserőmű (kihasználás <30 %)

Beépített turbinák: Francis-turbina, Pelton-turbina

Beépítés szerint

- Folyóvizes erőmű Folyóra vagy patakra telepített elektromos energiát előállító vízierőmű

- Tározós erőmű (csúcserőmű) Magasan fekvő víztározóba kis vízhozamú folyó vizét felduzzasztják és csak a villamos energia fogyasztási csúcsokon helyezik üzembe a vízturbinát.

- Szivattyús-tározós erőmű Az alacsonyabb szinten lévő folyóból (tározóból) egy magasabban fekvő tározóba szivattyúzzák fel a vizet olcsó elektromos energia felhasználásával (csúcsidőn kívül), és csúcsidőben magas áron értékesíthető elektromos energiát termelnek a felső tározóból az alsóba vízturbinán keresztül áramoltatott tárolt vízzel.

- Földalatti erőmű. Nagy esésű vízierőműveket, melyek üzemvíz csatornáját is alagutakban vezetik, az egész gépházat föld alá telepítik.

- Árapály erőmű A tenger árapályjelenségéből adódó vízszintkülönbségek hasznosítására telepített speciális vízi erőmű.

- Hullámerőmű A tenger hullámzásának energiáját hasznosítható erőmű

- Tengeráramlat erőmű kísérleti jelleggel épített erőmű erős tengeráramlatok kinetikus energiájának hasznosítására.

### 3.6.2. Turbinák fogalma és típusai

Víziturbina minden olyan erőgép, amely a folyadék munkavégző képességét járókerék forgatásával mechanikai munkává alakítja. A víz a felvízből egy nyomócsövön keresztül lép be a turbinába annak nyomócsőnkjén keresztül. A turbina járókerekén,

energiáját átadva mechanikai energiát közöl a járókerékkel, majd a szívócsövön keresztül az alvízbe ömlik.

A turbinák járókeretein átáramló folyadék iránya szerint lehetnek radiális, axiális és félaxiális kialakításúak.

Attól függően, hogy járókeréken való átáramláskor a víz nyomása megváltozik, vagy sem lehet beszélni reakciós ill. akciós turbinákról. Reakciós turbina például a Francis-turbina és a Kaplan-turbina, akciós a Pelton- és a Bánki-turbina.

Napjainkban az erőműveknél leggyakrabban a Francis turbinát alkalmazzák. Itt a víz nyomócsonton keresztül a támlapátokkal merevített csigaházban körbehalad a turbina kerületén, majd a szabályozás céljából állítható vezető-lapátkoszorún keresztül áramlik a járókerékre. A járókerék hajtja a vele közös tengelyre szerelt villamos generátort. A víz a szívócsövön keresztül áramlik a szabadba. A víz a járókerékre radiális irányban lép be és axiális irányba lép ki. A Francis-turbina a közepes esésű és közepes vízhozamú vízierőművek turbinája. Fordulatszama 60-450 (1/min) lehet. A turbina járókerékének az alakja függ a fordulatszámától. Megkülönböztetünk lassú járású ( $n=60-125$ ), normál járású ( $n=125-225$ ) és gyors járású ( $n=225-450$ ) járókereket.

A Bánki-turbina egy kétszeres átömlésű szabadsugár turbina. Dob alakú járókerékben két tárcsa között köríves (hengerfelületű) lapátok vannak. A vízszög a szabályozó nyelvvel ellátott vezetőcsatornából, vagy vízszintesen, vagy függőlegesen a járókerék külső palástján lép be a lapátok közé, majd a lapátokon túljutva belülről újból átömlik a lapátkoszorún. Elsősorban törpe vízierőművekben alkalmazzák.

A Pelton turbinát 1880-ban szabadalmaztatta Lester Pelton. A turbinát a californiai gyorsfolyású hegyi folyókra tervezte, így a nagy esésű, kis vízhozamú vízierőművekben alkalmazzák. A nyomócsövön érkező víz a szabályozótűvel ellátott sugárcsőből nagynyomáson lép ki a járókerék kettős kanalaiba. Fordulatszama egy sugárcsőből nagynyomáson lép ki a járókerék kettős kanalaiba. Fordulatszama egy sugárcsővel 4-30 (1/min), több sugárcsővel 30-70(1/min) is lehet. A vízhozamot a szabályozótű előre vagy hátra mozgatásával ill. a sugárlevágóval lehet szabályozni. E kettős szabályozással elkerülhetők a hosszú nyomóvezetékben kialakult nyomáslengések.

Az ún. szárnylapátos vízturbinákra jellemző a nagy fordulatszám és az axiális átömlés. Elnevezésük onnan ered, hogy a járókerék lapátok a szárnyelmélet alapján méretezett profilokból vannak kialakítva. Három típusát különböztetjük meg:

A Kaplan-turbinának mind a járókerék, mind a vezetőkerék-lapátjai állíthatóak. Összehangolt állításukkal elérhető, hogy a turbina nagy eséstartományokban jó hatásfokkal tudjon dolgozni. A víz a beton csigaházban a támlapátokon és a vezetőkerék állítható lapátjain keresztül -90-os irány elérést követően – tengelyirányban érkezik a szintén állítható lapátú járókerékre, majd egy könyökszerű szívócsövön át jut az alvízbe.

A propeller-turbinának csak a vezetőkeréke állítható, a járókerékei fixen vannak az agyba erősítve. Jó hatásfokkal csak állandó esés és vízhozam esetén üzemeltethető.

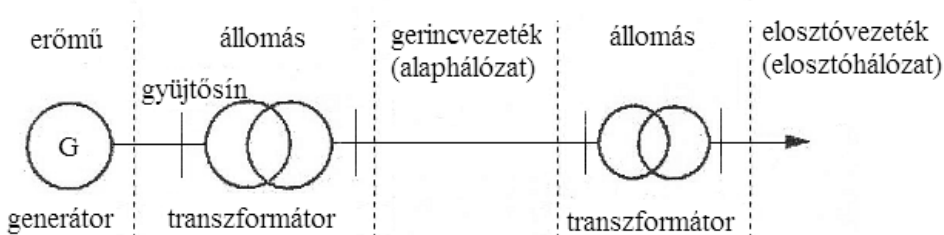
A Thomann-turbinának csak a járókerék lapátjai állíthatók. Hatásfokgörbéje laposabb, mint a propeller turbináé, de a Kaplan-turbináénál kedvezőtlenebb.

A csőturbinát kis vízierőművekben alkalmazzák. A víz itt szinte irányváltoztatás nélkül halad át a turbinán, ezért a hidraulikai hatásfoka jobb, mint a Kaplan turbináé. Előnyei a Kaplan-turbinával szemben: azonos járókerék átmérő mellett nagyobb vízhozam és fordulatszám. Azonos vízhozamnál kisebb főméretek kisebb hidraulikus veszteségek. Hátrányai: Nehézkes ellenőrzés, korlátozott egységteljesítmény.

Láthatjuk tehát, hogy a Pelton kereket nagy esésnél, a Bánki- és a Francis-turbinát közepes esésnél, alacsony esésnél pedig a Kaplan-, Propeller-, Thomman-turbinákat ill. a csőturbinát alkalmazzák. Azonban az esés nem az egyetlen tényező amely meghatározza, hogy mikor melyik típus a legmegfelelőbb. A különböző turbináknál fontos paraméter a specifikus sebesség ( $N_s$ ), amely összefüggésben van a ( $P\{kw\}$ )teljesítménnyel. Ami számunkra elsődleges, hogy adott paraméterek mellett mindig olyan turbinát alkalmazzunk, amely a leghatékonyabban dolgozik és így a legtöbb energiát termeli.

## 4. Fejezet Villamosenergia-hálózatok

### 4.1. Bevezetés



4.1 ábra. Energia áramlásának iránya

A villamos energia útja az erőműtől a fogyasztóig a (4.1 számú ábrán) látható vázlatosan. Az erőművek generátorai 6-18 kV nagyságú feszültséget állítanak elő. Ez a feszültség még nem megfelelő a nagyobb távolságokhoz szükséges energiaátvitelre, ezért a generátorok feszültségét még a helyszínen feltranszformálják a szállításhoz megfelelő értékűre. Ez lehet 35, 120, 220, 330, 400 és 700 kV. A feszültséget a távolság és az átviteli teljesítmény határozza meg.

Az erőművek transzformátorai táplálják az alaphálózatot. Az alaphálózat feszültsége 220, 330 (Oroszországban), 400 vagy 750 kV (régiben Magyarországon 120 kV volt). Az alaphálózat látja el a jelentősebb csomópontokban lévő transzformátor állomásokat. Ezek az állomások látják el a főelosztó- és elosztóhálózatokat. A főelosztó hálózat feszültsége 120 vagy 220 kV, az elosztóhálózatoké pedig 10, 20 és 35 kV. A főelosztó hálózathoz kapcsolódnak a nagy ipari üzemek is. Az elosztóhálózathoz csatlakoznak a kisebb ipari fogyasztók és a fogyasztói transzformátorállomások, amelyek a kisműködésű elosztóhálózatot táplálják. A kisműködésű elosztóhálózat látja el a kisműködésű fogyasztókat és a kisebb üzemeket energiával, valamint erről a hálózatról üzemel a közvilágítás is. A kisműködésű elosztóhálózat 0,4 kV-os ( $3 \times 400/230$  V).

A villamos energiát hálózatokon keresztül szállítják a termelőtől a fogyasztóig. A hálózatok lényegében vezetékek, amelyek csomópontokat kötnek össze, vagy egy fogyasztót látnak el. A hálózatokat gyűjtősínnek, szabadvezetékek és kábelek alkotják. A hálózatokat csoportosíthatjuk rendeltetésük, feszültségük és alakzatuk szerint. A villamos hálózatok frekvenciája általában 50 Hz, viszont Amerikában a 60Hz terjedt el.

A villamos hálózatokkal valósítják meg az erőművek együtt működését, a termelt energia országon belüli elosztását, valamint az egyes országok villamosenergia-rendszerei közötti kapcsolatot, azaz együttműködést (kooperációt). A villamos energia előállítására, átvitelére és elosztására szolgáló berendezések összességét villamos

műveknek nevezzük, ezek együttműködő rendszerét pedig villamos-energia rendszernek.

A hálózatok szabványos feszültségei: törpefeszültségű hálózat: 50V alatt, kisfeszültségű hálózat: 0,4 kV ( 3×400/230V), ipari üzemek belső elosztóhálózata: 1,6,10,20 kV, elosztóhálózat: 10,20,35 kV , főelosztó hálózat: 120, 220,330 kV, országos alaphálózat: 330, 400, 750 kV, nemzetközi kooperációs hálózat: 120, 220, 400, 750 kV.

A hálózatokat különböző csoportokba sorolhatjuk aszerint, hogy milyen célból létesítették őket. A rendeltetés szerinti csoportosítás áttekinthető képe a (4.2 ábrán) látható.

Alaphálózat

azon hálózatok

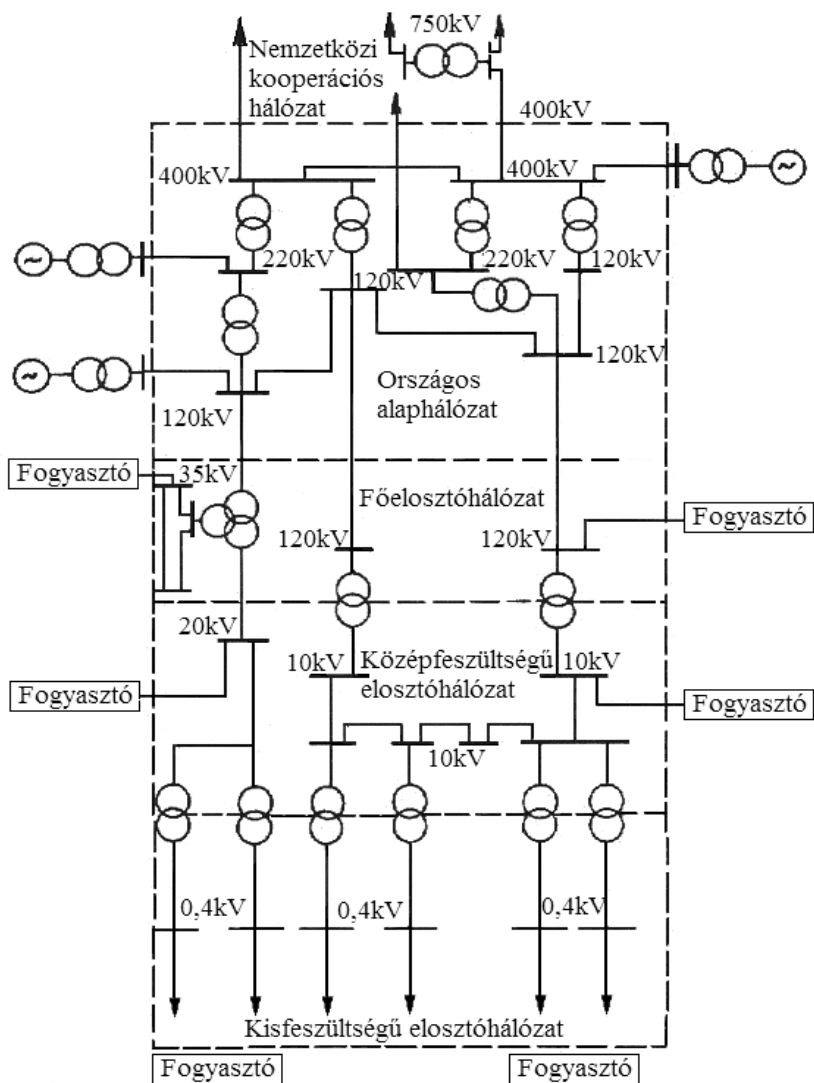
össességét értjük, amelyek az erőművekben termelt villamos energia összegyűjtésére az erőművek együttműködésére, valamint az összegyűjtött

energiának a nagy fogyasztói súlypontokba szállítására szolgálnak.

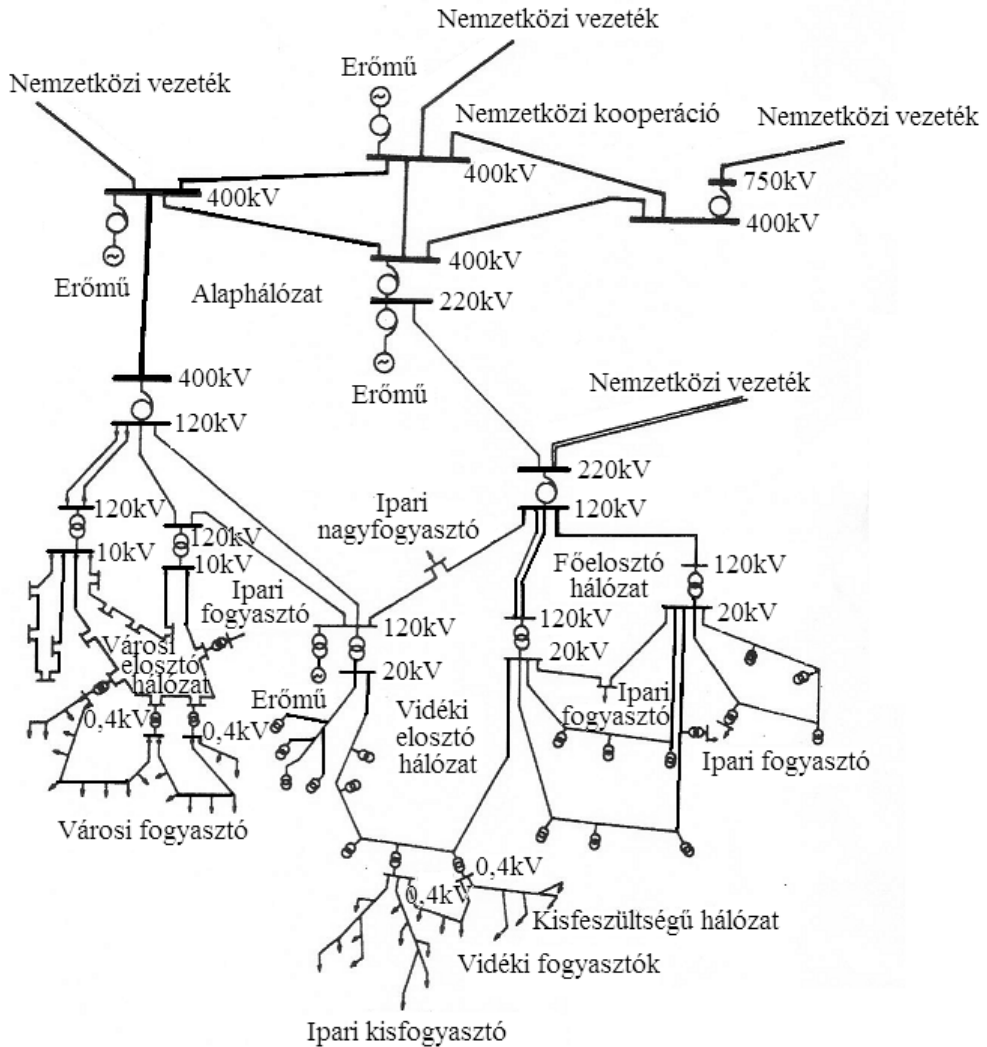
Ezek a hálózatok alkotják az országos villamosenergia-rendszer gerincét.

Nemzetközi kooperációs hálózaton azokat a hálózatokat értjük,

amelyek a szomszédos országok alaphálózatait



4.2 ábra. Hálózat csoportosítása



4.3 ábra. Országos villamos elosztó hálózat

kötik össze. A nemzetközi kooperációs villamosenergia-import illetve –export céljára szolgálnak.

Főelosztó hálózaton azon hálózatokat értjük, amelyek feladata a villamos energia szállítása az alaphálózati csomópontokból az elosztóhálózat táppontjaiba.

Elosztóhálózatnak nevezzük azokat a közép feszültségű (10-35 kV) hálózatokat, amelyek a főelosztó hálózatból táplált transzformátorállomásokot kötik össze a fogyasztói transzformátorállomásokkal vagy a közép feszültségű fogyasztókkal.

Fogyasztói elosztóhálózatnak nevezzük azokat a kisfeszültségű hálózatokat, amelyek a fogyasztók közvetlen ellátására szolgálnak.



## 4.2. Országos villamos energiaellátó rendszer

### 4.2.1. Az energiaellátás elvi kérdései, felépítése

A közhasznú villamos energia ellátás rendszerét az alábbi fő részekre tagolhatjuk: erőművek, nemzetközi kooperációs hálózat, országos alaphálózat, főelosztó hálózat, elosztó hálózat, kisfeszültségű hálózat.

Az erőművek a természetben fellelhető úgynevezett primer energiahordozók energiáját egy vagy több lépésben átalakítják forgó mozgássá és ez a forgó mozgás hajtja azokat a generátorokat, melyek végső soron a villamos energiát számunkra szolgáltatják. A legáltalánosabban ismert erőművek a hő, víz és atomerőművek, melyek nevüket az általuk felhasznált primer energiahordozókról nyerték. A nemzetközi kooperációs hálózat a szomszédos országok alaphálózatai között létesít kapcsolatot és a nemzetközi egyezményeken rögzített feltételek alapján szolgál az energia exportálására illetve importálásra. Hazánkban ez a hálózat 400 kV és 220 kV-os szinteken került kialakításra.

Az országos alaphálózat az erőművek által megtermelt energiát összegyűjti, megteremti a kapcsolatot a nemzetközi kooperációs hálózat és a hazai energiatermelés között és gondoskodik arról, hogy az ország fogyasztói súlypontjaiba eljuttassa a kívánt mennyiségű villamos energiát. A hálózat 400 kV, 200 kV és 120 kV-os feszültség szintekkel rendelkezik. A főelosztó hálózat feladata az, hogy az alaphálózat megfelelő szétesztásáról gondoskadjon az esetleges rákapcsolódó erőmű energiáját fogadja és gondoskadjon a gazdaságos energiaelosztásról. E hálózat feszültség szintje 120 kV.

Elosztó hálózatnak nevezzük az olyan vezetékek összességét melyek feszültség szintje 35 kV, 20 kV vagy 10 kV-os és táptranzformátoruk primer oldala a főelosztói 120 kV-os hálózatra csatlakozik.

A kisfeszültségű hálózat a városi, vidéki háztartások, ipari kiefogyasztók táplálására kiépített hálózat összefoglaló megnevezése, melynek névleges feszültség szintje 0,4 kV (3x380/220V).

A (4.3 ábrán) az országos energiaellátás elvi felépítését követhetjük végig. Az ábra tartalmazza a városi és vidéki (10 kV, 20 kV) elosztóhálózatok között fellelhető különbségeket és az előbb említett fogalmak, meghatározások részletes bemutatására szolgál. A 35 kV-os elosztói hálózat fokozatosan felszámolására kerül, így ezt a változatot az ábrán fel sem tüntettük.

### 4.2.2. Az energiaellátás üzembiztonsága, feszültségtartás

Hazánkban az előző pontban megfogalmazott alaphálózat tervezése, kiépítése az úgynevezett egyszeres hiba elve alapján történik. Ez azt jelenti, hogy egy hiba jelentkezésekor a meghibásodott részek lekapcsolódnak és a hálózat megmaradt részei továbbra is alkalmasak a maximális fogyasztói igénybevételek kielégítésére is. A hálózatok feszültsége még ebben az esetben is a tűrhető határértékek között marad. Több elem egyidejű meghibásodása, illetve egy-egy karbantartás feszültség

kimaradással jár. Teljes értékű tartalékkal történő alátámasztás azonban gazdaságtalan lenne. Az elmondottakból adódik, hogy alkalmanként számolni kell a fogyasztói korlátozásokkal. Ez teszi indokolttá egyes energiaellátó rendszerben a SZÜKSÉG és a TARTALÉK energiaellátó hálózatok kiépítését. A közhasznú hálózaton a karbantartás a nyári időszakokra esik, így ebben az időben nagyobb a valószínűsége annak, hogy sor kerül fogyasztói korlátozásokra.

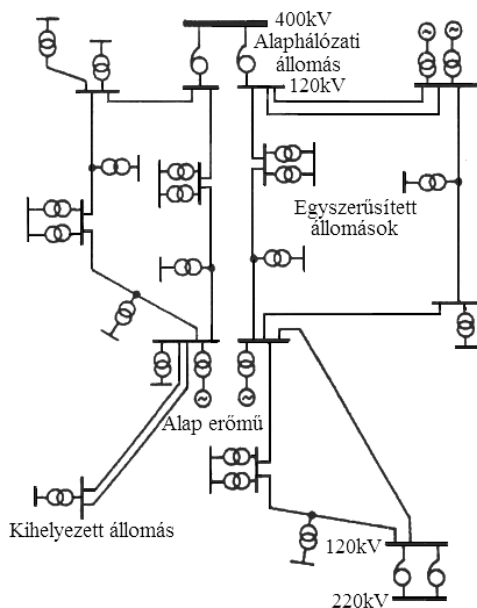
Az országos alap és főelosztói hálózaton 5-10 évenként kell egy-egy hálózat kimaradással számolni. Ez a szám elenyésző. A hálózat alacsonyabb szintjein természetesen megnő a hálózat kimaradások valószínűsége. Minél jobban közelítünk a fogyasztói kifizetésű hálózat felé, annál sűrűbben találkozunk a sugaras táplálási rendszerrel. Így a hálózat kimaradások gyakoriságának növekedését ez a tény is indokolttá teszi. A hálózaton mérhető feszültség értékek a mindenkori terhelési és üzemállapot függvényében változnak. Ez a változás azonban nem léphet túl egy meghatározott értéket.

### 4.2.3. Alap és főelosztói hálózat

A korábbiakban ismertettük az alap és főelosztói hálózattal kapcsolatos fogalmi meghatározásokat. Ebben a fejezetben történő közös tárgyalásukat az indokolja, hogy az első kooperációs célokat szolgáló hálózat 120 kV-os szinten alakult ki. A transzformátor állomások telepítésére az erőművek és az ipari nagyfogyasztók közelében került sor. A 60-as évektől kezdve a hálózat korszerűsítése kapcsán megjelentek az átmenetileg 220 kV-on üzemelő hálózatok, de a cél a 400kV-os alaphálózat általános kiépítése.

Így ma még megtaláljuk a 120kV-os hálózat alap és főelosztói jellegét. A 120kV-os hálózatképet a (4.4. sz. ábrán) tanulmányozhatjuk. Megállapítható, hogy az erőművek nagy száma itt még e 120 kV-os hálózatra kapcsolódik. Az új koncepció, azonban az hogy a 400kV-os hálózat legyen az ország alaphálózata és így az újonnan létesített erőművek, nemzetközi tápkábelek is a 400kV-os szintre dolgozzanak.

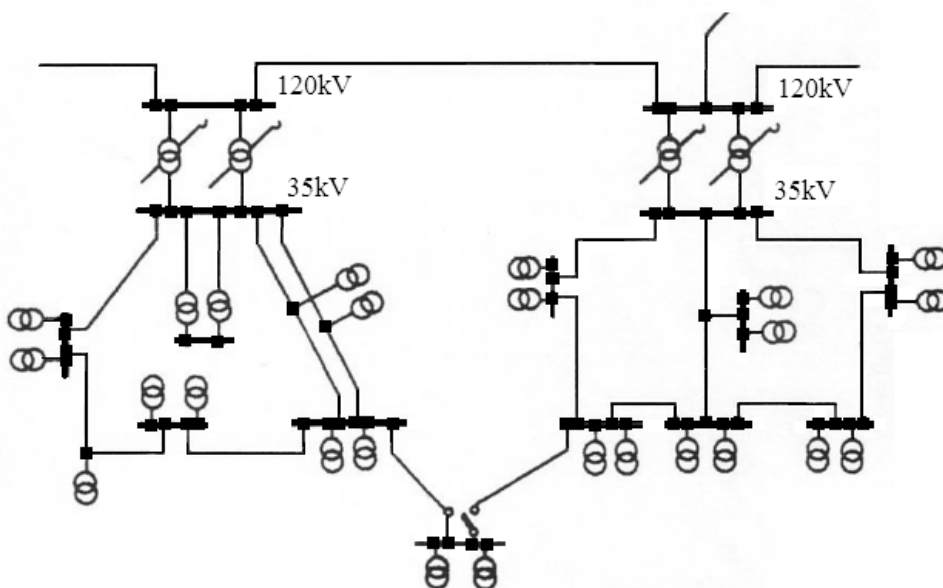
Egyre gyakrabban létesülnek ipari nagyfogyasztói kezelésben üzemeltetett állomások a 120kV-os feszültség szinten. A vasúti felsővezetékű vontatás alállomásai is erre a hálózatra csatlakoznak. A főelosztói hálózat jellegét az támasztja alá, hogy erről a hálózatról táplálják a közép és kifizetésű elosztói hálózatot 120/20 illetve 120/10



4.4 ábra. 120 kV-os hálózat kialakulása

kV-os transzformátorok segítségével. Ezen a hálózaton bonyolult védelmi és automatikai rendszer került kiépítésre, melynek elsődleges célja az, hogy a hiba jelentkezésekor a rendszer automatikusan igyekezzon alapállapotba visszaállni. A szabadvezetékek alapvédelmét egyfázisú és háromfázisú automatikák látják el. Működésük attól függ, hogy milyen jellegű zárlat következtében áll elő hibaállapot. Az egyfázisú gyors-visszakapcsolás 1-2 másodperc, a háromfázisú pedig 0,6 másodperc alatt megtörténik. Sikertelen gyors visszakapcsolási ciklusok után az automatika 30-60 másodperc elteltével még egyszer kísérletet tesz a hálózat visszakapcsolására.

#### 4.2.4. Elosztó hálózatok



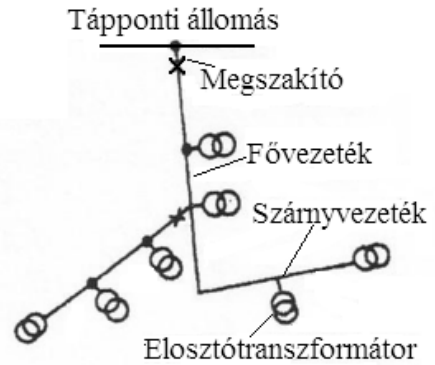
4.5 ábra. 35 kV-os hálózat kialakítása

Az elosztó hálózat ma még háromféle feszültség szinten üzemel. 35kV-os elosztással ott találkozunk ahol a korábbi építések alkalmával 120kV-os alaphálózat mellett a főelosztói funkciókat látott el. Így a nagy ipar körzetek, bányák környékén fordul elő nagy számban ilyen kiépítés és még viszonylag hosszú ideig kell számolni jelenlétükkel, mivel máról holnapra történő lecserélésük gazdaságtalan lenne.

A hálózatok egy része hurkolt, másik része sugaras kialakítású. A hálózatképet a (4.5 sz. ábra) szemlélteti.

Az ábrán megfigyelhetjük a hálózat kialakításának azt a tulajdonságát, hogy bármilyen is a kialakított rendszer, mindenképpen csak egy 35kV-os transzformátor szolgál a kisfogyasztói hálózat energiaellátására. Ez a megállapítás igaz arra az esetre is, amikor egy kisméretű állomás esetleg két külön betáplálással rendelkezik.

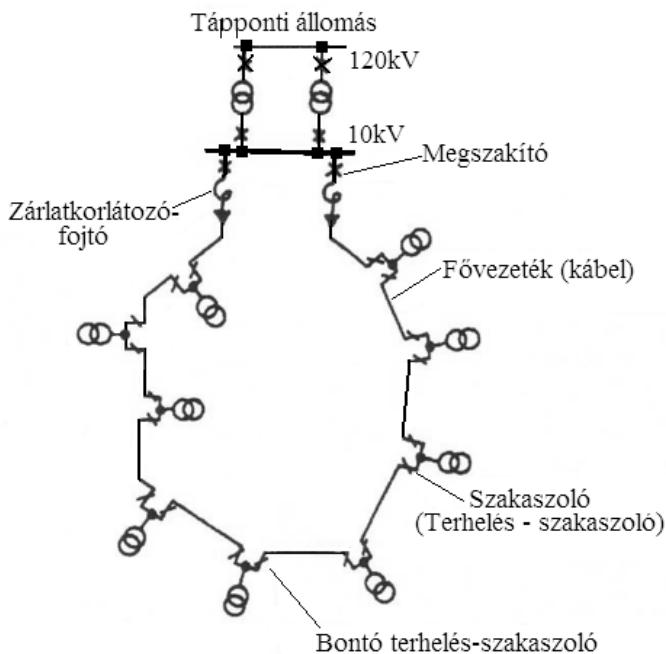
Ilyenkor az egyik táplálási irány megszakítása után van csak lehetőség a másik irányból érkező energia fogadására. A 35kV-os hálózat szabadvezeték szakaszainak védelmét gyors és 4 lassú visszakapcsolást megvalósító automatika szerelvényekkel szerelték fel. Így az itt bekövetkező meghibásodások alkalmával rövid (0,3-0,5 sec) és hosszú (30-60 sec) hálózat visszakapcsolási ciklusokkal is kell számolnunk. Az elosztó hálózatok második csoportját a 20 kV-os ellátás képezi. Ez a kiépítés tipikusan a vidéki energiaelosztásra szolgál. Szinte kizárólag szabadvezetékes kialakítású sugaras hálózat. Elvi felépítését a (4.6 számú ábra) szemlélteti.



4.6 ábra. 20 kV-os hálózat kialakítása

A vezeték védelem céljára gyors és lassú ciklusú háromfázisú visszakapcsoló automatika szolgál. A gyors visszakapcsolás 0,3-0,5 sec-os, míg a lassú 30-60 sec-os holtidővel, visszakapcsolási késleltetéssel működik:

Az elosztó hálózatok harmadik és egyben utolsó csoportját a 10 kV-os hálózat képezi. Ez a kiépítés a városok belső területének ellátására szolgál. Kizárólag kábeles kialakítású. Kétféle kábelhálózat kialakítás ismeretes. Az egyik íves, a másikat gyűrűs elrendezésnek hívjuk. A gyűrűs kialakítású fővezetékre (4.7 számú ábra) az ívesre a (4.8 számú ábra) mutat példát. A villamosenergia-rendszerek fogyasztóinak



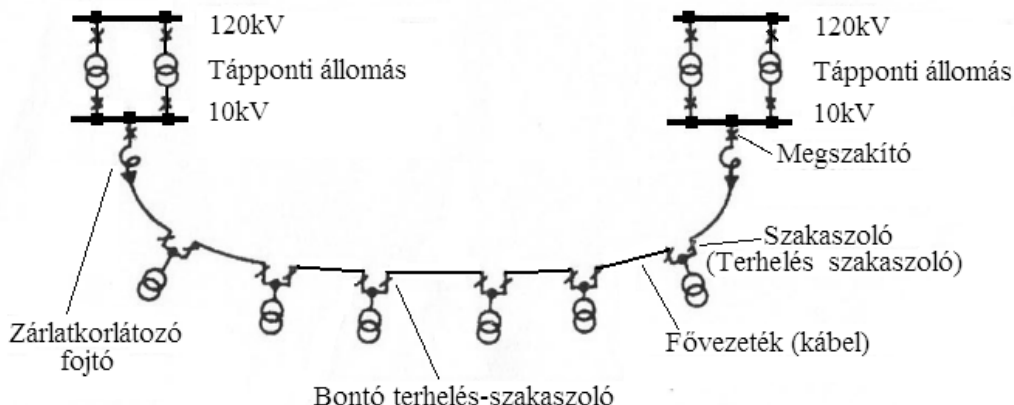
4.7 ábra. 10 kV-os gyűrűs hálózat

energiaigénye nem állandó, statikusan jól felmérhető mértékben változik.

Egy naptári napon belül törvényszerűen jelentkezik a délelőtti ipari és esti, főleg kommunális eredetű csúcs. A naptári éven belül a fogyasztói igény télen a legnagyobb. Mivel az erőművekben előállított háromfázisú váltakozó áramú villamos energia nem tárolható, ezzel az előnyös tulajdonsággal csak az egyenáramú villamos energia rendelkezik. Szükséges hogy a termelés és fogyasztás egyensúlya mindenkor biztosítva legyen. A

villamosenergia-rendszer pillanatnyi üzemeltetését a rendszer szintjének megfelelő teherelosztók végzik.

A teherelosztó az együttműködő erőműveket, valamint a hálózat üzemét irányítja és ellenőrzi azzal a céllal, hogy a fogyasztók minimális költséggel termelt, átvitt és elosztott, de ugyanakkor az előírt minőségi feltételeket kielégítő villamos energiát a maximális biztonsággal kapják. A villamos energiát felhasználó szempontjából a szolgáltatással szemben támasztott legfontosabb követelmények:



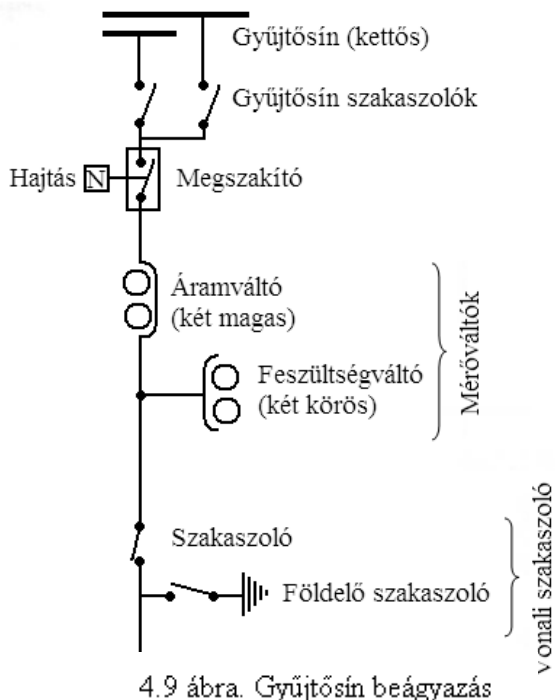
4.8 ábra. 10 kV-os íves hálózat

1. A villamos energia állandóan rendelkezésre álljon, ne legyenek üzemzavarok, amelyek a termelést hátráltatják és az egyes berendezésekben nagy károkat okoznak. Az első szempont tehát az üzembiztonság.

2. A frekvencia ne változzék.

3. A feszültség ne ingadozzék.

A követelmények kielégítése műszaki szempontok miatt természetesen csak jó közelítéssel lehetséges, hiszen az üzemzavarok miatti feszültségletörések, feszültségkimaradások, a teljesítményhiány, illetve többlet miatt a frekvencia változása, valamint az üresjárás és a terhelt üzemállapot kapcsolófeszültség-változásai teljesen meg nem szüntethetők.



4.9 ábra. Gyűjtősín beágyazás

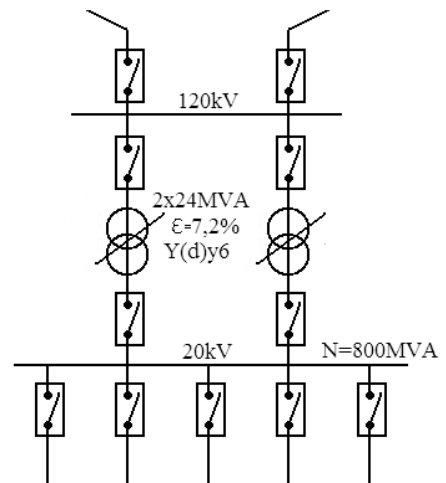
#### 4.2.5. Alállomások

Azokat a berendezéseket, amelyek a villamos energia fejlesztésére, átvitelére és elosztására szolgálnak, együttesen villamos műveknek nevezzük. A villamos műveket alkotó berendezések nélkülözhetetlen elemei az erőművekben és vezetékeken kívül az alállomások, illetve kapcsoló berendezések. A kapcsoló berendezések alapvető feladata, hogy a villamos energiát termelő, szállító, átalakító berendezések között olyan kapcsolatokat létesítsen, amelyekkel az energiaszállítás útvonalai meghatározhatók és az egyes szállítási utak és útszakaszok energifolyamata megszakítható, illetve bekapcsolható. A kapcsoló berendezéseknek rendszerint nemcsak az üzemi, hanem a zárlati energifolyam megszakítása is feladata.

Az energiarendszer különféle rendeltetésű elemei, tehát a termelőegységek (generátor, generátor-transzformátor egységek) az átalakítást végző transzformátorok, az energiát szállító nagy, közép és kisfeszültségű szabadvezetékek és kábelek, valamint az energiát hasznosító fogyasztói berendezések mind kapcsoló berendezéseken keresztül csatlakoznak az energiarendszer velük közvetlen kapcsolatban álló elemeihez. A kapcsoló berendezések- rendeltetésükből adódóan- az energiapályák találkozásai, elágazási pontjaiban, úgynevezett csomópontjaiban létesülnek. A kapcsoló berendezéseket magában foglaló létesítmény neve kapcsolóállomás vagy alállomás. Kapcsolóállomásról (kapcsoló alállomás) akkor beszélünk, ha az oda egy vagy több útvonalon beérkező energia szétszétlása, továbbszállítása a fogyasztók felé menő útvonalakon, azonos feszültségen tehát transzformálás nélkül történik. Ha a kapcsoló berendezések segítségével a befolyó energiát részben vagy egészben transzformáljuk is, tehát más feszültségen szállítjuk tovább, a létesítményt transzformátorállomásnak vagy egyszerűen alállomásnak nevezzük.

Az alállomások központi eleme, mintegy gerince a gyűjtősín, azaz a létesítményhez csatlakozó energia utak (generátorok, transzformátorok, vezetékek) gyűjtőcsatornája. A gyűjtősínre csatlakozó energia utak és azok kapcsoló berendezéseit a gyűjtősín leágazásainak nevezik. (4.9 számú ábra) mutatja.

Az alállomások oszthatóak feszültség szint szerint (pl: középfeszültségű, kisfeszültségű), gyűjtősín rendszer szerint (pl: egyes, kettős gyűjtősín), telepítés szerint (pl: ipartelepi, kommunális fogyasztói), a létesítmény kivitele szerint (belsőtéri, szabadtéri, tokozott). Az alállomások felépítése a különféle igények kielégítése céljából igen sokféle. A gyűjtősín leágazások elrendezése viszont eléggé egységes formává fejlődött. Az ábrán egy szabadvezetékű gyűjtősín leágazás



4.10 ábra. Transzformátorállomás vázlata

egyvonalas kapcsolási rajza látható. A következő ábrán pedig egy egyszerű alállomás egyvonalas sémája látható, ahol csak a legfontosabb készülékeket tüntettük fel. (rajzon az adatok tájékoztató jellegűek) (4.10. sz. ábra)

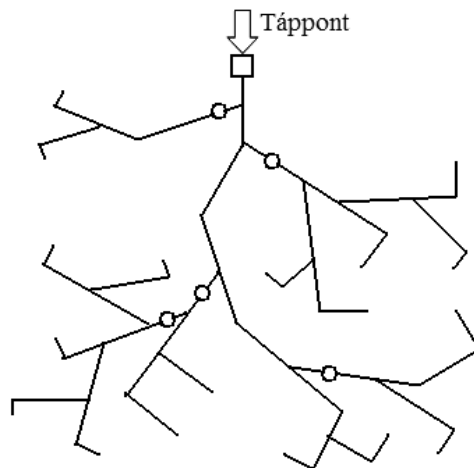
A továbbiakban a gyűjtősín-elágazás primer készülékeinek alapvető jellemzőivel foglalkozunk röviden. A megszakító ( oltókamra + hajtás) az üzemi és rövidzárlati áram megszakítására illetve bekapcsolására szolgál. A korszerű megszakítók működtetése –a hajtás megoldási módjától függetlenül – villamos vezérlő impulzussal történik, amelyet a kezelőszemélyzet, zárlat vagy rendellenesség esetén pedig a védelem és automatika készülékei kapcsolnak.

A megszakítók az energifolyam megszakítását a vezérlőparancs megjelenésétől számítva kb. 60-150 ms alatt hajtják végre, míg a bekapcsolási folyamat típustól függően 100-500 ms időt vesz igénybe. A megszakítót alapvetően a névleges feszültség (kV), a megengedhető legnagyobb áram (A) és a megszakítható legnagyobb zárlati áram ( 0,4 kV-os feszültségszinten) illetve ( nagyfeszültségen) zárlati teljesítmény (MVA) jelenik meg. Tájékoztatásul megemlítjük hogy a 0,4 kV-os kiefeszültségű rendszeren a legkorszerűbb megszakítók megszakítási képessége 50 kA (70kA) körül van. Ez a határ korlátot szab az alkalmazható középfeszültség / 0,4 kV-os transzformátorok teljesítőképességének.

### 4.3. Hálózattípusok

#### 4.3.1. Sugaras hálózat

Egyik végéről táplált, esetleg többszörösen elágazó, nyitott vezetékrendszer, amelynek minden fogyasztóhoz az áram csak egy irányból, egy úton juthat el. A szokásos kialakítása a (4.11. sz. számú ábrán) látható. A vastag vonallal rajzolt vezeték részt gerinc vagy fővezetéknek, míg a többi szakaszt szárnyvezetéknek nevezzük. Az egyes fogyasztók a szárnyvezetékhez csatlakozó leágazó vezeték végén helyezkednek el. A megszakítók és szakaszolók (oszlopkapcsolók) beépítése bontási lehetőséget biztosít karbantartás idejére és üzemzavar során megsérült terület leválasztására.



4.11 ábra. Sugaras hálózat

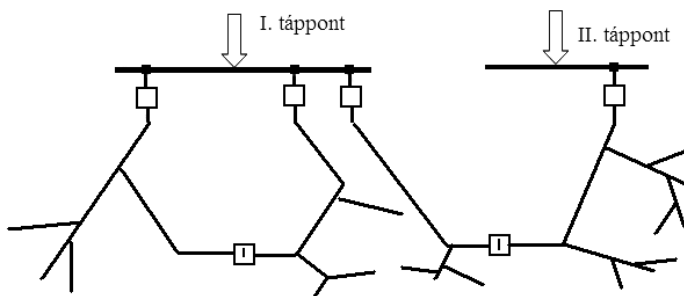
A magyar villamos energia- rendszer nagyfeszültségű hálózatai közül tipikusan sugaras hálózatok a 20 kV-os szabadvezetékes, valamint a 10 kV-os kábelhálózatok. A kisebb biztonsági igényű ipari fogyasztók belső villamos energia- ellátása is kialakítható sugaras jelleggel. Ezek általában 10, 6, 3, 0,4 kV-os

kábelhálózatok. Sugaras a kisméretű, kis teljesítményű szétszórt, vidéki fogyasztók 0,4 kV-os szabadvezeteki ellátási alakzata.

A sugaras alakzat előnye a jó áttekinthetőség, egyszerű kezelés, az egyszerű és olcsó létesítés, hátránya hogy a tápponthoz közeli hibák az egész sugaras rendszer kiesését és ezzel az energiaszolgáltatás megszakadását okozhatja.

### 4.3.2. Gyűrűs hálózatok

A sugaras alakzatnál gyakran előforduló tartós villamos energia-kimaradás elkerülésére a sugaras vezeték nyomvonalát úgy alakítják ki, hogy az azonos táppontból kiinduló sugaras alakzatok gerincvezetékei egy pontban találkozzanak. A találkozás helyén bontási lehetőséget alakítanak ki, amely biztosítja, hogy bármelyik oldal tápponthoz



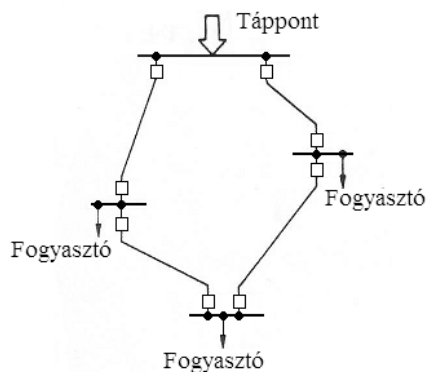
4.12 ábra. Íves-gyűrűs hálózat

közeli hiba esetén, megfelelő, gerincvezeteki bontás után, a fogyasztók egy része a másik irányból esetleg rosszabb minőségi feltételek mellett látható el villamos energiával. Előfordulás területei és feszültség szintjei a sugaras hálózati alakzatoknál már említettekkel azonos.

A gyűrűs hálózati alakzatot szemlélteti a (4.12. sz. ábra).

### 4.3.3. Íves hálózat

Kialakítását tekintve azonos a gyűrűs hálózattal, csak különböző táppontból indulnak az egyesíthető gerincvezetékek. Előnye - mint a gyűrűs alakzatnál - a kiegészítő energiaellátás a másik gerincvezeték felől, valamint - a független táppont miatt - az egyik táppont kiesése esetén is biztosítható az energiaellátás. Az alkalmazás területei és feszültség szintjei a sugaras hálózati alakzatoknál említettekkel azonos. Tipikus kialakítási képe a (4.12. sz. ábra) jobb oldalán



4.13 ábra. Körvezetékek

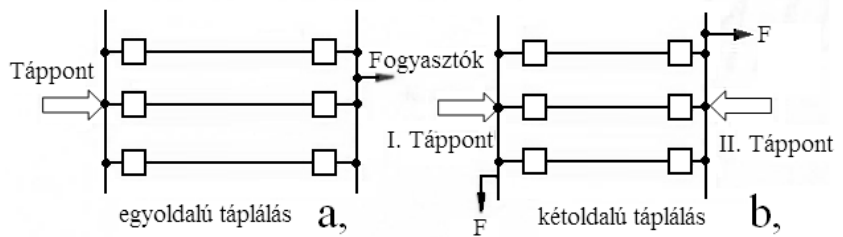


#### 4.3.4. Körvezetékek

Üzemszerűen zárt, azonos táppontból táplált olyan vezetékalkazat, amely a táppontból kiindulva az összes fogyasztót érintve ismételtén visszatér a táppontba. Az egyes fogyasztói gyűjtősíneket összekötő vezetékszakaszokról további leágazások nincsenek. Kialakítása a (4.13. sz. ábrán) látható. Előnye hogy bármely fogyasztó üzemszerűen két oldalról kap táplálást, ami az ellátás minőségét és üzembiztonságát növeli, mert bármely fogyasztói csomópont /gyűjtősín/ meghibásodásánál a villamos energia-ellátás igaz, hogy egy irányból, de fenntartható. Hátránya a nagyobb beruházási költség és az egy táppontból történő táplálás. Alkalmazási területe a villamos energia-rendszer 35 és 10 kV-os üzembiztos energiaellátást kívánó, nagyobb teljesítményű fogyasztói. A villamos energia-szolgáltatás megszakadására érzékeny ipari fogyasztóknál mind a külső 20 és 10 kV, mind a belső 10, 6, 3, 0,4 kV-os feszültség szinten szóba jöhet a fogyasztói körvezeték megoldás.

#### 4.3.5. Párhuzamos vezeték

A villamosenergia-szolgáltatás szempontjából fontos csomópontok összekötésére, vagy a



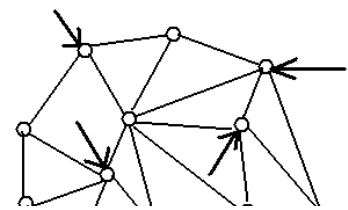
nagyüzemi fogyasztók üzembiztos ellátására kialakult vezeték-

4.14 ábra. Párhuzamos vezeték

alkazat, amikor két csomópont között több vezeték-összeköttetés teremt kapcsolatot. Főleg nagy teljesítmények, üzembiztos villamos energia-ellátás esetén kialakult rendszer. Alkalmazása minden feszültség szinten szóba jöhet, mind a villamosenergia-rendszerben, mind az ipari fogyasztók külső, belső energiaellátásában. Kialakítás elvi lehetőségét szemlélteti a (4.14. sz. ábra). Előnye a nagyfokú üzembiztonság, hátránya a magas létesítési költség és bonyolult védelem.

#### 4.3.6. Hurkolt hálózat

Alapvető jellemzője, hogy különböző táppontok és fogyasztói helyek között egyidejűleg több, különböző összeköttetés üzemel. A többirányú energiaellátás miatt a hurkolt hálózati csomópontokhoz csatlakozó fogyasztók



4.15 ábra. Hurkolt hálózat

üzembiztonsága a villamos energiával történő ellátás szempontjából a legnagyobb. A többszörös hurkoltság az optimális kapcsolási állapotok létrehozását teszi lehetővé, amely mellett az energiaszolgáltatás minőségi paraméterei a legkedvezőbbek. A

rendszer hátránya a magas létesítési költsége, bonyolultsága, a körülményes üzemvitel és fenntartás és a minden üzemállapotban szelektív védelmi rendszer szükségessége. A hurkolt hálózat egy kialakítási lehetőségét a (4.15. sz. ábra) szemlélteti.

#### 4.3.7. Hálózatrendszerek

Az ismertetett hálózati alakzatok szerves egységet képezve – egymással és fogyasztókkal összhangban - egy ország teljes villamosenergia-átviteli és elosztó hálózati rendszerét alkotják. Egy ország hálózatrendszerében a legfontosabb szerepet az országos alaphálózat tölti be. Feladata az erőművek és a csomóponti nagy transzformátorállomások összekapcsolása, a villamos energia nagy mennyiségű szállítása. Az országos alaphálózat vezetékai alakítják ki tulajdonképpen a kooperációs villamos energia rendszert. A magasabb rendű nemzetközi együttműködés kooperációs vezetékai az országos alaphálózat egy-egy fontos csomópontjához csatlakoznak. A nemzetközi kooperációs hálózat feszültség szintjei a legnagyobb feszültség szinteket jelentik, 400 kV, 220 kV. Hálózati alakzatokra hurkoltság jellemző. Az országos alaphálózat ugyancsak fontos csomópontjához csatlakoznak a nagy erőműveink. Látható, hogy a magyar villamos energia- rendszer alaphálózatát képező 400, 220 kV kevésbé, de a 120 kV erősen hurkolt jellegű. Az alaphálózat elemeit képező távvezetékek kizárólag szabadvezetékek.

Az alaphálózati térképen is látható már, hogy egyes hálózatrészek sugaras jelleggel csatlakoznak a hurkolt rendszert képező 120 kV-os hálózathoz. Itt már az energiaáramlás iránya kötött, hiszen a vezeték egy-egy hálózati csomópontot lát el energiával. Ezek a távvezetékek már a főelosztó hálózat részeit képezik. Ugyancsak a főelosztó hálózat e távvezetékei 120 kV-os feszültség szinten üzemelnek, részben szabadvezeték, részben Budapest belterületén 120 kV-os kábelek. Ugyancsak főelosztó hálózati szerepet tölt be a vidéki ipari körzetekben a részben kihalásra ítélt 35 kV-os szabadvezeték hálózat. A 35 kV-os rendszer hurkolt, hurkolható vagy körvezeték alakzatban üzemel. Az alaphálózathoz vagy főelosztó hálózathoz csatlakozik a középfeszültségű elosztóhálózat, amely vidéken 20 kV-os szabadvezeték, városokban 10 kV-os kábelhálózat. Budapest területén megtalálható még a ma már kihalófélben lévő elosztó-hálózati feladatot ellátó 30 kV-os kábelhálózat. A 20kV-os hálózat sugaras alakzatú szabadvezetékekből, a többi feszültség szint sugaras, hurkolt illetve hurkolható kábelekből épül fel. Várhatóan az ipari teljesítményigények növekedésével hazánkban is megjelennek a közvetlenül 10 kV-ról, valamint a 660 V-ról üzemeltethető villamos motorok. A 660 V választását az indokolja hogy ugyanaz a motor csillagkapcsolásban 660 V- ról, deltakapcsolásban a hagyományos kisműködésű  $3 \times 400$  V-os hálózatról üzemeltethető. A főelosztó és a középfeszültségű elosztóhálózatról táplálják a fogyasztók nagy részét villamos energiával ellátó  $3 \times 400/230$  V-os kisműködésű elosztóhálózatot. A közcélú energiaelosztó-hálózat vidéken és városok külterületein szabadvezetékek, ipartelepeken és városok belterületén kábel. A kisműködésű elosztóhálózat jellegét

tekintve lehet sugaras vagy üzemszerűen egy pontból táplált hurkolt, de szükség esetén másik táppontra áttéríthető jellegű.

#### 4.4. Hálózat méretezése

A méretezésre akkor kerül sor, ha a meglévő hálózatot bővítik, vagy felújítják, illetve amikor új hálózatot építenek ki.

##### 4.4.1. Méretezés feszültségesésre

1. Egyfázisú váltakozó áram (és egyenáram) esetén. Az oda és visszavezetést azonosnak tételezzük fel, így a feszültségesés

$$e = e', \quad 4.1$$

ahol:  $e'$  – mértékadó feszültségesés, vagyis a feszültségesés egy vezetékszálra vonatkoztatott értéke. Ugyanakkor a feszültségesés százalékos értéke a névleges fázisfeszültséghez viszonyítva ( $\varepsilon$ ):

$$\varepsilon = \frac{e}{|U_T|} \cdot 100 = \frac{|U_T| - |U_F|}{|U_T|} \cdot 100, \quad 4.2$$

ahol „ $e$ ” a táplálási pont és a fogyasztó közötti feszültségesés. Ezzel  $U_T$  és  $U_F$  fázisfeszültségek tápoldalon és fogyasztói oldalon

$$e' = \frac{\varepsilon}{100} \cdot \frac{U_n}{2} \quad 4.3$$

ahol:  $U_n$  a hálózat névleges feszültsége.

2. Háromfázisú váltakozó áram esetén, ha a hálózat szimmetrikus:

$$e' = \frac{\varepsilon}{100} \cdot \frac{U_n}{\sqrt{3}} \text{ [V]}. \quad 4.4$$

Csatlakozó vezetékben és betápláló fővezetékben 1%, fogyasztás után általában 1,5 %, csak motorikus fogyasztás esetén 3% a megengedett feszültségesés.

3. Háromfázisú váltakozó áram esetén, ha a hálózat aszimmetrikus:

$$e' = 0,75 \cdot \frac{\varepsilon}{100} \cdot \frac{U_n}{\sqrt{3}} \text{ [V]}. \quad 4.5$$

Ez a képlet csak közelítés, mert a tényleges feszültségesés számítása a bonyolultsága miatt meghaladja a jegyzet kereteit.

##### 4.4.2. Méretezés teljesítményveszteségre

A vezetékben átfolyó áram wattos veszteséget hoz létre, amely melegíti a vezetőt. A táplálási ponton legyen  $P_T$  teljesítmény a fogyasztónál, pedig  $P_F$ . Akkor a wattos veszteség:

$$N = P_T - P_F \text{ [W]}. \quad 4.6$$

A veszteség mértékének megítélésére annak százalékos értéke a százalékos teljesítményveszteség ( $\alpha$ ) alkalmas, amely a veszteség összefogyasztáshoz való viszonya:

$$\alpha = \frac{v}{\Sigma P_n} \cdot 100 \text{ [ \%]}. \quad 4.7$$

1. Egyfázisú váltakozó áramú ( és egyenáramú) tápláláskor Oda-vissza távolság figyelembevételével:

$$V = I^2 \cdot (2 \cdot R). \quad 4.8$$

Egy vezetékszálon:

$$V' = I^2 \cdot R \quad \text{így} \quad r = 2 \cdot v'. \quad 4.9$$

Ezzel:

$$v' = \frac{\alpha}{100} \cdot \frac{\Sigma P_n}{2} \quad 4.10$$

2. Háromfázisú táplálás esetén szimmetrikus terhelésnél:

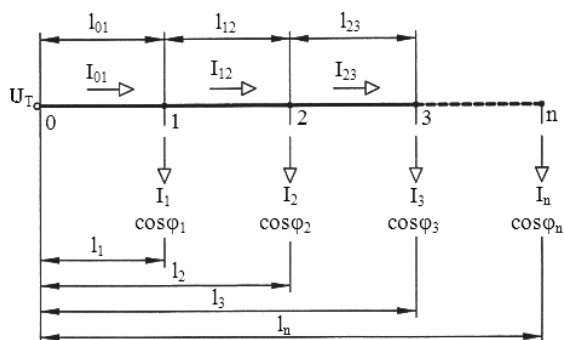
Ha a teljesítményveszteség van előírva, akkor:

$$v' = \frac{\alpha}{100} \cdot \frac{\Sigma P_n}{3} \quad 4.12$$

Háromfázisú négyvezetékes aszimmetrikus ellátás esetén szintén a 4.12 kifejezéssel számolunk, mert a nulla vezetón lévő veszteséget elhanyagoljuk.

#### 4.4.3. Egy oldalról táplált egyszerű nyitott vezeték méretezése

Feladat a (4.16. sz. ábrán) látható több fogyasztóval terhelt egyszerű nyitott vezeték keresztmetszetének meghatározása. A fogyasztókat a csatlakozási pontokban mérhető állandó nagyságú árammal és állandó értékű  $\cos\varphi$ -vel vesszük figyelembe.



4.16 ábra. Egy oldalról táplált nyitott vezeték több fogyasztóval

1. Méretezés feszültségesésre

$$E' = \frac{\rho}{A} \cdot \sum_{k=1}^n I_k \cdot l_k \cdot \cos \varphi_k \quad 4.13$$

Ebből a keresztmetszet:

$$A = \frac{\rho}{e'} \cdot \sum_{k=1}^n I_k \cdot l_k \cdot \cos \varphi_k \quad 4.14$$

ahol:  $e'$  – mértékadó feszültségesés [V],  $I_k$ - kisebbik fogyasztó árama [A],  $\cos\varphi_k$ - kisebbik fogyasztó teljesítménytényezője,  $l_k$ - kisebbik fogyasztó távolsága a tápponttól [m],  $\rho$ - vezető fajlagos ellenállása [(ohm · mm<sup>2</sup>)/m]

## 2. Méretezés teljesítményvesztésre

A vezető végig állandó keresztmetszetű. Úgy kell megválasztani, hogy az utolsó fogyasztói leágazásnál sem legyen túlterhelve.

Így a keresett keresztmetszet:

$$A = \frac{\rho}{\nu'} \cdot \sum_{k=1}^n l_{(k-1)} \cdot I_{(k-1)}, \quad 4.15$$

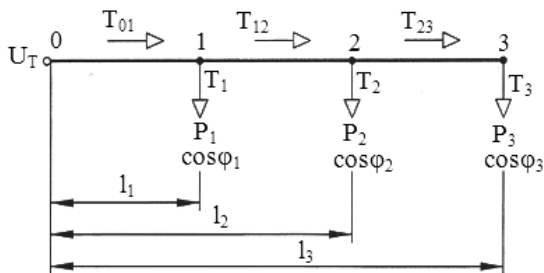
ahol:  $I_{(k-1)}$  az egy szakasz terhelési árama.

Bármely egyfázisú fogyasztó árama:

$$I_k = \frac{P_k}{U_n \cdot \cos \varphi_k}. \quad 4.16$$

Ennek összetevői ( $I_{kw}$ - wattos összetevő,  $I_{km}$ - meddő összetevő)

$I_{kw} = I_k \cdot \cos \varphi_k$  és  $I_{km} = I_k \cdot \sin \varphi_k = I_{kw} \cdot \operatorname{tg} \varphi_k$  kifejezéssel számíthatók.



4.17 ábra. Szakaszáramok meghatározása

A keresett szakaszáramok a (4.17 számú ábra) jelöléseivel:

$$I_{23} = I_3; I_{12} = I_{23} + I_2; I_{01} = I_{12} + I_1. \quad 4.17$$

Ennek figyelembevételével:

$$I_{(k-1)k} = I_{(k-1)kw} + I_{(k-1)km} = \sum_{x=k}^n I_x \cdot \cos \varphi_k + \sum_{x=k}^n I_x \cdot \sin \varphi_x = \sum_{x=k}^n I_{xw} + \sum_{x=k}^n I_{xm}. \quad 4.18$$

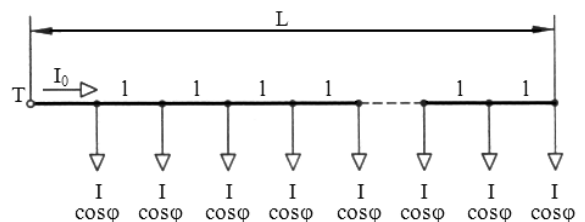
Vagyis a  $(k-1)$  ·  $k$ -adik vezetésszakaszban folyó áram wattos illetve meddő összetevője egyenlő a  $k \dots n$  fogyasztói áramok wattos illetve meddő összetevőinek összegével és a  $(k-1)$  ·  $k$ -adik szakaszáram ezen összetevők eredője.

### 4.4.4. Méretezés egyenletes terhelés esetén

Méretezést a (4.18. sz. ábra) alapján végezzük. Ebben az esetben a szakaszhosszak és fogyasztói áramok.

$$I_1 = I_2 = I_3 = \dots I_n;$$

$$l_{01} = l_{12} = l_{23} \dots l_{(n-1)n} = l.$$



4.18 ábra. Egy oldalról táplált, egyenletesen terhelte vezeték

Ebből következik:

$$e' = e'_{01} + e'_{12} + \dots + e'_{(n-1)n}$$

A szükséges keresztmetszet:

$$A = \frac{1}{2} \cdot \frac{\rho}{e'} \cdot L \cdot I_0 \cdot \cos \varphi,$$

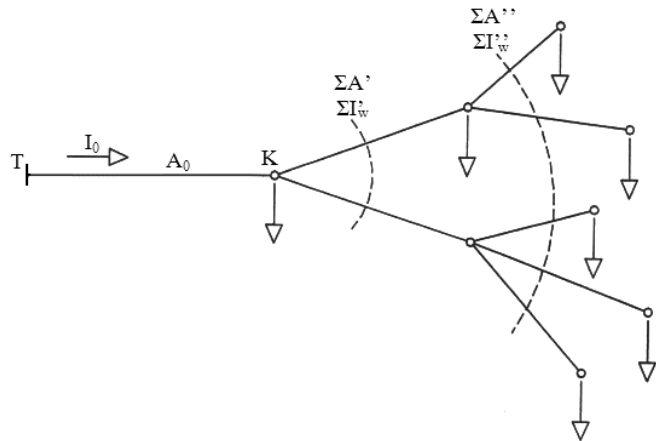
ahol:  $L = n \cdot l$ .

#### 4.4.5. Sugaras vezeték méretezése

Méretezés a (4.19. sz. ábra) alapján történik.

1. Méretezés feszültségesésre.

A vezetékszakaszok keresztmetszetét úgy kell meghatározni, hogy a feszültségesés a tápponttól minden ág végéig lehetőleg ugyanakkora legyen, vagyis minden fogyasztó a névleges feszültséget kapja. Egyik módszer a végigfutó keresztmetszet módszere, amelynek lényege, hogy minden szétágazásnál a közvetlenül szétágazó összes vezeték keresztmetszetének összege azonos a szétágazás előtti vezeték keresztmetszetével.



4.19 ábra. Sugaras vezetékrendszer

A (4.19. sz. ábra) alapján írható:

$$\begin{aligned} A_0 &= \sum A' = \sum A'' \\ I_{0w} &= \sum I'_w = \sum I''_w \\ \frac{I_{0v}}{A_0} &= \frac{\sum I'_w}{A'} = \frac{\sum I''_w}{A''} \end{aligned}$$

A végigfutó keresztmetszet elvéből az következik, hogy az eredő wattos áramsűrűség állandó, de ez nem jelenti azt, hogy az egyes vezetékágakban is egyenlő és állandó nagyságú az áramsűrűség. A 4.20 számú ábra alapján a keresztmetszetre írható:

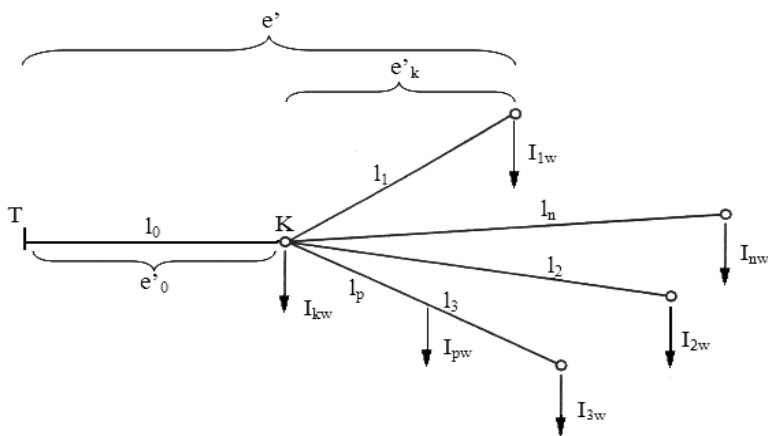
$$\begin{aligned} A_0 &= A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_n, \\ A_1 &= \frac{\rho}{e_k} \cdot l_1 \cdot I_{1w}; A_2 = \frac{\rho}{e_k} \cdot l \cdot I_{2w}; A_3 = \frac{\rho}{e_k} \cdot (l_3 \cdot I_{3w} + l_p \cdot I_{pw}), \end{aligned}$$

vagyis:

$$A_n = \frac{\rho'}{e_k} \cdot l_n \cdot I_{nW} \quad 4.11$$

Az  $A_3$ -nál  $p$ -vel felvett adatok azt jelentik, hogy akármelyik elágazó vezetéken akárhány fogyasztó lehet. A törzsvezeték (4.20. sz. ábra  $l_0$  vezetékszaka) keresztmetszete:

$$A_0 = \frac{\rho'}{e} \cdot \sum_{j=1}^m l_{0j} \cdot I_{nW} \quad 4.12$$



4.20 ábra. Sugaras vezetékrendszer egy csomópontú eleme

## 2. Méretezés teljesítményvesztésre

$$v' = \rho \cdot \sum_{x=1}^m \frac{l_x}{A_x} \cdot I_x^2 \text{ [W]}, \quad 4.13$$

ahol:  $m$  - vezetékszszakok száma

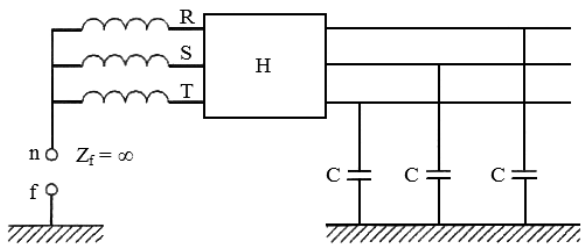
$l$  - az egyes vezetékszszakok hossza [m]

$A_x$  - az egyes vezeték keresztmetszete [mm<sup>2</sup>]

$I_x$  - az egyes szakaszáramok nagysága [A]

## 4.5. Hálózatok csillagpontjai

A hálózatok csillagpont kezelésén az adott hálózat csillagpontjai és a föld között található hálózati csillagpontok földelésének módjait értjük. A csillagpont földelésének módja jelentősen befolyásolja a hálózat paramétereit, így például az egyfázisú földérintéses hibák esetében a fellépő üzemi frekvenciájú



4.21 ábra. Szigetelt csillagpontú hálózat

feszültségemelkedéseket és a transziens túlfeszültségek megszüntetésének megoldásait, a hálózaton alkalmazott készülékek szigetelési igényeit, távközlési berendezések zavarását és a veszélyeztetését, a szimultán hibák keletkezését és így tovább.

Egy hálózat csillagpont földelési módjának megválasztásakor számos tényezőt kell mérlegelni, míg végül általában műszaki-gazdaságossági kompromisszumok alapján eldönteni az alkalmazandó módszert. A csillagpont kezelés szempontjából alapvetően a hálózatok két nagy csoportját különböztetjük meg: 1 - a földetlen csillagponti és 2 - a földelt csillagpontú hálózatokat.

#### 4.5.1. Földetlen csillagpontú (szigetelt) hálózat

Földetlen csillagpontú (szigetelt) hálózat minden olyan hálózat, amelynek egyetlen pontja sincs a földdel üzemszerűen (szándékoltan) összekötve. A földetlen hálózat csillagpont kezelését a (4.21. sz. ábra) szemlélteti. Az ábrából látható hogy a szigetelt csillagpontú hálózatok csillagpontja és földelési, vagyis csillagpont és a föld közötti úgynevezett földelő impedancia ( $Z_f$ ) értéke végtelen nagy.

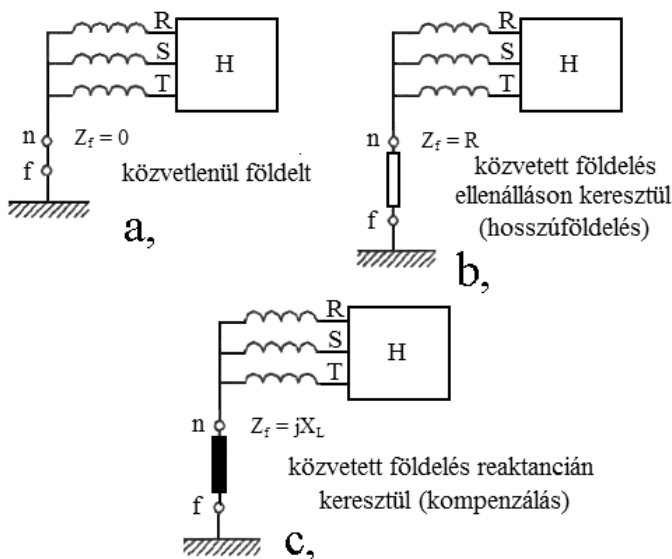
#### 4.5.2. Földelt csillagpontú hálózat

Földelt csillagpontú hálózat minden olyan hálózat, amelynek legalább egy csillagpontja a földdel közvetlenül vagy közvetve össze van kötve.

A közvetlenül földelt csillagpontú hálózat legalább egy transzformátorának csillagpontja jól vezető fémes összeköttetésben áll a földdel 4.22a. sz. ábra. Ez esetben tehát a csillagpont és a föld közötti földelő impedancia ( $Z_f$ ) értéke gyakorlatilag nulla.

A hazai gyakorlatban közvetlenül földelt csillagponttal üzemelnek

a 120 kV-os és az annál nagyobb feszültségű hálózatok és a 400 V /230 V-os (0,4 kV-os ) kiefeszültségű elosztóhálózatok. (megjegyezzük, hogy a kiefeszültségű elosztóhálózatok elsősorban a hatékony érintésvédelem megvalósíthatósága érdekében üzemeltetik közvetlenül földelt csillagponttal.)



4.22 ábra. Földelt csillagpontú hálózat



A közvetve földelt csillagpontú hálózatok legalább egy csillagpontja ellenálláson vagy reaktancián ( fojtótekercesen) keresztül csatlakozik a földhöz. Az ellenálláson keresztül földelt csillagpontú hálózatok esetében (4.22b. sz. ábra) tehát a földelő impedancia véges értékű ohmos ellenállás ( $Z_f = R_f$ ). A reaktancián keresztül földelt csillagpontú hálózatok esetében (4.22c. sz. ábra) pedig egy gyakorlatilag tisztán reaktív fojtótekercs. Ez utóbbi két csillagpont-kezelési módszerrel az egyfázisú földzárlati áramok értéke – a közvetlenül földelt csillagpontú hálózatokéhoz képest – hatásosan csökkenthető, ugyanakkor a csillagpont potenciálja is kellően rögzített. A csillagpont reaktancián keresztül való földelésével a földzárlatok íve kioltható, mivel a hibahelyen folyó kapacitív földzárlati áramot a földelőreaktancia induktív árama kompenzálja. Ezért ezt a módszert kompenzációnak illetve a reaktancián keresztül földelt csillagpontú hálózatokat kompenzált hálózatoknak is nevezik.

A hazai gyakorlatban ellenálláson keresztül földelik a 10 kV-os közepfeszültségű kábelhálózatok csillagpontjait, míg a 20 kV-os ( 35 kV-os) közepfeszültségű szabadvezetékes elosztó-hálózatainak tipikusan kompenzált hálózatok.

## 5. Fejezet Zárlatok

### 5.1. Zárlat keletkezése

A villamos hálózatok folyamatos nyugodt üzemét leggyakrabban a zárlatok zavarják meg. A zárlat a hálózat olyan sönthibája, amelyet a hálózat különböző fázisvezetői vagy a fázisvezető és a föld illetve földelt nullavezető közötti szigetelés teljes letörése vagy fémes lesöntölése idéz elő.

A villamosenergia-átvitel elemei közül legtöbbször a szabadvezeték hálózatokon keletkezik zárlat. Gyakoribb okai a villámcsapás, vezetékszakadás, összelengés, szigetelő átívelés. Kábeleken a szigetelés átütése vagy külső eredetű sérülése, kapcsoló-berendezésekben átívelés, átütés, szigetelőtörés, téves kezelés, nem megfelelő karbantartás miatt jönnek létre zárlatok.

A zárlat hatására bekövetkező feszültségletörés nagy kiterjedésű hálózatrészekben érezteti hatását, veszélyezteti a kooperációs hálózatra dolgozó erőművek üzemét. A névleges áram 10...20-szorosát elérő zárlati áram termikus és dinamikus hatása erősen igénybe veszi a villamos berendezéseket. Jelentős pusztítást okozhat a zárlati ív is.

A káros hatások elleni védelem alapvető feltétele a zárlati jelenségek, a zárlati áram- és feszültségviszonyok részletes ismerete.

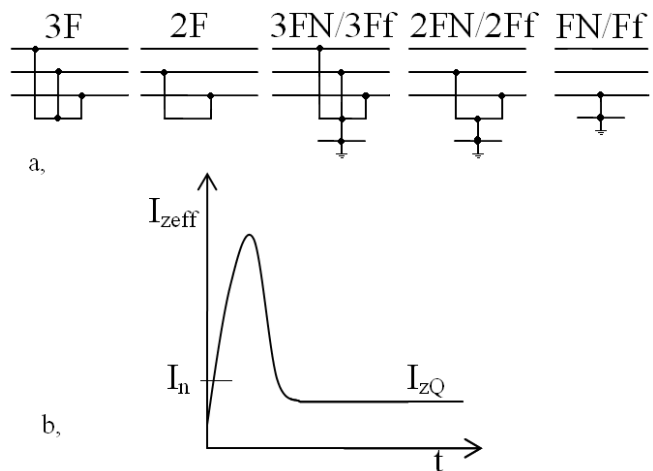
### 5.2. A hálózati zárlatok típusai

A zárlatot okozó érintkezés létrejöhet közvetlenül vagy villamos íven keresztül. Eszerint megkülönböztetünk fémes, vagy másképpen merev zárlatot, illetve íves zárlatot.

Egyszerű zárlatok a hálózatok azon zárlatai, amelyek az adott időben csak egy hibahelyen lépnek fel. Az egyszerű zárlatok közül a szimmetrikusak mindhárom fázist érintik, az ettől eltérő eseteket aszimmetrikusnak nevezük.

Egyszerű szimmetrikus zárlatok a következők: (5.1. sz. ábra)

- 3F zárlat, vagy háromfázisú zárlat
- 3FN zárlat, vagy szimmetrikus földrövidzárlat
- 3Ff zárlat, vagy szimmetrikus földzárlat



5.1 ábra. Szimmetrikus zárlatok

Egyszerű aszimmetrikus zárlatok:

- 2F zárlat, vagy kétfázisú zárlat
- 2FN zárlat, vagy kétfázisú földrövidzárlat
- 2Ff zárlat, vagy kétfázisú földzárlat
- FN zárlat, vagy egyfázisú földrövidzárlat
- Ff zárlat, vagy egyfázisú földzárlat

Szimultán zárlat (kettős, illetve többszörös zárlat) a hálózatnak az a zárlata, amelyet ugyanazon időben különböző hibahelyeken fellépő egyszerű zárlatok hoznak létre.

A föld felé folyó zárlati áram nagyságát alapvetően befolyásolja, hogy a hálózatnak van-e közvetlenül földelt pontja, vagy csak impedancián keresztül kapcsolódik a földhöz, illetve nincs galvanikus kapcsolat a hálózat és a föld között.

Közvetlenül földelt hálózatokon egyfázisú földzárlat (FN) esetén  $(1...10) \times 10A$  nagyságú rövidzárlati áram folyik. Hasonló nagyságrendű áram folyik a földben 2FN zárlat esetén is. A szigetelt csillagpontú, ill. közvetetten földelt hálózatok  $(1...35kV)$  egyfázisú földzárlata (Ff) nem jelent rövidzárlatot, a kialakuló áramerősség  $10...200A$ . A 2Ff zárlat esetén is csak az érintett fázisok áramerőssége zárlati nagyságrendű, a földben folyó kisebb értékű. A zárlati áram több nagyságrendű eltérése miatt jelöljük és nevezzük másképpen a két hálózattípus földérintéses zárlatát. A nem mereven földelt hálózatok Ff zárlatát földzárlatnak, a közvetlenül földelt hálózatokon fellépő FN zárlatot földrövidzárlatnak nevezzük.

A zárlatok előfordulási gyakorisága különféle hálózatokon más és más, a hálózat kialakításától, az oszlopképtől, a földrajzi, éghajlati viszonyoktól stb. függően. Az okok között meghatározó a szigetelők átütése, átívelése. A fáziszárlat azért nem gyakori, mert egyrészt az alaphálózat villámvédő vezetővel készül, másrészt a fázisvezetők távolsága több méter. Az alaphálózatokhoz viszonyított nagyobb zárlati gyakoriság oka a védővezető hiánya és a viszonylag kicsi fázistávolság.

### 5.3. A zárlati áramok időbeli lefolyása

A villamosenergia-rendszer hálózatain, berendezéseiben keletkező rövidzárlatokat az erőművek generátorai táplálják. A zárlati áramot korlátozó impedancia időben változó és időben állandó nagyságú összetevőkből áll. Változó összetevő a generátor impedanciája.

#### 5.3.1. Szinkrongépek zárlatai

Ha egy felgerjesztett szinkron generátor kapcsait rövidre zárjuk, a zárlati áram hirtelen igen nagy értékre  $(10...15 \times I_n)$  ugrik fel, majd  $2...3s$  időtartamú átmeneti (tranzien) állapot után üzemi áram nagyságrendűre csökken és a zárlat megszűnéséig gyakorlatilag állandó marad. A zárlati áramnak ezt, az átmeneti jelenségek lejátszódása utáni értékét állandósult zárlati áramnak nevezzük. Az állandósult zárlati áramot ( $I_{z\acute{a}}$ ) a névleges fázisfeszültség és a szinkron reaktancia hányadosaként értelmezzük:

$$I_{z\acute{a}} = \frac{U_f}{X_d}$$

A szinkron reaktancia összetevői:

$$X_d = X_s + X_a,$$

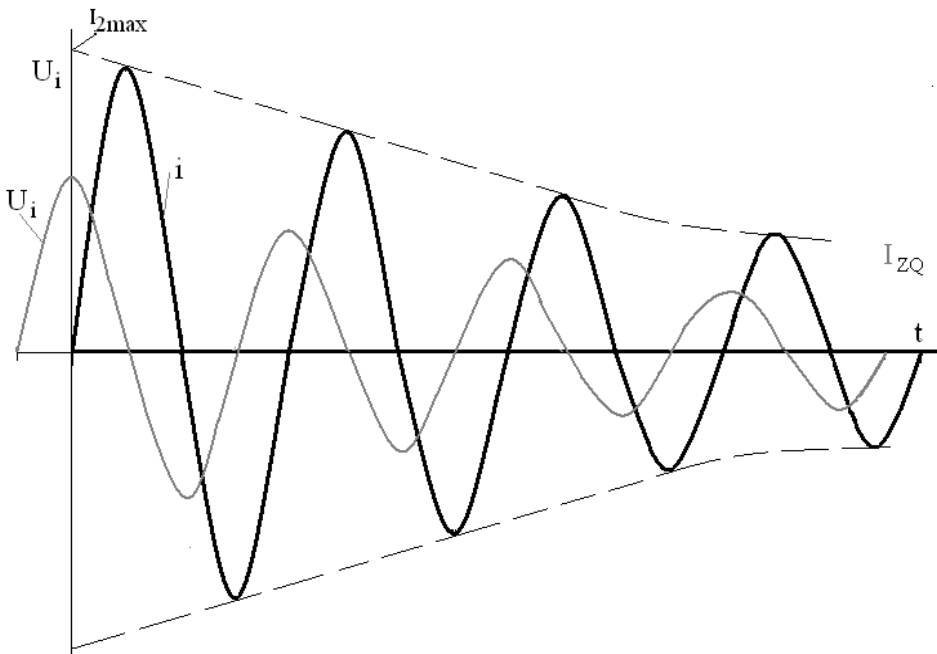
ahol

$X_s$  - a generátor armatúratekercsének szórási reaktanciája,

$X_a$  - az armatúra visszahatást helyettesítő reaktancia.

Az armatúra-visszahatás csökkenti a gép pólusfluxusát, ezért csökken az indukált feszültség és a zárlati áram. Az előzőeket az állandósult zárlati áram számításánál úgy vesszük figyelembe, mintha a pólusfeszültség állandó  $U_f$  nagyságú maradna és a gép szinkron reaktanciája növekedne a kezdeti  $X_s$ -ről  $X_s + X_a$  értékűre. A tekercsek nagy önindukciója miatt az armatúra-visszahatás kialakulásához idő szükséges, ez az oka a zárlati áram időbeni csökkenésének.

Az állandósult zárlati áram a generátor háromfázisú kapocszárlatánál a legkisebb, egy fázistekercs rövidzárásánál a legnagyobb. A 3F zárlatnál ugyanis a három fázistekercs armatúrafluxusa csökkenti a pólusfluxust, ezért a generátor fokozottabban lemágneseződik.



5.2 ábra. Szimmetrikus lefolyású zárlatok az időben

A villamos gépek elméletéből ismert összefüggések:

$$X_d = \frac{\varepsilon_d}{100 \cdot I} \cdot Z_n = \frac{U_f}{I_{z\acute{a}}}$$

ebből

$$I_{z\acute{a}} = \frac{100}{\varepsilon_d} \cdot \frac{U_f}{Z_n}$$

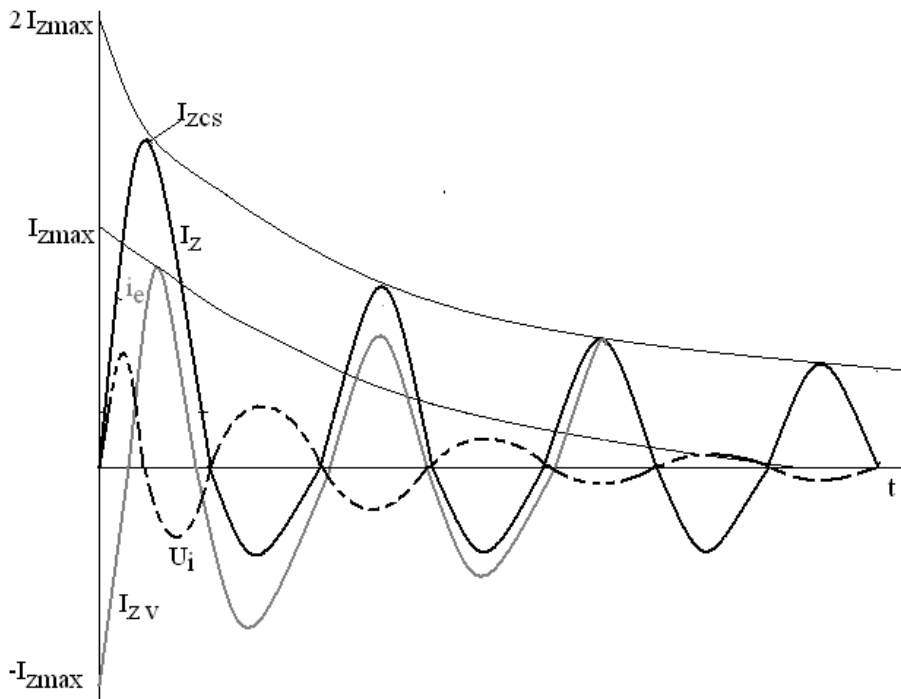
Mivel  $\varepsilon_d > 100 \%$  és  $I_n = \frac{U_f}{Z_n}$ , ebből következik, hogy  $I_{z\acute{a}} < I_n$ . Vagyis a korszerű

szinkron gépek állandósult kapocszárlati árama kisebb, mint a névleges áram.

A zárlati áram effektív értékének időbeli lefolyását mutatja az (5.1b. sz. ábra).

A zárlati áram hullámgörbéje az időtengelyhez viszonyítva szimmetrikus, vagy aszimmetrikus lehet, attól függően, hogy a feszültség-hullám melyik pontjánál következett be a zárlat. Ennek megfelelően megkülönböztetünk szimmetrikus lefolyású és aszimmetrikus lefolyású zárlatokat.

- Szimmetrikus lefolyású zárlatok (5.2. sz. ábra)



5.3 ábra. Aszimmetrikus lefolyású zárlatok az időben

Időben szimmetrikus lefolyású zárlat csak abban az esetben lép fel, ha a feszültség csúcsértékénél keletkezik. Mivel a generátor impedanciája gyakorlatilag tisztán reaktancia, kapocszárlat esetén a zárlati áram  $90^\circ$ -kal késik a feszültséghez képest. Az alábbi ábrán a zárlati áram és az indukált feszültség időbeli lefolyása látható. A zárlati áram időbeli lefolyásának ábrázolásánál hasznos segítség a változó nagyságú szinuszhullámok csúcsait összekötő burkológörbe megrajzolása. A burkológörbe a  $t = 0$  időpillanatra extrapolált  $I_{z\max}$  értékről exponenciális törvény szerint csökken az  $I_{z\acute{a}}$  állandósult értékre. Aszimmetrikus lefolyású zárlatok (5.3. sz. ábra)

A feszültségmaximumtól eltérő esetben bekövetkező zárlatnál az ábrázolt zárlati áram kezdetben aszimmetrikusan hullámzik az időtengelyhez képest. Az alábbi ábra segítségével azt az esetet vizsgáljuk, amikor a zárlat a feszültség nulla értékének pillanatában lép fel.

Az áramkör gyakorlatilag tisztán induktív, az áramnak  $90^\circ$ -kal kell késnie a feszültséghez képest. Ez azt jelenti, hogy a zárlat pillanatában az addig nullaértékű áramnak hirtelen a negatív félhullám  $-I_{zmax}$ -ra – kellene ugrania, ami viszont fizikai lehetetlenség, mert ebben az esetben végtelen nagy feszültség kellene az önindukció legyőzéséhez. Ezért az áramnak mindenképpen nulla értékről kell kiindulnia, de ugyanakkor  $90^\circ$ -kal késnie is kell a feszültséghez képest. Ezt az ellenmondást az egyenáramú összetevő megjelenése oldja fel. Kezdeti értéke ugyanolyan nagyságú, de ellentétes értelmű, mint a zárlati áram váltakozó áramú összetevőjének  $t = 0$  időponthoz tartozó értéke. A zárlat fellépésekor tehát a zárlati áram váltakozó áramú összetevőjének nagysága éppen a negatív maximum, vagyis  $90^\circ$ -kal késik a feszültséghez képest, a zárlati árameredő értéke (a váltakozó áramú és az egyenáramú összetevő előjelhelyes összege) pedig nulla.

Az egyenáramú összetevő is exponenciálisan csökken és néhány perióduson belül megszűnik. Amíg fennáll, addig szuperponálódik a váltakozó áramú hullámra. Ennek következtében az eredő áram az időtengelyhez képest aszimmetrikusan váltakozva csökken. Innen ered az aszimmetrikus zárlat elnevezés. Az ábrán jól látszik a váltakozó áramú összetevő és az eredő zárlati áram hullámrajza. A zárlati áram burkológörbéje az egyenáramú összetevő miatt pontosan kétszer akkora értéknél kezdődik, mint szimmetrikus zárlat esetén.

$$I'_{zmax} = 2 \cdot I_{zmax}$$

Ebben a kifejezésben  $I_{zmax} = \sqrt{2} \cdot I_{zeff}$ , ahol  $I_{zeff}$  a váltakozó áramú összetevő kezdeti effektív értéke. Az ábrából is kitűnik, hogy a nulla értékből kiinduló zárlati áram első csúcserőértéke ( $I_{zcs}$ ) nem érheti el az

$$I'_{zmax} = 2 \cdot \sqrt{2} \cdot I_{zeff}$$

értéket, hiszen a kialakulásáig eltelt idő alatt mind az egyenáramú, mind a váltakozó áramú összetevő csillapodik. A gyakorlatban a dinamikus hatás szempontjából mértékadó csúcserőértéket a következő összefüggéssel számolják:

$$I_{zcsúcs} = 1,8 \cdot \sqrt{2} \cdot I_{zeff} .$$

Ezt az áramot szokás lököáramnak is nevezni.

#### 5.4. A zárlatszámítás alapelvei, módszerei

A zárlatok romboló hatása elleni hatékony védelem alapfeltétele a zárlati áram várható értékének ismerete. Ezt a célt szolgálja a zárlatszámítás.

A zárlatot rendszerint nem egy, hanem több erőmű, tehát sok generátor táplálja. Ezeket a hibahellyel rendszerint párhuzamos áramutak kötik össze. A számítás első lépése mindig a hálózati elemek (generátorok, transzformátorok, fojtótekercek, szabadvezetékek, kábelek) egyedi impedanciájának meghatározása, majd ezekből a vizsgált hálózat helyettesítő kapcsolásának felrajzolása. Ezt követi az esetleges hurkolt részek átalakítása, a soros és párhuzamos részelemek összevonása. A végeredmény

egy egyszerű áramkör, amely egyetlen generátort és egyetlen impedanciát tartalmaz. Ebből a hibahely zárlati árama Ohm törvénye alapján megállapítható.

A zárlati áram párhuzamos ágak közti megoszlását az áramosztó elv alapján határozhatjuk meg, a hálózat egyes pontjain a zárlat alatt uralkodó feszültséget pedig a hibahely nulla feszültségéből kiindulva az egyes elemek ismert impedanciáján átfolyó, és az áramosztás eredményeként már ugyancsak ismert áramok által okozott feszültségesésekből állapíthatjuk meg, a hibahelytől az áramforrások felé haladva.

A következőkben a szimmetrikus zárlatok (3F) gyakorlatban alkalmazott számítási módszereiből ismerhetünk meg kettőt. Mindegyik módszert egyszerűsítettük az alábbi, a kielégítő pontosságot nem veszélyeztető elhanyagolásokkal:

- a zárlatokat állandó feszültségről tápláltnak tekintjük,
- a szinkron generátorokat tranziens reaktanciájukkal vesszük figyelembe,
- a hálózatokat terheletlennek tekintjük.

#### 5.4.1. Zárlatszámítás a reaktanciák ohmokban megadott értékeivel

A hálózati elemek komplex impedanciái helyett – a bonyolult, sok hibalehetőséget magába foglaló számítások elkerülése végett – általában skaláris értékekkel számolunk, csak a reaktanciákat vesszük figyelembe, a rezisztenciákat elhanyagoljuk. Így a számolt zárlati áram a ténylegesnél nagyobb értékű, de az eltérés nem jelentős. Az egyes hálózati elemek reaktanciáit az alábbiak szerint határozhatjuk meg:

- Távfvezetékek, kábelek esetében:

$$X = \begin{matrix} \text{xl} & \text{távvezeték} & x = 0,4 \dots 0,5 \text{ } \Omega/\text{km} \\ & \text{kábel} & x = 0,1 \dots 0,2 \text{ } \Omega/\text{km}. \end{matrix}$$

- Generátorok esetében:

$$X_G = \frac{\varepsilon}{100} \cdot \frac{U_n^2}{S_n},$$

ahol:  $\varepsilon$  a generátor tranziens reaktanciája százalékos értékben,  $S_n$  a generátor látszólagos teljesítménye,  $U_n$  a generátor névleges feszültsége.

- Transzformátorok esetében:

$$X_T = \frac{\varepsilon}{100} \cdot \frac{U_n^2}{S_n},$$

ahol:  $\varepsilon$  a transzformátor dropja,  $S_n$  a transzformátor látszólagos teljesítménye,  $U_n$  a transzformátor névleges feszültsége.

- Fojtótekercek esetében:

$$X_F = \frac{\varepsilon}{100} \cdot \frac{U_n^2}{S_n},$$

ahol:  $\varepsilon$  a fojtótekerecs százalékos reaktanciája,  $S_n$  a fojtótekerecs látszólagos teljesítménye,  $U_n$  a fojtótekerecs névleges feszültsége.

- Mögöttes hálózat esetében:

$$X_H = \frac{U_n^2}{S_{zH}},$$

ahol:  $S_{zH}$  a mögöttes hálózat zárlati teljesítménye, ha a zárlat a csatlakozó gyűjtősínen következik be,

$U_n$  a mögöttes hálózat névleges feszültsége.

A transzformátorok miatt az egyes hálózati elemek reaktanciái különböző névleges feszültségekre vonatkoznak, így közvetlenül nem vonhatók össze. Ki kell jelölni egy  $U_{sz}$  számítási feszültséget és az összes hálózati elem reaktanciáját erre a feszültségre kell átszámolni. A reaktanciák redukálását úgy kell elvégezni, hogy közben a zárlati teljesítmény ne változzon meg.

$$S_z = \frac{U_n^2}{X_n} = \frac{U_{sz}^2}{X'}, \quad \text{ebből} \quad X' = \frac{U_{sz}^2}{U_n^2} X_n.$$

A képletben  $X'$  az  $U_n$  névleges feszültségű,  $X_n$  névleges reaktanciájú hálózatelem  $U_{sz}$  számítási feszültségre redukált reaktanciája.

A transzformátor, generátor és fojtótekerics redukált reaktanciája:

$$X' = \frac{U_{sz}^2}{U_n^2} \cdot X_n = \frac{U_{sz}^2}{U_n^2} \cdot \frac{\varepsilon}{100} \cdot \frac{U_n^2}{S_n} = \frac{\varepsilon}{100} \cdot \frac{U_{sz}^2}{S_n}.$$

A mögöttes hálózat redukált reaktanciája:

$$X' = \frac{U_{sz}^2}{U_n^2} \cdot X_n = \frac{U_{sz}^2}{U_n^2} \cdot \frac{U_n^2}{S_{zH}} = \frac{U_{sz}^2}{S_{zH}}.$$

Redukált reaktanciákból épül fel a hálózat egyfázisú helyettesítő kapcsolása. Az így kialakított, látszólag több sarkú kapcsolat egyik pólusa a zárlat helye. A másik pólust, az áramforrásokat helyettesítő redukált reaktanciák szabad kapcsainak összekötésével kapjuk. A feszültségforrás a számítási feszültség fázisértékét szolgáltató ideális generátor.

Az  $X_e'$  eredő redukált reaktanciát az elektrotechnikában megismertek (soros és párhuzamos elemi részek egymást követő összevonása, szükség esetén háromszög-csillag átalakítás) szerint lehet meghatározni. Az egy fázisban folyó zárlati áram a számítási feszültség fázisértéke és az  $X_e'$  reaktancia hányadosaként számolható:

$$I_z' = \frac{\frac{U_{sz}}{\sqrt{3}}}{X_e'} = \frac{U_{sz}}{\sqrt{3} \cdot X_e'}.$$

Ha a választott számítási feszültség nem azonos a zárlatos szakasz névleges feszültségével, akkor a számított zárlati áramot ( $I_z'$ ) a teljesítményazonosság elve alapján át kell redukálni ( $I_z$ ) az adott szakasz névleges feszültségére:

$$U_{sz} \cdot I_z' = U_n \cdot I_z, \Rightarrow I_z = \frac{U_{sz}}{U_n} \cdot I_z'.$$

A háromfázisú zárlati teljesítmény:

$$S_z = \sqrt{3} \cdot U_{sz} \cdot I_z' = \sqrt{3} \cdot U_{sz} \frac{U_{sz}}{\sqrt{3} \cdot X_e'} = \frac{U_{sz}^2}{X_e'}.$$



### 5.4.2. Záratszámítás a reaktanciák százalékos értékével

A hálózati elemek jelentős részénél (generátorok, transzformátorok, fojtótekercek) a reaktanciák százalékos értékét alapadatként ismerjük. A hálózatok zárlatait az egyszerűbb redukálhatóság miatt célszerű a reaktanciák százalékos értékeivel számolni.

A számítások elvégzéséhez először egy  $S_a$  számítási alapterjesítményt kell választani (célszerűen 1 MVA, 10 MVA vagy 100 MVA ) és erre kell átszámítani az egyes elemek százalékos reaktanciáját. Az átszámítás e módszernél is a zárlati teljesítmény változatlanságán alapul.

$$S_z = \frac{100}{\varepsilon_n} \cdot S_n = \frac{100}{\varepsilon'} \cdot S_a, \quad \text{ebből} \quad \varepsilon' = \varepsilon_n \cdot \frac{S_a}{S_n}.$$

Ezzel az összefüggéssel redukáljuk a transzformátorok, generátorok és fojtótekercek százalékos reaktanciáját.

Szabadvezetékek és kábelek estén:

$$\varepsilon_n = \frac{\sqrt{3} \cdot I \cdot X_n}{U_n} \cdot 100 = \frac{\sqrt{3} \cdot \frac{S_n}{\sqrt{3} \cdot U_n} \cdot X_n}{U_n} \cdot 100 = \frac{S_n \cdot X_n \cdot 100}{U_n^2},$$
$$\varepsilon' = \varepsilon_n \cdot \frac{S_a}{S_n} = \frac{S_n \cdot X_n \cdot 100}{U_n^2} \cdot \frac{S_a}{S_n} = \frac{100 \cdot X_n \cdot S_a}{U_n^2}.$$

A mögöttes hálózat felfogható egy olyan hálózati elemnek, amelynek százalékos feszültségése  $\varepsilon_n = 100\%$ . A redukált százalékos reaktancia:

$$\varepsilon' = \varepsilon_n \cdot \frac{S_a}{S_n} = 100 \cdot \frac{S_a}{S_{zH}}.$$

A helyettesítő kapcsolás kialakítása, az eredő százalékos reaktancia meghatározása az ohmos módszerrel leírtak szerint történik.

A háromfázisú zárlati teljesítmény:

$$S_z = \frac{100}{\varepsilon_e} \cdot S_a.$$

A zárlati áram:

$$I_z = \frac{S_z}{\sqrt{3} \cdot U_n},$$

ahol:  $U_n$  a zárlatos hálózatelem névleges (vonali) feszültsége.

### 5.5. Zárlatkorlátozás fojtótekerccsel

A zárlati áramok, és teljesítmények nagysága a különböző feszültségű hálózatokon növekvő tendenciát mutat. Ennek oka, hogy az erőművek, vezetékek, transzformátorok számának növekedése csökkenti az eredő impedanciát, így a zárlati áram növekszik. A zárlat romboló hatása miatt gondoskodni kell a zárlati áram (teljesítmény) korlátozásáról. Ennek megoldásai lehetnek: zárlatkorlátozó

impedanciák alkalmazása, különleges hálózati kapcsolások, automatikák és áramkorlátozó biztosítók. Itt a zárlatkorlátozó fojtótekerccsel foglalkozunk.

A zárlatkorlátozó fojtótekerccs a hálózat soros eleme, reaktanciája megnöveli a zárlati áramkör eredő reaktanciáját, ezáltal a zárlati áram és a zárlati teljesítmény előre meghatározható értékűre csökken.

Ha például az alábbi fogyasztói állomáson 3F zárlat keletkezik, a távvezetéken (5.4. sz. ábra), akkor

$$I_z = \frac{U_n}{\sqrt{3} \cdot X_e} = \frac{U_{nf}}{X_e}$$

nagyságú zárlati áram folyik és a zárlati teljesítmény:  $S_z = \frac{U_n^2}{X_e}$ .

A fojtótekerccs beépítése után:

$$I_{zc} = \frac{U_{nf}}{X_e + X_f}; \quad S_{zc} = \frac{U_n^2}{X_e + X_f}.$$

A zárlati áram és a zárlati teljesítmény fordítottan arányos a reaktanciával. Könnyű belátni, hogy

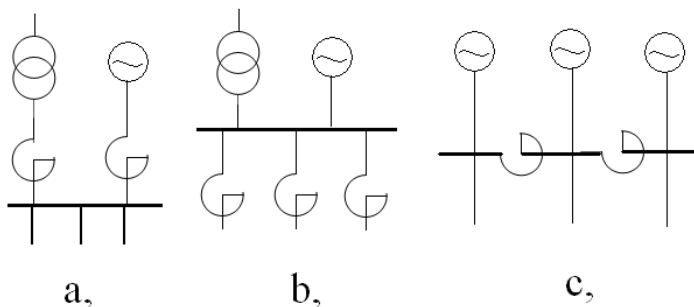
$$I_{zc} < I_z \quad \text{és} \quad S_{zc} < S_z.$$

A gyakorlatban az ismert  $U_n$  és  $S_z$  értékekhez kell akkora  $X_f$  fojtóreaktanciát választani, hogy a zárlati teljesítmény valamilyen szempont alapján kijelölt  $S_{zc}$  értékűre csökkenjen.  $X_f$  meghatározásához átrendezve írjuk fel az egyenletet:

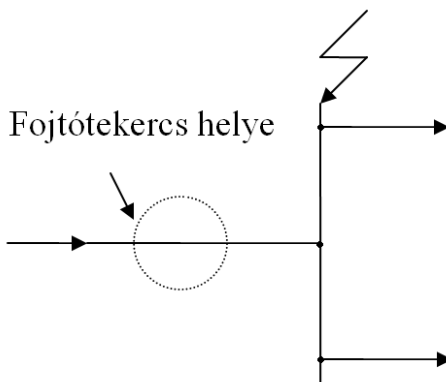
$$X_e + X_f = \frac{U_n^2}{S_{zc}}, \text{ az eredeti adatokból kifejezett } X_e = \frac{U_n^2}{S_z} - t \text{ behelyettesítve}$$

$$X_f = \frac{U_n^2}{S_{zc}} - \frac{U_n^2}{S_z}.$$

A fojtótekerccs kapcsolóberendezésben történő elhelyezésére a következő megoldások terjedtek el: (5.5. sz. ábra).



5.5 ábra. Folytótekerccsek elhelyezkedése



5.4 ábra. Zárlatkorlátozó fojtótekerccs beépítési helye

Elhelyezésük:

betáplálásba– 120/ középfeszültségű transzformátorok középfeszültségű oldalára, vagy a gyűjtősínes erőművek generátorai és a gyűjtősín közé iktatják

leágazásokba– elmenő vonalakba – ez a leggyakoribb.

gyűjtősínbe– kisebb teljesítményű gyűjtősínes erőművek gyűjtősínjeit több szakaszra bontják és ezeket fojtótekercecseken keresztül kapcsolják össze. Ezáltal az egyes sínszakaszok vagy azokról elmenő vonalak zárataira a több sínszakaszra csatlakozó generátorok által rátáplált zárlati áramot korlátozzák.

### 5.5.1. Előnyök, hátrányok

Műszaki szempontból a betáplálási fojtózás előnyei:(5.5a. sz. ábra)

- nemcsak a leágazásokban, hanem a gyűjtősínen fellépő zárlatot is korlátozza, így a gyűjtősínt csak korlátozott zárlati teljesítményre kell méretezni;
- kevesebb fojtótekercesre van szükség, mint a leágazási fojtózásnál;
- a leágazási mezőkhöz nem kell a drága, nagyméretű épített és szellőztetett fojtócellák sora, hanem azok korszerű és kis helyigényű tokozott kapcsoló-berendezésként is kialakíthatók.

A megoldás hátrányai:

- a transzformátor üzemi árama (a leágazások összárama) nagyobb feszültségesést okoz annál, mint ami a leágazási esetben fellép, amikor az ugyanolyan reaktanciájú fojtótekercesen csak egy leágazás árama folyik át;
- minél több leágazásról van szó, annál nagyobb az üzemi feszültségesésen kívül a határos és a meddőteljesítmény-vesztés is;
- a nagyméretű betáplálási fojtótekerces elhelyezése általában csak külön szellőztetett épületben vagy szabadtéren, drága olajszigetelésű típussal oldható meg.

Az 5.5b. sz. ábrán a fojtótekercesek a leágazásokban vannak.

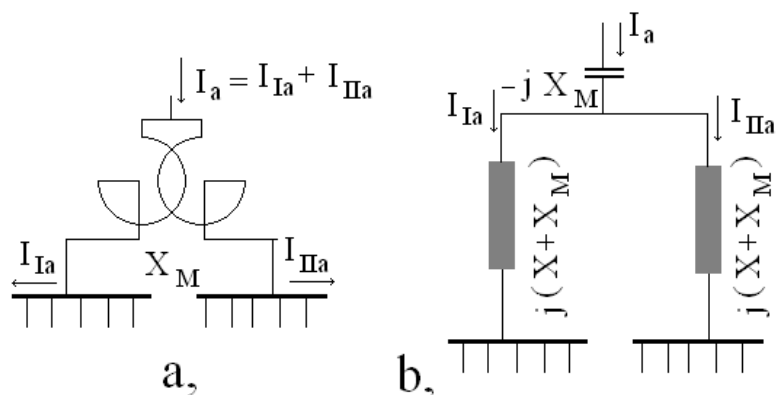
Ezen elhelyezés műszaki előnyei a következők:

- az üzemi feszültségesés

kisebb, azaz sokkal kisebb százalékos fojtással lehet a kívánt csökkentett zárlati teljesítményt elérni, mint az a) megoldásnál;

- hálózati zárlat esetén az ép leágazások feszültsége kevésbé törik le.

Hátránya, hogy az a) 5.6 ábra. Ikerfolytós tekercs elhelyezkedése megoldással szemben a



gyűjtősínek és a transzformátorok igénybevételét sínzárlatok esetén nem korlátozzák fojtótekercesek.

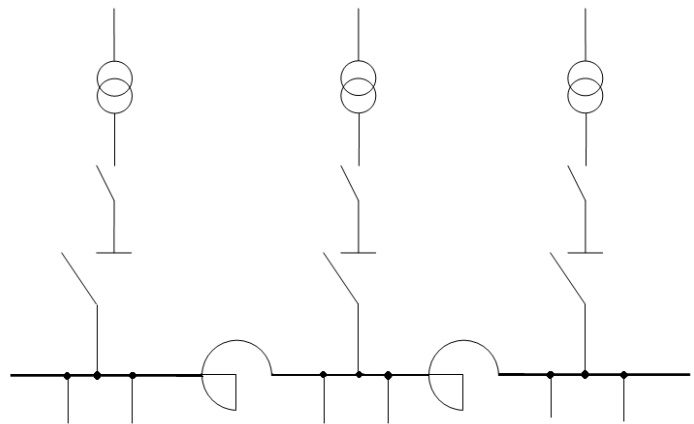
A betáplálási fojtótekerces kedvezőtlen üzemi viszonyain sokat lehet javítani ikerfojtó alkalmazásával. Az ikerfojtó kapcsolási elrendezését és helyettesítő kapcsolási vázlatát az (5.6 sz. ábra) mutatja.

Mindegyik fázistekercsén középső megcsapolás van, ez csatlakozik a tápoldalhoz. A tekercs két vége két különálló fogyasztót lát el. Ha a két fogyasztó terhelőárama egymással egyenlő, a két féltekercs mágneses tere – a közöttük levők csatolási tényező arányában – egymás ellen hat, és így csökkenti a feszültségesést és a meddő veszteséget.

A helyettesítő vázlatból jól látható, hogy az egyik ágon fellépő zárlati árammal szemben az ikerfojtó igen jó közelítéssel  $(X + X_m) - X_m = X$  reaktanciát képvisel.

További előnye még az ikerfojtónak, hogy a zárlat által nem érintett sínról leágazó fogyasztók feszültsége a zárlat fennállása alatt sokkal kisebb mértékben csökken, mint amilyen mértékben a soros fojtótekerces leágazásba történő beépítése esetén, vagy a soros fojtótekerces betáplálási alkalmazásakor.

A gyűjtősín hosszában elhelyezett fojtótekercesek segítségével (5.7 sz. ábra)

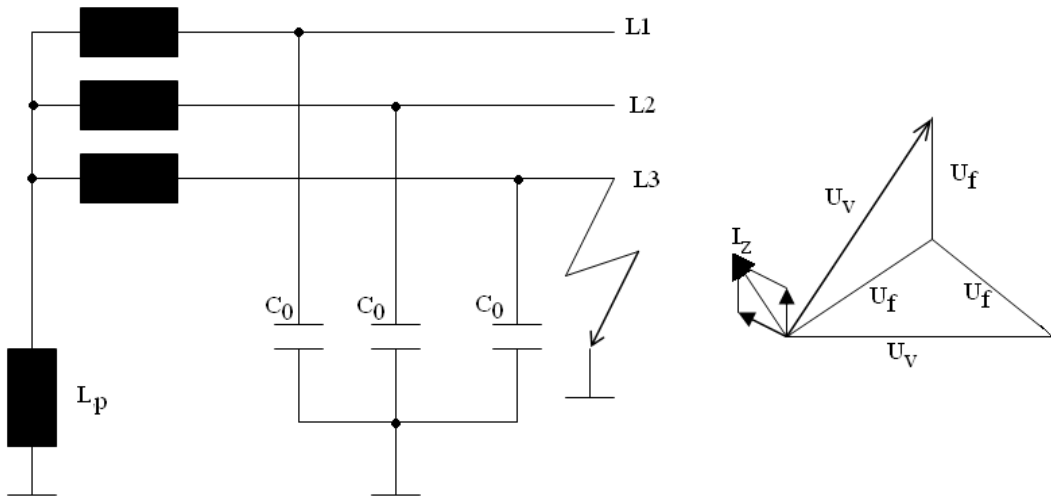


5.7 ábra. Gyűjtősín hosszában elhelyezett fojtótekercesek

három részre osztott gyűjtősín zárlati teljesítménye jelentősen kisebb az osztatlan gyűjtősín zárlati teljesítményénél. Ha az egyes sínszakaszokon belül a betáplált és a fogyasztott áramok nincsenek egyensúlyban, akkor a sínbontó fojtótekercesen átfolyó üzemi áram a fojtótekercesen feszültségesést okoz.

A fojtótekerces használatát legtöbbször gazdasági okok döntenek el. Megtakarítást tesz lehetővé a kisebb zárlati igénybevételű berendezésben és még a sín és a fojtó közötti megszakítót is elegendő a korlátozott zárlati teljesítményre méretezni. Ugyanakkor a meddőteljesítmény-igényének fedezéséről gondoskodni kell, és az ellenállásán keletkező veszteség is költséget jelent.

## 5.6. Szigetelt csillagpontú hálózat földzárata (5.8. sz. ábra)



5.8 ábra. Szigetelt csillagpontú hálózat földzárata

A nem közvetlenül földelt csillagpontú hálózatokon az egyfázisú földzáratok nem igényelnek azonnali kikapcsolást, mert a fellépő földzárlati áram kicsi. Az energiaszolgáltatás a földzárlat ellenére hosszabb rövidebb ideig fenntartható, sőt kompenzációval a földzáratok többségét kitevő ún. ívelő zárlatok nagy része az üzem megzavarása nélkül megszüntethető. Az alábbi ábra segítségével vizsgáljuk meg a földzárlati feszültség és áramviszonyokat. A csillagponthoz kapcsolt nagy induktív reaktanciájú tekercs hatását először nem vesszük figyelembe.

Zavarmentes üzemben a fázisvezetők földdel alkotott kapacitásai a hálózat csillagpontját földpotenciálra tartják, tehát a hálózat mindhárom fázisának a földhöz viszonyított feszültsége  $U_f$ .

Ha tartós Ff földzárlat következik be, az érintett fázis földdel alkotott kapacitását a zárlat rövidre zárja, a vezető potenciálját a földhöz rögzíti, a másik két fázisföldhöz viszonyított feszültségét  $U_f$ -ről  $U_V$ -ra, a csillagpontot 0-ról  $U_f$ -ra emeli.

Az ép fázisok földhöz viszonyított kapacitásán átfolyó áram szintén megnő, mégpedig

$$I'_c = \sqrt{3} \cdot I_{c0} = \sqrt{3} \cdot U_f \cdot \omega \cdot C_0$$

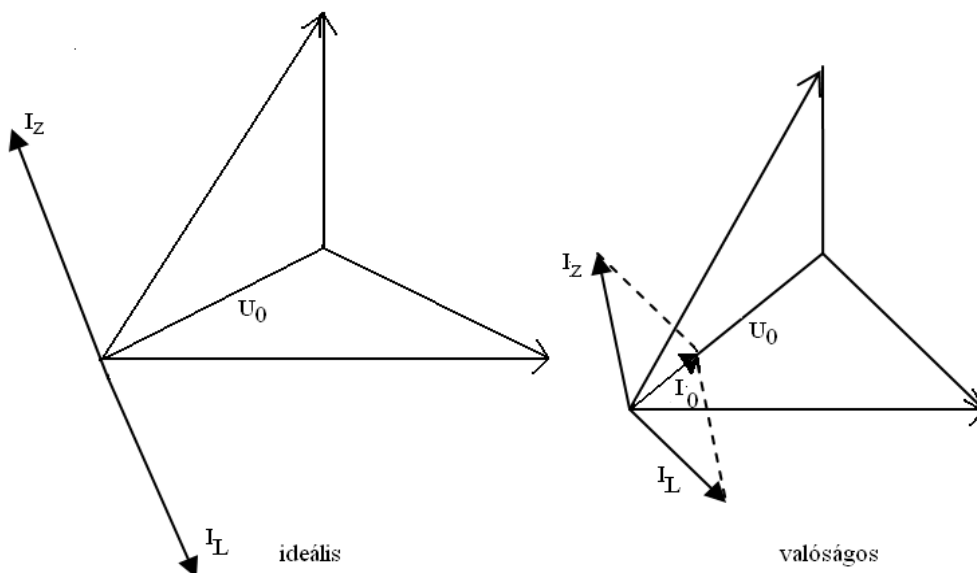
értékűre, ahol:  $C_0$  – az egyes fázisok földhöz viszonyított kapacitása. A két töltőáram vektoros eredője:

$$I_c = 3 \cdot U_f \cdot \omega \cdot C_0.$$

### 5.6.1. Ívelő zárlat

Ívelő zárlat keletkezik, ha valamelyik fázis íven keresztül (szigetelő átível) érintkezik a földdel (föld potenciálú ponttal). Az ív periódusonként kétszer kialszik. Az első kialvásig úgy viselkedik, mintha fémes Ff zárlat lenne. Vizsgáljuk meg a jelenséget. Tételezzük fel, hogy a földzárlat a feszültség hullám csúcserékénél következett be. A csillagpont feszültsége a földhöz képest nulláról a földzárlatos fázis feszültségére ugrik. Az ív kialszik, de a csillagpont a földkapacitások miatt fázisfeszültségen marad, ezért a hibás fázis feszültsége  $U_{csp} + U_f$ -re (kb.  $2 \cdot U_f$ -re) nő, ez ismét átütéshez vezet, ív keletkezik. Az áram nullátmenetkor az ív kialszik, a csillagpont már kétszeres fázisfeszültségre kerül. A hibás fázis feszültsége megint emelkedik,  $U_{csp} + U_f$  már kb.  $3 \cdot U_f$  és ez a jelenség általában  $5 \cdot U_f$ -ig tart, mert ekkor már egy ép fázis is átüt és 2Ff zárlat keletkezik, amire a védelem már működik. A valóságban a jelenség lassabban játszódik le a csillapítások miatt. A gyakorlat azt mutatja, hogy 5A-nál kisebb földzárlati áram esetén az ív nem tud fennmaradni, ezért cél a földzárlati áram ilyen mértékűre való csökkentése.

### 5.6.2. Földzárlat-kompenzálás (5.9. sz. ábra)



5.9 ábra. Földzárlat kompenzálás

A földzárlat-kompenzáció célja párhuzamos rezonancia létesítésével a zárlati hibaáram lecsökkentése olyan értékűre, hogy az ívelő zárlat ne tudjon fennmaradni. A megvalósítás lehetőségei:

- a csillagpont földelése induktivitáson (Petersen tekercs) keresztül
- Bauch transzformátor alkalmazása (Magyarországon nem használatos)

Részletesen a hazai gyakorlatban elterjedt Petersen tekercses (ívoltó tekercs) kompenzációval foglalkozunk. A transzformátor csillagpontja és a föld közé kapcsolt  $X_L$  reaktanciájú tekercsen földzárlatkor  $U_f$  feszültség jelenik meg. Hatására folyó

$$I_L = \frac{U_f}{X_L} = \frac{U_f}{\omega \cdot L}$$

induktív áram a zárlatos fázison, a hibahelyen és a földön keresztül záródik,  $90^\circ$ -kal késik a csillagponti  $U_0 = U_f$  feszültséghez viszonyítva. A vektor ábrából is látható, hogy  $I_L$  és  $I_C$  iránya ellentétes. Ha tehát nagyságuk egyenlő, akkor eredőjük nulla, vagyis a hibahelyen nem folyik áram.

A kompenzáló tekercs (ívoltó tekercs) induktivitását tehát úgy kell megválasztani, hogy

$$I_L = I_C$$

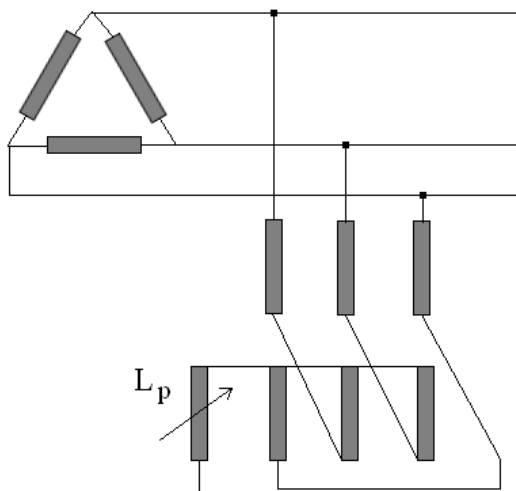
legyen. Behelyettesítve az előzőekben meghatározott értékeket:

$$\frac{U_f}{\omega \cdot L} = 3 \cdot U_f \cdot \omega \cdot C_0 \Rightarrow \omega \cdot L = \frac{1}{3 \cdot \omega \cdot C_0},$$

$$L = \frac{1}{3 \cdot \omega^2 \cdot C_0}.$$

A valóságban a hálózati elemek hatásos ellenállása, valamint a sugárzás és a levezetés miatt az  $I_C$  kapacitív és az  $I_L$  induktív áramok hatásos összetevőt is tartalmaznak, ezért ezek egymással  $180^\circ$ -nál kisebb szöget zárnak be. Eredőjük tehát nem nulla, hanem egy viszonylag kicsi ún. maradék áram. Az ívoltás sikeressége érdekében ezt a maradékot kell 5A (esetleg 10A) alá csökkenteni.

A Petersen tekercs elhelyezése háromszög kapcsolású transzformátor esetén az (5.10. sz. ábrán) látható.



5.10 ábra. Petersen tekercs bekötése

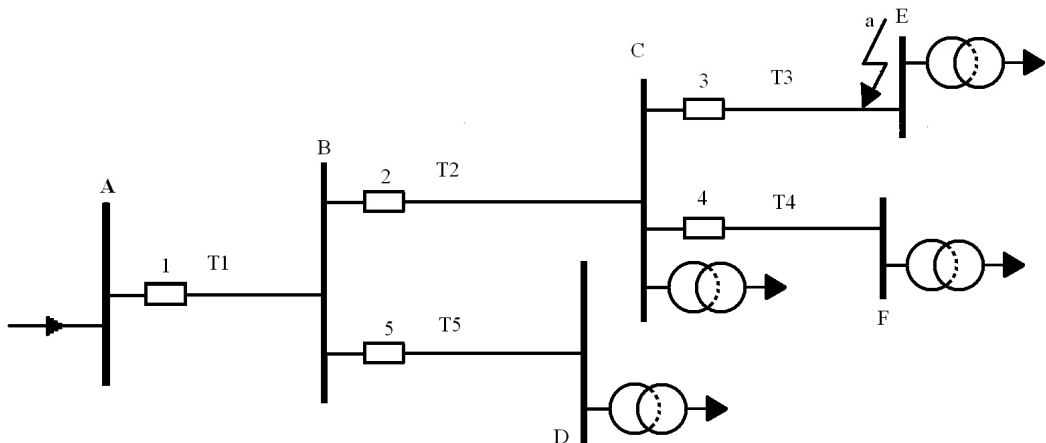
## 6. Fejezet

### A túláramvédelem működésének alapjai

#### 6.1 Szelektív zárlatok

A védelem feladata az, hogy a hálózaton fellépő hiba esetén a hibás hálózatrészt a lehető leggyorsabban kikapcsolja. A védelmeiktől megkívánjuk, hogy szelektíven működjenek, azaz hiba esetén csak a meghibásodott részt kapcsolják ki a védelmek által vezérelt megszakítók, a hálózat többi, ép része üzemben maradjon.

Például a (6.1. sz. ábrán) látható sugaras hálózat „a” pontján keletkező zárlatkor a



6.1 ábra. Zárlat egy sugaras hálózaton

zárlati áram végigfolyik a T1, T2 és T3 távvezetéken. A zárlati áramot érzékelik az 1, 2 és 3 jelű védelmek, azonban a zárlatot csak a 3 jelű megszakítónak kell megszüntetnie (ez a T3 szakasz alapvédelme). Ha a hibát például a 2 jelű megszakító kapcsolná ki, akkor a C állomás, a T4 vezeték és az általuk táplált fogyasztók is feleslegesen kiesnének. Ha valamilyen oknál fogva a 3 jelű védelem nem tud kikapcsolni (szekunder kör hiba, védelem hiba, megszakító hiba, egyenáramú táplálás hibája, stb.), akkor a zárlatot a 2 jelű védelemnek kell megszüntetnie. A 2 jelű védelem a T3 vezeték tartalék védelme, ugyanakkor tartalék védelme a T4 vezetéknek is. Így a tartalék védelmi működés már nem lehet szelektív. A védelmek szelektív működését általában az alábbi módszerekkel lehet biztosítani:

- Időkésleltetés különböző értéke (időlépcsőzés)
- A mérőelem megszólalási érzékenységének különböző beállítása (pl. áramkiválasztó védelem, távolsági védelem).
- A mérés elvéből adódó szelektivitás (pl. különbözeti védelem)
- Különleges reteszelő módszerek alkalmazása (pl. logikai gyűjtő sín védelem)

A túláramvédelmek védelmi rendszerében az a) és b) módszert együttesen alkalmazzuk.



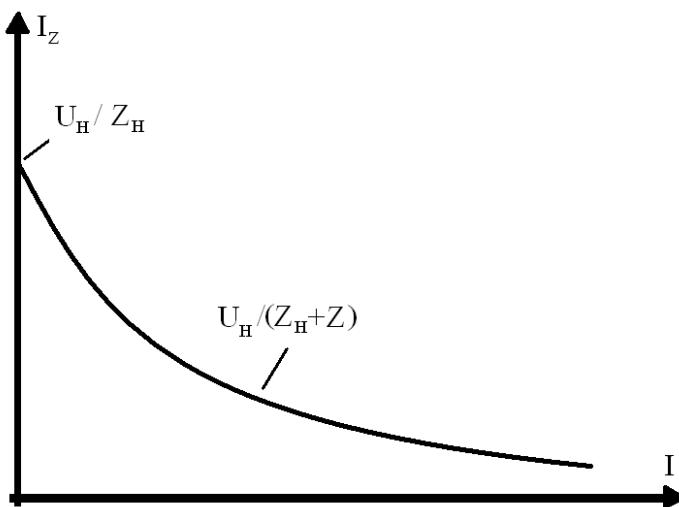
## 6.2. Érzékelés és mérés

Sugaras hálózat esetén a hiba (zárlat, túlterhelés) tényét és helyét az áram mérésével állapítják meg. A védelemtől  $l$  távolságban fellépő 3F zárlat esetén zárlati áram:

$$I_z = \frac{U_h}{Z_h + z \cdot l},$$

ahol:  $U_h$  a hálózat fázisfeszültsége (az egyenértékű Thevenin generátor pozitív sorrendű feszültsége),  $Z_h$  a védelem helyén az egyenértékű Thevenin generátor belső impedanciája,  $z$  a vizsgált vezeték fajlagos pozitív sorrendű impedanciája (Ohm/km),  $l$  a zárlat távolsága a védelem helyétől mérve (km).

A zárlatot különböző távolságban feltételezve a védelem által érzékelt áram a zárlat helyétől függően hiperbolikusan változik. (6.2.sz. ábra). Természetesen adott hibahely esetén az egész érintett szakaszon azonos nagyságú áram folyik végig. A túláramvédelem alkalmazásakor különböző hibahely lehetőségekkel a fellépő zárlati áram nagyságának számítása adja a védelem beállítás-számításának értékét, amelyeket a következőkben ismertetett megfontolások felhasználásával állapítunk meg.



6.2 ábra. Zárlati áram hiperbolikusan változik

## 6.3. A védelem fokozatai

A kétlépcsős, független késleltetésű túláramvédelem felépítése két szempont szerint vizsgálható

a, Feladat szerinti felosztás

- Alapvédelem: a saját védelmi szakaszon fellépő zárlatok lekapcsolása. Például a 6.1 sz. ábrán látható 2 jelű védelem a T2 szakaszon és a C gyűjtősínen fellépő zárlatok lekapcsolásáért felelős, egészen a 3. illetve 4. jelű védelmek áramváltójáig.

- Tartalék védelem: A védelem vagy a megszakító hibája esetén egy másik, távolabb elhelyezett és másik megszakítót működtető védelem kapcsol ki. Például a 2 jelű védelem működésképtelensége esetén az 1 jelű védelem látja el a T2 és a C sín első tartalék védelmi funkcióját.

b, Működés szerinti felosztás

- Gyorsfokozat: a lekapcsolás a védelem ún. önidejének (a védelmi berendezések és a megszakító működési ideje) elteltével történik. Ez akkor alkalmazható, ha biztosan megállapítható, hogy az adott zárlat a védelem saját működési területén (az alapvédelmi zónájában) van, azaz a szelektivitás igényeit kielégítjük, és nem kockáztatjuk leágazások és fogyasztók felesleges kikapcsolását. például a T2 vezetéken fellépő zárlatot a 2 jelű védelemnek kell lekapcsolnia gyorsfokozatban. A gyorsfokozatnak azonban nem szabad lekapcsolnia a 3 vagy 4 jelű védelem jobb oldalán fellépő zárlatokat, mivel ebben az esetben feleslegesen kiesnének a C gyűjtősínről leágazó ép ágak is. Mivel a 2 jelű védelem helyéről nézve kicsi a villamos távolság különbség a C sín valamint a 3 és 4 jelű védelmek két oldala között, így nincs mérhető árameltérés a zárlat pontos helyének megállapítására. Ezért a szelektivitás biztosítása érdekében a 2 jelű védelem gyorsfokozatának túláram reléjét úgy kell beállítani, hogy az biztonsággal ne szólaljon meg a C gyűjtősín zárlatára, azaz a védelem beállított áramértéke biztonsággal nagyobb legyen, mint a gyűjtősín legnagyobb zárlati árama.

Késleltetett fokozat: a túláram érzékelés egy időszámlálót indít, ami a beállított időkésleltetés után adja ki a parancsot a lekapcsolásra. A késleltetett fokozat látja el a tartalék védelmi funkciót, ezért azt úgy kell beállítani, hogy biztonsággal megszólaljon a védelem utáni második gyűjtősín lehetséges legkisebb zárlati áramára is. Azaz a beállítási értéke biztonsággal kisebb legyen, mint a második gyűjtősín legkisebb zárlati árama. Például az 1 jelű védelemnek a késleltetett fokozatában biztosan kikapcsolási parancsot kell adnia a 2 jelű védelem esetleges hibája esetén a 2 vagy 4 jelű védelmek bal oldalán fellépő zárlatokra, ezért a C gyűjtősín legkisebb zárlati áramánál biztonsággal kisebbre kell beállítani az 1 jelű védelem késleltetett fokozatát. Hasonló működést kívánunk a T5 - D gyűjtősín irányában is, így a C és D gyűjtősín közül a kisebb zárlati áramnál is kisebbre kell az 1 jelű védelem késleltetett fokozatát beállítani.

## 6.4 Védelem beállítása sugaras hálózatokban

### 6.4.1 Gyorsfokozat beállítása

Feladata a táppont közelében fellépő nagyáramú zárlatok gyors kikapcsolása. A beállítás szempontjai:

a, A védelem ne érzékelje a táplált transzformátorok szekunder oldalán fellépő  $I_{kmax}$  legnagyobb zárlati áramot osztatlan hálózat esetén. (Az osztott hálózatnál a külön védelemmel rendelkező védett szárnyvezeték legnagyobb zárlati áramát nem szabad érzékelni.)

$$I_{be, gyors} \geq \frac{I_{kmax}}{1 - \varepsilon}$$

b, A védelem legyen érzéketlen a leágazás  $I_{Bmax}$  bekapcsolási áramlökésére.  $I_{Bmax}$ -ot célszerű számolással meghatározni, ekkor  $1,6 \cdot I_{ümax}$  ( $1,6 \times$  maximális üzemi áram) vehető figyelembe.

$$I_{be,gyors} \geq \frac{I_{Bmax}}{1-\varepsilon}$$

c, A védelem ne működjék az  $I_{FT}$  földzárlati tranzienst áramokra. Az  $I_{FTmax}$  mértékadó mértéke 20kV-on 300...700 A.

$$I_{be,gyors} \geq \frac{I_{FTmax}}{1-\varepsilon}$$

d, Maximális betáplálás esetén se legyen a vezeték termikusan veszélyeztetve.

$$I_{be,gyors} \leq \frac{1}{1+\varepsilon} \cdot \frac{q \cdot 10^3}{B \cdot \sqrt{t_{max}}} [A],$$

ahol: q- vezeték keresztmetszete mm<sup>2</sup>-ben, B- a vezető anyagra, annak maximális zárlati hőmérsékleti értékére jellemző állandó. [mm<sup>2</sup>/kA×S<sup>1/2</sup>], t<sub>max</sub>-az első és a gyorsvisszakapcsolás (GVA) utáni zárlathárítás (védelem önidő+megszakítási idő) idejének összege.

e, Ne ütközzön a középvezettségű gyűjtőszínvédelem  $I_{sbe}$  beállításával.

$$I_{be,gyors} \leq \frac{1-\varepsilon}{1+\varepsilon} \cdot I_{sbe}$$

#### 6.4.2. Késleltetett fokozat beállítása

A késleltetett fokozat feladata az, hogy a teljes vezeték, tehát a gerinc-, illetve a szárnyvezetékek legkisebb áramú zárlatait is érzékelje és kikapcsolja. A beállítás szempontjai:

a, A védelem ne érzékelje a táplált transzformátorok szekunder oldalán fellépő  $I_{kmax}$  legnagyobb zárlati áramot osztatlan hálózat esetén. (Az osztott hálózatnál a külön védelemmel rendelkező védett szárnyvezeték legnagyobb zárlati áramát nem szabad érzékelni.)

$$I_{be,késl} \geq \frac{I_{kmax}}{1-\varepsilon}$$

b, A védelem legyen érzéketlen a legnagyobb  $I_{ümax}$  üzemi áramra.

$$I_{be,késl} \geq \frac{I_{ümax}}{1-\varepsilon} \cdot \frac{k_f}{k_v}$$

A maximális üzemi áram számításakor figyelembe kell venni a lehetséges üzemzavari túlterhelődéseket is. (A  $k_f/k_v$  a felfutási tényező és az ejtőviszony hányadosát jelenti.)

c, A védelem ne működjék az  $I_{FT}$  földzárlati tranzienst áramokra.

$$I_{be,késl} \geq \frac{I_{FTmax}}{1-\varepsilon}$$

Ha az egyenlet nem teljesíthető, akkor az időkésleltetést kell növelni.

d, A védelem ne működjön a leágazás  $I_{Bmax}$  bekapcsolási áramlökézésére.

$$i_{BE,késl} \geq \frac{I_{Bmax}}{1-\varepsilon}$$

Ha az egyenlet nem teljesíthető, akkor az időkésleltetést kell növelni.  
e, A védelem biztonsággal érzékelje a vezeték legkisebb,  $I_{vmin}$  zárlati áramát.

$$I_{be,késl} \leq \frac{I_{vmin}}{1 + \varepsilon}$$

### **6.4.3. A visszkapcsoló automatikáról**

#### **6.4.3.1. A visszkapcsoló automatika feladata**

Ha egy zárlat átívelés miatt jön létre, akkor annak gyors megszüntetése után nagy valószínűséggel remélhető, hogy a berendezést újra feszültség alá lehet helyezni anélkül, hogy a zárlati ív újragyulladna. A visszkapcsoló automatika feladata végrehajtani ezt a visszkapcsolást.

#### **6.4.3.2. A visszkapcsoló automatika működését befolyásoló tényezők**

##### 1, Megszakító hajtás

A zárlatot megszüntető megszakító hajtásának képesnek kell lenni arra, hogy a kikapcsolás után kis idővel újra be tudjon kapcsolni. (Annyi energiával kell rendelkeznie a hajtást működtető energiatárolónak /rugó, sűrített levegő, gázrugó/, hogy több kapcsolást tudjon végezni a megszakító egymás után.)

##### 2, Megszakító ismételt megszakítási képessége

A megszakító ívöltő közegének bizonyos időre van szüksége egy zárathárítás után ahhoz, hogy újra tudja szakítani a zárlatot a visszkapcsolás után. Megkívánjuk tehát, hogy az ívöltő tényezők rövid holtidő után újra hatásosak legyenek (érintkezők lehűljenek, belső nyomás lecsökkenjen, az ív útja kitisztuljon).

##### 3, A zárlati ív helyének deionizációja

A visszkapcsolás akkor eredményes, ha a visszkapcsolás után a zárlat nem gyullad újra. Ennek feltétele, hogy a hibahelyen a zárlati ív útja deionizálódjon. Háromsarkú kikapcsolás után ez az idő középfeszültségű hálózaton kb. 80ms.

##### 4, Fogyasztói szempontok

A fogyasztók érdeke a lehető legrövidebb holtidővel történő visszkapcsolás, mert a visszkapcsolás holtideje alatt a fogyasztók feszültségmentes állapotban vannak. (a sugaras ellátó hálózaton keletkezett hiba esetén)

### **6.4.4. A védelmek típusai és eszközei**

#### **6.4.4.1. A védelmek osztályozása feladatuk szerint**

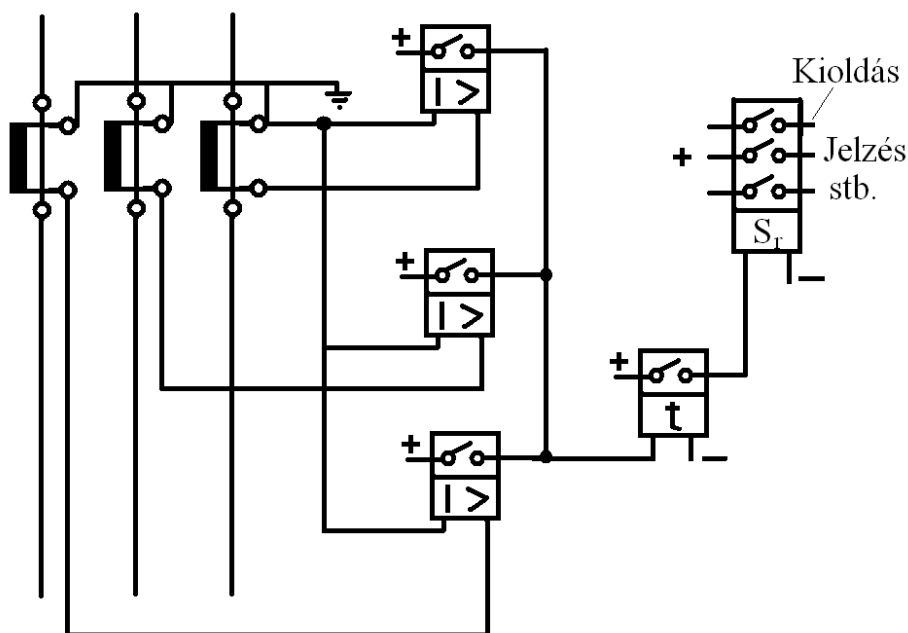
A védelmek igen nagy értékű villamos berendezéseket védenek a meghibásodások káros következményei ellen. Gondoskodni kell arról, hogy a berendezés még abban az esetben se maradjon teljesen védetelenül, ha a közvetlenül védő védelem nem működik. Ebből a szempontból a védelmeket a következők szerint osztályozhatjuk.

a, Alapvédelem. Az alapvédelem feladatát ellátó relének az összes többi védelmet megelőzve kell működnie. Egy gépnek vagy berendezésnek általában több alapvédelme van attól függően, hogy milyen meghibásodások fordulhatnak elő. Így pl. generátoroknál zárlatvédelem, földzárlatvédelem, tűzvédelem, túlmelegedés védelem használatos, mint alapvédelem.

b, Tartalékvédelem. Ha az alapvédelem nem működik, akkor az alapvédelem megszakítóját a tartalékvédelem tartozik lekapcsolni. A tartalékvédelem reléje teljesen független az alapvédelemtől.

c, Fedővédelem. A fedővédelem akkor szólal meg, ha az alapvédelem, vagy a tartalékvédelem nem működött. A fedővédelem a tartalékvédelemtől két lényeges dologban különbözik. A fedővédelem más megszakítót működtet, mint az alap- vagy a tartalékvédelem. Ebből következik, hogy ha a zárlatot az alapvédelem helyett a fedővédelem kapcsolja le, akkor a lekapcsolás hibátlan berendezésekre is kiterjedhet.

#### 6.4.4.2. Túlterhelésvédelem

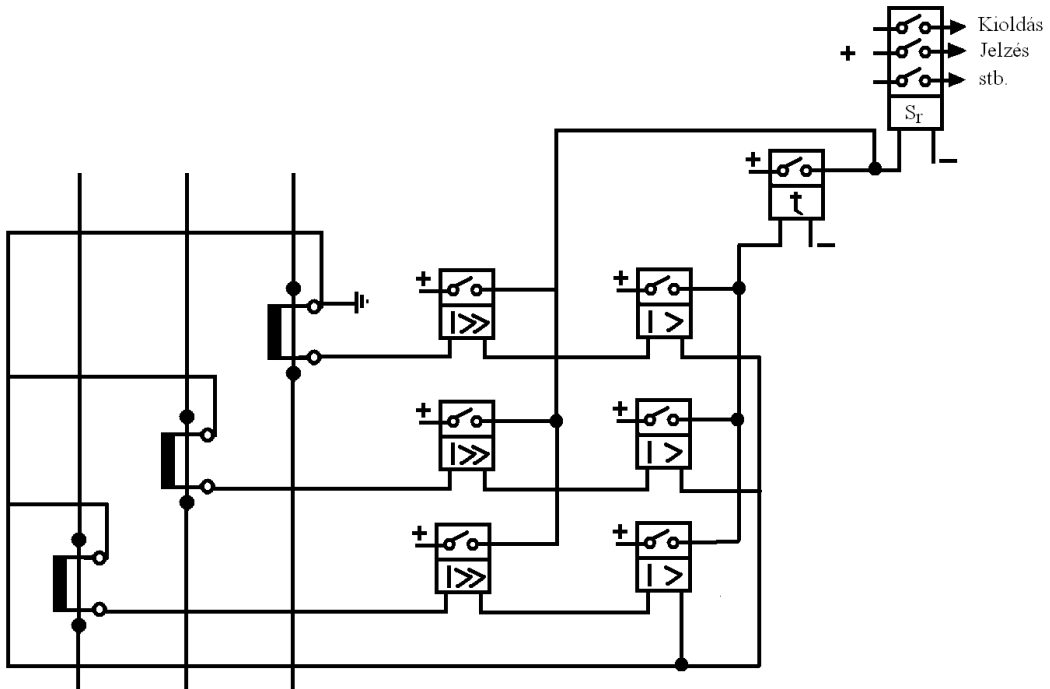


6.3 ábra. Független késleltetésű túláramvédelem

A túlterhelésvédelem feladata, hogy a berendezést kikapcsolja, ha hőmérséklete megközelíti a megengedhető legnagyobb értéket, majd lehetőleg megakadályozza az újrakapcsolást mindaddig, amíg a berendezés hőmérséklete az üzemi értékre le nem hűl. A túlterhelésvédelemnél valamilyen formában a terhelőáramról működik a védelem. Az ilyen túlterhelésvédelem elvben termikus alapelveken felépülő készülékkel oldható meg. E védelem akkor ideális, ha hőmása a berendezésnek, vagyis a berendezés és a védelem hőmérséklet – túláram jelleggörbéje megegyezik.

### 6.4.4.3. Túláram-idő védelem

Független, késleltetésű túláramvédelem rendszerint túláramrelékből, időrelékből, valamint segédrelékből összeállított védelmi egység (6.3. sz. ábra). Szigetelt és kompenzált hálózaton esetenként kétfázisú, egyébként háromfázisú egységet alkalmazunk. A túláramrelé beállítási értékét két körülmény szabja meg:



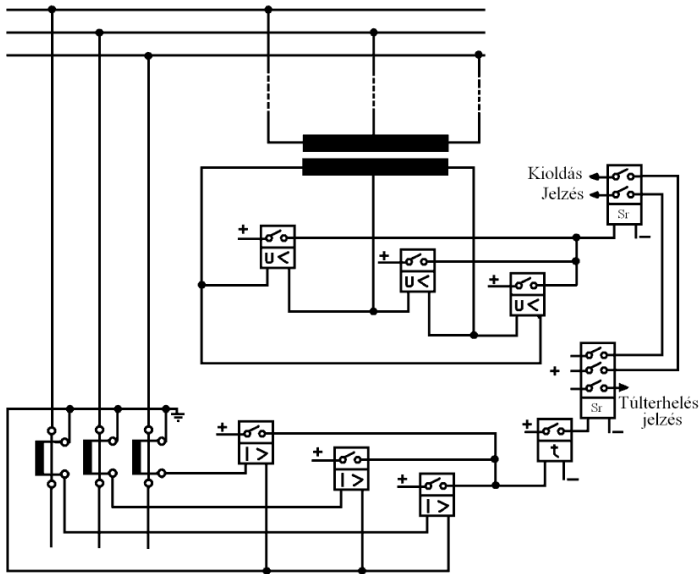
6.4 ábra. Kétfokozatú túláram-idő védelem

1, Megszólalási értéke biztonsággal kisebb kell, hogy legyen, mint az alap- és fedővédelmi körzetében fellépő legkisebb zárlati áram – a hálózat legkisebb zárlati teljesítményt adó üzemállapota esetén is, azaz:

$$I_a < \frac{I_{z\min}}{1,2},$$

ahol:  $I_m$  - a relé megszólalási értéke,  $I_a$  - az áramváltó áttétele,  $I_{z\min}$  - a minimális zárlati áram a védelmi körzetben.

2, A relé biztonsággal ejtsen el, ha a zárlatot más védelem lekapcsolta és az üzemi feszültség helyreáll, aminek következtében motorfelfutások miatt megnő az üzemi áram, azaz teljesül az



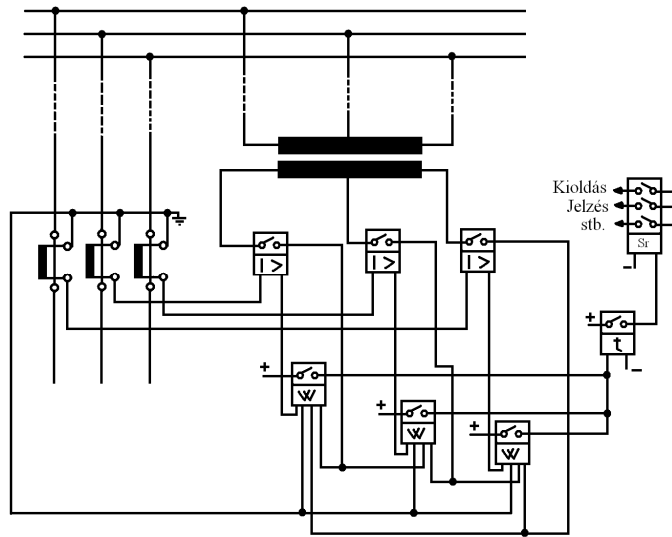
$$I_m \cdot a \geq I_{\text{úmax}} \cdot \frac{k}{k_e}$$

összefüggés, ahol:  $I_m$  - a relé megszólalási értéke,  $a$  - az áramváltó áttétele,  $I_{\text{úmax}}$  - a maximális üzemi áram,  $k_e$  - a relé ejtőviszonya (0,8 körüli érték),  $k$  - a várható terheléslökés és a biztonság tényezője (értékét célszerű 1,25-nél nagyobbra venni). A túláram- idő védelem szelektivitását csak az időlépcsőzés biztosítja, időlépcső szokásos értéke 0,3...0,6 s között

6.5 ábra. Irányított túláram-védelem

van.

A kétfokozatú (kétlépcsős) túláram- idő védelem (6.4. sz. ábra) egy gyorsfokozatot is tartalmaz, aminek segítségével - azaz áramkiválasztással - esetenként a közeli zárlatokat gyorsan (időkésleltetés nélkül) le lehet kapcsolni. Irányított túláram- idő védelem lényegében egy teljesítményrelével kiegészített túláram- idő védelem (6.5. sz. ábra). Alkalmos arra, hogy a zárlati áram irányától függetlenül szóljon meg. A védelem felszerelési helyének közvetlen közelében van egy holtáv, amelyikben 3F zárlat esetén a nagy feszültségletörés miatt a zárlati áram irányát nem tudja bemérni. A feszültségcsökkenéssel reteszelt túláram- idő védelem tulajdonképpen már



6.6 ábra. Feszültségcsökkenéssel szerelt túláram-idő védelem

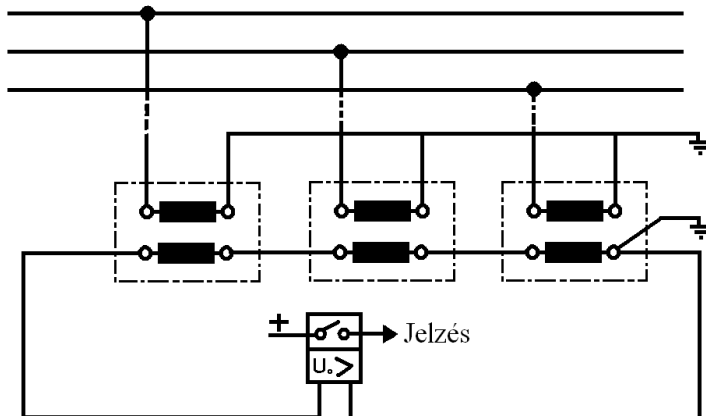
impedanciavédelem, ami a feszültség- és áramrelék megszólalási értékének hányadosa szerint impedanciánál közelebbi zárlatra kapcsolja ki a megszakítót. E védelem segítségével zárlat és túlterhelés egyértelműen szelektálható, továbbá a hálózat nagyobb koncentrált impedanciákkal határolt területeinek zárlatvédelme jól megoldható (6.6. sz. ábra)

Az előző független késleltetésű túláram- idő védelmek betölthetik az alapvédelem, tartalékvédelem és fedővédelem szerepét.

#### 6.4.4.4. Szelektív földzárlatvédelem

1, A szelektív földzárlatvédelemről általában

A kompenzált, ill. szigetelt csillagpontú hálózatokba a védelem nem érzékeli az egyszarkú földzárlatokat, csak a földzárlatjelző jelzi, hogy földzárlat következett be. A földzárlatos vezeték az egyes vezetékek egymás utáni



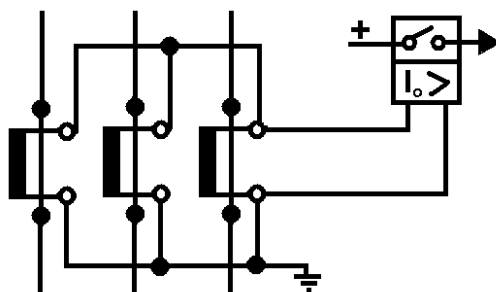
6.7 ábra. Földzárlatérzékelő relé

lekapcsolásával állapítják meg. Ennek során tehát hibátlan vezetékek lekapcsolására is általában sor kerül. Mivel az egyfázisú földzárlatok meglehetősen gyakoriak, az üzemvitel zavartalanságát jelentékenyen emeli az olyan földzárlatvédelem, amely szelektív működésű.

olyan földzárlatvédelem, amely szelektív

2. Földzárlatjelzés

A földzárlatos üzemállapotra a feszültségrendszer csillagpontjának potenciál-eltolódása egyértelműen utal. Három egyfázisú feszültségváltó szekunder tekercsei nyitott deltába vannak kapcsolva, és erre csatlakozik a földzárlat-érzékelő relé (6.7. sz. ábra)



6.8 ábra. Holmgreen kapcsolás

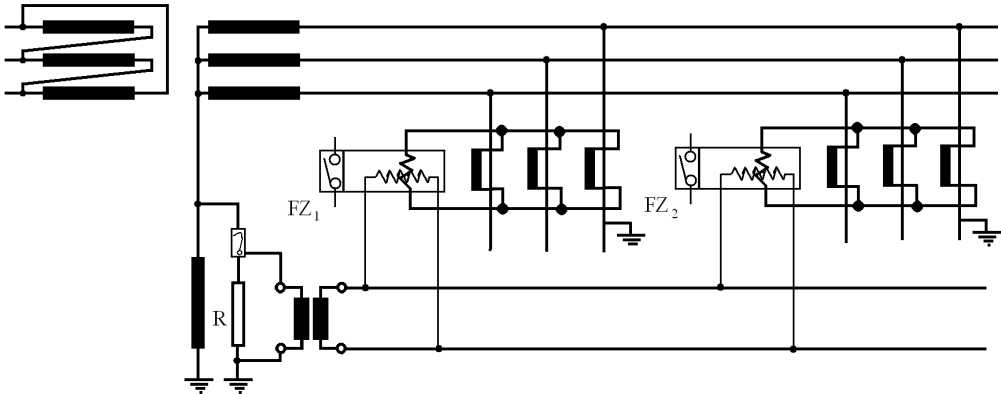
3. Földzárlatvédelem

A szelektív földzárlatvédelem legegyszerűbb módja sugaras hálózatokon a földzárlati áramra működő túláramvédelem. A földzárlati áram a következő áramváltó kapcsolásokkal érzékelhető: A zérus sorrendű áramok kimutatásának legegyszerűbb módja az ún.



összegző vagy Holmgreen- kapcsolás (6.8. sz. ábra).

Ha a hálózati áram nem tartalmaz zérus sorrendű összetevőt, akkor a három fázis



6.9 ábra. Kompenzált sugaras hálózat védelme

áramának vektorösszege zérus, tehát az áramváltók ilyen kapcsolásában a relén nem folyik áram. Ha viszont zérus sorrendű összetevő is van a hálózati áramban, akkor ez az áramváltók összegezőkapcsain lép fel és működteti a földzárlatjelzést, ill. földzárlatvédelmet.

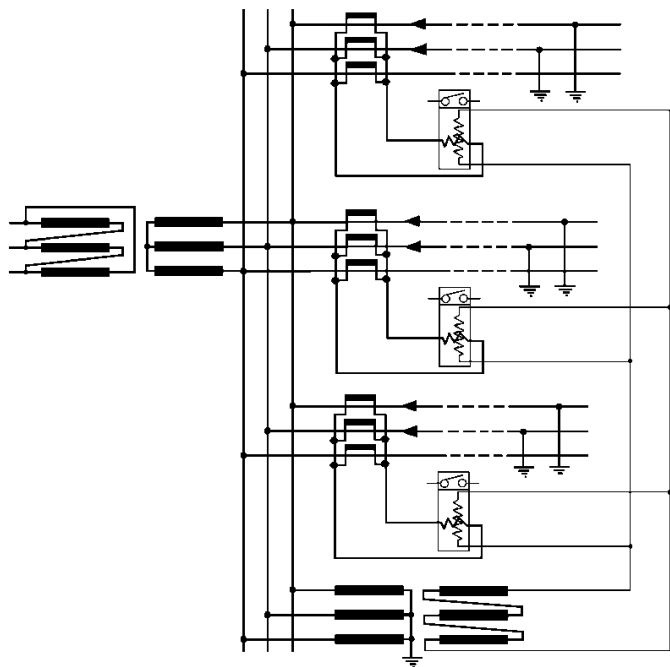
Sugaras hálózaton a szelektivitást a földzárlati áramra működő túláramvédelmek időlépcsőzésével lehet biztosítani

4, Kompenzált sugaras hálózatok szelektív földzárlatvédelme

A szelektív földzárlatvédelem megoldásmódja attól függ, hogy a hálózatnak kompenzált vagy szigetelt csillagpontja van-e.

Kompenzált sugaras hálózatoknál a védelem elvi megoldását a (6.9. sz. ábra) tünteti fel.

A kompenzáló tekercsel párhuzamosan kapcsolható R



6.10 ábra. Szigetelt csillagpontú sugaras hálózat védelme

ellenállás nincsen állandóan bekapcsolva, csak földzárlat esetén kell 1-2 s-ig a tekercsel párhuzamosan kapcsolni. Az R ellenállás bekapcsolása esetén a földzárlatos vonalon az FZ<sub>1</sub> relé kioldó értelemben működik. A többi vonalba beépített relé nem szólal meg, mivel áramtekercsekben nem folyik wattos áram. Az R földelő ellenállás kapcsolását Petersen- oltótekercs esetén a (6.9. sz. ábra) szemlélteti. Az R ellenállást úgy kell megválasztani, hogy a rajta földzárlat esetén átfolyó áram kellő biztonsággal szolgáltatssa a földzárlati relé számára azt a wattos teljesítményt, amelynél a relé üzembiztosan működik.

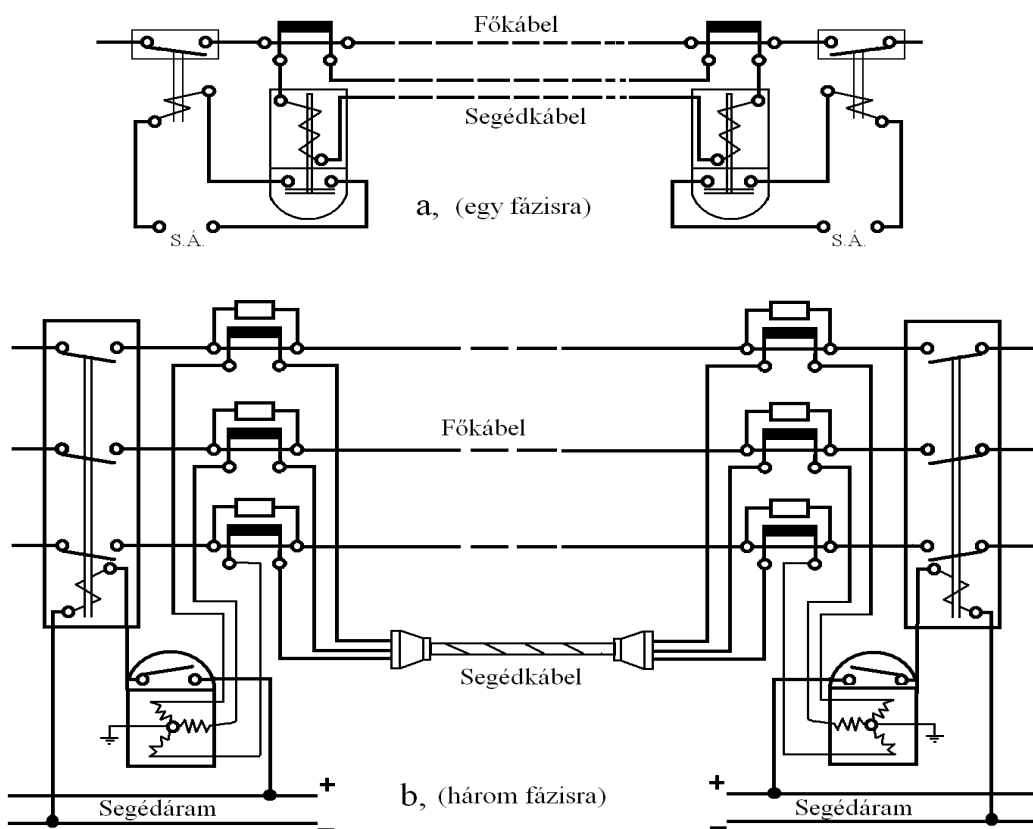
5, Szigetelt csillagpontú sugaras hálózatok szelektív földzárlat védelme

Szigetelt csillagpontú sugaras kábelhálózatokban bekövetkező földzárlatok esetén a fellépő kapacitív töltőáram teszi lehetővé azt, hogy a védelem a csillagponti ellenálláson keresztül való földelés nélkül is megoldható legyen. A védelem elvi bekapcsolását a (6.10. sz. ábra) szemlélteti. Az egyes vezetékekbe beépített energiáirányrelék belső kapcsolásának most – tekintettel a földzárlati áram kapacitív jellegére – olyannak kell lennie, hogy a relé akkor adja a legnagyobb nyomatékát, ha a feszültségtekercsében és az áramtekercsében folyó áram között 90°-os fáziseltolás van (ún.  $\sin \Phi$  relé). Zavartalan üzem esetén a relé feszültség-, ill. áramtekercse itt sem kap táplálást, egyfázisú földzárlat esetén viszont a Holmgreen- kapcsolású váltók zárókörében áram folyik és a feszültségváltó szekunder oldalán is feszültség jelenik meg, mert földzárlat esetén a három fázis feszültségének az eredője sem zérus.

#### 6.4.4.5 Összehasonlító (szakasz távolsági) védelem

A távolsági védelem olyan zárlatvédelmi berendezés, amely a védelem felszerelési helye és a zárlat közötti távolsággal arányos impedanciát mér, és ha a mért impedancia lecsökken (zárlatkor az áram megnő, a feszültség letörik) egy beállított érték alá, akkor a védelem úgy érzékeli, hogy zárlat van, és kioldást ad. A távolsági védelmeket a hurkolt hálózatokon használják. Elsősorban a nagyfeszültségű távvezetéseken alkalmazzák, de közép-feszültségen is ott, ahol nem állítható be kellő biztonsággal a túláramvédelem. A nagyfeszültségű rendszerben általában alapvédelemként az első számú tartalékvédelemként is távolsági védelmeket használnak. Az összehasonlító védelmek csak a védelmükre bízott szakaszon belül bekövetkezett zárlatokat érzékelik. Fedővédelemre tehát nem alkalmasak. Relé meghibásodás esetén a szomszédos szakasz reléje nem kapcsol le. Mivel csak a saját szakaszuk védelmét látják el szakaszvédelemnek is nevezzük őket. A szakaszvédelmet az utóbbi időben – költséges volta ellenére is – egyre gyakrabban alkalmazzák, főleg rövidebb vezeték szakaszokhoz azért, mert a rövid vezetékek kiválasztó védelme távolsági relékkel csak nehezen oldható meg. Minél rövidebb a védett szakasz, annál nagyobb befolyással van a zárlat helyének átmeneti ellenállása a védelem távolságmérésére.

A távolsági védelemnél láttuk azt is, hogy a mérőváltók áttételei is meghatároznak egy olyan távvezeték hosszúságot, amelynél rövidebb vezetékek esetén a távolsági védelem már nem használható. A szakaszvédelem alkalmazásának másik oka az a tulajdonsága, hogy a védett szakasz bármely pontján bekövetkezett zárlatot késleltetés nélkül kapcsolja le.



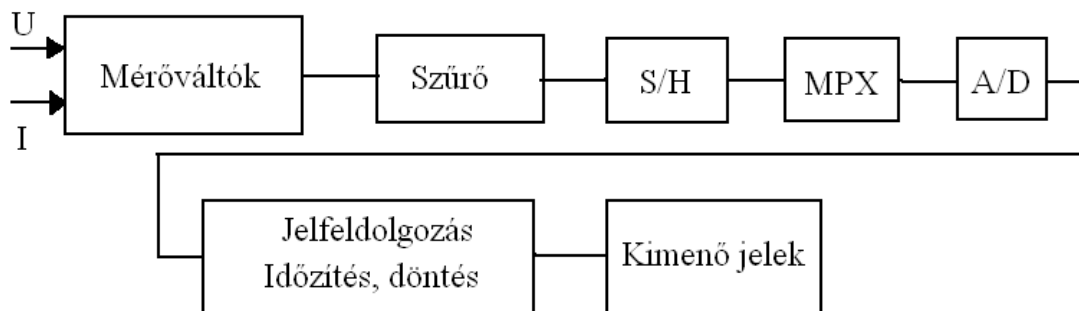
6.11. ábra. Merz-Price védelem

Vezetékszakaszok összehasonlító védelmére a hosszkülönbözeti elv szintén felhasználható (6.11.sz. ábra). A kapcsolásból látható, hogy az áramváltók szekunder tekercselései egymással szemben vannak kapcsolva, tehát zavarmentes üzem esetén az egész szekunder kör árammentes. Belső zárlat esetén a szekunder kör feszültségegyensúlya megbomlik, és ennek megfelelően a szekunder körben az áramváltók különbözeti árama folyik. Ez gerjeszti az A és B állomásokban lévő reléket, amelyek mindkét végponton egyszerre oldják ki a megszakítókat. Ezen egyszerű elvnek a gyakorlati megvalósítása azonban nehézségekbe ütközik. Az egyik nehézséget az okozza, hogy az áramváltók szembekapcsolásuk miatt hibamentes állapotban vagy külső zárlat esetén olyan helyzetben vannak, mintha a szekunder körük nyitott lenne. Ez az áramváltók vasmagjának meg nem engedett melegedését és a szekunder körben veszélyes feszültség fellépését jelentheti. A másik nehézség a segédkábel költségességében van. Ezért a hosszkülönbözeti védelemnek legtöbbször olyan megoldása kerül alkalmazásra, amelynél csak a vezetékszakaszok végén lévő relék jelzését hasonlítják össze. Ehhez légyegesen kisebb keresztmetszetű segédkábel

szükséges, tehát olcsóbb. A segédkábelek csak jeleket visznek át a szakasz egyik végéről a másikra.

#### 6.4 .4.5.1. A digitális (távolsági) védelmek felépítése

A digitális védelmek funkcionális felépítése nagyjából azonos, függetlenül attól, hogy milyen feladatot lát el (távolsági, túláram- vagy egyéb védelem). A védelem működése (6.12-sz. ábra)



6.12 ábra. Digitális védelem felépítése

Mintavételezzük (S/H) a bemenő áramokat és feszültségeket. A mintavételezett jeleket egy multiplexeren (MPX) keresztül vezetjük az A/D átalakítóra és digitalizáljuk. Az így kapott jeleket egy aluláteresztő szűrővel szűrjük. A szűrt jelek kerülnek feldolgozásra. A jelfeldolgozást általában egy jelprocesszor (DSP) végzi (gyors, real-time számítások) és a számítások eredménye alapján a döntést, időzítéseket, kimenőjelek generálását a főprocesszor hajtja végre.

A digitális védelem „lelke” a szoftver. A szoftver valósítja meg a konkrét védelmi feladatokat.

A távolsági védelemben futó algoritmusok (lásd lejjebb) végzik a hat mérőhurokban a számításokat (3 fázis-fázis és 3 fázis-föld hurok). Ha azt érzékelik, hogy valamelyik hurokban kisebb az impedancia, mint a beállított fokozathatárok, akkor a védelem indítja az időzítőket (timer) és ha a fokozathoz tartozó késleltetési időn belül fennmarad a lecsökkent impedancia (vagyis zárlat van), akkor az időzítés lejártával kioldást kezdeményez a védelem.

#### 6.3.4.5.2 A távolsági védelmek érzékelési egyenletei

A mért impedancia arányos távolsággal:  $Z_m = z \times l_{\text{táv}}$ , ahol a  $z$  a távvezeték fajlagos impedanciája.

A távolsági védelem mérőeleme a 3F és a 2F zárlatokat a (6.1) egyenlet szerint érzékeli:

$$Z_m = \frac{U_R - U_T}{I_R - I_T} = Z_1, \quad 6.1$$

vagyis a védelem és a zárlat helye közötti pozitív sorrendű impedanciát méri. A távolsági védelem mérőeleme FN zárlat felléptekor az alábbi egyenlet szerint érzékel:

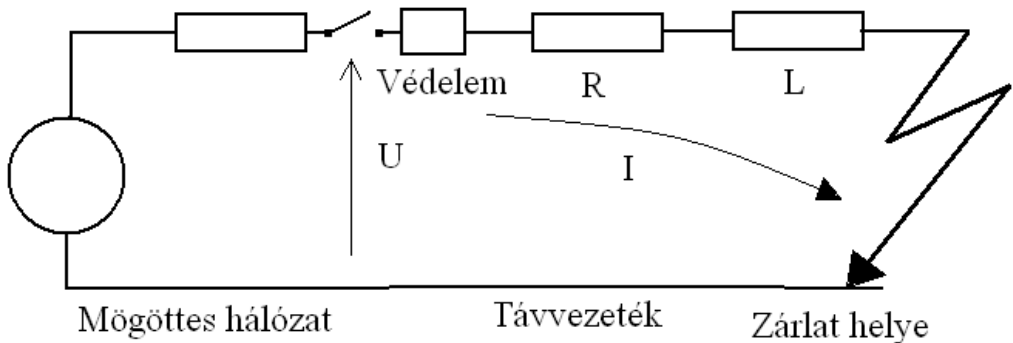
$$Z_n = \frac{U_f}{I_f + \alpha \cdot 3 \cdot I_0}, \quad 6.2$$

ahol

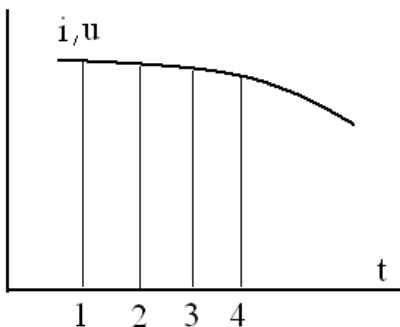
$$\alpha = \frac{\frac{Z_{n,0}}{Z_{n,1}} - 1}{3}, \quad 6.3$$

a védett távvezeték állandóiból számítható beállítandó állandó. Az egyenlet szerint a mérőelem itt is a védelem és a zárlat helye közötti pozitív sorrendű impedanciát érzékeli (a 6.1, 6.2 és 6.3 egyenletek szerint  $Z_1$  érzékelés szimmetrikus összetevőkkel bebizonyítható). Így elértük, hogy ha pl. a védelem első fokozatát egyszer beállítottuk, akkor a mérőelem minden fajta és minden fázisvariációjú zárlatot azonos távolságig érzékeli. Bebizonyítható, hogy a 2FN zárlat bármelyik egyenlettel helyesen érzékelhető.

### 6.3.4.5.3. A digitális távolsági védelmekben használt modellek



6.13 ábra. R-L modell hálózati képe



6.14 ábra. Mintavételezés elve

Csak a legismertebb és leggyakrabban használt modelleket és számítási módszereket ismertetjük.

a, Az R-L modell (6.13. sz. ábra)

Az R-L modell nem veszi figyelembe a távvezeték kapacitást (C). A védelem a mért feszültségből és áramból határozza meg a zárlat helyét. A zárlati áramkörben azt az R és L értéket keressük, amely a védelem felszerelési helye és a zárlati pont között

fennáll. Felírható két egyenlet a távvezetékre  $t_1$  és  $t_2$  időpontra (az időpillanatok az alsó index jelzi):

$$u_1 = R \cdot i + L \cdot \frac{di_1}{dt} \qquad u_2 = R \cdot i_2 + L \cdot \frac{di_2}{dt}$$

Ezekből az egyenletekből kifejezhető R és L értéke. A számításokhoz szükség van a pillanatértékekre és a deriváltakra. Ezeket numerikus módszerrel, differenciaképzéssel állítjuk elő. Sok ilyen módszer megvalósítása lehetséges, ezek közül kettő:  
b, Az A4-es módszer (6.14. sz. ábra)

Felírjuk az egyenleteket a 2. és 3. pontra:

$$u_2 = R i_2 + \frac{i_2 - i_1}{2\Delta t} L \qquad u_3 = R i_3 + \frac{i_3 - i_2}{2\Delta t} L$$

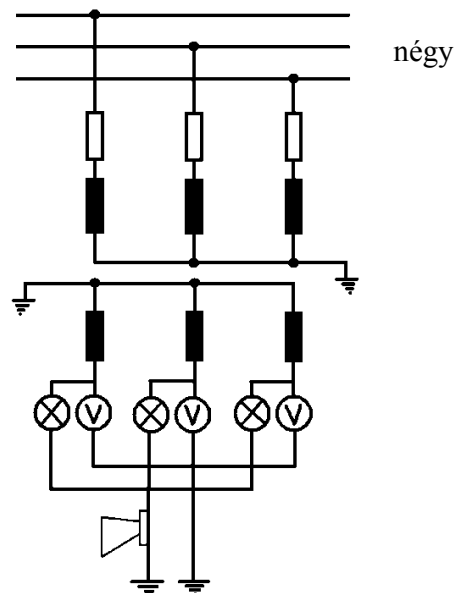
A négy minta alapján (u 1.4 és i 1.4) két darab két-ismeretlenes egyenletet kapunk R-re és L-re. Ez pedig már elegendő a megoldáshoz. Nagyon gyors módszer, elvileg minta alapján dönteni lehet, de biztonsági okokból több mérés egybehangzó eredménye alapján döntünk. Nem jó, ha a minták túl közel vannak egymáshoz, mert a derivált képzés erősen függ a zajtól. Ezért korrekciót kell alkalmazni.

c, A Fourier-módszer

$$U = A_u + J B_u \text{ és}$$

$$I = A_i + J B_i, \text{ ahol:}$$

$$A_u = \frac{2}{N} \sum_{k=0}^{N-1} u_k \cos k\omega\Delta t, \text{ és } B_u = \frac{2}{N} \sum_{k=0}^{N-1} u_k \sin k$$



6.15 ábra. Zárlat jelzésének egy módja

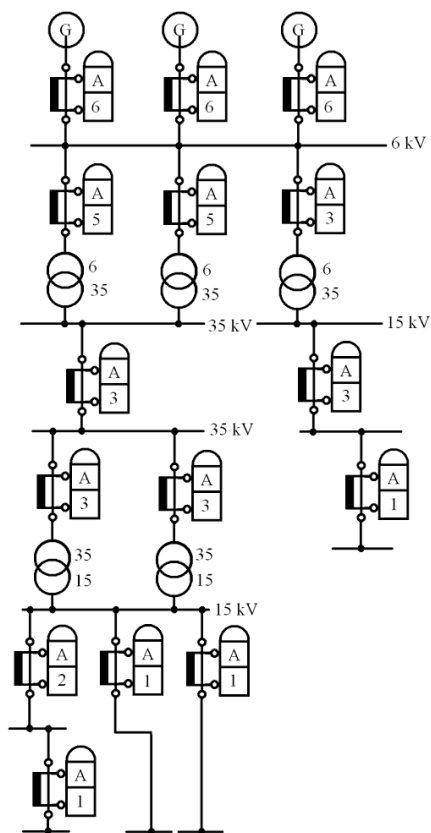
$u_k$ - a mintavételezett feszültség.

Ugyanígy felírhatjuk az  $A_i$  és  $B_i$  együtthatókat.

Elosztva U-t I-vel, megkapjuk a mért komplex impedanciát:

$$Z = \frac{U}{I} = R + jX = \frac{A_u A_i + B_u B_i}{A_i A_i + B_i B_i} + j \frac{A_i B_u - A_u B_i}{A_i A_i + B_i B_i}$$

A Fourier-módszer az egyik leggyakrabban használt módszer. Az algoritmus futási ideje egy periódus. Biztonságos döntést várhatunk, mert a periódus minden mintája szerepel a számításban.



6.16 ábra. Cleveland védelem

Vannak még más módszerek is pl. az A3 és csúcsérték módszer, de helyhiány miatt ezekkel nem foglalkozunk

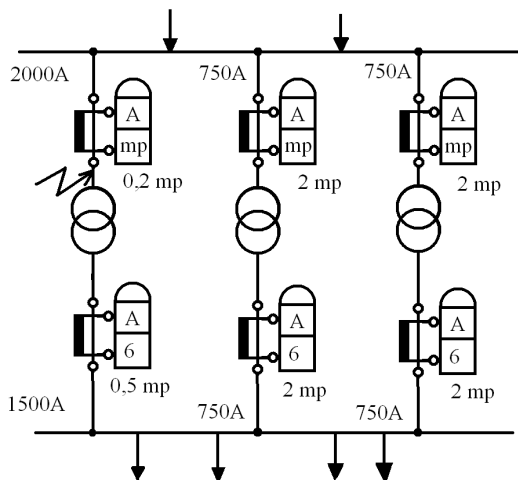
### 6.3.4.6. Gyűjtősínek védelme

A gyűjtősínek hibalehetőségei kisebbek, mint a generátorok vagy transzformátorok hibalehetőségei. Ez a sínek szerkezetéből következik. Hibalehetőségük a fáziszárlat vagy a földzárlat. Földzárlat rendszerint támszigetelő hiba miatt jöhet létre, fáziszárlat pedig általában átvitelés következménye. A gyűjtősínekre dolgozó generátorok, transzformátorok el vannak látva külső hibák elleni védelemmel. Ez a védelem szárlat ellen is véd, mert a zárlatra dolgozó gépet leválasztja a gyűjtősínről. Az országos alállomásokat tápláló tápvezetékek alapvédelme a távolsági védelem, amely a legtöbb alállomásban közvetve ellátja a gyűjtősínvédelmet is. A gyűjtősínek egyedi védelmére leginkább a különbözeti védelmet alkalmazzák. A különbözeti relének érzékeny beállítást nem lehet adni, mert a kapcsolatban sok, legtöbbször különböző áttételű áramváltó szerepel, az egyes befutó, ill. elmenő vezetékek terhelése pedig változó. Így a relé

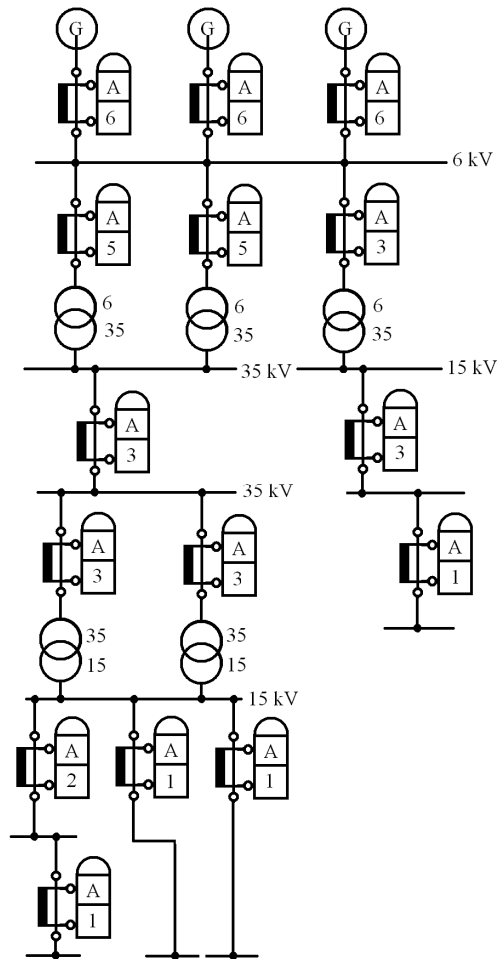
gyűjtősínzárlat nélkül is kaphat áramot. Földzárlatjelzést minden olyan gyűjtősínnél alkalmazunk, amelyhez nem földelt (szigetelt) csillagpontú hálózatok csatlakoznak. Erre nem a gyűjtősín földzárlatai miatt van elsősorban szükség – ezek ritkák - hanem sokkal inkább a gyűjtősínről táplált vezetékek földzárlatai miatt. A földelt csillagpontú rendszerek földzárlatai egyben rövidzárlatok is, ezeket a zárlati védelem úgyis lekapcsolja. A földetlen csillagpontú rendszerek viszont földzárlattal egy ideig fenntarthatják az üzemét, ezért elég, ha a hibáról csak jelzést adunk. Földzárlat esetén a zárlatos fázis és a föld közötti feszültség a zárlat helyén zérus, a másik két fázis feszültsége pedig a földhöz képest felemelkedik értékének  $\sqrt{3}$  -szorosára. ezt a jelenséget használjuk fel a földzárlat jelzésére. A kapcsolást – amelyhez három egyfázisú feszültségváltót használunk fel, a (6.15. sz. ábra) szemlélteti. Az egyes fázisok és a csillagpont közé voltmérőt vagy jelzőlámpát – esetleg mindkettőt – szoktak beiktatni. Ezek megmutatják, hogy melyik fázisban következett be a földzárlat (abban, amelynek a feszültsége csökkent), a voltmérő által mutatott értékből pedig következtetni lehet a földzárlat mértékére. A csillagpont és a föld közé iktatott dunda földzárlat esetén hangjelzéssel hívja fel a kezelő figyelmét a földzárlatra.

### 6.3.4.7. Transzformátorvédelem

A kisebb hálózati transzformátorok túláramvédelmét gazdasági okokból egyszerű olvadóbiztosítókkal vagy úgynevezett Cleveland- (ejtsd Klivlend-) védelemmel szokták megoldani. A Cleveland- védelem lényege az, hogy az áramváltó szekunderét, amelynek körébe az áramszakító kioldó mágnesé van bekapcsolva, áthidaljuk egy olvadó biztosítóval, amely – jelleggörbéjének megfelelően- bizonyos időelemet visz a kioldó működésébe (6.16. sz. ábra). a túláram hatására ugyanis először az olvadóbiztosítónak kell kiolvadnia, és csak



6.18 ábra. Több, párhuzamosan kapcsolt transzformátor védelme

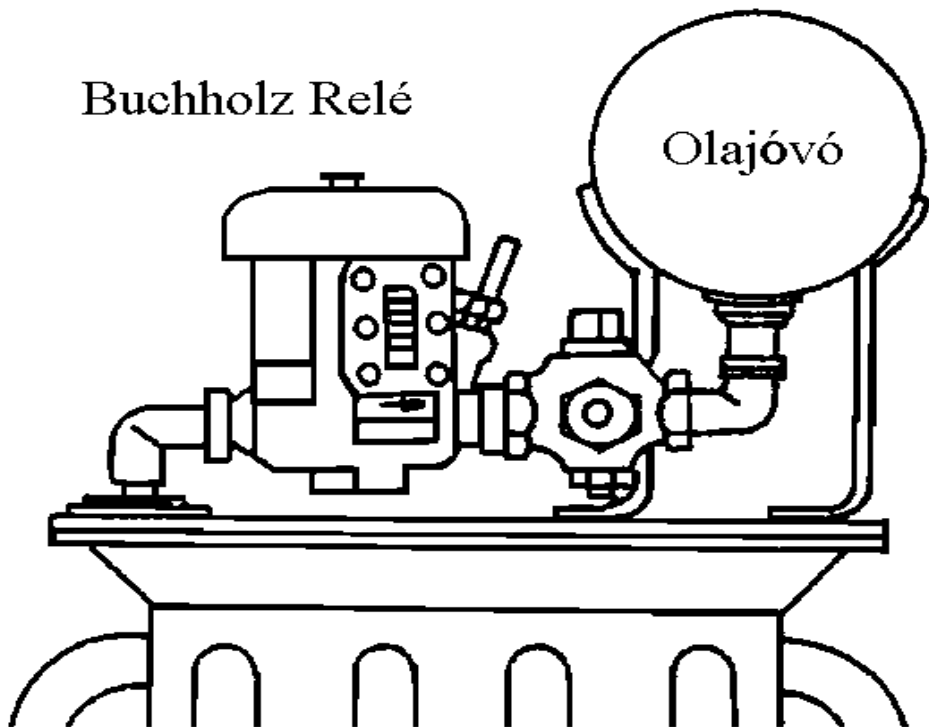


6.17 ábra. Időlépcső beállítása

ezután folyhat az áramváltó árama a működtető mágnesén keresztül. Ezt a nem túlságosan érzékeny védelmet többnyire egy nyugalmi áramú hőrelével kombinálják, amivel védelmi területét az olyan hibákra

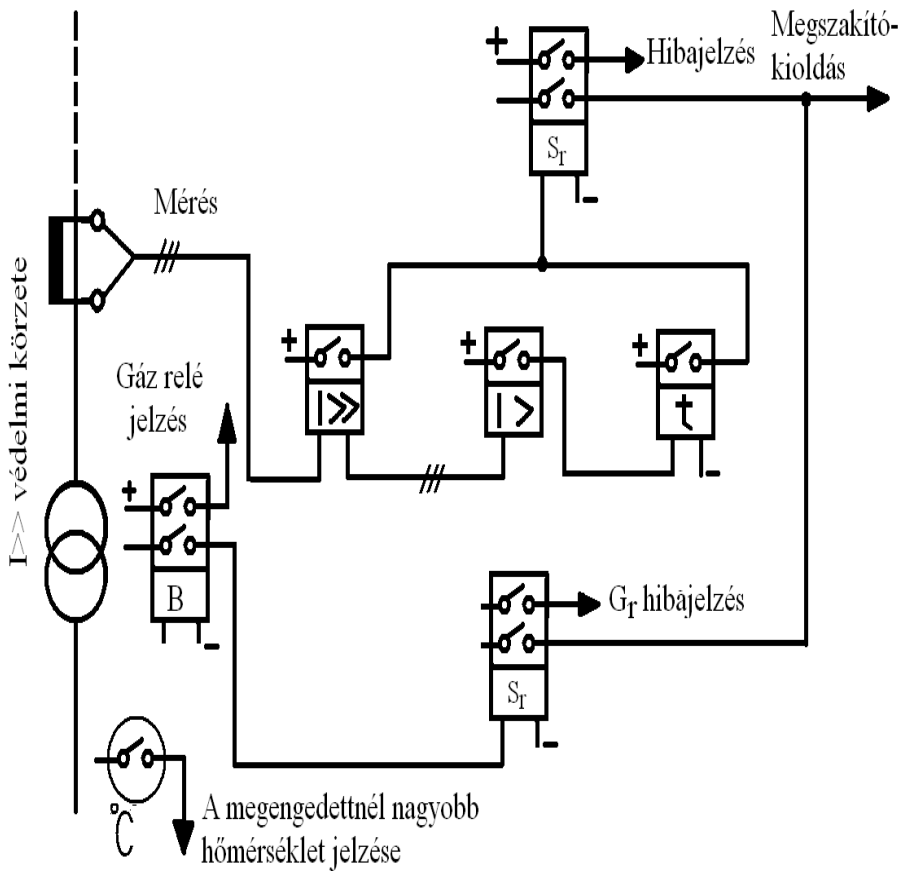
is kiterjesztik, amelyek a transzformátor túlmelegedését okozzák. A transzformátorok összekötőkapcsok az erőmű és a hálózat között, de szerves alkotóelemei energiaelosztó rendszerünknek is. Világos tehát, hogy védelmükkel többé- kevésbé alkalmazkodnunk kell a hozzájuk csatlakozó hálózatok védelméhez. Ha tehát a hálózatot függetlenül kisleltetett túláramrelékkel védjük, transzformátoroknál is ilyeneket kell alkalmaznunk. Az időlépcső beállítására a (6.17. sz. ábra) mutat példát. A transzformátorokat elegendő primer oldalukon védeni, mert ennél a védelemnél a





6.19 ábra. Buchholz védelem

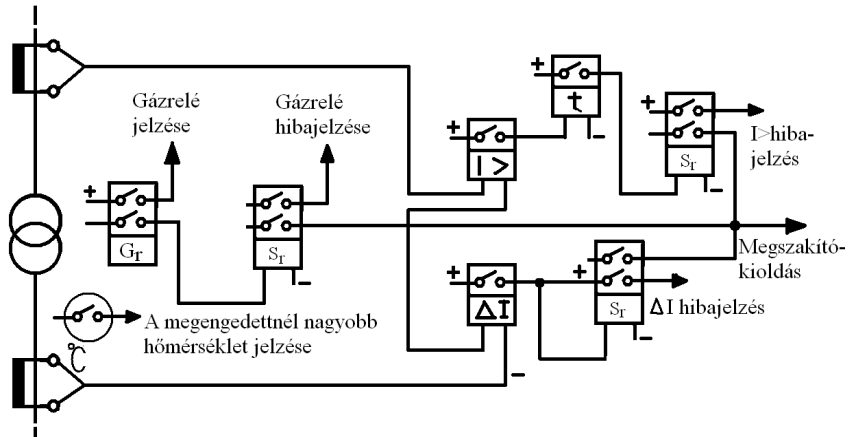
hibás transzformátor kiválasztó lekapcsolása úgysem lehetséges. Több párhuzamosan dolgozó transzformátor esetén a hibás transzformátor kiválasztó lekapcsolását függően késleltetett túláramrelékkel oldhatjuk meg (6.18. sz. ábra). Az ilyen relék megszólalási ideje ugyanis az áramerősség függvénye, tehát a hibaáramnak az ábrán látható eloszlása esetén a többi relé 2 mp- es megszólalási idejével szemben az A relé 0,2 mp, a B relé 0,5 mp alatt megszólal és így a hibás transzformátor mind a primer mind a szekunder oldalon szelektíve kapcsolják. A Buchholz- relé tisztán mechanikai eszközökkel oldja meg az olajtranszformátorok védelmét. Alapgondolata az, hogy a transzformátorban elképzelhető bármiféle hiba, melegedéssel és ennek következtében gázbuborékok képződésével jár. Ezek a buborékok felfelé haladnak és az olajóvó vezetékébe iktatott Buchholz- relén át az olajóvóba jutnak (6.19. sz. ábra). a relében megrekedt buborékok összegyűlnek a relé felső terében, ahonnan az olajat kiszorítják.



6.20 ábra. Transzformátor 2-fokozatú túláram-idő védelme

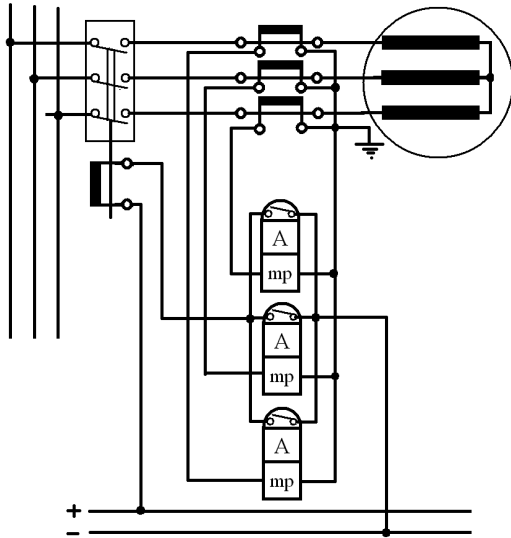
Ennek következtében az ott elhelyezett felső úszó lebillen és az uszóra szerelt higanyos kapcsoló vagy zárt térbe elhelyezett golyós érintkező a jelződudát megszólaltatja. Nagy előnye a Bucholz- relének, hogy a már meglévő olajtranszformátorokra utólag is bármikor felszerelhető és, hogy úgyszólván minden elképzelhető hibára megszólal, sőt még az olajnívó csökkentését vagy külső levegőnek a transzformátorba való jutását is jelzi. A transzformátort a túlterhelés ellen védeni kell. A túlterhelés nem tévesztendő össze a túlárammal. A túlterhelés a transzformátor (gép) káros túlmelegedése. A túláram okozza tehát a túlterhelést, ezért egy bizonyos idő után túlmelegedést, vagyis túlterhelést okoz. A túlterhelés nem az árammal magával, hanem az áram által okozott Joule- féle meleggel, tehát az áram négyzetével hozható összefüggésbe. Ezért a túlterhelés elleni reléket az  $I^2$  jellel látják el. A túlterhelés elleni védelem tulajdonképpen a transzformátor hőfokának az ellenőrzése. Ez történhet hőmérőkkel vagy hőmárelével. A hőmérők (ellenállás vagy termoelemes távhőmérők) közvetlenül mérik a transzformátor hőfokát és kritikus hőfok elérésénél jelzést adnak. A hőmárelék, amint tudjuk, az áram hatására, amelyet áramváltón keresztül kapnak és így a védendő tárgy áramával arányos, ugyanúgy

melegszenek, mint maga a tárgy, tehát hőfokuk állandóan megegyezik a védendő tárgyével. Erre való tekintettel a transzformátorok hőmérésre egy higanyos hőmérőből és azt körülvevő fűtőtekerescből és azt körülvevő fűtőtekerescből állnak. A higanyos hőmérő közvetlenül az olaj hőfokát méri. A hőmérőt körülvevő tekercsen – áramváltó közbeiktatásával – a transzformátor árama folyik. A fűtőtekerecs tehát tulajdonképpen a transzformátortekercs hőmása. A hőmérő higanyszála különböző érintkezőket zár. A megengedett maximális hőfok előtt néhány fokkal dudajelzést ad. Kezelőszemélyzettel rendelkező alállomáson, a hőmérés szerepe ezzel véget is ért, mert a többi már a kezelőszemélyzet dolga. Olyan alállomásokon, ahol nincs kezelőszemélyzet, a relé nem ad dudajelzést, hanem helyette bekapcsolja a transzformátor hűtőventillátorait. Ha a transzformátor ennek ellenére továbbmelegszik, a megengedett hőfok elérésekor lekapcsolja a transzformátort. A transzformátorvédelem elemeinek áttekintése után vizsgáljuk meg, hogyan kell a védelmüket felépíteni. Természetesen nem lehet merev korlátokat vonni, hogy mikor milyen védelem alkalmazása indokolt, mert az függ a gépegység nagyságától, a gyűjtőcsínrendszertől, amelyre a gép dolgozik, és az üzem egyéb körülményeitől. Ezért anélkül, hogy általános irányelveket próbálnánk leszögezni, néhány példán bemutatjuk a transzformátorok és generátorok védelmének szokásos felépítését. A példáknál nem törekedtünk teljességre, inkább az áttekinthetőséget tartottuk szem előtt. A transzformátort zárlatvédelemmel minden esetben, és feltételezve, hogy üzemvitel a túlterhelést nem zárja ki, túlterhelésvédelemmel is ellátják. Túlterhelésvédelem általában jelzést ad és ez egyfázisba beépített túláram időegységgel, vagy



6.21 ábra. Transzformátor differenciál, túláram-idő és gázrelés védelme

kontakthőmérővel szokták megoldani. A zárlatvédelem megoldható kisebb teljesítményű transzformátorok esetén biztosítóval (630kVA- nél kisebb egység), illetve egy- vagy kétfokozatú túláram- idő védelemmel (6.20. sz. ábra), nagyobb teljesítményű transzformátorok esetén hosszirányú differenciálvédelemmel és túláram- idő védelemmel és gázrelés védelemmel (6.21. sz. ábra).



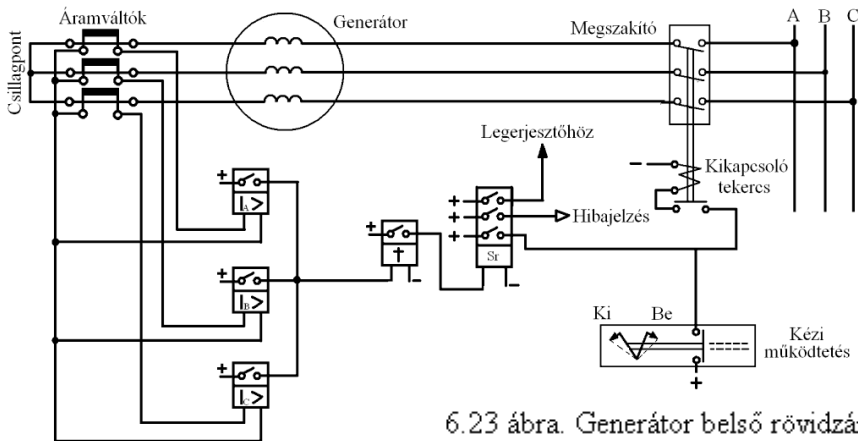
### 6.3.4.8. Generátorok védelme

#### 1, Túláram elleni védelem

Külső túláramok ellen a generátort legegyszerűbben függetlenül késleltetett túláramrelékkel védhetjük (6.22. sz. ábra), amelyek a generátor kapcsai és az áramszakító közé beiktatott áramváltók szekunder körébe vannak kapcsolva. Túláram hatására a relék megszólalnak, a segédáramkört a kioldóra kapcsolják, amely az áramszakító működését kiváltja. Ez a védelem nem véd a generátor belső hibái és az olyan hibák ellen, amely a

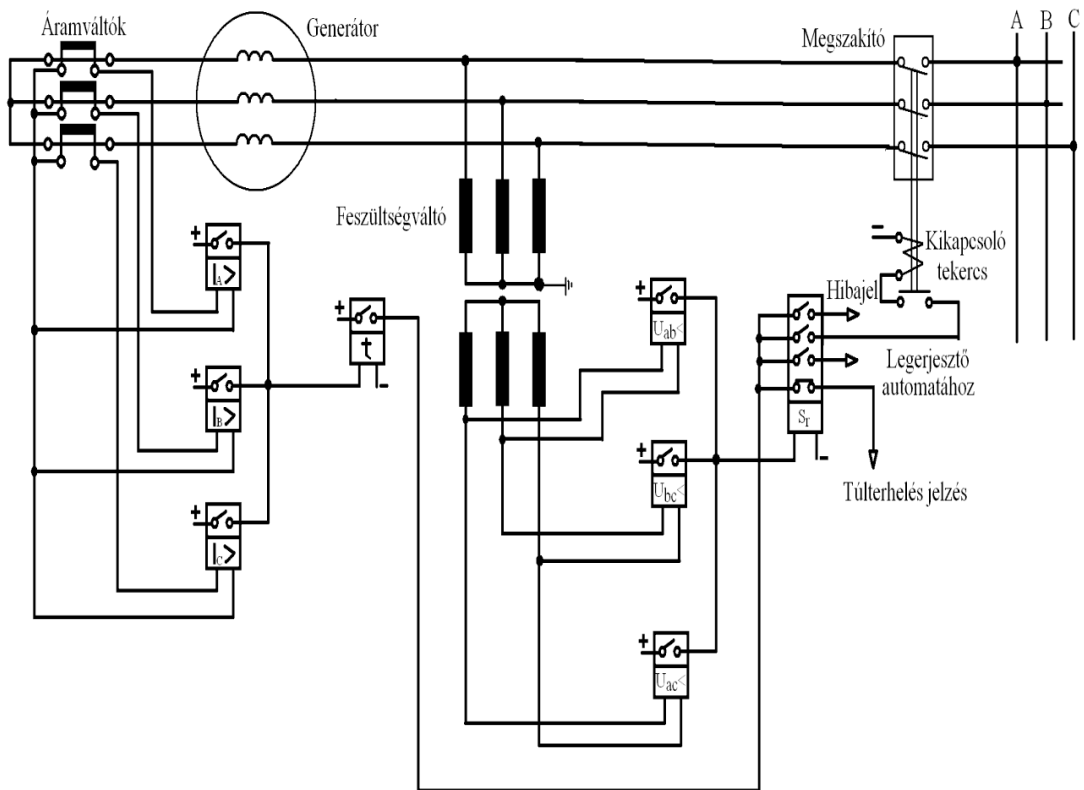
6.22 ábra. Generátor védelme túláram-relékkel

generátor kapcsai és az áramszakító



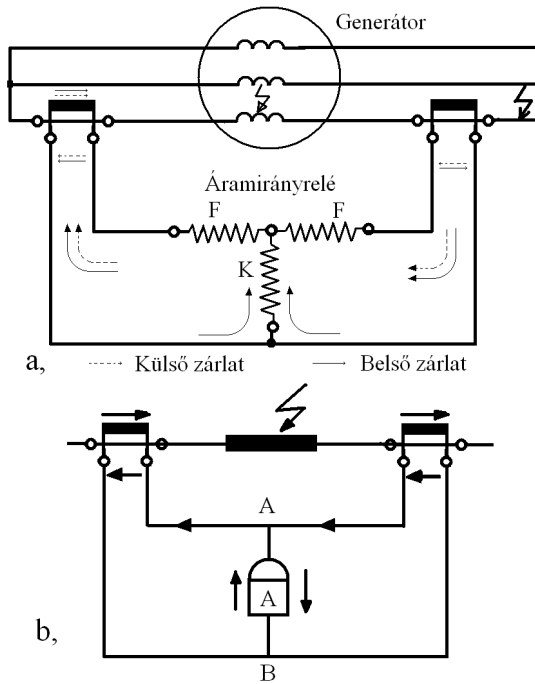
6.23 ábra. Generátor belső rövidzárlat elleni védelme

között keletkeznek. A generátor külső hibák és belső rövidzárlat elleni védelmet úgy oldhatjuk meg, hogy az áramváltókat a generátor feloldott és kivezetett csillagpontjának vezetőibe iktatjuk (6.23. sz. ábra). Azzal azonban, hogy az áramszakító belső hibák esetén a generátort a hálózatról lekapcsolja, még a generátor védelmét nem oldottuk meg, mert a generátor tovább jár és rádolgozik a saját belső zárlatára. Ennek megakadályozására a generátort a lekapcsolással egyidejűleg le kell gerjeszteni.



6.24 ábra. Generátor feszültség reteszelésű túláram-védelme

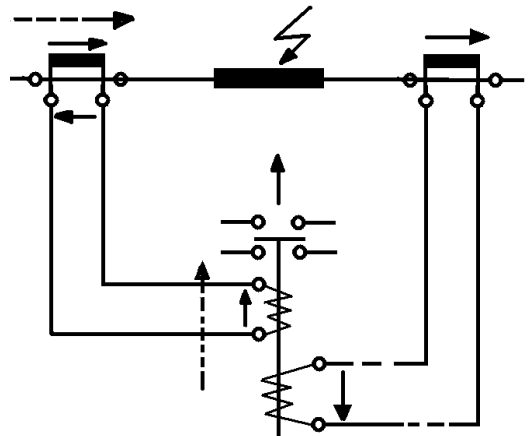
Ezt elérhetjük az által, hogy a generátor gerjesztőkörébe egy igen nagy ellenállást iktatunk, amely rendes körülmények között rövidre van zárva, de ha valamelyik relé megszólal, a segédáramkört mágnesre kapcsolja, amely az ellenállás rövidzárját lerántja és ezzel a gerjesztőkörbe iktatja. Ilyenkor a



6.26 ábra. Védelem közönséges áramrelével

reteszelésű túláramvédelem kapcsolási vázlata a (6.24. sz. ábrán) látható. A generátor utáni feszültségváltó táplálja a három feszültségcsökkenési relét ( $U_{AB} < U_{BC} < U_{AC}$ ). Ezek mindegyike egy-egy vonali feszültségre van rákötve és beállításuk olyan, hogy ha a feszültség a névleges vonali feszültség kb. 70%-a alá csökken, akkor működnek és zárják érintkezőjüket. Bármelyik feszültségcsökkenési relé működése kiváltja az S jelű segédrelé működését. Ha ezzel egyidőben valamelyik túláramrelé is működött, akkor pozitív impulzus jut az S segédrelé érintkezőihez, amelyek kikapcsolják a megszakítót, hibajelzést adnak és működtetik a legerjesztő automatát. Az S jelű segédrelé alsó érintkezője ún. nyitó érintkező, ez akkor zárt, ha a relé tekercse nem kap gerjesztést, vagyis ha nincs feszültségcsökkenés. Távoli zárlatoknál ugyanis a feszültség még nem csökken le a névleges érték 70%-a alá, viszont a túláramrelék már érzékelik azt a zárlatot is, és pozitív impulzust juttatnak az S segédrelé érintkezőihez.

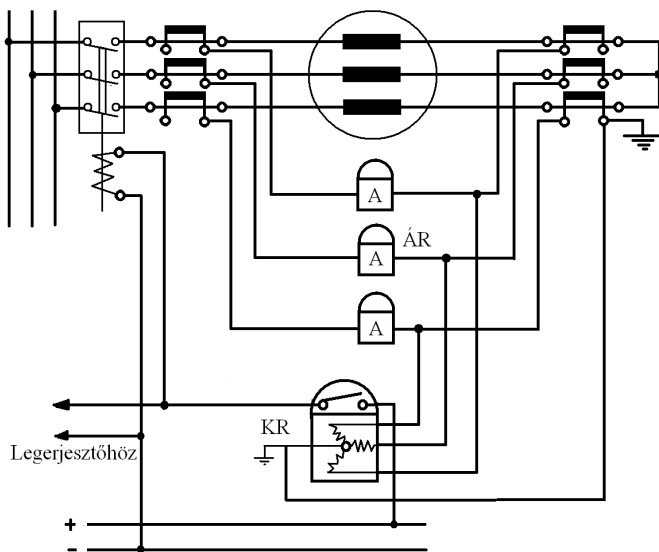
Az érintkezők közül viszont ilyenkor csak az alsó zárt, így ezen keresztül túlterhelésjelzés adható. A belső hibák elleni védelmet tökéletesen a különbözeti vagy differenciálvédelem (Merz-Price, ejtsd: Merc-Preis) oldja meg, amelynek az az alapgondolata, hogy a védendő berendezést pl. generátort, transzformátort vagy kábelt két teljesen megegyező áramváltó közé iktatjuk (6.25. sz. ábra). A két áramváltó szekunder körébe egy különbözeti relét iktatunk, amelynek mágnesstekercsei egymás ellen hatnak. Ha a védendő berendezési tárgyban semmi hiba nincs, a



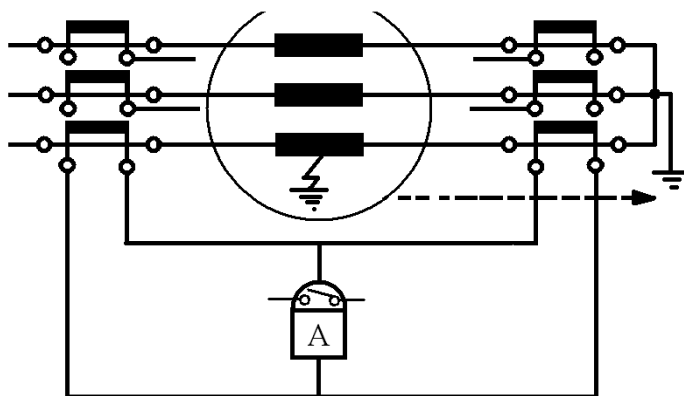
6.25 ábra. Merz-Price védelem

kioldáskésleltetés csökkenthetősége érdekében a túláramvédelmet feszültségreteszeléssel látják el. A generátornál alkalmazott feszültség

beléfolyó áram változatlanul ki is folyik belőle, tehát a két áramváltó szekunder árama megegyezik és így a különbözőzeti relé tekercsei egyforma gerjesztést kapnak, így a relé nem működik. Ha azonban a két áramváltó között valahol valami hiba keletkezik, azon át a bejövő áram egy része elfolyik, az áramváltók szekunder áramai nem lesznek egyenlők, a mágnes tekercsek egyensúlya megbomlik és a relé megszólal. Ha az áramváltók szekunder tekercseit sorbakapcsoljuk (6.26. sz. ábra), különbözőzeti relé helyett közönséges áramrelét is alkalmazhatunk, mert ha az áramváltók szekunder áramai megegyeznek, az (AB) áthidalásba iktatott relén nem folyik át áram, ha azonban az egyensúly megbomlik, a relé áramot kap és megszólal. A (6.27. sz. ábra) egy csillagba kapcsolt generátor különbözőzeti védelmét mutatja, amelynél hat teljesen azonos áramváltóra van szükség. A három egyfázisú áramrelét helyettesítő háromfázisú relé a csillagba kapcsolt áramváltók szekunder köreinek áthidalásába van bekapcsolva (KR). A különbözőzeti védelem egyáltalában nem véd külső túláramok ellen, mert a külső túláram az egész rendszeren végigfolyik, és nem okoz aszimmetriát, de ha az áramváltókat összekötő vezetékben egy-egy túláramrelét is beiktatunk (ÁR), ezek a külső túláramok hatására megszólalnak.



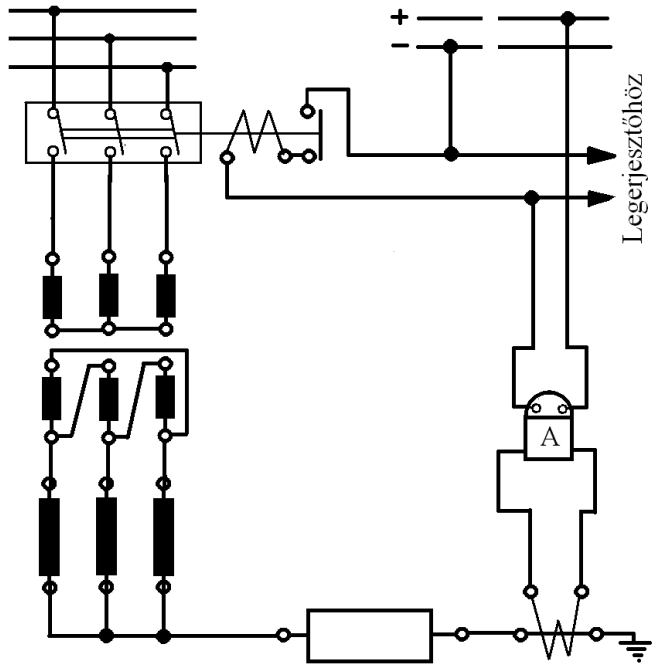
6.27 ábra. Generátor különbözőzeti védelme



6.28 ábra. Különbözőzeti védelem földzárlat esetén

A különbözőzeti védelem földzárlat esetén is lekapcsol, de csak akkor, ha a generátor csillagpontja földelve van, mert ekkor a zárlati áram a csillagponton keresztül tér vissza a generátorba (6.28. sz. ábra), továbbá ha a zárlat helye elég messze van a csillagponttól ahhoz, hogy a védelem érzékenységének megfelelő zárlati áram keletkezhessen.

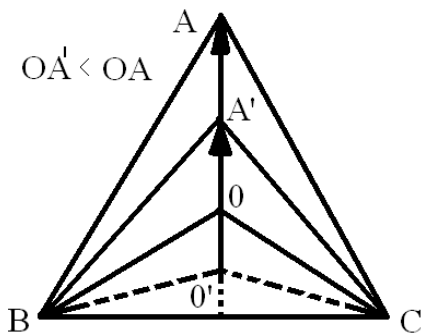
A különbözeti védelem érzékenysége, azaz annak a hibaáramnak a rendes üzemi áram százalékában kifejezett értéke, amely a védelmet már működésre készíti, kb. 20%. Jelentős előnye, hogy csak egyszerű áramrelét igényel, gyors a kioldása és nagyon érzékeny. Ezzel szemben hátránya, hogy az áramváltóknak pontosan megegyezőnek kell lenniük, és hogy menetzárlat ellen nem véd. A generátor menetzárlat védelmének szokásos megoldását a (6.29. sz. ábra) mutatja.



6.29 ábra. Generátor menetzárlat védelme

Működésének lényege a következő: rendes viszonyok

között a háromfázisú áramkörben a három feszültségi vektor egymással egyenlő és egyensúlyt tart, úgyhogy a generátor csillagpontja egybeesik a hálózat 0 villamos közép- vagy súlypontjával (6.30. sz. ábra). Ha most valamelyik fázisban (A) menetzárlat keletkezik, ez a generátor mágneses viszonyait megváltoztatja, a rövidrezárt menetek a mező egy részét kiszorítják a vasmagból, úgyhogy a zárlatos tekercsben az indukált elektromotoros erő lecsökken, aminek következtében a generátor csillagpontja eltolódik a hálózat villamos középpontjához képest.



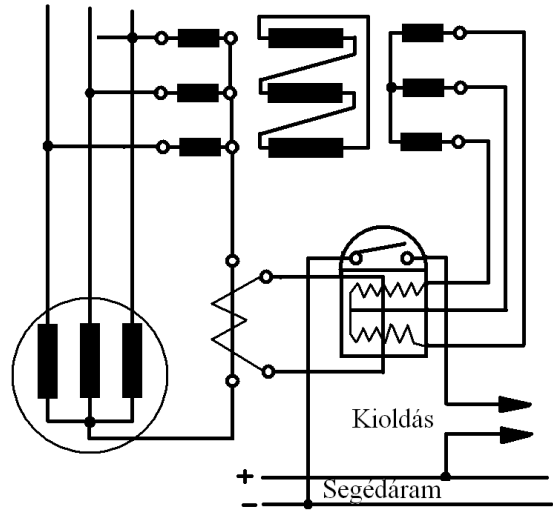
6.30 ábra. 6.29-hez tartozó vektorábra

A hálózat villamos középpontjának kialakítására egy csillagháromszög kapcsolású feszültségváltó csillagpontját a hálózat villamos középpontjában, vagyis a láncolt feszültségekből alkotott A'BC háromszög súlypontjában igyekszik tartani. A két csillagpont feszültségkülönbsége az őket összekötő vezetéken át áramot indít, amely az oda beiktatott wattrelét működésre készíti.

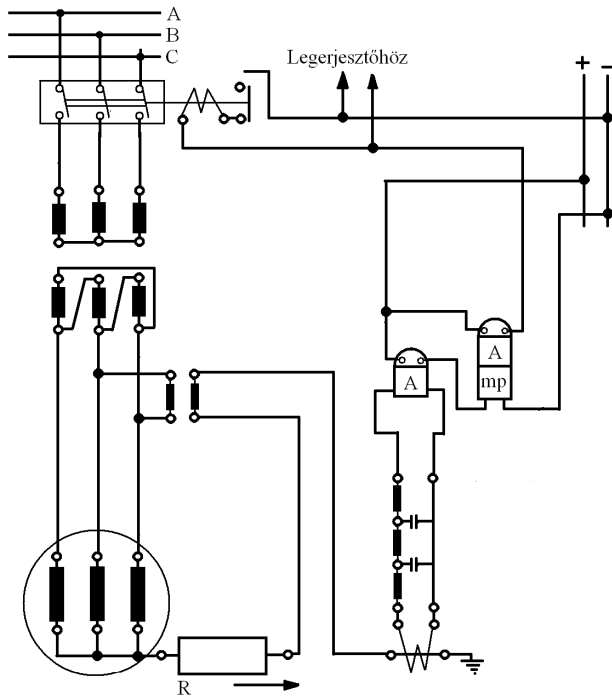
Egyszerű áramrelé itt azért nem volna megfelelő, mert ez az összekötött csillagpontokon átfolyó harmadik harmonikus hatására hibamentes üzemben is megszólalna. Ez a védelem működik a generátor egyenlőtlen terhelése esetén is, ami bekövetkezhet akkor, ha valamelyik



vezető elszakad. A generátor föld- vagy testzárlat védelmének legegyszerűbb megoldását a (6.31. sz. ábra) mutatja. A generátor földvezetőjébe egy áramváltó és ennek szekunder körébe egy áramrelé van beiktatva. Földzárlat esetében a tekercsben indukált feszültségnek az a része, amely a zárlat és a csillagpont közé esik, a zárlati áram igen nagy lenne, ezért ennek lefojtására a földvezetőbe egy ún. stabilizátor ellenállást (vashidrogén ellenállás) iktatunk, amelynek ellenállása a feszültséggel arányosan változik, úgyhogy akármekkora is a feszültség az ellenálláson átfolyó áram erőssége, bizonyos értéket meg nem haladhat. A csillagpont közvetlen közelében keletkező zárlatok esetén azonban ez a



6.31 ábra. Generátor föld vagy testzárlat védelme



6.32 ábra. Pohl-féle testzárlat védelem

védelem nem kielégítő, mert ilyenkor a zárlati áram túlságosan kicsiny ahhoz, hogy a relé biztosan működtethesse. A Pohl-féle testzárlatvédelem ezt a tökéletlenséget azzal küszöböli ki, hogy egy egyfázisú feszültségváltó szekunder tekercsének a generátor földvezetőjébe való beiktatásával a csillagpont feszültségét eltolja a földhöz képest (6.31. sz. ábra). Ez a feszültségkülönbség még akkor is elég erős áramot hajt át az áramváltón ahhoz, hogy a relé megszólaljon, ha a zárlat magában a csillagpontban keletkezik.

A harmadik harmonikus zavaróhatásának kiküszöbölése érdekében vagy wattrelét vagy pedig – úgy, amint az ábrán látható megoldáson is – szűrőket alkalmazunk.

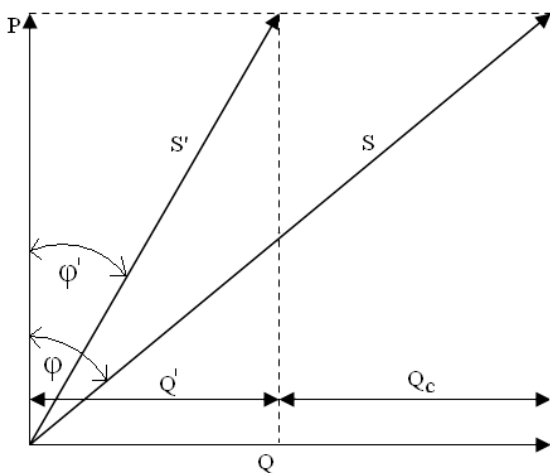
## 7. Fejezet Fázisjavítás

### 7.1 Fázisjavításról általában

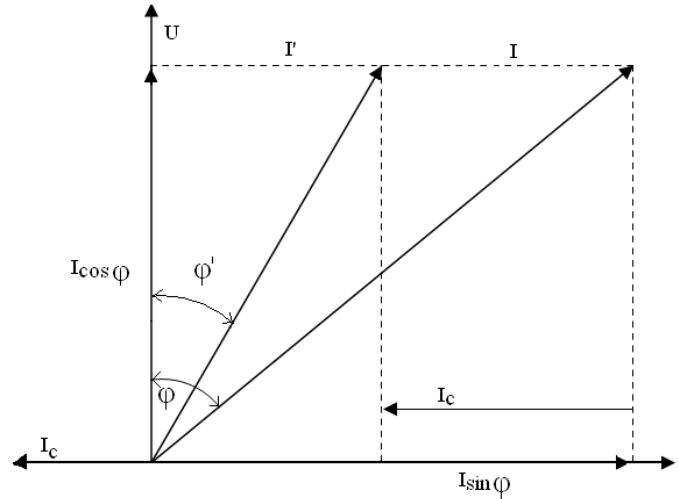
Minden olyan váltakozó áramú fogyasztó, amelynek üzeméhez mágneses fluxus fenntartása szükséges, meddőteljesítményt fogyaszt. Ilyen fogyasztók a fojtótekercecsek, az aszinkron gépek, az indukciós hevítő berendezések, gázkisüléses fényforrások, egyenirányítók, és más hasonló olyan berendezések is, amelyeknek árama, csak a feszültségnek egy bizonyos értéke fölött indul meg.

Az induktív jellegű fogyasztók a meddőteljesítmény miatt

nagyobb áramot /látszólagos áramot/ vesznek fel a hálózathoz, mint amekkora az általuk felvett wattos teljesítmény /wattos áram/ indokol. Mivel a vezeték és más soros elemek veszteségei a Joule-törvény szerint az áramerősség négyzetével arányosak, meddőteljesítmény átvitele káros, mert megnöveli az energia átviteli költségeket.



7.2 ábra. Teljesítmények vektorábrája



7.1 ábra. Ábra a kompenzálás magyarázatához

A fázisjavítás célja tehát az, hogy a vezetékrendszereken csökkentse a meddő energia szállítását, és így ennek következtében a veszteségeket, feszültségeséseket, és a vezeték terhelhetőségét /a melegedés szempontjából megengedhető áramerősséget/ a hatásos teljesítmény átvitelére szabadítsa fel.

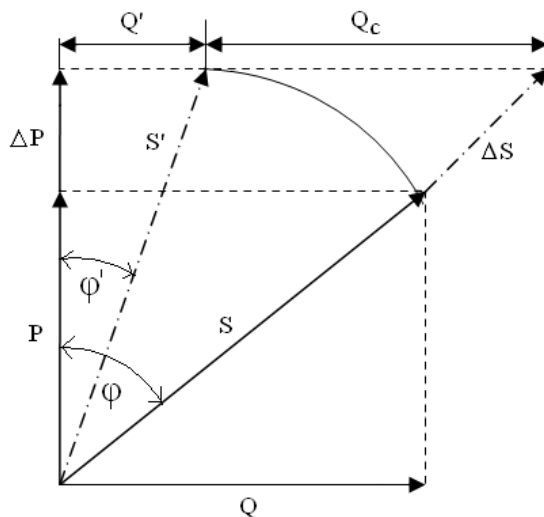
Meddő teljesítményt kondenzátor telepekkel lehet a legegyszerűbben termelni. Ez a fázisjavító kondenzátor/. A későbbiek során

láttni fogjuk, hogy a meddő teljesítményt forgó villamos gépekkel is lehet termelni./ A

fázisjavító kondenzátor javítja az induktív fogyasztó  $\cos \varphi$  -jét: teljesítmény tényezőjét azáltal, hogy csökkenti a fogyasztóból felvett áramerősségének a fáziskiesését. A felvett meddőteljesítmény csökkentésének ilyen jellegű módszerét kompenzálásnak is szokták nevezni.

Az induktív fogyasztókkal párhuzamosan kapcsolt kondenzátorok kompenzáló hatásának megértéséhez vizsgáljuk meg a (7.1 sz. ábrán) lévő induktív fogyasztó vektorábráját. Látható, ha a  $\varphi$  értékét csökkenteni akarjuk, a legegyszerűbb megoldásként adódik a kondenzátor bekapcsolása, amely a feszültséghez képest  $90^\circ$ -kal siető áramot vesz fel a hálózathoz. Ennek teljesítménye  $Q_c$ , ami arányos  $I_c$  árammal.

Áramok helyett teljesítményben is gondolkodhatunk, és felrajzolhatjuk a teljesítmények vektorábráját is (7.2 sz. ábra). Az ábrából látható, hogy állandó hasznos teljesítmény  $P$  mellett kondenzátor beiktatásával a  $\varphi$  csökken  $\varphi'$ -re. Az ábrából jól kivehető a látszólagos teljesítmény  $S$  csökkenése is.



A (7.3 sz. ábra) a látszólagos

teljesítmény  $S$  esetén mutatja a kompenzálás hatását. Ugyanolyan látszólagos teljesítmény felvétele mellett a fogyasztó wattos teljesítmény  $\Delta P$  értékkel megnőtt.

7.3 ábra. Látszólagos kompenzálás és teljesítmény

A meddő energiát igénylő fogyasztók és fázisjavító kondenzátorok közötti kapcsolat szerint a fázisjavítás három fő módja különböztethető meg:

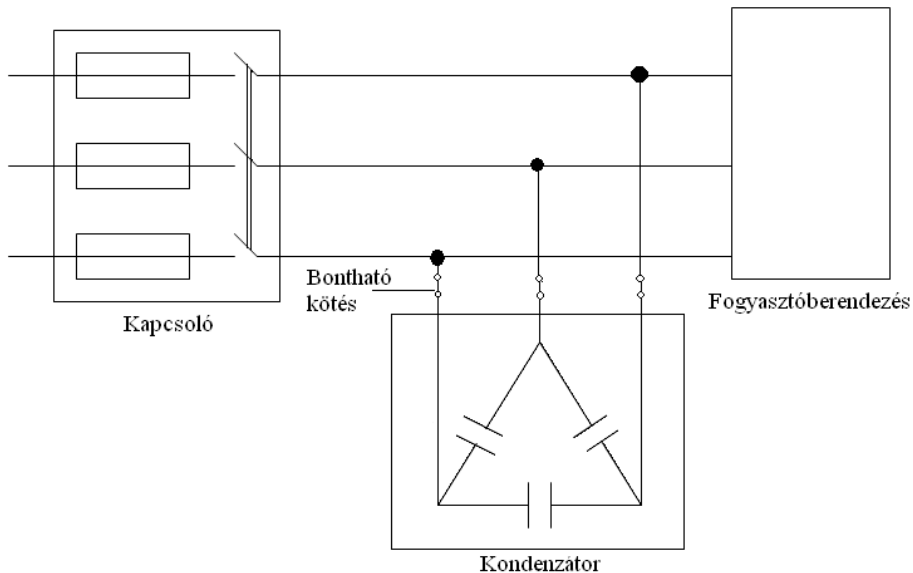
- egyedi kompenzáció
- csoportos kompenzáció
- központos kompenzáció

## 7.2. Kompenzálás módja

### 7.2.1. Egyedi kompenzáció

Egyedi kompenzáció esetén a fázisjavító kondenzátor csupán egyetlen fogyasztó meddőteljesítményét fedezi és a fogyasztóval közös egységet képez. A világítási hálózatokon üzemelő gázkisüléssel fénnyforrások előtétjeinek a kompenzálását leggyakrabban így biztosítják, ugyanis viszonylag kis teljesítményű kondenzátorok olcsók, az eredeti kompenzálás költségei általában gyorsan megtérülnek. Nagyobb teljesítményű kondenzátorokat viszont nagy meddőigényű fogyasztókkal is csak olyan esetben ajánlatos egyedi kompenzálásra kihasználni, hogy a fogyasztó évi nappali kihasználási óraszámja legyen legalább 2000 óra. Tekintettel arra, hogy a kompenzált

transzformátor vagy aszinkronmotor a kondenzátorral kapcsolástechnikailag közös egységet képez, a kondenzátor részére külön szerelvények /kapcsoló, biztosító, kisütőellenállás/ nem szükségesek. A kondenzátor közvetlenül a fogyasztó kapcsaira kötve, vele egy időben kapcsolódik a hálózatra és a lekapcsolást is a fogyasztó kapcsolója végzi.



7.4 ábra. Egyedi kompenzáció

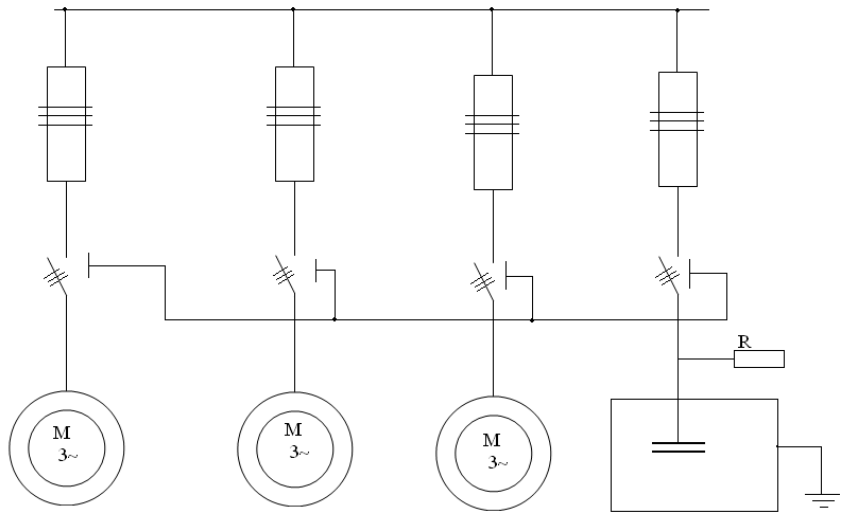
Motorok egyedi kompenzációjával kapcsolatban két lényeges dolgot kell szem előtt tartani. Elsősorban azt, hogy mivel a motor meddőigényének egy részét a közvetlen, a kapcsaira kötött kondenzátor elégíti ki, a főkapcsolón és a hőkioldón kisebb áram folyik. A hőkioldót erre a kisebb áramerősségre kell beállítani, mert a motor túlterhelés ellen csak így lesz védve. A másik igen lényeges szempont, hogy a motor a rákapcsolt kondenzátorról ne gerjedjen fel. Ennek érdekében csak a motor üresjárási meddőfogyasztásának 90%-áig szabad kompenzálni, ennél nagyobb kondenzátor teljesítmény beépítése TILOS! A hálózatról lekapcsolt motor aszinkron generátorként viselkedik, amelynek a gerjesztését a kondenzátor biztosítja. A még forgó motor kapcsaihoz tehát még olyankor sem szabad hozzáérni, ha a motor jól láthatóan le van választva a hálózatról. Motorok egyedi kompenzálnak első határát szabja meg, hogy a legkisebb teljesítmény kondenzátor 1,5 kvar-os, így a legkisebb egyedileg kompenzálható motor kb. 5 kW-os.

Olyan hajtásoknál, ahol a feszültség kimaradás esetén a terhelés a szinkron fordulatszám fölé gyorsíthatja a motort, egyedi kompenzációt nem szabad alkalmazni, ilyenkor ugyanis még helyesen megváltott egyedi kompenzáció esetén is felgerjedhet a motor és a gerjesztett feszültség megakadályozhatja a féklázító visszatérést /pl.: emelőgépek, felvonó, kötélpálya stb./. A (7.4 sz. ábra) csillag-háromszög kapcsolási motor egyedi kompenzációjára mutat példát. Az egyedi kompenzáció speciális, de gyakran alkalmazásra kerülő célszerű változata, ha a kondenzátor közvetlenül nem a motor sarkaira, hanem a motorvédő kapcsoló segédérintkezőjéről vezérelt külön

megszakítóval működtetjük. E megoldás előnye egyrészt az, hogy több, szakaszosan járó motor közös kompenzációja is megoldható ilyen módon. Mint azt a (7.5 sz. ábra) mutatja, ha a két, egyenként 13 kW-os szárítóventilátor közül bármelyik megindul, a 20 kvar-os

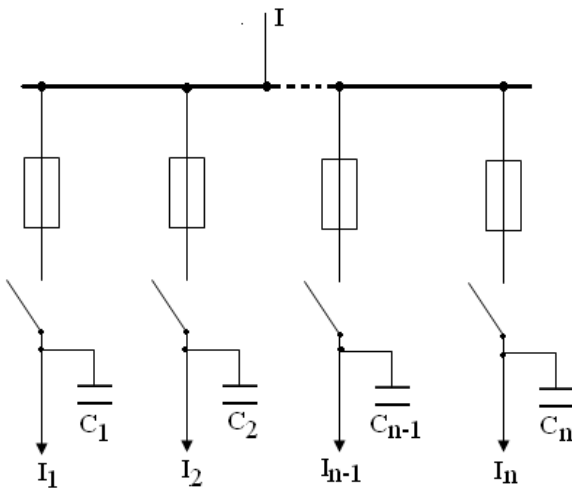
kondenzátor automatikusan bekapcsolódik, és mindaddig bekapcsolva marad, amíg mindhárom motor ki nem kapcsolódik. Előnye az olcsóbb beruházáson kívül az, hogy a felhasználási helyen

előállított meddő energia nem terheli az elosztókábeleket, így azok terhelhetősége megnő, a veszteségek csökkennek.



7.5 ábra. Motorok egyedi kompenzációja

## 7.2.2 Csoportos kompenzáció



7.6 ábra. Csoportos kompenzáció

A fázisjavítás gyakori módja a csoportos kompenzálás. A fázisjavító kondenzátorokat egy-egy üzemszám vagy gépcsoport együttes meddőfogyasztásának kompenzálására építik fel. A fogyasztókon külön telepített kondenzátorok külön szekrényt és külön kapcsoló-, biztosító és kisütő elemeket igényelnek. Ennek ellenére gazdaságosan alkalmazható minden olyan esetben, ha az üzemben:

- nagyobb teljesítményű, de kis kihasználási óraszámú üzemelemeddőfogyasztók vannak, amelyek egyedi kompenzálása nem gazdaságos;

- sok kis teljesítményű motor üzemel;  
 - az üzemi elosztó tápkábele túlterhelt, vagy ugyanazon a kábelén nagyobb hatásos teljesítményt kívánunk átvinni;  
 - kis területen sok gázkisüléssel fényforrás van beépítve. Különösen célszerű a csoportos kompenzáció alkalmazása, ha az egyes fogyasztócsoportok, műhelyek alelosztói távol vannak a központi elosztóktól, így a fázisjavító kondenzátorok további koncentrációja esetén a műhelyekbe menő tápkábelek nem lennének tehermentesítve. Ha egy üzemen belül több műhely elosztójához kívánunk csoportos kompenzációt tervezni, az egyes alelosztókhoz beépítendő kondenzátorteljesítményeket a teljes rendszer minimális energiavesztésének szem előtt tartásával, a tápkábelek hosszának és terhelésének figyelembe vételével kell meghatározni. N számú leágazókábel esetén (7.6 sz. ábra) az n-edik ágba beépítendő meddő teljesítményt a következő képlet segítségével határozzuk meg

$$Q_{cn} = Q_{mn} - \frac{1}{R_n} \cdot \frac{Q_{\Sigma m} - Q_{\Sigma c}}{\sum_1^n \left(\frac{1}{R}\right)},$$

ahol:  $Q_{cn}$  - az n-edik leágazásba beépíthető kondenzátorteljesítmény, kvar;  
 $Q_{mn}$  - az n-edik leágazásba lévő fogyasztók összes meddőteljesítménye, kvar;  
 $Q_{\Sigma m}$  - az összes leágazás együttes meddőigénye, kvar;  
 $Q_{\Sigma c}$  - az összes beépítendő kondenzátorteljesítmény, kvar;  
 $R_n$  - az n-edik leágazókábel rezisztenciája ohm-ban  
 $\sum_1^n \frac{1}{R}$  - a leágazó kábelek vezetőképességének /konduktivitásának/

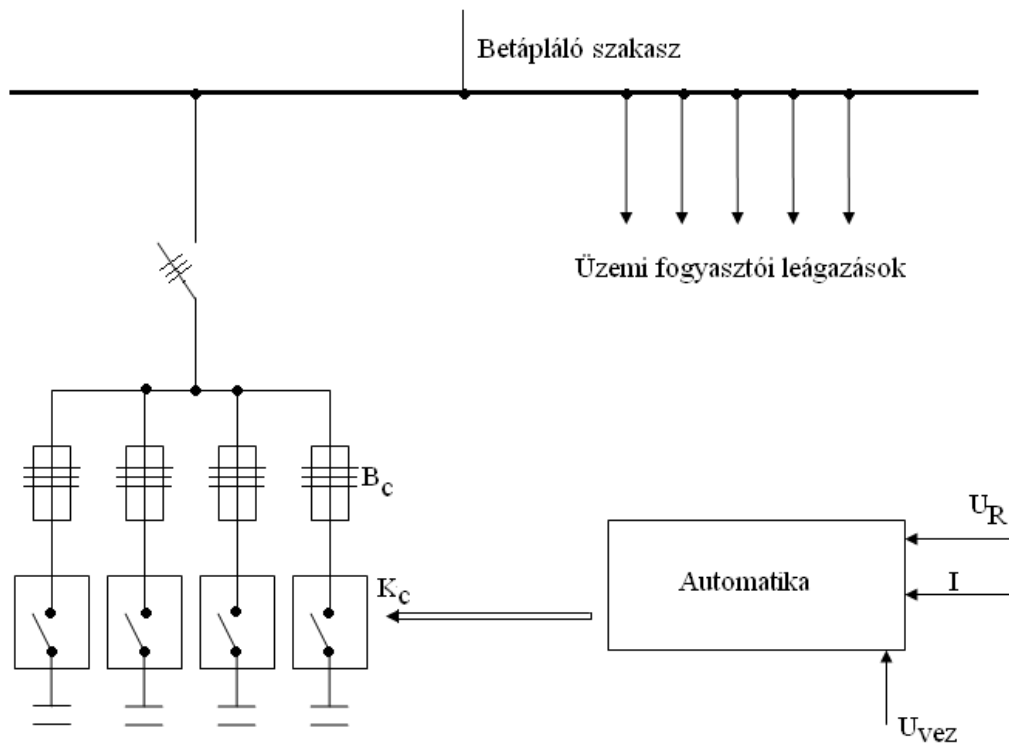
Összege  $S[1/\Omega]$

A kifejezés negatív eredményű is lehet, a természetesen nem azt jelenti, hogy az adott vezetőkben negatív kapacitív teljesítményt kell beépíteni, hanem azt, hogy a vizsgált vezetőkben a többihez képest jó a teljesítménytényező, így kondenzátor beépítése nem gazdaságos.

### 7.2.3 Központos kompenzáció

Központos kompenzációnak nevezzük a fázisjavításnak azt a módját, amellyel az egész üzem meddő teljesítményének nagyobb részét úgy kompenzáljuk, hogy az általában több csoportra osztott kondenzátorokat csoportonként közbeiktatott kondenzátorkapcsolókkal egy közös rendszerre fogjuk össze és ezt az üzem központi elosztó-, gyűjtősin rendszerére csatlakoztatjuk. A több kapcsolható csoportra való bontás lehetőséget nyújt az üzemi meddőenergia-forgalom változásainak követésére, villamos folyamatszabályozással történő automatizálásra, az üzem és egyben a gazdaság számára legkedvezőbb átlagos teljesítményező biztosítására.

E rendszer előnye a viszonylag kisebb kondenzátorszükséglet, a tarifális optimum biztosítása, a jól zárható és csak szakszemélyzet által hozzáférhető megoldás révén a nagyobb üzembiztonság.



7.7 ábra. Központos kompenzáció

A központos üzembiztonság hátránya, hogy a belső elosztórendszert nem mentesíti a meddő áramoktól. A központos kompenzációhoz szükséges összkondenzátor teljesítmény, ill. a kapcsolható csoportok teljesítményének megválasztása megtörténjen:

- a) a helyszínen végzett pillanatnyi mérés, ill. tartósan regisztrált hatásos- és meddőteljesítmény-változás, feszültségviszonyok elemzése;
- b) a fogyasztó által rendelkezésre bocsátott áramszámlák, fogyasztások, felárak, lekötött teljesítmények elemzése;
- c) az egy éven belül megvalósuló esetleges bővülések tartása és meddőteljesítmény-igényének szakszerű, technológussal egyeztetett becslés útján.

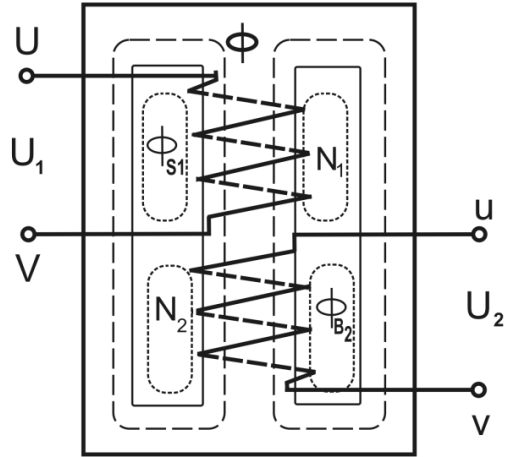
Kisebb üzemekben, kb. 25 kvar meddő teljesítményig a központos kompenzáció automatizálása olcsóbb, áramtól függő relével vagy kapcsolóórás vezérléssel történhet, az áramszolgáltatói tarifaváltó kapcsolóóra egy érintkező párjának igénybevételel segéd relén át.

Központi fázisjavítás vázlat a (7.7 sz. ábrán) látható.

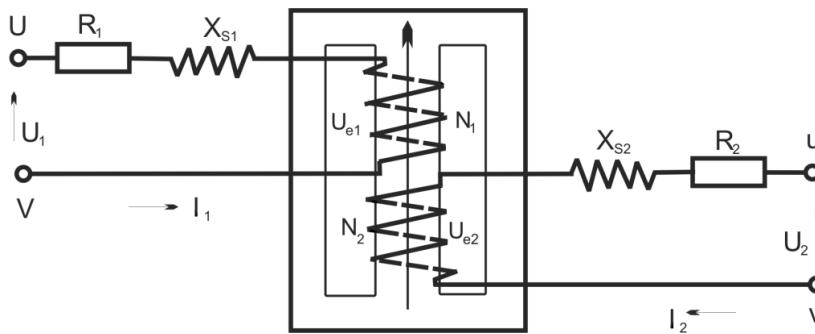
## 8. Fejezet Transzformátorok

### 8.1. Egyfázisú transzformátor működési elve

Transzformátor valamely adott feszültségű váltakozó áramot ugyanolyan periódusszámú, de más feszültségű váltakozó árammá alakít át és lényegében két mágnesen kapcsolt, tekercsrendszerből, valamint az ezeket megerősítő-, szigetelő-, burkoló-, hűtő-, stb. berendezésekből áll. Az energiát felvevő tekercsrendszert primer oldalnak, az energiát leadó, vagyis a termelő oldalt szekunder oldalnak nevezzük. Mivel a transzformátoron keresztül áramló energia iránya üzemszerűen változhat, a tekercsrendszerek megjelölésére a nagyobb feszültségű, illetve kisebb feszültségű tekercselés elnevezések is használatosak.



8.1a ábra. Egyfázisú transzformátor



8.1b ábra. Egyfázisú transzformátor helyettesítő képe

Ha a 8.1. sz. ábrában vázolt transzformátor U-V vagy kis u-v kapcsait egy váltakozó feszültségű áramforrásra kötjük, és ezzel a vasmagban váltakozó mágneses fluxust

idézőnk elő, mindkét tekercsrendszerben feszültség indukálódik, amelynek pillanatértéke:

$$U_e = N \frac{d\phi}{dt}. \quad 8.1.$$

N vagy a primer, vagy a szekunder menetszámot jelenti, aszerint, hogy melyik tekercsrendszert vizsgáljuk és a  $\Phi$  az összes menetekkel kapcsolódó közös fluxus pillanatértéke.

Ha  $T/2$  egy fél periódus ideje, mely alatt a fluxus  $-\Phi_m$  és  $+\Phi_m$  csúcserkékek között változik, az indukált feszültség középperéke függetlenül a fluxusváltozás törvényétől, ha  $f = 1/T$  a váltakozás frekvenciáját jelenti, akkor

$$U_{ek} = 4 f N \phi \quad 8.2.$$



Ha a szinusz törvény szerint változik, az indukált feszültség is ezt a törvényt követi, és effektív értéke ebben az esetben

$$U_e = 4,44 f N \phi \quad 8.3.$$

Általában, ha  $U_e$  nem szinusz törvény szerint változik, és a feszültséggörbe formatényezője

$$U_e/U_k = k_f \quad 8.4.$$

A 8.2., 8.3., 8.4. egyenletek az indukciótörvénynek a transzformátorra alkalmazott különleges alakjai, ezekben azért használjuk a fluxus csúcsertékét, mert erre fogjuk vonatkoztatni a mágnesező áramot és a vasveszteségeket. A két tekercsrendszerben indukált feszültség viszonya: a feszültségáttétel, többfázisú transzformátorok különleges eseteitől eltekintve, a menetszám-áttétellel egyenlő:

$$\frac{U_{e1}}{U_{e2}} = a_e = \frac{N_1}{N_2} = a \quad 8.5.$$

Üresjárásakor, amikor a 8.1. ábrán a u-v-vel jelzett szekunder kapcsok nyitva vannak,  $U_{e2} = U_{20}$  és általában nagy megközelítéssel  $U_{e1} \approx U_1$ , vagyis a  $a_e \approx U_1/U_{20}$ . A feszültség- és a menetszám-áttételt tehát üresjárású feszültségméréssel állapíthatjuk meg. Ha a transzformátor szekunder oldalát megterheljük és elhanyagoljuk a fluxus fenntartásához szükséges gerjesztő áram befolyását,  $U_{e1} \times I_1 = U_{e2} \times I_2$  és

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{U_{e2}}{U_{e1}} = a_i = \frac{1}{a_e} = \frac{1}{a}, \quad 8.6.$$

ahol:  $a_i$  a transzformátor áramáttétele.

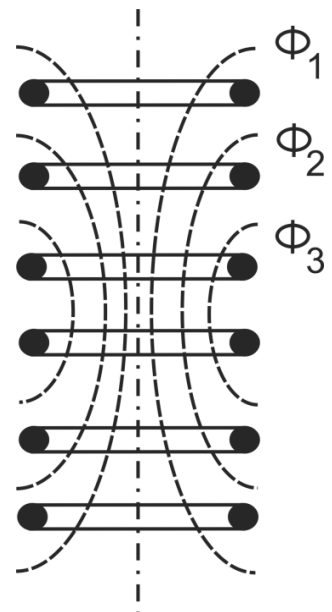
Ha viszont a kapocsfeszültségek közötti összefüggést keressük, és a gerjesztő áramot nem akarjuk elhanyagolni, a következő feszültség- és áramkomponenseket kell figyelembe venni.

a/ A két tekercsrendszernek  $R_1$  és  $R_2$  Ohm-ellenállása van. Ezek szinusz törvényt követő áram- és feszültségváltozás esetén komplex alakban kifejezve  $U_{R1} = R_1 \cdot I_1$  és  $U_{R2} = R_2 \cdot I_2$  feszültségkomponenseket idéznek elő és energiaveszteségeket okoznak.

b/ Az összes primer és szekunder menettel kapcsolódó  $\Phi$  főfluxuson kívül  $\Phi_{e1}$  és  $\Phi_{e2}$  szórású fluxusok is fellépnek, amelyek a 8.1. ábra szerint csak az  $N_1$  illetve  $N_2$  menetekkel kapcsolódnak. Ezek  $U_{e1} = jX_{e1} \cdot I_1$  és  $U_{e2} = jX_{e2} \cdot I_2$  feszültségeket hoznak létre.  $X_{e1} = \omega \cdot L_{e1}$  és  $X_{e2} = \omega \cdot L_{e2}$  a szórású fluxusoknak megfelelő reaktanciák,  $L_{e1}$  és  $L_{e2}$  pedig a hozzátartozó induktivitások.

A fő fluxustól eltérően a szórású fluxus általában nem kapcsolódik teljes egészében az egyes menetekkel. Ilyen esetekben az indukció szempontjából  $\sum \Phi_x \cdot N_x$  összeg mértékadó, amelyben  $\Phi_x$  jelenti az  $N_x$  menettel kapcsolódó fluxusrészt.

A  $\sum \Phi_x = \sum \Phi_x \cdot N_x = \Psi$  összeget tekercsfluxusnak vagy fluxuskapcsolódásnak szokták nevezni. Ha az  $N$  menettel kapcsolódó menetfluxusok mind egyenlők, akkor  $\Psi = N \cdot \Phi$ .



8.2 Szórású fluxus.

c/ A  $\Phi$  fluxus fenntartásához szükséges  $I_g$  gerjesztő áramot egy  $I_m$  meddő és egy  $I_v$  hatásos összetevőre bonthatjuk.  $I_v$  a vastestben hővé átalakuló energiaveszteséget fedezi.

A primer áram a terhelés hatására úgy változik meg, hogy a két gerjesztés különbsége közelítőleg ugyanakkora legyen, mint üresjáráskor a primer gerjesztés.

$$I_1 N_1 - I_2 N_2 \approx I_0 N_1 \quad 8.7.$$

ahol  $I_0$  az üresjárási áramot jelenti.

A transzformátor a névleges teljesítményéhez tartozó névleges primer áram 10..... 200-szor nagyobb, mint az üresjárási áram. Ha az üresjárási gerjesztést a terhelő áramok gerjesztései mellett elhanyagoljuk, akkor

$$I_1 N_1 - I_2 N_2 \cong 0 \quad 8.8.$$

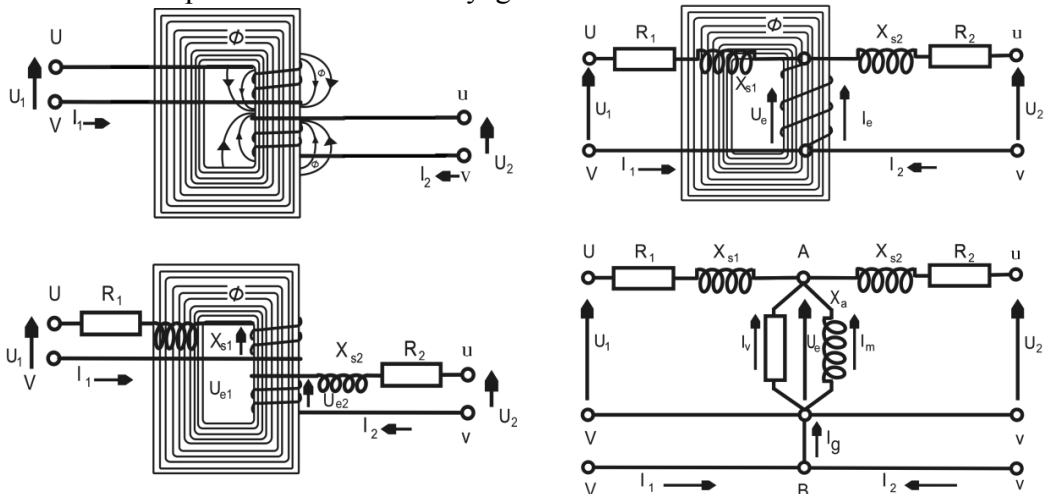
$$I_1 N_1 \cong I_2 N_2 \quad 8.9.$$

$$\frac{I_1}{I_2} \cong \frac{N_2}{N_1} \cong \frac{1}{a} \quad 8.10.$$

A transzformátor üresjárási áramának elhanyagolása esetén tehát a primer és szekunder tekercs gerjesztése egyenlő. Ez a gerjesztések egyensúlyának törvénye. Vannak transzformátorok, amelyeknek nem két, hanem három, vagy több tekercselésük van. A tekercselések közül az egyik primerként teljesítményt vesz fel, a többi szekunderként működik, tehát lead teljesítményt. Ilyenkor a primer tekercs gerjesztése a szekunder tekercsek eredő gerjesztését egyenlíti ki. A két szekunder tekercs esetén például – ha a második szekunder tekercset  $3$  indexekkel jelöljük – a gerjesztések egyenlete így írható:

$$I_1 N_1 - I_2 N_2 - I_3 N_3 \approx I_0 N_0 \quad 8.11.$$

Kettőnél több tekercselésű transzformátorokat abban az esetben használnak, ha egy primer hálózatból egy helyen több – rendszerint különböző feszültségű – szekunder hálózatot kell táplálni. A bekezdés lényeges



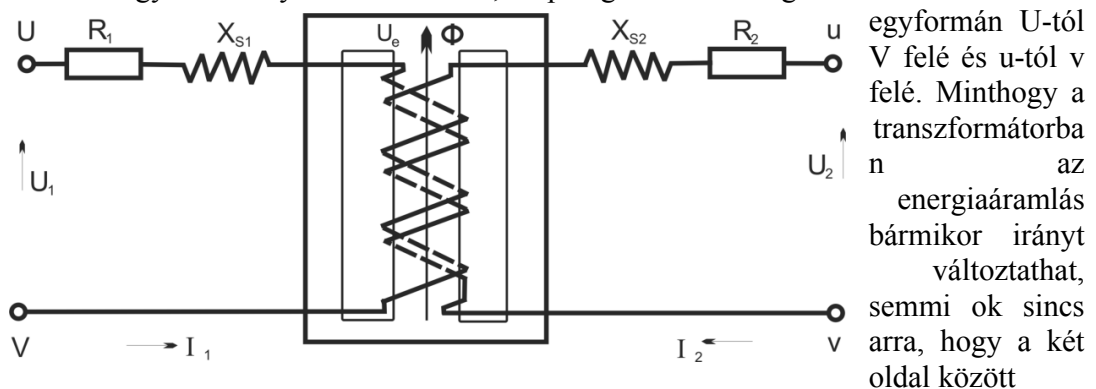
8.3a ábra. Helyettesítő kapcsolási ábra

könnyítést jelent a transzformátorban végbemenő jelenségek követése szempontjából, ha a primer és a szekunder tekercsrendszert egy négy-pólussal helyettesítjük. /8.3.sz. ábra/. A 8.3.a ábrából levezethetjük egy olyan transzformátor helyettesítő képét, /8.3.b ábra/, amely egymásba tolt primer és szekunder tekercsrendszerrel rendelkezik és az áttétele  $a=1$  értékű. Ezt úgy képzelhetjük el, hogy a tekercsrendszer vezetői szempontjából menetről-menetre érintkezik egymással úgy, hogy ez a transzformátor elektromágneses működésében semmilyen változást nem idéz elő.

Az egyesített tekercsrendszerben most már csak egy közös  $U_e$  feszültség indukálódik. A gerjesztő áram két összetevőjét úgy vesszük figyelembe, hogy az egyesített tekercsrendszernek  $X_a$  reaktanciát és  $R_v$  Ohm-ellenállást tulajdonítunk.  $X_a$  a fő fluxusnak,  $R_v$  pedig az  $U_{e2}$ -tel arányos vasveszteségeknek felel meg.  $I_g$  az  $I_1$  és  $I_2$  áramok eredőjeként az egyesített tekercsrendszerben megmaradó áram,  $I_m$  és  $I_v$  ennek meddő és hatásos összetevői.

Egyelőre feltesszük, hogy  $I_g$  szinuszos törvény szerint változik, tehát vektorral ábrázolható.

Az így nyert négy-pólust a 8.3.a. ábra mutatja. Ebben a pozitív irányokat a 8.3.b. ábrával egyező irányban vettük fel, és pedig a feszültségekre és az áramokra



8.3b ábra Helyettesítő kapcsolási vázlat

különbséget tegyünk. Ha a transzformátor menetszám-áttétele eltér az egységtől, az egyik tekercsrendszer adatait redukáljuk, átszámítjuk a másik rendszer menetszámának megfelelően, vagyis a valóságos értékek helyett azokkal számolunk, amelyek akkor lépnek fel, ha a menetszám-áttétel az egységgel volna egyenlő, és a transzformátor elektromágneses tulajdonságai – a teljesítmény, a veszteségek, a viszonylagos feszültségesés stb.- változatlanok. A redukált mennyiséget vesszővel jelölve és mellőzve a levezetést, kapjuk a 8.4. ábrát.

## 8.2. Terhelési állapotok vektorábrái

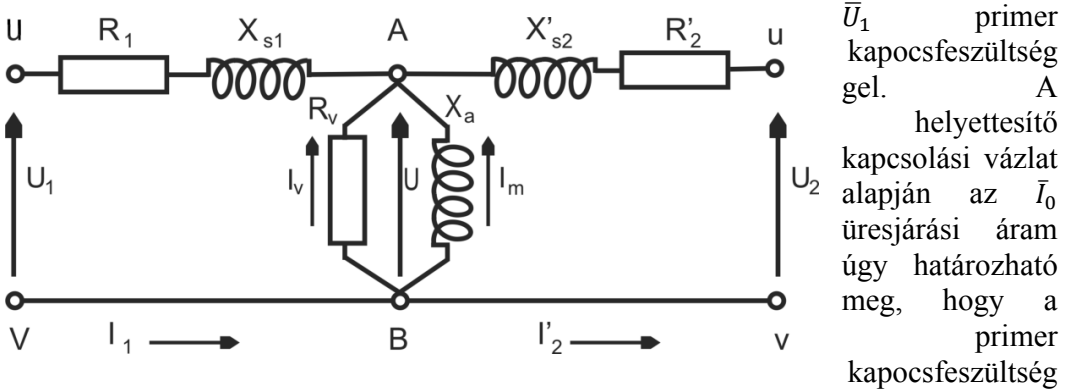
A vektorábrák szemléltető képet adnak a transzformátorban fellépő feszültségek, áramok és fluxusok nagyságáról és fázisviszonyairól.

a/ Üresjárási állapot

Az üresjárás állapotot az jellemzi, hogy a szekunder tekercsben nem folyik áram  $I'_2 = 0$ . Ezért az  $R'_2$  és  $X'_2$  ellenállásokon nem lép fel feszültségkülönbség. Így a szekunder kapocsfeszültség egyenlő a főfluxus által indukált feszültséggel:

$$U'_2 = U'_{e2} = U_e'$$

A primer tekercsben a főfluxus gerjesztéséhez szükséges üresjárás áram folyik. Az általa gerjesztett főfluxus indukálja az  $\bar{U}_e$  feszültséget. Ez a primer tekercs ellenállásán és szórási reaktanciáján keletkező kis feszültségkülönbség elhanyagolásával egyenlő



8.4 ábra. 1:1 áttételű helyettesítő kép

et osztjuk az áramkör eredő impedanciájával.  $R_1$  és  $X_{e1}$  viszonylag oly kicsinyek, hogy az eredő impedancia értékére  $X_a$  és  $R_v$  a mértékadó.  $R_v$  kb. 10-szer akkora, mint  $X_a$ . Ezért az üresjárás áramnak nagyobb a meddő komponense, mint a wattos. Közel negyed periódussal késik a primer kapocsfeszültség mögött, vektora közel  $90^\circ$ -kal késik az  $\bar{U}_1$  vektora mögött. Az  $I_0$  üresjárás áram ismeretében adott  $\bar{U}_1$  primer kapocsfeszültség esetén meghatározhatjuk  $\bar{U}_e$ -t. A helyettesítő kapcsolási vázlat VBAUV körére a huroktörvény:

$$\bar{U}_e + j X_{e1} \bar{I}_0 + R_1 \bar{I}_0 - \bar{U}_1 = 0$$

Egyszerűbb jelölés érdekében legyen:

$$U_{e1} = j X_{e1} I_0 \text{ és } U_{R1} = R_1 I_0$$

Behelyettesítve:

$$U_e + U_{e1} + U_{R1} - U_1 = 0$$

Ebből:

$$U_e = U_1 - U_{R1} - U_{e1}$$

b/ Terhelés

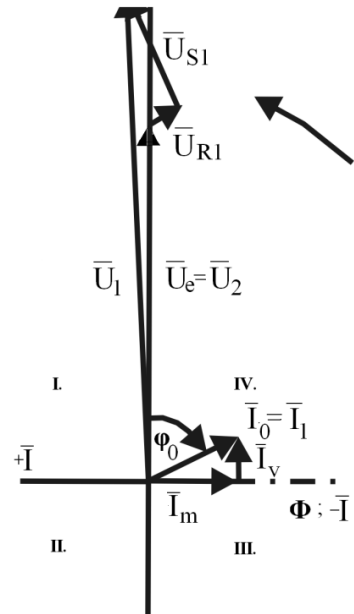
Terheléskor a kapcsokra fogyasztókat kapcsolunk.

Ekkor a fogyasztókon és a szekunder tekercsen

keresztül megindul az  $I_2$  szekunder áram, illetve a helyettesítő kapcsolási vázlat

redukált szekunder tekercsén keresztül az  $\bar{I}'_2$  redukált szekunder áram. Nagyságát és

fázisát a fogyasztók szabják meg. A fogyasztók általában wattos és meddő



8.5 ábra. Üresjárat vektorábra

teljesítményt is fogyasztanak. Ezért  $\bar{I}_2$  illetve  $\bar{I}'_2$  általában késik a szekunder kapocsfeszültség mögött. Ilyen terhelési állapotot mutat a 8.6 ábra vektorábrája. A szekunder áram gerjesztésével úgy tart egyensúlyt, hogy a két gerjesztés különbsége mindig közel egyenlő az üresjárású primer gerjesztéssel, mert az  $\bar{U}_e$  feszültség terheléskor alig változik, tehát indukáláshoz majdnem ugyanolyan fluxust kell gerjeszteni, mint üresjárásúkor:

$$\bar{I}_1 N_1 - \bar{I}'_2 N_2 \approx \bar{I}_0 N_1$$

A helyettesítő kapcsolási vázlatban a szekunder tekercsnek a primerre való redukálásával minden transzformátort úgy vizsgálunk, mintha menetszámai  $N_1 = N_2$  lennének. A redukált  $N_1$  menetszámú szekunder tekercs gerjesztése egyenlő a valódi szekunder tekercsével:

$$\bar{I}'_2 N_1 = \bar{I}_2 N_2$$

mert

$$I'_2 N_1 = \frac{\bar{I}_2}{a} N_1 = \frac{\bar{I}_2}{\frac{N_1}{N_2}} = \bar{I}_2 N_2$$

Ezért a gerjesztések egyensúlyának törvénye így írható:

$$\bar{I}_1 N_1 - \bar{I}'_2 N_1 \approx \bar{I}_0 N_1$$

$N_1$ -gyel osztva:

$$\bar{I}_1 - \bar{I}'_2 \approx \bar{I}_0$$

A helyettesítő kapcsolási vázlaton ez közvetlenül belátható a B-re felírt csomóponti-törvényből:

$$\bar{I}_1 - \bar{I}'_2 = \bar{I}_m + \bar{I}_v$$

A 8.7 ábrán  $\bar{I}_m$  és  $\bar{I}_v$  vektorainak eredője  $\bar{I}_e$ , gerjesztő áram vektora. Ez közel egyenlő az  $\bar{I}_e$  üresjárású áram vektorával. Hozzáadva  $\bar{I}'_2$  vektorához megkapjuk  $\bar{I}_1$  vektorát:

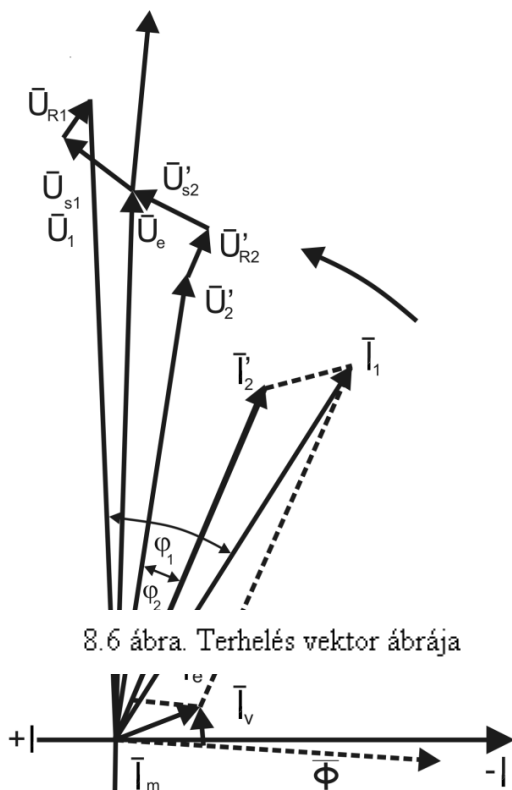
$$\bar{I}_1 = \bar{I}_e + \bar{I}'_2$$

A megterhelt transzformátor  $I_1$  primer árama nagyobb, mint az  $I_0$  üresjárású primer áram és más a fázisa. Ezért megváltoztak a primer áram által a primer tekercs ellenállásán és szórási reaktanciáján okozott feszültségeseések is. Ezért változatlan  $\bar{U}_1$  primer kapocsfeszültség esetén kismértékben megváltozik  $\bar{U}_e$  is:

$$\bar{U}_e = \bar{U}_1 - R_1 \bar{I}_1 - j X_{e1} \bar{I}_1$$

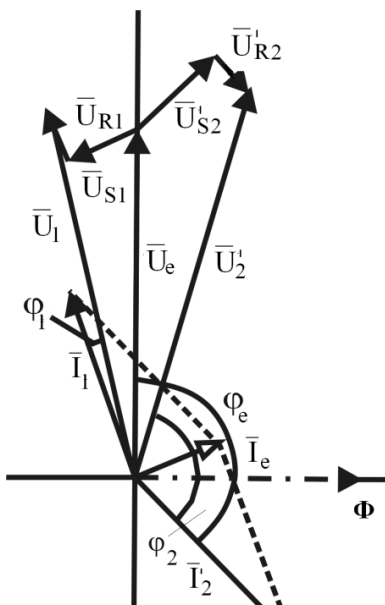
Rövidebben jelölve:

$$\bar{U}_e = \bar{U}_1 - \bar{U}_{R1} - \bar{U}_{e1}$$

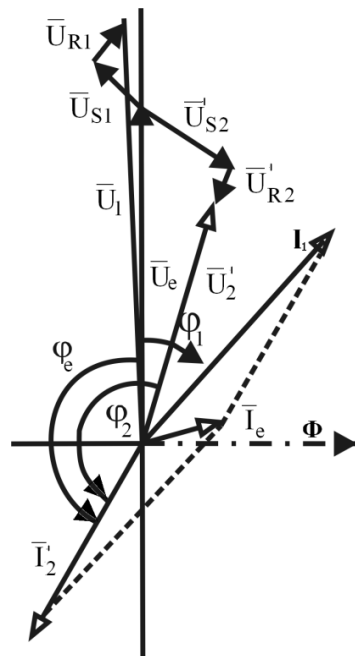


8.6 ábra. Terhelés vektor ábrája

$\bar{U}_{R1}$  vektora párhuzamos  $\bar{I}_1$  vektorával,  $\bar{U}_{e1}$  pedig merőleges rá.  $\bar{U}_e$  és vele  $\Phi$  főfluxus nagyságának változása az  $R_1$  és  $X_{e1}$  ellenállások viszonylag kis értéke miatt csak 1-2 százalékos. Kis mértékben változik, ezért  $\bar{I}_m$  és  $\bar{I}_v$  is az üresjárási állapothoz képest. Természetesen változatlanul fennáll  $\bar{U}_e$  és  $\Phi$ , illetve  $\bar{I}_m$  és  $\bar{I}_v$  vektorai közti  $90^\circ$ -os fázisszög. A megterhelt transzformátor  $\bar{U}'_{e2}$  redukált szekunder kapcsolófeszültsége nem egyenlő az  $\bar{U}_e$  feszültséggel. Az  $\bar{I}'_2$  redukált szekunder áram ui. az  $\bar{X}'_{e2}$  és  $\bar{R}'_2$  redukált szekunder szórási reaktancián és ellenálláson feszültséget okoz. A teljeség kedvéért a 8.7.a ábrán gyakorlatilag tisztán induktív, a 8.7.b ábrán pedig



8.7b ábra. Tisztán induktív terhelés vektorábrája



8.7a ábra. Tisztán induktív terhelés vektorábrája

tisztán kapacitív terhelésre vonatkozó vektorábrákat rajzoltuk fel.  $\bar{U}'_2$

redukált szekunder kapcsolófeszültség:

$$\bar{U}'_2 = \bar{U}_e - j X'_{e2} \bar{I}'_2 - R'_2 \bar{I}'_2$$

Rövidebben jelölve:

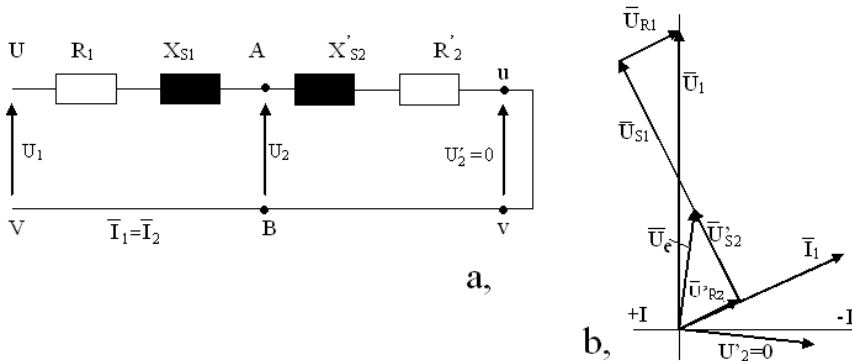
$$\bar{U}'_2 = \bar{U}_e - \bar{U}'_{e2} - \bar{U}_{R2}$$

$\bar{U}'_{e2}$  vektora merőleges  $\bar{I}'_2$  vektorára,  $\bar{U}_{R2}$  vektora pedig párhuzamos vele.

Az  $\bar{U}_1$  primer kapcsolófeszültség és  $\bar{I}_1$  primer áram közötti fázisszög  $\varphi_1$ , az  $\bar{U}'_2$  redukált szekunder kapcsolófeszültség és  $\bar{I}'_2$  redukált szekunder áram közötti fázisszög  $\varphi_2$ . A  $\varphi_2$ -t a fogyasztók szabják meg. Ennek ismeretében  $\varphi_1$  megszerkeszthető.

c/ Rövidzárás

A rövidzárási állapot az üresjárásával ellentétes szélső terhelési állapot. Ha a transzformátor szekunder kapcsai között fogyasztók ellenállását fokozatosan csökkentjük, akkor fokozatosan nő a szekunder és primer tekercsben folyó áram. Szélső esetben a szekunder kapcsokat rövidre

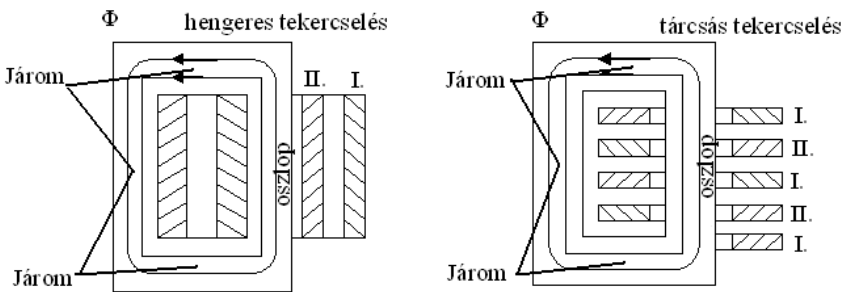


8.8 ábra. Rövidzár vektorábrája

zárjuk. Ezt az állapotot tünteti fel a 8.8 ábra. Hosszú ideig a rövidzárási állapot ilyen formában nem tartható fenn, mert a tekercsekben folyó áramok erőssége 10-25-ször nagyobb, mint névleges terhelés esetén. Üzemhiba következtében azonban előfordul, hogy a transzformátor ilyen állapotba kerül addig a rövid ideig, míg a biztosítók lekapcsolnak. Ez oly rövid idő, hogy a tekercsek nem égnek el, mert nincs idejük felmelegedni. A primer illetve a szekunder árammal arányosan megnőnek azonban a szórt fluxusok.

### 8.3 Transzformátorok csoportosítása

Korábban foglalkoztunk a szórt fluxusokkal, amelyek mindenképpen károsak. A szórt fluxusok által indukált feszültségeket a tekercsek szórt fluxusának csökkentésével lehet csökkenteni. A szórt fluxusok a primer-, szekunder tekercsek formája és egymáshoz viszonyított helyzetük, azaz a tekercselrendezés határozza meg.

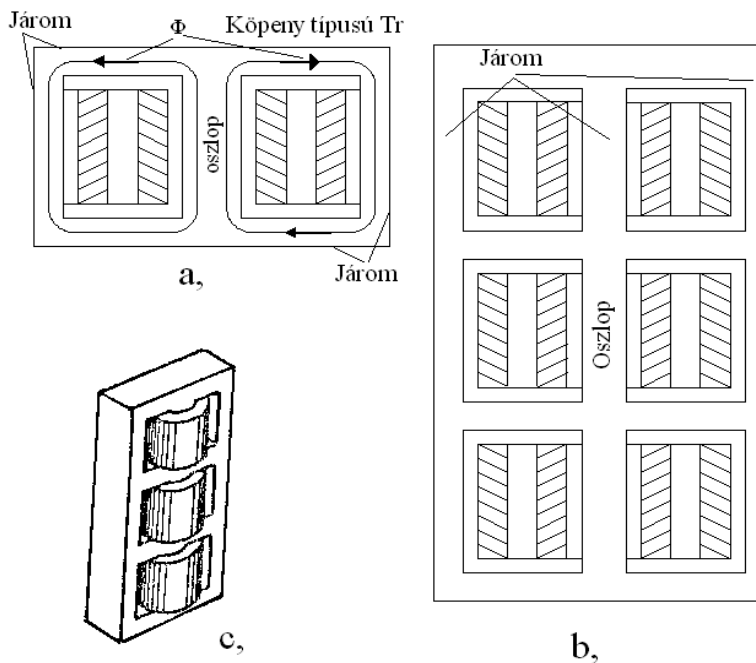


8.9 ábra. Különböző vasmagok és tekercsek

formátorok két csoportra oszthatók:

- Köpenytípusú transzformátor
- Magtípusú transzformátor

A 8.9. sz. ábra különböző vasmagokat és a rajtuk elhelyezett tekercset mutatja. A mágneses kör kialakítása szempontjából a transz-



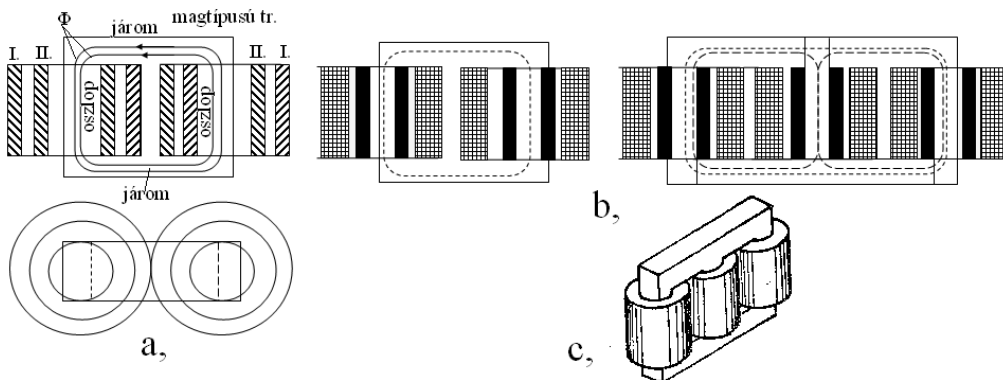
8.10 ábra. Köpeny típusú transzformátor

okokból általában a kisebb feszültségű tekercset helyezik el belül, a vasmaghoz közelebb, a nagyobb feszültségűt pedig kívül. A 8.9. ábrán az I. és a II., valamint a kétféle vonalkázás a primer, illetve a szekunder tekercset jelöli. Itt tehát a primer a nagyobb feszültségű tekercs, ezért van kívül. A szórt fluxusok csökkentésének másik módja, a tekercsek tárcsás elrendezése /8.9.b ábra/. Mind a primer, mind a szekunder tekercset több tekercsrészre osztják fel. Az összes primer tekercsrészek egymással és az összes szekunder tekercsrészek egymással sorban vannak kötve. Együtt alkotják a primer, illetve a szekunder tekercset. A 8.9.a és 8.9.b ábrákon bemutatott transzformátor típus az ún. láncszem típus. A vasmag és a tekercsek úgy helyezkednek el, mint két egymásba kapcsolódó láncszem. A vasmagnak azt a részét, amely körül a felfűzött tekercseket elhelyezik, oszlopnak nevezik. A mágneses kört oszlopvégtől oszlopvégig a jármok zárják. A vasmagban a váltakozó fluxus veszteséget okoz. Csökkentésére a vasmagot lemezekből készítik. A 8.10. sz. ábrán köpeny típusú transzformátor látható. Az oszlop végein két járom kétfelé zárja a mágneses kört. 1-1 járom a főfluxus felét vezeti, ezért keresztmetszete feleakkora, mint a láncszem típusúnál. Ma legáltalánosabban a 8.11.a ábrán bemutatott mag típusú transzformátor használatos. Két oszlopa van. Mind a primer, mind a szekunder tekercset megfelelően a két oszlopon helyezkedik el. A vasmag kb. ugyanakkora, mint a láncszem típusúnál. A tekercseknek kisebb a közepes átmérője, ezért kisebb a menethossza, kisebb tehát a

Ez utóbbin belül még megkülönböztetünk láncszem-típusú transzformátort is. A hengeres tekercselrendezésnél /8.9.a ábra/ a primer és a szekunder tekercseket oly szorosan egymásba tolt hengereként képezik ki, amennyire azt a szigetelés megengedi. Ilyenkor kisebb a fluxusnak az a része, amely csak a primer vagy csak a szekunder menetekkel kapcsolódik. Szigetelési



tekercsek ohmos ellenállása. Így kevesebb a tekercsveszteség és kisebb a beépítendő tekercsanyag /réz vagy alumínium/ mennyisége is.



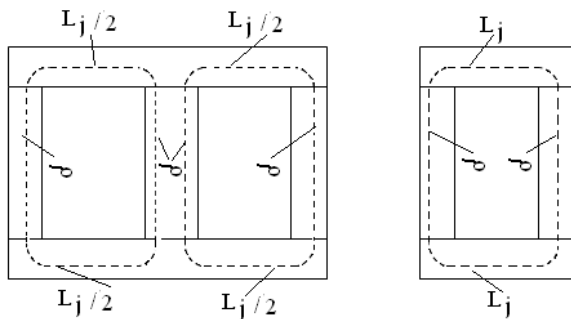
8.11 ábra. Mag típusú transzformátor

## 8.4. Transzformátor gerjesztő árama

Mint korábban láttuk, a gerjesztő áram két komponensből áll. Az egyik a meddő komponens, amit mágnesezési áramnak nevezünk, a másik a valós komponens, amely a veszteségi teljesítményre utal, és ami hővé alakul. Célszerű tehát e két áramot külön vizsgálni.

### 8.4.1. Meddő komponens

Hagyjuk figyelmen kívül a vastestben fellépő veszteségeket. A gerjesztő áram ekkor tiszta meddő áram, amelynek pillanatértékét a gerjesztési törvény határozza meg. A gerjesztési törvény szerint a mágneses térerősség integrálja egy zárt vonal mentén minden pillanatban a körülfogott áramértékek algebrai összegével, a gerjesztéssel egyenlő.



Felírható:

$$H_{to} l_o + H_{tj} l_j = \Theta_1 = I_m N$$

A 8.12. ábra a köpeny- és a magtípusú egyfázisú transzformátor vázlatai.

A köpeny típusra írhat:

$$H_o \cdot l_o + H_j \cdot (l_j + l_o) = \Theta = I_m \cdot N$$

feltéve, hogy a felső és az alsó,

illetve a két oldaljáróm keresztmetszete egyenlő, és így ezekben mindenütt

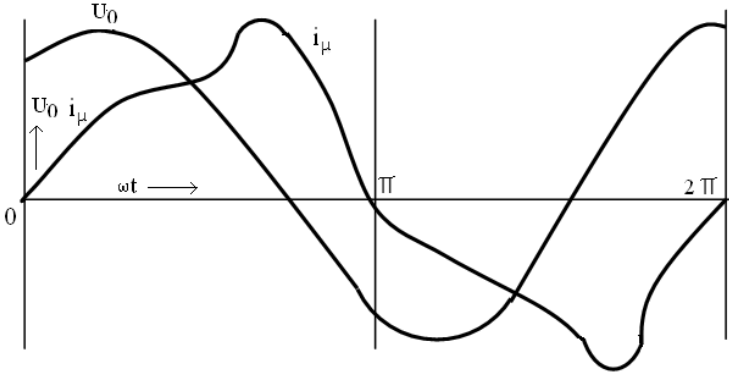
8.12 ábra. Köpeny és magtípusú egyfázisú transzformátor

ugyanaz a  $H_j$  térerősség lép fel.

A magtípus esetében:

$$2H_o l_o + 2H_j l_j = I_m N = \theta$$

Ha a kapcsolófeszültség – és ezért az indukált feszültség is – gyakorlatilag szinusztörvény szerint változik, akkor a főfluxus is szinuszos, csupán fázisban késik negyed periódussal az indukált feszültség mögött, mert csak szinuszos feszültség indukál szinuszos

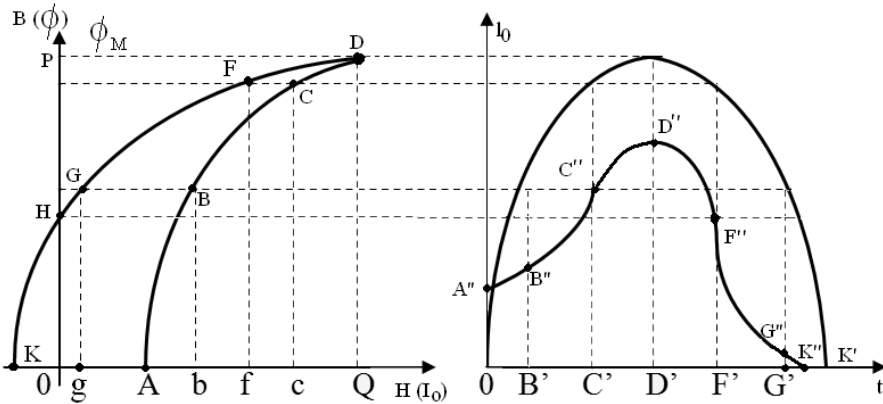


8.13 ábra. Fluxus és áram alakjai

fe-  
szültséget. A vas  
permea-  
bilitási  
ténye-  
zője azo-  
nban  
nem füg-  
getlen  
az indu-  
kciótól  
– így a  
fluxus-  
tól sem.  
Ezért a  
mágnes-  
ező áram  
akkor sem  
szinuszos  
alakú, ha  
 $U_e$  az  
időnek  
szinusz  
függvénye.

A 8.13. ábrából látható, hogyan

lehet a mágnesező áram, illetve a vele arányos  $H$  időbeli lefolyását, a  $B$  változását jelző szinuszgörbéből kiindulva a vastest mágnesezési görbéje segítségével



8.14 ábra. Gerjesztő áram eredő görbéje

megszerkeszteni. Kezdjük el pl. akkor a szerkesztést, amikor a főfluxus zérus /A pont/. Ekkor az üresjárási áramerősség OA távolsággal arányos. Ezt az  $O'$  pontból függőleges irányban felmérjük:  $OA = O'A''$ .

Ugyanígy járunk el a többi ponttal. Amikor a főfluxus nagyságát  $b$  B ordináta mutatja, az üresjárási áramerősség  $Ob$ -vel egyenlő. A B pontot átvetítjük  $\Phi_t$  szinuszgörbéjének emelkedő oldalára és a metszési pont ordinátájára felmérjük az  $Ob = B'B''$  darabot. Ez az  $I_0$  görbe  $B''$  pontja.

### 8.4.2. Hatásos komponens

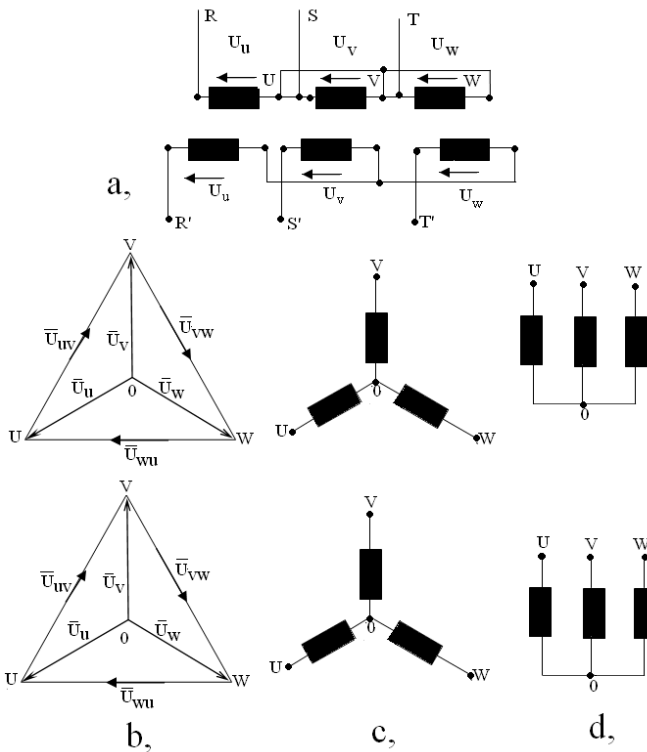
Ez a komponens, mint a vastest veszteségeit fedező hatásos áram, szinusz alakú, és a 8.4. sz. ábra helyettesítő vázлата értelmében fázisban van  $U_e$ -vel.

Ha pillanatértékeit összeadjuk a meddő komponens pillanatértékeivel, a gerjesztő áramnak a 8.14. sz. ábrában látható jellemző görbét kapjuk. Állandó primer feszültségre kapcsolt és közel állandó szekunder feszültséget szolgáltató transzformátorok gerjesztő árama terheléskor is alig különbözik az üresjárási áramtól. A vastestben meleggé váló átalakulás következtében fellépő teljesítményvesztés hiszterézis – és örvényáram – veszteségből áll. A hiszterézis veszteség az átmágnesezés periódusszámával, a hiszterézis hurok területével és a vas súlyával arányos. A súlyegységre vonatkoztatott hiszterézis –teljesítményvesztést a következő képlet fejezi ki:

$$\frac{P_h}{G_v} = k_h f_{[Hz]} (B_m [T])^2 [W/kg]$$

Az általában használt vaslemezfajtákra  $k_h = 2,3 \cdot 10^{-2} \dots 5 \cdot 10^{-2}$ , így  $P_h/G_v = 1,15 \dots 2,5$  w/kg, ha  $f = 50\text{Hz}$  és  $B_m = 1/T$ .

### 8.5 Háromfázisú transzformátorok



8.15 ábra. Háromfázisú transzformátorok

Erőátviteli transzformátorokat tekintve a háromfázisú transzformátoroknak nagyobb a jelentősége, mint az egyfázisúaknak, mivel a villamos energia termelése, elosztása és felhasználása – gazdasági előnyei miatt – túlnyomórészt háromfázisú rendszerrel történik.

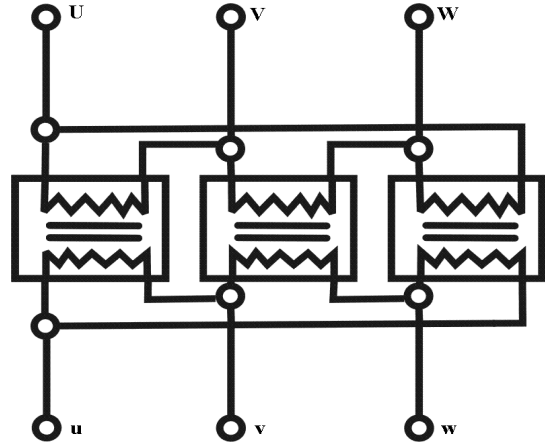
Háromfázisú transzformátort kialakíthatunk három darab egyfázisú transzformátorból. Ez a megoldás ritkábban szokásos, mivel drágább és rosszabb hatásfokú, mintha egy egységben képezzük ki a háromfázisú transzformátort.

A 8.15. ábrán három azonos műszaki jellemzőkkel rendelkező egyfázisú transzformátorból álló csoport kapcsolási rajza látható. Mind a primer, mind a szekunder tekercsek

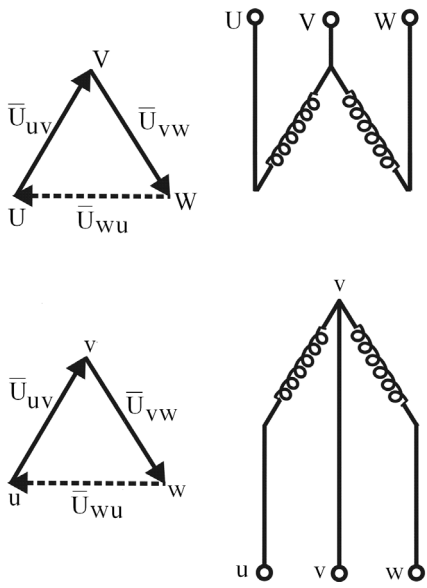
csillagba vannak kapcsolva. A nagyobb feszültségű tekercselés három kapcsát U, V, W-vel a kisebb feszültségűnél u, v, w-vel jelöltük.

A primer és a szekunder fázisok feszültségeinek effektív értéke:  $U_U, U_V, U_W$ , illetve  $U_u, U_v, U_w$ .

A transzformátortekercsek kapcsolásának ábrázolása alaki szempontból kétféleképpen is szokásos. A c. ábra előnye, hogy a tekercsek helyzete egyúttal a bennük indukálódott feszültségek egymáshoz viszonyított fázisát is kifejezi. A 8.16. ábrán egyfázisú transzformátorokból



8.16 ábra. Egyfázisú transzformátorokból felállított háromszög-háromszög kapcsolási csoport



8.17 ábra. V kapcsolás értelmezése

szempontjából előnye az utóbbi rendszernek, hogy egyik transzformátor meghibásodása esetén az üzem kb. 60%-os terheléssel tovább fenntartható. A hibás transzformátort kikapcsolva, a két megmaradó gép un. V kapcsolásban dolgozik tovább /8.17. ábra/

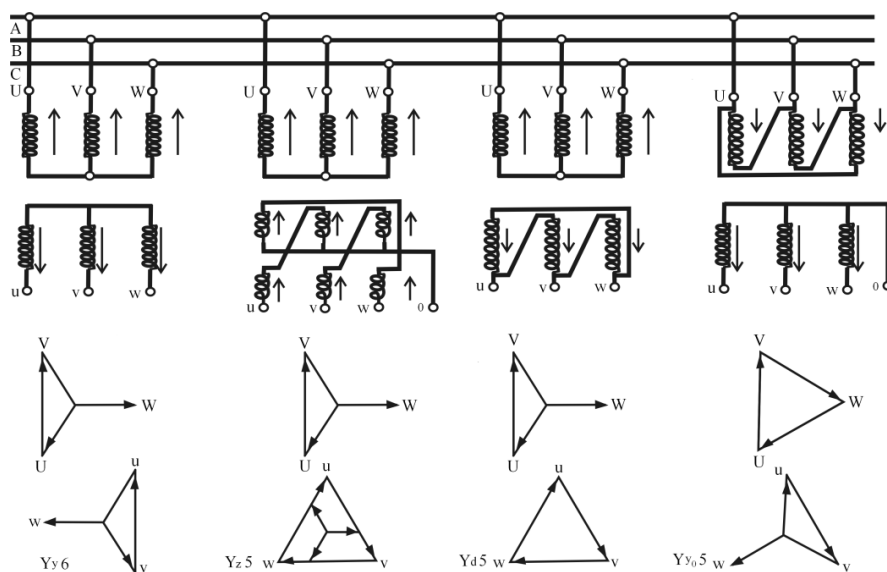
álló háromszög-háromszög kapcsolású csoport kapcsolási rajza és vektorábrája látható. Háromszögekapsolásnál minden tekercs vége a következő kezdetéhez kapcsolódik. Ugyanígy szokás rajzolni a megfelelő feszültségek vektorait is. A vonalfeszültségek háromszögekapsolásnál azonosak az egyes tekercsek fázisfeszültségével. A tekercselés önmagában záródó kört alkot. A zárt körben azonban a három fázisfeszültség egyensúlyban van egymással. Eredőjük zérus, amint a vektorábra mutatja. Üzembiztonság

### 8.6. Transzformátorok kapcsolási csoportjai

Az egyfázisú transzformátorok szekunder feszültsége a mérőiránytól függően vagy azonos fázisú, vagy ellenfázisban van a primer feszültséggel. Ez utóbbi esetében akár a szekunder oldalon a kapcsok felcserélésével biztosítható fázisazonosság. Egyfázisú transzformátorok nagyobb feszültségű kapcsait U, V-vel, kisebb feszültségű kapcsait u, v-vel kell jelölni, oly módon, hogy UUV és Uuv feszültségek azonos fázisúak legyenek.

Villamos energia átvitelére – mint ismeretes – majdnem kizárólag háromfázisú feszültségrendszert használnak. Az erőátviteli transzformátorok ezért rendszerint háromfázisú kivitelben készülnek. Ugyanannak a transzformátornak más kapcsolású lehet a nagyobb feszültségű tekercsrendszere és más a kisebb feszültségűé. A nagyobb feszültségű tekercseket vagy csillagba, vagy háromszögbe kapcsoljuk; a kisebb feszültségű tekercseket pedig csillagba, háromszögbe, vagy zezzugba. A gyakorlatban előforduló kapcsolások: csillag-csillag, csillag-zezug, csillag-háromszög és háromszög-csillag. Mint láttuk a csillag-csillag kapcsolású transzformátor aszimmetrikus terhelésre nem alkalmas, ezért a gyakorlatban azok a kapcsolások elterjedtek, amelyeknek az egyik tekercse delta, vagy zezzug. Ha a párhuzamos járás miatt mégis szükség van a csillag-csillag kapcsolásra, akkor az aszimmetrikus terhelés miatt külön delta tekercset /tercier tekercs/ is kell az oszlopokra elhelyezni.

A fázisfeszültségek pozitív irányait csillagkapcsolás esetén – mind a nagyobb, mind a kisebb feszültségű oldalon – a csillag ponttól a kapcsok felé mutatónak vesszük fel. /Feltételezzük, hogy a primer és szekunder



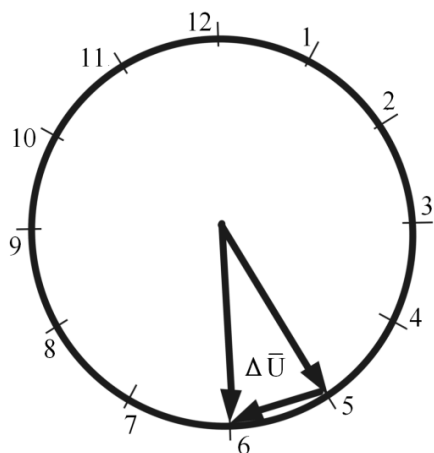
8.18 ábra. A négy leggyakoribb kapcsolású transzformátorok

tekercsek tekercselési iránya azonos, így egy oszlopon mindkét tekercsben a közös főfluxus miatt azonos irányú feszültség indukálódik./ Háromszögkapcsolásra a feszültségek pozitív irányait  $U/u \rightarrow V/v$ ,  $V/v \rightarrow W/w$ , és  $W/w \rightarrow U/u$  kapcs felé mutatón rajzoljuk /a zárójelbe tett betűk a kisebb feszültségű oldalra vonatkoznak/. A 8.18. sz. ábrán a leggyakrabban használt négy kapcsolást tüntettük fel. Mind a négy transzformátor nagyobb feszültségű tekercseit ugyanarra a hálózatra kapcsoltuk. A következőkben megállapítjuk, hogy a primer vonali feszültséghez képest hány fokkal késnek az egyes transzformátorok szekunder vonali feszültségei. Az ábrába berajoltuk a fázisfeszültségek pozitív irányait is. A csillag-csillag kapcsolású transzformátor nagyobb feszültségű oldalán a pozitív irányok ellentételesek a kisebb feszültségű oldal pozitív irányjaival. Ennek megfelelően rajzoltuk fel a nagyobb és kisebb feszültségű oldal vektorait. /Itt a nagyobb feszültségű tekercsnek alul, a kisebb feszültségű tekercsnek pedig felül van a csillagpontja, ezért a két feszültség

ellenfázisban van. Ha a nagyobb vonali feszültséget az óra nagymutatójának, a kisebbet pedig a kismutatójának képzeljük, akkor a nagymutató a 12-esre, a kismutató pedig a 6-osra mutat. A szabvány szerint az ilyen transzformátort 6 órásnak mondjuk és a szabványos jelölés: Yy6.

(Hasonlóképpen lehet a többi kapcsolási csoportot is létrehozni.)

Az azonos órás transzformátorok egy kapcsolási csoportba tartoznak. A 8.19. ábra alapján belátható, hogy az 5 órás transzformátorok egymással párhuzamosan kapcsolhatók, de 5 órás transzformátorral nem kapcsolható párhuzamosan 6 órás transzformátor. Ugyanis a 6 órás transzformátor szekunder feszültsége  $30^\circ$ -os szöveget zár be az 5órás transzformátor szekunder feszültségével, ezért ha ilyen transzformátor azonos szekunder kaptait összekötjük, akkor a kaptok között fellépő

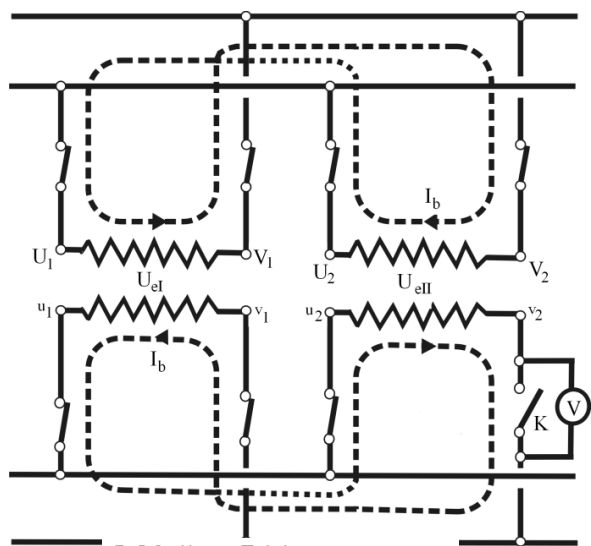


8.19 ábra. Kapcsolási csoport magyarázata óraállással

$\Delta U$  feszültség üresjárásban is áramot hajt a két transzformátoron keresztül. A gyakorlatban a szabvány által engedélyezett sokféle kapcsolásra nincs szükség. A következő kapcsolások használatosak:

- Yy6 vagy Yy12 kb. 100kVA teljesítményig használatos. Legolcsóbb, de sem az üresjárási áramok, sem egyoldalú terhelés szempontjából nem előnyös.

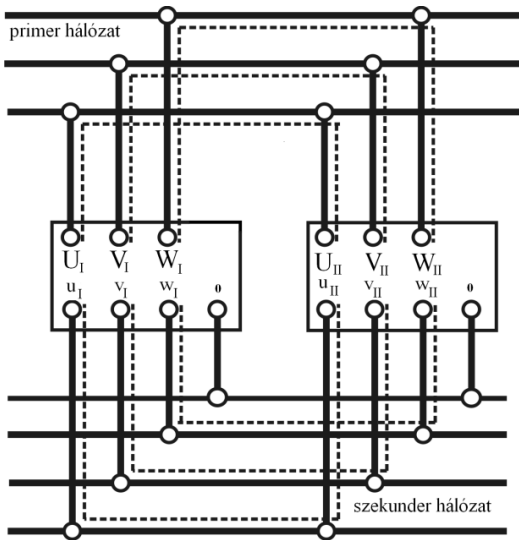
- Dy5 a villamos teljesítmény fogyasztók részére elosztó hálózatok legelterjedtebb kapcsolása.



8.20 ábra. Párhuzamos üzem

- Yd5 erőművekben használatos a generátorok feszültségének a távvezeték részére való feltranszformálása. Ilyenkor a primer a kisebb feszültségű, háromszög kapcsolású terhelés, a szekunder pedig a nagyobb feszültségű, csillagkapcsolású. Ez utóbbinak esetleg kivezetett csillagpontja van /Y<sub>o</sub>d5/.

## 8.7 Párhuzamos üzem



8.21 ábra. Párhuzamos üzem

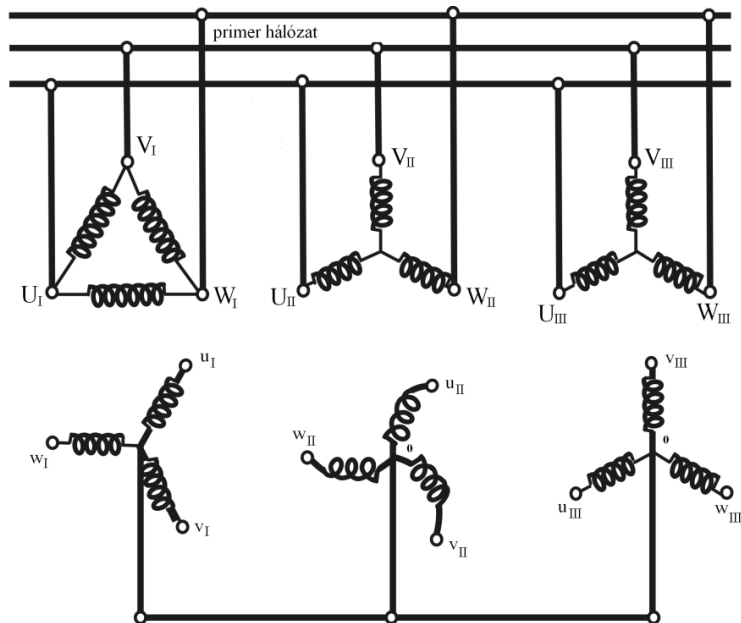
Gyakori feladat, hogy két különböző feszültségű hálózat között akkora teljesítményt kell átadni, amekkora egy transzformátorral nem lehetséges. Ilyenkor több transzformátort úgy kapcsolnak, hogy primer kapcsaikkal közös primer hálózatból vesznek fel teljesítményt, szekunder kapcsaikkal pedig közös szekunder hálózatot táplálnak /8.20. ábra/. Ezt az üzemi állapotot párhuzamos üzemnek nevezik. Kisebb teljesítmények esetén is kapcsolnak párhuzamosan transzformátorokat, ha ezt üzembiztonsági, gazdaságossági okok, vagy a hálózat bővítése megkívánják.

Párhuzamos üzemre olyan transzformátorok alkalmasak, amelyek a következőknek eleget tesznek.

A közös primer hálózatra kapcsolva üresjárású szekunder feszültségeiknek egyenlőknek kell lenniük.

Háromfázisú transzformátorok úgy kapcsolódnak a közös primer hálózatra, hogy minden transzformátor  $U$  kapcsát az  $L_1$ ,  $V$  kapcsát az  $L_2$ ,  $W$  kapcsát pedig  $L_3$ -mal jelölt primer vezetővel kell összekötni. A hálózat egyes vezetőit  $L_1, L_2, L_3$  betűkkel, vagy különböző színekkel jelölik meg /piros-fehér-zöld, piros-sárga-zöld, vagy piros-sárga-kék/. Ha a transzformátorok

feszültségátvétele egyenlő, akkor egyenlők szekunder feszültségei is. Váltakozó feszültségeknél



8.22 ábra. Azonos feszültségátvétellű, különböző kapcsolású transzformátorok

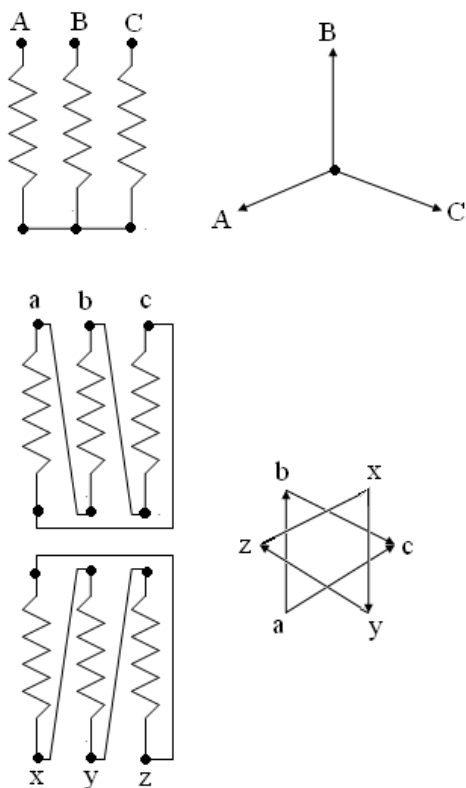
azonban nem elégséges a szekunder feszültségek nagyságának egyenlősége. Az egymásnak megfelelő szekunder feszültségeknek azonos fázisúaknak is kell lenniük. Ezért a párhuzamos üzem első követelményét olyan transzformátorok elégítik ki, amelyeknek áttétele, három fázis esetén pedig még szabványos kapcsolási jelük számjegye is azonos. A 8.22. ábra közös primer hálózatra kapcsolt egyforma feszültség-áttételű  $Dy_05$ ,  $Yz_05$  és  $Yy_012$  kapcsolású transzformátorokat ábrázol jelképesen.

## 8.8. Különleges transzformátorok

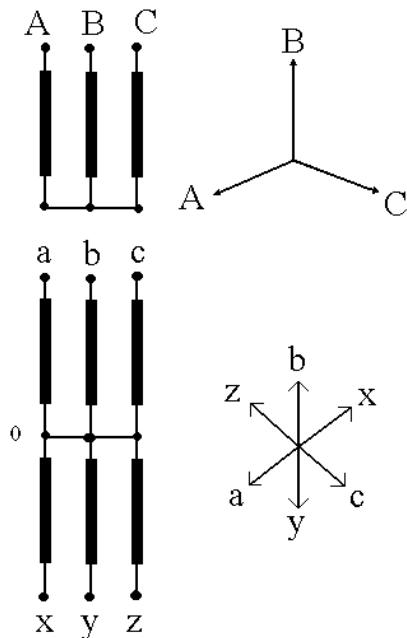
### 8.8.1. Fázisszám-változtató transzformátorok

Két vagy több olyan tekercsrendszer segítségével, amelyben a fázisszám eltérő feszültségek indukálódnak, a menetszámok megfelelő választásával, nemcsak tetszőleges nagyságú, hanem a tetszőleges fázisú feszültségeket is lehet előállítani.

- 3/6 és 3/12 fázisú kapcsolások



8.24 ábra. Két háromszög kapcsolással kialakított háromfázisú feszültség képzése



8.23 ábra. Háromfázisú szimmetrikus rendszer

Legegyszerűbb a 3/6 fázisú transzformátor kapcsolása, amelyet pl. egy forgórészes átalakítók előtt szoktak használni. Ha egy szekunder csillagkapcsolású transzformátor tekercselését a csillagpont túl meghosszabbítjuk úgy, hogy a menetszámok és menetirányok a csillagpont két oldalán egyenlők, egy hatfázisú szimmetrikus rendszert kapunk, melynek kapcsolási vázlatát és vektordiagramját abban az esetben, ha a



primer oldal is csillagkapcsolású, a 8.23. sz. ábra mutatja. Az A-B-C/a-b-c háromfázisú rendszer az  $A_2$ , az A-B-C/ /x-y-z rendszer pedig a  $B_2$  kapcsolási csoportnak felel meg. A 8.24. ábra szerint úgy is kaphatunk hatfázisú feszültséget, ha a szekunder oldalon két háromszögkapcsolást helyezünk el, és az egyiket a C, a másikat a D csoportnak megfelelően kapcsoljuk. Ha ugyanazon a transzformátoron egy kettős csillag és egy kettős háromszög-kapcsolású szekunderrendszert készítünk, a szekunder feszültségek közötti  $30^\circ$ -os fáziseltolás miatt 3/12 fázisú transzformátort kapunk. Két transzformátorral is előállíthatunk 12 fázisú feszültségrendszert, ha a primer oldalon az egyiket csillagba, a másikat háromszögbe, a szekunder oldalon pedig mind a kettőt vagy kettős csillagba, vagy kettős háromszögbe kapcsoljuk.

### 8.8.2. MÉRŐTRANSZFORMÁTOROK

A mérőtranszformátor olyan transzformátor, amely mérőműszerek, fogyasztásmérők, védelmi relék, automatikák, stb. tekercseit táplálja. Nagy váltakozó feszültségek és áramok közvetlen mérésére, érzékelésére alkalmas műszerek, készülékek, készítése ugyanis akadályokba ütközik, mégpedig elsősorban szigetelési szempontból. Mérőtranszformátorokkal lehet tehát a váltakozó feszültséget és áramerősséget közvetlenül mérhető, „feldolgozható” értékűre csökkenteni. A mérőtranszformátor rendeltetése és felépítése szerint feszültségváltó, vagy áramváltó.

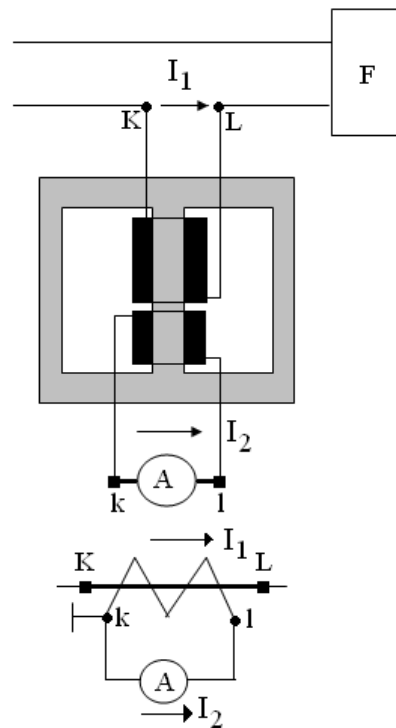
#### 1. Áramváltók

A kapcsolást és a szabványosított jelképet a 8.25. ábra mutatja. Az egyik szekunder kapcsolási földelése a nagyfeszültségnek a szekunder körbe való esetleges áthatolását hatástalanítja, és sztatikus töltések levezetésére is szolgál. A kapcsolási jelölés akkor szabványszerű, ha az  $I_{K-L}$  primer áram fázisban van az  $I_{k-l}$  szekunder árammal.

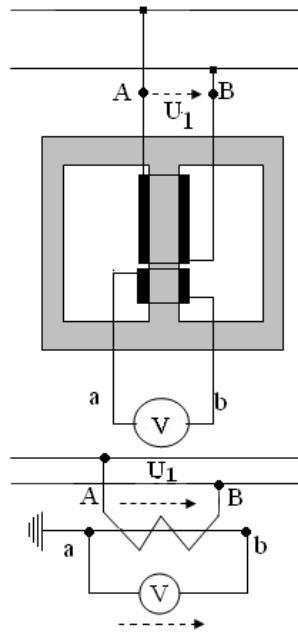
#### 2. Feszültségváltók

A 8.26. ábra mutatja a kapcsolási vázlatot és a szabványosított jelképet. A szekunder oldali földelésnek itt is elsősorban biztonsági célja van, ezen kívül esetleges sztatikus töltéseket hatástalanít. Túlterhelés ellen a feszültségváltót a szekunder oldalon elhelyezett biztosítók védik, a primer oldali biztosítók hivatása, hogy belső sérülések esetén működjenek.

Szabványszerű a kapcsolási jelölés, ha az  $U_{A-B}$  primer feszültség fázisban van az  $U_{a-b}$  szekunder feszültséggel.



8.25. ábra. Áramváltó



8.26 ábra. Feszültségváltó

## 9. Fejezet

### Szinkrongépek

#### 9.1 Működési elv és szerkezeti felépítés

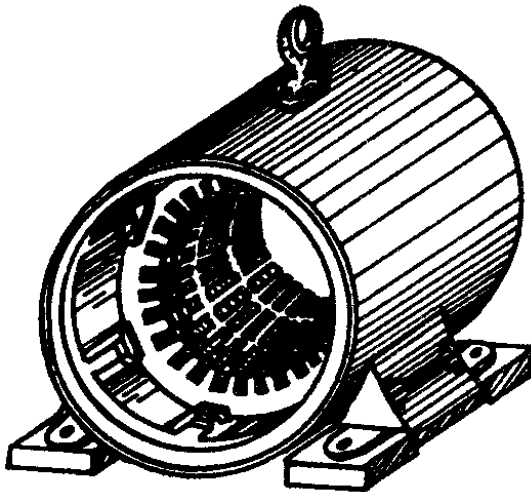
A szinkron szó görög eredetű; magyarul azt jelenti, hogy egyidejű. A szinkrongépek elnevezésében arra utal ez a szó, hogy ezeknek a gépeknek a fordulatszáma és a feszültség frekvencia között meghatározott kapcsolat van. Ha egy szinkron gépet generátorként működtetünk, a pólusok száma  $p$  és a fordulatszám  $n$  meghatározza a frekvenciát.

$$f = \frac{p \cdot n}{60}$$

Ha az armaturát a csúszógyűrűkön keresztül váltakozó áramú hálózatról tápláljuk, akkor a gép motorként tud működni a hálózati feszültség frekvenciája és a pólusszám által meghatározott  $n_0$  fordulatszámmal.

$$n_0 = \frac{60 \cdot f}{p}$$

Ezt a fordulatszámot szinkron fordulatszámmal nevezzük. Az állórész felépítését a 9.1 ábra mutatja. Öntöttvas házba van beépítve a vasvesztés csökkentésére lemezekből



9.1 ábra. Állórész szokásos felépítése

összeépített állórész-lemezttest. Ennek hornyaiban helyezkedik el a váltakozó áramú tekercselés, amelynek megfelelő pontjai közvetlenül a kapocstáblához csatlakoznak. A forgórész felépítése kétféle lehet. A hengeres forgórész /9.2 ábra/ gerjesztő tekercselése hornyokban fekszik és a vastest gyártástechnológiai okokból lemezelt. A kiálló pólusú forgórész /9.3 ábra/ tömör acélból készül, pólusain az egyenáramú gépekhez hasonló gerjesztő tekercsekkel.

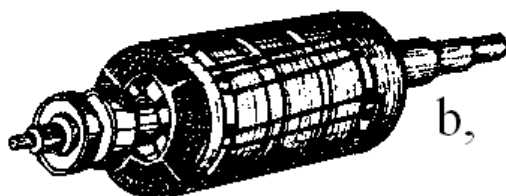
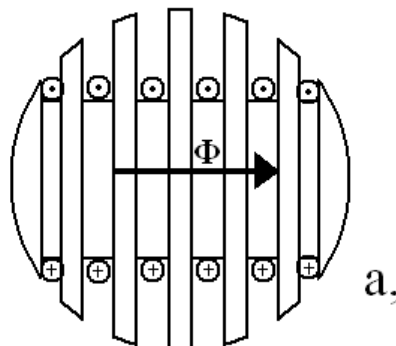
Ha a forgórészt a tengelyéhez kapcsolt hajtómotorral forgásba hozzuk, a gerjesztő tekercsek által létesített mágneses tér erővonalai a forgórésszel együtt forognak és az állórész

tekercselésében feszültséget indukálnak, a gép generátorként működik. A szinkron generátorok kapocsfeszültsége a terheléssel nagymértékben változik, ezért szabályozó berendezés nélkül nem használhatók.

Ha a szinkron gépet motorként akarjuk működtetni, akkor az állórész tekercselését váltakozó áramú, a forgórészt pedig egyen áramú hálózatra kell kapcsolni. A szinkron motor megindulni nem tud, de ha bármilyen módon felgyorsítjuk a szinkron fordulatszám közelébe, akkor önmagától eléri azt. A megengedett terhelési határok

között pontosan a szinkron fordulattal jár, a megengedettnél nagyobb terhelés esetén "kiesik a szinkronizusból" és megáll.

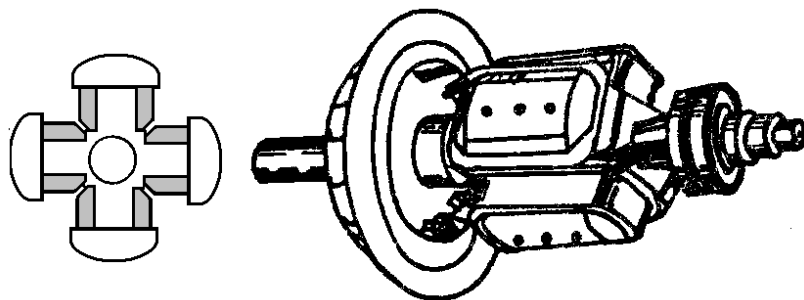
A szinkron motorok működésének megértéséhez vizsgáljuk meg először a 9.4 ábrát. A rajz háromfázisú áramrendszer egyes fázisáramainak időbeni váltakozását ábrázolja. Az áramok időben egyharmad periódussal, tehát  $120^\circ$ -kal késnek egymáshoz képest. A b,c és d ábrákon a feltüntetett tekercsek pedig térben vannak egymáshoz képest ugyancsak  $120^\circ$ -kal eltolva és bennük az a ábra szerinti áramok folynak. A kapsokhoz rajzolt nyilak az áram irányát mutatják. A tekercsek mágneses terében forgatható iránytű van elhelyezve, amely mindig beáll az erővonalak irányába. Az egyes tekercsek mágneses terének irányát az áramirányok ismeretében a jobbkéz-szabállyal könnyen meg lehet határozni.



9.2 ábra. Hengeres forgórész

Forgómező jön létre akkor, ha egy tekercsrendszer terében eltoltt tekercseiben-fázisban eltoltt áramok folynak. Szabályos körforgó mező kialakulásának az a feltétele, hogy a tekercsek térbeli eltolása és az áramok fáziseltolása ugyanakkora legyen /9.5 ábra/

A forgómező fluxusának pillanatnyi helyzetét az egyes vezetők áramai alapján

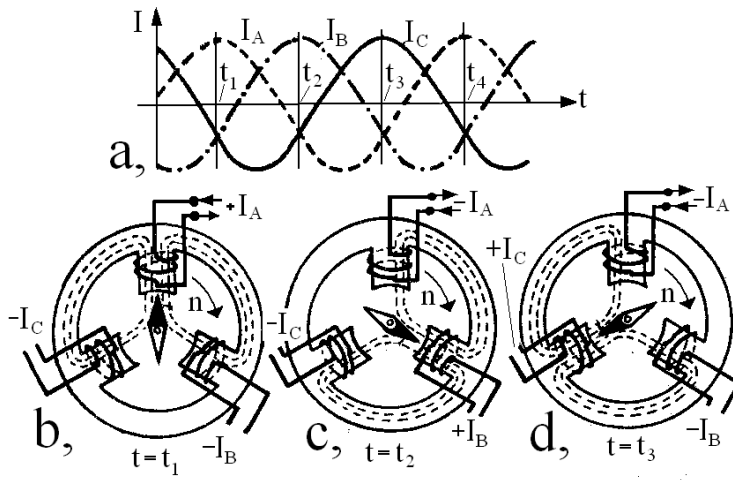


9.3 ábra. Kiálló pólusú forgórész

közvetlenül is megállapíthatjuk. A 9.6 ábra még egyszer mutatja a 9.5 c ábra szerinti áramelosztást. A 9.7 ábrán rögzített helyzet tehát úgy fogható fel, mint egy olyan

összefüggő tekercs metszete, amelynek a B2, C1 és A2 vezetőkől álló oldalában befelé, A1 C2 és B1 vezetőkől álló oldalában pedig kifelé folynak az áramok. Ebből pedig – pl.: ismét a jobbkéz-szabállyal- az eredő mágneses tér irányát könnyű megállapítani. Az ábrában az erővonalak is feltüntetjük.

A forgó mező ismeretében meghatározhatjuk a szinkron fordulatszám fogalmát is: szinkron fordulatszámunk nevezzük a forgó mező fordulatszámát.



9.4 ábra. Ábra a működési elv megértéséhez

Ezután vizsgáljuk meg részletesebben szerkezeti felépítést. A szinkron gépek két fő részből állnak; egyik része forgó pólusosorú, amelyet a rajta elhelyezett gerjesztő tekercsekbe vezetett egyenárammal gerjesztjük. Másik része az állórész vagy armatúra, amelynek

elvi felépítését a forgó mágneses mező kialakulásánál megismertük. Itt jegyezzük meg, hogy armatúrának a villamos gépek azon részét értjük mindig, amelyben a feszültség indukálódik.

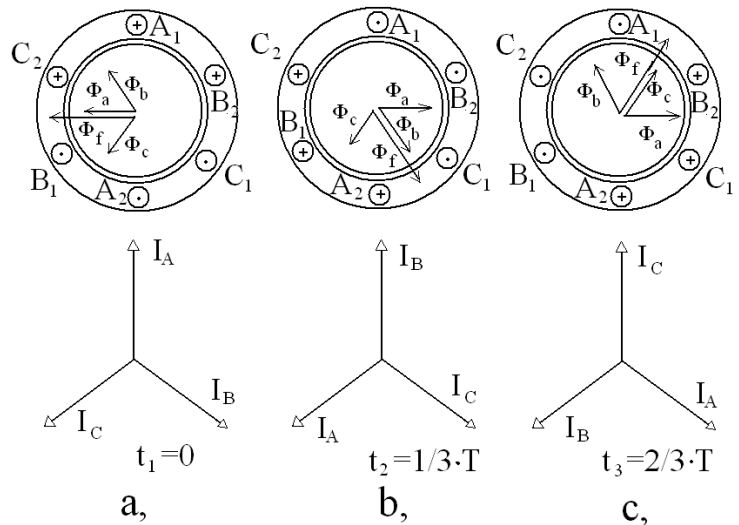
Az állórész pólusain helyezkedik el a váltakozó áramú tekercselés, amelyben a váltakozó feszültség indukálódik.

A gerjesztett pólusosorút, ha elmozdítjuk az állórészhez képest, akkor abban váltakozó feszültség indukálódik. A fogyasztókhoz ez az áram jut, ha terhelik a gép kapcsait. A forgó pólusosorú /forgórész, mágnes kerék/ csúszó gyűrűkön keresztül kapja a gerjesztő egyenáramot.

/9.7 ábra/

Ritkán, kis teljesítményű gépek esetén előfordul fordított elrendezés.

Mágnesezett pólusosorú az álló rész, benne forgó lemezelt és hornyolt armatúra /9.8 ábra/

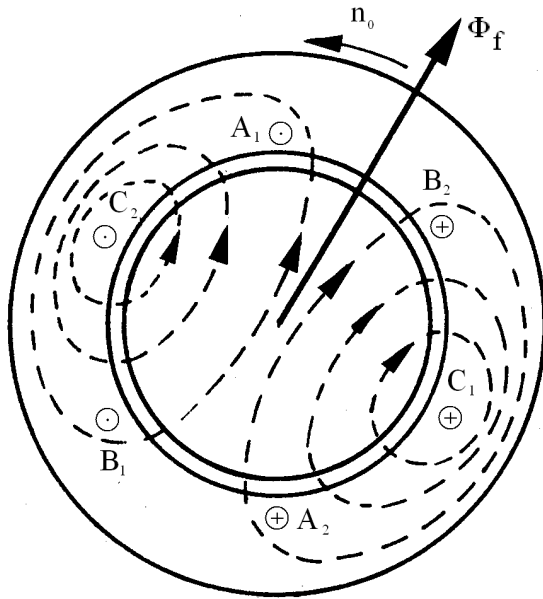


9.5 ábra. Forgó mágnesfőj

## 9.2 Szinkron-gépek alkalmazási területei

a/ Mechanikai energiának váltakozó áramú villamos energiává történő átalakítására szolgálnak a szinkron-generátorok.

b/ Váltakozó áramú villamos energiának mechanikai energiává való átalakítására szinkron motorok használhatók.

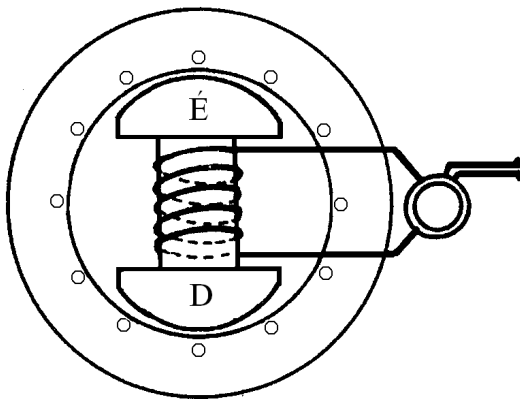


9.6 ábra. Forgómező másképpen

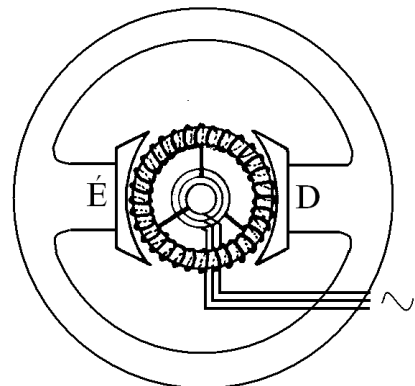
c/ Használhatjuk a fentiekén kívül a szinkron gépeket a váltakozó áramú hálózat meddő-teljesítményének fedezésére, tehát fázisjavításra. Ha egy szinkron-géppel mechanikai munkát nem végeztünk, ill. kívülről nem hajtjuk meg, a gép, mint szinkron-kondenzátor kizárólag meddő-teljesítmény előállítására is alkalmas.

A működési elv és az általános elrendezés valamennyi esetben azonos. Szinkron-generátorként hajtható egy szinkron-gép gőz-vagy gázturbinával, dugattyús gőzgéppel, benzinmotorral, nyersolaj /diesel/ motorral, vízturbinával, vagy áram átalakítás esetében egyenáramú motorral, esetleg más áramnemű váltakozó áramú szinkron- vagy aszinkron motorral.

Szinkron-motorokat áramátalakító gépcsoportok, szivattyúk, kompresszorok stb. hajtására használják.



9.7 ábra. Forgó póluskoszorú a gerjesztő árammal



9.8 ábra. Lemezelt és hornyolt armatúra

### 9.3 Az indukált feszültség

Az indukció maximális értéke  $B_{\max}$  és így az állórész egy vezetőjében- amint az általános elektrotechnikából tudjuk- erővonalmetszés következtében  $B_{\max} \cdot l \cdot v$  feszültség indukálódik, ha állandóan  $B_{\max}$  indukció metszené az álló rész  $l$  hosszúságú  $l$  az ábrára merőleges tengely irányú hosszúság/ vezetőjét. Az indukció értéke azonban a kiszemelt vezető helyén az időben szinuszos törvény szerint változik, minthogy a kerületen szinuszosan elosztó indukció vonal halad el a vezető alatt, állandó sebességgel. Az állórész egy vezetőjében is az idő függvényében szinuszosan váltakozó feszültség indukálódik, amelynek  $U$  effektív értéke a maximális érték  $\sqrt{2}$ -edrészre:

$$U_{eff} = \frac{B_{\max} \cdot l \cdot v}{\sqrt{2}}$$

izonyítás nélkül az indukált feszültség értéke:

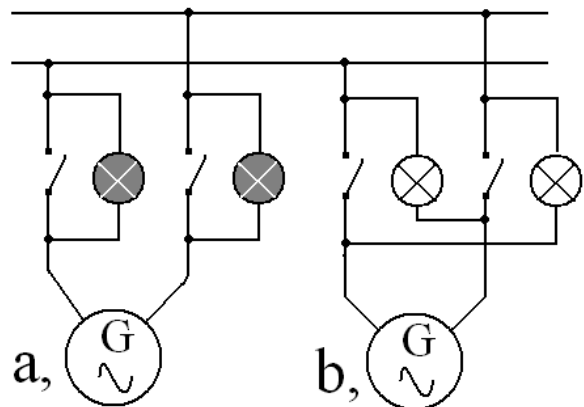
$$U_i = \frac{2 \cdot \pi \cdot N_1 \cdot \Phi_p \cdot f}{\sqrt{2 \cdot p \cdot q}} = \frac{1}{p \cdot q} \cdot 4,44 \cdot f \cdot N_1 \cdot \Phi_p$$

ahol : p-póluspárok száma  
q-hornyok száma

### 9.4 Hálózatra kapcsolás

Szinkron generátorok ritkán járnak egyedül; párhuzamos üzemüket ugyanazok a biztonsági és gazdasági okok teszik szükségessé, amelyek miatt transzformátor-állomásokat és egyenáramú telepeken is a teljesítmény szükségletet több, párhuzamosan kapcsolható egységre osztjuk el.

A párhuzamos kapcsolás feltételei hasonlítanak a párhuzamos transzformátor üzem feltételeihez: A gépek feszültségeinek egyenlő nagyoknak, egyenlő frekvenciájúaknak és azonos fázisúaknak kell lenniük, többfázisú gépek esetében ezen kívül a fázis sorrend azonossága is szükséges. Míg azonban a transzformátor üzemben elég, ha a feltételek betartásáról győződünk meg, szinkron generátoroknál ezeket minden üzembe helyezés alkalmával újból kell biztosítani.



9.9 ábra. Sötétre és világosra kapcsolás

A feszültség nagyságát a gerjesztéssel, a frekvenciát a hajtógép fordulatszámával állítjuk be. A helyes fázissorrendet véglegesen felszerelt telepen csak egyszer kell megállapítani pl. úgy, hogy egy aszinkronmotor forgásirányát figyeljük meg, ha azt a két párhuzamosan kapcsolt gépről járattjuk, vagy valami más ugyan ezen az elven működő készüléket használunk erre a célra. Ellentétes forgásirány esetén a még be nem kapcsolt gép két kapcsát felcseréljük.

A feszültségek fázisazonosságának ellenőrzésére külön készülék szükséges. A legrégebbi és legegyszerűbb ilyen készülék az ún. fázislámpa. A lámpát vagy lámpákat az összekötő pontok közé kapcsoljuk, amit a 9.9/a ábrán az egyfázisú gép esetén látható.

A gépet akkor szabad bekapcsolni, ha a lámpák nem világítanak. A 9.9/b ábra vázlatának megfelelő kapcsolás esetén viszont a fázisazonosság jele az, hogy a lámpák nagyobb fényel világítanak.



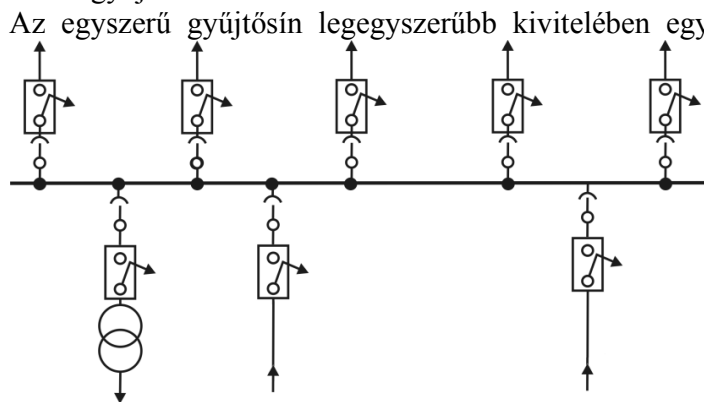
## 10. fejezet Gyűjtősínek

Az erőműben fejlesztett, vagy az alállomásba, illetve mezőbe beérkező és onnan távozó energia gyűjtőhelye a gyűjtősín. A gyűjtősín elrendezését és méretezését tehát igen gondosan kell elvégezni, mert az üzem biztonsága és folytonossága főleg a gyűjtősínen végezhető kapcsolások lehetőségétől függ. Minél bonyolultabb valamely sínrendszer, annál több kapcsolási feladat oldható meg vele, de annál több a hibaforrás és a téves kapcsolások lehetősége is. Ezért az üzem természetének és a gazdasági szempontoknak gondos mérlegelésével kell minden esetben eldönteni, hogy milyen sínrendszer alkalmazása indokolt.

### 10.1. Gyűjtősín rendszerek

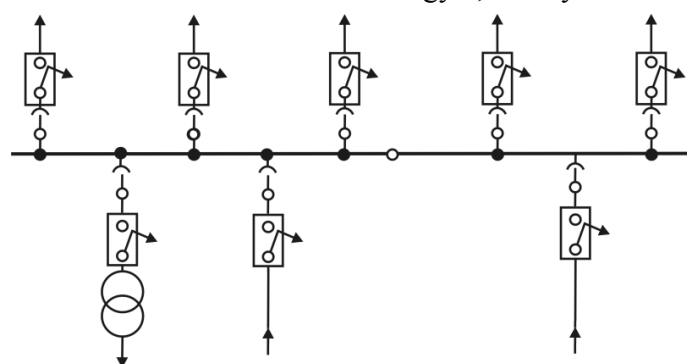
A szokásos gyűjtősín rendszereknek három alaptípusa van, az egyszerű, a kör- és kettős gyűjtősín.

Az egyszerű gyűjtősín legegyszerűbb kivitelében egy folytonos vezető, amelynek egyik oldalához csatlakoznak a bejövő, másik oldalához a kimenő vezetékek (10.1. sz. ábra). Ennél a gyűjtősín elrendezésnél az energia irányítása és szétosztása változatlan feszültségen történik, csak a saját szükséglet ellátására alkalmaznak egy kis házi transzformátort. Minden olyan berendezési tárgy, amelyen hibák



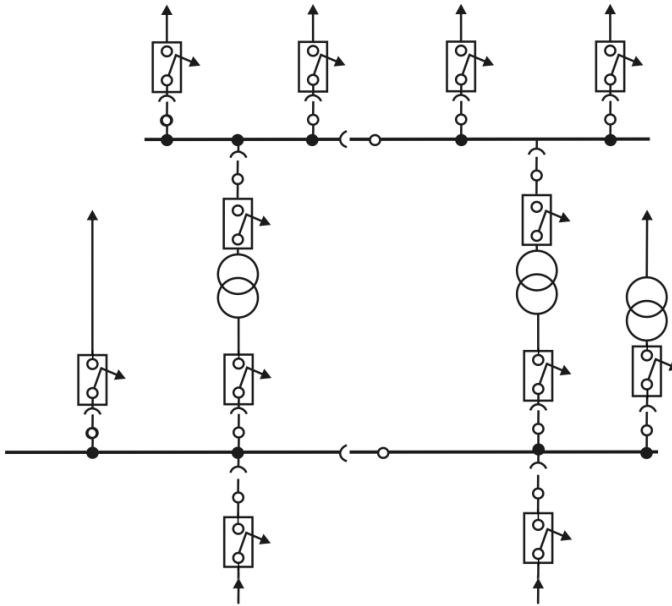
10.1 ábra. Sínrendszer egy általános kapcsolása

lehetőségek, tehát mind a gyűjtősínt, mind a megszakítókat feszültségmentesítésük lehetősége érdekében szakaszolókkal kell határolni. Hátránya, hogy a kimenő energia megszakítói nagyok és drágák, ugyanis a közvetlenül utánuk bekövetkező hibát az összes generátor,



10.2 ábra. Bontható sínszakaszoló

vagy a bejövő vezetékek táplálják, tehát az összes bejövő rendszer teljes zárlati teljesítőképességére méretezendők.



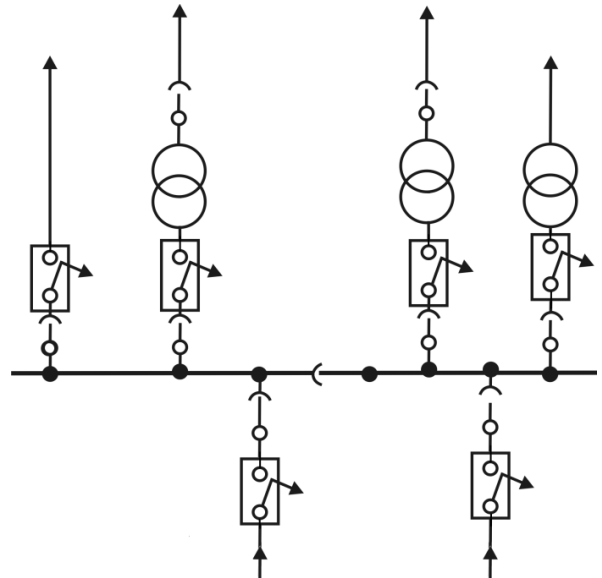
10.3 ábra. Egy teljesítmény elosztási forma

külön

kisfeszültségű, mind a nagyfeszültségű oldal részére (10.3. sz. ábra). A közbeiktatott transzformátorok előtt és után egyaránt kell szakaszoló és megszakító is.

Az egyszerűsítésnek két irányban van lehetősége. Az egyik az, hogy a transzformátorokat a kimenő vezetékkel egy kapcsolási egységbe foglaljuk, azokat beépítjük a kimenő vezetékbe (10.4. sz. ábra), ezzel a gyűjtősínek száma ismét egyre csökkent és megfelelően csökkent a megszakítók és szakaszolók száma is.

A másik egyszerűsítés abból áll, hogy a transzformátorokat a generátorokkal, vagy a bejövő vezetékkel foglaljuk össze egy kapcsolási egységbe. Ez az elrendezés az előbbinél gazdaságosabb, mert a transzformátorok nagyobbak, számuk kevesebb és jobb hatásfokúak. Ha pedig a bejövő



10.4 ábra. Egy másik teljesítmény elosztási forma

Valamivel tökéletesebb az az elrendezés, amelynél a gyűjtősín a generátoroknak, vagy bejövő vezetéknek megfelelő részekre bontja a rendszert az ún. sínszakaszolók segítségével. (10.2. sz. ábra). Ezzel az egyszerű gyűjtősín szétválasztott üzemre is alkalmassá tehető és így – meghibásodása esetén – a hibás szakasz feszültségmentesítése is lehetséges.

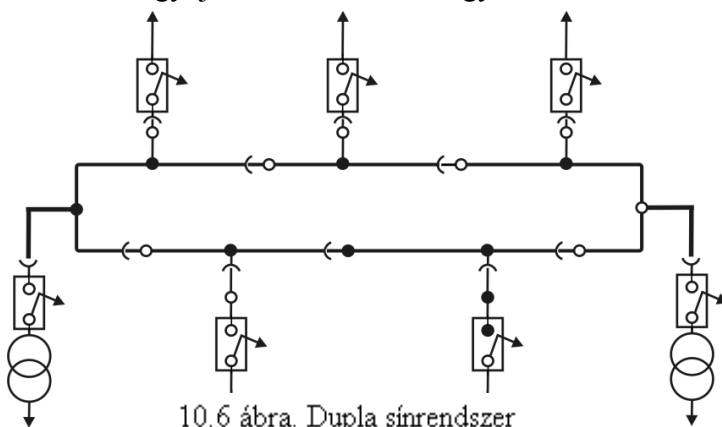
Ha az energia szétosztása nem a generátor- vagy az állomásba bejövő

feszültségen történik, akkor gyűjtősín szükséges mind a

vezetékek a generátorokhoz csatlakoznak (10.5. sz. ábra), a transzformátorok nagy reaktanciájukkal természetes védőberendezései a generátoroknak. Ezért nagy erőművek kedvelt gyűjtősín elrendezése.

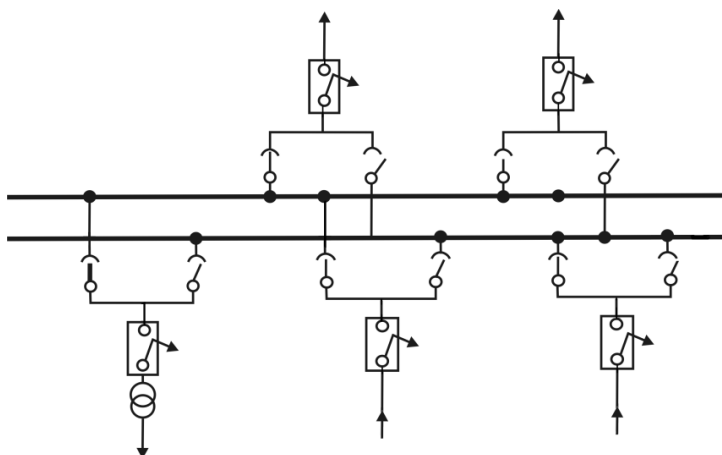
A kör gyűjtősín a körvezetékek mintájára van felépítve (10.6.sz. ábra). A gyűjtősín egyik oldalához csatlakoznak a bejövő, másik oldalán a kimenő vezetékek, és minden csatlakozást egy-egy színszakaszoló határol. Ha ezek valamennyien zárva vannak, minden vezetékhez két út vezet, ami a biztonság fokozását jelenti.

A kettős gyűjtősín a korszerű nagy erőművek és alállomások gyűjtősín rendszere,



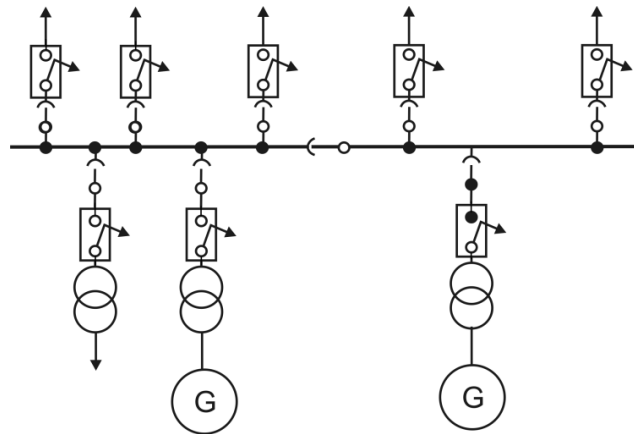
10.6 ábra. Dupla sínrendszer

amely a gyűjtősínnek tekintetében 100%-os tartalékot és így karbantartás, vagy szerelés szempontjából teljes kapcsolási szabadságot és biztonságot jelent. Lényegében két teljesen egyenértékű egyszerű gyűjtősín, amelyekhez megfelelő szakaszolók



közbeiktatásával a bejövő és kimenő vezetékek tetszőlegesen csatlakozhatnak (10.7. sz. ábra). Bármelyik gyűjtősínnél üzemkészen átterhetünk a másikra.

10.7 ábra. Egy negyedik teljesítmény elosztási forma



10.5 ábra. Egy harmadik teljesítmény elosztási forma

## 11. fejezet

### Akkumulátorok

#### 11.1. Bevezetés

Azokat az eszközöket, melyek elektrokémiai reakció útján elektromos energiát állítanak elő, galvánelemeknek nevezzük (11.1. sz. ábra). Az elektrokémiai reakciók egyik változatánál megfordíthatatlan folyamattal találkozunk.

„Szárazelemnek” nevezzük

azt a kémiai energiaforrást, amelynél a kémiai folyamat nem fordítható meg, az eszköz nem tölthető.

Az olyan galvánelemeket, amelyek kémiai energiájuk villamos energiává való átalakítása (kisítés) és az azt követő villamos töltés után ismét energia tárolására képesek, akkumulátornak nevezzük.

A szárazelemeket más néven primer, az akkumulátorokat, pedig szekunder elemeknek is szokás nevezni.

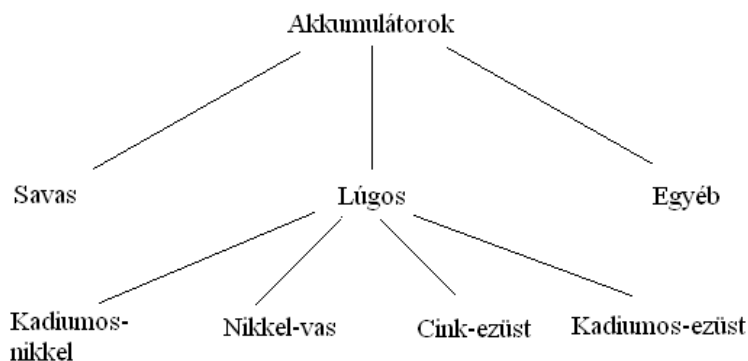
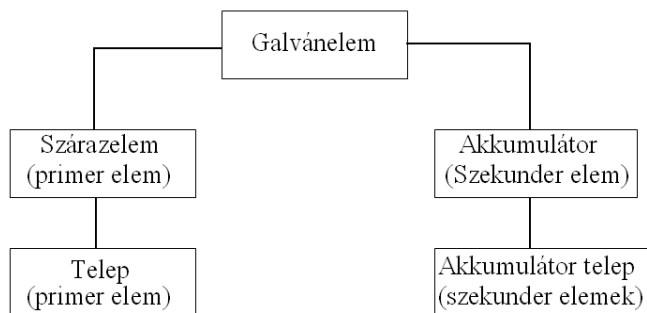
Több szárazelem összekapcsolásával „telepet” kapunk.

Egy akkumulátor elemében elektrolitja, a benne elhelyezkedő pozitív és negatív lemez egy „cellát” képez. Ezeket a cellákat egymással

összekapcsolva

nyerjük az „akkumulátortelepet”.

Az akkumulátorokat a bennük lejátszódó elektrokémiai folyamatok szempontjából savas és lúgos csoportba sorolhatjuk. E csoportosítást részletesebben a 11.2. sz. ábra szemlélteti.

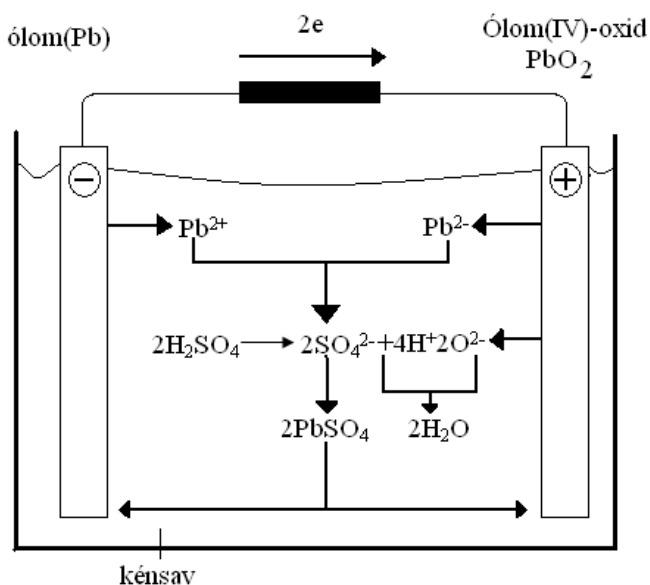


11.2 ábra. Akkumulátorok csoportosítása

## 11.2. Ólomakkumulátorok

### 11.2.1 Az ólomakkumulátorok felépítése és működése

Az ólomakkumulátort Gaszton Planté francia fizikus találta fel 1859-ben (11.3. sz. ábra). Az ólomakkumulátor elektrolitja hígított kénsav ( $\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$ ). Ebbe az elektrolitba merül bele a pozitív és negatív elektródák kötege. Minél nagyobb



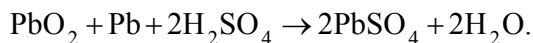
kapacitású akkumulátort vizsgálunk, annál több párhuzamosra kapcsolt pozitív és negatív elektródából kialakított cellával találkozunk. Ha egy feltöltött állapotú akkumulátor pozitív lemezét megvizsgáljuk, akkor azt találjuk, hogy ez az elektróda sötétbarna színű ólomoxidból áll, amelynek kémiai képlete  $\text{PbO}_2$ . A feltöltött akkumulátor negatív lemezének színe világosszürke. Ez a lemez színólomból készül (Pb).

Mint már korábban említettük, a feltöltött akkumulátor a galvánelemekhez sorolható, mivel kémiai reakciói révén elektromos energia leadásra képes. A kisütés folyamán ezt

11.3 ábra. Ólomakkumulátor kémiaja

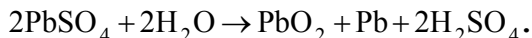
a tulajdonságát fokozatosan elveszíti, kapacitása kimerül és a lemezek aktív anyaga ólomszulfáttá ( $\text{PbSO}_4$ ) alakul. Természetesen ebben a reakcióban a kénsav is részt vesz. A kisütés folyamán a reakció vízképződéssel is jár. A kimerült akkumulátorok lemezeinek színe is megváltozik. A pozitív lemez vörösesbarna, a negatív lemez sötétszürke színűre változik.

A kisütés kémiai egyenlete:



A kimerült akkumulátor egyenárammal ismét feltölthető. A pozitív lemez újból ólomoxiddá, a negatív lemez, pedig színólommá válik.

A feltöltés kémiai egyenlete:

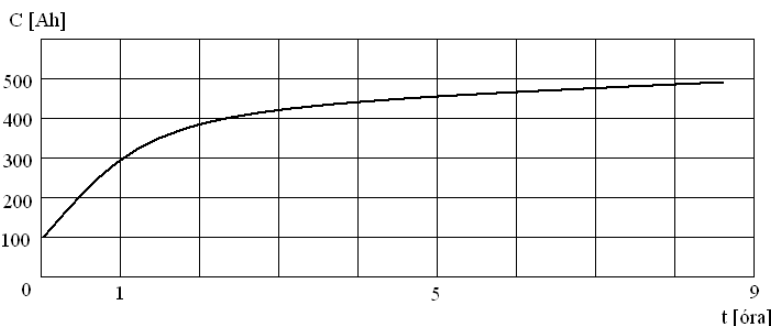


Megfigyelhető az a jelenség, hogy a kisütéskor keletkező víz hígítja, a töltés során előálló kénsav töményíti az elektrolitot. Ez a magyarázata annak, hogy a jól üzembe helyezett és gondosan karbantartott akkumulátorok savsűrűségéből bizonyos mértékig következtetni lehet ezek kapacitására, feltöltött, illetve kisütött állapotára.

### 11.2.2. Az ólomakkumulátorok fontosabb kémiai és fizikai jellemzői

#### 1, Kapacitás

Az akkumulátorok elektromos energia tároló képességére jellemző szám, amely megmutatja, hogy az adott akkumulátor milyen hosszú időn át képes egy meghatározott nagyságú áram szolgáltatására. A kapacitás mértékegysége Aó (Amperóra), jele: C.

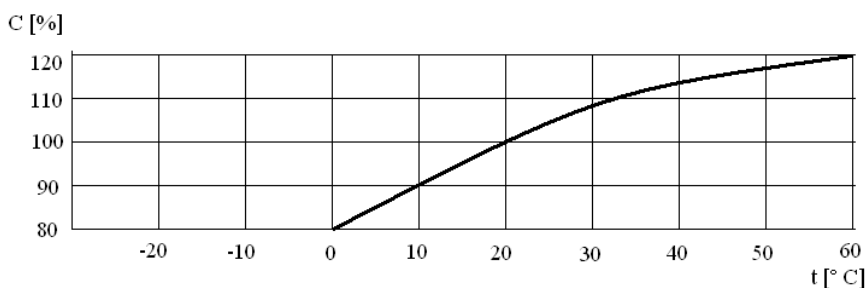


11.4 ábra. Ólomakkumulátor kapacitás változása a kisütési idő függvényében

Nyomatékosan felhívjuk a figyelmet arra, hogy a kisütő áram  $I_k$  és a kisütési idő  $t_k$  szorzatából adódó képlet nemlineáris összefüggést mutat. Így egy konkrét esetben a kapacitásváltozás és a kisütési idő közötti

összefüggés a 11.4. számú ábrán kísérhető figyelemmel.

A jelleggörbét az akkumulátor gyár által rendelkezésre bocsátott táblázata alapján ellenőrizhetjük.



11.5 ábra. Ólomakkumulátor kapacitás változása a hőmérséklet függvényében

k. A  $C = I_k \cdot t_k$  képlet alkalmazásával

összefüggést teremthetünk e három jellemző mennyiség között. Látható, hogy a C értéke függ a kisütési időtől, ezért az egyértelmű meghatározás céljából bevezetésre került a névleges kapacitás fogalma, amely egyértelműen rögzíti az akkumulátor kapacitás értékét egy adott pontban, egy adott kisütési időre vonatkozóan. A gépkocsi

indítótelepek kapacitását  $C_{20}$  ( $t_k = 20$  óra), a helyhez kötött nagyfelületű lemezes akkumulátorokét  $C_{10}$  ( $t_k = 10$  óra) és például a műanyag szövettáskásokét a  $C_5$  ( $t_k = 5$  óra) névleges értékkel kell figyelembe venni. Így az indexben szereplő szám mindig megmutatja, hogy az adott kapacitás érték milyen kisütési időre vonatkozik.

A kapacitás értéke függ a környezet, illetve az elektrolit hőmérsékletétől, ezért a gyártók megadják a névleges kapacitáshoz tartozó hőmérséklet értékét is. Ez általában  $293 \text{ °K}$  ( $20 \text{ °C}$ ).

Az ólomakkumulátorok tárolóképesége nagymértékben függ az aktuális hőmérséklettől. Azt mondhatjuk, hogy kb. 1%-al csökken a kapacitás értéke  $1 \text{ °C}$ -os hőmérsékletesökkenés hatására. Ezt a változást a 11.5. számú ábra szemlélteti.

## 2, Elektrolit

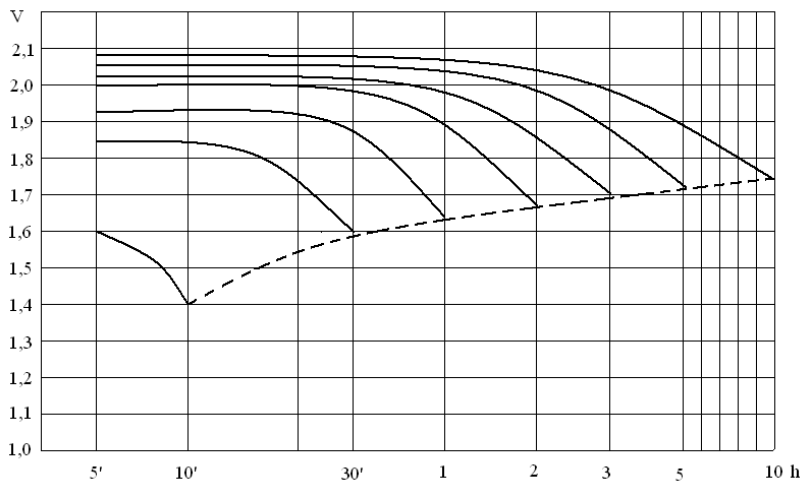
Az elektrolitot képező kénsav a kémiai reakciók során állandóan változtatja töménységét (koncentrációját). A töménység mértékegysége a Beaumé-fok ( $^{\circ}\text{Be}$ ). Egy anyag sűrűségét  $\text{kg/dm}^3$ -ben szokás megadni. Az akkumulátor elektrolitját mindkét mérőszám egyértelműen meghatározza, csak az a fontos, hogy az átszámításkor ne hagyjuk figyelmen kívül a környezeti hőmérséklet hatását.

Nem hagyható figyelmen kívül az a tény, hogy a hőmérsékletváltozás nagymértékben befolyásolja a sűrűség értékét. Jó közelítéssel mondhatjuk, hogy az elektrolit koncentrációja  $1 \text{ °Be}$ -t csökken,  $15 \text{ °C}$  hőmérséklet növekedés hatására.

Az időjárás viszontagságainak kitett akkumulátorok esetén gondot okozhat, hogy nagy hidegben esetleg az elektrolit befagy. Különösen akkor adódhat probléma, ha az akkumulátor kimerül, és így sűrűsége nagymértékben lecsökken. A kénsav sűrűsége és fagyáspontja között szoros összefüggés van.

## 3, Cellafeszültség

Az akkumulátorok nagy többségét sorba kötött cellák alkotják. Ez egyben azt is jelent, hogy az akkumulátorok kapocsfeszültsége csak akkor jellemezné egyértelműen az egyes állapotokat, ha biztosítható lenne az, hogy minden cella egyforma feszültséggel, egyforma savsűrűséggel rendelkezik. A gyakorlatban azt tapasztaljuk, hogy a sorba kötött cellák egymástól, ha kis mértékben is, de eltérő paraméterekkel rendelkeznek. Így amikor az akkumulátor különböző üzemállapotát vizsgáljuk, akkor mindig cellánkénti értékeket fogunk meghatározni.



11.6 ábra. Mélykisütési határfeszültség változása a kisütési idő függvényében

#### 4, Kisütési végfeszültség

Kisütési végfeszültség alatt azt a minimális cellafeszültséget értjük, melyre az akkumulátort kisütve, még károsodás nélkül a kapacitása teljes mértékben visszatölthető. E kisütési végfeszültség más néven mélykisütési határfeszültségként is használatos fogalom. E feszültség értéke függ az alkalmazott kisütő áramtól. A mélykisütési határfeszültség változását végigkísérhetjük a 11.6. számú ábrán. Látható, hogy nagyobb kisütő áramok alkalmazása esetén a megengedhető cellafeszültség értéke kisebb (1,4 V), míg a három órás kisütéshez tartozó görbe például 1,7 V-os mélykisütési határt jelöl.

Ahhoz azonban, hogy akkumulátor telepeinket a káros mélykisütéstől megvédjük, az áramellátó berendezések áramkörébe akkumulátor alsóhatár figyelő egységeket kell építeni.

Az ólomakkumulátor névleges feszültsége 2V. Ez az érték egy megállapodás következménye, ami azt jelenti, hogy könnyűszerrel megállapítható egy konkrét akkumulátor telep cellaszáma. Így például a 6V-os 3, a 12V-os 6, és például a 48V-os névleges feszültségű akkumulátor 24 cellából áll.

Ha az akkumulátor sarkait fogyasztó nem terheli, és ugyanakkor a telepcsoport töltéssel sem rendelkezik, akkor a sarkain mérhető feszültség értéke egyenlő lesz a belső, illetve forrásfeszültséggel. Irodalmi adatok alapján a belső feszültség és az elektrolit fajsúlya között az alábbi képlettel kifejezhető tapasztalati összefüggés állapítható meg:

$$U = \rho + 0,84$$

U a belső feszültség értéke V-ban,  $\rho$  a mindenkorisav sűrűség  $\text{kg}/\text{dm}^3$ -ben, míg a 0,84 egy állandó. E képlet alapján megállapítható, hogy a töményebb savval



felsavazott akkumulátorok üresjárási feszültsége magasabb, a hígabb savval feltöltöttek feszültsége alacsonyabb értéket mutat.

## 5, Csepptöltési feszültség

Csepptöltési feszültség alatt azt a feszültség értéket értjük, melyet alkalmazva garantálható, hogy egy feltöltött telep az önkisülés következtében nem veszíti el kapacitását. Ezt a feszültség értéket puffer, illetve normál párhuzamos üzemi feszültségnek is szokás nevezni, jelezvén azt, hogy ugyanez a feszültség mérhető az említett üzemmódok alkalmazása során is. Értéke akkumulátor típusonként változó, de kb. 2,18 – 2,23 V/cella értékek közé esik.

Az akkumulátorok töltése során cellánkénti feszültség értéke bizonyos esetekben (kézi töltés, emeltszintű párhuzamos üzem, stb.) elér egy olyan értéket, amikor az elektrolit intenzív pezsgésnek indul.

A savas akkumulátorokat általában csak kézi töltés alkalmazásával lehet 100%-os kapacitásra feltölteni. Ehhez azonban az szükséges, hogy a cellafeszültség értéke a 2,65 – 2,75 V-ot elérje. E feszültséget maximális, illetve töltési végfeszültségnek is nevezhetjük. E feszültség elérése után, ha a töltőáram egy órán belül nem változik, az akkumulátort feltöltött állapotúnak tekinthetjük.

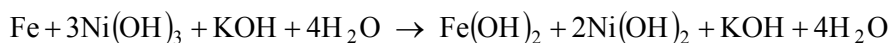
## 11.3. Lúgos akkumulátorok

### 11.3.1 A lúgos akkumulátorok működése

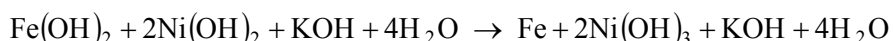
A nagyteljesítményű lúgos akkumulátoroknak két fajtája a legjelentősebb. Az egyiket vas-nikkel (Ni–Fe), a másikat kadmium-nikkel (Cd–Ni) akkumulátoroknak nevezzük. A lúgos akkumulátorok első ismert típusa a vas-nikkel felépítésű, úgynevezett Edison-akkumulátor volt. A pozitív elektróda aktív anyaga feltöltött állapotban nikkeldioxid ( $\text{Ni(OH)}_3$ ), a negatív elektródáé pedig vas (Fe).

A lúgos akkumulátorok elektrolitja káliumhidroxid. Érdemes megjegyezni a lúgos akkumulátorok azon tulajdonságát, hogy az elektrolit töménysége a töltés-kisütés során nem változik. Ez komoly különbséget jelent akkor, ha figyelembe vesszük, hogy az ólomakkumulátoroknál az elektrolit töménysége ezzel szemben lényegesen megváltozik a különböző üzemállapotokban. Vízbontással és ezzel egyidejűleg durranógáz fejlődéssel azonban a lúgos akkumulátoroknál is számolni kell.

A Ni–Fe akkumulátorok kisütésének kémiai egyenlete:

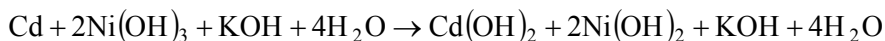


A töltés során lejátszódó folyamat:

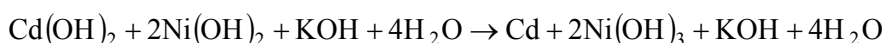


Mivel a Ni–Feakkumulátor vas elektródája önkisülésre hajlamos és az elektrolit hatására oxidálódik, ezért igyekeztek ezen a hátrányos tulajdonságon változtatni. Megoldást hozott az a felfedezés, hogy a vas elektróda helyett kadmiumot alkalmazva olyan tulajdonságú akkumulátorhoz lehetett jutni, amely a kémiai folyamatot tekintve szinte megegyezik az előbb leírtakkal, természetesen a vas helyett kadmium behelyettesítésével és az önkisülési értékek az előbbi típushoz képest jóval kedvezőbbek.

A kisütés kémiai egyenlete:



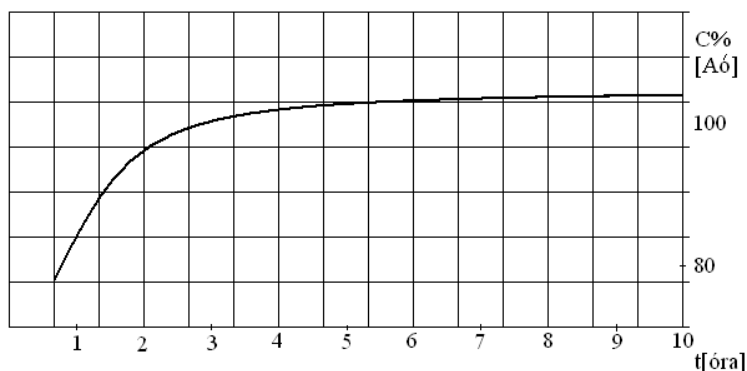
Töltés során a folyamat visszafelé az alábbi módon játszódik le:



Ma már szinte kizárólag csak ilyen (Ni–Cd) akkumulátorok kerülnek felhasználásra olyan területeken, ahol nagy a mechanikai és villamos igénybevétel.

### 11.3.2 A lúgos akkumulátorok fontosabb kémiai és fizikai jellemzői

#### 1, Kapacitás

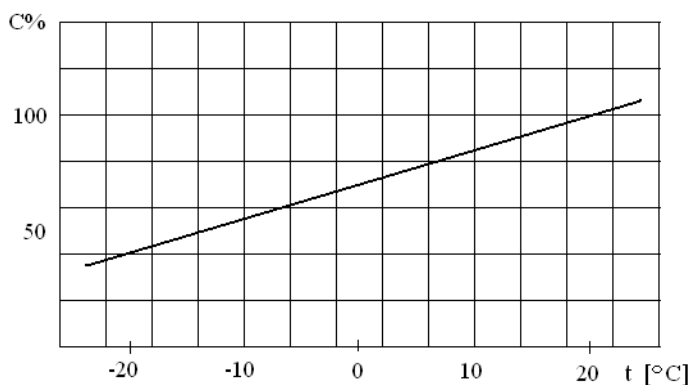


11.7. ábra. Lúgos akkumulátor kapacitás változása a kisütési idő függvényében

Az ólomakkumulátorok ismertetésénél már részletesen kitértünk a névleges kapacitás meghatározására. Felhívtuk a figyelmet arra, hogy milyen fontos annak az adatnak az ismerete, hogy az akkumulátor

gyártó milyen kisütési időre vonatkoztatva adja meg az akkumulátorok névleges

kapacitás értékeit. A 11.7.számú ábra a lúgos akkumulátorra mutat egy jellemző kapacitásgörbét. Látható, hogy ilyen szempontból ez kedvezőbb, mint a korábban ismertetett ólomakkumulátor kapacitásgörbéje. A hőmérsékletváltozás is nagymértékben befolyásolja az akkumulátorból kivehető kapacitás értéket. Ezt a jelenséget a 11.8. számú ábra szemlélteti.



A nagyteljesítményű lúgos akkumulátorok névleges kapacitás értékeit a gyár általában 3 vagy 5 órás kisütésre vonatkozóan adja meg.

11.8 ábra. Lúgos akkumulátor kapacitás változása a hőmérséklet függvényében

## 2, Elektrolit

A lúgos akkumulátorok elektrolitja általában káliclór, káliumhidroxid. Erre a célra elvileg a nátriumhidroxid is megfelelő lenne, azonban a káliumhidroxid jobb vezetőképessége miatt inkább ezt alkalmazzák. A lúgos akkumulátorok elektrolitjának töménységét az alkalmazás helyének környezeti hőmérséklete befolyásolja. Nyáron kisebb, télen nagyobb töménységű lúgot kell használni.

Az akkumulátorok kapacitásának és élettartamának növelése céljából az elektrolithoz 55%-os lítium-hidroxidot szokás adalékanyagként használni.

## 3. Cellafeszültség

A lúgos akkumulátorokra is általában igaz az a megállapítás, hogy egy adott cellafeszültség érték alá történő kisütés káros az akkumulátorokra. A mélykisütési határ értéke katalógusok táblázataiból, jelleggörbéiből kiolvasható. Meg kell azonban jegyeznünk, hogy vannak olyan akkumulátor típusok, amelyek a 0 V-ra történő kisütést is elviselik különösebb károsodás nélkül.

## 4. Névleges feszültség

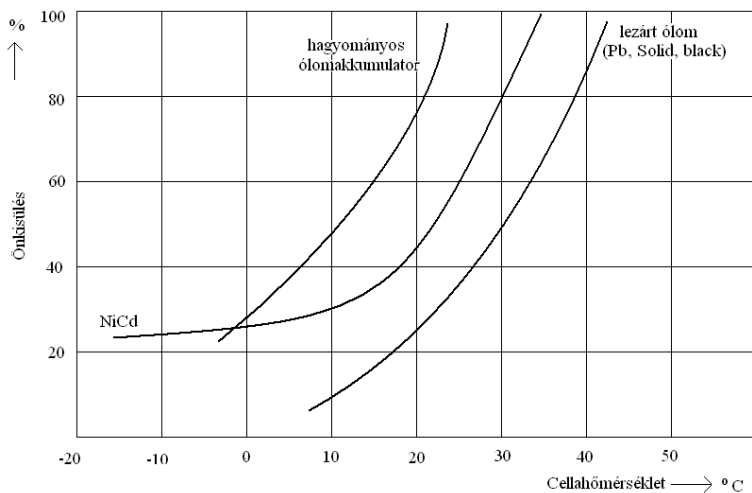
A névleges feszültség szempontjából különbséget kell tenni az egyes lúgos akkumulátor fajták között. Ez a feszültség vas-nikkel akkumulátornál 1,2 V/cella, nikkel-kadmiumnál 1,2 V/cella, míg például a cink-ezüst akkumulátornál 1,5 V/cella értékű. Ezek megállapodásszerű értékek.

## 5. Erős gázfejlődési határfeszültségek

Az erős gázfejlődési határfeszültségek is lúgos akkumulátorok egyes típusainál különböző nagyságot mutatnak. Így a vas-nikkel akkumulátor 1,7 V/cella, a kadmium-

nikkel 1,55 V/cella, a cink-ezüst pedig 2,05 V/cella feszültség esetén éri el ezt a határértéket. Töltés során a feszültség értékekre különösen a zárt akkumulátorok esetén kell feltétlenül tekintettel lenni. Feltöltöttnek kell tekinteni azt az akkumulátort, amelynél a fenti maximális cellafeszültség mellett a töltőáram egy órán belül már nem változik.

### 11.4. Savas és lúgos akkumulátorok összehasonlítása

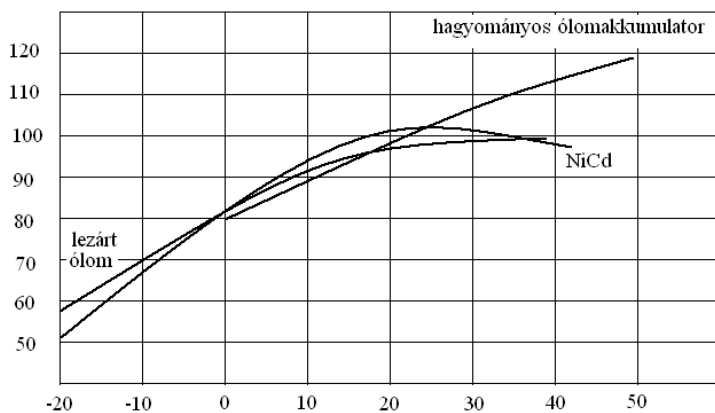


11.9 ábra. Akkumulátorok önkisülésének változása a hőmérséklet hatására

A savas akkumulátorok nagyobb cellánkénti feszültséggel, jobb hatásfokkal rendelkeznek, mint a lúgos akkumulátorok. A nagyobb cellafeszültség kevesebb elem alkalmazását teszi szükségessé. Előállítási költség és vételár tekintetében is az ólomakkumulátor alkalmazása a kedvezőbb. A lezárt gél akkumulátor ára jelenleg, az újdonság miatt, természetesen

magasabb a hagyományos ólomakkumulátorénál. Az összehasonlítás során nem hagyhatjuk figyelmen kívül azt, hogy üzemeltetési szempontból a hagyományos ólomakkumulátorok

gondos kezelést, karbantartást igényelnek, és így ezek a költségek emelkedésére vezetnek. A gél (dryfit) akkumulátorok valamint a lúgosak a mélykisütésre kevésbé érzékenyek és az önkisülésük is kedvezőbb. A 11.9. számú ábra a különböző akkumulátorok önkisülését mutatja a cellahőmérséklet függvényében.



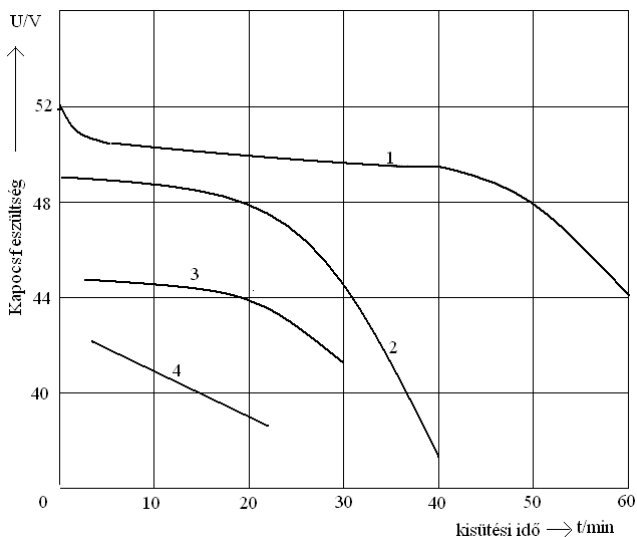
11.10 ábra. Kapacitás változása a hőmérséklet függvényében

Látható, hogy a legkedvezőbb tulajdonságot a lezárt ólomakkumulátor mutatja. A felhasználási hely környezetének hőmérséklete is befolyásolhatja az alkalmazott akkumulátor típusának megválasztását. A 11.10. számú ábra alapján megállapítható, hogy például a hagyományos ólomakkumulátorok  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  alatti hőmérsékleti tartományban gazdaságosan nem használhatók. Ugyanakkor az is látható, hogy a NiCd akkumulátor  $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ -os környezeti hőmérséklet esetén használható optimálisan. A kisütés során az akkumulátorok kapcsolófeszültségének változása nagymértékben az alkalmazott típus függvénye.

A 11.11. sz. ábra egy 48 V-os névleges feszültségű telep-csoport kapcsolófeszültségének változását szemlélteti a kisütési idő függvényében.

Az alkalmazott kisütő áramot egységesen az ötórás kisütő áram ötszörösére választva megállapítható, hogy szinterlemezes lúgos akkumulátor (1) a legjobb, a páncéllemezes ólomakkumulátor (4) a legrosszabb tulajdonságokat mutatja. Ha lezárt ólomakkumulátort

alkalmazunk, akkor a (2) jelleggörbe, míg a nagyfelületű akkumulátor esetén a (3) jelleggörbe mutatja a kapcsolófeszültség változását.



11.11 ábra. Kapocsfeszültség változása a kisütési idő függvényében

## 11.5. Töltési üzemmódok

Az akkumulátortöltők töltési jelleggörbe típusai betűjelzésekkel vannak ellátva. E betűjelzéseket az alábbiak szerint kell értelmezni:

W – csökkenő árammal megvalósított töltés

U – állandó feszültségű töltés

I – állandó áramú töltés

Az említett betűk, töltési jelleggörbék kombinációi is előfordulhatnak. Az egyes töltési jelleggörbe típusok kiegészítő betűjelzést is hordoznak. A „0” (nulla) automatikusan más jelleggörbére való kapcsolásra, míg az „a” megjelölés automatikus kikapcsolásra utal. Ezek után vegyük sorra a különböző töltési jelleggörbe variációkat.

- „W” jellegű töltése (11.12. sz. ábra)

Az idő múlásával a töltő árama eső, a feszültség emelkedő jeleget mutat és a töltő kézi lekapcsolásáról a töltés befejezése után gondoskodni kell. Az ilyen töltők egyszerű felépítésűek, a töltési idők viszonylag hosszúak.

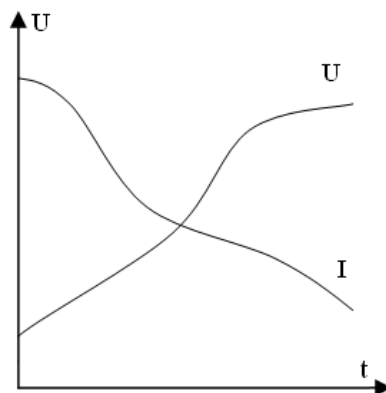
- „Wa” jellegű töltés (11.13. sz. ábra)

A telepek töltése jellegre megegyezik a „W” szerinti lefolyással, de itt a töltő automatikusan kikapcsol. Az automatikus kikapcsolás időfüggő vagy feszültségfüggő lehet. Az idő előre beállítható. A feszültségfigyelő áramkör a cellákra megengedhető maximális feszültségre kapcsolhat.

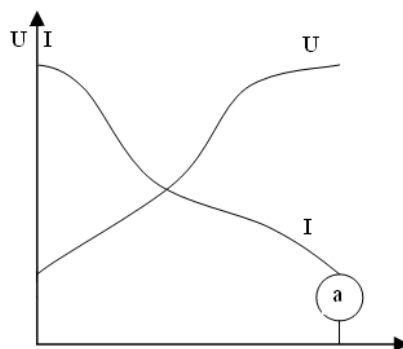
- „WOWA” jellegű töltés (11.14. sz. ábra)

A töltés első szakaszában viszonylag nagyobb töltőáram folyik a telepek felé és az automatikus átkapcsolás az erős gázfejlődési határ elérésekor (2,4 – 2,45 V/cella) feszültségfigyelő áramkör segítségével valósul meg. A kezdeti nagyobb töltőáram alkalmazása miatt a töltési idő lerövidül. A kikapcsolás automatikusan, a „Wa”-nál említett módon következik be.

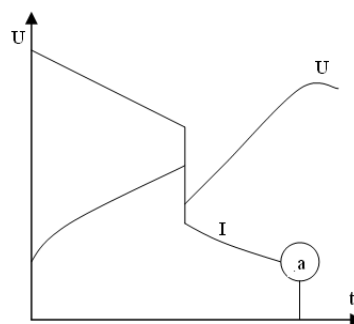
- „WU” jellegű töltés (11.15. sz. ábra)



11.12 ábra. W jellegű töltés



11.13 ábra. Wa jellegű töltés



11.14 ábra. WOWA jellegű töltés

A töltés kezdetben a „W” jellegű töltésnek megfelelően zajlik, majd a 2,4 – 2,45 V/cella érték elérésekor állandó feszültség mellett, csökkenő árammal folytatódik. Felügyeletet igényel, mivel a töltőt kézzel kell kikapcsolni.

- „IUW” jellegű töltés (11.16. sz. ábra)

Az „IU” töltés W-vel kiegészített változata. Az utolsó szakaszban a töltő elengedi a feszültségkorlátot és így közelíti meg az akkumulátor feszültség a számára megengedhető maximális értéket. A töltő automatikusan nem kapcsol ki.

- „IUa” jellegű töltés (11.17. sz. ábra)

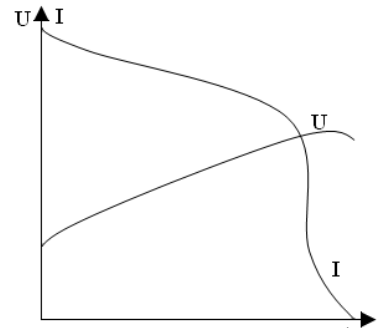
A töltés áramkorlátozott üzemmóddal indul, majd amikor a telep feszültsége eléri az előre beállított feszültségkorlát értékét, akkor átkapcsolás történik. Ezután a feszültségkorlát lép üzembe, aminek következtében a töltőáram fokozatosan csökken. Egy előre beállított áram értékre való csökkenés után a töltő ismét áramkorlátban működik mindaddig, amíg az automatikus kikapcsolás be nem következik. Ez az üzemmód a telepek túltöltésének

elkerülése miatt egy előre beállított program szerint zajlik.

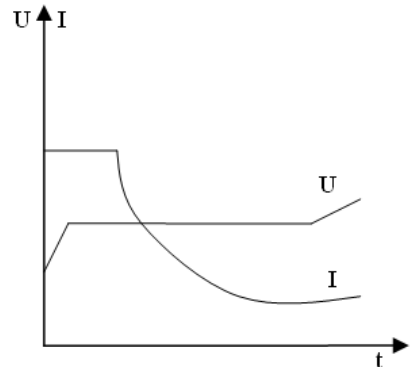
- „Ia” jellegű töltés (11.18. sz. ábra)

Az „I” jellegű töltés automatikusan lekapcsolódó változata. Jól alkalmazható olyan töltési eljárásoknál, ahol az akkumulátorban egy meghatározott Ah mennyiséget kell betölteni. Ilyen üzem például a műanyag

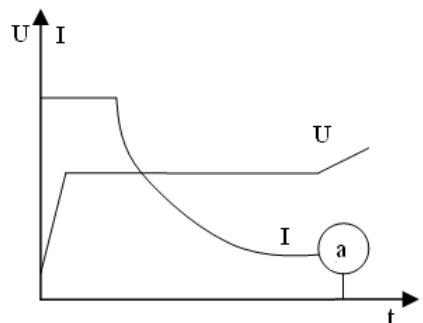
szövetáskás akkumulátorok üzembe helyezésénél szükséges. Nem hagyható azonban figyelmen kívül az, hogy az üzembe helyezésnél – ha az elektrolit hőmérséklete károsan megemelkedik – a töltőáram csökkentésére, végső esetben a töltő lekapcsolására is szükség lehet.



11.15 ábra. WU jellegű töltés

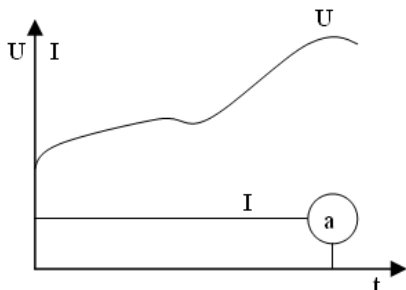


11.16 ábra. IUW jellegű töltés

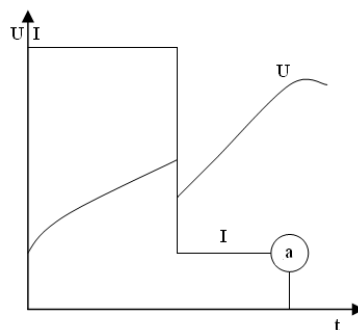


11.17 ábra. IUa jellegű töltés

- „IOIa” jellegű töltés (11.19. sz. ábra)



11.18 ábra. Ia jellegű töltés

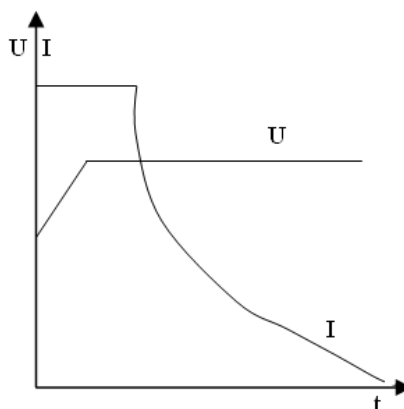


11.19 ábra. IOIa jellegű töltés

Ez a töltési üzemmód kétfokozatú állandó áramú töltést jelent. A töltés első szakaszában magasabb értékű töltőáram megengedhető, majd automatikus átkapcsolás történik egy kisebb értékű, de szintén áramkorlátozással működő üzemmódra. A kikapcsolás itt is automatikusan bekövetkezik.

- „IU” jellegű töltés (11.20. sz. ábra)

A töltés állandó árammal (áramkorlátban) indul, az akkumulátor feszültsége fokozatosan emelkedik, és a feszültségkorlát által meghatározott érték elérésekor a töltő áttér állandó feszültségű töltési üzemre. Ez az üzemi töltés igen elterjedt változata.

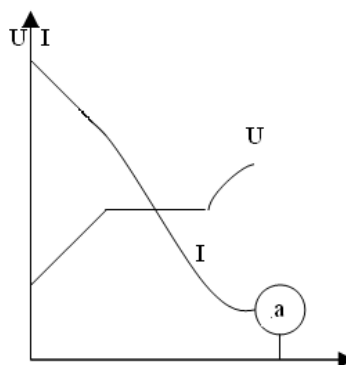


11.20 ábra. IU jellegű töltés

- „WUWa” jellegű töltés (11.21. sz. ábra)

A „WU” töltés gyorsított változatát jelenti ez a karakterisztika, mivel az „U” szakasz befejező részében ismét „W” jelleget ölt a töltés. Ezzel a cellák feszültsége emelkedik, hamarabb bekövetkezik a maximális feszültség elérése és így az automatikus lekapcsolás.

- „U” jellegű töltés (11.22. sz. ábra)



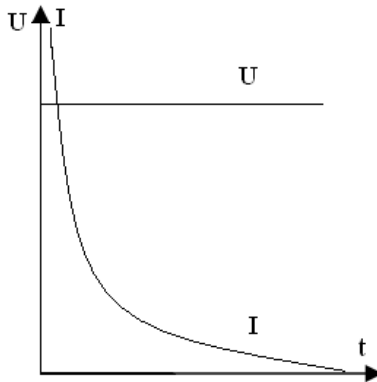
11.21 ábra. WUWa jellegű töltés



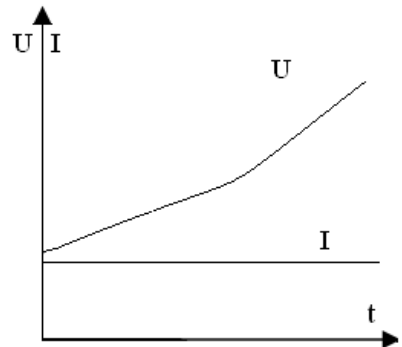
Feszültségkorláttal működő töltési üzemmód, a töltő áram az ábra szerinti eső jellegű. Kézi lekapcsolást igényel. Általában kis áramok esetén, a telepek önkisülésének fedezésére jól alkalmazható töltés.

- „I” jellegű töltés (11.23. sz. ábra)

A töltés ideje alatt áramkorlátban működő, kézi lekapcsolást igénylő töltési mód. A feszültség monoton emelkedő tendenciát mutat. A töltés befejezésekor kézi lekapcsolás szükséges. Az erős gázfejlődés miatt felügyeletet igénylő töltési mód.



11.22 ábra. U jellegű töltés



11.23 ábra. I jellegű töltés

## 11.6. Lítium akkumulátorok

Számos lítium alapú akkumulátor létezik sok különböző reakcióval. Ennek oka, hogy a lítium nagyon könnyű és normál potenciálja legmagasabb a fémek között (3V fölötti). Léteznek közel 4V feszültségű lítium cellák.

A lítium akkumulátoroknak számos előnyük van:

- viszonylag magas az energiasűrűségük a nikkell-kadmium akkumulátorokénak kétszerese, (néhány közülük megközelíti a 150 Wh/kg értéket).
- nem vesztik el a töltést, mint a nikkell-kadmium akkumulátorok
- nagyon magas a cellafeszültségük feltöltve 4V, még a kimerült cella is képes 3V körüli feszültséget szolgáltatni, ezért egyetlen cella képes ellátni pl. egy mobiltelefont.
- meglepően kis súlyúak
- egyáltalán nem képződnek kristályok az akkumulátorban, így nem kell gondot fordítani a rendszeres tréningeztetésre. Sőt, a Li-ion akkumulátorok nem is szeretik igazán, ha teljesen kisütik őket.
- a NiMH akkumulátorokhoz hasonlóan ezek az akkumulátorok is nagyon kevés mérgező anyagot tartalmaznak. Sajnos a Li-ion akkumulátor sem tökéletes. Még a NiMH akkumulátoroknál is gondosabb és hosszabb feltöltést igényel.

Jellemző típusaik:

- Folyadékkatódos lítium akkumulátorok:  
 $\text{LiSO}_2 \rightarrow$  Lítium - Kén-dioxid,  $\text{LiSOCl}_2 \rightarrow$  Lítium - tionil – klorid.
- Szilárdkatódos lítium akkumulátorok:  $\text{LiMnO}_2 \rightarrow$  Lítium - Mangán – dioxid -  
 $\text{Li}(\text{CF})_n \rightarrow$  Lítium - polikarbon – monofluorid.
- Szilárdelektrolitos lítium akkumulátorok:  $\text{LiI}_2 \rightarrow$  Lítium - jodid.
- Li-ion  $\rightarrow$  Lítium-ion akkumulátorok.
- Li-polimer  $\rightarrow$  Lítium-polimer akkumulátorok.

a, Folyékonykatódos lítium akkumulátorok:

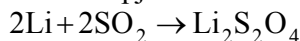
- $\text{LiSO}_2 \rightarrow$  Lítium-Kén-dioxid

Katód: porózus szerkezetű szén

Elektrolit: acetonitril oldószeres lítium-bromid oldat,

Porózus polipropilén az elválasztó

- Működésük alapja a következő reakció:



- Alkalmazás: elsősorban katonai célokra, magas költségei miatt.

b,  $\text{LiSOCl}_2 \rightarrow$  Lítium-tionil-klorid

Katód: Porózus szerkezetű szén és tionil-klorid az aktív katód anyag

Elektrolit: lítium-alumínium-klorid ( $\text{LiAlCl}_4$ )

Nem szövött üveg az elválasztó.

Az akkumulátorban lejátszódó folyamatok:

Az anódon:  $\text{Li} \rightarrow \text{Li}^+ + \text{e}^-$

A katódon:  $4\text{Li}^+ + 4\text{e}^- + 2\text{SOCl}_2 \rightarrow 4\text{LiCl} + \text{SO}_2 + \text{S}$

Az összesített folyamat:  $4\text{Li} + 2\text{SOCl}_2 \rightarrow 4\text{LiCl} + \text{SO}_2 + \text{S}$

- Ennek a rendszernek az energia sűrűsége nagyon magas (kb. 500 Wh/kg), üzemi feszültsége: 3,3 – 3,5 V.

- Alkalmazás: A kisebb kapacitású akkuk számítógépes háttértárolók feszültség ellátására, a nagyobb kapacitásúakat katonai célokra.

c., Szilárdkatódos lítium akkumulátorok:

- $\text{LiMnO}_2 \rightarrow$  Lítium-Mangán-dioxid

Katód: hőkezelt mangán-dioxid

Elektrolit: propilén-karbonát és 1,2-dimetoil-etán

Az akkumulátorban lejátszódó folyamatok:

Az anódon:  $\text{Li} \rightarrow \text{Li}^+ + \text{e}^-$

A katódon:  $\text{Mn}^{\text{IV}}\text{O}_2 + \text{Li}^+ + \text{e}^- \rightarrow \text{Mn}^{\text{III}}\text{O}_2(\text{Li}^+)$

Az összesített folyamat:  $\text{Li} + \text{Mn}^{\text{IV}}\text{O}_2 \rightarrow \text{Mn}^{\text{III}}\text{O}_2 (\text{Li}^+)$

Alacsonyabb hőmérsékleten és nagy terhelésnél az  $\text{LiSO}_2$  cellák sokkal jobbak. Alacsonyabb terhelésnél és magasabb hőmérsékleten, azonban ugyanolyan jók, és előnyük, hogy nem szükséges nyomás alatt tartani.

d.,  $\text{Li}(\text{CF})_n \rightarrow$  Lítium-polikarbon-monofluorid

Katód: karbon-monofluorid (Egy olyan speciális vegyület, amelyben fluor épül be a grafit kristályrácsába)

Elektrolit: lítium-tetrafluoro-borát ( $\text{LiBF}_4$ ) propilén-karbonátban és dimetoxi-etánban oldva.

Az akkumulátorban lejátszódó folyamatok:

Az anódon:  $\text{Li} \rightarrow \text{Li}^+ + \text{e}^-$

A katódon:  $\text{Mn}^{\text{IV}}\text{O}_2 + \text{Li}^+ + \text{e}^- \rightarrow \text{Mn}^{\text{III}}\text{O}_2 (\text{Li}^+)$

Az összesített folyamat:  $\text{Li} + \text{Mn}^{\text{IV}}\text{O}_2 \rightarrow \text{Mn}^{\text{III}}\text{O}_2 (\text{Li}^+)$

Ezeknek a celláknak is magas a feszültsége (kb. 3,0V) és nagy az energia sűrűsége (kb. 250 Wh/kg). Ezen kívül magas az élettartama (7év) és alacsony a vesztesége.

Alkalmazás: Az említett tulajdonságai miatt nagyon jól használható órákban, számológépekben és memóriákban.

e., Szilárdelektrolitos lítium akkumulátorok:

$\text{LiI}_2 \rightarrow$  Lítium-jodid

Anód: lítium

Katód: poli-2-vinil-piridin (P2VP)

Elektrolit: szilárd lítium-jodid

Az akkumulátorban lejátszódó folyamatok:

Az anódon:  $\text{Li} \rightarrow \text{Li}^+ + \text{e}^-$

A katódon:  $2\text{Li}^+ + 2\text{e}^- + \text{P2V}\check{\text{P}}\text{nI}_2 \rightarrow \text{P2V}\check{\text{P}}(\text{nPI})\text{I}_2 + 2\text{LiI}$

Az összesített folyamat:  $2\text{Li} + \text{P2V}\check{\text{P}}\text{nI}_2 \rightarrow \text{P2V}\check{\text{P}}(\text{nPI})\text{I}_2 + 2\text{LiI}$

Alkalmazás: nagyon hosszú élettartamuk miatt pacemakerekben (szívritmusszabályozó).

f., Li-ion  $\rightarrow$  Lítium-ion akkumulátorok

Az akkumulátorok legfiatalabb generációjába tartoznak.

Anód: szénvegyület, grafit.

Katód: lítium-oxid ( $\text{LiO}_2$ )

Elektrolit:  $\text{LiPF}_6$ , vagy újabban a kevésbé korrodáló  $\text{LiBF}_4$ . Általában folyékony, szerves oldat formájában.

Nevüket onnan kapták, hogy a töltés tárolásáról lítium-ionok gondoskodnak, amelyek feltöltéskor a negatív, szén alapú elektródához, kisütéskor pedig a pozitív fénoxid elektródához vándorolnak. Az anódot és a katódot szerves elektrolit választja el egymástól. A 80-as években előállított első típusok még fém lítiumot tartalmaztak. Kiseb üzemzavar hatására is hajlamos volt villámsebessen felforrósodni, és ez az akku felrobbanásához vagy elolvadásához vezetett. A ma kapható változatokban a lítium-ionok forrásaként különféle vegyületeket használnak, melyekben megfelelően biztonságosan kötött a lítium.

g., Li-polimer → Lítium-polimer akkumulátorok

A Li-ion akkumulátorok utóda. Hatalmas előnye, hogy nem, vagy csak nagyon kis mennyiségben tartalmaz folyékony elektrolitot, helyette speciális szilárd polimer választja el az anódot és a katódot.

Ez nagyon vékony és nagyon rugalmas cellákat eredményezhet, mivel nem kell vastag falú burkolattal védekezni a folyadék kifolyása ellen.

Az is elképzelhető, hogy egy szabadon hajtogatható lapocská lesz a jövő akkumulátora, amit ízlés szerint betömökdhetünk a rendelkezésre álló nyílásba. Cserébe várhatóan még rövidebb élettartammal és még hosszabb feltöltési idővel kell számolnunk.

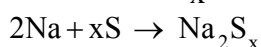
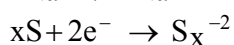
Alkalmazás: Elektronikus eszközök, pl. mobiltelefonok áramforrásai.

## 11.7. Nátrium-kén (NaS) akkumulátor

Speciális elektrokémiai áramforrás.

Elvi működés:

A NaS akkumulátor reakciója nagyon egyszerű:



Az  $x$  értéke 2,7 és 5 közötti: a nátrium-kén vegyület kezdetben  $\text{Na}_2\text{S}_5$  és azután további polyszulfidokká alakul kisebb kén tartalommal.

Tulajdonságok:

Feszültség: 2,076V (cellánként)

Elektrolit: szilárd alumínium-oxid tartalmú ionvezető kerámia (Beta alumina)

Anód: folyékony nátrium

Katód: folyékonykén

Számos előnyös tulajdonságuk van:

Nem veszítik el töltésüket, mint a nikkél-kadmium akkumulátorok. Nagy az energiatárolási kapacitásuk (45Wh/kg). Kb. egyharmad méretűek, mint az

ólomakkumulátorok. Viszonylag olcsók. Élettartamuk hosszú, kb. 15év, illetve kb. 2500 töltési/kisütési ciklus.

Ugyanakkor vannak hátrányos tulajdonságaik is:

A nátrium és a kén 290 - 390 °C között folyékony. Elég veszélyesek, mivel a folyékony nátrium rendkívül reakcióképes, vízzel gyulladást és robbanást okoz, és csúnya égési sérüléseket is okozhat. Erőteljes felmelegedés történhet, ha a nátriumot és ként elválasztó kerámia eltörik.

Felhasználás: Elektromos autók áramforrásaként használatos.

### **11.8. Nikkel metál-hibrid**

Az elmúlt néhány évben a legtöbb kisméretű áramforrást igénylő területen a nikkelt metál-hibrid (NiMH) technológia vette át a NiCd akkumulátorok helyét. Ezekben az akkumulátorokban a pozitív oldalon a NiCd akkumulátorokhoz hasonlóan nikkelt találunk, a negatív oldalon viszont egy speciális hidrogén megkötő fémötvözet veszi át a kadmium helyét. Töltéskor ez a fémötvözet megköti a savas elektrolit hidrogénjét, kisütéskor pedig leadja azt.

A nyolcvanas években kifejlesztett NiMH akkumulátorok azonos méret mellett 10-40%-kal nagyobb kapacitásra képesek NiCd társaiknál és sokkal kevésbé hajlamosak a kristályképződésre (elég 3 havonta tréningeztetni őket). Viszont lassabban tölthetők, sokkal rövidebb az élettartamuk és kisebb a kinyerhető csúcsteljesítményük. A felhasználó szemszögéből sokkal kevésbé feltűnő, de említésre méltó probléma az is, hogy a NiMH akkumulátor töltése sokkal bonyolultabb, mint a NiCd-é. A megfelelő töltésszint eléréséhez az akkumulátor hőmérsékletét is figyelembe vevő, bonyolult töltési algoritmus szükséges, ami megdrágítja a töltőáramköröket.

A folyamatos fejlesztésnek köszönhetően a nagy kapacitású NiCd akkuk szinte minden fronton utolérték ezt a technológiát. Az egyetlen, amivel nem tudnak mit kezdeni a kutatók, a mérgező kadmium. Mivel a NiMH akkuk sokkal kevesebb mérgező fémot tartalmaznak, a még kissé magasabb ár ellenére is a legtöbb gyártó ezeket választja.

### **11.9. Cink-levegő akkumulátorok**

Szintén fejlesztés alatt áll a Cink-levegő akkumulátor technológia. Érdekessége, hogy a többi akkumulátor típussal szemben nem zárt: működéséhez folyamatos levegő-utánpótlásra van szükség, mert kisüléskor oxigént köt meg, töltéskor pedig oxigént bocsát ki. A hatékony működéshez minél nagyobb cellafelületre van szükség, így inkább könnyűek lesznek ezek az egységek, mintsem aprók. A Li-polymerhez hasonlóan ezt a megoldást is hosszú töltési idő és rövid élettartam jellemzi.

### **11.10. Üzemanyag cella**

Nagy teljesítményű, miniatűr üzemanyag cella. Az üzemanyag cellák az elemekhez hasonlóan vegyi reakciókkal közvetlenül elektromosságot állítanak elő, a különbség

az, hogy míg az elemeket lemerülésük után el kell dobni, az üzemanyagcella mindaddig üzemel, amíg üzemanyagot töltünk bele. Ez az üzemanyag legtöbbször hidrogén, de vannak metánnal és metanollal működő változatok is. A hidrogénből a reakció során víz lesz, a szénvegyületekből emellett széndioxid is képződik.

Bizonyára sokan találkoztak az iskolában a közismert vízbontási kísérlettel, melynek során elektromosság hatására hidrogén és oxigén keletkezett a vízből. Az üzemanyagcella ennek a fordítottját végzi, megfelelő katalizátorok segítségével.

Az üzemanyagcella önmagában nem újdonság, például az úrsiklón is üzemanyag cellák szolgáltatják az elektromosság egy részét. Ezek a készülékek azonban hatalmasak, és kW-MW teljesítménytartományban üzemelnek. Ígéretes kutatások folynak azonban a miniaturizálás irányában, így a közeljövőben akár mobiltelefonra illeszkedő változat is készülhet.

## 12. Fejezet

### Biztosítók, kismegszakítók

#### 12.1 Biztosítók

##### 12.1.1. Olvadóbiztosítók csoportosítása

Az olvadóbiztosítókat névleges feszültség, működési jelleg, szerkezeti kialakítás és idő-áram jelleggörbe szerint szokás osztályozni. Eszerint a biztosítók lehetnek

Névleges feszültség szempontjából:

- középfeszültségű biztosítók,
- kisfeszültségű biztosítók,

Működési jelleg szempontjából:

- áramkorlátozó biztosítók,
- megszakító jellegű biztosítók,

Szerkezeti kialakítás szempontjából:

- becsavarható (D-rendszerű) biztosítók,
- késes rendszerű biztosítók,
- csöves biztosítók,

Kiolvadási idő-áram jelleggörbe szempontjából:

- gyors (hirtelen) működésű biztosítók,
- igen gyors (ultragyors) működési biztosítók,
- késleltetett (lomha) működésű biztosítók és
- kombinált (lomha-gyors) kiolvadási jelleggörbéjű biztosítók.

##### 12.1.2 Az olvadóbiztosítók működési elve

Az olvadóbiztosítókat – működési jelleg szempontjából két nagy csoportba szokás osztani:

- áramkorlátozó olvadóbiztosítókra és
- megszakító jellegű biztosítókra.

Az áramkorlátozó olvadóbiztosítók olyan biztosítók, amelyek meghatározott áramérték felett nem engedik kifejlődni a független zárlati áram csúcserőértékét, hanem már lényegesen kisebb értéknél kiolvadnak. Ezt az áramot tényleges megszakítási áramnak vagy levágott áramnak nevezik. Általában áramkorlátozó olvadóbiztosítókról akkor beszélünk, ha a biztosító által levágott áram lényegesen kisebb, mint a független zárlati áram csúcserőértéke.

Az áramkorlátozó biztosítók működésekor az olvadóelemek kiolvadása, ill. elgőzölgése után nagy ellenállású ív iktatódik az áramkörbe; azt túlnyomóan konduktív (ohmossá) teszi, tehát a megszakítás gyakorlatilag áram és feszültségnulla-átmenetben történik, amely megfelel egy ohmos (konduktív) áramkör megszakításának és ezt az állapotot maga a biztosító hozza létre működése során.

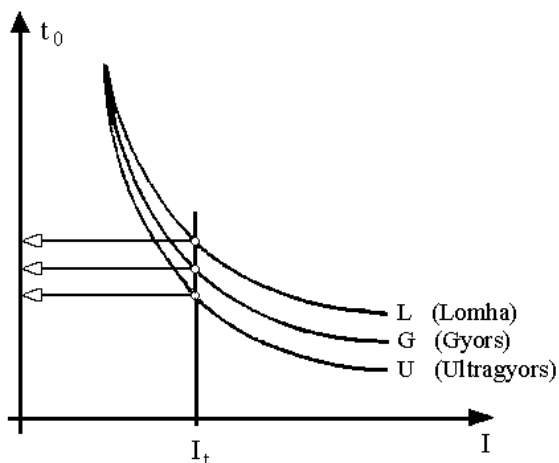
A megszakító jellegű biztosítóknál a megszakítási folyamat (megszakítás) ugyanolyan, mint a megszakítóknál; a zárlati áram teljes értékére fejlődik.

### 12.1.3. Az olvadóbiztosítók jelleggörbéi

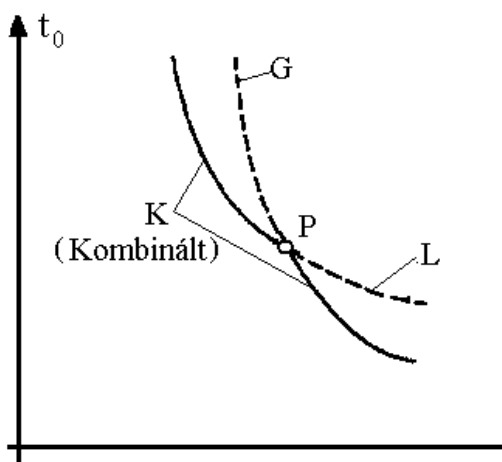
A biztosítók legfontosabb működési jellemzőire és felhasználhatóságára a különféle jelleggörbék adnak felvilágosítást.

#### 12.1.3.1. idő-áram jelleggörbe

Az idő-áram jelleggörbe a biztosítóbetét kiolvadási és/vagy működési időit a független áramok függvényében ábrázoló függvénygörbe. Általában a 10...50 ms-nál hosszabb kiolvadási idők esetében a tényleges (valóságos) kiolvadási időt, az ennél rövidebb kiolvadási idők esetén pedig az ún. virtuális kiolvadási időt adják meg, amely utóbbin a kiolvadási Joule-integrál és a független megszakítási áram négyzetének hányadosát értjük. Az egészen rövid, néhány ms nagyságú kiolvadási idők esetén azért nem a valóságos (tényleges) kiolvadási időt adják meg, mert az nagymértékben függ a bekapcsolási pillanattól (szimmetrikus zárlati áram esetén a kiolvadási idő lényegesen rövidebb, mint aszimmetrikus zárlati áram esetében).



12.1 ábra. Kiolvadási idő-áram jelleggörbe



12.2 ábra. Kiolvadási idő-áram jelleggörbe (kombinált)

Kiolvadási idő-áram jelleggörbe szempontjából van: gyors (hirtelen) működésű biztosító, késleltetett (lomha) működésű, igen gyors (ultragyors) működésű biztosító, lomha- gyors (kombinált) kiolvadási jelleggörbéjű biztosítók.

A kiolvadási idő-áram jelleggörbéket a 12.1 sz. és a 12.2 sz. ábra tünteti fel. A 12.1 ábra jelleggörbéiből látható, hogy az adott  $I_t$  terhelőáramhoz tartozó kiolvadási idő a lomha (L) működésű biztosító esetén a leghosszabb, az ultragyors (U) működésű biztosítók esetén a legrövidebb, a gyors (G) működésű biztosítóknál a kettő közé esik. A 12.2. sz. ábra jelleggörbéje



mutatja, hogy a kombinált (K) kiolvadási idő- áram jelleggörbe gyors és lomha jellegű szakaszokból tevődik össze oly módon, hogy a lomha biztosító jelleggörbéje a túlárámok tartományában a lomha, a zárlati áramok tartományában pedig a gyors működésű biztosító jelleggörbéjének felel meg.

A különféle védelmi feladatokhoz a jelleggörbék alapján kell kiválasztani a biztosítókat. A gyakorlatban a biztosítóbetétek kiolvadási idejének meglehetősen nagy szórása miatt a kiolvadási idő- áram jelleggörbe helyett gyakran kiolvadási idő- áram jellegsávról beszélnek.

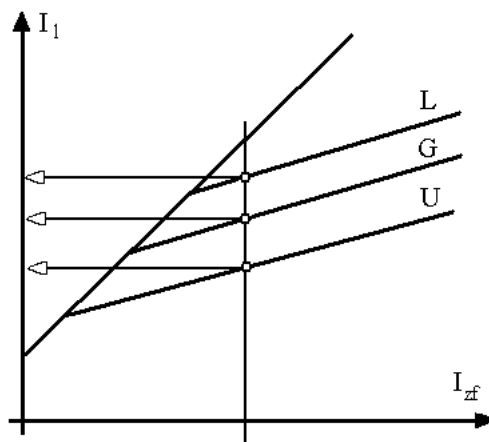
A korszerű szabványok előírásainak megfelelően szokásos a biztosítóbetéteket idő-áram jellegsávját (tartományát) is megadni, amely a biztosítóbetétek legkisebb kiolvadási időit és legnagyobb működési időit ábrázoló kiolvadási és működési idő-áram jelleggörbék között húzódik.

### 12.1.3.2 áramkorlátozási (védelmi) jelleggörbe

Az áramkorlátozó biztosítókkal védett villamos berendezések termikus és dinamikus szilárdsága a megszakítóval védettekhez viszonyítva lényegesen kisebb lehet.

Az áramkorlátozó olvadóbiztosítók áramkorlátozó képességét jellemző jelleggörbéket nevezik áramkorlátozási vagy védelmi jelleggörbének, amelyek a levágott áramok vagy más néven tényleges megszakítási áramok legnagyobb értékeit ábrázolják a biztosítók beépítési helyén fellépő független zárlati áram függvényében.

A 12.3. sz. ábra összehasonlításképpen a 12.1. sz. ábrán bemutatott biztosítók

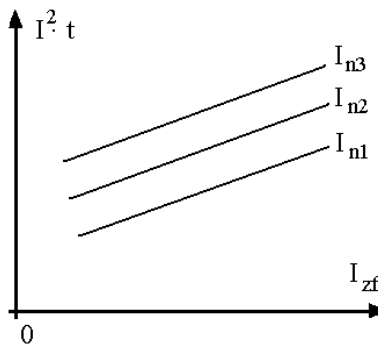


12.3 ábra. I-I<sub>zf</sub> karakterisztika három típusa

azonos névleges áramerősségű típusára vonatkozóan mutatja be az áramkorlátozási viszonyokat. Látható, hogy az azonos értékű független zárlati áramból a legnagyobb áramot a lomha (L), a legkisebbet az ultragyors (U) biztosító engedi kifejlődni, következésképpen utóbbinak a leghatásosabb az áramkorlátozó képessége.

### 12.1.3.3. I<sup>2</sup>t jelleggörbe

A biztosítók kiolvadási, ill. működési I<sup>2</sup>t (Joule- integrál) értékeit a független megszakítási áram függvényében ábrázoló görbe (12.4. ábra). Az ábrán paraméterként a biztosítóbetét névleges áramerőssége (I<sub>n1</sub>, I<sub>n2</sub> stb.) szerepel.

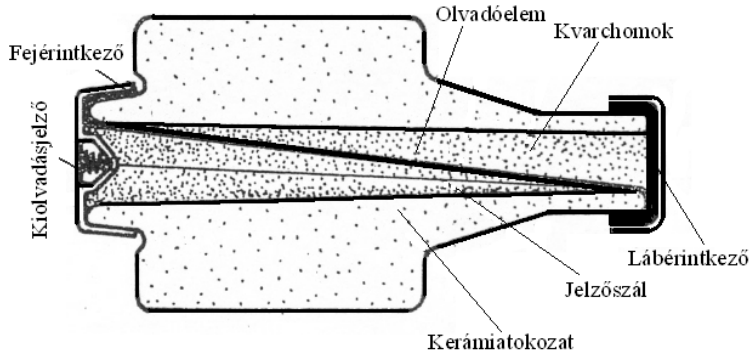


12.4 ábra. Kiolvadási értékek a független megszakítási áram függvényében

## 12.1.4. Biztosítók szerkezeti kialakítása

### 12.1.4.1. Kisfeszültségű áramkorlátozó olvadóbiztosítók

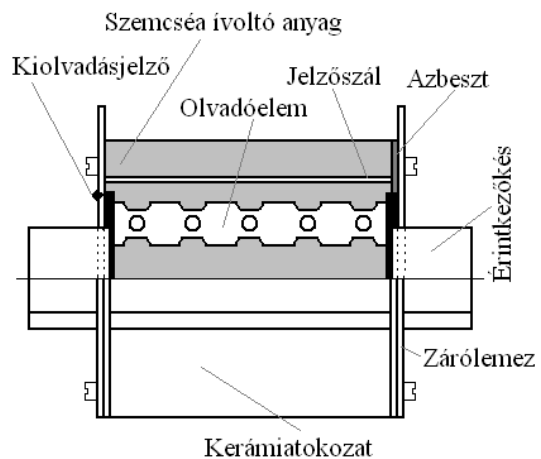
A kisfeszültségű áramkorlátozó olvadóbiztosítók legelterjedtebben használt a D-



12.5 ábra. D rendszerű biztosító felépítése

rendszerű biztosítók és a késes biztosítók. Ezek szerkezeti kialakítását a 12.5. és a 12.6. ábra szemlélteti. A D- rendszerű olvadóbiztosítókra (12.5. ábra) jellemző, hogy az olvadóbetét két végén lévő érintkezők közül az egyik csapszerűen van kialakítva, amelynek átmérője áramerősségfokozatonként növekvően változó. A biztosítóaljzattal ez az érintkező olyan illesztőelem (illesztógyűrű, illesztőcsavar vagy illesztőhüvely) közvetítésével érintkezik, amelynek belső átmérője gyakorlatilag megegyezik az azonos névleges áramerősségű olvadóbetét illeszkedő érintkezőjének átmérőjével, így módon a nagyobb névleges áramerősségű illesztőelemmel ellátott biztosítóaljzatba nem lehet behelyezni. A felcserélhetlenség

rendszerű biztosítók és a késes biztosítók. Ezek szerkezeti kialakítását a 12.5. és a 12.6. ábra szemlélteti. A D- rendszerű olvadóbiztosítókra (12.5. ábra) jellemző, hogy az olvadóbetét két végén lévő



12.6 ábra. Késes rendszerű biztosító felépítése

tehát, az átmérők (diaméterek) rendszerén alapszik: innen a neve is: D- rendszer.

A késes rendszerű biztosítóbeté (12.6 ábra) belső szerkezetét (olvadóelemek, kiolvadásjelző segéd olvadószál, szemcsés ívóanyag magába foglaló, szigetelőanyagból (kerámiaanyag, üvegvasz műgyanta vagy egyéb hő- és nyomásálló anyag) készült tokozat két végét nem mágnesezhető fémből vagy nagy szilárdságú műanyagból előállított záróelemek zárják le. A biztosítóbetének az aljzathoz való csatlakozására jó villamos- és hővezető képességű anyagból készült, késszerű érintkezők szolgálnak.

### 12.1.5 A túláram megszakítása

A biztosító túláramok hatására történő működésére jellemző a hosszú kiolvadási idő és ívidő, valamint az olvadóbetét jelentős mértékű felmelegedése.

A biztosító az áramok kis értékre való tekintettel az olvadóelemek kiolvasztásához szükséges hőmérsékletet csak többé- kevésbé hosszú idő után éri el. Amíg a nagy túláramoknál ez az idő a másodpercnél, ill. zárlatoknál még a periódusnak is csak tört része, addig itt a kiolvadási idő- a túlterhelés nagyságától függően- másodperc, perc, sőt az egészen kis túlterheléseknél óra nagyságrendűek.

### 12.1.6 Megszakítóképeség

Megszakítóképeség az a legnagyobb független megszakítási áram, amelyet a biztosító az előírt feltételek mellett üzembiztosan képes megszakítani.

A biztosító megszakítóképeségén a műszaki gyakorlatban a MVA-ben kifejezett, három fázisra számított szimmetrikus zárlati teljesítményt is értik.

$$P = \sqrt{3} \cdot U \cdot I_{rz}$$

Ahol P a három fázisra számított szimmetrikus megszakítási teljesítmény, MVA: U a biztosító névleges feszültsége, KV:  $I_{rz}$  a biztosító effektív névleges megszakítási árama, kA.

A biztosítók megszakítóképeségének megítélésénél mind a termikus, mind a mechanikai szempontból legkedvezőtlenebb igénybevételeket meg kell határozni.

### 12.1.7. Szelektívitás

A villamos berendezések és hálózatok megfelelő túláram- és zárlatvédelme megkívánja a kapcsolókészülékek, így az áramkorlátozó biztosítók egymáshoz lépest szelektív működését.

Két vagy több sorbakapcsolt biztosító között akkor áll fenn a szelektívitás, ha a túláram vagy zárlat keletkezésekor csak a meghibásodott hálózatrész, ill. túlterhelt vagy zárlatos berendezés biztosítója olvad ki, a rendszer több része pedig zavartalanul üzemel tovább.

A szelektívitás feltétele akkor teljesül, ha az olvadóbetétek virtuális időket (kiolvadási és/vagy működési időket) tartalmazó idő- áram jelleggörbéi nem metszik, ill. jellegsávjai nem fedik egymást.

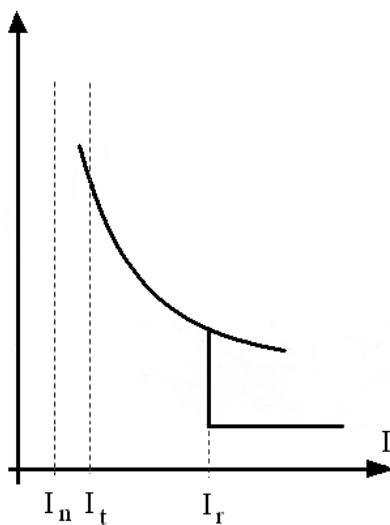
A zárlati szelektivitás feltétele az, hogy a hibahelyhez közelebb eső biztosító működési Joule-integrálja kisebb legyen, mint a távolabb eső biztosító kioldási Joule-integrálja.

## 12.2 Kismegszakítók

### 12.2.1 Általános jellemzők

A kismegszakítókra vonatkozó szabványelőírások tekintettel a felhasználás és üzemeltetés körülményeire, a megszakítókra vonatkozó előírásoktól eltérnek. A gyakorlatban a kismegszakítókat kisautomatáknak is nevezik. Rendeltetésük kisebb teljesítményű fogyasztói leágazásokban, üzemi áramok átvezetése, az üzemszerű be- és kikapcsolás, túlterhelés és zárlat esetén pedig az önműködő kikapcsolás. Az üzemszerű be- és kikapcsolást, valamint zárlat- és túlterhelés védelmet is ellátják.

A kapcsolóképesség vizsgálatánál a kismegszakítóval sorosan az áramkörbe ezüst olvadószálat is beiktatnak, és ez alapján lehet adatot kapni arról a kikapcsolása alatti  $I^2t$  Joule- hőmennyiség keletkezéséről. Ez az érték zárlatnál, a védett vezetékek termikus igénybevétele szempontjából mértékadó. Adott berendezésnél alkalmazható kisebb vezeték keresztmetszetét a zárlati áram nagysága és a védelmet szolgáló készülék kikapcsolásának időtartama határozza meg. A kismegszakítók alkalmazásának elbírálásánál feltétlenül kedvező, ha a működési idejük kicsi, mert ez esetben a zárlati áram okozta  $I^2t$  hőmennyiség, amely a vezetékben keletkezik is kisebb lesz. A szabvány tételesen meghatározza az egyes vezető- keresztmetszethez tartozó referencia ezüstszálak átmérőit, melyek a kismegszakító kikapcsolásánál előforduló zárlati áram  $I^2t$  Joule- hőmennyiséget meghatározzák.



12.7 ábra. Kismegszakító működési jelleggörbéje

Ipari berendezésekben használt kismegszakítókat üzemszerű be- és kikapcsolásra is használhatják. A kismegszakító

szabad kioldású, ez azt jelenti, hogy a túláramkioldó működés esetén a kikapcsolás akkor is bekövetkezik, ha a kéziműködtetőt bekapcsolva tartjuk.

A kismegszakító működési jelleggörbéjét a 12.7. sz. ábrán láthatjuk.

A kismegszakító működési jelleggörbéjéből két viszonyszám adódik. Egyik a termikus viszony ( $R_t$ ), amely definíciószerűen a következő:

$$R_t = \frac{\text{termikus határáram}}{\text{névleges áram}} = \frac{I_t}{I_n}$$

Ahol  $I_n$  névleges áramerősség, az az áram, mellyel terhelve a kismegszakító éppen nem old ki,

$I_t$  termikus határáram azon áramerősséget értjük, amellyel egy órán át (vagy akár végtelen ideig) terhelve nem old ki, de ennek 130%-ával terhelve a kioldás egy órán belül bekövetkezik.

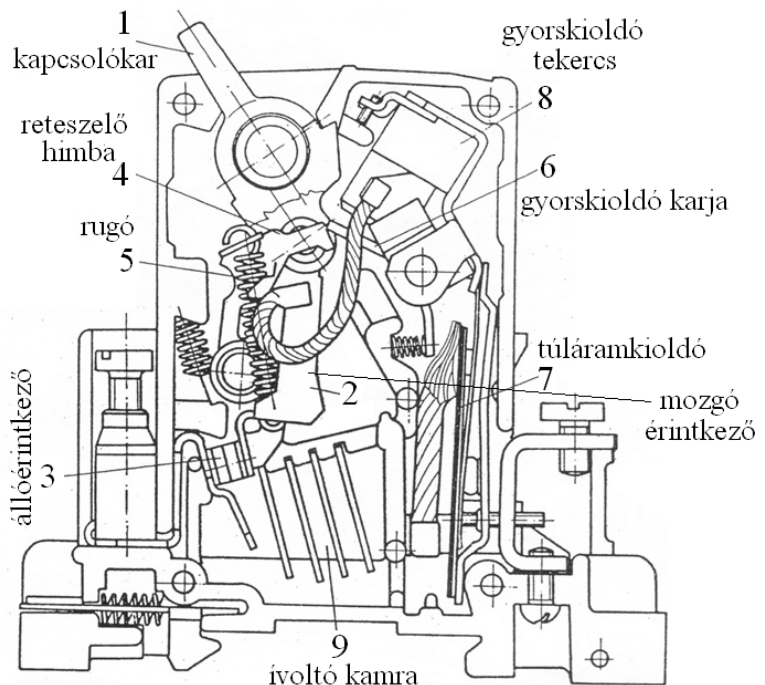
A másik az ún. gyorskioldási viszony:

$$R_r = \frac{\text{gyorskioldási áram}}{\text{névleges áram}} = \frac{I_r}{I_n}$$

A gyorskioldási viszony értékét az alkalmazási terület követelményeinek és a megszakító feladatának megfelelően 2...15 közé szokták beállítani.

Bekapcsolásnál a nyomógomb benyomásával 3, 11 és 12 karok összereteszelődnek, és a nyomás megszűnésével az érintkező záródik.

A kismegszakítók helyettesítő készülékből önálló készülékké léptek már elő. Feladatukból adódóan nem az olvadóbiztosítók helyére, hanem az elosztótáblák szerelősíneire szerelik. Egy kismegszakítót láthatunk a 12.8. sz. ábrán.



12.8 ábra. Kismegszakító felépítése

Bekapcsolt állapotban az érintkezőnyomást az 5 rugó adja, amely a 2 és 4 kar közé van kifeszítve. Az 5 rugó felső rögzítési pontjához és 1 karra erősített 2 érintkezőkar forgáspontjának egymáshoz viszonyított helyzete dönti el, hogy a megszakító érintkezők záródnak vagy szétváljanak. Az 1 kapcsolókarral a 2 érintkező forgáspontja a rugó kitámasztás egyik, illetve a másik oldalára helyezhető.

A bekapcsolás után a 4 kar és a 6 anker összereteszelődik (erőegyensúly létesül). A reteszelődést melegendő 7 ikerfém túláramkioldó, vagy a gerjesztett 8 mágnes (gyorskioldó) megszüntetheti, akkor a 4 kar elbillen és a holtponton áthaladó rugó az érintkezőket szétválasztja.

Ugyanez az 1 kapcsolókar kézi átbillenésével is elérhető az előzőek szerint.

## 13. Fejezet

### Szakaszolók, megszakítók

#### 13.1. Szakaszolók

##### 13.1.1. Általános tudnivalók

A szakaszolók olyan mozgatható szerkezeti elemmel ellátott készülékek, amelyek áramkörök vagy azok egyes szakaszainak feszültség alatt, de árammentes állapotban való ki- és bekapcsolását végzik.

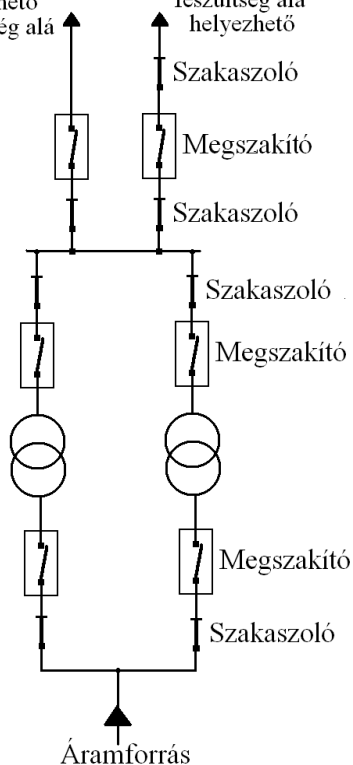
Rendeltetésük kétféle:

a, Az áram útjának előkészítése kapcsolás előtt

b, Egyes szakaszoknak,

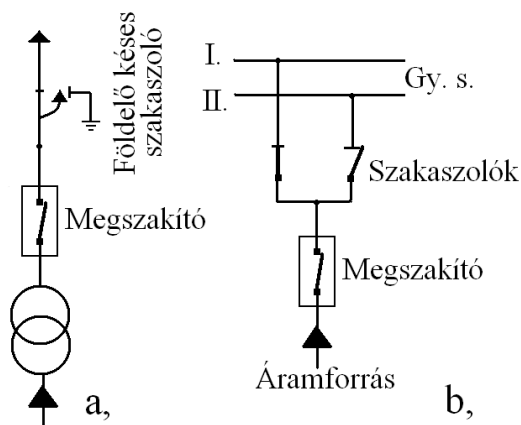
A vezeték másik végéről nem helyezhető feszültség alá

A vezeték másik végéről is feszültség alá helyezhető



13.2 ábra. Szakaszoló és megszakító alkalmazásának változatai

Szabadvezeték



13.1 ábra. Szakaszoló beiktatása kettős gyűjtősín esetén

készülékeknek, vagy a gépeknek az áramkörrel való leválasztása, feszültségmentesítése.

Az általuk leválasztott áramköri részekon karbantartási, szerelési, ill. javítási munkák veszélytelenül elvégezhetők, mivel a szakaszolók a szabványokban előírt villamos szilárdságúak.

A fentiekből következik, hogy szakaszolót kell beiktatni az áramkörök mindazon részeibe, ahol (a) a kapcsolás számára különféle lehetőségek vannak, pl. kettős gyűjtősínek esetén (13.1. sz. ábra), (b), ha az áramkörrel történő leválasztás szükségessége üzemszerűen fennáll, pl. megszakítók esetén, amelyeket egyik vagy mindkét oldalukon szakaszolóval kell feszültség alá helyezni az áramkör felépítéstől függően (13.2. sz. ábra)

### 13.1.2 A szakaszolók fő jellemzői

A szakaszolók fő jellemzőit célszerű a szerkezeti részekkel valamint a villamos jellemzőkkel összefüggő csoportosításban megadni.

Az alapvető meghatározások a szakaszoló fajtákra, illetve azok szerkezeti részeivel kapcsolatosan a következők:

Leválasztó szakaszoló az olyan energiatárolós, nyitási művelet elvégzésére alkalmas eszköz, amelyeknek előírt nyitási ideje van. Általában az önműködő visszakapcsolású védelemmel ellátott vezetékek zárata esetén a holtidő alatt (feszültségmentes) leválasztásra használják.

Oszlopkapcsoló az olyan kapcsoló jellegű, szabadtéri szakaszoló, amelyet szabadvezetéki oszlopra, való szerelésre készítettek, és amelyeknek feladata a szabadvezeték szakaszainak látható bontása, illetve összekapcsolása.

Biztosító szakaszoló kapcsoló az olyan kapcsoló, amelynek mindegyik pólusával (sarkával) biztosító van sorba kötve, egy szerkezeti egységben.

Szakaszoló biztosító az olyan szakaszoló, amelynek mozgó érintkezőjét biztosító betét vagy biztosító betéttel ellátott érintkező alkotja.

Átütési távolság: a szigetelőanyagnak az a legkisebb vastagsága, (beleértve alátétközöket is), amely a különböző feszültség alatt álló fémrészeket egymástól, vagy a földelt fémrészekről elválasztja. Fémszerelvénnyel ellátott, több részből álló szigetelők esetén az átütési távolság az egyes részátütési távolságok összege.

Zsinórtávolság az a távolság gázban (levegőben) vagy szigetelő folyadékban (olajban), amely a két vezetőrész között a legrövidebb úton, egy kifeszített zsinór mentén mérhető. A zsinórtávolságot a földhöz, a feszültség alatt álló sarkok vagy a nyitott érintkezők közötti értelmezés szerint adjuk meg általában.

Szakaszolási távolság olyan zsinórtávolság a nyitott érintkezők között, amely a nyitott szakaszolókra előírt biztonsági követelményeket kielégíti.

Fázistávolság többsarkú szakaszolóknál az egyes fázisok (sarkok) középvonalának távolsága.

Szigetelő az a porcelánból, vagy egyéb szigetelőanyagból készült szerkezeti elem, amely a feszültség alatt álló részeket egymástól vagy a földtől szigeteli.

Kapcsolókés a kapcsolást létrehozó egyik szerkezeti elem, amelyen az áramvezetés történik.

Földelőlés az a szerkezeti elem, amely érintkezést hoz létre a feszültségmentesített vezetékek és a földvezeték között.

Érintkező segítségével hozza létre a kapcsolókés az ugyanazon fázis sarkai közötti érintkezést.

Csatlakozó rész vagy csatlakozó kapocs az áramkörbe történő bekötésre szolgáló szerkezeti elem.

Alaplap a szerkezeti elemek (szigetelők, áramvezetők, hajtókar, szigetelt hajtórúd, segédérintkezők stb.) elhelyezésére és a szakaszoló felerősítésére szolgál.

Segédérintkező jelzésre, reteszelésre és a segédáramkörök kapcsolására szolgál, a kapcsolókéssel vagy a hajtótengellyel van kényszerkapcsolatban.

Nézzük ezután a szakaszolókra vonatkozó egyéb villamos jellemzők megfogalmazását.

Legnagyobb névleges feszültség ( $U_n$ ) a kapcsolókészüléknek az a névleges értéke, amely a készülék szigetelési szintjét- és megszakító képességét- meghatározza, s amely nem kisebb annak a hálózatnak legnagyobb feszültségénél, amelyben való alkalmazásra a készüléket készítették, és nemzetközi ajánlásokat tartalmaznak.

Névleges termikus határáram ( $I_{term}$ ) az az állandó értékű szimmetrikus váltakozó áram, amelyet a készülék a meghatározott rövid idejű termikus időhatár ( $t_{term}$ ) eléréséig, az előírt üzemi körülmények között zárt helyzetben vezetni képes. Az ajánlott szabványos értékek 2-200kA között vannak.

### **13.1.3. Kézi hajtások**

Kézi hajtásokat szakaszolókhöz, kapcsolókhöz, vezérlő- és működtető készülékekhez alkalmazunk, ahol nincs szükség meghatározott kapcsolási sebességre, és a működtető erő kicsi. Az ember által kifejtendő kézi erő korlátozott, ezért vagy forgómozgást hozunk létre, vagy rudazatok, áttételek segítségével visszük át az erőt a kapcsolókészülékre.

### **13.1.4. Gépi hajtások**

Gépi hajtások esetén különbséget kell tenni a függő (közvetlen) és az erőtárolós hajtások között. Az előbbieket a felhasználás szempontjából hasonlóak a függő kézi hajtásokhoz, csak a leadott nyomatékuk, húzó- vagy nyomóerejük jóval nagyobb.

### **13.1.5. A földelő kés**

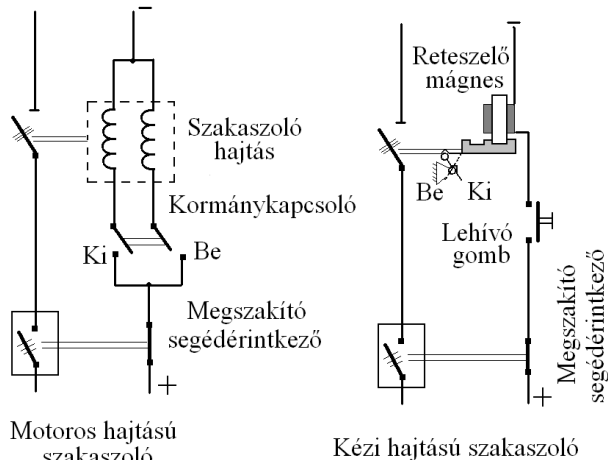
A hálózati szakaszolót gyakran földelő késsel kell ellátni. Ennek célja a feszültségmentes vezeték leföldelése, hogy a rajta dolgozó személyeket az esetleg fellépő veszélyes feszültségektől megvédjük. Ugyanakkor meg kell akadályozni, hogy a szakaszoló nem várt záródása a földelt szakaszon feszültség növekedést okozzon (ez ugyanis zárlatot eredményezne) tehát a főérintkezőt és földelőkést egymáshoz is reteszelni kell, hogy a szakaszoló érintkezője csak nyitott földelő kés esetén legyen zárható, illetve nyitott szakaszoló érintkező esetén a földelő kés legyen zárható. Ha ilyen reteszelés nincs, vagy nem alkalmazható, akkor a személyzet kötelessége a fentiek szerint a műveletet átgondolni és végrehajtani.

Közvetlen hajtások többsége motorműködtetésű. A motorok fordulatszámát csiga-fogaskerék, fogasléc áttételeken keresztül csökkenthetjük a kívánt elfordulásra. A motorok vezérlését kontaktorral, segédérintkezővel vagy segédkapcsolóval végezzük. A motor védelmére a villamos oldali védelem túl súrlódó tengelykapcsolót is gyakran beépítenek. Közvetlen hajtást lehet mágneses működtetéssel is kialakítani, de ezeket Európában újabban csak kontaktoroknál alkalmazzák. A géphajtások többsége energiátárolós rendszerű.



### 13.1.6. Működtetési feltételek, jelzések

Azon feltétel, hogy szakaszoló csak árammentes állapotban nyitható, bizonyos óvintézkedésekre kötelezi a kezelő személyzetet. Alárendelt szerepű helyeken elegendő a jól képzett személyzetnek szóló utasítás, míg exponált helyekre villamos reteszeléseket kell alkalmazni.



A megszakító és szakaszoló egymáshoz reteszelését mechanikusan és villamosan lehet létrehozni. A mechanikus reteszelés igen egyszerű áramkörben lehetséges, ahol ugyanazon kulccsal kell a szakaszolót és a megszakítót ki-, illetve bekapcsolni. A kulcsot a megszakító ki, illetve a szakaszoló be állásában lehet eltávolítani. Bonyolultabb kapcsolási rendszer esetén

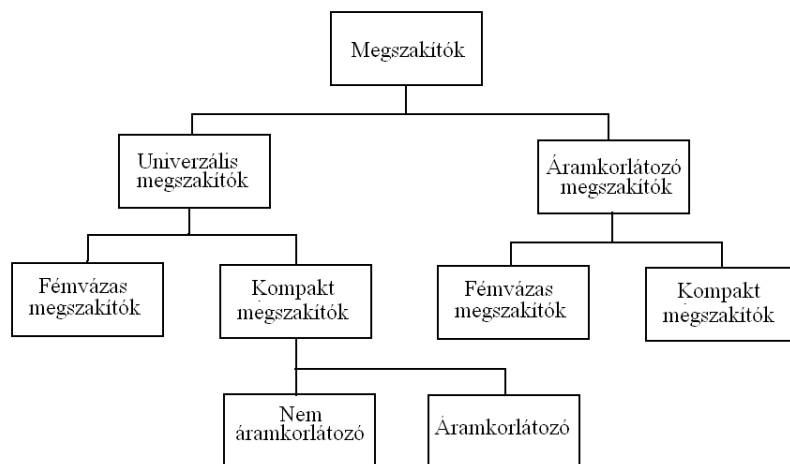
13.3 ábra. Motoros és kézi hajtású szakaszoló felépítése

villamos reteszelést kell létrehozni. Ennek vázlata a 13.3. sz. ábrán látható. A megszakító fő- és segédérintkezője mechanikus kapcsolatban vannak egymással, s a főérintkező nyitott állapotban a segédérintkező záródik. Zárt segédérintkező esetén ki és beműködtethető a szakaszoló. A megszakító működését általában nem kell függővé tenni a szakaszoló helyzetétől.

## 13.2 Megszakítók

### 13.2.1. Általános tudnivalók

A megszakító olyan mechanikus kapcsolókészülék, amely üzemszerű áramköri viszonyok mellett az áram bekapcsolására, vezetésére és megszakítására, valamint az üzemszerűtől eltérő meghatározott áramköri viszonyoknál (mint



13.4 ábra. Megszakítók típusai

például zárlatok esetén is) az áram bekapcsolására, meghatározott ideig való vezetésére és megszakítására alkalmas. A megszakítókat általában nem gyakori működésre méretezik.

A zárlatvédelmet is szolgáló megszakító további rendeltetése az is lehet, hogy a villamos hálózatot vagy berendezést szándékolt működtetéssel tetszőleges időpontban üzemszerűen kikapcsolja.

A megszakítók fajtái a 13.4. ábrán bemutatott blokk-sémával is ábrázolhatók.

Hagyományos ívoltage megszakítóknak tekinthetjük azokat a megszakítókat, melyeknél a villamos ív oltása az áram első nulla átmenete után történik. Ezek a megszakító fajták alkalmasak lehetnek arra is, hogy a mágneses gyorskioldó 100-500 ms idővel késleltetve működjenek.

A hagyományos ívoltage megszakítók e sajátosságuk folytán egyaránt alkalmasak az áram- vagy időlépcsőzött zárlatvédelem kialakítására. Erre utal a gyakorlatban kialakult „univerzális megszakító” elnevezés.

A megszakítók másik fajtái az áramkorlátozó megszakítók, amelyek működése gyors és az érintkezők gyors szétválasztása következtében az ívfeszültség az érintkezők közötti feszültségnél gyorsabban növekszik. Az rövidebb, így az áramkorlátozó megszakító a váltakozó áram csúcserőértékének elérése előtt kikapcsol.

Az áramkorlátozó megszakító túláram kioldója pillanatműködésű és nem késleltethető, ezért időlépcsőzésű zárlatvédelem kialakítására nem alkalmas.

Az áramkorlátozó érintkező rendszere és áramköre nem alkalmas a zárlati áram csúcserőértékének átvezetésére, továbbá az ívoltage rendszer sem alkalmas a zárlati áram csúcserőértékéhez tartozó ívoltage eloltására.

### **13.2.2. A megszakítók alkalmazása**

A villamos energia- elosztó rendszerekben a megszakítókat a táppont, és a fogyasztói pont közé építik be. A villamos energia- ellátó rendszert táplálhatja közvetve transzformátor, vagy közvetlenül generátor is. A villamos elosztórendszerben a megszakítón kívül még gyűjtősín, kábelek, szabadvezetékek, biztosítók, stb. kerülhetnek beépítésre (13.5. sz. ábra).

A megszakítóknak felhasználási helyük szerinti különböző elnevezést adhatnak.

Főmegszakító (betápláló megszakítók)

Transzformátormegszakító.

Generátormegszakító.

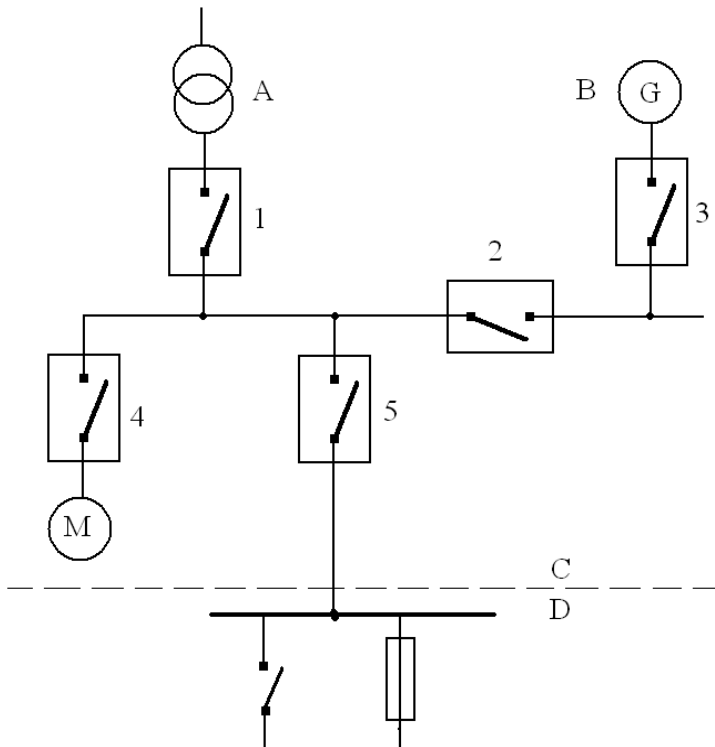
Fogyasztói megszakító stb.

Ezen kívül még igen sok más elnevezés is használatos: például a gyűjtősín hosszanti bontására szolgáló megszakító, a hosszanti bontó megszakító.

1, Transzformátor- és generátormegszakító

A transzformátor és a generátormegszakítók általában gyűjtősínt táplálnak, amelyek üzemszerű be- és kikapcsolásakor, túlterhelés- és zárlatvédelemre is szolgálhatnak. A túlterhelés- védelmet a hőkioldó, a zárlatvédelmet a gyorskioldó látja el.

2. Fogyasztói megszakítók (leágazási megszakító)



A=Transzformátor B=Generátor C=Főelosztó D=Elosztó  
 1=Transzformátormegszakító 2=Sinmegszakító  
 3=Generátormegszakító 4=Leágazási megszakító  
 5=Fogyasztói megszakító

13.5 ábra. Különböző elemek a villamos főelosztó rendszerben

összelengésből, vagy egyéb behatás következtében a zárlat előfordulásának gyakorisága nagyobb, és az üzemzavar a megszakító gyors visszakapcsolásával elhárítható.

#### 4. Motorvédő megszakító

A megszakító hő- és gyorskioldója azt villamosmotor védelemre is alkalmassá teszi. A hőkioldó áram- idő jelleggörbéje ugyanazon feltételeket teljesíti, mint a motorvédő kapcsoló hőkioldója. A megszakító gyorskioldója a zárlatvédelmet is ellátja, így az olvadóbiztosító elhagyható.

#### 5. Kondenzátormegszakító

Az univerzális megszakító vagy áramkorlátozós megszakító kondenzátortelep be- és kikapcsolásra is alkalmas. A bekapcsolási áramlökések okozta indokolatlan kikapcsolások elkerülése céljából a hőkioldó névleges áramerősségét a kondenzátortelep névleges áramerősségének 1,2...1,3 szorosára, a gyorskioldót pedig a kondenzátortelep áramerősségének 10 szorosára célszerű állítani.

#### 6. Hurkolt hálózati megszakító

A fogyasztói pont előtti megszakítónak a zárlatot lehetőleg késleltetés nélkül kell kikapcsolniuk. A gyors kikapcsolás érdekében célszerű, ha a fogyasztói pont előtti megszakítók áramkorlátozósak.

Előfordulhat, hogy megszakítók és a fogyasztói pont közé szükség szerint (zárlatvédelmi okokból) olvadóbiztosítókat is beépítenek.

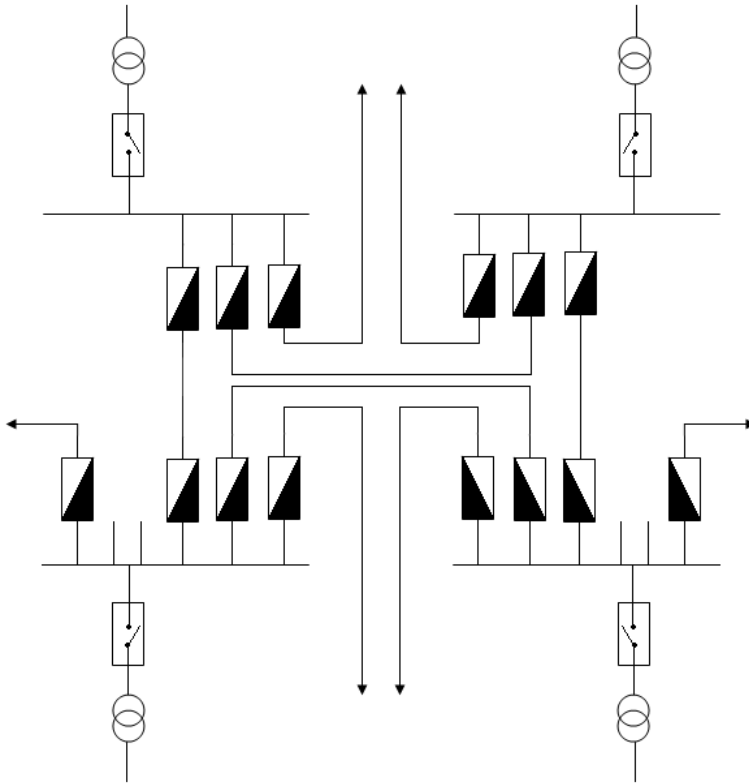
3. Kábel- vagy szabadvezeték megszakító.

Kábelek és szabadvezetékek túlterhelés- és zárlatvédelmére hőkioldóval és gyorskioldóval ellátott megszakítók is

alkalmazhatók.

Szabadvezeteki

hálózatokon a vezeték



Nagy fajlagos terhelésű város hálózaton az üzembiztonság és az energiaveszteség csökkentése érdekében célszerű kisméretű hurkolt hálózatot kiépíteni. A kisméretű hurkolt hálózaton több közép/ kisméretű transzformátor a hálósan kialakított kisméretű hálózatra párhuzamosan táplál. A kisméretű hurkolt hálózatot a 13.6. sz. ábrán mutatjuk be.

13.6 ábra. Hurkolt kisméretű hálózat

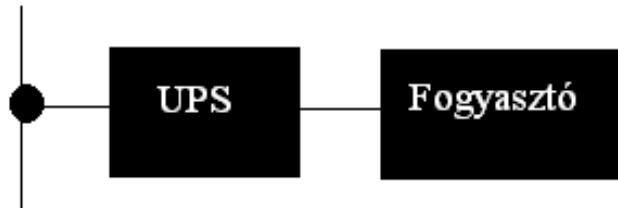
## 14. Fejezet

### Szünetmentes áramellátás

#### 14.1 Szünetmentes áramforrásokkal kapcsolatos általános tudnivalók.

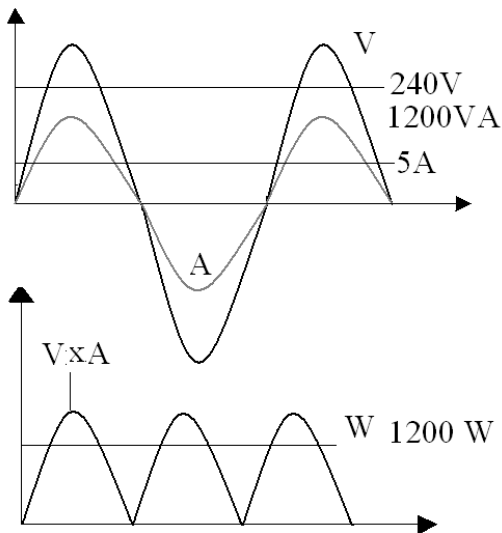
##### 14.1.1 A szünetmentes áramforrások felépítése, rendeltetése

A szünetmentes áramforrásokat vagy más néven UPS-eket (Uninterrupted Power Supply / System) azért fejlesztették ki, hogy az elektromos hálózathoz tartozó, az áramszolgáltatásban meglévő hibákra (mint pl. feszültségtüskék, feszültségcsúcsok, feszültségesések, rövid ideig tartó áramszakadások vagy hosszabb áramkimaradások stb.) érzékeny fontos fogyasztókat megvédhessük ezek hibák hatásaitól. A szünetmentes áramforrás /UPS/ az elektromos ellátó hálózatban a védendő fogyasztó (terhelő) berendezés elé kerül beépítésre (ld. 14.1. sz. ábra).



14.1 ábra. UPS rendszer felépítése

Az áramellátás tekintetében alternatíva lehet még a belső motor által meghajtott generátorral rendelkező aggregátor, bár az UPS-ek megjelenése erősen visszaszorította az alkalmazását. Később még foglalkozunk vele. Számos célra használunk szünetmentes áramforrás, és persze nagyon sokféle szünetmentes áramforrás létezik. Abban azonban mindegyik megegyezik, hogy az áramszolgáltatásban keletkezett szünet áthidalásához szükséges energiát akkumulátorból nyerik. (Statikus UPS-ek).



14. 2 ábra. VA és Watt viszonya lineáris terheléskor

##### 14.1.2. A szünetmentes áramforrás / UPS teljesítménye

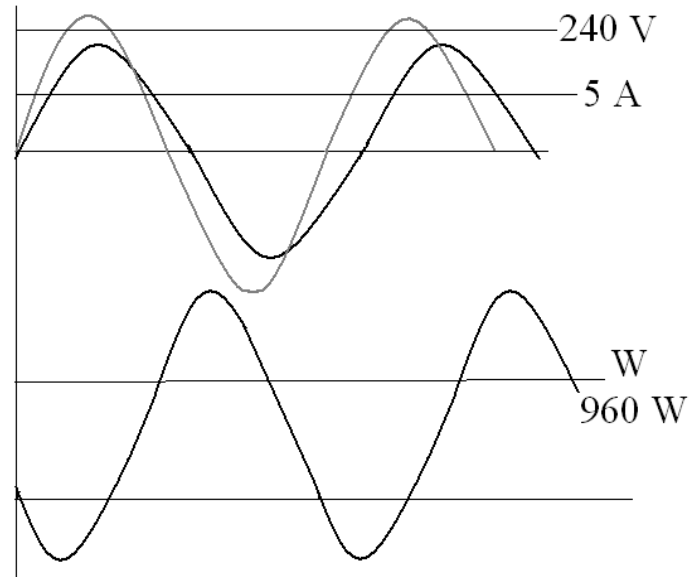
Az elektromos berendezések teljesítményét Watt- ban (W), vagy Voltamper- ben (VA) mérik. Ritkán előfordul, hogy egyszerre használják a kettőt. A berendezések kimeneti teljesítményét az UPS- gyártók általában VA vagy kVA mértékegységben adják meg. Ez az érték azért nagyon fontos, mert megmutatja, hogy az adott szünetmentes áramforrás / UPS pl. áramszünet esetén mekkora maximális terhelést tud folyamatosan

ellátni. Ha a terhelők teljesítménye  $W(\text{att})$ -ban volna megadva, az összehasonlíthatóság, illetve az ellenőrzés érdekében célszerű azt VA- be átszámítani.

- VA és Watt

Az emberek hajlamosak keverni a két kifejezést, azonban a szünetmentes áramforrás / UPS megfelelő megválasztása érdekében nagyon fontos megismerni és megérteni a kettő közötti különbséget. Amint azt a 14.2a. sz. ábra mutatja, a VA teljesítmény a tápfeszültség (V) és az áramerősség (A) szorzatának négyzetes középértéke (RMS), az ún. névleges teljesítmény. A teljesítmény Watt-ban (W) mért értékét úgy kapjuk, ha – a fent ismertetett módhoz hasonlóan a terhelést szorozzuk az egyenáramú (DC) körbe szolgáltatott

áram erősségével ( $V \times A = W$ ). A VA és W értékek bizonyos körülmények fennállása esetén azonosak lehetnek. Például akkor, ha egy tisztán rezisztív terhelésű váltakozó áramú (AC) körben, a hálózati feszültség a terhelő árammal fázisban van (14.2b. sz. ábra). A váltóáramú körhöz kapcsolódó berendezések terhelése gyakran nem lineáris. A váltóáramú terhelések hagyományosan induktív jellegűek, ami gyakran jár azzal, hogy a berendezés feszültsége a tényleges feszültséghez képest késésben van. Ez jól látható a 14.3. sz. ábrán. A VA- ben mért érték azonos a fenti ábrán láthatóval. Ez annak köszönhető, hogy az a feszültség és a hullámforma RMS értékeit a relatív fázisváltozás nem befolyásolja. Látni kell azonban, hogy a hálózati áramerősség görbéje mindkét ábrán megegyezik. Mindazonáltal a 14.3. sz. ábra alsó grafikonja a fentihez képest 80%- os (960W) Wattos teljesítménycsökkenést mutat, míg a VA teljesítmény nem változott. A wattos teljesítménycsökkenés a fáziskapcsolat, az áramerősség és a feszültség görbéje együtthatásának tudható be, ugyanis a  $V \times A$  szorzat eredménye a határértékek ellentétes polaritása miatt negatívvá vált. A 14.3. sz. ábrán ez a jelenség is jól látható. A negatív mezőbe átcusúzott görbeszakasz a teljesítményvesztéget mutatja, vagyis azt a teljesítményt, amely a terhelés ellátása során nem tud hasznosulni. A veszteség a kombinált terhelésre való kölcsönhatás eredményeképpen jön létre, amiért néha Watt nélküli /reaktív/ visszaható stb. veszteségnek is szokás nevezni.



14.3 ábra. VA és Watt viszonya nemlineáris terheléskor

berendezés feszültsége a tényleges feszültséghez képest késésben van. Ez jól látható a 14.3. sz. ábrán. A VA- ben mért érték azonos a fenti ábrán láthatóval. Ez annak köszönhető, hogy az a feszültség és a hullámforma RMS értékeit a relatív fázisváltozás nem befolyásolja. Látni kell azonban, hogy a hálózati áramerősség görbéje mindkét ábrán megegyezik. Mindazonáltal a 14.3. sz. ábra alsó grafikonja a fentihez képest 80%- os (960W) Wattos teljesítménycsökkenést mutat, míg a VA teljesítmény nem változott. A wattos teljesítménycsökkenés a fáziskapcsolat, az áramerősség és a feszültség görbéje együtthatásának tudható be, ugyanis a  $V \times A$  szorzat eredménye a határértékek ellentétes polaritása miatt negatívvá vált. A 14.3. sz. ábrán ez a jelenség is jól látható. A negatív mezőbe átcusúzott görbeszakasz a teljesítményvesztéget mutatja, vagyis azt a teljesítményt, amely a terhelés ellátása során nem tud hasznosulni. A veszteség a kombinált terhelésre való kölcsönhatás eredményeképpen jön létre, amiért néha Watt nélküli /reaktív/ visszaható stb. veszteségnek is szokás nevezni.

### 14.1.3 (PF) Teljesítménytényező (Power Factor)

A teljesítménytényező váltakozó áramú körben a valós és a látszólagos teljesítmény kapcsolataként, más szóval a wattos és a voltamperes teljesítmény hányadosaként írható le.

$$PF = \text{Watt} / \text{VA}$$

Ismerve az áramerősség és a feszültség görbéi egymással bezárt szögének a teljesítménytényezőjét egyszerűen kiszámítható. A 14.3 sz. ábrán a fázisszög  $36^\circ$ . Ennek megfelelően:

$$P (\text{Watt}) = \text{VA} \times \cos 36^\circ = 1200 \times 0,8$$

$$P = 960\text{W}$$

Nyilvánvaló, hogy ha két azonos feszültségű, de eltérő teljesítménytényezőjű (PF) terhelő osztozik egy tápon, a magasabb teljesítménytényezőjű terhelés kevesebb áramot fog felvenni, mint a másik.

### 14.1.4. A szünetmentes áramforrás /UPS teljesítményhatárai

A különböző védelmet nyújtó szünetmentes áramforrások / UPS- ek széles teljesítményhatárok között kaphatóak. A sáv a pár száz VA- es kompakt mikro gépektől, a pár (ezer VA = 1) kVA teljesítményű mini gépeken keresztül a parallelműködésű 3 – 4MW teljesítményű UPS rendszerekig terjed.

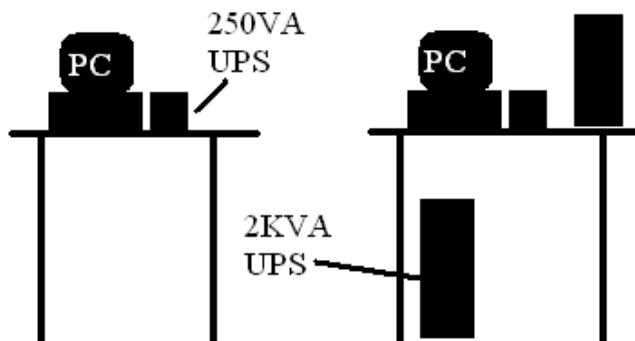
### 14.1.5. Asztali UPS

1, Mikro modellek (max. 250VA)

Az ilyen modelleket általában valamilyen konkrét céllal, valamely eszköz – pl. egy PC – védelmére tervezik. Rendszerint valamilyen kis, egy normál PC méretének a felét is alig kitevő dobozban, vagy toronyban kerülnek elhelyezésre. A kis méretük és súlyuk miatt könnyen mozgathatóak, szállíthatóak.

Az ilyen modellek plug &

play jellegűek, egyfázisúak (230V), jellemzően off- line, ritkábban line- interaktív (kapcsolóüzemű), védelmet nyújtanak. Az ilyen szünetmentes áramforrások / UPS- ek belső akkumulátorral dolgoznak, az akkumulátor által biztosított áthidalási idő külső akkumulátorbővítéssel általában nem növelhető. A mikro szünetmentes áramforrások /



14.4 ábra. Asztali UPS

UPS- ek rendszerint közvetlenül a védendő eszköz mellé kerülnek elhelyezésre, ezért a kommunikációs vagy távriasztási képesség általában nem elvárás velük szemben.

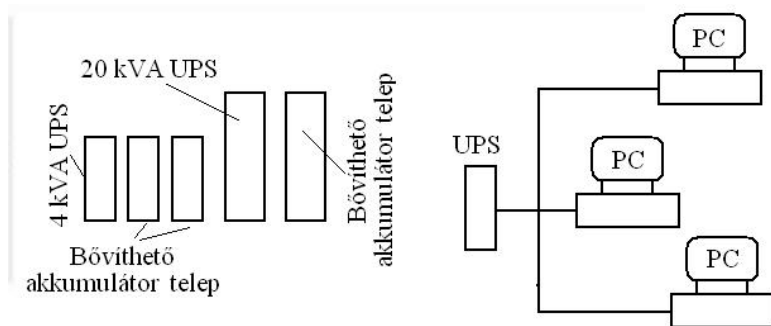
## 2, Mini UPS modellek (500VA – 2000VA)

A mini szünetmentes áramforrások / UPS- ek lényegében alig különböznek a fentebb leírt mikro modellektől. Szintén viszonylag kicsik, kicsi a súlyuk, könnyen mozgathatóak stb. A nagyobb teljesítményük révén mindazonáltal nem csupán egy PC, hanem annak kapcsolt eszközeinek, mint pl. nyomtató, webkamera, scanner stb. ellátására is alkalmasak. A hátlapon a fent már említett aljzatokon felül gyakran további (RJ11 / RJ15 / DB9 / RS232 / USB / AKKU bővítő) csatlakozók is találhatóak. Működési módjuk szerint lehetnek off- line, line- interaktív vagy on- line üzeműek. Szintén belső elhelyezésük az akkumulátorok, de a bővíthetőség nem szokatlan. A bővíthetőségnek az akkumulátortöltő teljesítménye szab határt. Extrém esetben külső akkumulátortöltő is szóba jöhet, az UPS méretezése során azonban ezt is figyelembe kell venni. A mini szünetmentes áramforrások / UPS- ek is rendszerint közvetlenül a védendő eszköz mellé kerülnek elhelyezésre, ezért a kommunikációs vagy távriasztási képesség általában velük szemben sem elvárás. kritikus terhelés esetén azonban előfordulhat, hogy a távlekapcsolás menedzselhetősége érdekében SNMP adapterre van szükség.

### 14.1.6. Közepes teljesítményű UPS (3 – 20kVA)

A közepes méretű szünetmentes áramforrások / UPS- ek nem csupán egy- egy asztali berendezés, hanem nagyobb irodai számítógép, vagy kommunikációs hálózat ellátására szolgálnak. Ezek a berendezések már nem tekinthetők hordozhatónak, sőt úgy vannak tervezve, hogy az elektromos ellátásukra – 5kVA névleges kimeneti teljesítmény felett – külön, állandó vezetéket és külső be- és kimeneti védelmet kelljen kiépíteni. (14.5. sz. ábra)

A nagyobb teljesítményű (rendszerint 10 kVA felett) berendezések háromfázisú betáplálással is rendelhetőek. A kimenet általában egyfázisú, de 10kVA felett lehet



14.5 ábra. Közepes teljesítményű UPS

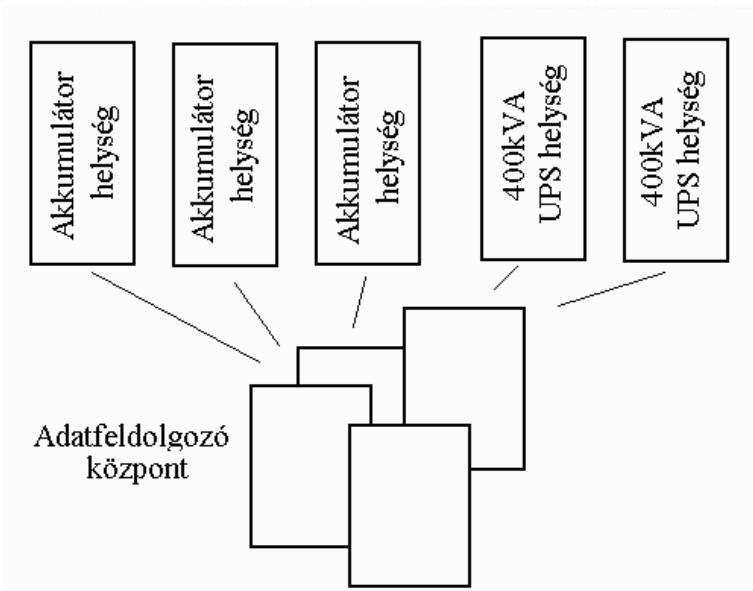
bővíthető. Ilyenkor az akkumulátorok akkumulátorszekrénybe kerülnek elhelyezésre. Az irodai elhelyezhetőségre tekintettel, a gyártók általában igyekeznek a berendezések esztétikus kialakítására.

háromfázisú is. Az áramkiesés áthidalására szolgáló akkumulátorcsoport teljesítménye a néhány perces alap áthidalási időről, amihez az akkumulátorok az UPS- ben vannak elhelyezve, rendszerint akár sok órára is



### 14.1.7. Nagyteljesítményű UPS rendszerek (30 – 300kVA)

A nagyteljesítményű szünetmentes áramforrás / UPS rendszerek nagy számítógépközpontok védelmére szolgálnak. (14.6. sz. ábra) Általában külön helységbe kerülnek elhelyezésre, mivel az állandóan működő hűtőventilátorok, amelyekre a nagy terhelések miatt keletkező fokozott hőterhelés elszállítása miatt van szükség, a szünetmentes áramforrás / UPS működésével járó zajt jelentősen növelik.

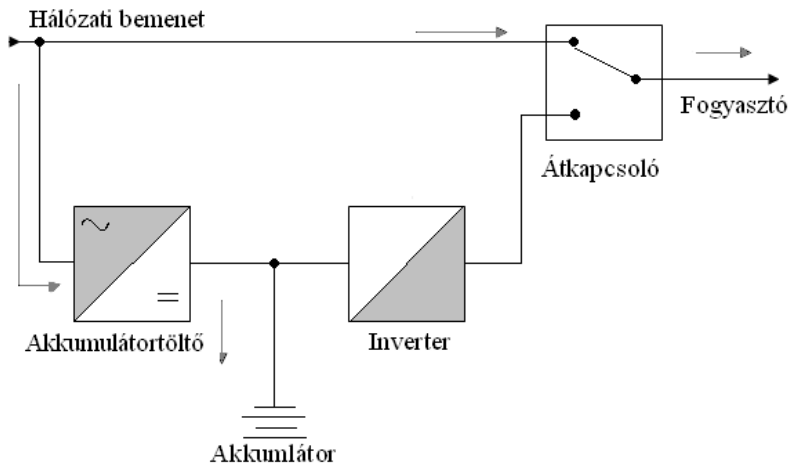


14.6 ábra. Nagy teljesítményű UPS rendszer

Az UPS be- és kimenete külön védelmet, a terhelés elosztása pedig külön elosztószekrényt igényel. Ezek az UPS-ek on-line (folyamatos átalakító) üzeműek, háromfázisú be- és kimenettel rendelkeznek. Az akkumulátorok – gépcsáladtól függően – bizonyos teljesítménytől kezdve, minden esetben külön akkumulátorszekrénybe vagy szekrényekbe kerülnek elhelyezésre, amelyeket nem ritkán az UPS-től távolabb, akkumulátortároló helységben helyeznek el. A harmonikus torzítások csökkentése érdekében némely UPS 12 ütemű egyenirányítóval is ellátható. Ennek elhelyezése gyakran külön szekrényt igényel, amit az UPS közelében kell elhelyezni. Mivel az UPS a felhasználótól fizikailag távol van, általában szükség van ún. távjelzésre. Vannak UPS-ek amelyek alapfelszereltségébe ezek a funkciók beletartoznak, másoknál csupán opcionálisak.

## 14.2. UPS technológiái

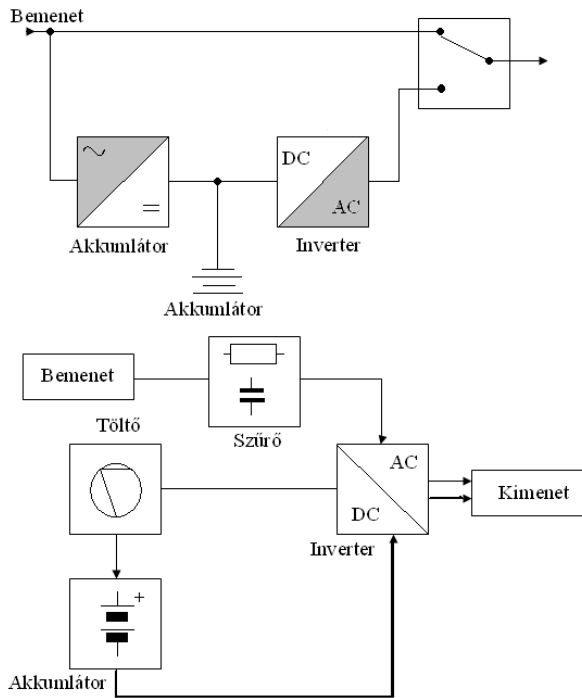
### 14.2.1. Off-line működési elv. (14.7. sz. ábra)



14.7 ábra. Off-line működési elv

Ez a legegyszerűbb szünetmentes tápegység működési mód. A legkisebb kategóriában szinte mindegyik UPS ez alapján működik. Jellemző teljesítménytartomány: 200VA-3000VA. Működési elv a következő: Amíg a hálózat a megengedett határokon belül van (ez

általában  $\pm 10\%$ ) a fogyasztók közvetlenül a hálózatról kapják a táplálást, az akkumulátor csepp-töltésen van. Ebben az esetben a hálózat felől érkező zavarok, feszültségletörések, tranziensek, stb. ellen semmi sem védi a fogyasztókat. Természetesen ezekben a készülékekbe is építenek zavar-sűrőket, túlfeszültség-védő eszközöket, de az ezek által nyújtott védelem minimális. (pl. a túlfeszültség-védelem csak egy teljes rendszer kiépítése esetén lehet hatékony, „B”, „C”, és „D” osztály!). A beépített „D” osztályú védelem önmagában nem képes levezetni egy hálózat felől érkező káros túlfeszültséget. Némelyik készülék rendelkezik feszültség-stabilizátor funkcióval is, így ezek a hálózati feszültség-ingadozását kismértékben korigálni tudják. Hálózathiba



14.8 ábra. Off-line UPS hálózatkimaradás esetén

esetén az inverter (lásd Teljesítményelektronika c. tantárgyban) elindul és a kimeneten lévő általában elektromechanikus kapcsoló (ritkán statikus kapcsoló) átkapcsolja a fogyasztót az inverter kimenetelére. Az inverter kimeneti jelalakja a kisebb

berendezéseknél szinte minden esetben lépcsős, míg a relatíve nagyobb teljesítményűeknél már szinuszos (14.8.sz. ábra).

Természetesen a hálózathiba detektálása és az átkapcsolás nem nulla idő alatt megy végbe. Az átkapcsolás jellemző ideje 4-20 milisecundum között van, tehát nem haladja meg az egy periódust. Ez természetesen a fogyasztóknál (pl. számítógépek) nem jelent problémát.

Előnyei:

- Alacsony beruházási költség
- Csendes üzem ( készenléti –standby – üzemmódban)
- Hatékony

Hátrányai:

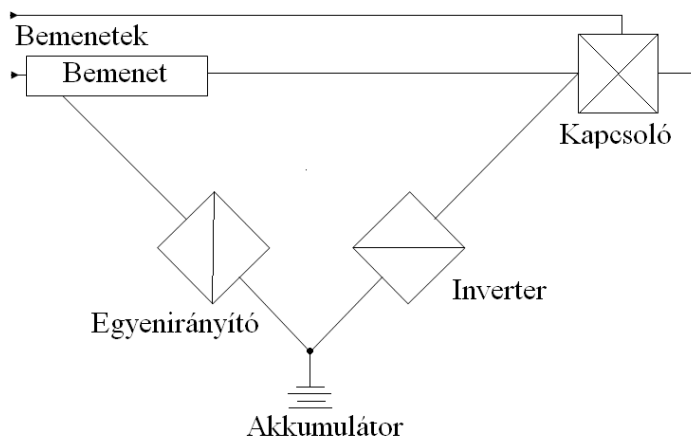
- Csekély hálózati védelem
- A problémák csupán kis része ellen véd
- Kimenő feszültség szabályozhatósága gyenge
- Nem véd az áramerősség ingadozása vagy a túlárammal szemben
- A szolgáltatás az üzemmód változáskor – a kapcsolási idő miatt - rövid időre megszakad
- Nem hibabiztos: Az UPS leállhat, ha túl magas az indítóáram, a készülék túlterhelt, vagy az inverter meghibásodik

Használati terület

- Telekommunikáció
- CAD gépek
- SPS rendszerek
- Kisebb szerverek

### 14.2.2 Egyszeres konverziós működési elv (14.9.sz. ábra)

Az ilyen elven működő szünetmentes tápegységeket nevezik még „DELTA” konverziós UPS-eknek is. Az EN... szabvány nem ismer „DELTA” konverziós működési elvet, csak úgy ismeri, mint egyszeres konverziós elv. A „DELTA” konverzió kereskedelmi fantázianév, nem pedig műszaki kategória. Ez a technika mára elavult, az 1970-es években élvezett fénykora után



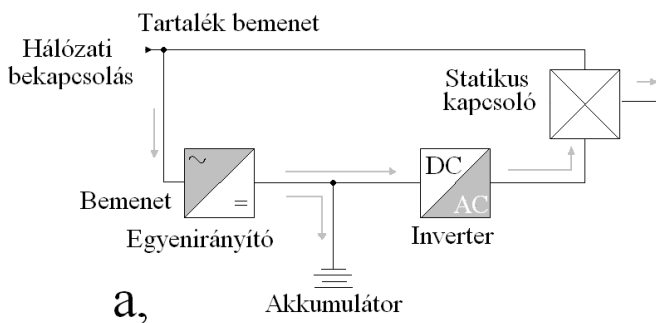
14.9 ábra. Egyszeres konverziós működési elv

napjainkban (már a kilencvenes évek elejétől) minden vezető UPS gyártó abbahagyta a gyártását, és áttért a kettős konverziós szünetmentes tápegységek gyártására.

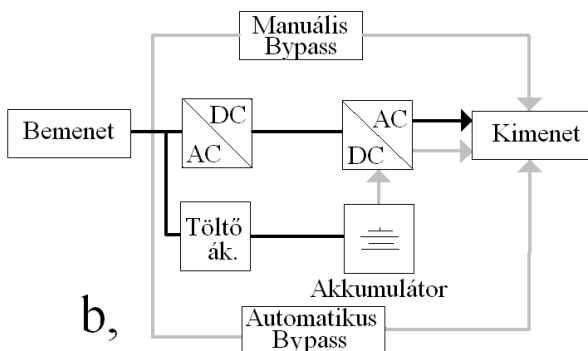
A működése a következő:

Normál működési feltételek esetén a fogyasztók a hálózatról egy soros impedancián és a statikus kapcsolón keresztül kapják az energia ellátást. A kimeneti feszültség stabilitását, és a szükséges meddő és felharmonikus áramot az inverter biztosítja (mivel a fogyasztók általában nem lineáris jellegűek). Az ábrán is jól látható, hogy a fogyasztók nincsenek a hálózattól galvanikusan elválasztva, így az ilyen UPS által nyújtott biztonság is korlátozott. A készülék teljes hatásfoka csak laboratóriumi körülmények (ideális bemeneti feszültség, lineáris terhelés, stb.) között éri el (vagy kismértékben meghaladhatja) a kettős konverziós On-line szünetmentes tápegységek hatásfokát. Mivel a kimenet és a bemenet galvanikus csatolásában van egymással, így a kimeneti frekvencia stabilitása megegyezik a hálózattal. Amennyiben követelmény a nagyobb frekvencia pontosság, akkor rendelkezésre álló hálózat mellett is akkumulátorról fog üzemelni a berendezés, ha a hálózati frekvencia eltér a megengedett értékhatártól. Ez komoly problémákat okozhat aggregátoros üzemeltetés esetén. A frekvencia eltérésekből adódó gyakori akkumulátortöltés/kisütés jelentősen csökkenti az akkumulátor telep élettartamát.

### 14.2.3 On-line technika működési elve



a,



b,

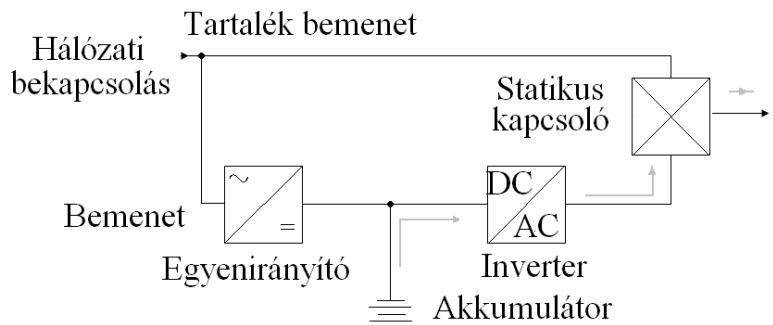
14.10 ábra. On-line UPS normál működéskor és kettős konverzióval

Más néven kettős konverzióknak nevezzük ezt a megoldást. Ez a működési mód nyújtja a felhasználónak a legnagyobb védelmet a hálózati hibákkal szemben. (14.10.sz. ábra)

Működése a következő: A betápláló hálózatot egyenirányítják, majd az egyenfeszültséget újra váltakozó feszültséggé alakítják (ezért nevezik ezt az UPS-t kétszeres konverziós On-line UPS-nek.) A közbenső egyenfeszültségre csatlakozik az akkumulátor telep. A bemenet és a kimenet egymástól galvanikusan el van választva!

Hálózathiba, vagy teljes hálózat-kimaradás esetén az inverter az akkumu-

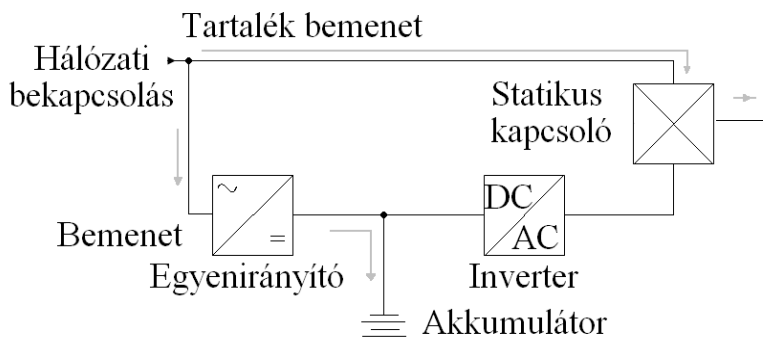
látortelepéből kapja tovább az energiát. Látható, hogy a fogyasztói oldal felől nem érzékelhető hogy az invertert az egyenirányító, vagy az akkumulátor táplálja. Tehát a kimenetre a bemenet



felől semmilyen zavaró hatás nem kerülhet át. A kimeneti feszültség és frekvencia mindig stabil, függetlenül a betápláló hálózat állapotától, és terhelésétől (14.11.sz. ábra).

14.11. ábra. Működés hálózatkimaradás esetén

Amennyiben az inverter meghibásodna, vagy túlterhelés keletkezik a kimeneten, abban az esetben a statikus kapcsoló megszakítás mentesen(!) kapcsolja át a fogyasztókat az inverterről a hálózatra (természetesen ennek feltétele, hogy az inverter



14.12. ábra. On-line UPS inverterhiba, nagy túlterhelés esetén

kimenete szinkronban legyen a hálózattal). Ebben az esetben természetesen mindenféle védelem megszűnik, de amíg a hálózat rendelkezésre áll a fogyasztók továbbra is kapnak energiaellátást (14.12. sz. ábra).

Előnyei:

- Biztonságosabb UPS technológia
- Rövidzár elleni védelem minden típusnál
- Stabil kimeneti feszültség
- Nincs átkapcsolási idő
- Bypass funkció

Alkalmazás:

- Telekommunikáció
- Szerverek
- Mérő berendezések és rendszerek
- Orvosi műszerek (nem életmentő készülékek)
- Ipari és IT alkalmazások

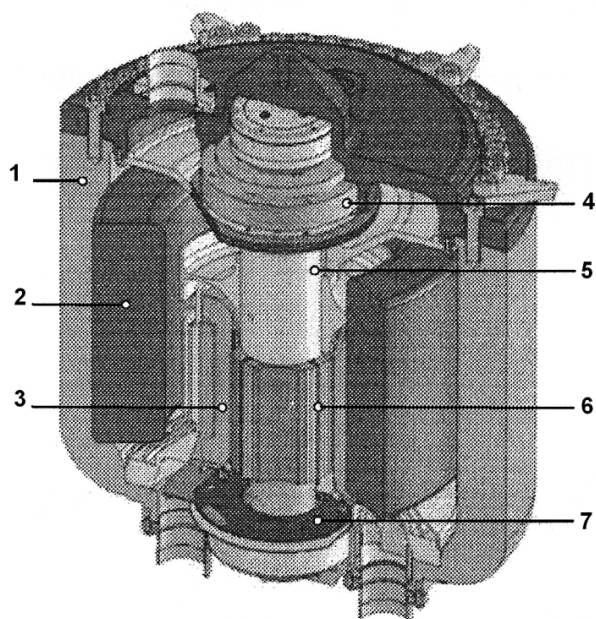
## 14.3. Dinamikus hálózati UPS rendszerek

### 14.3.1 Többirányú betáplálás

A kor szellemének megfelelő félvezető alapú (statikus) szünetmentes áramellátó berendezés, (angol rövidítése: UPS) többé-kevésbé közismert. Köztudott az is, hogy a szünetmentes AC áramellátás a félvezetők előtti korban villamos forgógépekkel (dinamikus UPS) valósult meg. A dinamikus UPS technika természetesen ma is létezik, a prémium igényű (professzionális) fogyasztók ellátásában használatos. Ennek a technikának olyan előnyei vannak, amit a félvezetős rendszerekkel ma még nem tudnak elérni vagy nem gazdaságos, a korábbi hátrányokat pedig sikerült teljesen kiküszöbölni. A Balmex Kft. által kínált Piller gyártmányú dinamikus UPS rendszereken keresztül adunk egy áttekintést erről a kiváló technikáról.

A dinamikus rendszer lényegét adó forgógép egység – egy közös forgórészű szinkron motor-generátor egységből áll – alap kialakításában függőleges tengelyelrendezésű, ami helytakarékos kiépítést és hosszú csapágyélettartamot eredményez. A csapágyak elektronikus felügyeltek, a karbantartásigényük csekély, féléves gyakoriságú. (14.13. sz. ábra) A kefe mentesen kialakított gerjesztés szabályozás eredményeképpen a gépegységben nincs kopó alkatrész. A gép tengelyére szerelt ventilátor a

gépen túl a teljes rendszert is hűti, ez nagyfokú megbízhatóság növekedést és halkabb működést (kisebb légzaj) eredményez. A motor és a generátortekercselés egymástól galvanikusan elválasztott. A gépegység egyszerű robusztus kialakítása rendkívüli megbízhatóságot eredményez, soros rendszer-elemként kompromisszum-mentesen használható. Egy belsőleg redundáns kialakítású rendszer, amelynek megbízhatósága (MTBF >600000 h) nagyobb, mint két párhuzamos statikus UPS megbízhatósága.



- |                               |                              |
|-------------------------------|------------------------------|
| 1. Burkolat                   | 5. Vákuumrendszer            |
| 2. Szén-üvegszálal lendkerék  | 6. Rotor                     |
| 3. Sztátortekercselés         | 7. Alsó mágneses csapágyazás |
| 4. Felső mágneses csapágyazás |                              |

14.13 ábra. Uniblock gépegység

A rendszer a 14.14. sz ábrán jelölt módon négy „biztonsági” szinttel rendelkezik, táplálása lehet közös (egyszeres) vagy kettős.

Zöld(2): Alap üzemállapot. A fogyasztókat a tirisztor kapcsolón keresztül a hálózatról táplált UNIBLOCK gép látja el. A kimenet generátoros szinusz, a fogyasztói felharmonikusokat a gépegység 99 %-os hatékonysággal szűri. A gerjesztés szabályozás állandó kimenő feszültséget biztosít. A rendszer túlterhelhetősége

kiváló, crest faktora közel végtelen. Fogyasztói zárlat esetén 14-szeres árammal, tehát gyakorlatilag hálózat azonos módon tudja kioldani a fogyasztói biztosítót (nem igényli bypass ágon keresztül a hálózat segítségét). A gép saját tehetetlensége

(mágneses és

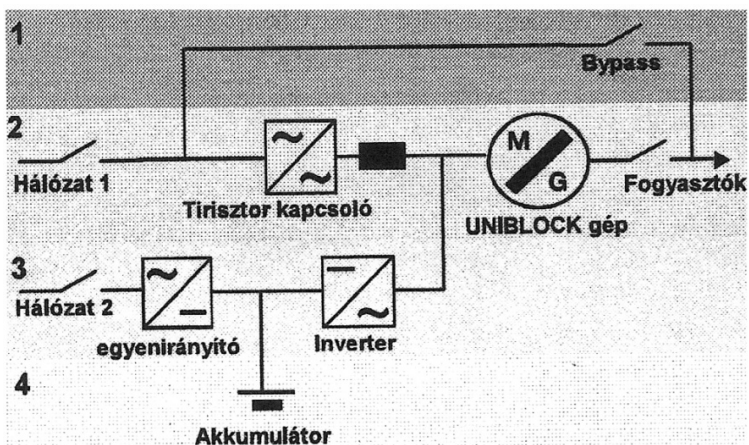
mechanikai) a néhány 10 msec-os hálózati kieséseket önállóan áthidalja.

Kék(3): Alapállapotban az egyenirányító folyamatosan tölti az akkumulátorokat, az inverter üresjárásában szinkron jár az UNIBLOCK gép bemenetével. Az egyenirányító-inverter vonal névlegesen terhelhető alternatív energia útvonalat jelent, tehát beépített redundanciaként viselkedik. Ez az energia útvonal érvényesül akkor is, ha a bejövő hálózati frekvencia kilép a megengedett tőrésből, tehát a fogyasztót függetleníteni kell a hálózati frekvenciától.

Sárga(4): A hálózati betápok kiesése esetén a fogyasztók táplálása az akkumulátor-inverter-UNIBLOCK gép útvonalon keresztül valósul meg. Átkapcsolás nincs, az inverter egyszerűen üresjárásból terhelt állapotba kerül. A választott akkumulátor kapacitása szabja meg az áthidalási időt.

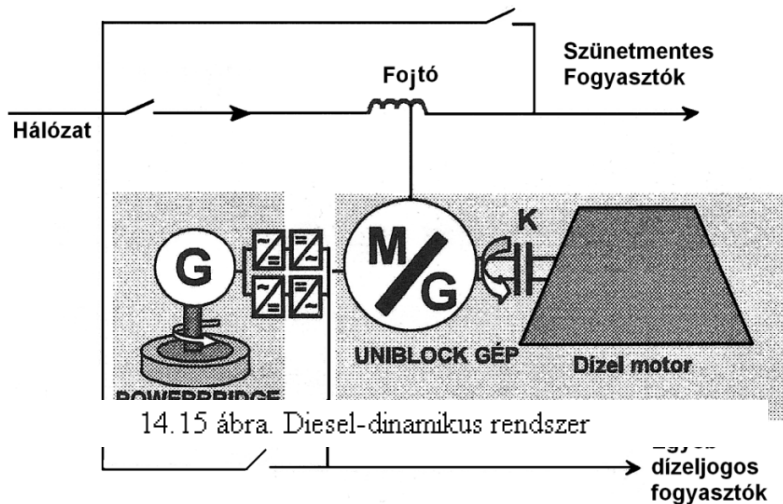
Szürke(1): Tartalék ill. szükség redundancia. Automatikus bypass egység, szerepe leginkább a karbantartásoknál jelentkezik.

Megbízhatóság: Legfőbb hordozói: a robosztus UNIBLOCK gépegység, a belső rendszer-technikai felépítés (belső redundancia), a redundáns vezérléstechnika (a teljesítmény-elektronikai egységek önálló vezérlései), a robosztus és egyszerű teljesítményelektronika (mindhárom egység a legegyszerűbb természetes kommutációjú tirisztorhidakból épül fel).



14.14 ábra. 4 biztonsági szinttel rendelkező táplálás

### 14.3.2 Diesel – dinamikus rendszer (14.15. sz.ábra)



Kézenfekvő megoldás, hogy nagy teljesítmények esetén már nem akkumulátor hegyeket alkalmazunk a hálózat-kimaradás áthidalására, hanem dízel aggregátot. Működés: A megoldás lényege, hogy az UNIBLOCK gépegyeséget egy túlfutó tengelykapcsolón (K) keresztül egy dízelmotor (csak

motor) tengelyére csatlakoztatjuk, (természetesen módosított fekvő kivitelben) az egyéb villamos kötések változatlanok. Alap állapotban (ameddig van hálózati áramellátás) a dízelmotor áll, a rendszer többi része a korábban leírt módon működik. A rövid hálózat-kimaradásokat a rendszer a dízel indítása nélkül kezeli. Hosszabb kimaradás esetén (ha a beállított idő lejárt) a motor parancsot kap az indulásra, és üresen felfut. Fontos hangsúlyozni, hogy a dízel tengelyét a felfutás alatt semmilyen tehetetlen tömeg (pl. generátor) nem terheli. A megfelelő dízel fordulatszám elérésekor a motor összekapcsolódik az UNIBLOCK gép tengelyével és elkezdheti azt hajtani. Ezt követően a vezérlő elektronika a terhelést az energiátárolóról lágyan „átúsztatja” a dízel tengelyére. A felfutás és terhelés átadás dízelmotortól függően 5 és 9 sec között zajlik le. A rendszer az ábrán látható módon (egy beépített átkapcsolón keresztül) második kimenettel is ellátható. Erre a második kimenetre lehet kötni az egyéb hagyományos dízeljogos fogyasztókat (pl. klímák). A dízel-dinamikus berendezés kevesebb alkatrészrel és vezérelt terhelésátadással valósítja meg az áramellátó rendszert, ezáltal megbízhatósága lényegesen magasabb, mint a hagyományos rendszereké. További kiemelendő előnye, hogy kisebb helyszükséglettel telepíthető.

A bemutatott dinamikus rendszerek teljesítménytartománya: 150 kVA – 1670 kVA. A bemutatott berendezések a legfelső kategóriát képviselik, osztott digitális vezérlésűek, a felhasználónak a ma elvárt teljes kezelési-szolgáltatási skálát kínálják. A kialakítás szempontja az igazán kényes fogyasztók igényeinek kielégítése volt. Természetesen léteznek más kialakítású dinamikus rendszerek is, mindenképpen alapos tájékozódást javasolunk egy esetleges választás előtt.



## 14.4 UPS Fogalomtár

- Akkumulátor üzemideje: Élettartamként, az UPS-ekben lévő akkumulátorok esetében névleges felhasználhatóságként is meghatározott időtartam, amely alatt egy akkumulátor a tárolás és a hőfejlődés következtében fellépő kapacitásvesztés ellenére még kielégítő kapacitással rendelkezik a feladat ellátásához.
- AVR: Automatikus feszültség szabályozás, UPS-eknél általában valamilyen elektronika vagy relé (átkapcsolható transzformátortekercselés), ritkábban állítótranszformátor segítségével történik. Bizonyos határok között, a szabványos  $\pm 10\%$ -os feszültségeltéréseken felül is lehetővé teszi az UPS-be bevezetett váltóáram hasznosíthatóságát.
- Áramkezelők: Max.  $\pm 25\%$ -os feszültségingadozás kiegyenlítésére szolgáló berendezések köznyelvi elnevezése. Ezek lehetnek: mágneses vagy elektromos elven működő feszültség stabilizátorok, egyszerű állítótranszformátorok vagy szűrők. Működhetnek az UPS-be integrálva, vagy azon kívül. Line-kezelőnek is szokás nevezni.
- Áthidalási idő: Az a legkisebb időtartam, ameddig az UPS (meghatározott működési körülmények fennállása esetén) a rákapcsolt készülékek, berendezések működtetéséhez szükséges energiát biztosítja.
- Black Out: Teljes áramkimaradás.
- Boost Converter: Olyan egyenáramú szabályozó (DC/DC), amely a kimeneti feszültséget a bemeneti feszültségnél magasabbra erősíti és szükség esetén szabályozza.
- Booster, indító fokozat: Pótlólagos feszültség, feszültség erősítő, a kimeneti feszültség növelésére elektronikus kapcsolások használata esetében.
- Brown Out: Rövid ideig tartó hálózati feszültségcsökkenés.
- Bypass: Az UPS-t kikerülő áramkör.
- CFR-Technika: Controlled-Ferro-Resonante-Power-USP. Olyan USP, amelynek a tulajdonságait egy a ferrozonancia elvén működő, szabályozott feszültség stabilizátor határozza meg.
- Chopper: Szó szerint: szaggató, 1) egyenáramú szabályzó, 2) szakaszos működésű egyenirányító része, amely az egyenáramot megszakító tranzisztorkapcsolóból és egy utána kapcsolt potenciálleválasztó transzformátorból áll.
- Converter: Energia átalakító
- Crestfaktor (Csúcsfeszültség faktor): A feszültségcsúcs és tényleges értékének a viszonya. Az UPS-re kötött berendezések közös crestfaktorát úgy állapítjuk meg, hogy a csúcsfeszültségek összességét viszonyítjuk a tényleges feszültségek összességéhez. Az összesített érték nem lehet magasabb az UPS adatlapjában megadott értéknél.
- Csúcsfeszültségfaktor: A feszültségcsúcs és tényleges értékének viszonya. Az UPS-re kötött berendezések közös crestfaktorát úgy állapítjuk meg, hogy a csúcsfeszültségek összességét viszonyítjuk a tényleges feszültségek összességéhez. Az összesített érték nem lehet magasabb az UPS adatlapjában megadott értéknél.
- DC-UPS: Szünetmentes egyenáram szolgáltatás. A kettős konverzióval ellentétben ez a készülék nem rendelkezik DC/AC átalakítóval.

- Dual/Double Conversion: Kettős konverzió (átalakítás). Egyen- és váltakozóáramra való átalakítás céljából külön átalakítókkal rendelkező klasszikus, valódi On-line technológiájú UPS.
- ECE Energy Change-: Energia irányváltó berendezés, ld. még Bypass.
- Együttléti Üzem mód: A fogyasztó ellátása, zavarmentes üzem esetén, közvetlenül a hálózatról történik. Az Off-line üzemben az inverter általában csak üresen együttléti (együttléti üzem mód, aktív készenléti üzem mód). Hiba esetén az UPS inverter üzemmódra vált. Az inverter az akkumulátorban tárolt egyenáramú energiát váltakozóáramúra alakítja át és a fogyasztó erről működik. (Hálózati üzemmódról inverter üzemmódra átkapcsolás minimum 4 sec.)
- EMC: Elektromágneses összeférhetőség. Az elektromágneses zavarok nemkívánatos jelenségek, amelyek az UPS-t, vagy a fogyasztókat zavarhatják, illetve általuk keletkezhetnek. Azon berendezések, amelyek ezen zavarokat törvényben meghatározott mérték alá csökkentik elektromágneses zavarok szempontjából összeférhetőnek tekintendők. Az összeférhetőség biztosítása érdekében különbözőképpen felépített szűrők is kaphatóak.
- Félterheléses-Parallelüzem: Parallelredundáns szünetmentes áramszolgáltatásnak is nevezik. Két azonos teljesítményű UPS párhuzamos kapcsolása oly módon, hogy normál üzemmódban mindkettőre a terhelés 50%-a jut. Bármelyik UPS kiesése esetén a másik átveszi a teljes terhelést.
- Ferro-Resonance-Power UPS: Olyan UPS, amelynek a tulajdonságait egy a ferrozonancia elvén működő, szabályozott feszültség stabilizátor határozza meg. Jellemző tulajdonságok: szinuszos kimeneti jel, kis energiamennyiségű töltés hálózati kimaradás esetén.
- Feszültségcsúcs: Rövid ideig fellépő, I's nagyságrendű túlfeszültségek, amelyek rövidzárlat, hálózati kapcsolások vagy villámcsapások VDEO 160 szerint egy 400 V-os hálózatban a megengedett legnagyobb feszültségcsúcs 1300V.
- Galvanikus szétválasztás: Transzformátor, amely teljesen szétválaszt két áramkört. Nincsen közvetlen kapcsolat a vezető anyaggal, mint pl. vassal vagy rézzel. (Alkalmazási területek: leválasztó transzformátorok, DI-boxok stb)
- Hálózat visszakapcsoló berendezés: A fogyasztónak a hálózatra vagy az inverterre történő átkapcsolására szolgál. Amíg a kisebb UPS-ek esetében az átkapcsolás csupán a kontaktus meglétének múlik, nagyobb teljesítmény esetén tirisztor-vezérlésű, elektromos kapcsolókat alkalmaznak. Bypass.
- Hatásfok: A tényleges kimeneti teljesítmény viszonya a tényleges bemeneti teljesítményhez, előre meghatározott üzemviszonyok között, akkumulátorokkal történő energiacsere nélkül.
- Kölcsönös indukció: A beérkező áram egy tekercsen átfolyva mágneses mezőt hoz létre, amely egy másik szomszédos tekercsben, közvetlen elektromos kapcsolat nélkül, szintén feszültséget hoz létre.
- Internal Shut Down: Kikapcsolja az UPS-t, ha az elérte a mélykisütés határát. Ha a számítógépet és a perifériákat az adatvesztés elkerülése érdekében szabályozott módon kell kikapcsolni, akkor ennek az UPS kikapcsolódása előtt kell megtörténnie. Ezt hívjuk a rendszer lelövésének, amelyet egy speciális szoftver végez el.

- Inverter: Egyenáramot váltóárammá alakít át.
  - Irányváltós áramátalakító: A ráfordítások csökkentése érdekében bizonyos UPS gyártók a berendezéseiket irányváltós áramátalakítóval szállítják. Az ilyen elven működő UPS-ek nem ritkán (műszakilag pontatlanul), (4-Quadráns-irányítás vagy irányváltós inverter) elnevezéssel is forgalomba kerülnek.
  - Kapcsolási idő: Az az időtartam, amely a kapcsolás megkezdésétől a kapcsolás megtörténteig tart.
  - Kapcsoló berendezés: A fogyasztónak a hálózatra vagy az inverterre történő átkapcsolására szolgál. Amíg a kisebb UPS-ek esetében az átkapcsolás csupán a kontaktus meglétének múlik, nagyobb teljesítmény esetén tirisztor-vezérlésű, félvezetős kapcsolókat alkalmaznak.
  - Bypass. Kerülőág: Egyenirányító és inverter megkerülését szolgáló, általában bypassnak nevezett útvonal alternatíva szabványos elnevezése.
  - Készenléti redundáns UPS: Redundáns UPS, amelyben egy vagy több UPS-csoport készenléti állapotra van kapcsolva arra az esetre, ha az egyikük kiesne.
  - Készenléti üzemmód: A fogyasztó ellátása, zavarmentes üzem esetén, közvetlenül a hálózatról történik. Az Off-line üzemben az inverter általában csak üresen együttfut (együttfutó üzemmód, aktív készenléti üzemmód). Hiba esetén az UPS inverter üzemmódra vált. Az inverter az akkumulátorban tárolt egyenáramú energiát váltóáramúra alakítja át és a fogyasztó erről működik. (Hálózati üzemmódról inverter üzemmódra átkapcsolás minimum 4 sec.)
  - Kikerülés: Egyenirányító és inverter megkerülését szolgáló, általában bypassnak nevezett útvonal alternatíva szabványos elnevezése.
  - Kimeneti rövidzárlati áram: Az az áram, amely rövidzárlat esetén az UPS kimenetein folyik keresztül.
- Kimeneti teljesítmény: Általában a látszólagos teljesítményt és a megengedett legkisebb teljesítményfaktort szokás megadni. A tényleges teljesítmény (összeadódó részteljesítmények), amely a kimeneti csatlakozókon folyamatos vagy részleges terhelésként megadásra kerül.
- Kommutálás: Az áram az egyenirányító egyik ágáról a másikra vált. A kommutáció közben minkét ág egyidejűleg vezeti az áramot (átfedési idő).
  - Leválasztó transzformátor: minden színpadon, vagy stúdióban lévő, nem beépített erősítőt, billentyűs hangszert külön leválasztó transzformátor segítségével kell a hálózatra csatlakoztatni abból a célból, hogy a különböző berendezések, mikrofonok és áramkörök között ne épülhessenek fel veszélyes feszültségek. Kapcsolási módtól függően, bizonyos közvetítő kocsik is leválasztó transzformátoron keresztül vannak a hálózatra kapcsolva.
  - Line conditioner: A feszültségingadozásokat kiegyenlítő áramkezelés másképpen kifejezve.
  - Load: Terhelés, terhelő ellenállás.
  - Load power factor: A fogyasztó/terhelés teljesítmény tényezője.
  - Megbízhatóság: Általánosságban használt minőségi mutató, amely statikus módon mutatja egy berendezés vagy rendszer meghibásodásra való hajlamosságát. (ld. még MTBF).

- Meghibásodási tényező: Annak a valószínűsége, hogy egy adott időpontban működő rendszer az elkövetkező időintervallumban meghibásodik.
- Megszakítási idő: Az az időtartam, amely alatt a kimeneti feszültség a tűréshatáron belül marad. Ennek megfelelően, a megszakítási idő hosszabb, mint a kapcsolási idő, és jelentős mértékben függ a szabályozás sebességétől. Off-line UPS-re jellemző.
- Monitoring: Felügyelet; az UPS esetében a készülékbe integrált a felügyeletet megvalósító opto- és mikroelektronika összessége, különös tekintettel a számítógépekkel, szerverekkel és távvezérlési berendezésekkel való együttműködést lehetővé tevő eszközökre.
- MTBF (Mean time between failure): Órában kifejezett, megengedett érték, amely egy bizonyos gyártmányra vonatkozóan mutatja, hogy két meghibásodás között statisztikailag mérve mennyi idő telik el.
- Off-line UPS: A fogyasztó ellátása, zavarmentes üzem esetén, közvetlenül a hálózatról történik. Az Off-line üzemben az inverter általában csak üresen együttfut (együttfutó üzemmód, aktív készenléti üzemmód). Hiba esetén az UPS inverter üzemmódra vált. Az inverter az akkumulátorban tárolt egyenáramú energiát váltóáramúra alakítja át és a fogyasztó erről működik. (Hálózati üzemmódról inverter üzemmódra átkapcsolás minimum 4 sec.)
- On-line UPS: A fogyasztókat zavarmentes üzem esetén is a kerülőági inverter látja el energiával (tartós üzem). Áramhiba esetén az energiaellátás, szünetmentesen, az akkumulátorokról történik.
- Redundancia: Egy rendszer azon tulajdonsága, hogy egy bizonyos funkció ellátására több lehetőséggel rendelkezik.
- Redundancia fok: Ha  $n$  parallel kapcsolt elem közül  $k$  redundáns (azaz  $n-k$  elem tudja a kívánt funkciót ellátni, akkor) a rendszer redundancia foka  $n-(n-k)$
- Részlegesen parallel UPS: UPS parallel működésű inverterekkel közös akkumulátorral és/vagy közös egyenirányítóval vagy azok kombinációjával.
- Részlegesen redundáns UPS: Inverter és/vagy más komponensek redundánsok.
- Rövidzárlati áram: Az az áram, amely rövidzárlat setén az UPS kimenetein folyik keresztül.
- Single Conversion: Egyszeri konverzió, átalakítás (ld. még kerülőági egyenirányító)
- Single-UPS: Egy szünetmentes blokkal rendelkező UPS szabványos megnevezése.
- Spikes: Rövid ideig fellépő, több nagyságrendű túlfeszültségek, amelyek rövidzárlat, hálózati kapcsolások vagy villámcsapások VDEO 160 szerint egy 400V-os hálózatban a megengedett legnagyobb feszültségsúcs 1300V.
- Standby: A fogyasztó ellátása, zavarmentes üzem esetén, közvetlenül a hálózatról történik. Az Off-line üzemben az inverter általában csak üresen együttfut (együttfutó üzemmód, aktív készenléti üzemmód). Hiba esetén az UPS inverter üzemmódra vált. Az inverter az akkumulátorban tárolt egyenáramú energiát váltóáramúra alakítja át és a fogyasztó erről működik. (Hálózati üzemmódról inverter üzemmódra átkapcsolás minimum 4 sec.)
- Statikus Bypass: Static switch, elektromos átkapcsoló, úa. mint a bypass.

- Statikus UPS: Egyenirányítók, kapcsolók és akkumulátorok önálló áramszolgáltató rendszert alkotó kombinációja. A váltakozóáram kiesése esetén a fogyasztók tartós üzemeltethetőségét biztosítja, szükség esetén javítja az áramszolgáltatás hibáit.
- Surge protection: Túlfeszültség (elleni) védelem
- Switching power supply: Gyorsan kapcsoló tranzisztorokkal ellátott egyenirányító, amelyet (a maga széles körben elterjedt formájában) elektromos készülékek áramellátására használnak.
- Szinkronizálási tartomány: Megadja, hogy az inverter frekvenciája a frekvenciával milyen tűréshatárokon belül szinkronizálható, illetve szinkronizálандó (részben az UPS-en is beállítható). Ha a megadott tűréshatárokat az inverter túllépi, elveszti a hálózattal való szinkronját. Ilyenkor megszűnik a kerülőági üzemelés lehetősége.
- Tartós üzem: Az UPS-re kapcsolt fogyasztók a kerülőági AC/DC□DC/AC átalakítókön keresztül kapják a szünetmentes áramot.
- Tartós, folyamatos, szünetmentes áramszolgáltatás: Valamilyen terhelést tartósan üzemeltető áramszolgáltatás, amelynek során a feszültség- és frekvenciaértékek előre meghatározott határok között maradnak. A feszültség torzításának és a rövid ideig tartó megszakításoknak az előre megállapított határok között kell maradnia.
- Torzítási tényező: Az összes felharmonikus tényleges értékének a viszonya a váltóáramú feszültség összesített tényleges értékéhez, %-ban kifejezve. A feszültségnek a szinusz hullámtól való eltérését mutatja.
- Total harmonic: Ld. torzítási tényező, felharmonikusok okozta össztorzítás.
- Tranziensek: Rövid ideig fellépő, több nagyságrendű túlfeszültségek, amelyek rövidzárlat, hálózati kapcsolások vagy villámcsapások VDEO 160 szerint egy 400V-os hálózatban a megengedett legnagyobb feszültségcsúcs 1300V.
- UPS: Az UPS az angol Uninterrupted Power Supply kifejezés nemzetközileg elterjedt rövidítése, szünetmentes áramforrást, áramszolgáltatás jelent.
- UPS feszültségtűrése, kimeneti feszültség: A kimeneti feszültség eltérése statikus üzem és meghatározott, hirtelen terhelés (dinamikus üzem) esetén. Fontos jellemző az az idő, amely alatt a dinamikus terhelés hatására létrejött feszültségeltérés a normális értékre visszaáll.
- UPS teljesítménye: Általában a látszólagos teljesítményt és a megengedett legkisebb teljesítményfaktort szokás megadni. A tényleges teljesítmény (összeadóó részteljesítmények), amely a kimeneti csatlakozókön folyamatos vagy részleges terhelésként megadásra kerül.
- Újratöltési idő: Az a legrövidebb időtartam, amely a kisütött akkumulátor teljes feltöltéséhez szükséges, amennyiben az UPS előre meghatározott feltételek mellett üzemel.

## Irodalom

1. <file:///D:/er%C5%91m%C5%B1vek/energ5.htm>
2. <http://hu.wikipedia.org/wiki/V%C3%ADzier%C5%91m%C5%B1>
3. Gööz Lajos – Kovács Tamás: Vízenergia.
4. <http://www.ibela.sulinet.hu/termtud/energia/vizenergia.htm>
5. Energia felhasználó kézikönyv Szerkesztő: Dr. Barótfi István
6. Horváth Árpád: Korok, Gépek, Feltalálók Gondolat 1964.
7. Dr. Rosta István: Fejezetek Magyarország technikátörténetéből Nemzeti Tankönyvkiadó 1995.
8. A. A. Zvorikin – N. I. Oszmova – V. I. Csenisev – Zs. V. Suhargyin: A technika története Kossuth 1964.
9. Rosemary Burton – Richard Cavendish: A világ száz csodája
10. Környezetvédelmi Lexikon
11. AMPIR Natural Energy: Equipment Catalogue
12. [www.muszeroldal.hu](http://www.muszeroldal.hu)
13. Kerti Lajos: Villamos vontatás. Tankönyvkiadó, Budapest. 1990.
14. Lengyel György: Villamosenergia ellátás. Tankönyvkiadó, Budapest. 1982.
15. Dr. Liska József: Villamos gépek II. Tankönyvkiadó, Budapest. 1966.
16. Dr. Liska – Retter: Váltakozó áramok elmélete I. Tankönyvkiadó, Budapest. 1958.
17. Dr. Liska – Retter: Váltakozó áramok elmélete II. Tankönyvkiadó, Budapest. 1970.
18. Dr. Oláh Ferenc: Hajóvillamosság I. Nemzeti Tankönyvkiadó 1992.
19. Dr. Oláh Ferenc: Hajóvillamosság II. Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest. 1992.
20. Néveri, I.: Villamos Kapcsolókészülékek. Kézikönyv. Műszaki könyvkiadó. Budapest 1984.
21. Stefányi, I.- Szandtner, K.: Villamos Kapcsolókészülékek (nívódíjas jegyzet) Tankönyvkiadó. Budapest 1991. J5- 1309.
22. Farkas, L.- Kádár, I.- Koller, L.- Szedenik, N.- Vajda, I.: Elektrotechnika. Jegyzet az akkreditált iskolarendszerű felsőfokú szakképzés számára. BME. Budapest. 1997.
23. Farkas, L.- Kádár, I.- Koller, L.-Szedenik, N.- Vajda I.: Elektrotechnika. Jegyzet az energetikai mérnökasszisztens akkreditált iskolai rendszerű felsőfokú szakképzés számára. Budapest. 1998.
24. Dr. Kloknicer Imre – Dr. Kohut Mátyás: Elektrotechnika I (akkumulátorok). BME. Közlekedésautomatikai Tanszék. 2004.
25. Dr. Gács Iván: Villamosenergia – termelés. BME. Energetikai Gépek és Rendszerek Tanszék. 2003.
26. Frigyes Andor – Schnell László – Szita Iván – Tuslerák Róbert: Elektrotechnika. Tankönyvkiadó. Budapest. 1959.
27. Baumann Pál: Villamos szerelőipari kézikönyv. Műszaki Könyvkiadó. Budapest. 1978.
28. Abapi – Asztalos – Bogdán – Hörcher – Szita: Villamos forgógépek. Műszaki könyvkiadó. Budapest. 1960.
29. Kádár Béla: Erősáramú zsebkönyv. Műszaki kiadó. Budapest. 1981.

30. Bíró K. – Ziegler E.: Egyen és váltóáramú elektromotorok. Táncsics Könyvkiadó. 1957.
31. Balázs I. – Horváth I.: Villamos kapcsolások. Műszaki könyvkiadó. Budapest. 1980.
32. VIV villanszerelési technológiák. Franklin Nyomda. Budapest. 1983.
33. Dr. Néveri István: Villamos kapcsolókészülékek. Kézikönyv. Műszaki Könyvkiadó. Budapest. 1984.
34. Dr. Ripka Gábor: Elektronikai technológia. Tankönyvkiadó. Budapest. 1991.
35. Bánfai Gy. – Detrich J. – Gárdonyi J. – Koncnyh J. – Méhes Cs. – Molnár J. – Tolnai Gy. – Tőkés Gy.: 36. Erőművek és alállomások villamos berendezése. Műszaki Könyvkiadó. Budapest. 1976.
37. Deák Molnár Imre: Villamos gépek kezelése. Műszaki Könyvkiadó. 1976.
38. Kaminszkij – Filatov: Csillag-háromszög-zegzugkapcsolás. Fáziskeresés. Műszaki Könyvkiadó. Budapest. 1982.
39. Szemerey – Bozzay: Transzformátorok üzeme. Műszaki Könyvkiadó. Budapest. 1962.
40. Verebély László: Villamos erőátvitel I. kötet. Műszaki Könyvkiadó. Budapest. 1960.
41. Póka Gyula előadásai BME – VMT. 2008.
42. Danyek M. – Gazdag F. – Handl P.: Távolsági védelmek vizsgálata korszerű módszerekkel. BME. 2000.
43. Hungarian Copper Promotion Centre – Magyar Rézpiaci Központ anyagai. 2001.
44. David Chapman: Villamosenergia – Minőség – Alkalmazási Segédlet. 2006
45. Siel Inczedy és Társa Kft – Szünetmentes tápegységek... 2007.
46. Biotronix Energiatechnika: Szünetmentes áramforrás 2008. [www.biotronix.hu](http://www.biotronix.hu)
47. Balmex Kft: Szünetmentes áramellátás 2007. [www.balmex.hu](http://www.balmex.hu)
48. Tényi V. Gusztáv: Villamos energetika I. előadás. 2006
49. Abaffy Zsuzsa : Az akkumulátorok világa. Chip magazin. 2006.

## Tartalomjegyzék

1. Bevezetés .....	6
2. Energiaellátás alapfogalmai.....	9
3. Erőművek.....	21
3.1. Hőerőművek főbb üzemi jellemzői és főberendezései.....	21
3.2. Gőzturbinás erőművek.....	21
3.3. Gázturbinás erőművek.....	23
3.4. Hőerőművek főbb elemei .....	24
3.5. Atomerőművek.....	29
3.6. Vízierőművek.....	34
4. Villamosenergia hálózatok.....	38
4.1. Bevezetés.....	38
4.2. Országos villamosenergia ellátó rendszer.....	41
4.2.1. Energiaellátás elvi kérdései.....	41
4.2.2. Az energiaellátás üzembiztonsága, feszültségtartás .....	41
4.2.3. Alap és főelosztó hálózat .....	42
4.2.4. Alállomások.....	46
4.3. Hálózattípusok.....	47
4.3.1. Sugaras hálózat.....	47
4.3.2. Gyűrűs hálózat.....	48
4.3.3. Íves hálózat.....	48
4.3.4. Körvezeték .....	49
4.3.5. Párhuzamos hálózat.....	49
4.3.6. Hurkolt hálózat.....	49
4.3.7. Hálózatrendszerek .....	50
4.4. Hálózat méretezése.....	51
4.4.1. Méretezés feszültségesésre .....	51
4.4.2. Méretezés teljesítményvesztésre .....	51
4.4.3. Egy oldalról táplált egyszerű nyitott vezeték méretezése....	52
4.4.4. Méretezés egyenletes terhelés esetén .....	53
4.4.5. Sugaras vezeték méretezése.....	54
4.5. Hálózatok csillagpontja .....	55
4.5.1. Földeletlen csillagpontú (szigetelt) hálózat .....	56
4.5.2. Földelt csillagpontú hálózat .....	56
5. Zárlatok.....	58
5.1. Zárlat keletkezése.....	58
5.2. A hálózati zárlatok típusai .....	58
5.3. Zárlati áramok időbeni lefolyása .....	59
5.3.1. Szinkrongépek zárlatai.....	59
5.4. Záratszámítás alapelvei.....	62
5.4.1. Záratszámítás a reaktanciák ohmos értékeiből.....	63
5.4.2. Záratszámítás a reaktanciák százalékos értékeiből.....	65
5.5. Zárlat korlátozása fojtótekerccsel .....	65
5.5.1. Előnyök, hátrányok.....	67



5.6. Szigetelt csillagpontú hálózat földzárata.....	69
5.6.1. Ívelő zárlat.....	70
5.6.2. Földzárlat kompenzálás .....	70
6. Védelem működésének alapjai, típusai.....	72
6.1. Szelektív zárlatvédelem.....	72
6.2. Érzékelés és mérés.....	73
6.3. Védelem fokozatai.....	73
6.4. Védelem beállítása sugaras hálózatokban.....	74
6.4.1. Gyorsfokozat beállítása.....	74
6.4.2. Késleltetett fokozat beállítása .....	75
6.4.3. Visszakapcsoló automatika .....	76
6.4.4. Védelmek típusai és eszközei .....	76
7. Fázisjavítás.....	98
7.1. Fázisjavításról általában.....	98
7.2. Kompenzálás módjai .....	99
7.2.1. Egyedi kompenzáció.....	99
7.2.2. Csoportos kompenzáció.....	101
7.2.3. Központos kompenzáció.....	102
8. Transzformátorok.....	104
8.1. Egyfázisú transzformátorok működési elve .....	104
8.2. Terhelési állapotok vektorábrái.....	107
8.3. Transzformátorok csoportosítása.....	111
8.4. Transzformátorok gerjesztő árama.....	113
8.5. Háromfázisú transzformátorok .....	115
8.6. Kapcsolási csoportok.....	116
8.7. Párhuzamos üzem.....	118
8.8. Különleges transzformátorok.....	120
9. Szinkrongépek.....	123
9.1. Működési elv és felépítés.....	123
9.2. Szinkron gépek alkalmazási területei.....	126
9.3. Indukált feszültség.....	127
9.4. Hálózatra kapcsolás .....	127
10. Gyűjtősínek.....	129
10.1. Gyűjtősín rendszerek .....	129
11. Akkumulátorok .....	132
11.1 Bevezetés.....	132
11.2. Ólomakkumulátorok.....	133
11.3. Lúgos akkumulátorok.....	137
11.4. Savas és lúgos akkumulátorok összehasonlítása .....	140
11.5. Töltési üzemmódok .....	142
11.6. Lítium akkumulátorok .....	145
11.7. Nátrium – kén /(NaS) akkumulátor.....	148
11.8. Nikkel metál – hibrid akkumulátor .....	149
11.9. Cink – levegő akkumulátor.....	149

11.10. Üzemanyag cella .....	149
12. Biztosítók, kismegszakítók.....	151
12.1. Biztosítók .....	151
12.1.1. Olvadóbiztosítók csoportosítása .....	151
12.1.2. Az olvadóbiztosítók működési elve .....	151
12.1.3. Biztosítók jelleggörbéi.....	152
12.1.4. Biztosítók szerkezeti kialakítása .....	154
12.1.5. Túláram megszakítása .....	155
12.1.6. Megszakító képesség .....	155
12.1.7. Szelektivitás.....	155
12.2. Kismegszakítók .....	158
12.2.1. Általános jellemzők .....	156
13. Szakaszolók, megszakítók.....	158
13.1. Szakaszolók.....	158
13.1.1. Általános tudnivalók.....	158
13.1.2. A szakaszolók főbb jellemzői .....	159
13.1.3. Kézi hajtások .....	160
13.1.4. Gépi hajtások.....	160
13.1.5. Földelő kés .....	160
13.1.6. Működtetési feltételek, jelzések.....	160
13.2. Megszakítók .....	161
13.2.1. Általános tudnivalók.....	161
13.2.2. Megszakítók alkalmazása .....	162
14. Szünetmentes áramellátás.....	165
14.1. Szünetmentes áramforrásokkal kapcsolatos tudnivalók .....	165
14.2. UPS technológia .....	169
14.3. Dinamikus UPS rendszerek .....	174
14.4. UPS fogalomtár .....	177