

Elektrotechnika

9. előadás

Transzformátorok

- **Villamos gépek, Transzformátorok**

Villamos gépek ~ energia átalakítók

Forgó villamos gépek:

mechanikai energiát alakítanak át villamos energiává vagy fordítva

Transzformátorok: villamos energiából villamos energia

A villamos energia jellemzőit:

feszültségét, áramerősségét, fázisszámát változtatják meg

1885: Első zárt vasmagú transzformátor, Bláthy, Déri és Zipernowszky szabadalma alapján a Ganz gyárban

Az alkalmazás célja: feszültség, áram vagy impedancia átalakítása

Transzformátorok működési elve: Faraday féle indukció

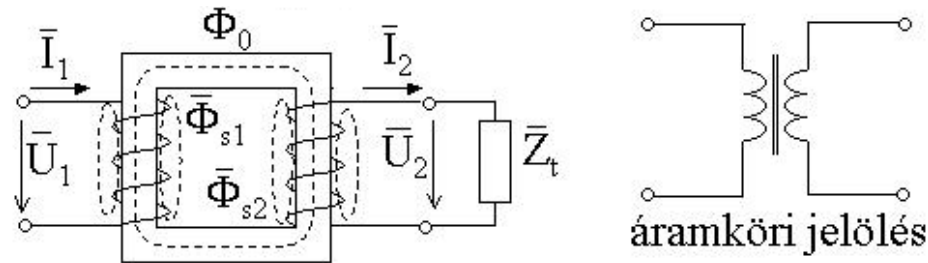
$$u_i = N \frac{d\Phi}{dt}$$

Hálózatok analízise

1. **Transzformátorok**
2. **Egyfázisú transzformátor**
3. **Egyfázisú transzformátor**
4. **Egyfázisú transzformátor**
5. **Villamos helyettesítő kép**
6. **Üresjárás**
7. **Terhelés**
8. **Rövidzárás**
9. **Drop**
10. **3 fázisú transzformátorok**
11. **Transzformátorok párhuzamos üzeme**
12. **Takarékkapcsolású transzformátorok**
13. **Feszültségváltók**
14. **Áramváltók**

Transzformátorok

• Egyfázisú transzformátorok



Transzformátor: vasmag és az ezen elhelyezett egy vagy több tekercs

Vasmag általában lemezelt az örvényáramú veszteség csökkentése miatt

Φ_0 : főfluxus

Φ_{s1} és Φ_{s2} : primer és szekunder szórt fluxus

A transzformátor tekercseiben indukálódó feszültség: $\Phi_0 = \Phi_{0\max} \cdot \sin \omega t$

Az indukciótörvény alapján

$$u_{i1} = N_1 \cdot \frac{d\Phi_0}{dt} = N_1 \cdot \Phi_{0\max} \cdot \cos \omega t$$

$$u_{i2} = N_2 \cdot \frac{d\Phi_0}{dt} = N_2 \cdot \Phi_{0\max} \cdot \cos \omega t$$

Transzformátorok

• Egyfázisú transzformátorok

Az indukált feszültség maximuma: $u_{i\max} = 2\pi f N \Phi_{0\max}$

$$u_i = \frac{2\pi}{\sqrt{2}} \cdot f N \Phi_{0\max} = 4,44 \cdot f N \Phi_{0\max}$$

Az indukált feszültség az N1 és N2 menetű tekercsekben:

A menetszámtétel:

$$a = \frac{N_1}{N_2}$$

$$u_{i1} = 4,44 f N_1 \Phi_{0\max}$$

$$u_{i2} = 4,44 f N_2 \Phi_{0\max}$$

A feszültségáttétel:

$$a_u = \frac{U_{i1}}{U_{i2}} = a = \frac{N_1}{N_2}$$

$$U_{i2} = U_{20}$$

Üresjárásban:

$$U_{i1} \approx U_1$$

$$a_u \approx \frac{U_1}{U_{20}}$$

Hálózatok analízise

1. Transzformátorok
2. Egyfázisú transzformátor
3. **Egyfázisú transzformátor**
4. Egyfázisú transzformátor
5. Villamos helyettesítő kép
6. Üresjárás
7. Terhelés
8. Rövidzárás
9. Drop
10. 3 fázisú transzformátorok
11. Transzformátorok párhuzamos üzeme
12. Takarékkapcsolású transzformátorok
13. Feszültségváltók
14. Áramváltók

Transzformátorok

• Egyfázisú transzformátorok

Az áramáttétel:

$$U_{i1} \cdot I_1 = U_{i2} \cdot I_2$$

$$a_i = \frac{I_1}{I_2} = \frac{U_{i2}}{U_{i1}} = \frac{1}{a_u} = \frac{1}{a}$$

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{1}{a}$$

Az impedanciaáttétel:

$$\frac{Z_1}{Z_2} = \frac{U_1}{U_2} = \frac{U_1}{U_2} \cdot \frac{I_2}{I_1} = a^2$$

$$\frac{Z_1}{Z_2} = a^2$$

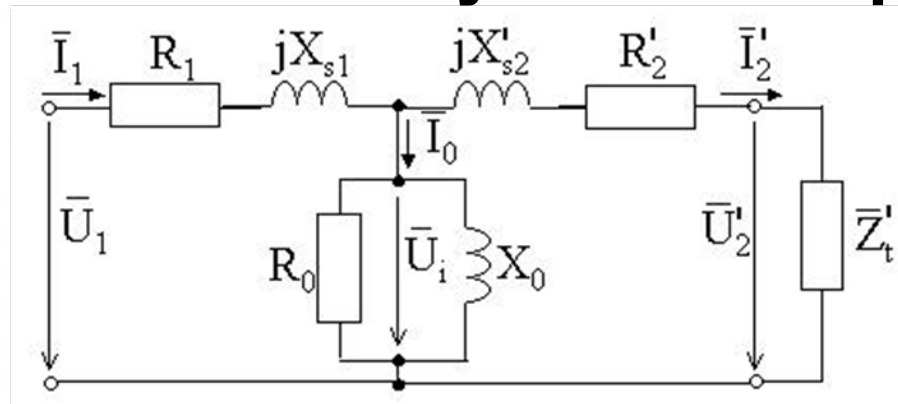
Hálózatok analízise

1. Transzformátorok
2. Egyfázisú transzformátor
3. Egyfázisú transzformátor
4. **Egyfázisú transzformátor**
5. Villamos helyettesítő kép
6. Üresjárás
7. Terhelés
8. Rövidzárás
9. Drop
10. 3 fázisú transzformátorok
11. Transzformátorok párhuzamos üzeme
12. Takarékkapcsolású transzformátorok
13. Feszültségváltók
14. Áramváltók

Villamos gépek

Transzformátorok

- **Villamos helyettesítő kép**



R_1, R_2 : primer illetve szekunder tekercs ohmikus ellenállása

X_{S1}, X_{S2} : primer illetve szekunder oldali szórási reaktancia

R_0 : vasvesztéséget szimbolizáló ellenállás

X_0 : a főfluxust szimbolizáló reaktancia

Z_t : terhelő impedancia

$$R'_2 = a^2 R_2$$

Mennyiségek egymáshoz viszonyított aránya:

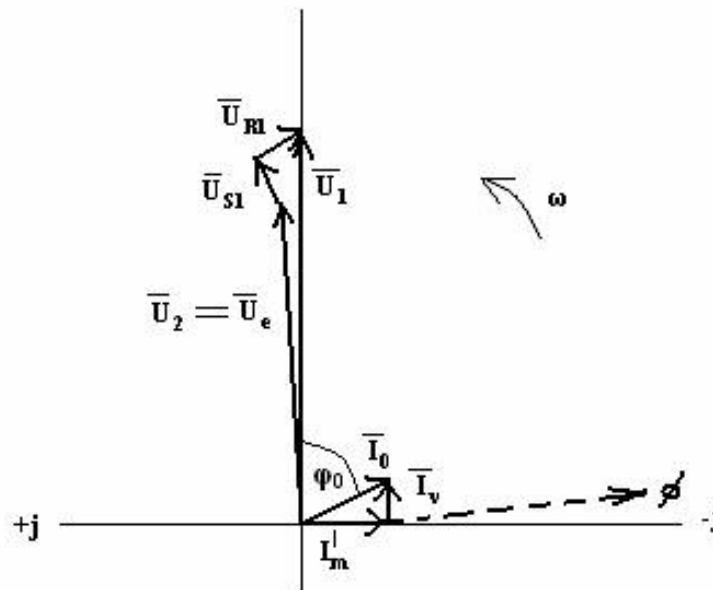
$$R_1 : R_2 : X_{S1} : X_{S2} : X_0 : R_0 = 1 : 1 : 2 : 2 : 1000 : 10000$$

Hálózatok analízise

1. Transzformátorok
2. Egyfázisú transzformátor
3. Egyfázisú transzformátor
4. Egyfázisú transzformátor
5. **Villamos helyettesítő kép**
6. Üresjárás
7. Terhelés
8. Rövidzárás
9. Drop
10. 3 fázisú transzformátorok
11. Transzformátorok párhuzamos üzeme
12. Takarékkapcsolású transzformátorok
13. Feszültségváltók
14. Áramváltók

Transzformátorok

• Üresjárás



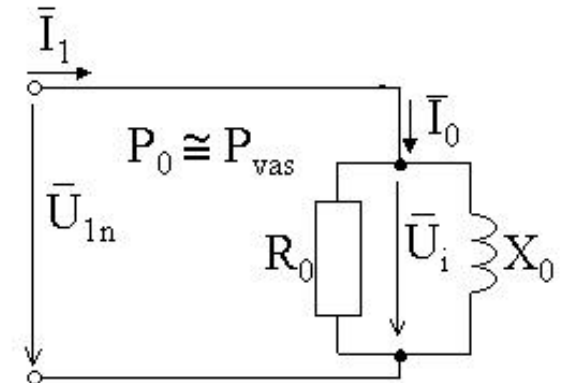
U_e : főfluxus által indukált feszültség

I_0 : üresjárási primer áram

I_v : üresjárási áram wattos komponense

I_m : üresjárási áram meddő komponense

Egyszerűsített helyettesítő kép:



$$\cos \varphi \sim 0,1$$

$$I_2' = 0 \Rightarrow \bar{U}_2 = \bar{U}_e$$

$$\bar{U}_e + \bar{U}_{S1} + \bar{U}_{R1} + \bar{U}_1 = 0$$

$$\bar{U}_e = \bar{U}_1 - \bar{U}_{R1} - \bar{U}_{S1}$$

Transzformátorok

- **Terhelés**

A szekunder kapcsokon fogyasztó

Az üzemállapotra jellemző egyenletek:

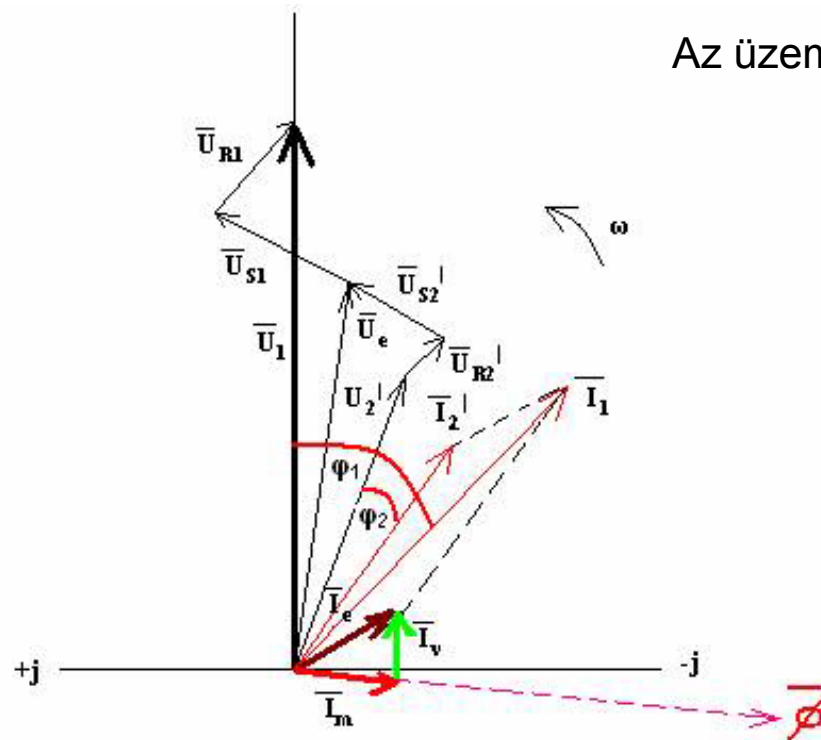
$$I_2' \neq 0$$

$$\bar{U}_e = \bar{U}_1 - \bar{U}_{R1} - \bar{U}_{S1}$$

$$\bar{U}_2' = \bar{U}_e - \bar{U}_{S2}' - \bar{U}_{R2}'$$

$$U_e = U_1 - U_{R1} - U_{S1}$$

$$U_2' = U_e - U_{S2}' - U_{R2}'$$

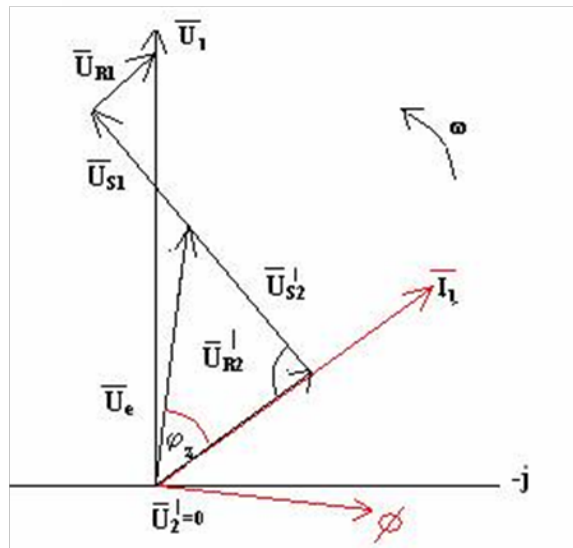
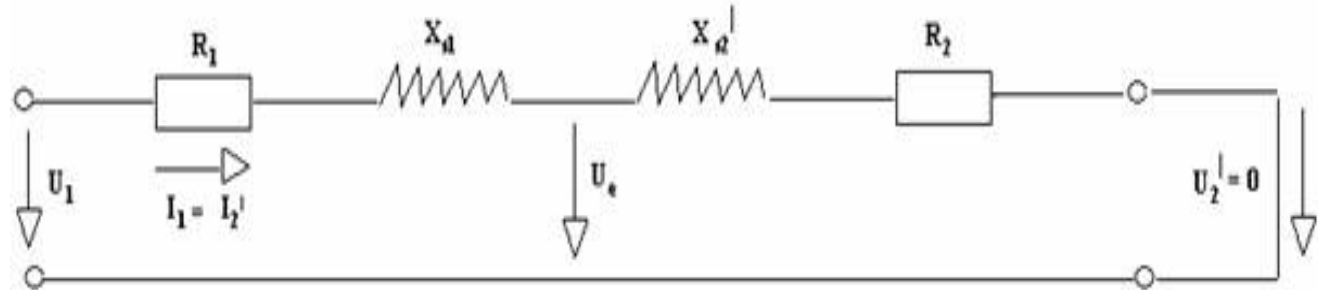


Villamos gépek

Transzformátorok

• Rövidzárás

Az üresjárásival ellentétes szélső terhelési állapot



Az üzemállapotra jellemző egyenletek:

$$I_1 = I_2' = \frac{\bar{U}_1}{R_1 + jX_{S1} + R_2' + jX_{S2}}$$

$$I_{1rz} \approx I_{1n} 10 \div 30$$

$$\bar{U}_e = \bar{U}_{R2}' + \bar{U}_{S2}'$$

$$\bar{U}_e = \bar{U}_1 - \bar{U}_{R1} - \bar{U}_{S1}$$

$$\bar{U}_1 = \bar{U}_{R2}' + \bar{U}_{S2}' + \bar{U}_{S1} + \bar{U}_{R1} \Rightarrow \bar{U}_e \approx \frac{\bar{U}_1}{2}$$

Hálózatok analízise

1. Transzformátorok
2. Egyfázisú transzformátor
3. Egyfázisú transzformátor
4. Egyfázisú transzformátor
5. Villamos helyettesítő kép
6. Üresjárás
7. Terhelés
8. Rövidzárás
9. Drop
10. 3 fázisú transzformátorok
11. Transzformátorok párhuzamos üzeme
12. Takarékkapcsolású transzformátorok
13. Feszültségváltók
14. Áramváltók

Transzformátorok

- **Drop (százalékos rövidzárási feszültség)**

Drop: az erőátviteli transzformátorok adattáblájáról leolvasható fontos műszaki paraméter, értékét a gyártómű méréssel határozza meg

A transzformátor szekunder kapcsait rövidre zárva, azt a primer feszültséget, amelynél a primer tekercsben a névleges primer áram (I_{1n}) folyik, rövidzárási feszültségnek nevezzük:

$$U_{1z} = I_{1n} \times Z_z$$

Drop, vagy százalékos rövidzárási feszültség:

$$\varepsilon = \frac{U_{1rz}}{U_{1n}} \cdot 100\% = \frac{I_{1n}}{I_{1rz}} \cdot 100\%$$

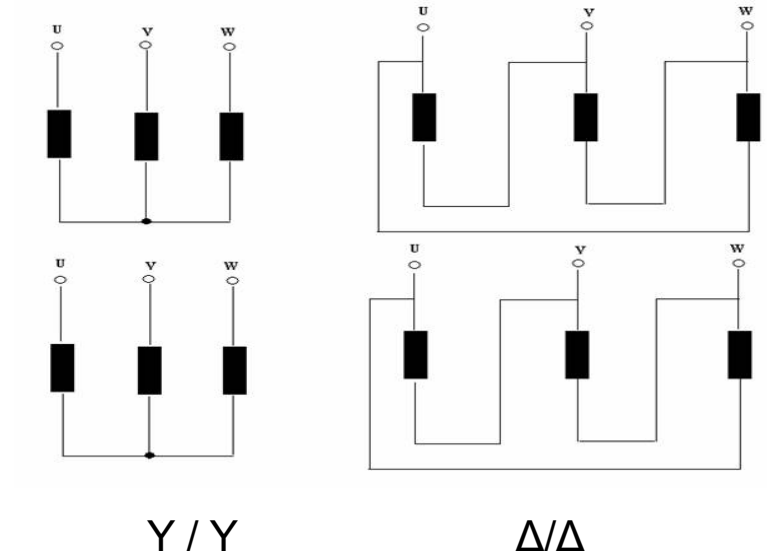
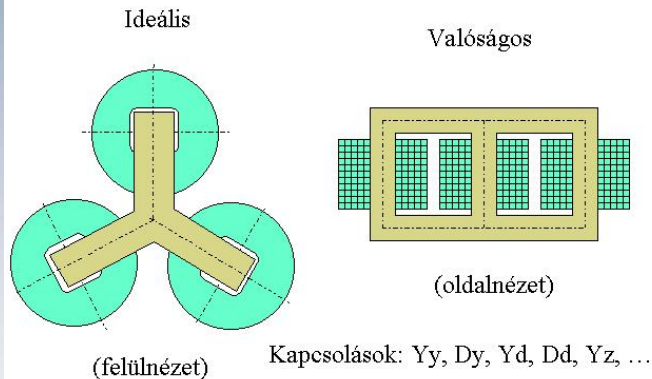
Hálózatok analízise

1. Transzformátorok
2. Egyfázisú transzformátor
3. Egyfázisú transzformátor
4. Egyfázisú transzformátor
5. Villamos helyettesítő kép
6. Üresjárás
7. Terhelés
8. Rövidzárás
9. **Drop**
10. 3 fázisú transzformátorok
11. Transzformátorok párhuzamos üzeme
12. Takarékkapcsolású transzformátorok
13. Feszültségváltók
14. Áramváltók

Transzformátorok

- **Háromfázisú transzformátorok**

Erőátviteli transzformátorok



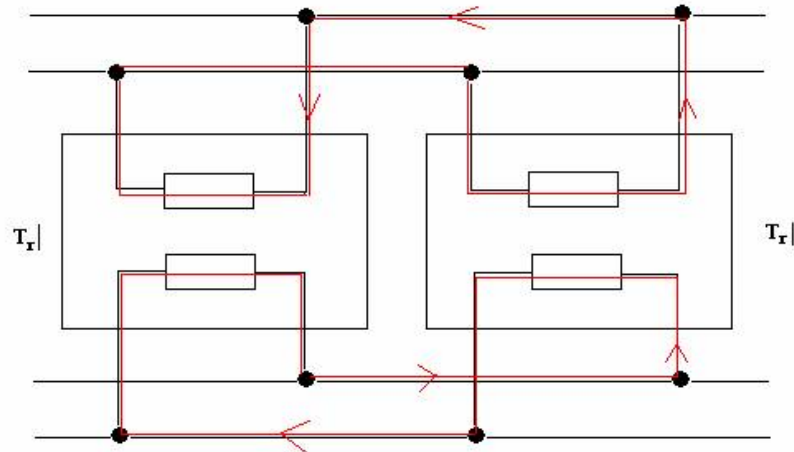
Szokásos **kapcsolási csoportok**: Yz5, Yd5, Dy5

Hálózatok analízise

1. Transzformátorok
2. Egyfázisú transzformátor
3. Egyfázisú transzformátor
4. Egyfázisú transzformátor
5. Villamos helyettesítő kép
6. Üresjárás
7. Terhelés
8. Rövidzárás
9. Drop
10. **3 fázisú transzformátorok**
11. Transzformátorok párhuzamos üzeme
12. Takarékkapcsolású transzformátorok
13. Feszültségváltók
14. Áramváltók

Transzformátorok

• Transzformátorok párhuzamos üzeme



Párhuzamos üzemhez az alábbiaknak kell teljesülni:

- Nincs kiegyenlítő áram a párhuzamosan kapcsolt transzformátorok között,
- Terhelés a transzformátorok között névleges teljesítményeik arányában oszlik meg

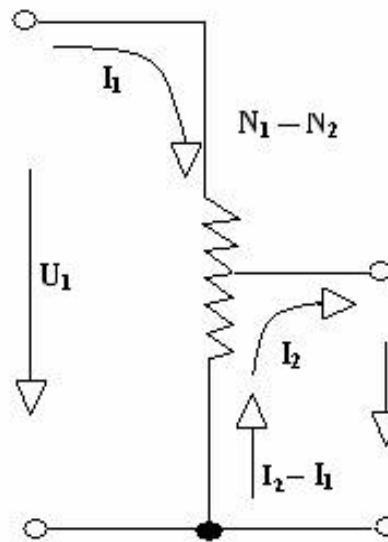
Ezek a feltételek akkor teljesülnek ha:

- Primer és szekunder névleges feszültségek megegyeznek, azonos az áttétel ($a_I = a_{II}$)
- Fázisfeszültségek azonos fázisúak (kapcsolási csoport azonos)
- A transzformátorok dropjai egyenlők $\varepsilon_I = \varepsilon_{II}$

Villamos gépek

Transzformátorok

- **Különleges transzformátorok**
Takarékkapcsolású transzformátorok



Előnyök:

- kisebb tekercs- és vasveszteség
- kisebb méret és súly,
- szabályozó transzformátorként is használhatók

Hátrányok:

- galvanikus kapcsolat a primer és szekunder tekercs között
- ha szakadás lép fel az N_2 -nél, akkor $U_2 = U_1$
- rövidzárási árama nagy

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

Hálózatok analízise

1. Transzformátorok
2. Egyfázisú transzformátor
3. Egyfázisú transzformátor
4. Egyfázisú transzformátor
5. Villamos helyettesítő kép
6. Üresjárás
7. Terhelés
8. Rövidzárás
9. Drop
10. 3 fázisú transzformátorok
11. Transzformátorok párhuzamos üzeme
12. **Takarékkapcsolású transzformátorok**
13. Feszültségváltók
14. Áramváltók

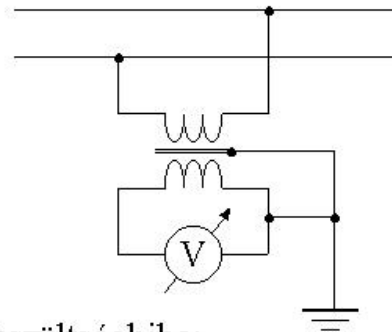
Transzformátorok

- **Mérőtranszformátorok**

Nagy váltakozófeszültségek és -áramok mérésére alkalmas különleges transzformátorok

1. Feszültségváltók

A nagy váltakozófeszültséget alakítja át közvetlenül mérhető értékre, általában 100V-ra



feszültséghiba:

$$h = \frac{aU_2 - U_1}{U_1} 100\% \\ (0,1 \dots 3)\%$$

szöghiba:

$$\delta = (4 \dots 40)'$$

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2} = a$$

Fontos: A feszültségváltó szekunder kapcsait nem szabad rövidrezárni!

Hálózatok analízise

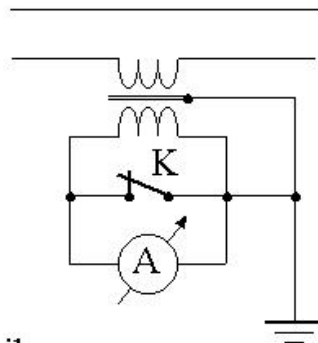
1. Transzformátorok
2. Egyfázisú transzformátor
3. Egyfázisú transzformátor
4. Egyfázisú transzformátor
5. Villamos helyettesítő kép
6. Üresjárás
7. Terhelés
8. Rövidzárás
9. Drop
10. 3 fázisú transzformátorok
11. Transzformátorok párhuzamos üzeme
12. Takarékkapcsolású transzformátorok
13. **Feszültségváltók**
14. Áramváltók

Transzformátorok

- **Mérőtranszformátorok**

2. Áramváltók

A nagy váltakozóáramot alakítja át közvetlenül mérhető értékre, általában 5A-ra



áramhiba:

$$h = \frac{I_2/a - I_1}{I_1} 100\% \\ (0,1 \dots 10)\%$$

szöghiba:

$$\delta = (6 \dots 60)^\circ$$

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1} = \frac{1}{a}$$

Fontos: Az áramváltó szekunder körét megszakítani nem szabad!

Hálózatok analízise

1. Transzformátorok
2. Egyfázisú transzformátor
3. Egyfázisú transzformátor
4. Egyfázisú transzformátor
5. Villamos helyettesítő kép
6. Üresjárás
7. Terhelés
8. Rövidzárás
9. Drop
10. 3 fázisú transzformátorok
11. Transzformátorok párhuzamos üzeme
12. Takarékkapcsolású transzformátorok
13. Feszültségváltók
14. **Áramváltók**