

A tananyag címe

Dr Szénásy István: Villamos hajtások

Egyenáramú állandómágneses motorok és hajtástechnikai alkalmazásaik. Szinkron- és aszinkron motoros járműhajtások

1. A modul címe

Állandó mágneses egyenáramú motorok felépítése, működési elvek, rendszeregyenletek, tipikus működési területek és vizsgálataik.

Matlab modellezések: pozíciószabályozások vizsgálata

1.2 lecke: A lecke címe

Állandómágneses egyenáramú motorok jellegzetes üzemmódjai. A motor hatásvázlata. A pozíciószabályozásra alkalmazott motor hatásvázlata.

Cél

Az állandómágneses egyenáramú motorok jellegzetes üzemmódjainak(indítás, gyorsítás szabályozott árammal, generátoros féküzembe lépés és lassulás állandó árammal) megismerése jelleggörbe mezőkben és időfüggvény-ábrákon.

A PMDC motor hatásvázlatának felépítése, a motor önszabályozó jellege.

Mozgató rendszerekben alkalmazott pozíciószabályozás, a hatásvázlat bővítésével. Fontosabb szabályozási adottságok. Tulajdonságjavítás.

Követelmények

A hallgató legyen képes

saját szavaival ismertetni

- a PMDC motorok jellegzetes üzemmódjait (indítás, gyorsítás szabályozott árammal, generátoros féküzembe lépés és lassulás állandó árammal),
- a PMDC motor hatásvázlatának felépítését, a motor önszabályozó jellegét,
- a pozíciószabályozást a hatásvázlat bővítésével, a fontosabb szabályozási adottságokat, a tulajdonságok javításának elvét

lerajzolni

- a fontosabb üzemmódokat jelleggörbe mezőkben és időfüggvény-ábrákon,
- a motor saját hatásvázlatát, továbbá a pozíciószabályozásra bővítést.

Kulcsfogalmak

- PMDC motor hatásvázlata,
- a motor önszabályozó jellege,
- pozíciószabályozás

Időszükséglet

A tananyag elsajátításához *körülbelül 150 percre* lesz szüksége

2. Tananyag

Állandómágneses egyenáramú motorok jellegzetes üzemmódjai ω -M, I ábrákban és időfüggvény-ábrákban.

Hatásvázlat. A PMDC motor önszabályozó jellege. Pozíciószabályozás hatásvázlata. Néhány szabályozási tulajdonság.

Jellegzetes üzemmódok. Indítás

Tevékenység: jegyezze meg az indítási folyamat tartalmát, kövesse és jegyezze meg leírásának részleteit, vesse össze azokat az 1. ábra tartalmával!

Feszültségmentes, álló és nyomatékkal nem terhelt állapotban lévő PMDC motor indítási folyamatát tekintjük át a következőkben.

Legyen az elérendő sebesség akkora számértékű, amelyhez csak egyszeri alkalommal beállított, majd nem változtatott kapocsfeszültség is elegendő, miközben a motor árama nem haladja meg például a névleges értékét.

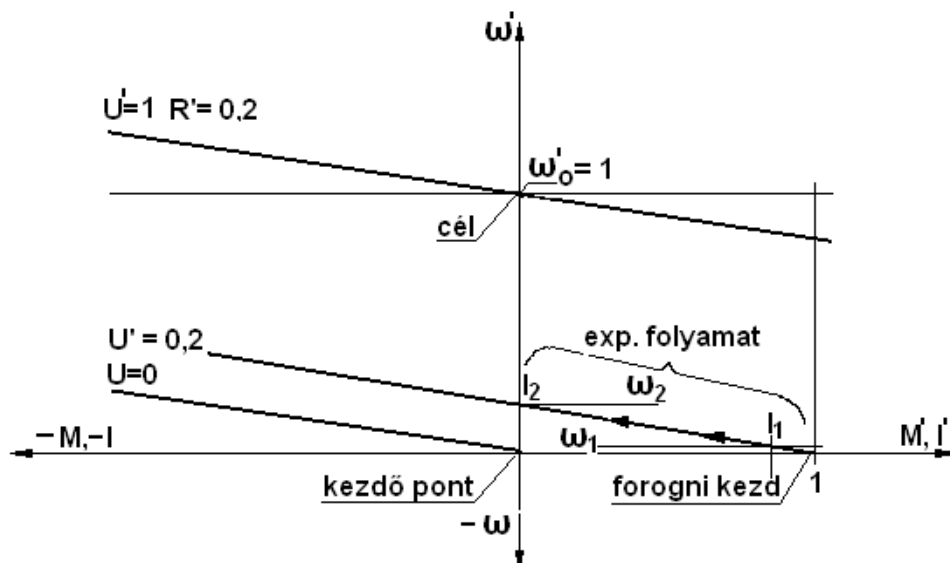
Ha a motor $R' = 0,2$ viszonylagos ellenállású, akkor $U' = I' R' = 1 * 0,2 = 0,2$, azaz 20 % értékű lehet az a feszültség, amelyet egységugrás jelleggel a motorra kapcsolva, az átfolyó áram értéke $I' = 1$, tehát 100%, névleges értékű. Valós motorokra nem-névleges hőfokú állapotban a névlegesnek 1,5-5 -szöröse is megengedhető lehet, rövid ideig, de a névleges értékkel egyszerűbb az áttekintés.

A ráadott feszültség tehát $U' = 0,2$, amelynek vonalát, mint a zérus feszültségű görbe felettit a az $U' = 0,2$ feszültségű áramforrás egységugrás jelleggel előállítja. A motor áramát csak induktivitása késlelteti, amely 1000 kW-os motorra közelítően 1~2 s, 10 W-osra pedig 0,1~0,5 ms időállandójú.

Ha valamely módon elérhető, hogy a motor csak akkor kezdhesen forogni, amikor az áram elérte Ohm-törvény szerinti értékét, akkor a meginduláskor $I' = 1$ áll fenn. Ekkor még a feszültségegyenlet $U' = I' R'$ alakú, mert az $\omega = 0$ állapotban az U_b értéke zérus. Ha a megindulás névleges árammal és $M_t = 0$ terhelőnyomaték mellett történik, a motor szöggyorsulása $d\omega/dt = M/\Theta$ értékű lesz, a terheletlen állapotnak megfelelően nagy. A sebesség $\omega \neq 0$ értékétől kezdve $U_b = k\Phi\omega \neq 0$ lesz, és sebességarányos, 1. ábra.

Az $U' = 0,2$ értékű kapocsfeszültség egyenletében a növekvő ω -val együtt növekvő U_b -hez csak csökkenő IR társulhat, azaz az áram a sebesség növekedésének megfelelően, a motor jelleggörbéje szerint fog csökkenni, az ábra $U' = 0,2$ jelű görbéjén az $I' = 1$ ponttól kezdve balra és felfelé haladva, a berajzolt nyilak szerinti munkapont vándorlással, az $I_2 = 0$ pontig tartva, és az $\omega = 0,2$ pontra felgyorsulva. Az áram itt már zérus a terheletlen állapotnak megfelelően, a feszültségegyenletben az IR tag vált zérussá, mialatt $U = U_b$ áll be. A folyamat egyre lassuló módon folyik le, mégpedig exponenciális jelleggel, a csökkenő árammal arányosan csökkenő mértékű szöggyorsulással.

Az ábra nem tájékoztat a folyamat időbeli jellegéről, azt időfüggvény ábrákban vizsgálhatjuk.



1. ábra. A PMDC motor indításához

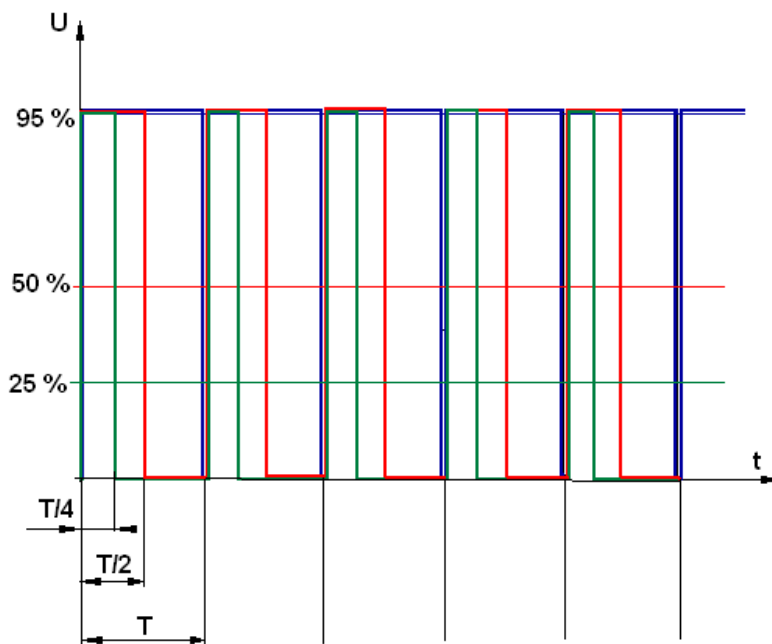
Áramszabályozó alkalmazása

Ha nem $U' = 0,2$, hanem nagyobb feszültséget kell a motorra adnunk egy nagyobb, pl. névleges sebesség eléréséhez, akkor korlátozott áramerősség mellett kell a feszültség növelését elvégeznünk. Amíg nem voltak elektronikus feszültség szabályozó eszközök, ún. indító ellenállások fokozatos kiiktatásával korlátozták a motor áramát. Ma teljesen folytonos jelleggel változtatható a kapcsolófeszültség, zérustól a legnagyobb értékig, ami megkönnyíti tetszőleges értékű áram beállíthatóságát és szabályozhatóságát.

Az egyenfeszültség változtatása

Tevékenység: Olvassa el és jegyezze meg a feszültség változtatásának elvét a kitöltési tényező változtatásával! Tanulja meg lerajzolni a 2. ábrát!

A félvezetőkre alapozott, régebben tirisztoros, ma többnyire tranzisztoros, MOSFET tranzisztorokkal vagy IGBT modulokból felépített tápforrások tipikusan impulzusszélesség-változtató módszert alkalmaznak. Ezekkel egy állandó értékű egyenfeszültségből, annak jellemzően állandó frekvenciájú szaggatásával, itt a 2. ábrán T periódusidővel, de változtatható hosszúságú vezetési idővel, azaz változtatható kitöltési tényezővel egy zérus és az egyenfeszültség szintje közötti effektív értékű feszültség állítható elő, az ábrán 95, 50 és 25 % értékekhez bejelölve. Ennek alakja ugyan négyszög hullám, de a folyó áram alakja a kör induktivitásának köszönhetően exponenciális szakaszokból áll, és a simító hatás miatt kissé hullámos egyenfeszültség jellegű.



2. ábra. Impulzusszélesség-moduláció: a feszültség-idő terület változtatása. Zöld, piros illetve kék színnel jelöltek a 25, 50 és 95 %-os területi kitöltöttségek négyzetghullám-vonalai és a területi mérőszámmal egyenértékű feszültség-szintjei. Célszerű az ábrát nagyítva szemlélni.

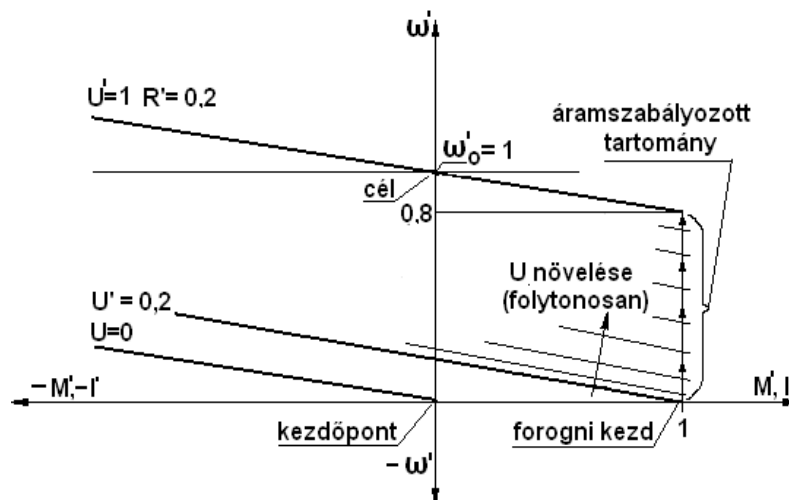
A szaggatási frekvencia ma néhány kHz és több 100 kHz közötti, bár utóbbiak csak egészen kis teljesítményekre alkalmasak.

Ha a motorkör villamos időállandója pl. $T_v=0,1$ s, akkor egy $f=10$ kHz frekvenciájú PWM (impulzusszélesség modulált) kimenet áramgörbéjének alakjában, amelynek periódusideje 0,1 ms, az exponenciális görbe elért értéke a 0,1 s időállandójának csak $1/1000$ -e lesz, azaz a görbe alig hajlik felfelé. Tehát így elég simának mondható egyenfeszültséget kapunk, míg zérus időállandójú körben az áram a feszültség négyzetghullám alakját követné.

Tevékenység: jegyezze meg az áramszabályozás működésének elvét és hatását a DC motor felgyorsulás alatti üzemében! Tanulja meg lerajzolni a 3. ábrát!

Az indítás során figyelembe veendő áram korlátozás jellegű, de betartandó érték is, amelyet áramszabályozó valósít meg, az elektronikusan változtatható feszültségű áramforrás szabályozó körében, oly módon, hogy amint a sebesség növekedése miatt csökkenő áram értéke eltér a szoftveresen előírttól, a szabályozó a feszültség növelésével állítja vissza az áramot az előírt értékre. A mai áramszabályozók működése igen gyors, beavatkozásukat már az áram egy-két ezreléknyi csökkenésekor megkezdik, aminek köszönhetően a szabályozás magas minőségű, pontos és eredményes. A folyamat lezajlása közben így az áram értéke az előírt lesz, miközben a feszültség a sebesség növekedésének megfelelően növekszik. Ez teszi lehetővé, hogy az elindult motor árama a felgyorsulás során állandó maradjon, egészen a beállított feszültségszint eléréséig, a 3. ábrán áramszabályozott tartományként jelölve. A néhány bejelölt motorjelleggörbe itt növekvő feszültségszinteket jelöli, de ezek a folytonos működésű szabályozónak köszönhetően valójában végtelen sűrűen, fokozatmentesen követik

egymást, amelyre a régebbi motorindításoknál használt ellenállás-fokozatok nem voltak alkalmasak. A tantárgy nem foglalkozik azokkal, az irodalomban megtalálhatóak.

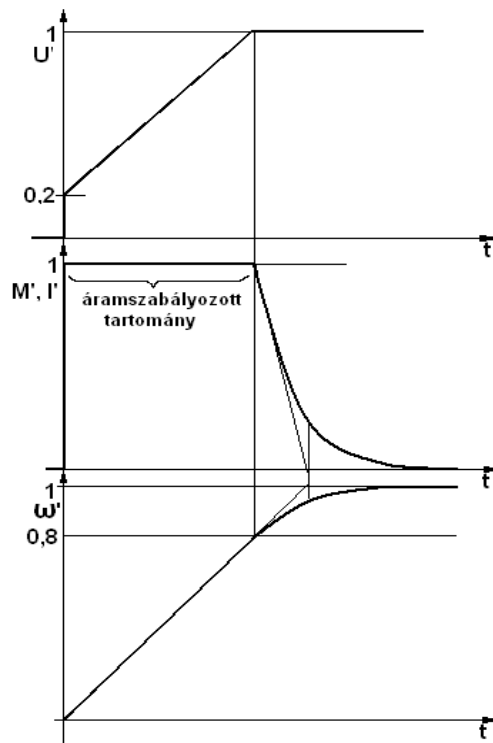


3. ábra. Sebességnövelés állandó árammal, áramszabályozóval

Az áramszabályozó csak addig töltheti be feladatát, ameddig a feszültség növelése lehetséges. Ha a példa csak a névleges feszültséget alkalmazza, ennek elérésekor az áramszabályozó elveszti működőképességét, mert az áram további csökkenésekor nem tud feszültséget emelni, az áram csökkenését nem tudja megakadályozni, az pedig a kisebb feszültségű indításnál leírtak szerint a sebesség növekedésének megfelelően, a jelleggörbe ferdesége szerint csökken, üresjárás esetén zérusig. Ez a tartomány a sebesség 80 %-os értékénél kezdődik, és az üresjárás, $\omega'=1$ értékig folytatódik.

Tevékenység: jegyezze meg az áramszabályozás indítás folyamatát a DC motor felgyorsulás alatti üzemében, időfüggvény-ábrában! Tanulja meg lerajzolni a 4. ábrát! Jegyezze meg az időállandók jelentőségét!

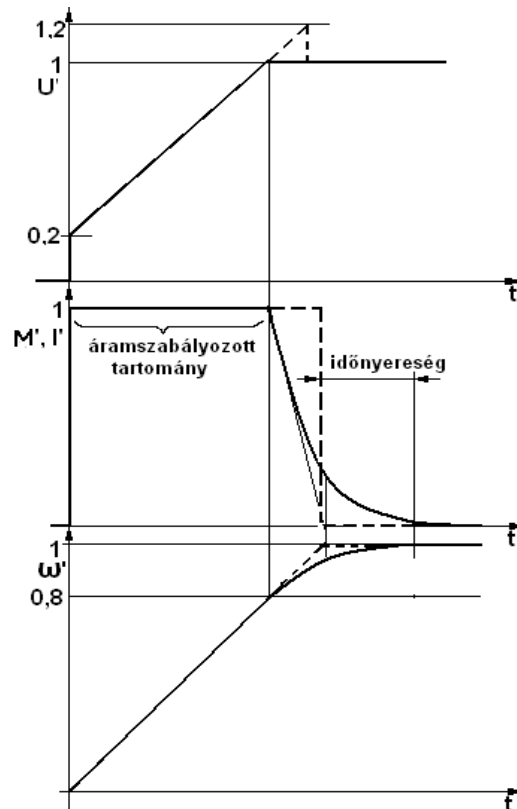
Időfüggvény-ábrákban is megtekinthetők az elmondottak. A 4. ábra az indítástól kezdve $I'=1$ értékre beállított áramszabályozóval végzett sebességnövelést mutatja. Az áramszabályozott tartományban a feszültség növekedésének jellege, a nyomaték és a szöggyorsulás is állandó, ez utóbbi az alsó ábrán látható. Az exponenciális szakasz kezdeti iránytangense a T_{em} értékének felel meg. A folyamat valós ideje a Θ értékétől is függ, példaként egy 0,1 mNm-es névleges nyomatékú DC mikromotor terheletlenül akár 0,01 s alatt, egy villamos hajtású autóbusz ~ 30 s alatt, egy tehervonat több perc alatt gyorsul fel névleges sebességére.



4. ábra. A felgyorsulás folyamatának időfüggvény-ábrái

Tevékenység: jegyezze meg az intenzív indítás folyamatát a DC motor felgyorsulás alatti üzemében, időfüggvény-ábrában! Tanulja meg lerajzolni az 5. ábrát! Jegyezze meg az időállandók jelentőségét!

Főként robot-, de más hajtásokban is szükség lehet arra, hogy a gyorsítási folyamat időben elhúzódó exponenciális részét rövidítsék vagy megszüntessék, csökkentve az azonos folyamatok közti ciklusidőt. Ez elérhető, ha az alkalmazott feszültséget megnöveljük, a példabeli esetben 100 helyett 120 %-ra. Az I-szabályozóval ekkor nem 80%, hanem 100% sebességig lehet állandó árammal gyorsítani, és elmarad a folyton csökkenő áramú exponenciális tartomány. Ez csak egy újabb eszköz, a sebességérzékelő bevezetésével lehetséges, hogy a kívánt sebesség elérésekor a már 120 %-ra nőtt feszültség gyorsan visszavehető legyen 100% -ra, és a sebesség ne növekedjék a kívánt fölé. Időfüggvény ábrákban mindez az alábbiakban figyelhető meg, 5. ábra. A meghosszabbodott, állandó nyomatékkal gyorsító tartomány az exponenciális rész elmaradásával jelentős időbeli eredményt hoz, 10-30 % mértékben is.



5. ábra. Az intenzív felgyorsulás folyamatának időfüggvény-ábrái, növelt feszültség alkalmazásával

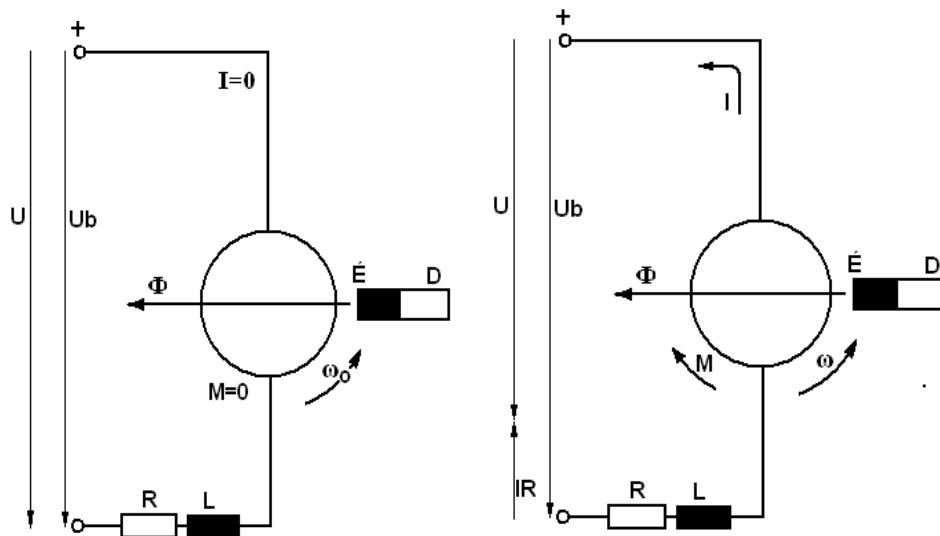
Állandó mágneses DC motorok féküzeme

Tevékenység: jegyezze meg az állandó mágneses egyenáramú motorok féküzemének elvi leírását és alkalmazási folyamatát, alkalmazási feltételeit! Figyelje meg a 6. ábra kapcsolásait, jelöléseit, tanulja meg lerajzolni az ábrát! Jegyezze meg az áramszabályozott motor féküzemének folyamatát, tanulja meg lerajzolni a 7. ábrát!

A motor generátoros fékezését valamely $\omega \neq 0$ sebességről végezzük. Jellemzően motoros üzemállapot előzi meg, amelyből a féküzembe átlépés üresjárási állapoton át történik. Ez utóbbiban áram- és nyomatékmentes állapot, valamint a feszültséghez tartozó szögsebesség áll fenn, 6. ábra, baloldali kapcsolási vázlat. A kapocs- és belső feszültségek azonos nagyságúak. A féküzembe kerülés tipikus módja, hogy a kapocsfeszültséget csökkentjük, és mivel a motor sebessége még nem változott, a belső feszültsége lesz nagyobb, és ez fordított áramirányt s vele nyomatékot kényszerít ki, a 6. ábra jobboldali ábráján az áramirány-, szögsebesség, nyomaték előjelek jelöléseivel szemléltetve.

Másik lehetséges módja, hogy valamely külső hatás a motort sebességnövelésre kényszeríti, például villamos jármű lejtőre kerül, és sebessége növekedni kezd, a lejtőirányú erő „tolja” a motort. Ritkán használatos, mert ha elő is tud fordulni, a sebesség csökkentéséhez már kevés, a feszültség csökkentése szükséges lesz.

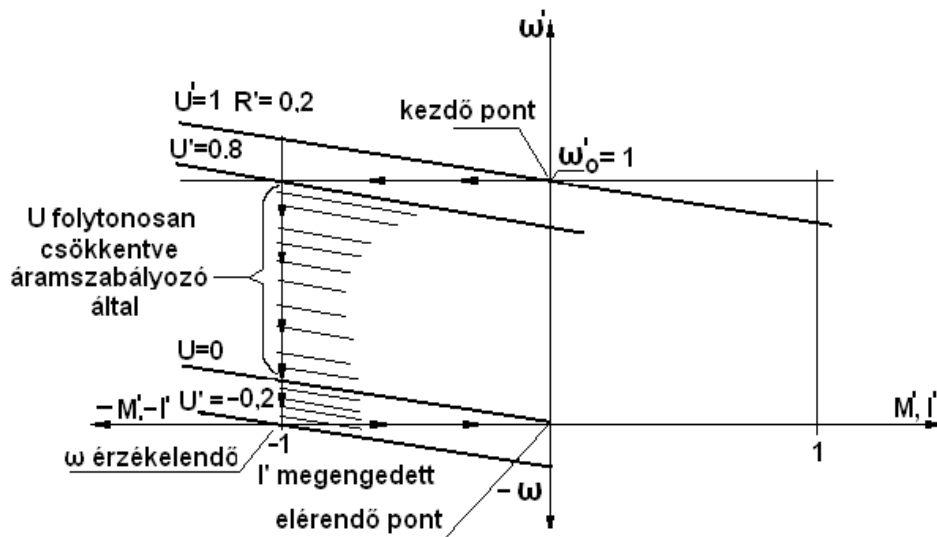
A 7. ábra $U'=1$ jellegvonala a II. negyedben generátoros fék tartalmú, ha tehát a külső ok miatt ω növekszik, és a motor táplálásában változás nem történt, akkor ugyanazon kapcsolófeszültségen már $U_b > U$ áll elő, negatív előjelű áram indul meg, amely féknyomatékot fejt ki. Ha a példakénti, $R'=0,2$ adottságú motor sebessége 20 %-ot nő egy erősebb lejtőben futás hatására, féknyomatéka 100% lesz. Ebben az üzemben tartós generátoros állapot állhat fenn, ha lejtő hosszú. Csökkenő mértékű lejtő kisebb sebességtúllépéssel kisebb féknyomatékot tart fenn. Egyenáramú hegyi vasutak 1890 körül már elterjedten alkalmazták. A negatív előjelű áram a tápforrás felé halad, és ha az fogadóképes, energetikailag hatékony visszatáplálás történik. Diódás egyenirányítós ellátás esetén ez nem áll fenn, az áram csak egy erre a célra beépített, elegendően nagy teljesítményű ohmos ellenállásra folyhat, amely hőjét szellőztetés viszi el.



6.ábra. PMDC motor üresjárási és féküzemi állapota

Változó sebességekre más értékű kapcsolófeszültség beállításával idézhető elő a kívánt üresjárási sebesség, és a féküzem sebességi tartománya.

Robotok, villamos autók féküzemét a feladattól függően kell megkezdni, azaz nem lehet külső erőhatás megjelenésére várni. Mivel a féküzembe lépés az aktuális üresjárási sebesség felett kezdődik, és mivel ennek értéke az aktuális kapcsolófeszültségtől függ, lehetőség van arra, hogy bármely sebességen fékezni kezdhessünk a kapcsolófeszültség megfelelő mértékű beállításával, tipikusan csökkentésével. Az ábrán a példakénti sebesség 100%, így a 20 %-al

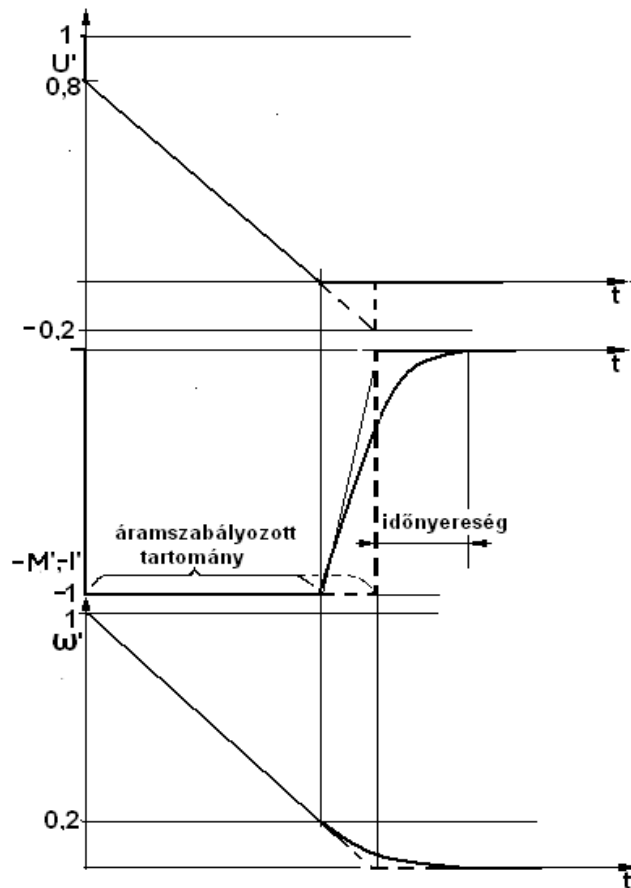


7. ábra. PMDC motor féküzembe lépése feszültségcsökkentéssel, lassítás áramszabályozóval

lecsökkentett kapcsolófeszültség olyan generátoros féküzemet állít be, amelyben az áram és a nyomaték értéke -100% lesz.

Tevékenység: jegyezze meg az intenzív fékezés folyamatát a DC motor fék üzemében, időfüggvény-ábrában! Tanulja meg lerajzolni a 8. ábrát!

Ha leállásig kívánunk fékezni és állandó értékű árammal, áramszabályozót alkalmazunk, amely most a feszültség további csökkentését használja beavatkozó eszközként, ha az áram a sebesség csökkenése miatt csökkenni kezd. Ha a beállítható legkisebb feszültség 0 V értékű, akkor ennek elérése után exponenciális folyamatban csökken a sebesség és az áram megállásig. Ha rendelkezésre áll negatív tápfeszültség, azaz a polaritás fordítható, tehát a zérus feszültség elérése után folyamatosan lehet növelni a már negatív előjelű kapcsolófeszültséget, az ábrán $U'=0$ -tól $U'=-0,2$ -ig, akkor intenzív, forszírozott féküzemet hozhatunk létre, amely a megállásig tarthat. Ezt sebességérzékelővel észlelve a feszültséget azonnal zérusra kell visszaállítanunk, mert a hajtás elindulna a negatív előjelű sebességtartományban. A 8. időfüggvény részábrákon mindez követhető, rajta szaggatott vonallal jelöltek az intenzív fékezés görbe-szakaszai.



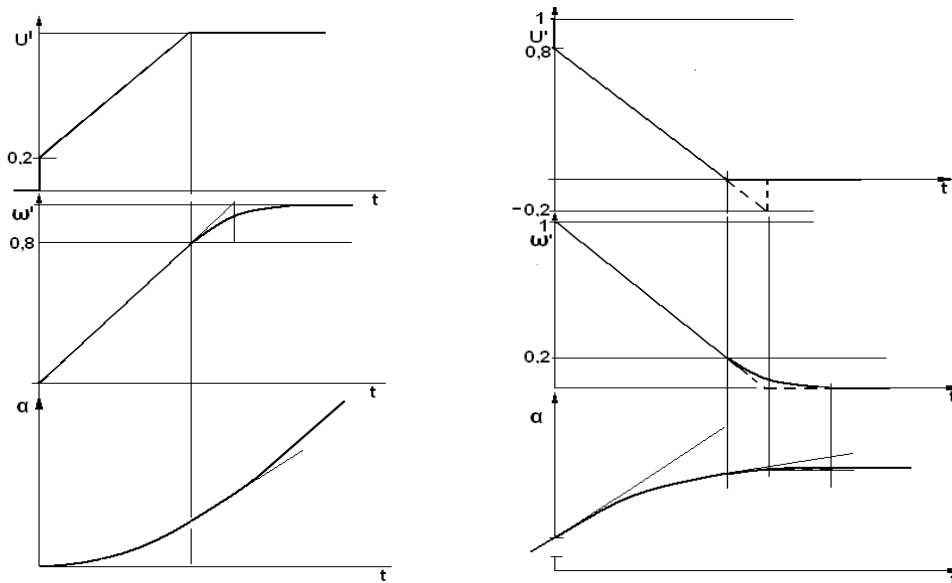
8. ábra. PMDC motor féküzemi időfüggvény ábrái

Hasonló gondolatmenettel lehetséges további elemzéseket elvégezni zérustól különböző terhelő nyomatékokra és elérendő pozitív vagy negatív sebességekre is.

Út-idő ábrák

Tevékenység: Figyelje meg jegyezze meg az út-idő ábrák származtatását a DC motorok üzemében, időfüggvény-ábrában! Tanulja meg lerajzolni a 9. ábrát!

A motor forgórésze által megtett szögelfordulás α [rad] a szögsebesség időfüggvényének integráljaként számítható. A 9. ábrán szerkesztéssel határoztuk meg a megtett út időfüggvény alakját indításra és fékezésre. Az állandó meredekségű szöggyorsulás a sebesség ábrában $x^2/2$ parabolaként, az állandó sebességű mozgás állandó meredekségű út-idő függvényként jelenik



9. ábra. Út-idő ábrák (alul) gyorsításkor és megállásra fékezéskor

meg. A már megtett út csökkentése, visszafelé haladás csak a sebesség előjelének megfordításával lehetséges. Állandó értékű út-idő függvény csak zérus sebesség mellett lehetséges.

Az ábrákban jól megfigyelhető, hogy a motorra adott feszültség növekvő jellege mutatkozik meg a sebesség időfüggvény-értékeiben mindkét típusfeladatban, tehát a sebesség csökkentésekor is. Azaz, egy adott, teljesítendő sebesség-idő függvény ismerete előrevetíti a szükséges feszültség-idő függvény alakját is, amely az áram-idő függvény adataival együtt lehetővé teszi a szükséges adottságú tápforrás meghatározását.

Az állandómágneses egyenáramú motor modellje, hatásvázlata

Tevékenység: jegyezze meg az állandó mágneses egyenáramú motorok hatásvázlatának elvét, felépítését, az egyes tagok szerepét, belső folyamatát! Tanulja meg lerajzolni a 10. ábrát!

A motor tulajdonságait egyenletekben foglaltuk meg. Az egyenletek olyan algoritmus szerint is elrendezhetők és számíthatók, amellyel a motor működésének időfüggvény ábráinak értékei a modellfuttatás időléptéke szerint nyerhetők, anélkül, hogy a kész motorral végeznénk vizsgálatokat. A motor hatásvázlata lesz ennek az algoritmus-jellegű számítási rendszernek a megjelenési formája, amelyet elsősorban a szabályozástechnika tudományterülete alkalmaz egyik fő eszközeként. A motor hatásvázlata tetszés szerint egészíthető ki a hajtott berendezés mozgató, vagy áramjárta részeinek időfüggvényeket eredményező vizsgálatával.

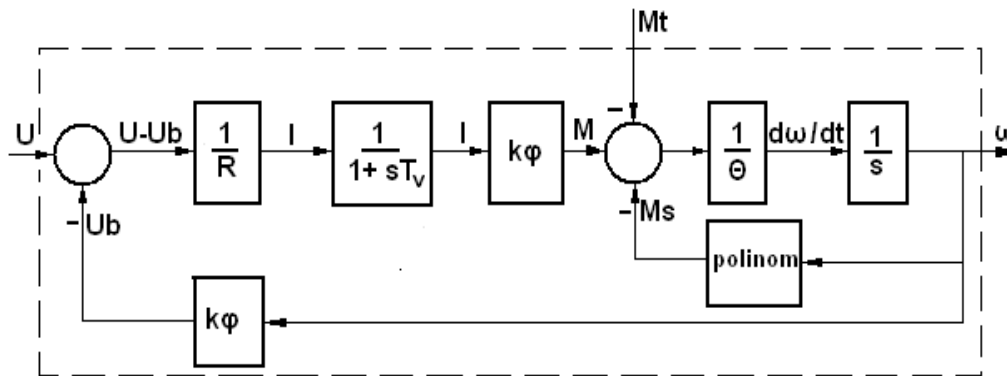
A PMDC motor hatásvázlata a 10. ábrán látható.

A motor hatásvázlata – tulajdonságainak következtében – megfelel egy arányos típusú szabályozási körnek, amelynek alapjele az U kapocsfeszültség, és szabályozott jellemzője az ω szögsebesség.

A különbségképzőbe az U és U_b feszültségek jutnak, utóbbi sebességarányos visszacsatoló jel. A feszültségkülönbségből az R -el osztással áramjel születik, melynek felfutását egytárolós arányos tag késlelteti. A $k\Phi$ szorzással keletkező nyomaték a mozgásegyenletbe jut, és a $d\omega/dt$ szöggyorsulásból az $1/s$ integrátor állítja elő ω értékét, valamely választható numerikus integrálási módszerrel.

Az M_s súrlódó nyomaték a szögsebességgel szorzott többedfokú polinommal számítható, de egyszerű esetben sebességfüggetlen konstansként, vagy teljesen elhanyagolhatóként is kezelhető. Utóbbi esetben nem lesz csillapító hatás, amely a kialakuló szabályozás lengéseket mérsékli, energiafogyasztás révén.

A lengések a $T_v = L/R$ villamos-, és a Θ -tól függő mechanikai energiatároló időállandóarányaitól függően alakulhatnak ki, a kéttárolós tagokra vonatkozó feltételek szerint (ezekről részletesebben: lásd a szabályozástechnika irodalmát).



10. ábra. PMDC motor hatásvázlata

Tipikus motor- és hajtott rendszer kapcsolatban a villamos időállandó 1-3 nagyságrenddel kisebb, mint a mechanikai, amelyet a Θ értéke határoz meg, így gyorsan csillapodóak a fordulatszám-lengések, de előállíthatók, modellezhetők lengő állapotot eredményező körülmények is.

Tevékenység: jegyezze meg az állandó mágneses egyenáramú motorok modelljét, a modellezés célját, a motor önszabályozó jellegét, a beavatkozások, változtatások lehetőségeit, a működés példáinak lehetőségeit, a mozgásegyenlet szerepét és fontosságát!

A hatásvázlattal bármely elképzelhető folyamat modellezhető, azaz a modell, valamely számítógépi programban összeállítva és futtatva egy működtethető motort fog egyenleteivel helyettesíteni, a változásokat időfüggvényként számítani, s ezeket tipikusan azonnal kirajzolni.

A hatásvázlatot körülvéző szaggatott vonalon belül lévő tagok és blokkok a motor legyártásával, előállításával paramétereiket is felveszik, és a kész motor adatai, és jellege nem változtathatóak meg. A vonalon kívülre jutó mennyiségekkel állhatunk csak kapcsolatban: kapcsolófeszültség, terhelő nyomaték, és a szögsebesség. Ha a modellt motor tulajdonságai nem

megfelelőek, adatainak módosításával a kívánt tulajdonság a modellben létrehozható, de ahhoz már egy más valós motor fog tartozni.

A hatásvázlat az U kapocsfeszültség valamely értékéhez ω -t rendel, mégpedig a motor $U = \text{konst}$ értékéhez tartozó, R' -től függő karakterisztikája szerint, az M_t hatását is figyelembe vevő módon. Ennek jellegét az R adott értéke mellett, áram-, vagy nyomatékarányosan bekövetkező sebesség-csökkenés vizsgálata során ismertük meg.

Ha ω eltér a karakterisztika szerinti értékétől, a motor belső (ön-) szabályozó tulajdonsága érvényesül. Egy átmeneti folyamat kezdődik, amelynek áram- és nyomaték értékei és előjelei az ω értékét úgy módosítják, hogy az vegye fel a motorkarakterisztika szerinti értéket. Állandósult állapot csak ezen a munkaponton lehetséges, mert attól eltérés esetén megkezdődik és lejártszódik ez a belső, inherens szabályozás. Nem minden motorfajtára, vagy nem minden üzemi tartományukra jellemző e tulajdonság.

Egyetlen példával is bemutatható mindez:

legyen üzemben a motor állandósult állapotban, terheletlenül, azaz áram- és nyomatékmentesen, névleges feszültségen. Ekkor sebessége ω_0 -al jellemezhető. Valamely módon adjunk rá $M_t' = 1$, azaz 100 % értékű terhelőnyomatékot egységugrás jelleggel. Milyen folyamat indul meg, és milyen változások jönnek létre tartósan, tehát milyen lesz az új állandósult állapot? Legyen a motorban az $R' = 0,2$.

A hatásvázlatban sem, a szabályozásban sincs sebességérzékelő. Az M_t megjelenésekor megkezdődő szöglassulás $d\omega/dt = -M_t/\Theta$ értékű lesz, kezdetben. A sebesség csökkenésekor az $U_b = k\Phi\omega$ is csökkenni kezd, amely miatt az $U - U_b$ különbség az eddigi zérusról növekedni kezd, megjelenik a kör felső ágában az áram és a nyomaték.

A mozgásegyenletben $M > 0$ jelenik meg, és a $d\omega/dt = (M - M_t)/\Theta$ szöglassulás a számláló csökkenése miatt a kezdeti legnagyobb értékéről csökkenni kezd, de még továbbra is nagy értékű. A további ω esések miatt U_b már nagyobb mértékben kisebb, és az áram és nyomaték jelentősebben megnőtt. M növekedése miatt a $d\omega/dt = (M - M_t)/\Theta$ szöglassulás egyre kisebbé válik, és ha $M = M_t$ bekövetkezik, meg is szűnik.

Ez akkor jön létre, amikor ω annyival lesz kisebb, mint a kezdeti ω_0 , hogy az U_b csökkenése az $U - U_b$ különbségét olyan nagyra növeli, hogy az áram, és vele arányos nyomaték egyenlő lesz M_t -vel. A szöglassulás most zérussá válik, az exponenciális jelleg befejező részén vagyunk, az áram és nyomaték is új állandósult értékét veszi fel. Ha $R' = 0,2$, akkor 100 % áram kikényszerítéséhez 20 %-nyi $U - U_b$ különbség, és 20 %-nyi tartós ω esés szükséges, így az új állandósult sebesség 80 %-os lesz.

A modellezett folyamat tehát ugyanazt az eredményt adja, mint amit korábban a jelleggörbék elemzésével kaptunk. Hasonló gondolatmenettel bármely változtatás hatása bemutatható, olyanok is, amelyeket a valós motoron esetleg nem volna megengedett elvégezni.

A motor hatásvázlata nem a hardveres kapcsolatok megjelenítése. Ha motort ellátjuk áramszabályozóval, ennek valós kapcsolódása a motorhoz a PWM jellegű feszültségforráson

keresztül történik: ott történik az áram érzékelése, és a ma már szoftveres felépítésű áramszabályozó kör a PWM irányítására hat, addig csökkenti a kimenő feszültséget, míg kapcsain az előírt értékű áram nem folyik. A motor hatásvázlatában ez úgy jeleníthető meg, hogy elhelyezünk benne egy olyan blokkot, amely hatását a számítógépi program kiértékeli, és a valós hardveres megoldási lehetőségektől függetlenül e blokkba írt tartalmat végrehajtja: célszerűen áramkorlát blokkot helyezünk el, amelybe a maximális és negatív maximális értékeket beírva felülről korlátozást írunk elő. E maximumokat általában szimmetrikusan adjuk meg, kevés kivételtől eltekintve.

Ha az áram állandó értéke, egy szabályozott áram-nagyság szükséges, akkora feszültség-többletet állítunk be, amelyet a motor a sebesség emelkedésével várhatóan elfogyaszt, miközben a felülről korlátozás áramszabályozásként jelenik meg. A szükségesnél kisebb kezdeti feszültségnél a sebesség növekedésével a belső feszültséggel elérve a kapocsfeszültséget, a már megismert exponenciálisan csökkenő áramú folyamatba lép a futtatás.

Más esetekben feszültségkorlátozást is alkalmazhatunk, amellyel adott sebességű motor-üzemet tudunk előírni. Régebben sebességszabályozó kört építettek fel sebességérzékelővel, szabályozóval és erősítővel, ma a beírható, és alkalmas módszerrel akár folytonosan átírható feszültségkorláttal mindig megszabhatjuk egy PMDC motor aktuális szögsebességét. Ez mai valós motorhajtásban is így történik, a pillanatnyilag beállított, de üzemben is átírható, és a PWM módszerrel pontosan betartható feszültség szint fogja megszabni a motor sebességét, és kikényszeríti a féküzemet is, ha csökkenő feszültséget írunk elő.

A hatásvázlat számítógépes szimulációs feldolgozása, feladatonkénti megoldása időfüggvény ábrákban megjelenítve ma nélkülözhetetlen eszköze a rendszertechnikai tanulmányoknak, vizsgálatoknak és fejlesztéseknek. A 11. ábra Matlab-Simulinkben összeállított modellt mutat, de más programnyelvek is többnyire hasonló módon ábrázolják.

Matlab program elérhetősége esetén javasoljuk a hallgatóknak, állítsák össze és futtassák a hatásvázlatot, majd az időfüggvény ábrákat értelmezzék, különféle bemenő feszültség és terhelőnyomaték esetekre.

Számos gépészmérnöki fejlesztési gyakorlat rendszertechnikai jellegű, és valamely mozgatósi feladatot vizsgál az idő függvényében. Ha a hajtás DC motorral történik, akkor annak kibővített hatásvázlata dolgozandó fel.

Tevékenység: jegyezze meg az egyenáramú motorral épült pozíciószabályozás hatásvázlatát, a bővítés szükségességét a motor saját hatásvázlatához képest, a szabályozás működését és sajátosságait. Tanulja meg lerajzolni az 12. ábrát!

A motor forgó mozgásának útegysége az α szögelfordulás radiánban, amit alapjelként is meg kell adnunk a szabályozási feladatra vonatkoztatva.

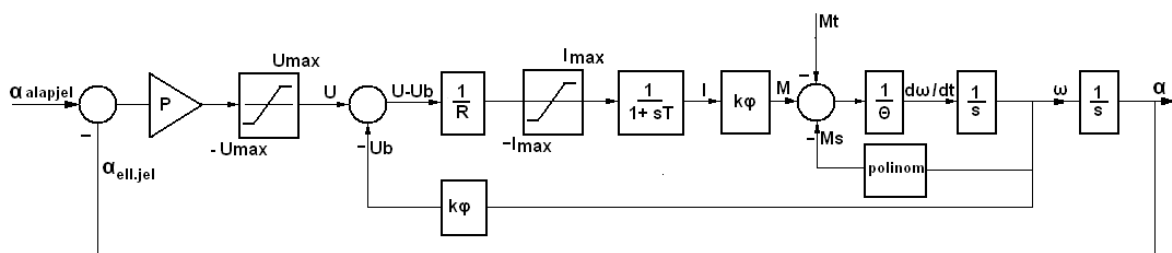
Az α szöghelyzet, mint teljesítendő mennyiség a szabályozott jellemző.

A mozgás sebességét a feszültségkorláttal állíthatjuk be, míg az áramkorlát a nyomatékot korlátozza.

A szögelfordulás, mint megtett út, valós feladatban alkalmas eszközzel mérendő, azonban a hatásvázlatban a mérőeszközt csak el nem hanyagolható időállandója, vagy más, nem kedvező tulajdonsága esetén jelöljük saját átviteli függvényével, egyébként időkésés nélküli egységnyi átviteli tényezőjű szöghelyzet-visszacsatolást ábrázolunk, s az ellenőrzőjel-képző eszközt nem is jelöljük.

A motor hatásvázlata tehát bővül egy áramkorlátozó blokk beillesztésével. Egy további integrátor állítja elő a sebességből a szöghelyzetet, 12. ábra. A különbségképzés után a szöghibával arányosan felerősített kapcsolófeszültséget kapná a motor, de a feszültség mindenképpen korlátozódik – egyszerű esetben a tápegység lehetséges maximumára. Mivel a legtöbb feladathoz ez túl nagy sebességet eredményezne, a beépített, és valójában folytonosan átirható értékű feszültségkorlát tetszőlegesen kis sebesség beállítását teszi lehetővé.

A P, arányos szabályozóval a kör tulajdonságai gyakran elfogadhatóak, míg az I, integráló és ritkábban D, differenciáló tagokkal bővítve már gyakran, bár nem minden esetben egészen jó szabályozási tulajdonságok állíthatók be.

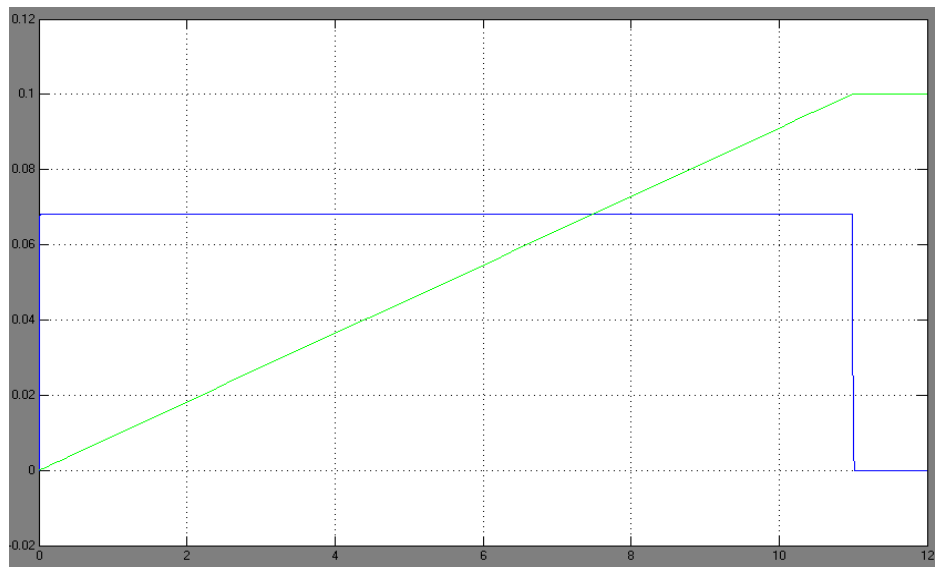


12. ábra. PMDC motor pozíciószabályozási hatásvázlata, áramszabályozás helyett -korlátozással

Magas követelmények, példaként nagy pontosságú beállási igény extrém kis idő alatt részben eltérő felépítésű és működtetésű optimum- stb. szabályozókkal teljesíthetők, amelyek nem tárgyai jegyzetünknek.

Az alábbi pozíciószabályozási folyamat időfüggvény-ábráján 11 s alatt 0,1 radián elfordulási szöghelyzetet valósul meg a zöld vonal szerint, a kék vonal szerinti állandó szögsebességgel,

erőteljes gyorsítással-fékezéssel. A feladatot két nagyságrenddel kisebb idő alatt már csak elfogadhatatlan beállási hibával tudná teljesíteni, ami itt nincs ábrázolva.



13. ábra. Pozíciószabályozás még lengésmentes beállási folyamata az aperiodicitás határán. Zöld: szöghelyzet, kék: sebesség. Az erősítés további növelése túllendüléshez vezetne, ami számos esetben nem megengedett

Tevékenység: olvassa el és gondolatban kövesse alábbiakban a nem-zérus terhelőnyomatékkal terhelt pozíciószabályozás problémáit, és egy megoldási lehetőségét az ilyen feladatnak: a szabályozási tulajdonságok megváltoztatásával P, arányosról PI, arányos-integráló típusúra.

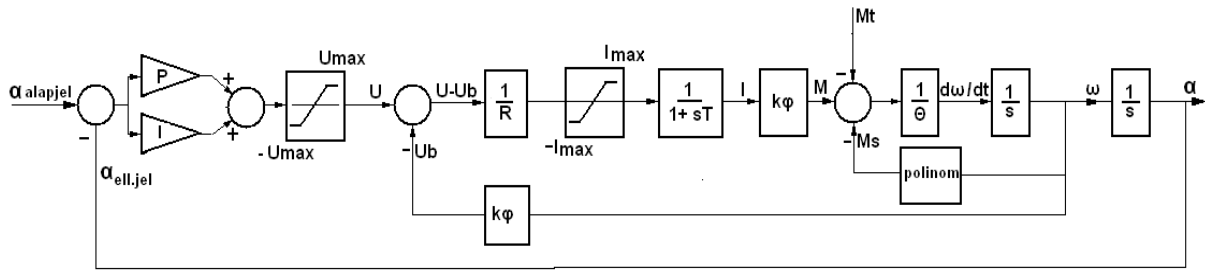
A pozíciószabályozás egyszerűbb esetében a megállt motorra vonatkoztatva az M_t terhelő nyomaték értéke zérus, és ezzel a megállt motornak nyomaték- és árammentesnek kell lennie, azaz a szabályozási kör felső ága jelmentessé válik. A szögsebesség - szögelfordulás kapcsolat egyszeres integráló tartalma miatt ez az ún. „1 típusú” vagy integráló, I-szabályozás, állandósult állapotában zérus szöghelyzet-hibával, ha nincs egyéb zavaró hatás.

Ha M_t értéke nem zérus, a felső ág csak akkor adhat tartósan feszültséget, áramot és nyomatékot, ha az előírt helyett kisebb, vagy nagyobb lesz az elért szöghelyzet, és a hibajel felerősítve a kívánt áramhoz szükséges feszültséget eredményezi. Egy robotkar súlyerő ellenében dolgozó motorja a kívánt robotkar-helyzetben megállítva a súlyerő nyomatékát ellensúlyozza. Ez a szabályozási mód csak szöghelyzet-hiba árán tudja csak a kívánt nyomatékhoz szükséges áramot és feszültséget fenntartani, emiatt a robotkar az előírt pozícióhoz képest lejjebb fog állni.

Ez a szöghelyzet-hiba nagyobb körerősítéssel ugyan csökkenthető, de meg nem szüntethető, és a P-típusú, arányos szabályozások egyik lehetséges hátrányaként lengővé, használhatatlanná válik a szabályozás, ha az erősítést túl nagyra állítjuk. Modellvizsgálatok egyik előnye, hogy ilyen beavatkozásokat tényleges károsodások nélkül vizsgálhatunk és a megfelelő beállításokat megtalálhatjuk.

Elvben is hibamentes megoldást kaphatunk a kör tulajdonságainak, ehhez pedig a felépítésének megváltoztatásával. A P jellegű szabályozót PI jellegűre kibővítve, a P csatorna

mellett (az ábrán alatta) egy integráló csatornát is elhelyezve, és kimenő jeleket összegezve megszűnik az addigi arányos kapcsolat a hibajel és a szabályozó kimenete között, 14. ábra.



14. ábra. PMDC motor PI jellegű pozíciószabályozási hatásvázlata, arányos és integráló csatornával

Az I tag a tartósan zérus bemenő jelre véges értékű, tehát nem zérus kimenőjelet ad, amellyel elérhető, hogy zérus szöghelyzet-hiba mellett is fennállhasson a szükséges feszültség, az áram és a nyomaték az M_t ellensúlyozásához. Így az előbbi robotkar a súlyerő nyomatékát kiegyenlítő motornyomaték fenntartása mellett is zérus szöghelyzet- hibával fog állva maradni az előírt pozícióban.

Az integráló tag $K_I=1/T_i$ erősítési tényezője a T_i időállandójának megfelelő sebességgel végzi el a szöghelyzet-hiba megszüntetését. Kis időállandó nagy sebességű beavatkozást eredményez, amely túllendüléshez, lengésekhez vezet, és a szabályozás nem tesz eleget az aperiodikus beállítás fontos követelményének, túlfutásával károkat okozhat. Nagy időállandó elhúzódó beállási folyamatot ad, amelyben a szöghelyzet-hiba csak lassan korrigálódik. Ezért, és mert explicit módon nem számítható ki pontosan a megfelelő P és I arány, szimulációs vizsgálatok, vagy a megépült rendszeren történő kísérletezés közbeni P és I korrekciók szükségesek.

A P és I erősítések arányának megfelelő megválasztása túllendülés nélküli, általában elegendően gyors beállást eredményez. További, „D”, differenciáló csatorna is alkalmazható, főként gyorsításra.

A PI típusú szabályozó további tulajdonságai az alábbiakban foglalhatók össze:

átviteli függvénye

$$W_{PI}(s) = A_P \left(1 + \frac{1}{sT_I} \right) = \frac{A_P}{T_I} \frac{1 + sT_I}{s},$$

alakban írható, ahol a szabályozó arányos csatornájának A_p erősítése, és az I csatorna T_I integrálási ideje pozitív értékek. A szabályozó a körerősítést A_p / T_I -szeresére változtatja, és a kör típuszámát eggyel növeli. A PI szabályozóra az általánosnak mondható esetre vonatkozó idő- és frekvencia-tartománybeli tulajdonságok állnak fenn.

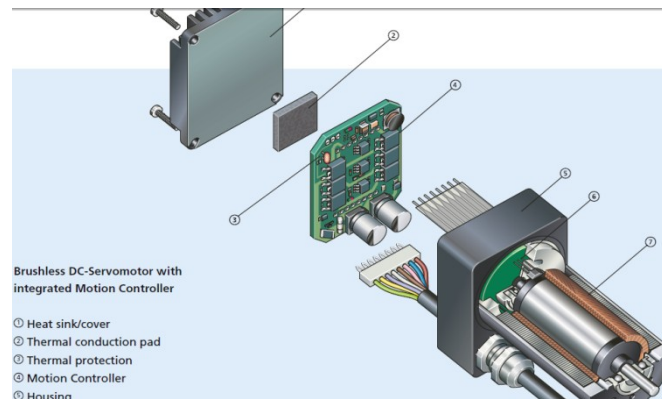
Az átmeneti függvény alakja korlátozatlan esetben

$$v_{PI}(t) = A_P \cdot l(t) \cdot \left(1 + \frac{t}{T_I}\right)$$

Az alkalmazható feszültség- és áramkorlátozások a felfutás meredekségére hatnak, 26. ábra sebesség - zöld - görbéje.

Korszerű építési módok

Kompakt egybeépítés, új fejlesztések eredményeként, 15. ábra.



15. ábra. Kompakt építési mód beintegrált vezérlő-irányító rendszerrel: ez eredményezi a legkisebb összterefogatot

Önellenőrző kérdések

1 Válassza ki a *hibás* válaszokat az állandómágneses motorindítására és fékezésére vonatkozó megállapítások közül: (*hibásak: a,c,e,f*)

- a) a motor belső feszültsége az indítás folyamán végig zérus,
- b) exponenciális jellegű gyorsulási és fékezési folyamat állandó feszültségen lehetséges ,
- c) a féküzemre vonatkozó kapcsolási ábra csak ugyanazon előjelű feszültségeket tartalmaz,
- d) intenzív lassulás féküzemben közel a megállásig tarthat, ha negatív előjelű is lehet a tápfeszültség
- e) a hatásvázlat alapvetően hardveres kapcsolatokat szemléltet,
- f) a pozíciószabályozások bármilyen időfüggvényű terhelőnyomatéokra zérus maradó beállási hibával rendelkeznek.

2 Jelölje meg azokat a szempontokat, amelyektől *függ* a pozíciószabályozás állandósult állapotban fennmaradó hibája: *erősítési tényező(k)*, áramkorlát, feszültségkorlát, időállandók, *terhelő nyomaték nagysága és időfüggvénye*, tápfeszültség, *útmérés pontossága*, *P vagy PI jellegű-e a szabályozás?*

3. Jelölje meg a *hibás* válaszokat! (*a, b, c* mind *hibásak*):

- *a) a súlyerő nyomatékával terhelt robotkar a motornyomaték megfelelő beállítása mellett zérus szög helyzet- hibával nem tud állva maradni az előírt pozícióban, sem P, sem PI szabályozásnál,*

- *b) súlyerő nyomatékával nem terhelt robotkar a motornyomaték megfelelő beállítása mellett változó szög helyzet- hibával fog állva maradni az előírt pozícióban PI szabályozásban,*

- *c) a súlyerő nyomatékával terhelt robotkar a motornyomaték megfelelő beállítása mellett zérus szög helyzet- hibával fog állva maradni az előírt pozícióban már P szabályozásban is.*

Modulzáró kérdések

1. Válassza ki a helyes válaszokat az állandómágneses motor tulajdonságok közül: (mind az 5 hibás)

- *rugalmas, nem fordulatszám tartó,*
- *sebessége hiperbolikusan függ a terheléstől,*
- *indító nyomatéka áramfüggetlen,*
- *hatásfoka az R' -nél nagyobb értékű,*
- *indítási árama kedvezően alacsony, nem igényel korlátozást.*

2. Jelölje meg azokat a szempontokat, amelyektől *függ* a nyomaték: a *menetszámtól*, a *légrésindukciótól*, a légrés nagyságától, a feszültségtől, a *fluxustól*, fordulatszámától, a frekvenciától, *az áramtól*, a terhelő nyomatéktól, az időállandótól.

3. Jelölje meg a *hibás* válaszokat: (*b,c,d,e* *hibásak*)

a) a nyomaték a mágneses térben lévő áramjárta vezetőkre ható erőkől származik,

b) a nyomaték a feszültségtől függ,

c) a gépállandó csak az indukált feszültséget és az időállandót befolyásolja,

d) a kommutátor végzi a fordulatszám szabályozását,

e) az indukált feszültség és a kifejtett nyomaték egymásra hatnak,

f) a motor szögsebesség- áram, illetve szögsebesség-nyomaték függvényeinek meredeksége csak az R ellenállástól függ,

g) a mozgásegyenlet a gyorsulás/lassulás nagyságát adja meg a nyomaték és a tehetetlenségi nyomaték függvényében.

h) a sebesség változása alatt a nyomaték értéke változatlan maradhat, ha áramszabályozót alkalmazunk.

i) a DC motor álló helyzetben nem képes nyomatékot kifejteni.

4. Válassza ki a **helyes** válaszokat az állandómágneses motor indítására és fékezésére vonatkozó megállapítások közül:

-a) *a motor belső feszültsége az indítás folyamán végig zérus,*

- b) **exponenciális jellegű gyorsulási és fékezési folyamat állandó feszültségen lehetséges,**

- c) *a féküzemre vonatkozó kapcsolási ábra csak ugyanazon előjelű feszültségeket tartalmaz,*

- d) **intenzív lassulás féküzemben közel a megállásig tarthat, ha negatív előjelű is lehet a tápfeszültség,**

- e) *a hatásvázlat alapvetően hardveres kapcsolatokat szemléltet,*

- f) *a pozíciószabályozások bármilyen időfüggvényű terhelőnyomatékra zérus maradó beállási hibával rendelkeznek.*