Védelmi és
Irányítástechnikai
Fórum
2017.

Transzformátorok védelme

Dr. Petri Kornél

Transzformátor védelmi igények

Transzformátoron belüli hibák

- menetzárlat
- fázisok közötti zárlat
- fázis-föld rövidzárlat
- fokozatkapcsoló hiba
- olajszint-csökkenés
- vaszárlat

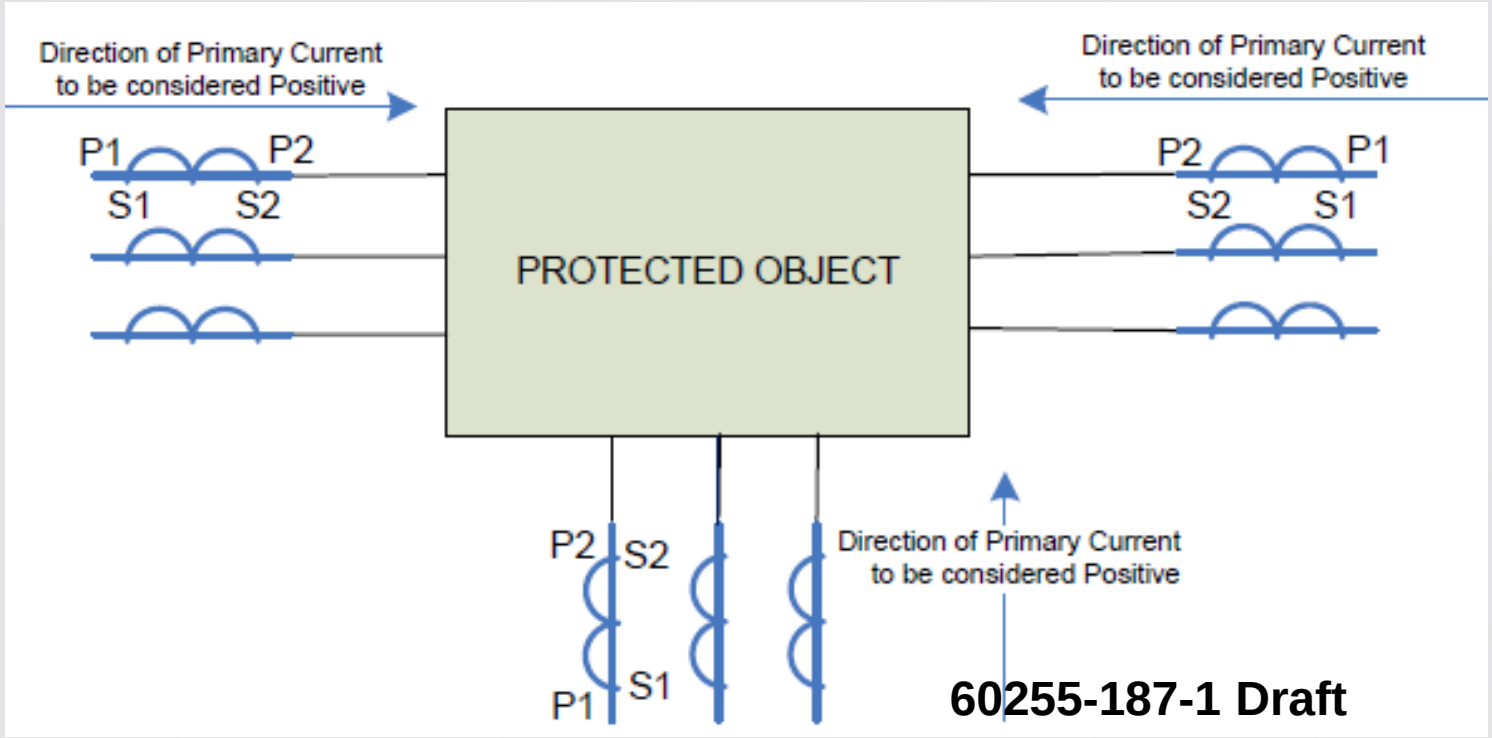
Transzformátor épségét veszélyeztető külső hibák

- fázis-földzárlat
- fázisok közötti zárlat
- túlterhelés
- túlmelegedés
- túlgerjesztés
- feszültségnövekedés
- hűtéskimaradás

Transzformátor védelmi funkciók

- gázvédelem + olajlökés védelem
- hőmérséklet-védelem, -> hőmás védelem
- **különbözeti védelem (differenciál védelem)**
- **zérus sorrendű különbözeti védelem**
- késleltetett zárlati túláramvédelem
- túlterhelés védelem-> hőmás védelem
- impedancia-csökkenési védelem (gyűjtősín)
- földzárlatjelzés
- **túlgerjesztés elleni védelem**
- autonóm zárlati túláramvédelem
- megszakító beragadási védelem

Differenciál védelem

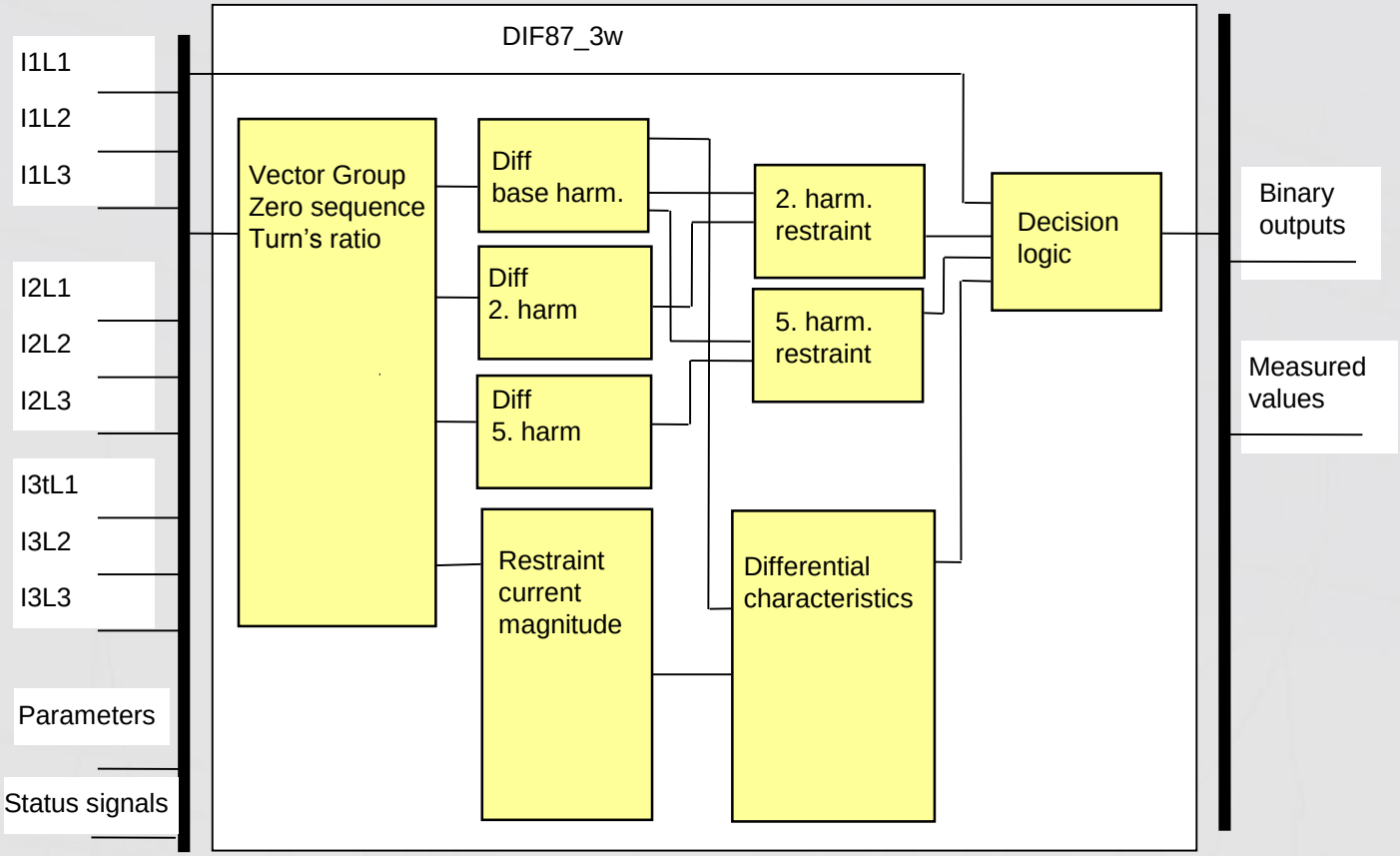


$$\Sigma I = 0$$

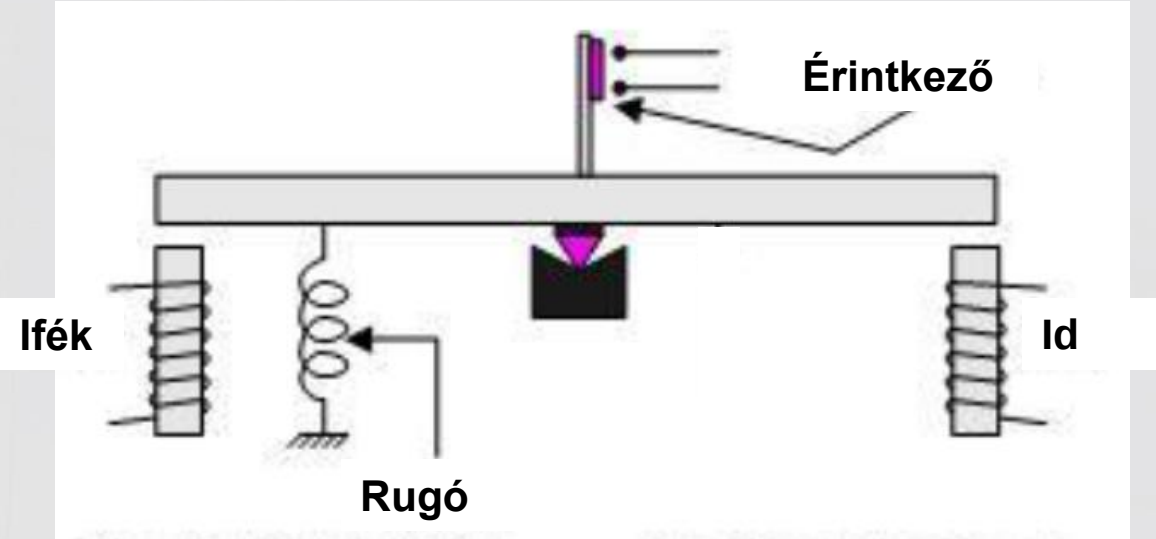
A differenciál védelem

problémái	és	megoldásai
• **Mérési pontatlanság**	→	• Működési karakterisztika
• **Transzformátorok forgatása, áttétele**	→	• Áramváltók kapcsolása/ mátrix transzformáció
• **Zérus sorrendű áramösszetevő**	→	• Zérus sorrend „eliminálása”
• **Bekapcsolási áramlökés**	→	• Harmonikus fékezés / alakfelismerés
• **Túlgerjesztés**	→	• Harmonikus fékezés / alakfelismerés
• **Áramváltó telítés**	→	• Áramváltó méretezés

A differenciál védelem numerikus megvalósítása

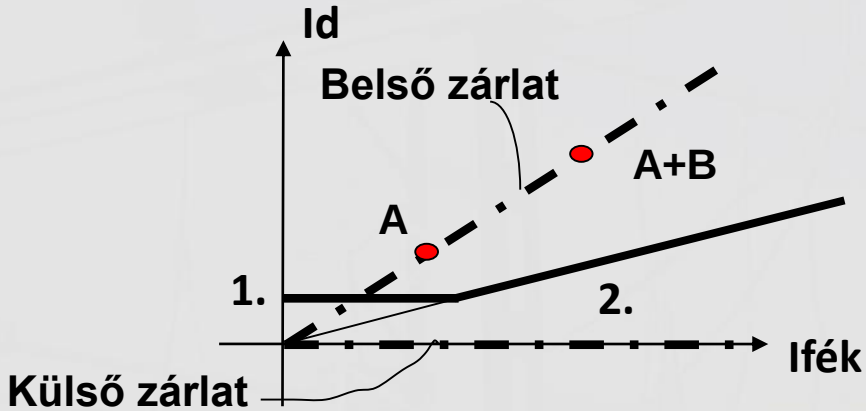


A „fékezés” elve



Hibaforrások:

- **Áttétel eltérés**
- **Mérési hibák**
- **Fokozatkapcsoló állás**



Differenciál védelem

PROTECTA HUNGARY

Különbözeti áram

$$\Sigma \mathbf{I} = \mathbf{0}$$

Az áramok vektoriális összege (befelé mutató pozitív irányítással)

$$(|\boldsymbol{I_1} + \boldsymbol{I_2}|)$$

Fékező áram

- $(|\boldsymbol{I_1}| + |\boldsymbol{I_2}|)/\boldsymbol{K}$
- $(|I_1 - I_2|)/K$
- $max(|I_1|, |I_2|)$
- $min(|I_1|, |I_2|)$
- $(|I_1| + |I_2| - |I_{diff}|)/K$
- $\sqrt{|I_1| * |I_2| * \cos(\propto)}/K$
- $((|I_1| - MaxLoad) + (|I_2| - MaxLoad))/K$

Áram:

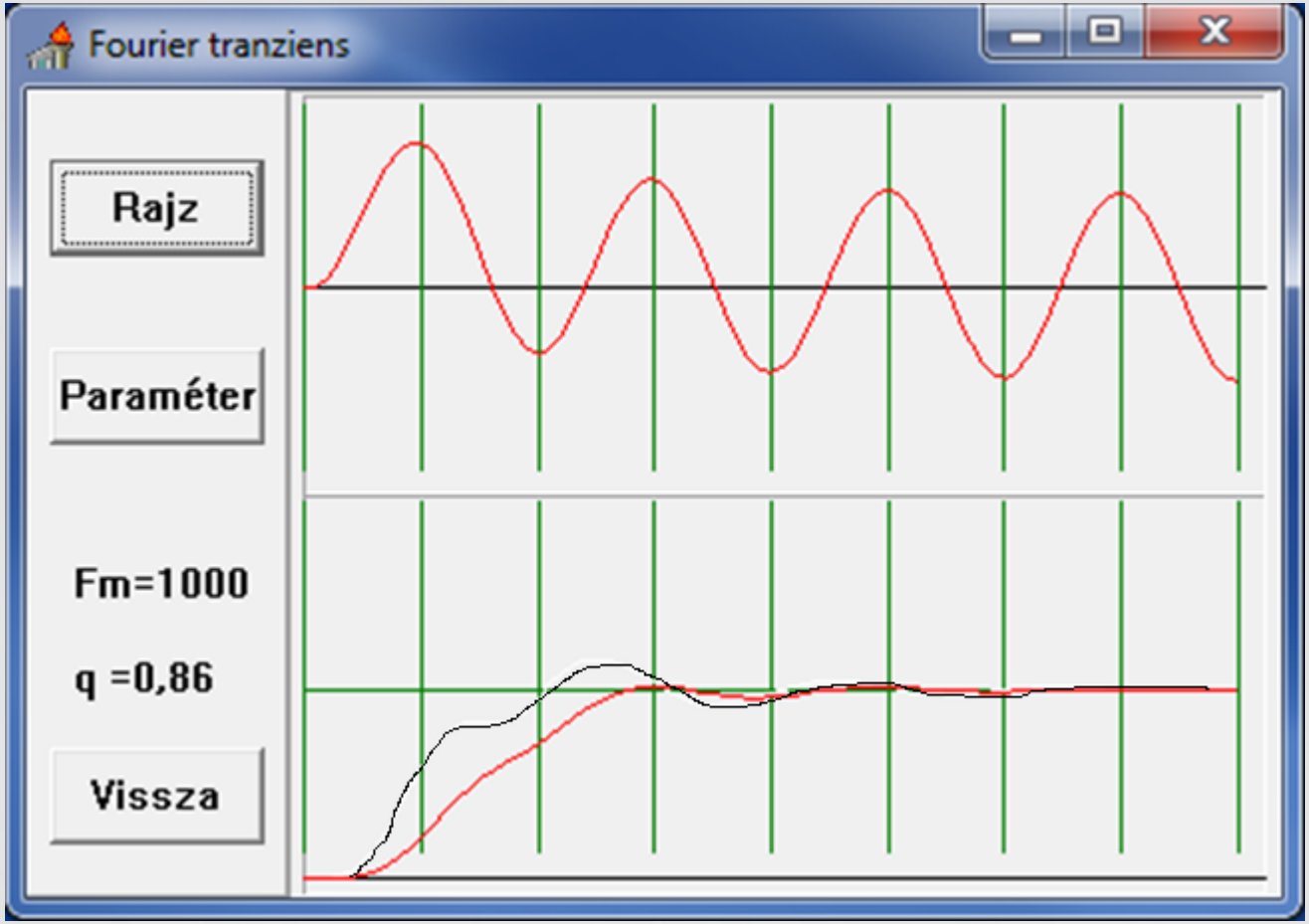
Effektív, Egyenirányított közép, Alapharmonikus, Csúcs, …

Áram számítás

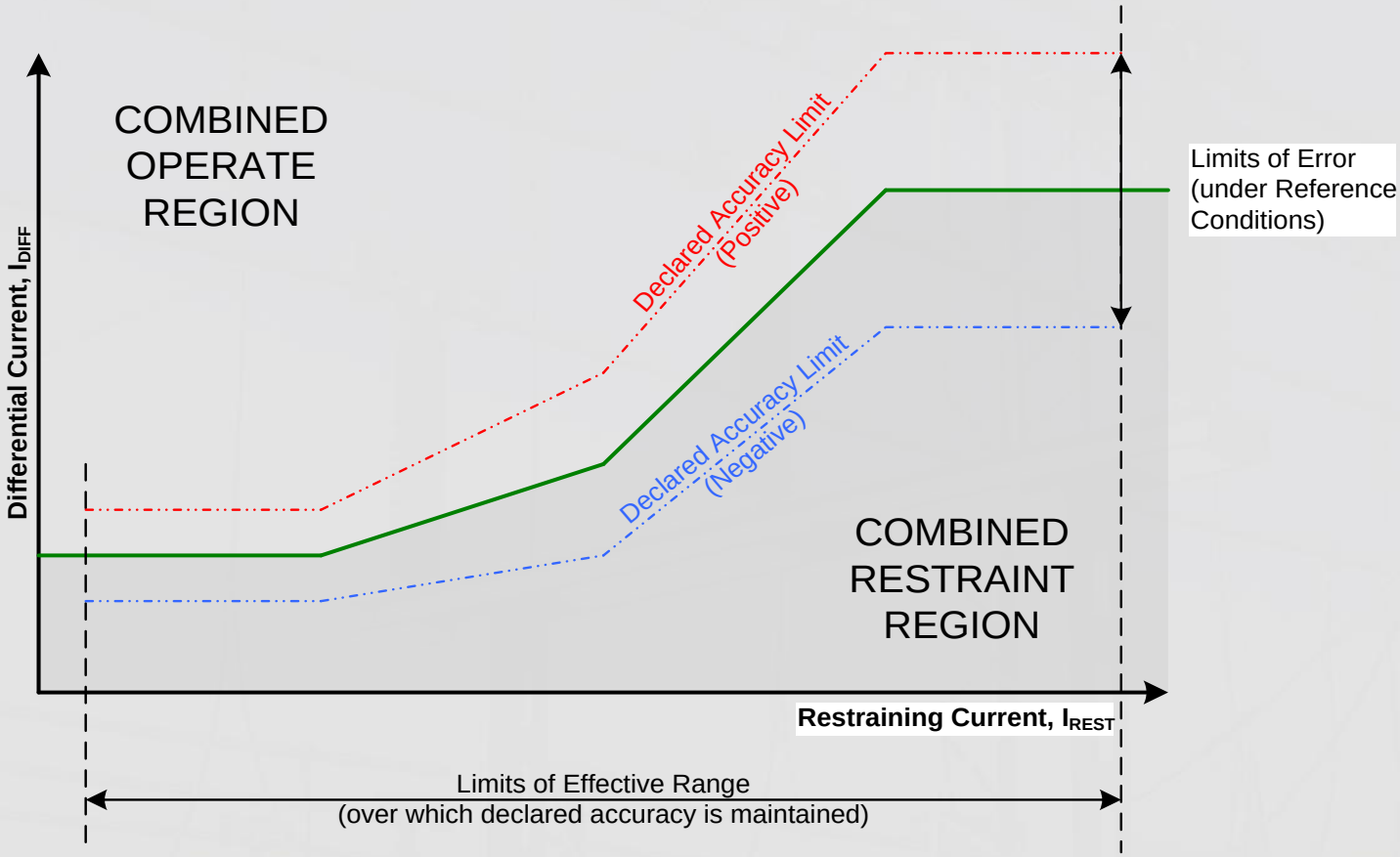
(példa)

i(t)

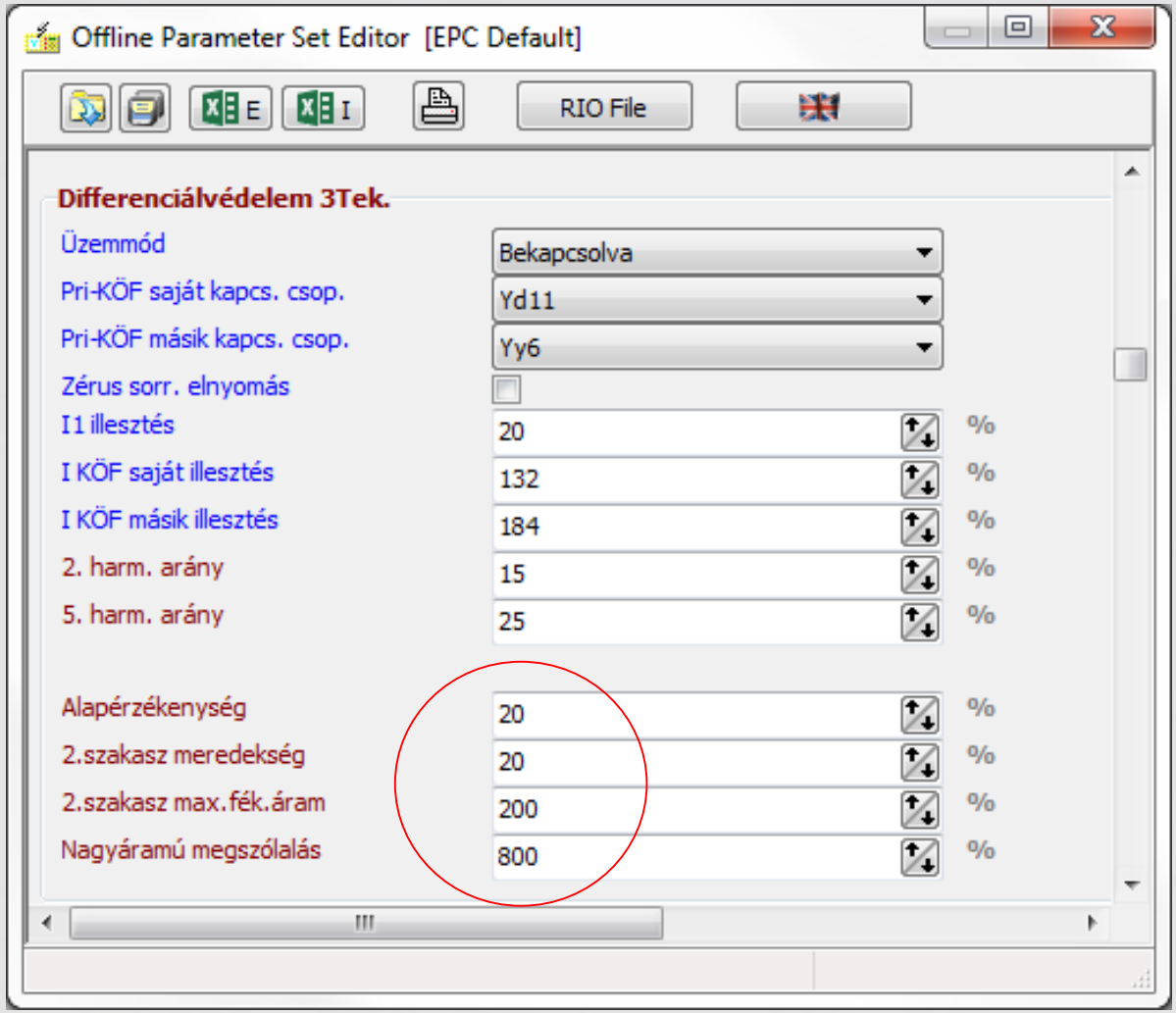
I_{eff}



A differenciál védelem szokásos karakterisztikája



Beállítási példa



Amplitudó kiegyenlítés numerikus védelemben

PROTECTA HUNGARY

Példa adatok:

Sn = 40/30/20 MVA

U1/U2/U3 = 120/36,75/22 kV

ÁV1	1000/1 A
ÁV2	500/1 A
ÁV3	600/1 A

Számítás:

I1nprim = 192 A ÁV szek.oldal: 0,192 A **Referencia érték 0.2 A**

(I2nprim = 471 A) Áttétellel számítva: 627 A ÁV szek.oldal: 1,254 A

(I3nprim = 525 A) Áttétellel számítva: 1047 A ÁV szek.oldal: 1,745 A

Beállítandó paraméterek:

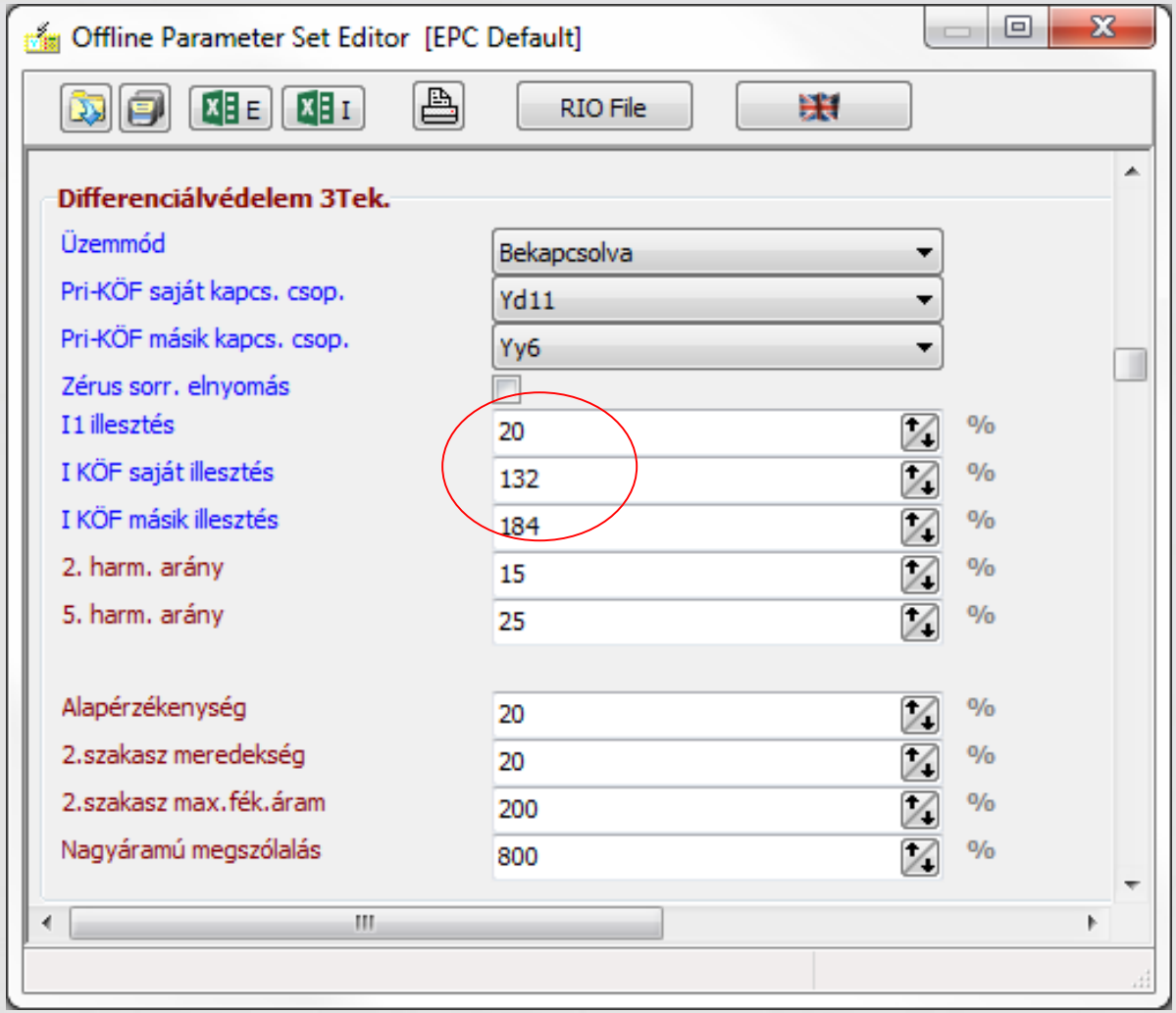
I1 illesztés = 19.2*20/19.2 = 20 %

I2 illesztés = 125,4*20/19.2 = 132 %

I3 illesztés = 174,5*20/19.2 = 184 %

+ Belső pontosság!

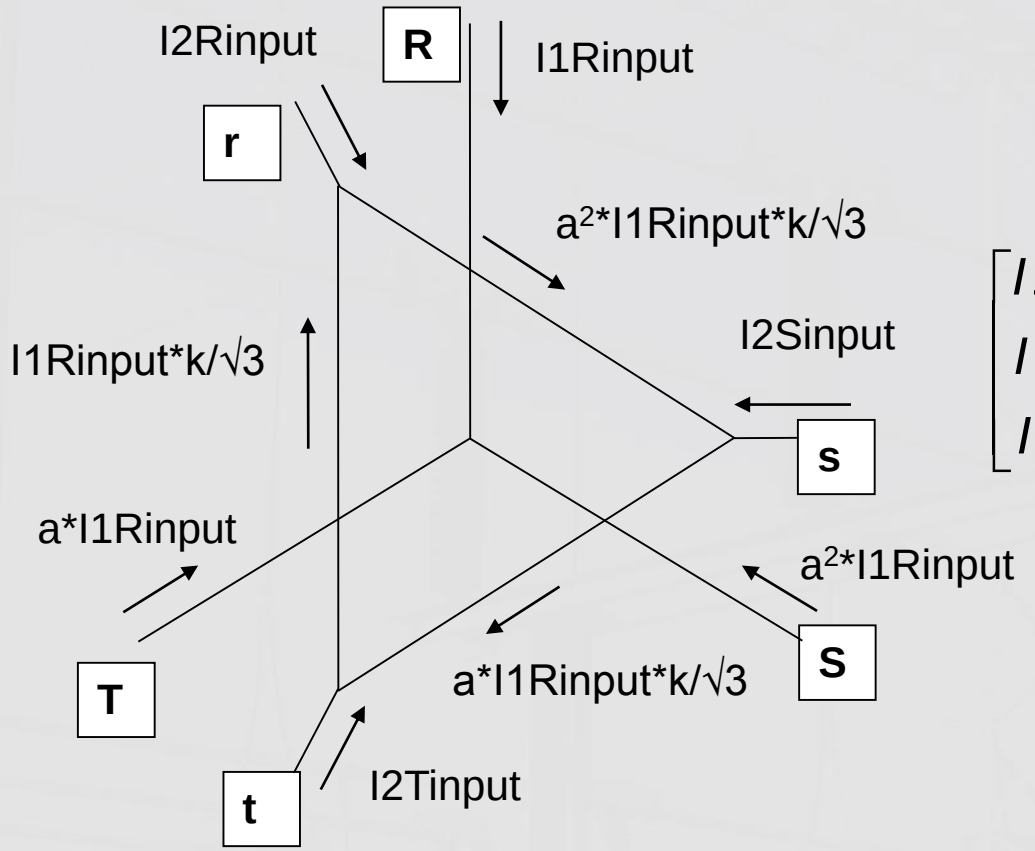
Beállítási példa



Differenciál védelem
A vektorforgatás kiegyenlítése

Transzformátor forgatása

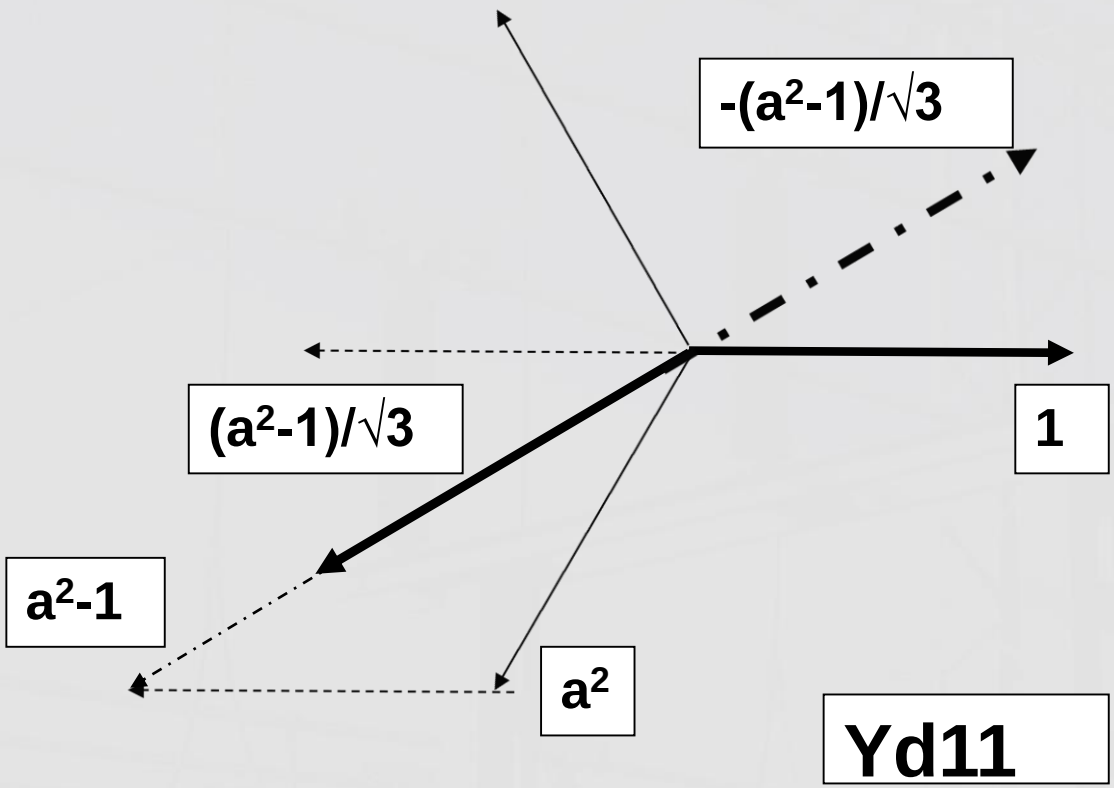
Átmenő szimmetrikus áram



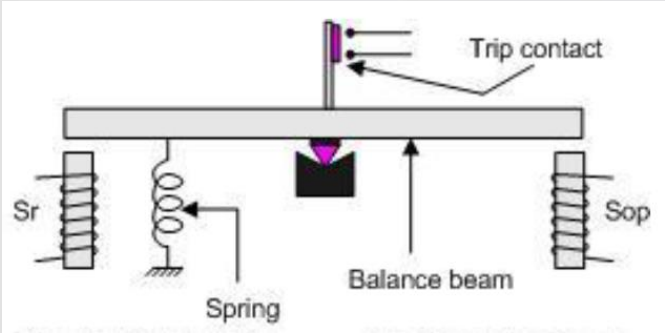
$$\begin{bmatrix} I1Rinput \\ I1Sinput \\ I1Tinput \end{bmatrix} = I \begin{bmatrix} 1 \\ a^2 \\ a \end{bmatrix}$$

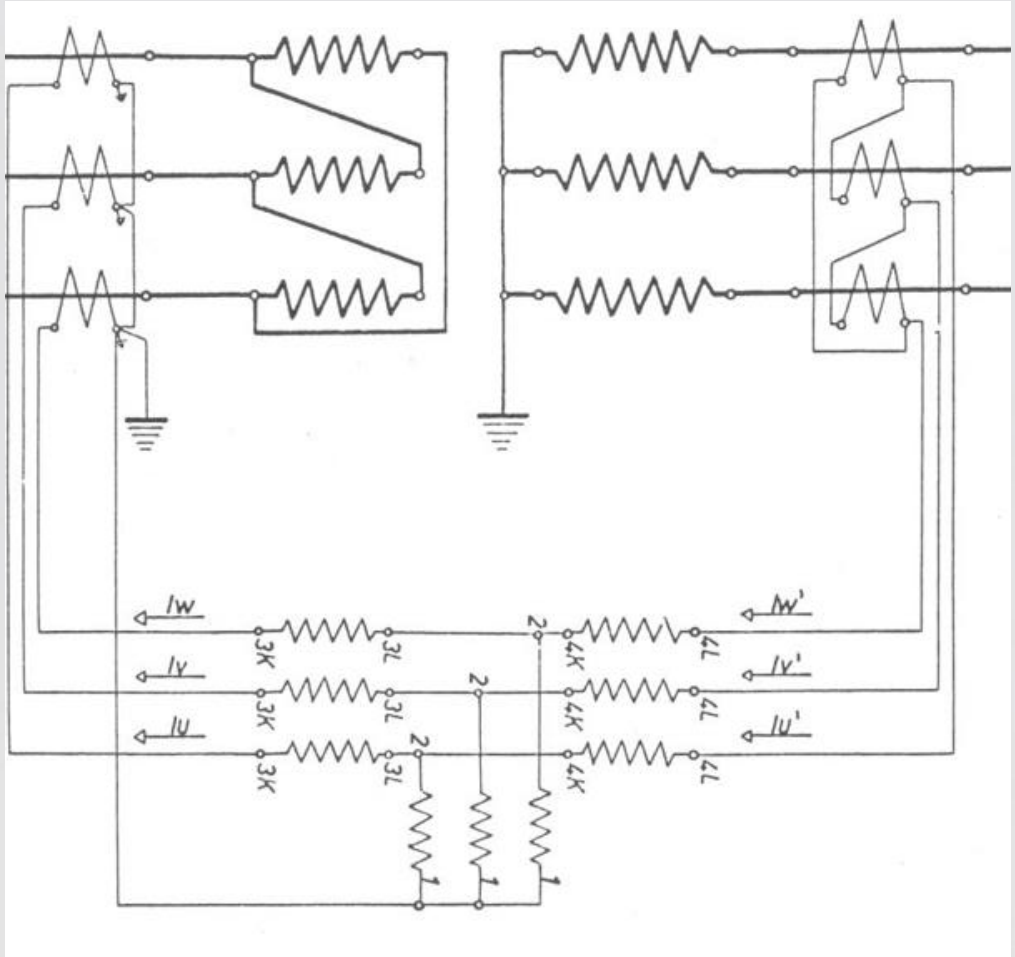
$$\begin{bmatrix} I2Rinput \\ I2Sinput \\ I2Tinput \end{bmatrix} = k * I \frac{1}{\sqrt{3}} \begin{bmatrix} (a^2 - 1) \\ (a - a^2) \\ (1 - a) \end{bmatrix}$$

Átmenő szimmetrikus áram

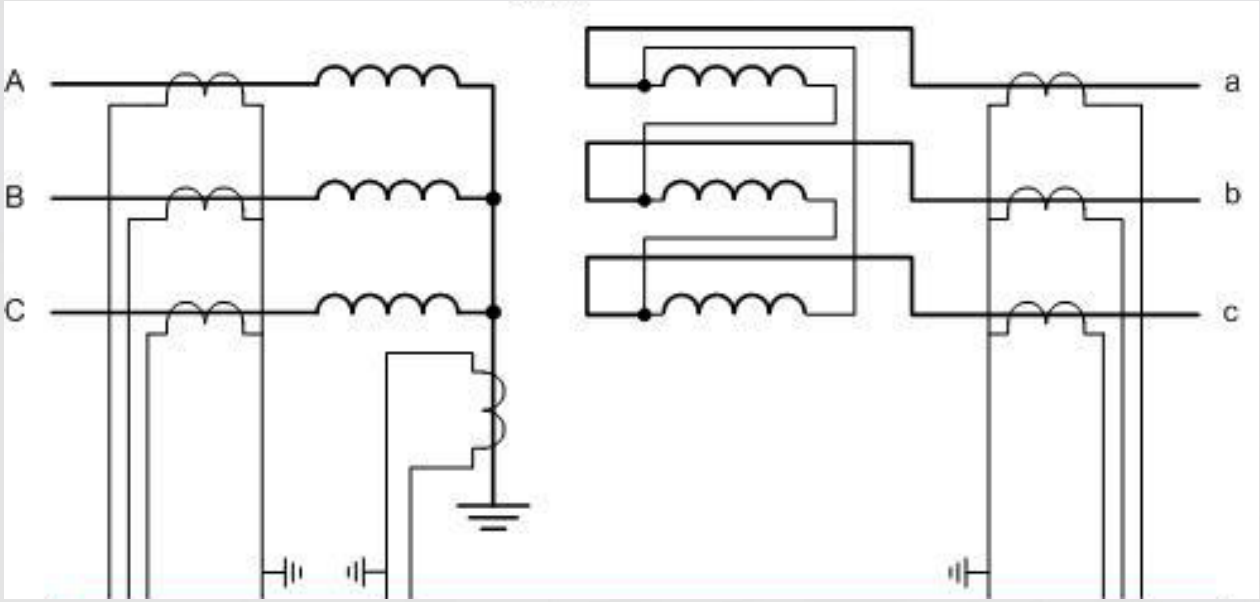


Hagyományos megoldás





Bekötés numerikus védelemhez



Numerikus

- Amplitúdó kiegyenlítés (lásd előbb)
- Vektor kompenzálás
- Zérus sorrend eliminálás (elnyomás) (lásd később)

Vektor kompenzálás a „d” oldalra

pl.: Yd11

$$\begin{bmatrix} I1Rshift \\ I1Sshift \\ I1Tshift \end{bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{3}} \begin{bmatrix} 1 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & -1 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I1Rinput \\ I1Sinput \\ I1Tinput \end{bmatrix}$$

Y

$$\begin{bmatrix} I1Rshift \\ I1Sshift \\ I1Tshift \end{bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{3}} \begin{bmatrix} 1 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & -1 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} I \begin{bmatrix} 1 \\ a^2 \\ a \end{bmatrix} = \frac{I}{\sqrt{3}} \begin{bmatrix} 1-a^2 \\ a^2-a \\ a-\mathbf{1} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} I2Rshift \\ I1Sshift \\ I2Tshift \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I2Rinput \\ I2Sinput \\ I2Tinput \end{bmatrix}$$

d

$$\begin{bmatrix} I2Rshift \\ I1Sshift \\ I2Tshift \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \frac{I}{\sqrt{3}} \begin{bmatrix} a^2-1 \\ a-a^2 \\ 1-\mathrm{a} \end{bmatrix} = -\frac{I}{\sqrt{3}} \begin{bmatrix} 1-a^2 \\ a^2-a \\ a-1 \end{bmatrix}$$

(Másolva az árameloszlásból)

+

Vektor kompenzálás az „Y” oldalra pl.: Yd11

Y

$$\begin{bmatrix} I1Rshift \\ I1Sshift \\ I1Tshift \end{bmatrix} = \frac{1}{3}\begin{bmatrix} 2 & -1 & -1 \\ -1 & 2 & -1 \\ -1 & -1 & 2 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} I1Rinput \\ I1Sinput \\ I1Tinput \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} I1Rshift \\ I1Sshift \\ I1Tshift \end{bmatrix} = \frac{1}{3}\begin{bmatrix} 2 & -1 & -1 \\ -1 & 2 & -1 \\ -1 & -1 & 2 \end{bmatrix} I\begin{bmatrix} 1 \\ a^2 \\ a \end{bmatrix} = I\begin{bmatrix} 1 \\ a^2 \\ a \end{bmatrix}$$

d

$$\begin{bmatrix} I2Rshift \\ I1Sshift \\ I2Tshift \end{bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{3}}\begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ -1 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 1 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} I2Rinput \\ I2Sinput \\ I2Tinput \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} I2Rshift \\ I1Sshift \\ I2Tshift \end{bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{3}}\begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ -1 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 1 \end{bmatrix}\frac{I}{\sqrt{3}}\begin{bmatrix} a^2-1 \\ a-a^2 \\ 1-a \end{bmatrix} = -I\begin{bmatrix} 1 \\ a^2 \\ a \end{bmatrix}$$

+

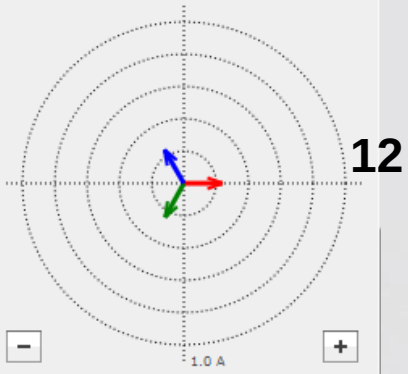
(Másolva az árameloszlásból)

Yd5 referencia áramok

PROTECTA HUNGARY

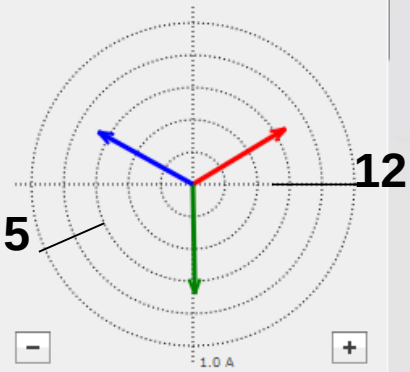
[-] CT4 module R

Current Ch - I1	0.24	A
Current Ch - I2	0.24	A
Current Ch - I3	0.24	A
Current Ch - I4	0.00	A
Angle Ch - I1	0	deg
Angle Ch - I2	-119	deg
Angle Ch - I3	120	deg
Angle Ch - I4	0	deg



[-] CT4 module O

Current Ch - I1	0.67	A
Current Ch - I2	0.68	A
Current Ch - I3	0.67	A
Current Ch - I4	0.00	A
Angle Ch - I1	31	deg
Angle Ch - I2	-89	deg
Angle Ch - I3	151	deg
Angle Ch - I4	0	deg



Helyes kiegyenlítés

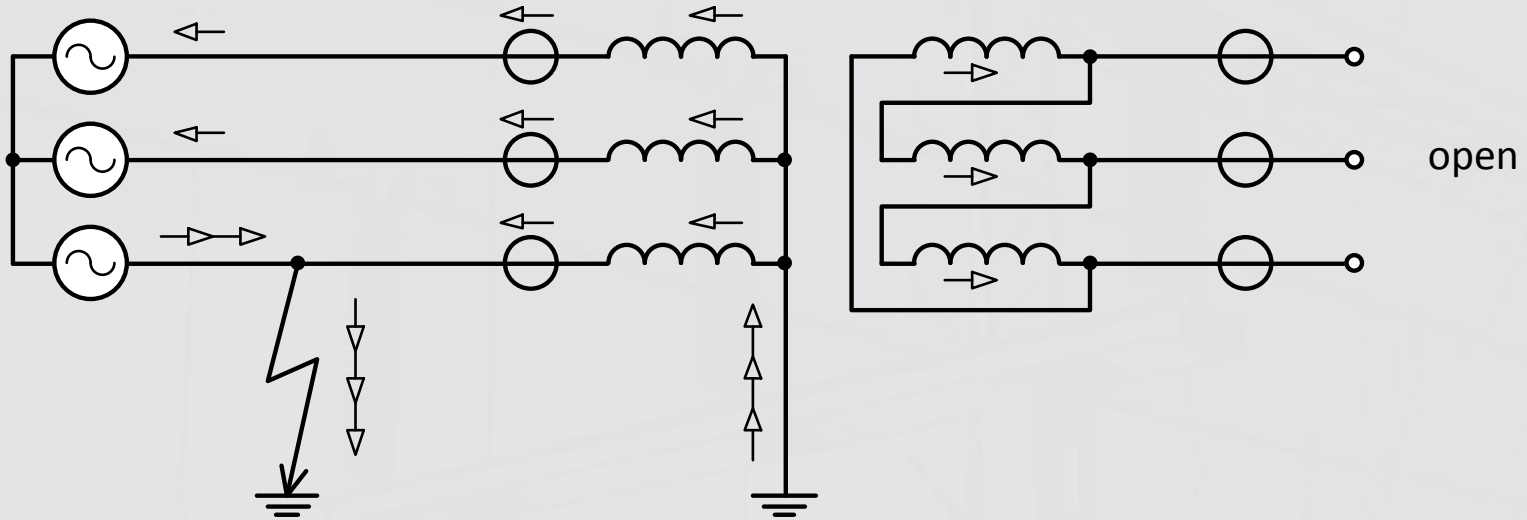
[-] Differential 2w

I Diff L1	0.00	*In
I Diff L2	0.01	*In
I Diff L3	0.01	*In
I Bias L1	0.99	*In
I Bias L2	0.98	*In
I Bias L3	0.99	*In

Differenciál védelem

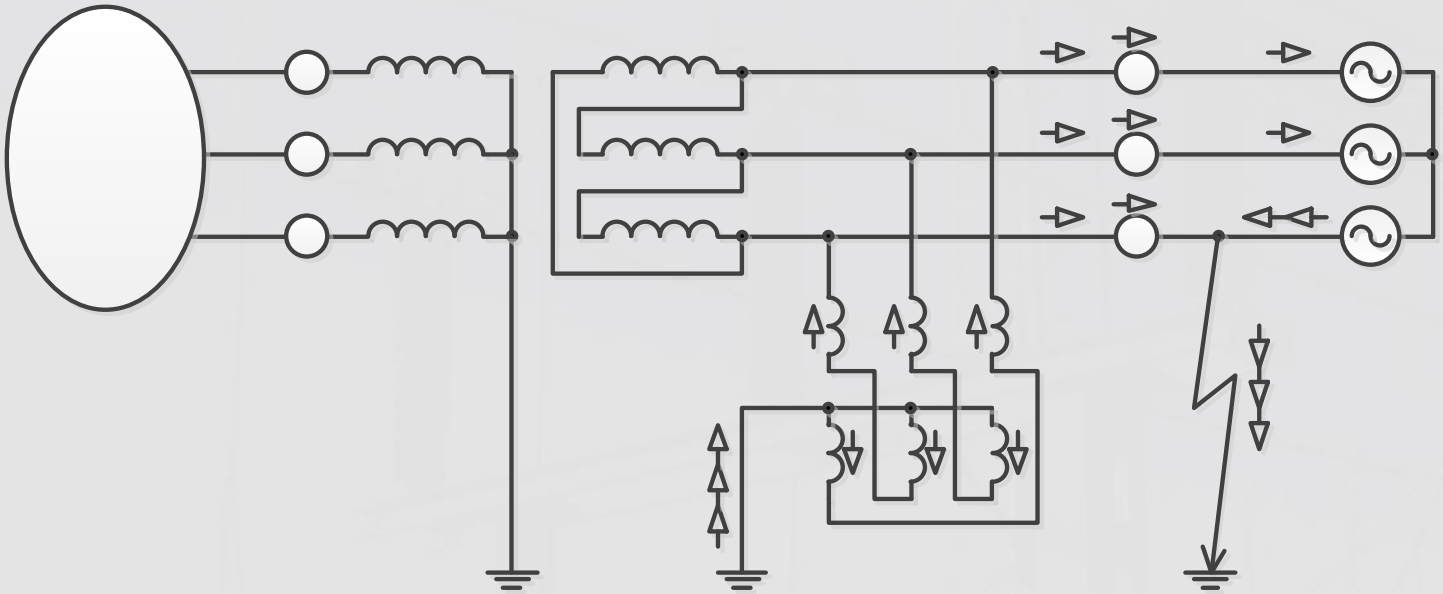
A zérus sorrendű áramösszetevő kompenzálása

Zérus sorrendű áram az Y oldalon



„Bauch paradoxon”

Zérus sorrendű áram a delta oldalon



Csillagpont képzés a védett zónán belül

Numerikus zérus sorrend eliminálás/1

$$\begin{bmatrix} I1Rshift \\ I1Sshift \\ I1Tshift \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I1Rinput \\ I1Sinput \\ I1Tinput \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} I0 \\ I0 \\ I0 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} I1Rshift \\ I1Sshift \\ I1Tshift \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I1Rinput \\ I1Sinput \\ I1Tinput \end{bmatrix} - \frac{1}{3} \begin{bmatrix} I1Rinput + I1Sinput + I1Tinput \\ I1Rinput + I1Sinput + I1Tinput \\ I1Rinput + I1Sinput + I1Tinput \end{bmatrix}$$

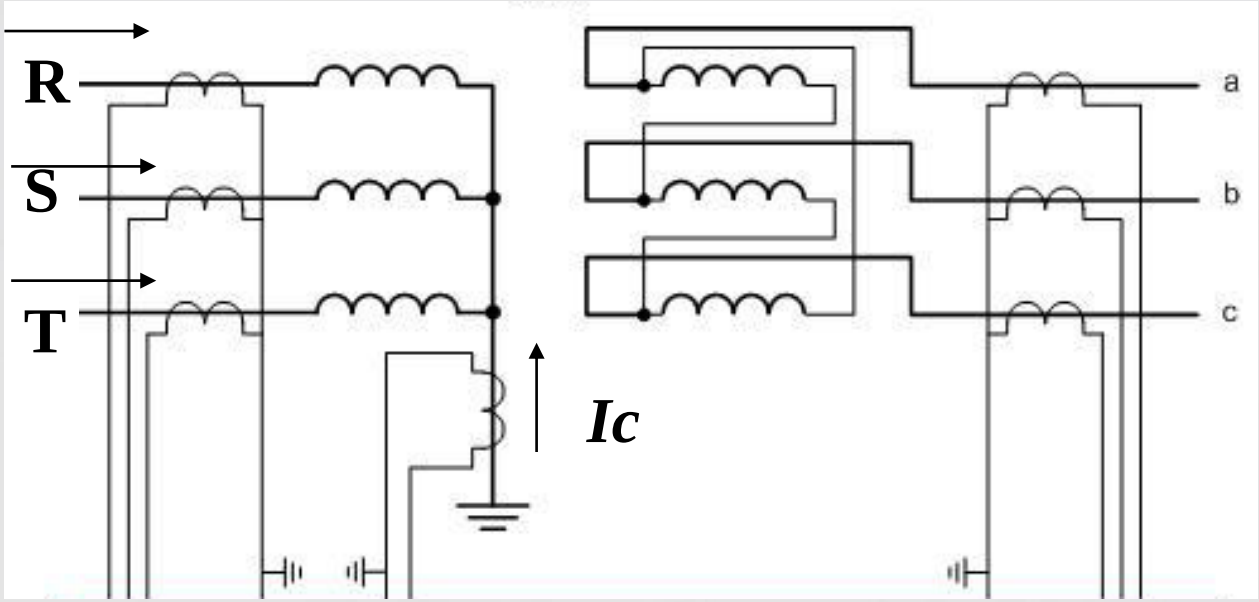
$$\begin{bmatrix} I1Rshift \\ I1Sshift \\ I1Tshift \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I1Rinput \\ I1Sinput \\ I1Tinput \end{bmatrix} - \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I1Rinput \\ I1Sinput \\ I1Tinput \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} I1Rshift \\ I1Sshift \\ I1Tshift \end{bmatrix} = \frac{\mathbf{1}}{\mathbf{3}} \begin{bmatrix} \mathbf{2} & \mathbf{-1} & \mathbf{-1} \\ \mathbf{-1} & \mathbf{2} & \mathbf{-1} \\ \mathbf{-1} & \mathbf{-1} & \mathbf{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I1Rinput \\ I1Sinput \\ I1Tinput \end{bmatrix}$$

Másik lehetőség: mérés a csillagpontban is.

Numerikus zérus sorrend eliminálás/2

Mérés a csillagpontban is.



$$\begin{bmatrix} I1Rshift \\ I1Sshift \\ I1Tshift \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I1Rinput \\ I1Sinput \\ I1Tinput \end{bmatrix} + \frac{1}{3} \begin{bmatrix} Ic \\ Ic \\ Ic \end{bmatrix}$$

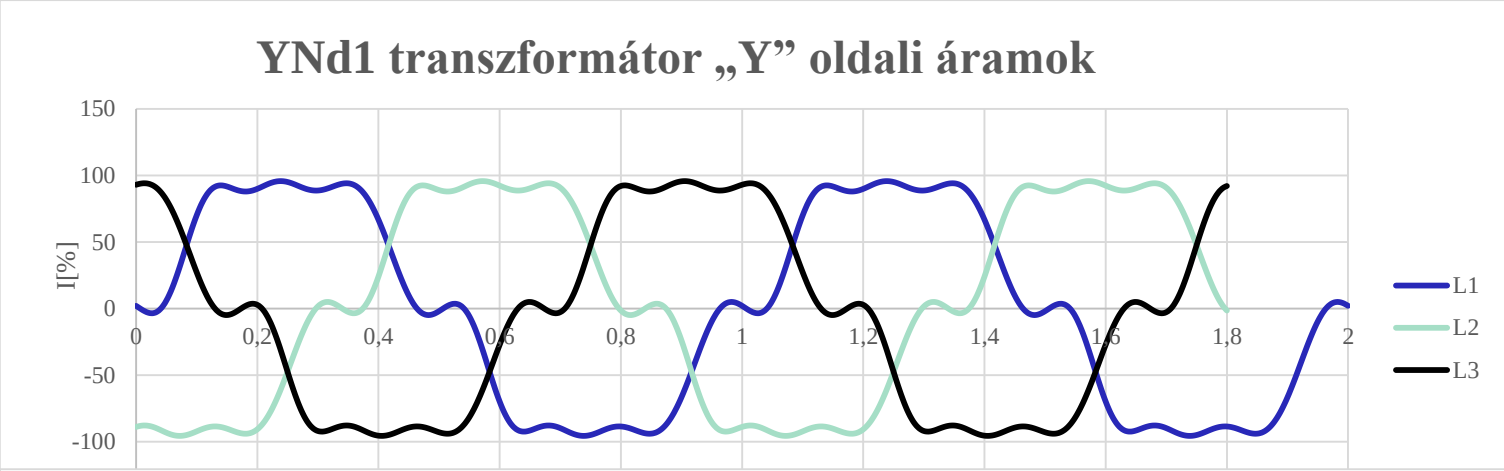
Harmonikusok átvitele

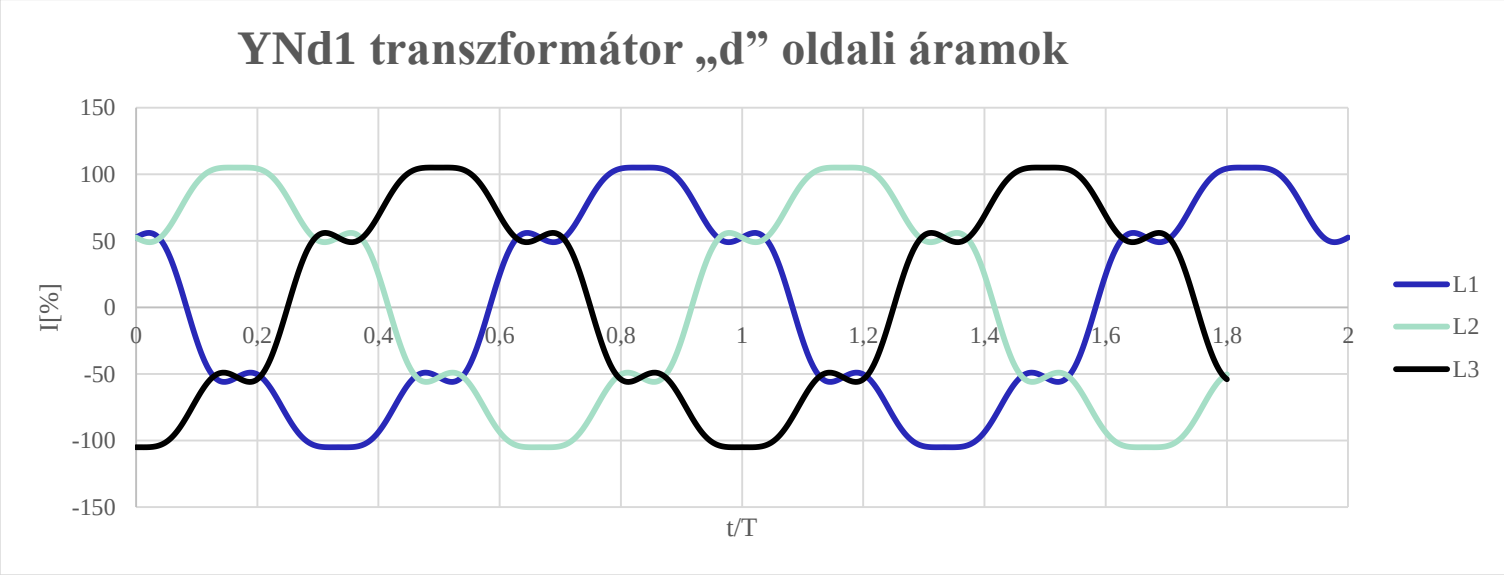
Alap-harmonikus α_1 **Pozitív sorrendű**	**5. harmonikus** α_5 **Negatív sorrendű**	**7. harmonikus** α_7 **Pozitív sorrendű**	**9. harmonikus** α_9 **Zérus sorrendű**
Y oldali fázisszögek (példa)			
$\alpha_{1,Y_\mathbf{old}} = \mathbf{0°}$	$\alpha_{5,Y_\mathrm{old}} = \mathbf{180°}$	$\alpha_{7,Y_\mathrm{old}} = \mathbf{180°}$	$\alpha_{9,Y_\mathrm{old}} = \mathbf{90°}$
d oldali fázisszögek YNd1			
$\alpha_{1,d_\mathbf{old}} = \mathbf{150°}$	$\alpha_{5,d_\mathbf{old}} = \mathbf{30°}$	$\alpha_{7,d_\mathbf{old}} = \mathbf{330°}$	–

Áramok a delta oldalon:

- Pozitív sorrend — forgatás az óra szerint (+pozitív irány)
- Negatív sorrend — forgatás ellenkező irányba (+pozitív irány)
- Zérus sorrend — nem folyik ki a delta oldalon

Harmonikusok átvitele





Differenciál védelem Védekezés a túlgerjesztés hatása ellen

Túlgerjesztés/1

Főként a blokk-transzformátorok problémája, ha

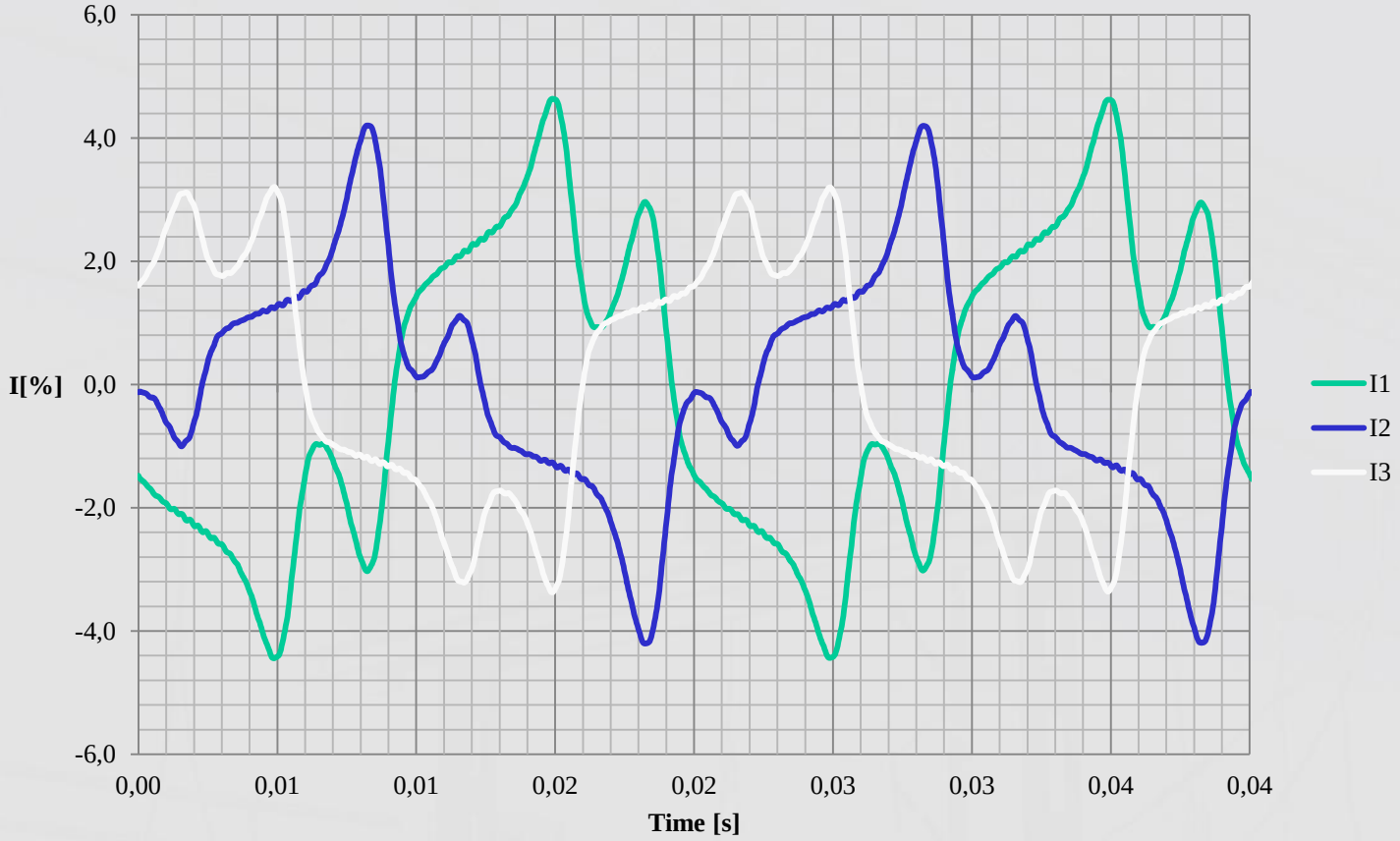
- elromlik a gerjesztés-szabályozó,
- hirtelen leválik a terhelés,
- még/már kicsi a fordulatszám, de van gerjesztés…

Egy megvizsgált transzformátor (GANZ, Sztari Balázs)

Type:	HOFV 63000/36
Rated voltage:	33000V/11000V
Vector group:	YNd11
Power (ONAN):	37.8 MVA (ONAF 63 MVA)
Core material:	M4X27B0

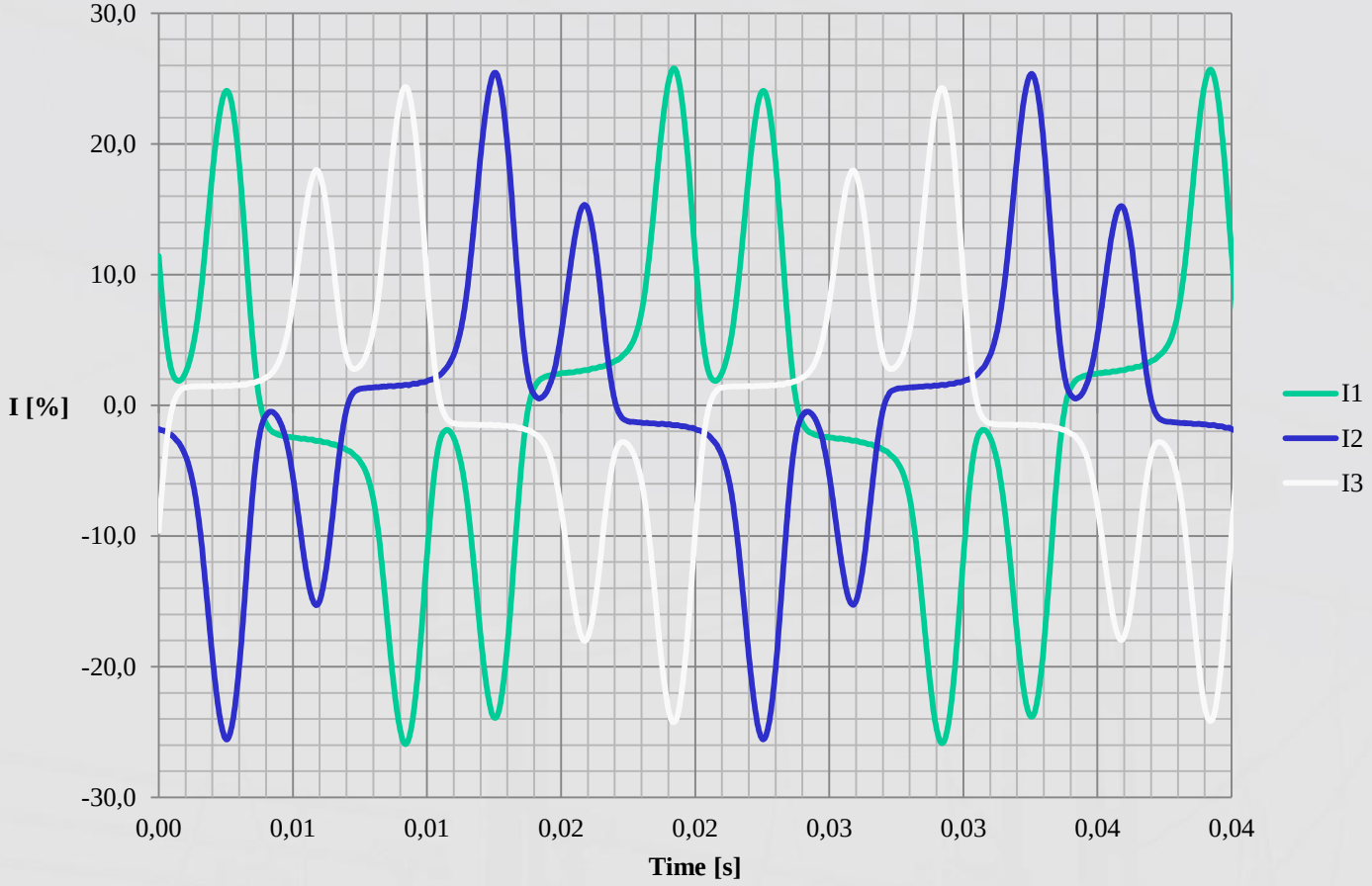
Túlgerjesztés/2/a

U=100%Un



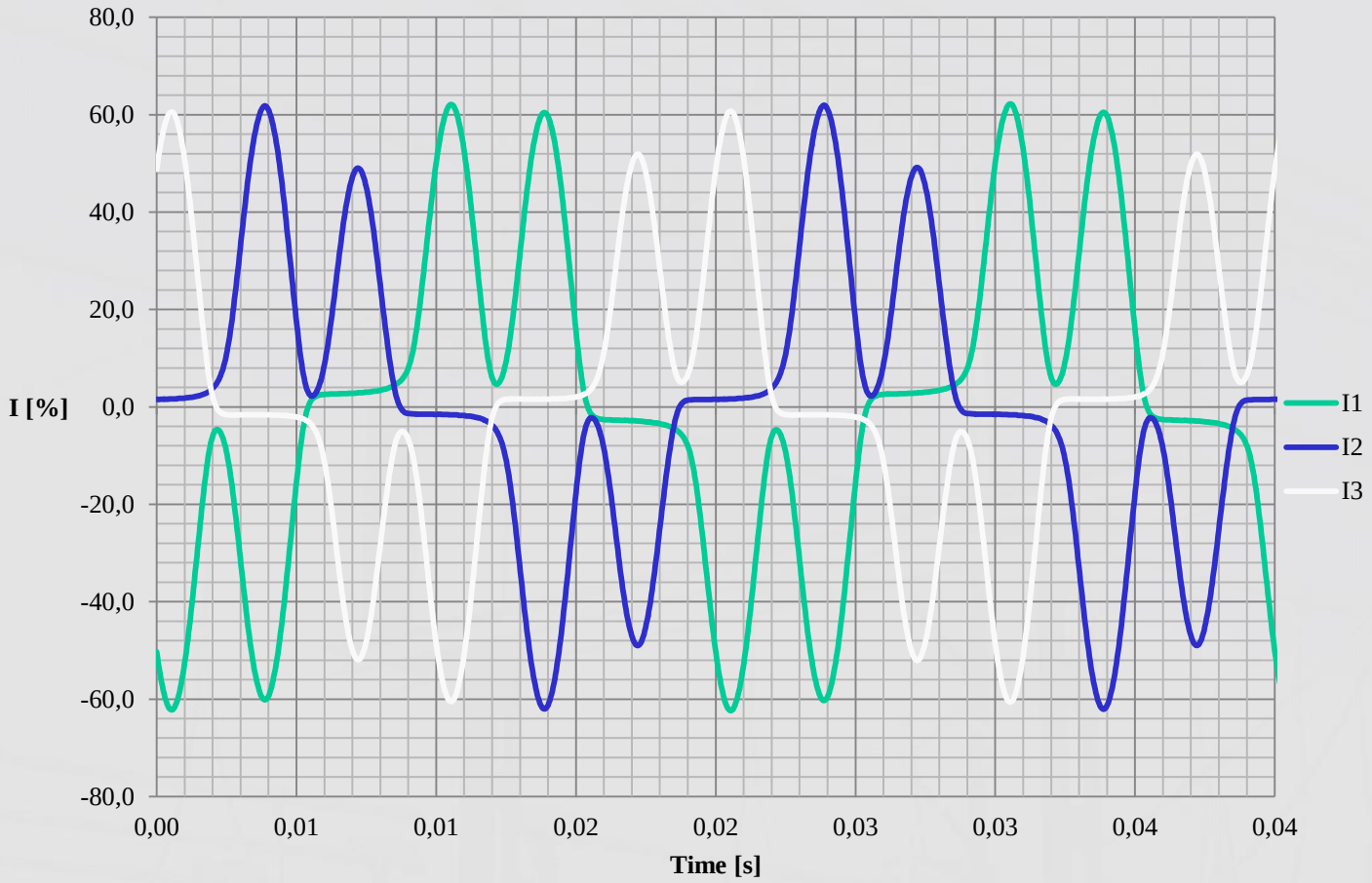
Túlgerjesztés/2/b

U=110%Un



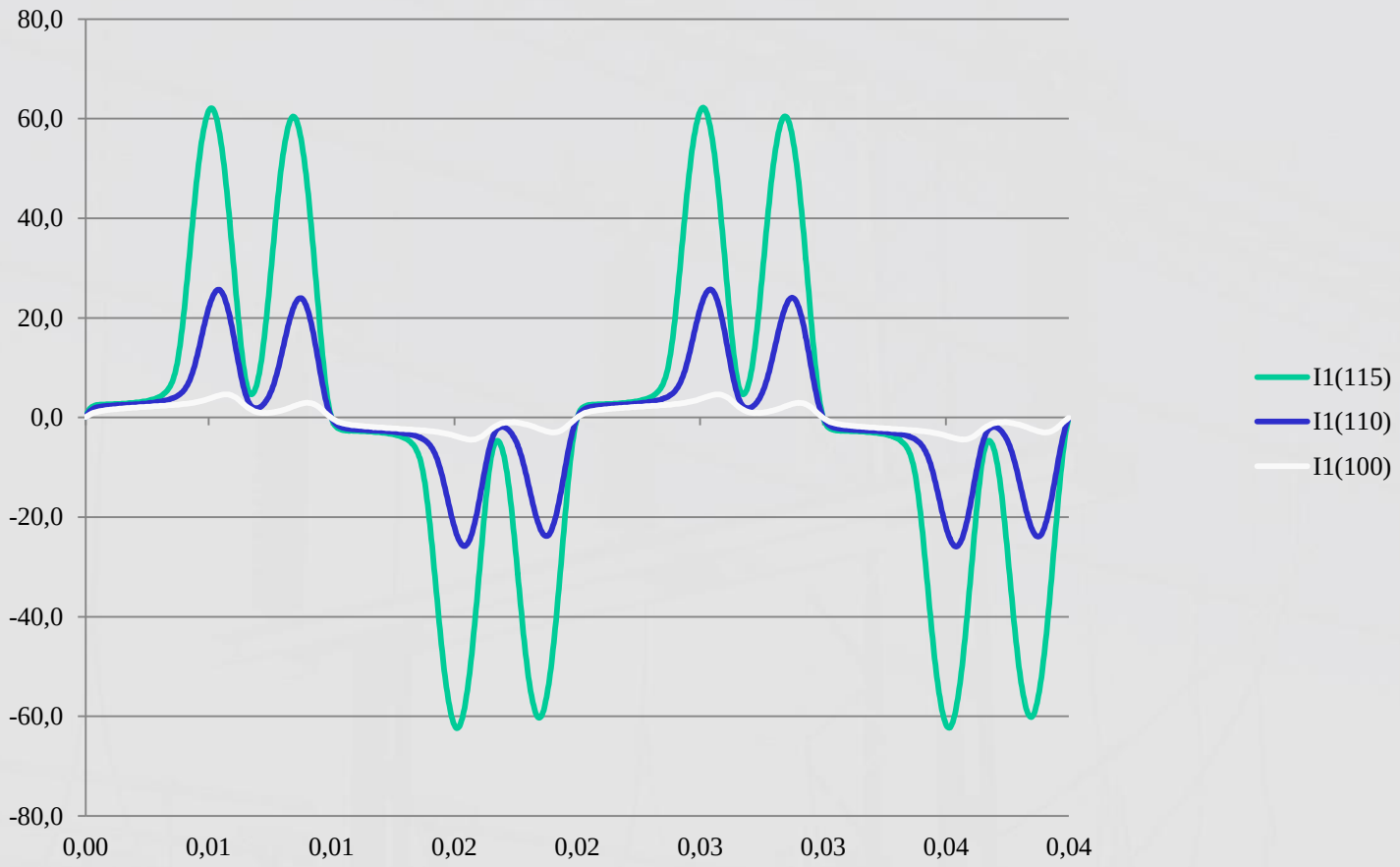
Túlgerjesztés/2/c

U=115%Un



Túlgerjesztés/2/d

A túlgerjesztés hatása

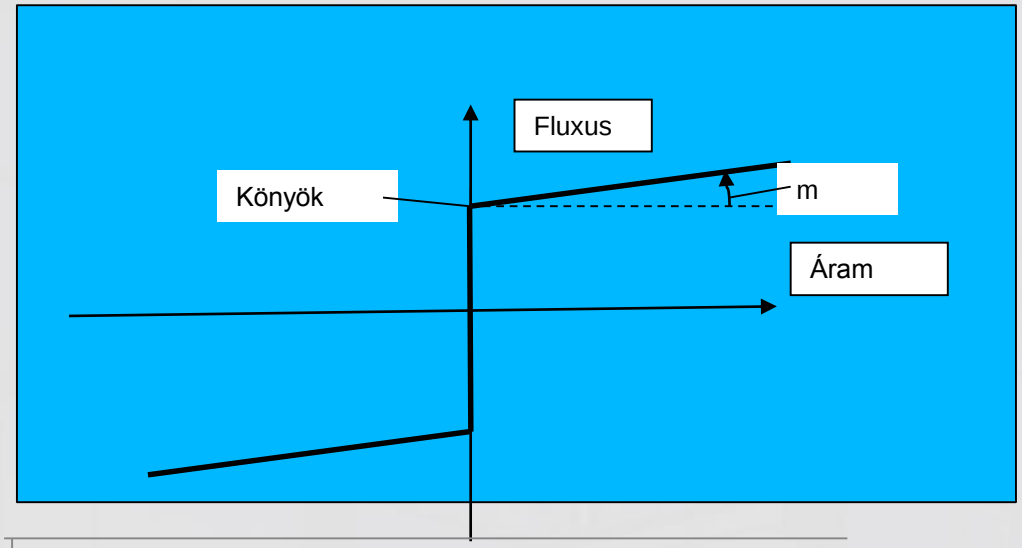


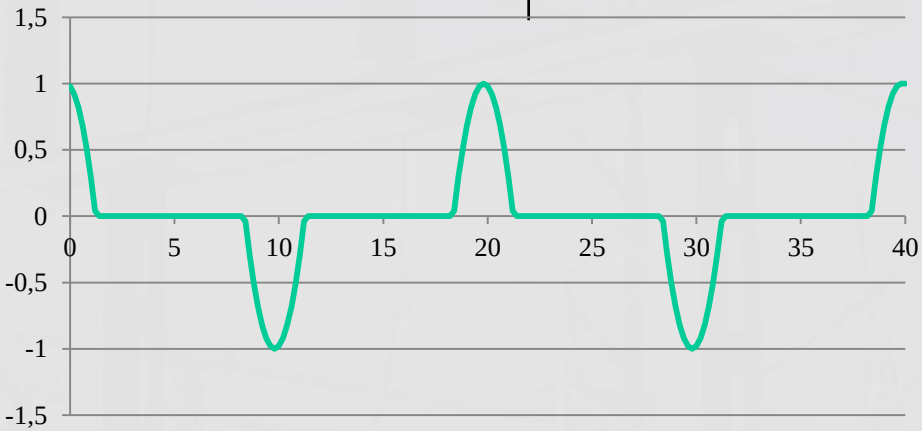
Túlgerjesztés/
A hullámalak magyarázata

Gerjesztés YN oldalról

$$u(t) = \frac{d\Phi}{dt}$$

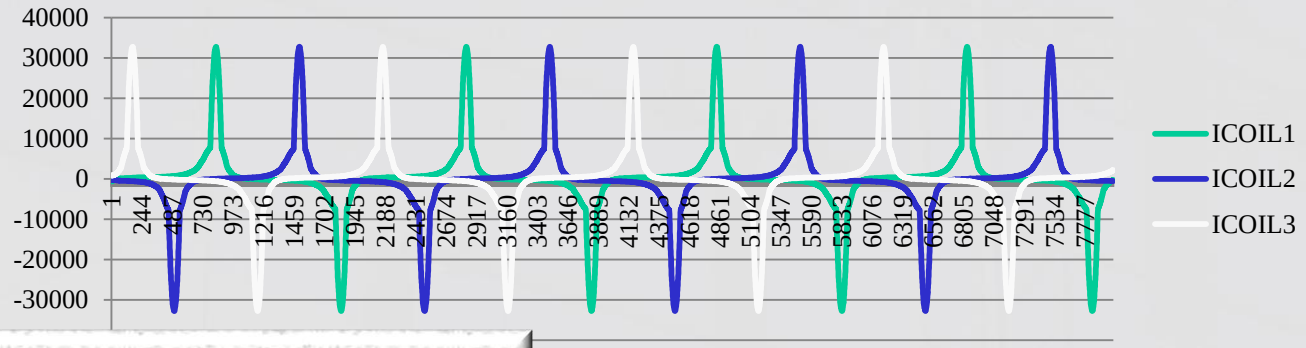
$$\Phi \approx \Phi_e + \int_{te}^{t} u(t)dt$$



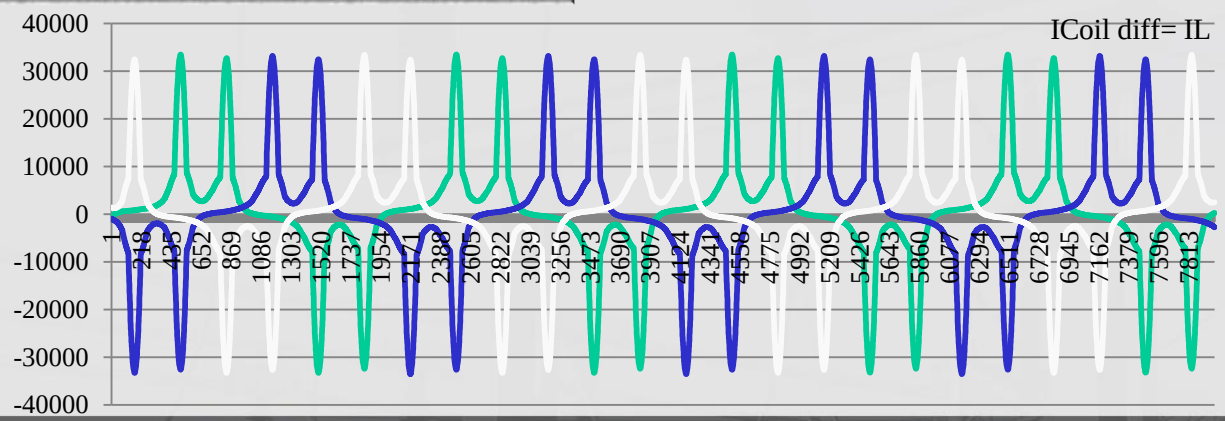


Túlgerjesztés/
A hullámalak magyarázata

Gerjesztés földelt csillag oldalról

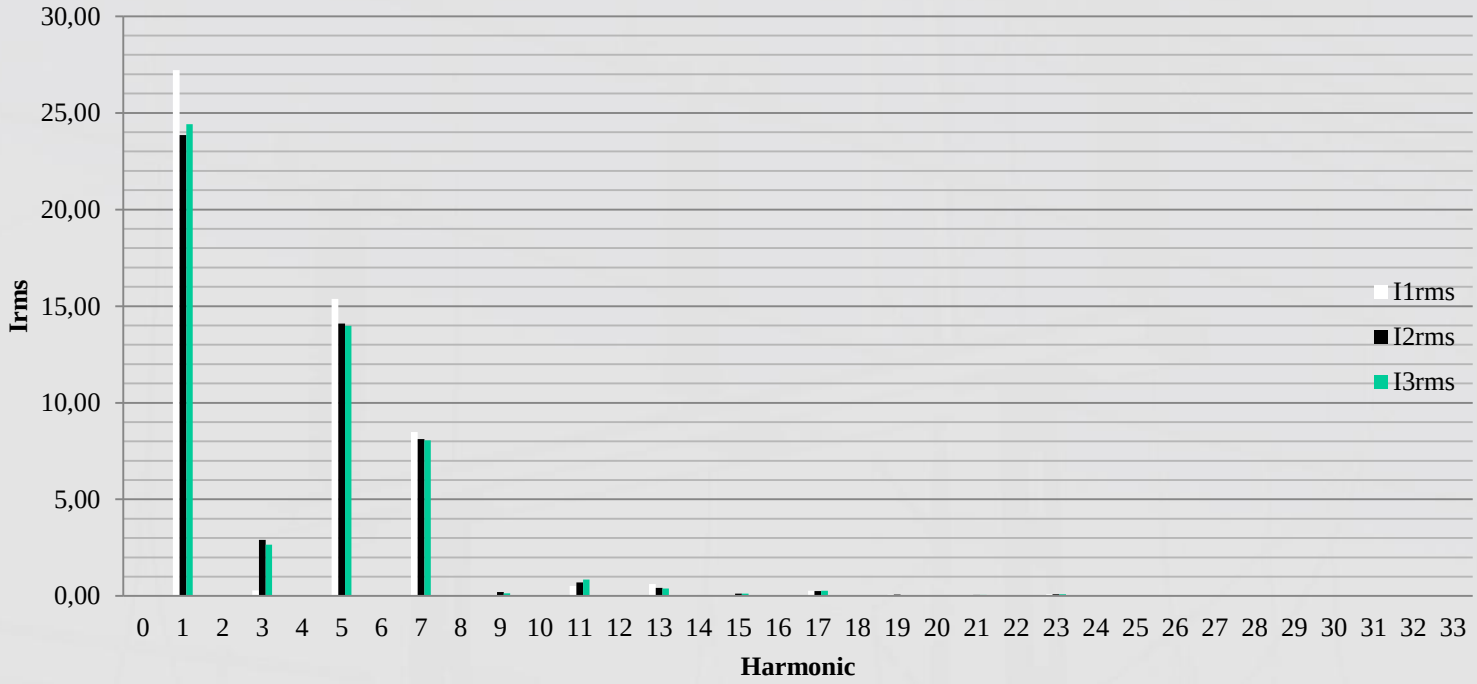


Gerjesztés delta oldalról



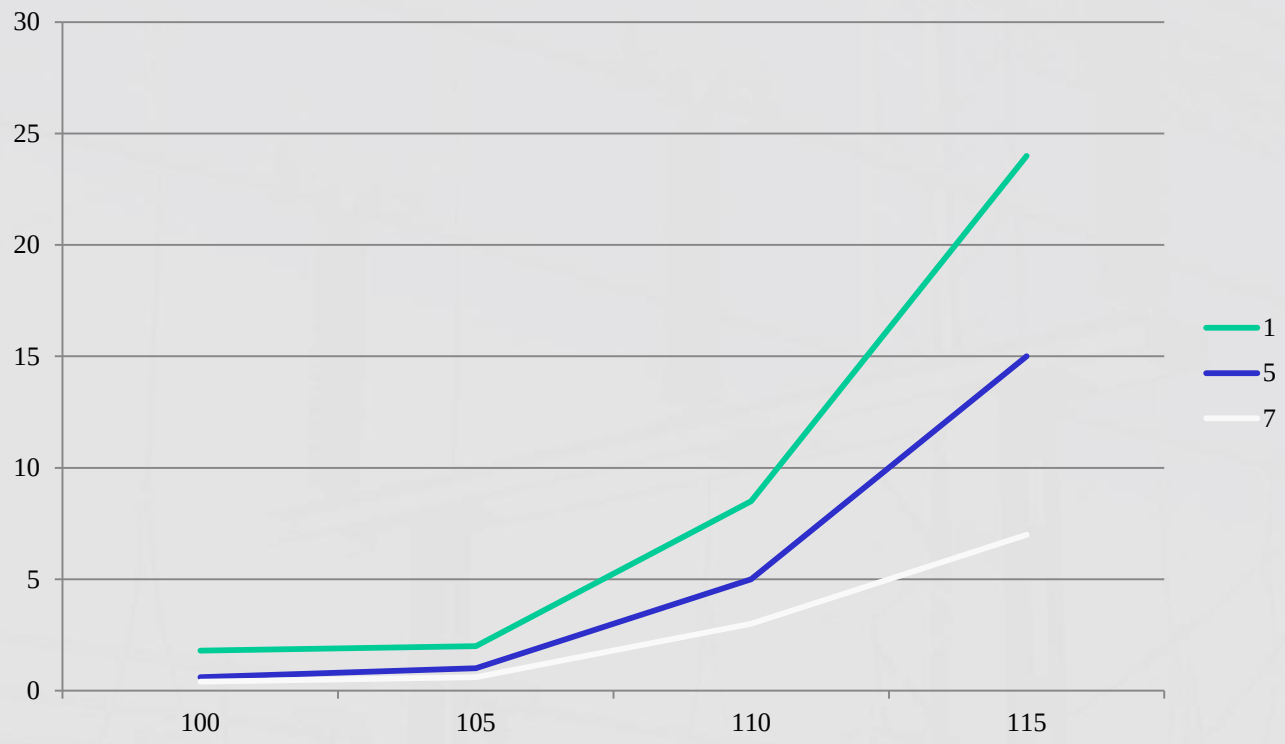
Túlgerjesztés/
Mért felharmonikus tartalom

Gerjesztés delta oldalról 115%



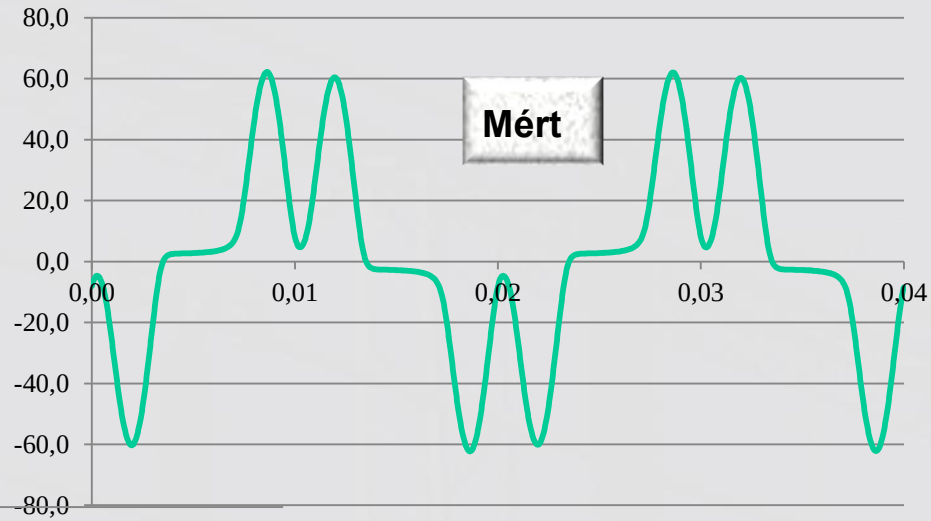
Túlgerjesztés/
Mért felharmonikus tartalom

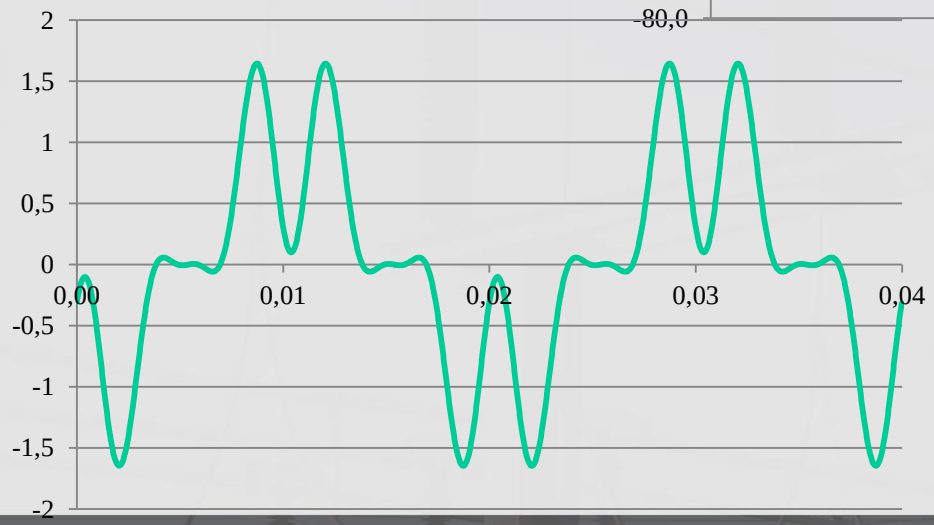
Gerjesztés delta oldalról



Túlgerjesztés/ Hullámalak szintézis

Gerjesztés delta oldalról

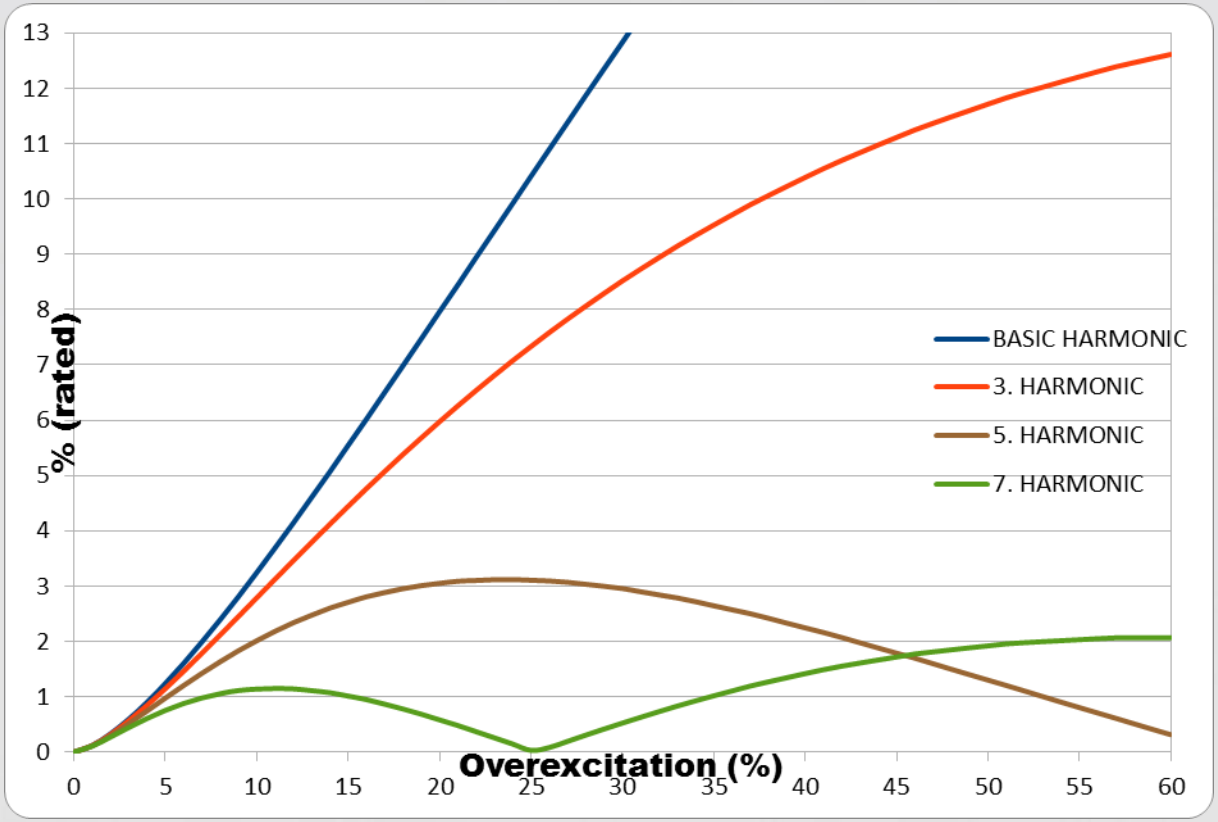




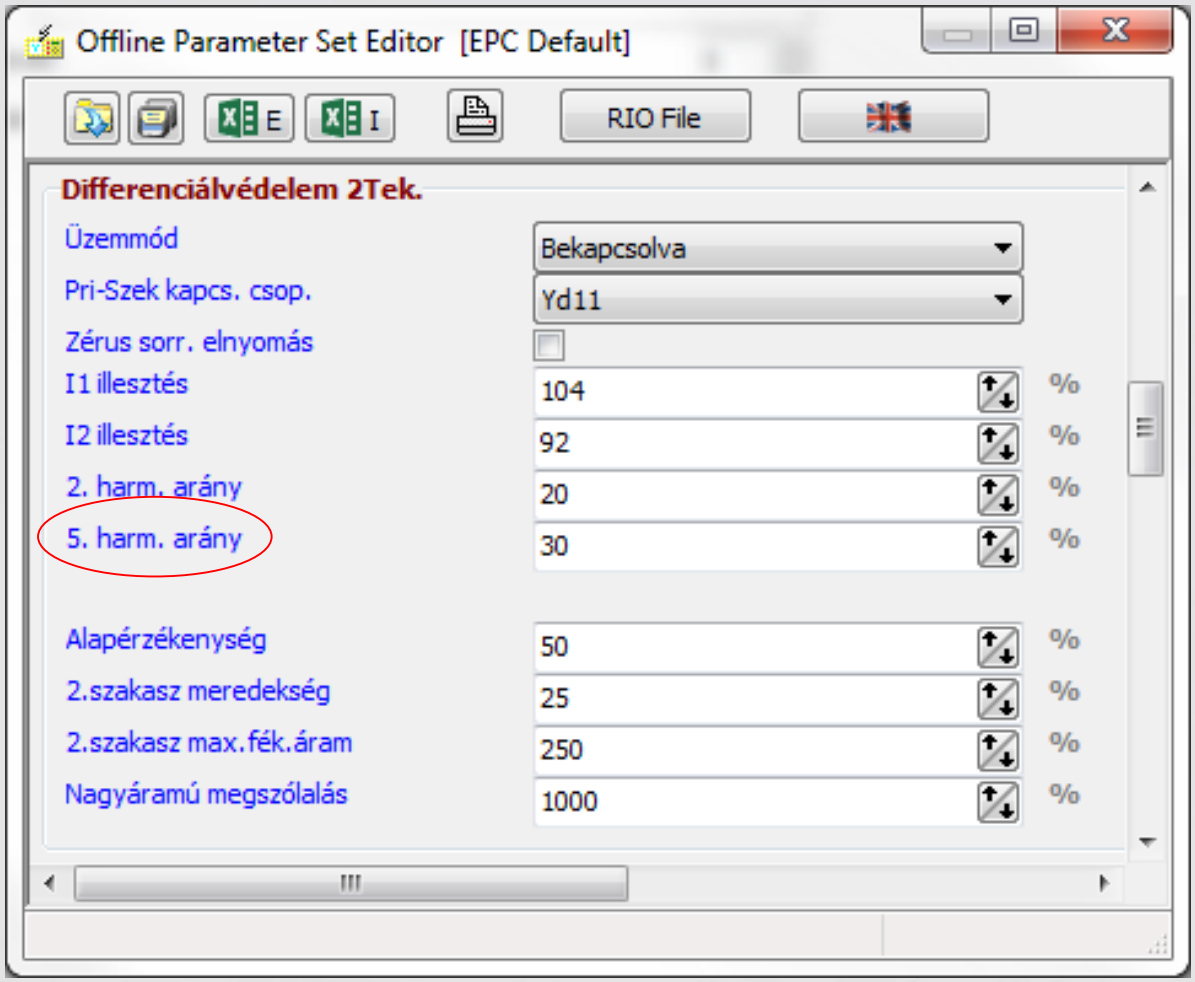
$\cos(\omega t)-0.62*(\cos 5\omega t)-0.3*(\cos 7\omega t)$

Túlgerjesztés/ Hullámalak analízis

Gerjesztés YN oldalról



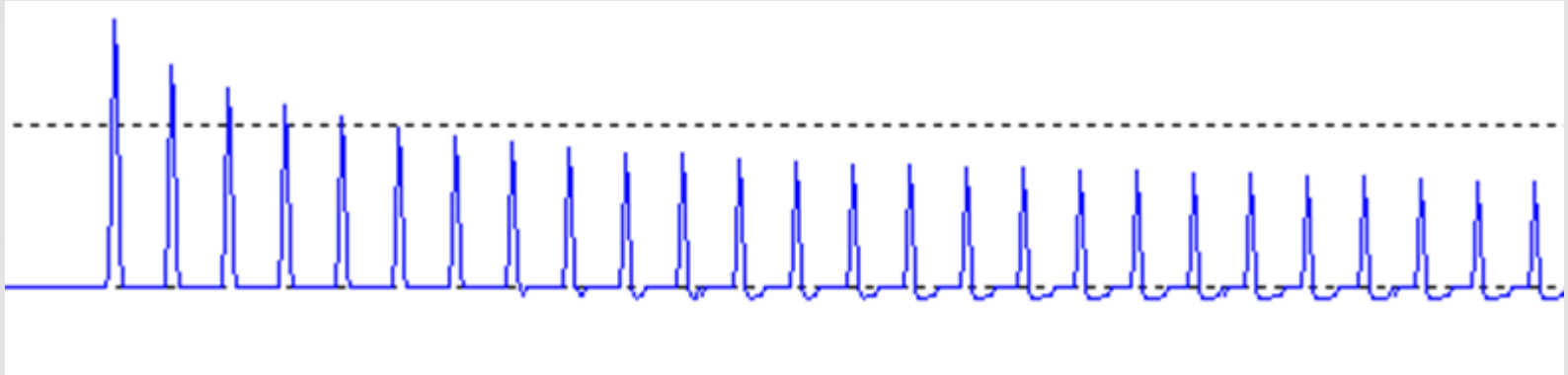
Beállítási példa



Differenciál védelem

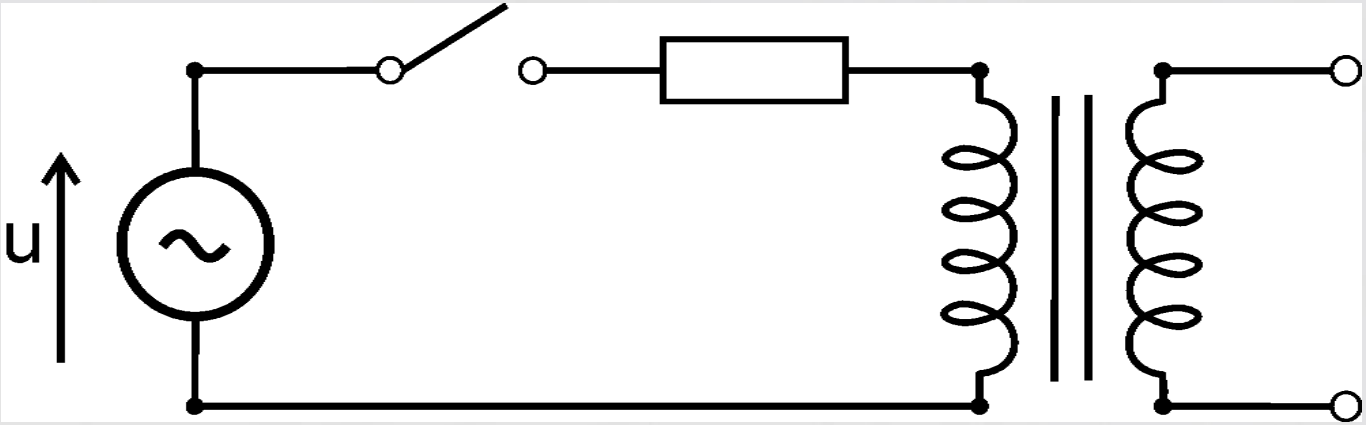
Védekezés a bekapcsolási áramlökés hatása ellen

Bekapcsolási áramlökés



- Dinamikus erőhatások a transzformátorban
- A transzformátorok élettartamának csökkenése
- Nehézségek a védelmek érzékelésében

Egyfázisú transzformátor bekapcsolása



A gerjesztési törvény

A feszültség kifejezése a fluxussal (R elhanyagolva)

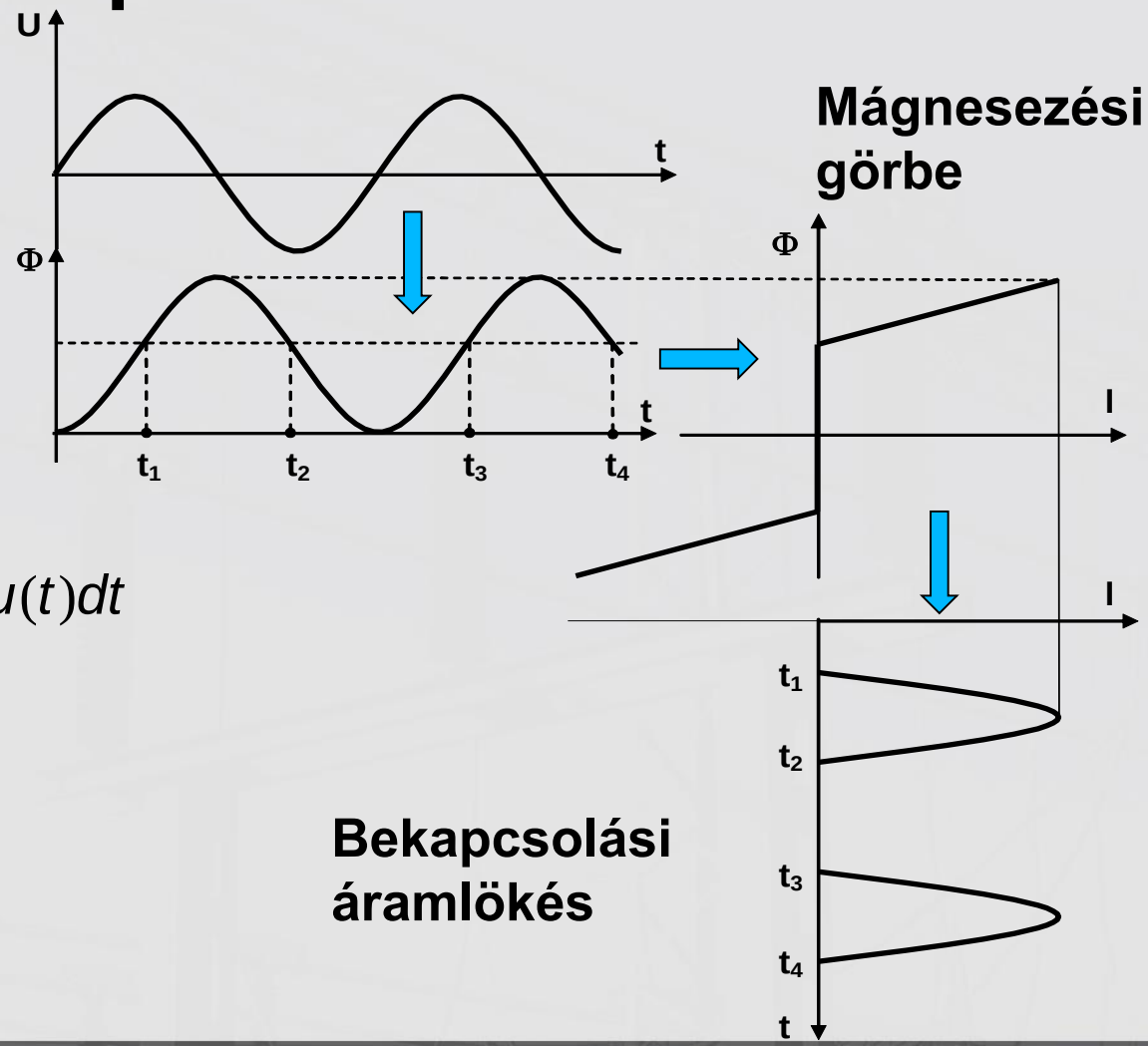
$$u(t) = \frac{d\Phi(t)}{dt}$$

A fluxus a feszültség integrálja

$$\Phi(t) \approx \Phi_e + \int_{te}^{t} u(t)dt$$

A fluxus-áram kapcsolat

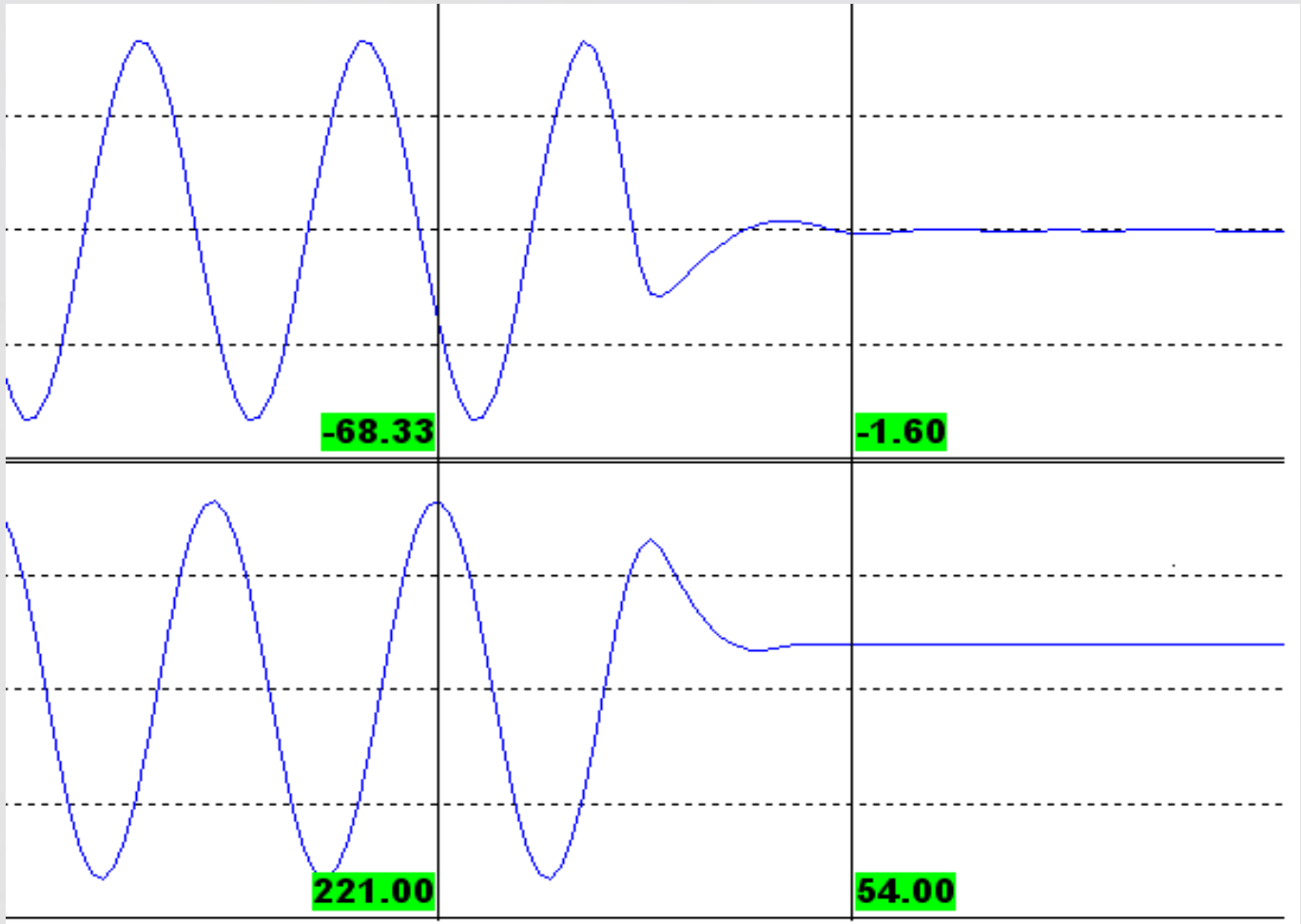
Kényszerített feszültség



$$\Phi(t) \approx \Phi_e + \int_{te}^{t} u(t)dt$$

Bekapcsolási áramlökés

Mért remanens fluxus

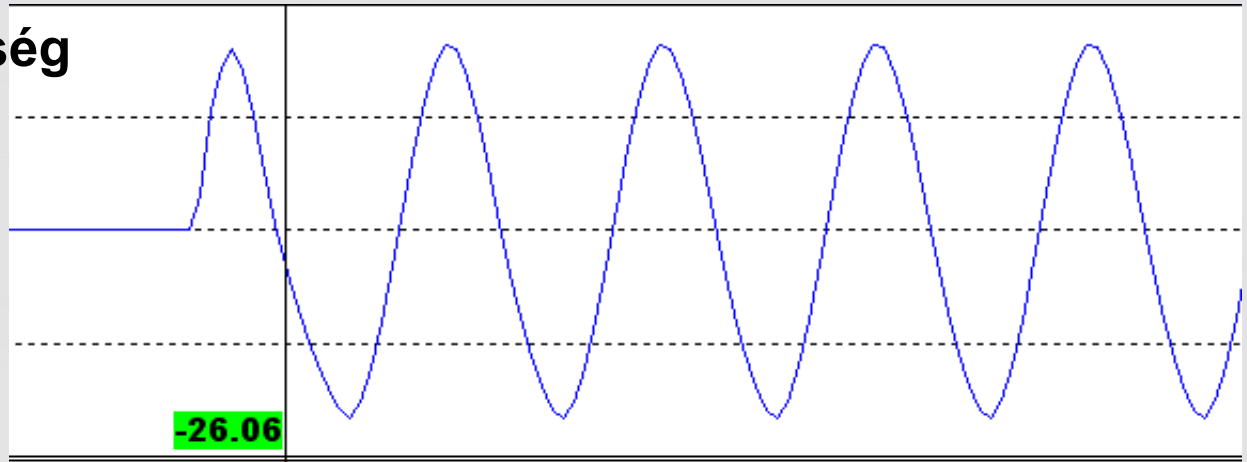


A remanens fluxust befolyásoló tényezők

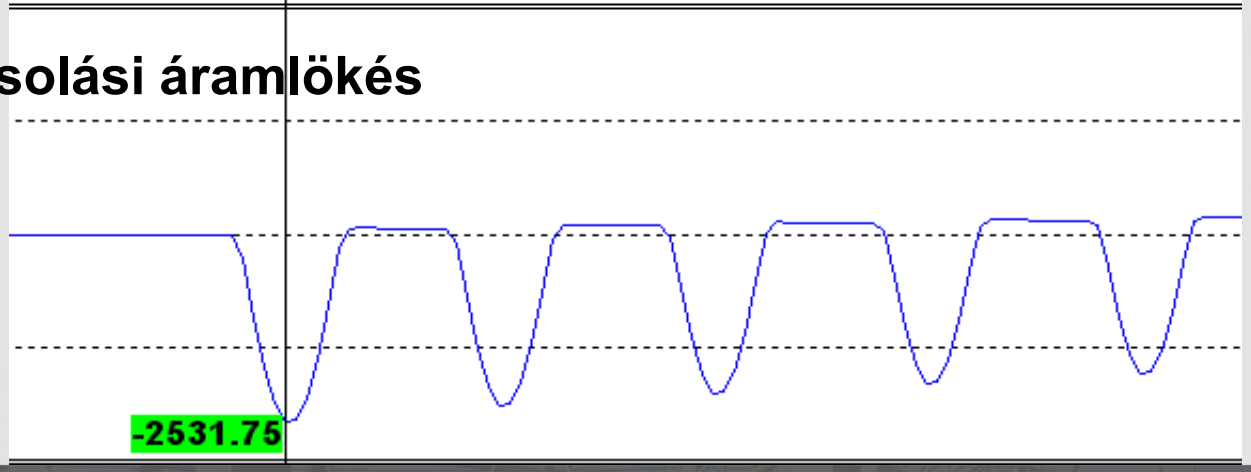
- A kikapcsolás pillanata
- A transzformátor mágnesezési görbéje
- Az áramkör kapacitásai
- Áramlevágás a megszakítóban

Mért bekapcsolási áramlökés

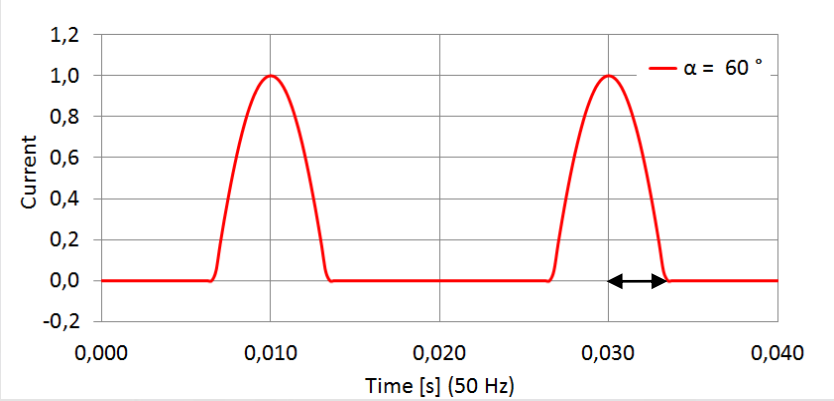
A feszültség



A bekapcsolási áramlökés



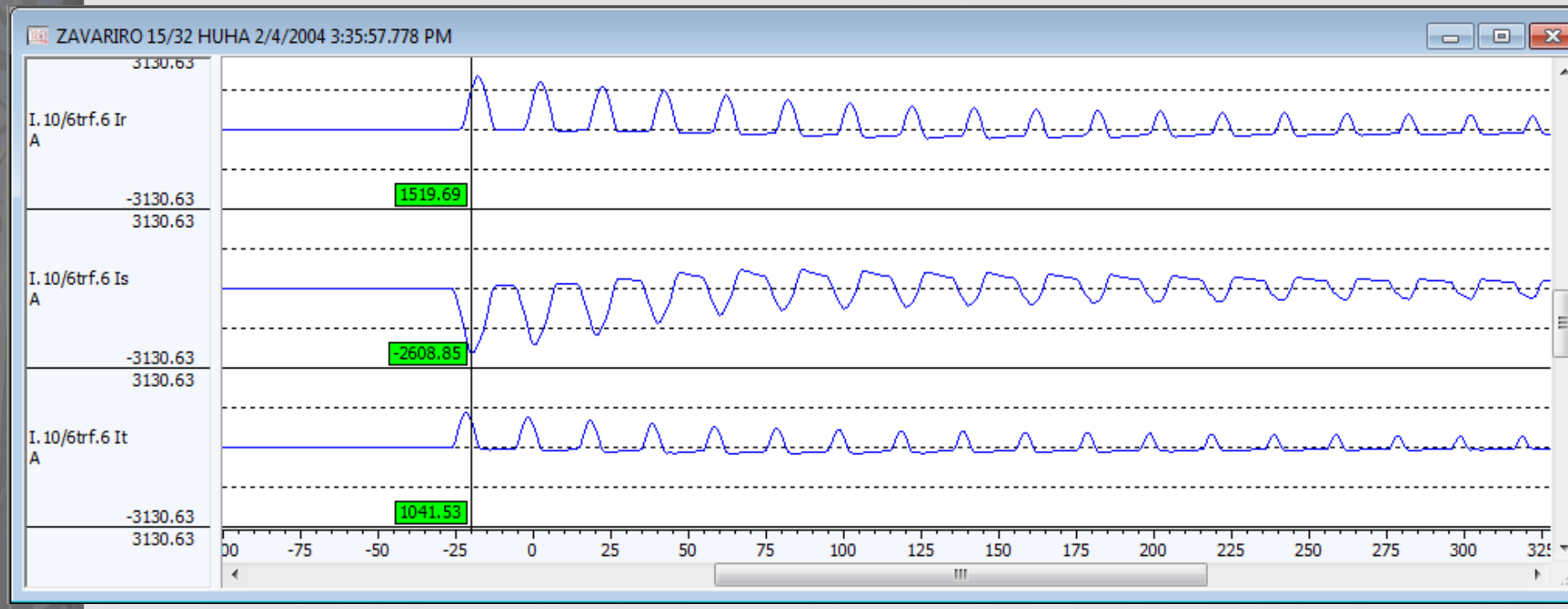
Szintetikus vizsgáló áram



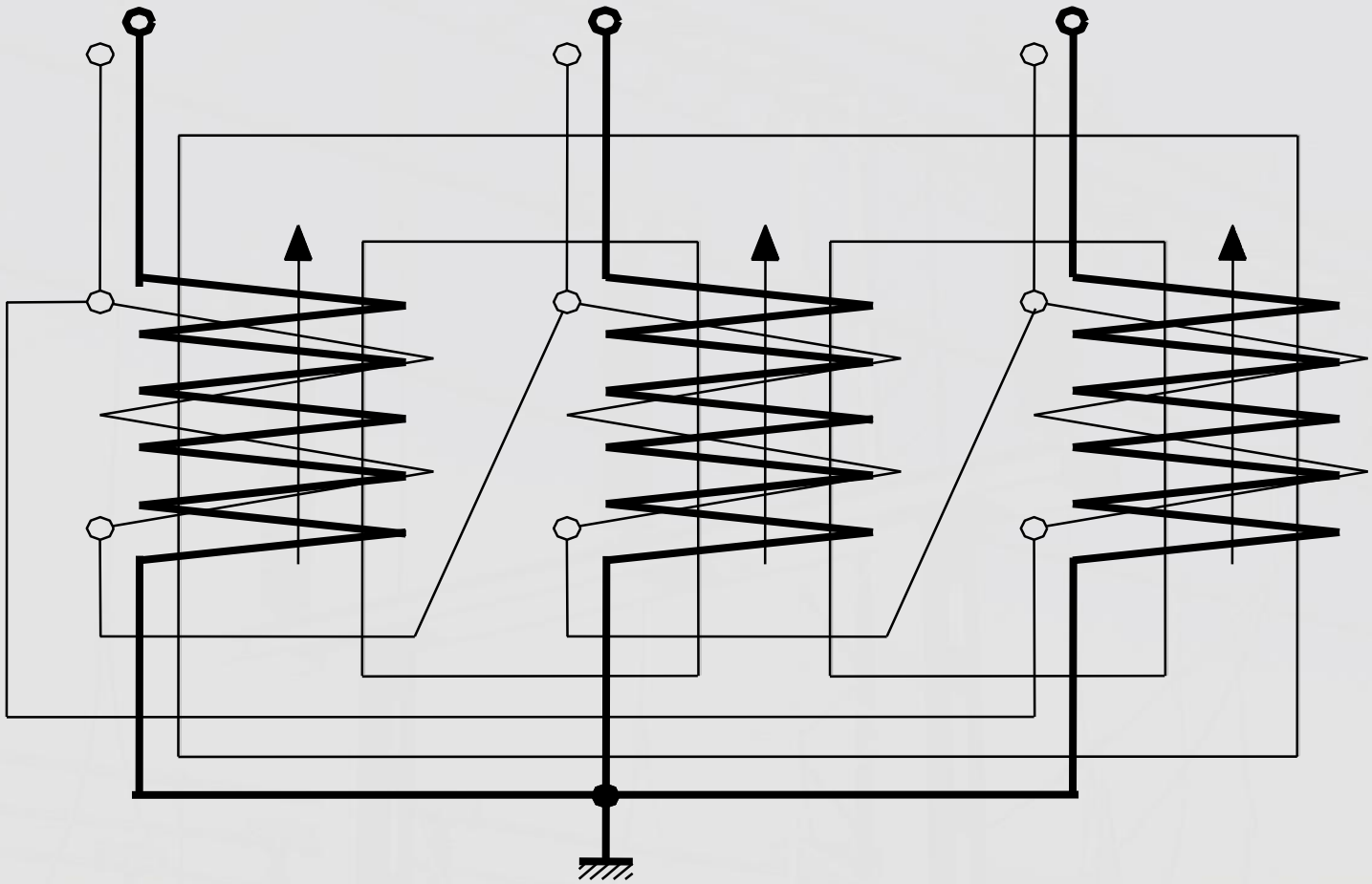
Parameter	α=60°	α=90°	α=120°
a_0	0,436	0,636	0,812
a_1	**-0,391**	**-0,500**	**-0,536**
a_2	**0,276**	**0,213**	**0,092**
a_3	-0,138	0,000	0,046
a_4	0,027	-0,043	0,009
a_5	0,027	0,000	-0,009
a_6	-0,031	0,019	-0,010
a_7	0,010	0,000	-0,003
a_8	0,010	-0,010	0,003
a_9	-0,014	0,000	0,005

$$
\begin{aligned}
i_{inrush}(t) = k \cdot (\, & a_0/2 \\
& + a_1 \cdot \cos(\omega \cdot t) \\
& + a_2 \cdot \cos(2\omega \cdot t) \\
& + a_3 \cdot \cos(3\omega \cdot t) \\
& + a_4 \cdot \cos(4\omega \cdot t) \\
& + a_5 \cdot \cos(5\omega \cdot t) \\
& + a_6 \cdot \cos(6\omega \cdot t) \\
& + a_7 \cdot \cos(7\omega \cdot t) \\
& + a_8 \cdot \cos(8\omega \cdot t) \\
& + a_9 \cdot \cos(9\omega \cdot t))
\end{aligned}
$$

Háromfázisú transzformátor bekapcsolása



Háromfázisú transzformátor fluxusai



Egyetlen fázis bekapcsolt állapota

A bekapcsolt fázisban

$$u_A = \frac{d\Phi_A}{dt}$$

$$\Phi_A = \Phi_{A0} + \int u_A dt$$

A kikapcsolt fázisokban

$$\Phi_B = \Phi_C = -\frac{\Phi_A}{2}$$

$$u_B = u_C = -\frac{u_A}{2}$$

Két fázis bekapcsolt állapota

A bekapcsolt fázisokban

$$u_A = \frac{d\Phi_A}{dt} \qquad \Phi_A = \Phi_{A0} + \int u_A dt$$

$$u_B = \frac{d\Phi_B}{dt} \qquad \Phi_B = \Phi_{B0} + \int u_B dt$$

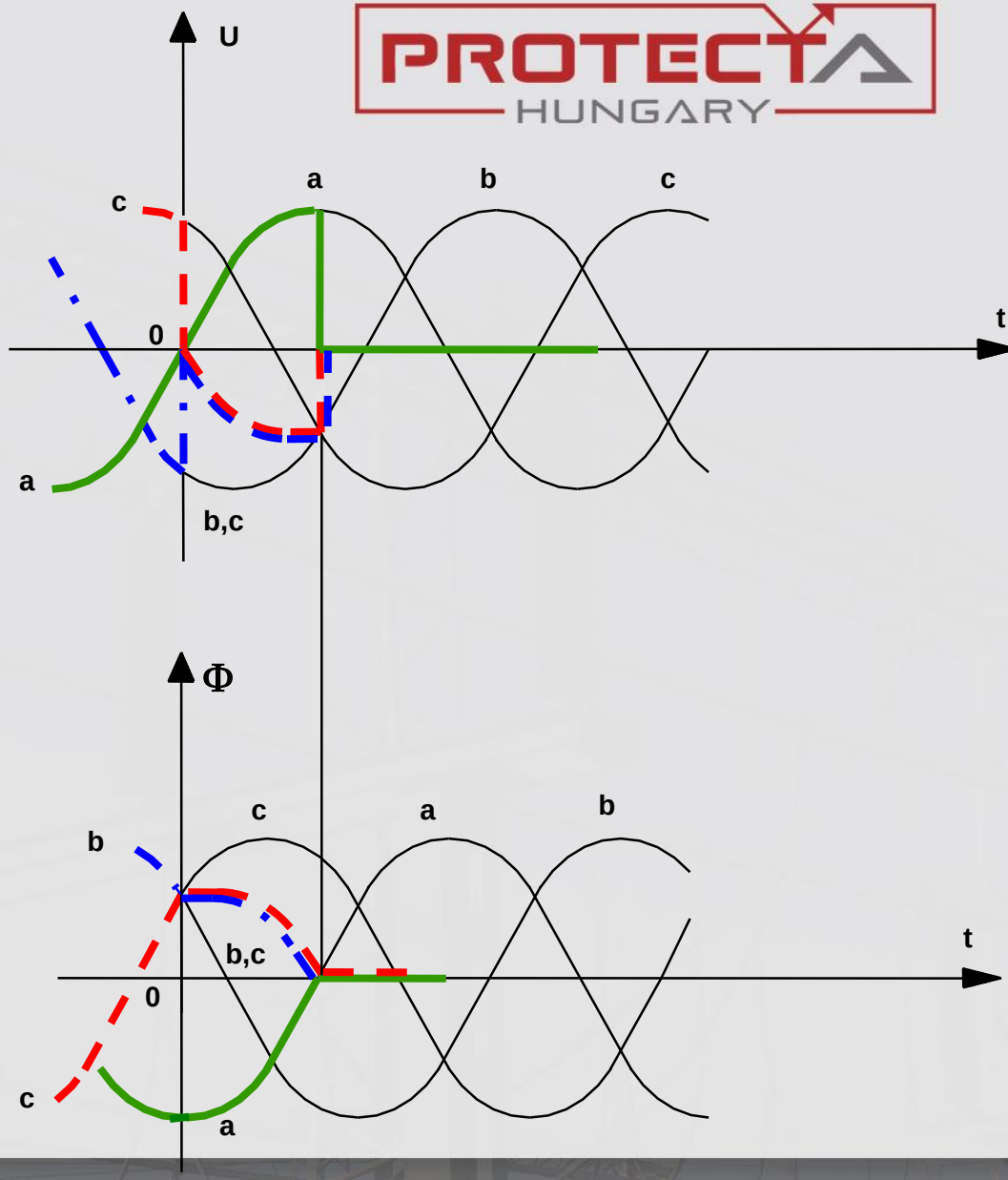
A kikapcsolt fázisban

$$-\Phi_C = \Phi_A + \Phi_B = \Phi_{A0} + \Phi_{B0} + \int (u_A + u_B) dt$$

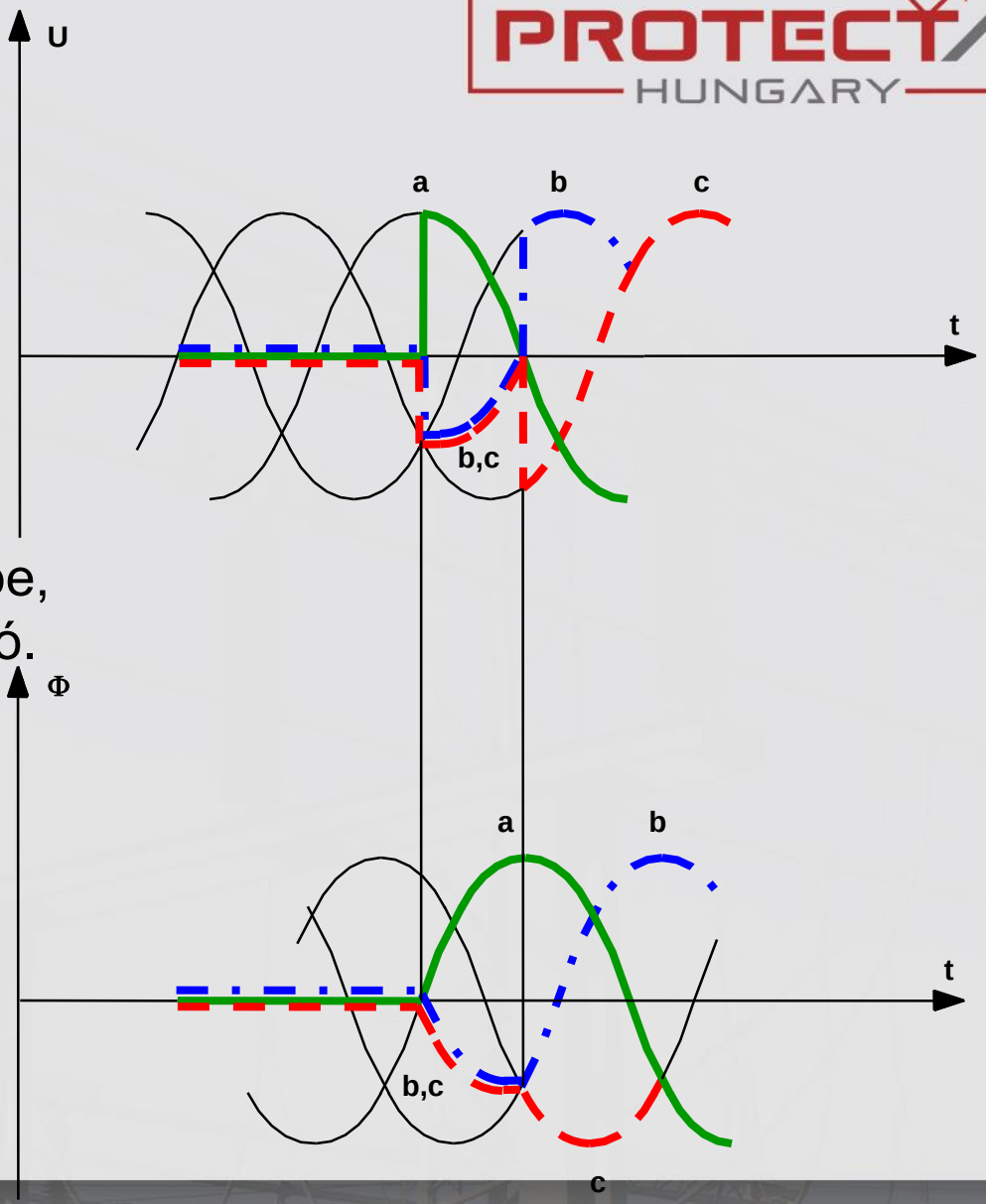
$$u_C = \frac{d\Phi_C}{dt} = -(u_A + u_B)$$

Ideális kikapcsolás

Ha nem így kapcsolunk ki, remanens fluxus várható.

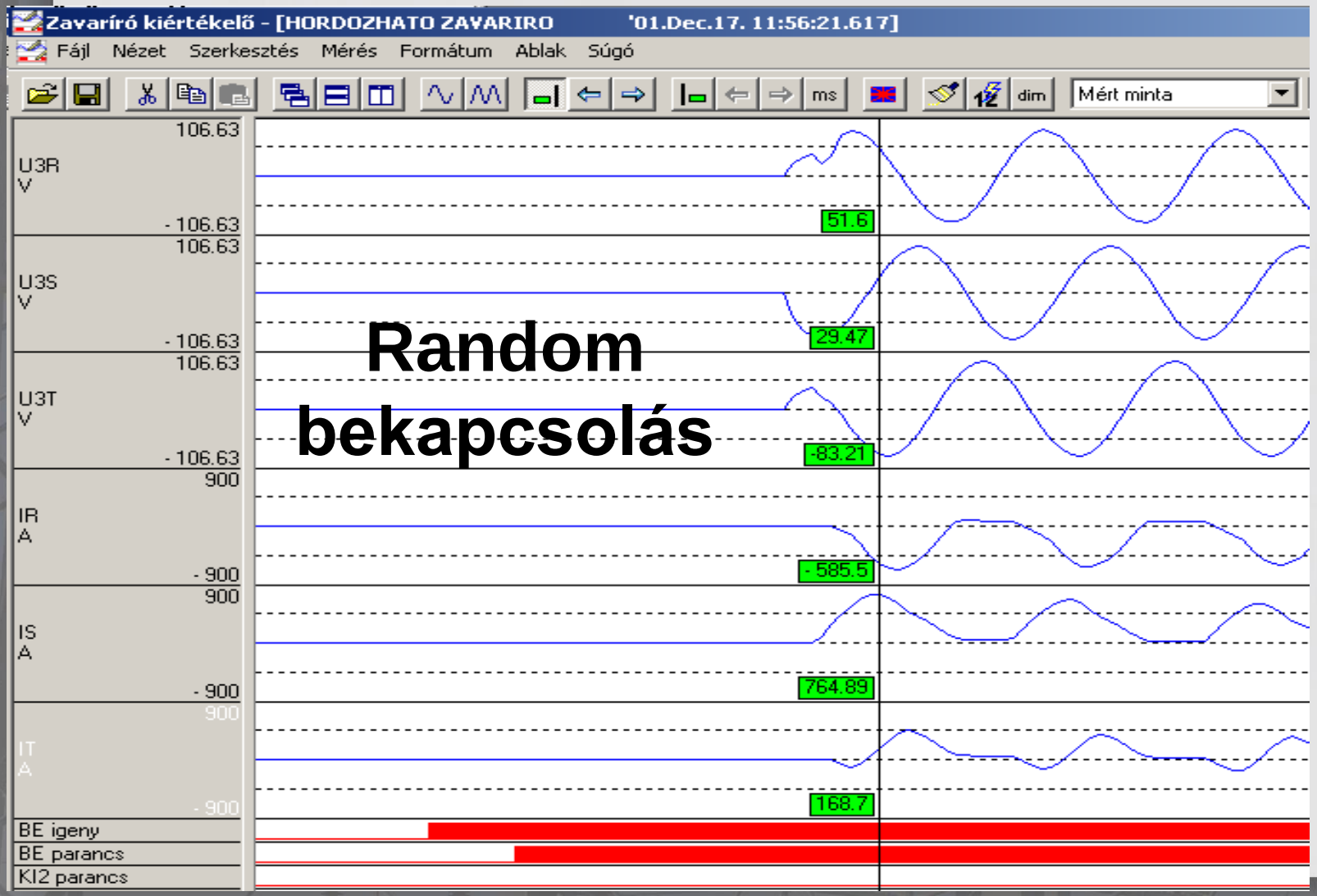


Ideális bekapcsolás

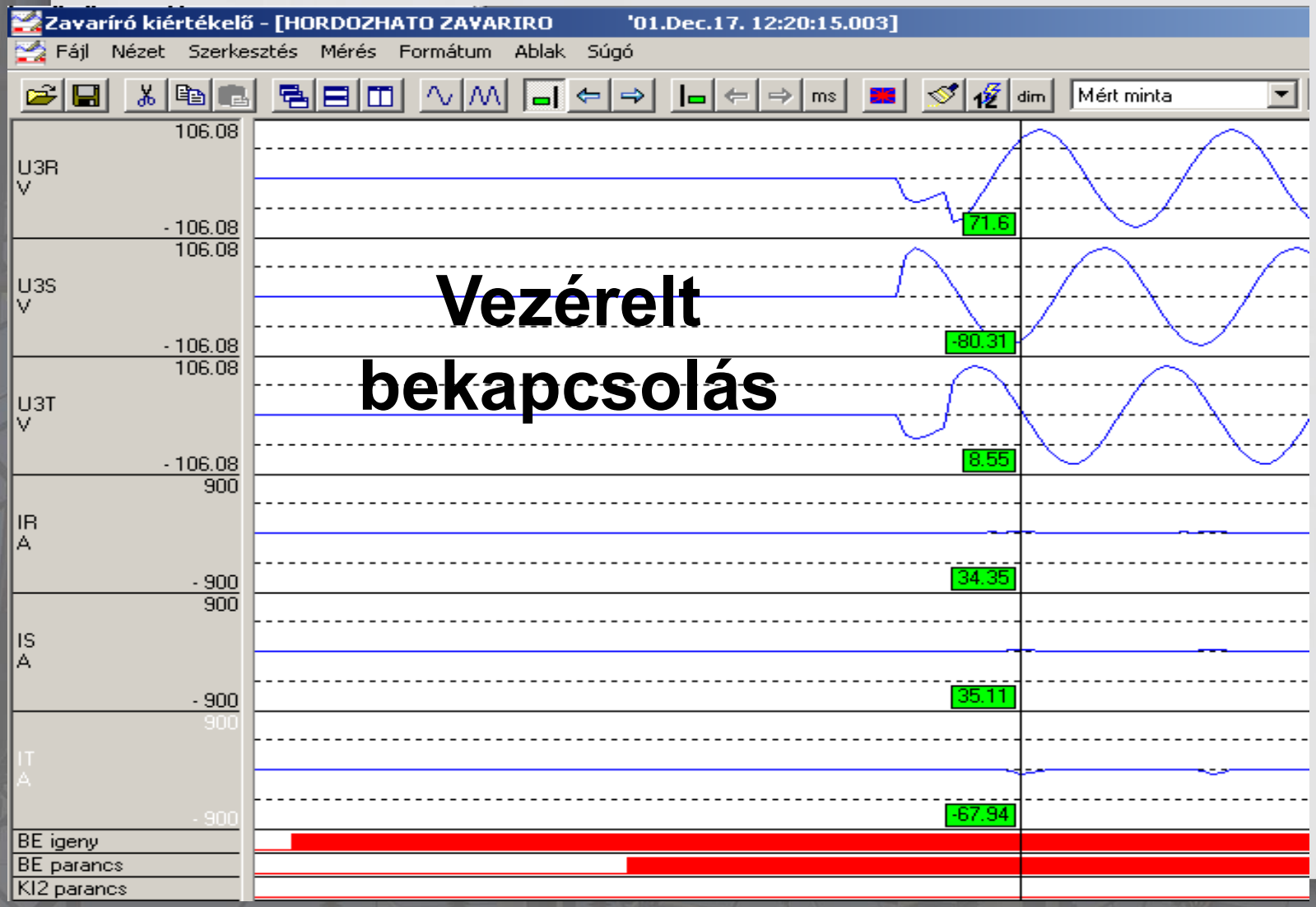


Ha nem így kapcsolunk be, fluxus túllendülés várható.

Bekapcsolási áramlökés.

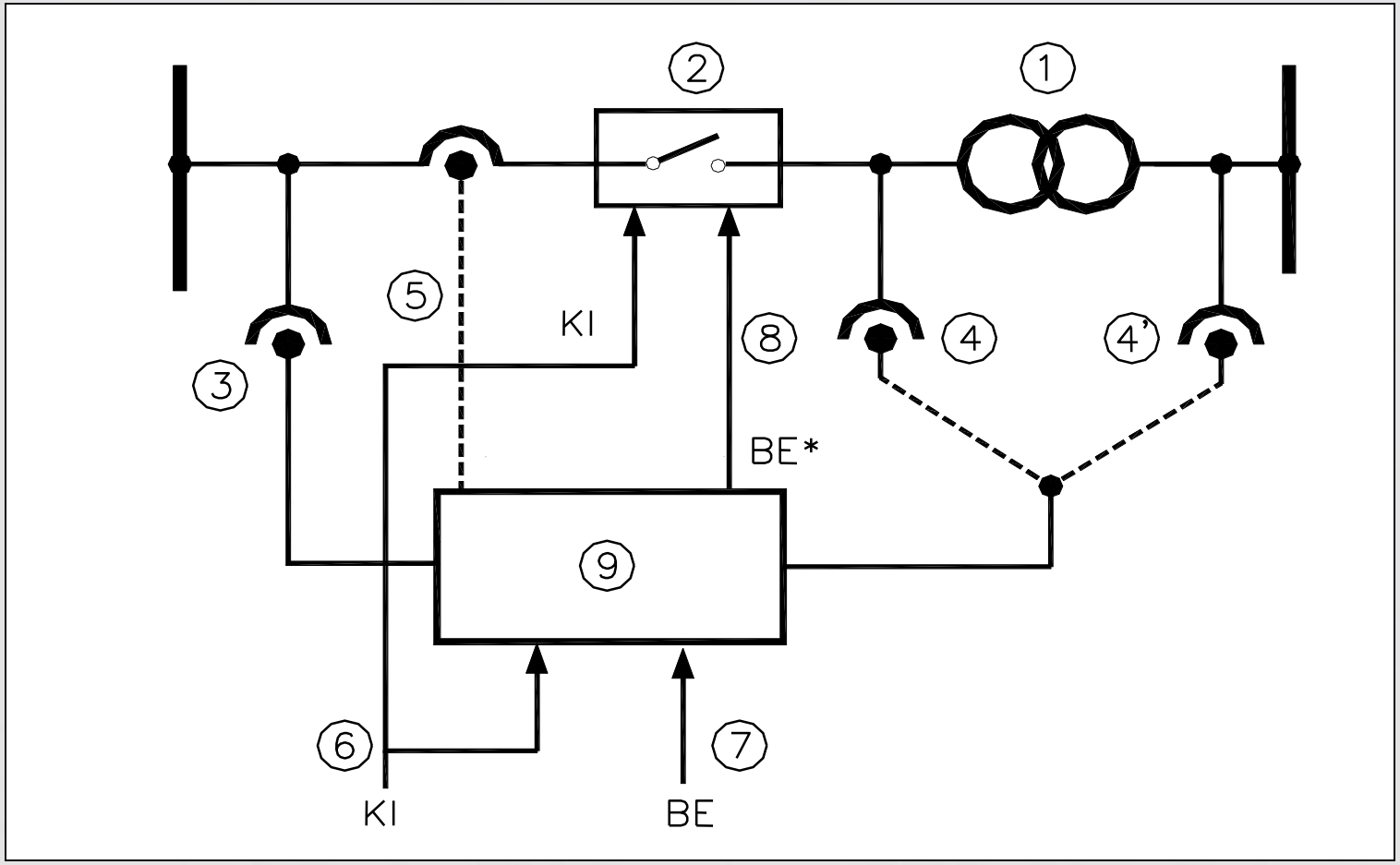


Random bekapcsolás



Vezérelt bekapcsolás

TRIM



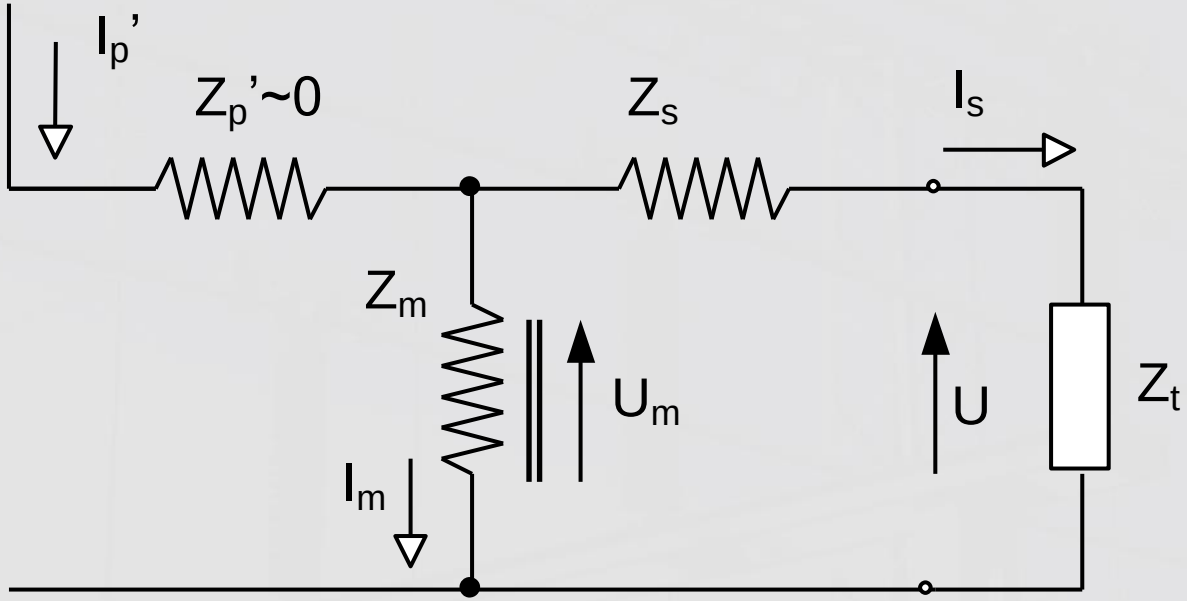
Megszakító hajtások

- Fázisonként vezérelt megszakítók
- „Elékelés”: 5 - 0 - 5 ms
- „Elékelés”: 0 - 0 - 0 ms

Differenciál védelem

Áramváltó telítés

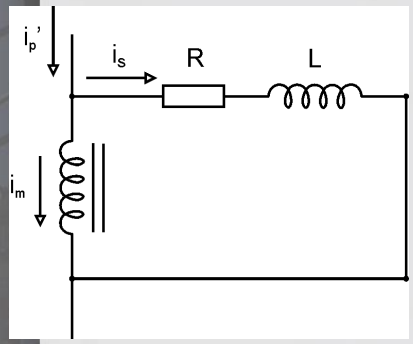
Az áramváltó helyettesítő képe



$I_s = I_p' - I_m$

A hiba oka az I_m mágnesező áram

A vasmag fluxusa



A mágnesező reaktancia feszültsége:

$$u = Ri_s + L\frac{di_s}{dt}$$

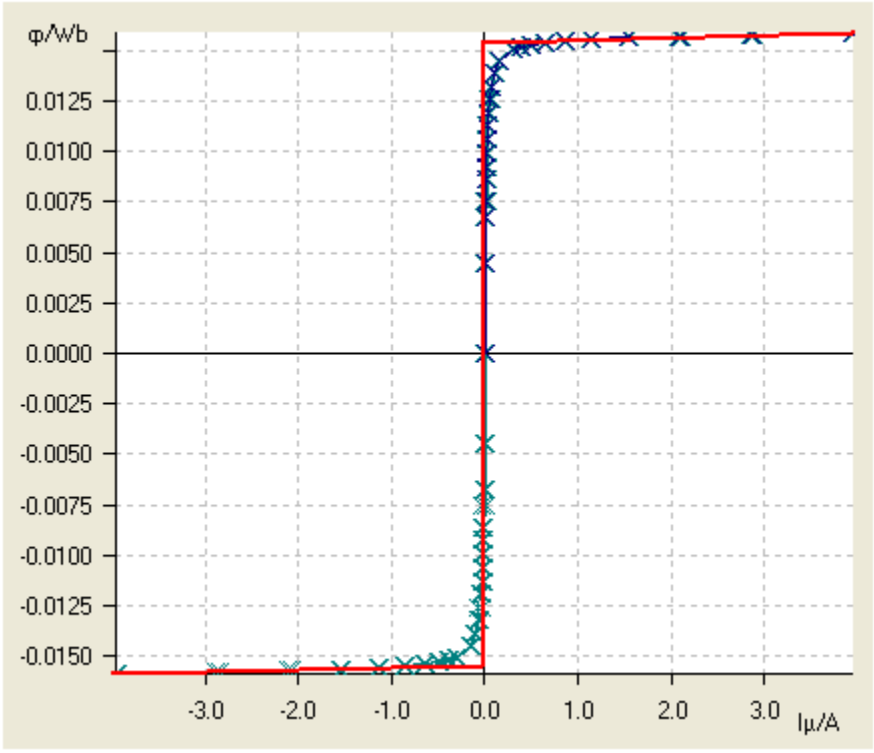
A vasmag fluxusa:

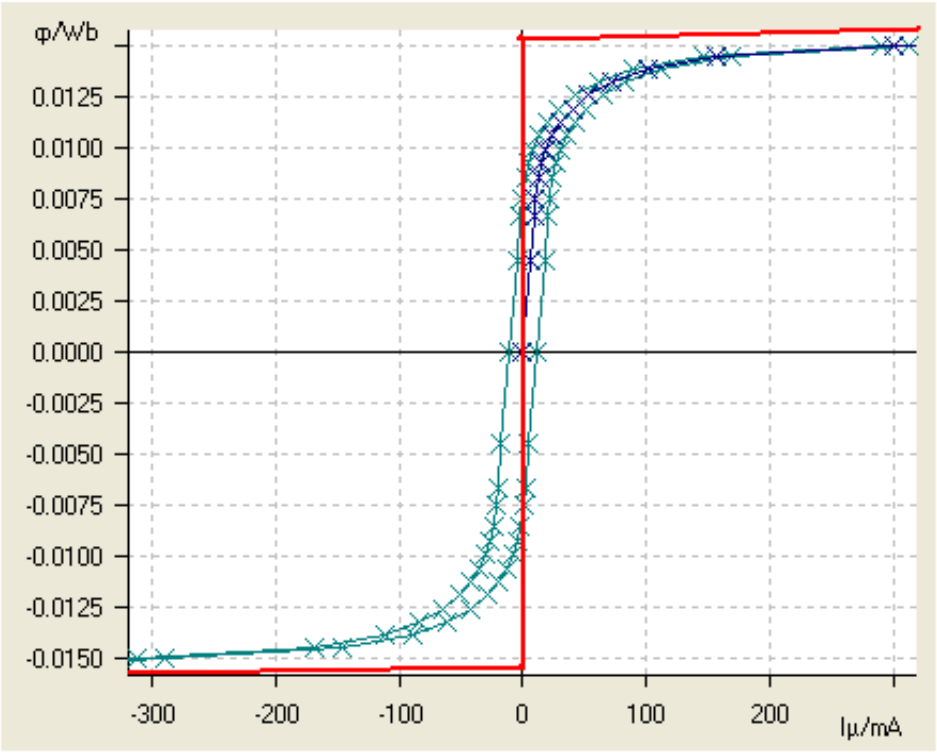
$$\Phi = \Phi_e + \int_{te}^{t} u dt = \Phi_e + R\int_{te}^{t} i_s dt + L\int_{te}^{t} \frac{di_s}{dt} dt$$

Egyszerűsítve (L=0):

$$\Phi \approx \Phi_e + \int_{te}^{t} u dt = \Phi_e + R\int_{te}^{t} i_s dt$$

A vasmag

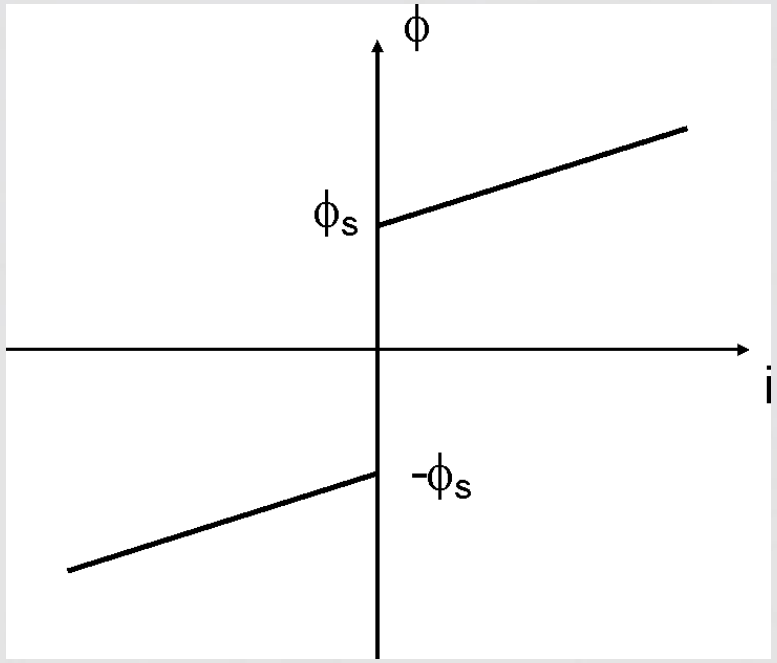




Ugyanaz a mért
mágnesezési görbe kinagyítva

A mágnesezési görbe

Egyszerűsítve



$$\Phi \approx \Phi_e + \int_{te}^{t} u dt = \Phi_e + R \int_{te}^{t} i_s dt$$

Az áramváltók tranziens telítését befolyásoló tényezők

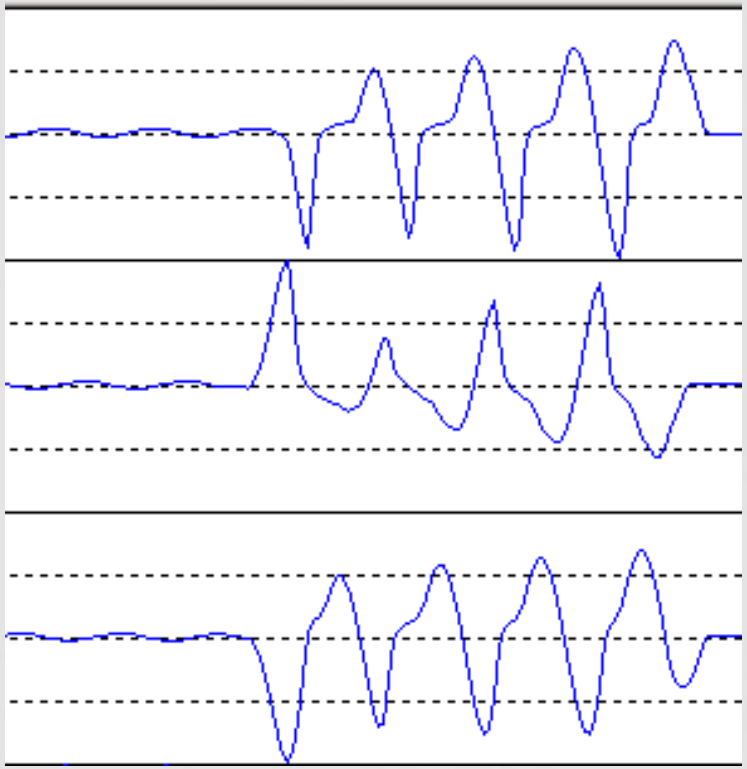
$$\Phi \approx \Phi_e + \int_{te}^{t} u dt = \Phi_e + R \int_{te}^{t} i_s dt$$

- A primer áram időfüggvénye
- A szekunder kör impedanciája
- A mágnesezési görbe könyökpontja
- A mágnesezési görbe alakja
- A remanens fluxus

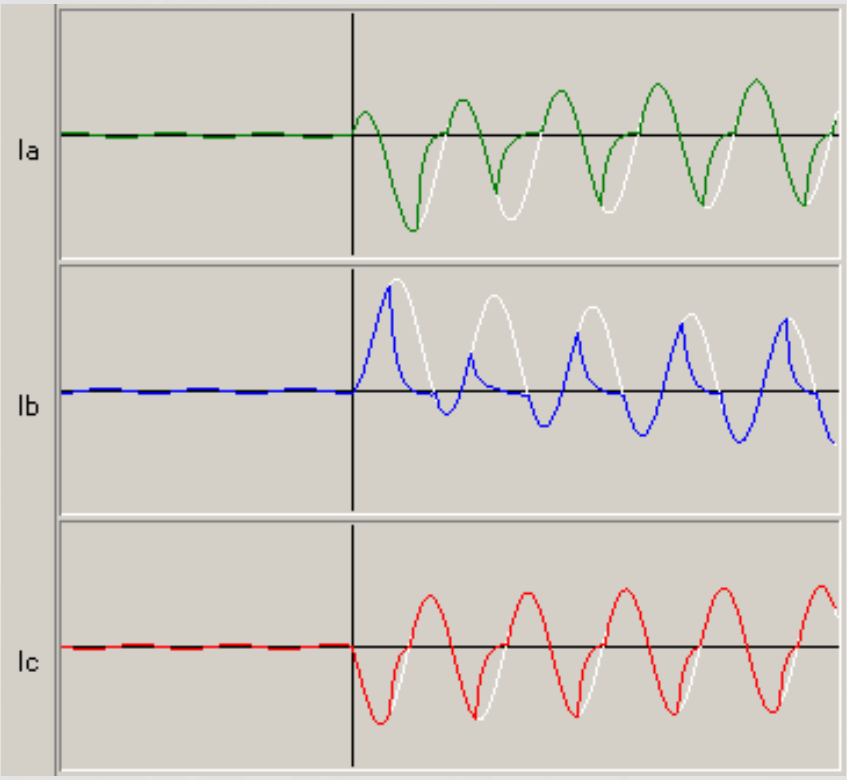
Lásd a CT-DEMO programot

Mért és szimulált görbealakok

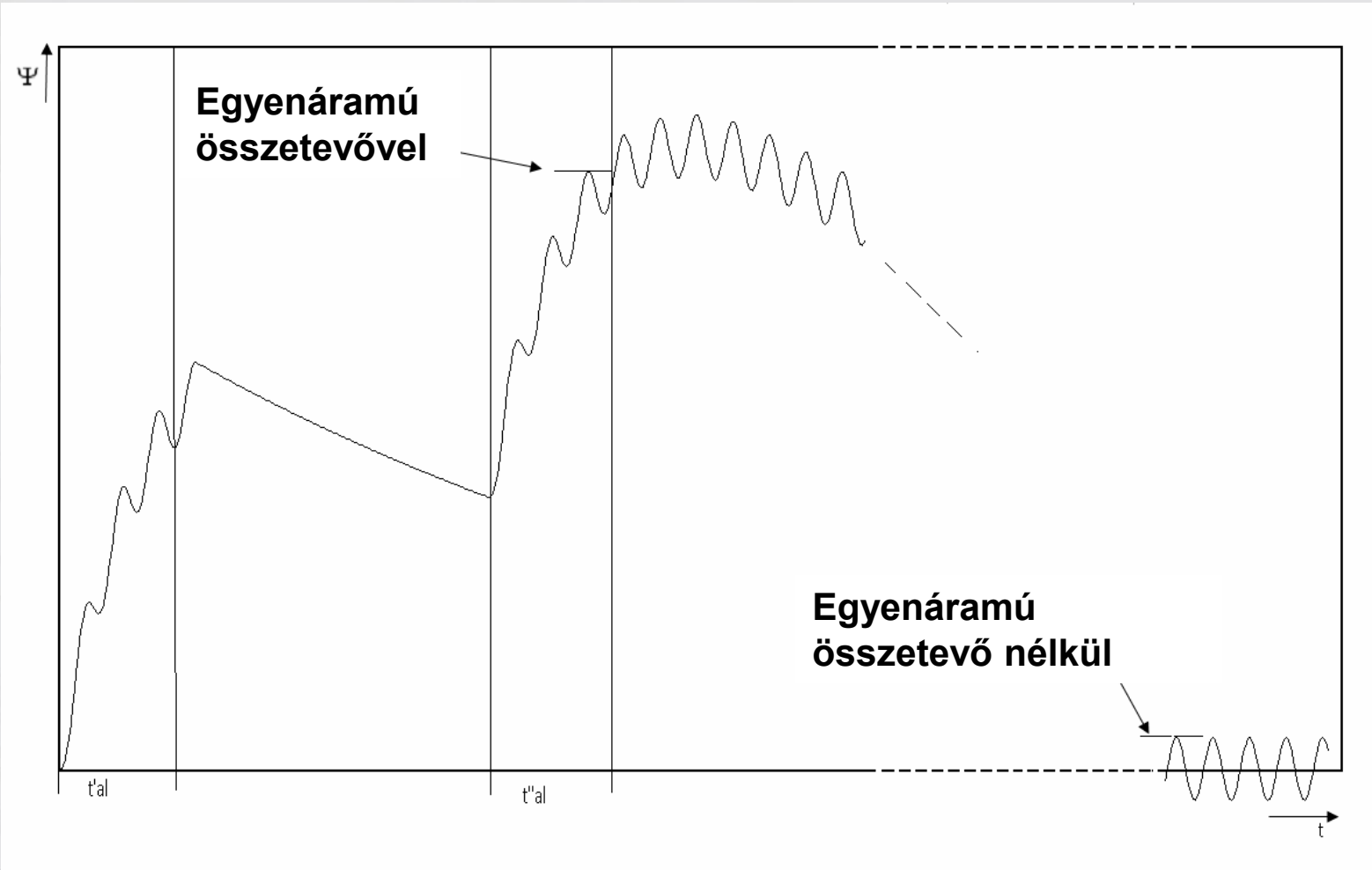
Mért



Szimulált

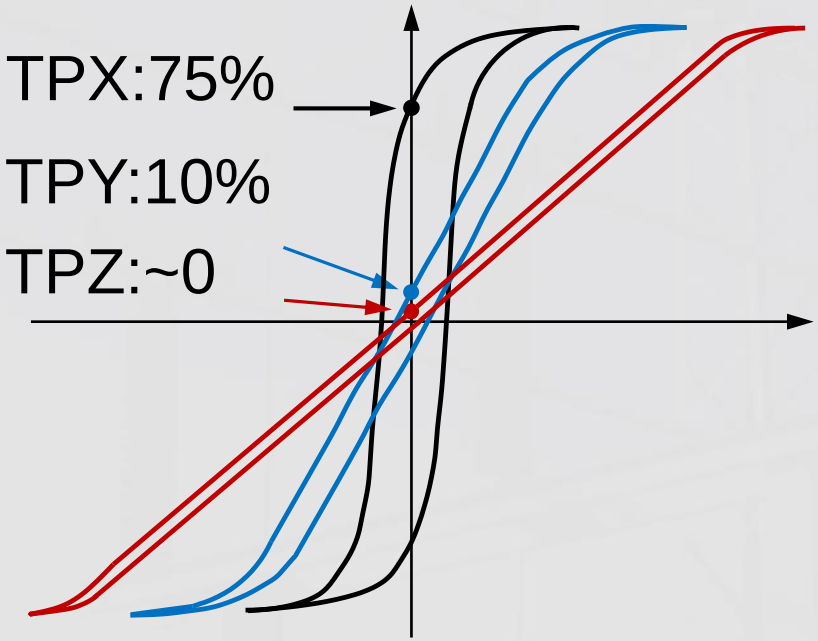


A fluxus gyorsvisszakapcsoláskor

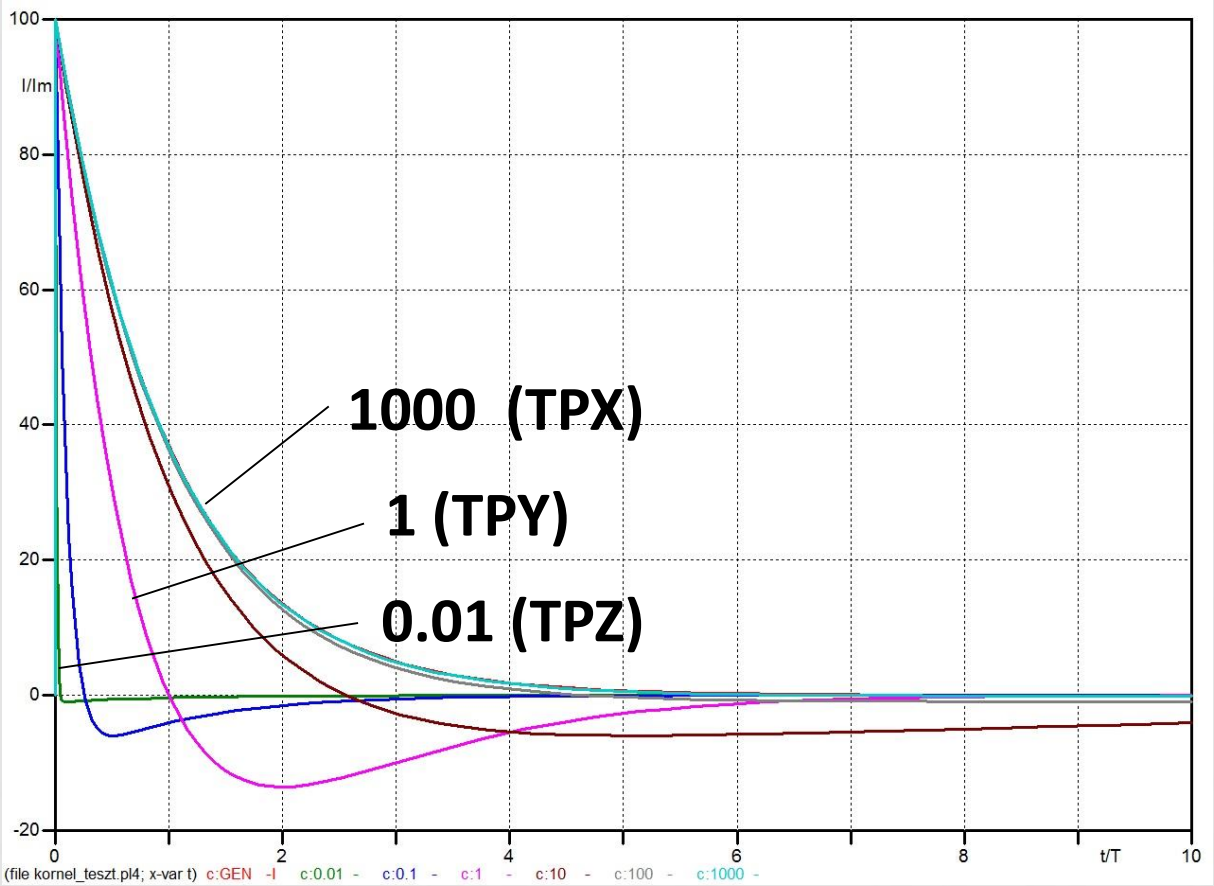


Áramváltó típusok

A lehetséges remanens fluxus

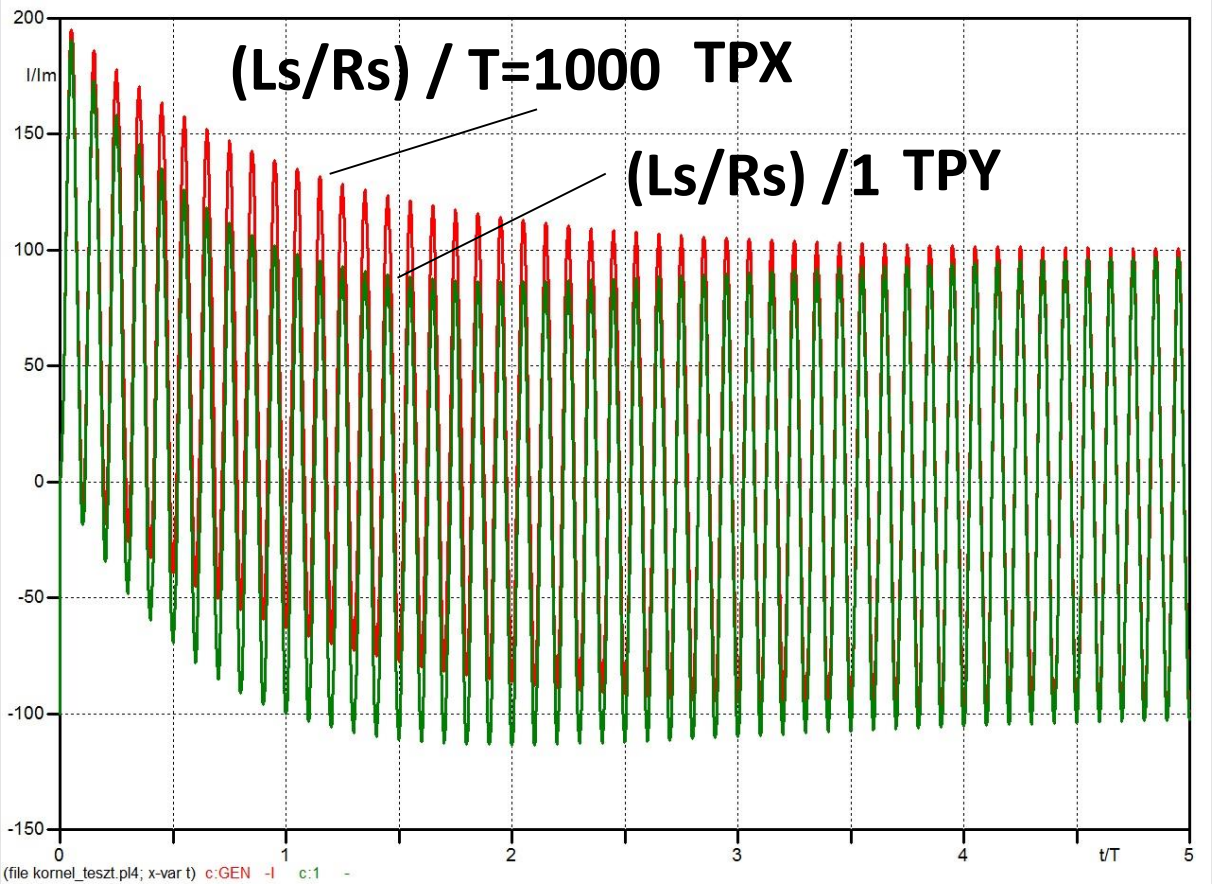


Az egyenkomponens átvitele



Paraméter: (Ls/Rs) / T

Az egyenkomponens átvitele



Szokásos áramváltó adatok

- Ipn/Isn= 600A/1A az áram-áttétel,
- Sbn=30 VA a névleges terhelés,
- 5P20, ahol 5 jelenti a pontossági osztályt,

  P jelenti a védelmi célú alkalmazhatóságot,
  20 a pontossági határtényező (ALF).

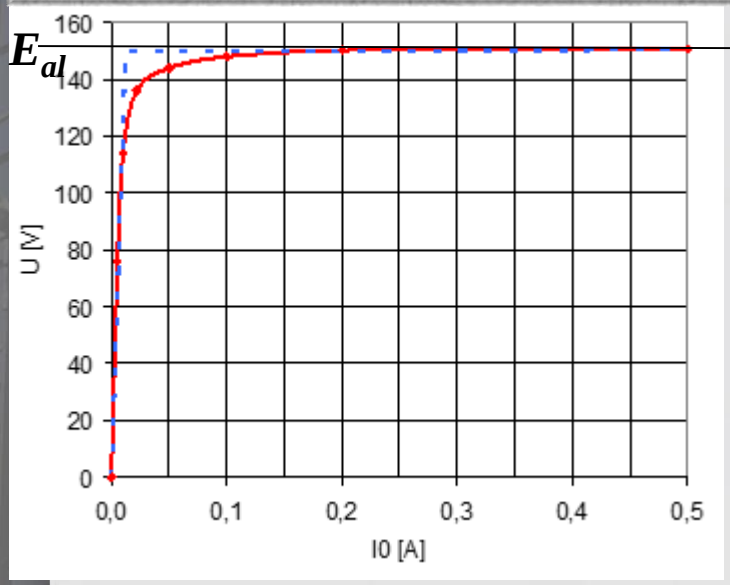
ALF : Névleges terhelés esetén az áramváltó ennyi-szeres névleges szimmetrikus állandósult áramig tartja a megadott pontosságot.

- Rct= ….Ω a szekunder tekercs ellenállása

Az áramváltó tranziens méretezését ezekkel az adatokkal kell definiálni!

Áramváltó mérés

Szekunder gerjesztés szinuszos feszültséggel



Könyökfeszültség: E_{al}

Szinuszos áram ne okozzon ennél nagyobb feszültséget!

$$E_{al} = ALF * I_{sn} * (R_{CT} + R_{bn})$$

R_{bn} a névleges terhelésből számítható

Más terhelésnél is ugyanez a korlát:

$$E_{al} = ALF' * I_{sn} * (R_{CT} + R_b)$$

$$ALF' = ALF * \frac{(R_{CT} + R_{bn})}{(R_{CT} + R_b)}$$

R_{CT} hatása!

Fluxus korlát

Könyökfeszültség: $E_{al}\,(eff)$

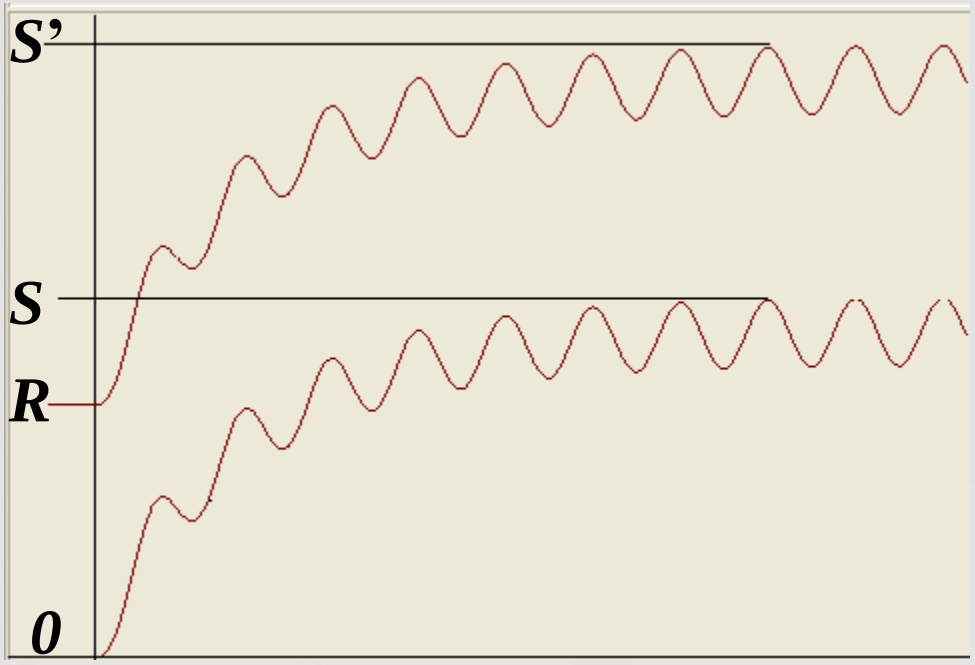
Ez meghatároz egy fluxus csúcsértéket:

$$\phi(t) = \int u(t)dt = \sqrt{2}\,E_{al} \int \sin(\omega t)\,dt = \frac{\sqrt{2}E_{al}}{\omega}\cos(\omega t)$$

$$\phi_{csúcs} = \frac{\sqrt{2}E_{al}}{\omega}$$

Ezt a fluxus csúcsértéket tranziensben sem léphetjük túl, mert az már nagy áram-torzulást okoz.

A remanens fluxus figyelembe vétele



Az ábrából:

$$S' = S + R$$

A túlméretezés:

$$S = K * \hat{\phi}$$

$$S' = K' * \hat{\phi}$$

$$K' = K * \frac{1}{1 - \frac{R}{S'}}$$

$$K_{Rem} = \frac{1}{1 - \frac{R}{S'}}$$

Áramváltó méretezés

PROTECTA HUNGARY

A tranziens túlmértetési igényt állandósult állapot méretezésre vezetjük vissza:

$$E_{al} = ALF' * I_{sn} * (R_{CT} + R_b)$$

$$E_{al} = \boldsymbol{K_{zárl}} * \boldsymbol{K_{rem}} * \boldsymbol{K_{tranz}} * I_{sn} * (R_{CT} + R_b)$$

$$\boldsymbol{K_{zárl}} = \frac{I_{pr,zárl}}{I_{pr,névl}}$$

$$\boldsymbol{K_{Rem}} = \frac{1}{1 - \frac{R}{S'}}$$

$\boldsymbol{K_{tranz}}$=**A védelem gyártó tudja megadni**

$$\boldsymbol{E_{ÁV}} \geq E_{al}$$

Elemezzük a tényezőket!

Áramváltó méretezés/1

$$E_{al} = \boldsymbol{K_{zárl}} * \boldsymbol{K_{rem}} * \boldsymbol{K_{tranz}} * I_{sn} * (R_{CT} + R_b)$$

$$R_b = R_{kábel} + R_{relé}$$

$$R_{kábel} = \alpha * \rho * \frac{l}{A}$$

$\alpha_{3F} = 1$ $\alpha_{1F} = 2$

$R_{relé}$	Numerikus védelmeknél kicsi, nem kell teljesítmény
R_{CT}	Kis terhelés esetén fontos lehet, mérhető

Áramváltó méretezés/2

$$E_{al} = \boldsymbol{K_{zár l}} * \boldsymbol{K_{rem}} * \boldsymbol{K_{tranz}} * I_{sn} * (R_{CT} + R_b)$$

$$I_{sn} = 1\boldsymbol{A}, \qquad 5A$$

$$\boldsymbol{K_{zár l}} = \frac{I_{pr,zár l}}{I_{pr,névl}}$$

$I_{prim,zár l}$

Befolyásolja:

- Hibahely
- Hálózat állapota
- Zárlatfajta

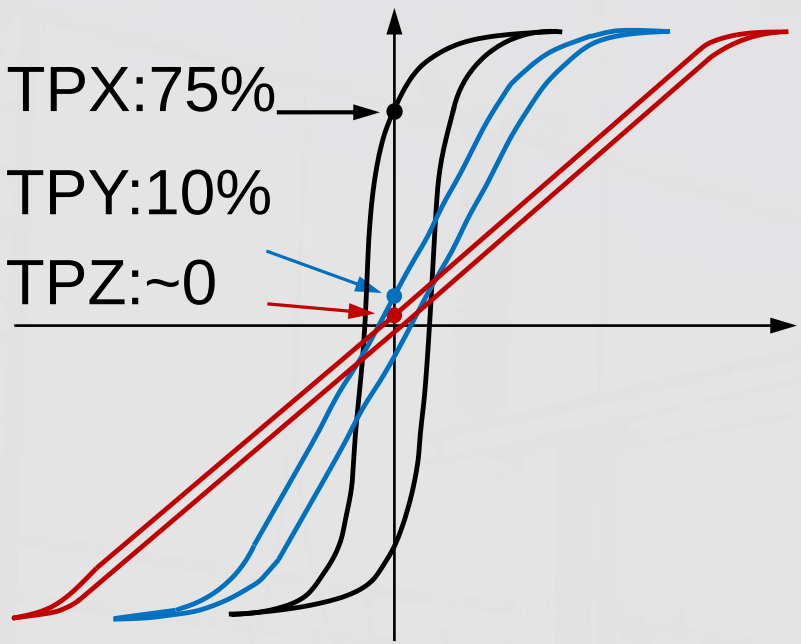
$I_{prim,névl}$

Legyen a várható zárlatnak megfelelő (nem a transzformátor teljesítménye a mérvadó)!

Áramváltó méretezés/3

$$E_{al} = \boldsymbol{K_{zár l}} * \boldsymbol{K_{rem}} * \boldsymbol{K_{tranz}} * I_{sn} * (R_{CT} + R_b)$$

$$\boldsymbol{K_{Rem}} = \frac{1}{1 - \frac{R}{S'}}$$



TPX: $\frac{R}{S'}$ nagy

TPY: $\frac{R}{S'}$ kicsi, de GVA holtidőben még folyik a szekunder áram!

TPZ: $\frac{R}{S'}$ =0, de állandósult hiba és rossz egyen-komponens átvitel

Áramváltó méretezés/4

$$E_{al} = \boldsymbol{K_{zár l}} * \boldsymbol{K_{rem}} * \boldsymbol{K_{tranz}} * I_{sn} * (R_{CT} + R_b)$$

$\boldsymbol{K_{tranz}}$=**A védelem gyártó tudja megadni**

Követelmények: ha csak egy ÁV telítődik:

- Külső zárlatra a diff. védelem ne szólaljon meg
- Belső zárlatra ne késlekedjen lényeges mértékben

Befolyásolja:

- Hibahely
- Hálózat időállandója
- A zárlat bekövetkeztének szöge
- Zárlatfajta

Javít a túlméretezési igényen:

- Karakterisztika paraméterezése
- Fékezés
- Speciális algoritmusok

Áramváltó méretezés/5

ha mindkét ÁV telítődik:

Ne legyen nagy különbség a két áramváltó telítése között:

A könyökfeszültségből (pl. az 1. feszültségszintre) kiszámítható áramok aránya legyen korlátos:

Primer árammal kifejezve: $I_{al} = \frac{E_{al}}{(R_{ct}+R_{ba})} * \frac{I_{pr}}{I_{sr}}$

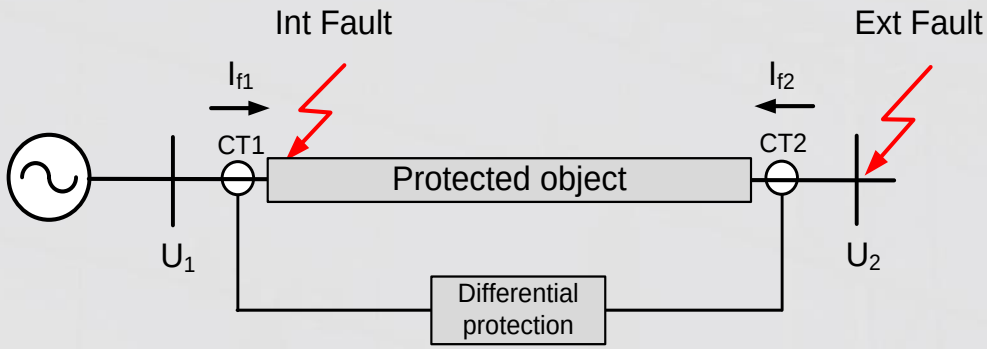
$$\frac{1}{k} \leq \frac{I_{al1}^{1}}{I_{al2}} = \frac{I_{al1}}{I_{al2}} * \frac{U_2}{U_1} \leq k$$

De befolyásol:

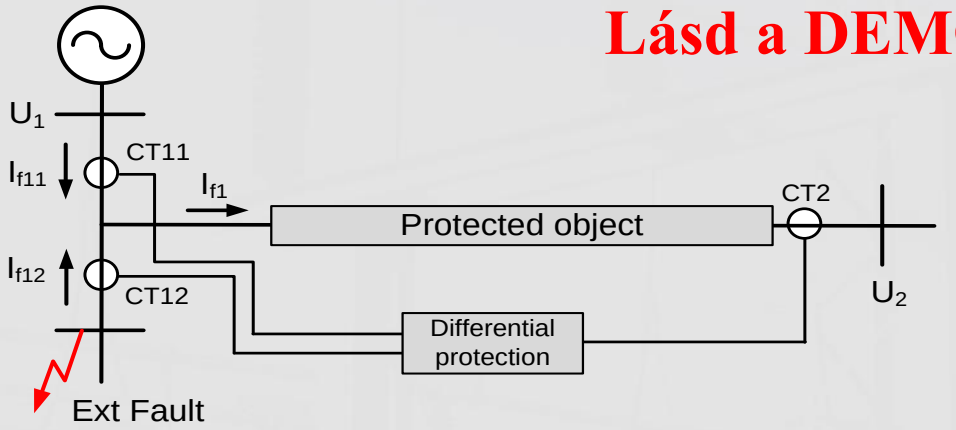
- Hibahely
- Hálózat időállandója
- A zárlat bekövetkeztének szöge
- Zárlatfajta

Áramváltó méretezés/5

K_{tranz}=A védelem gyártó tudja megadni

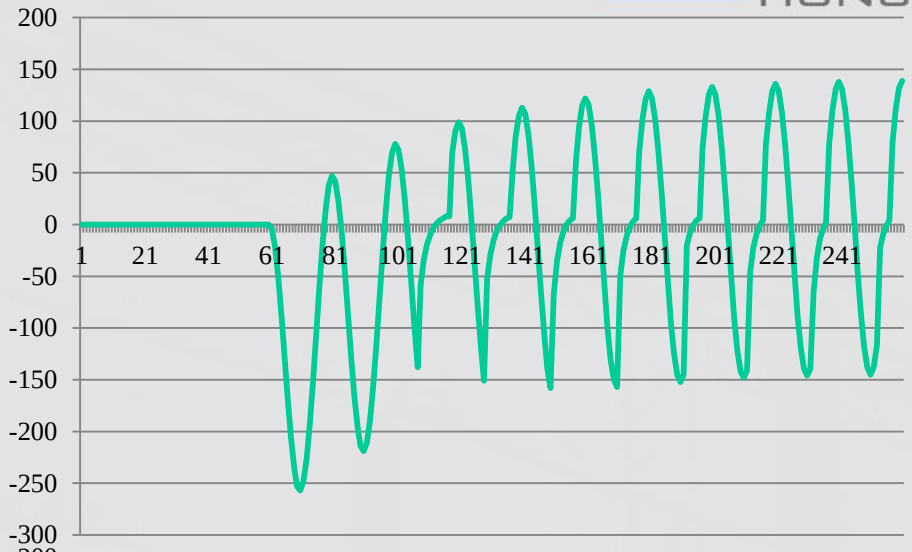


Lásd a DEMO programot!

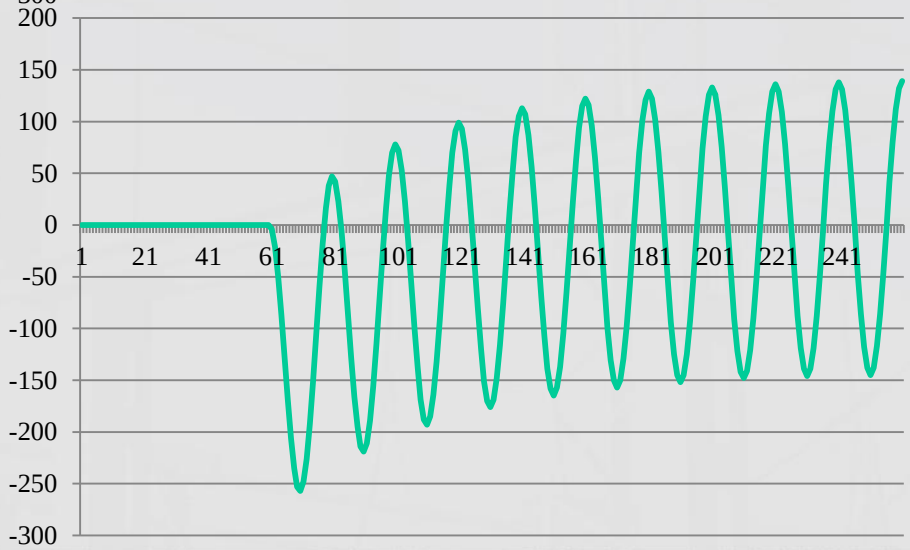


A védelem érzékelése

Telített I1



Telítetlen I2

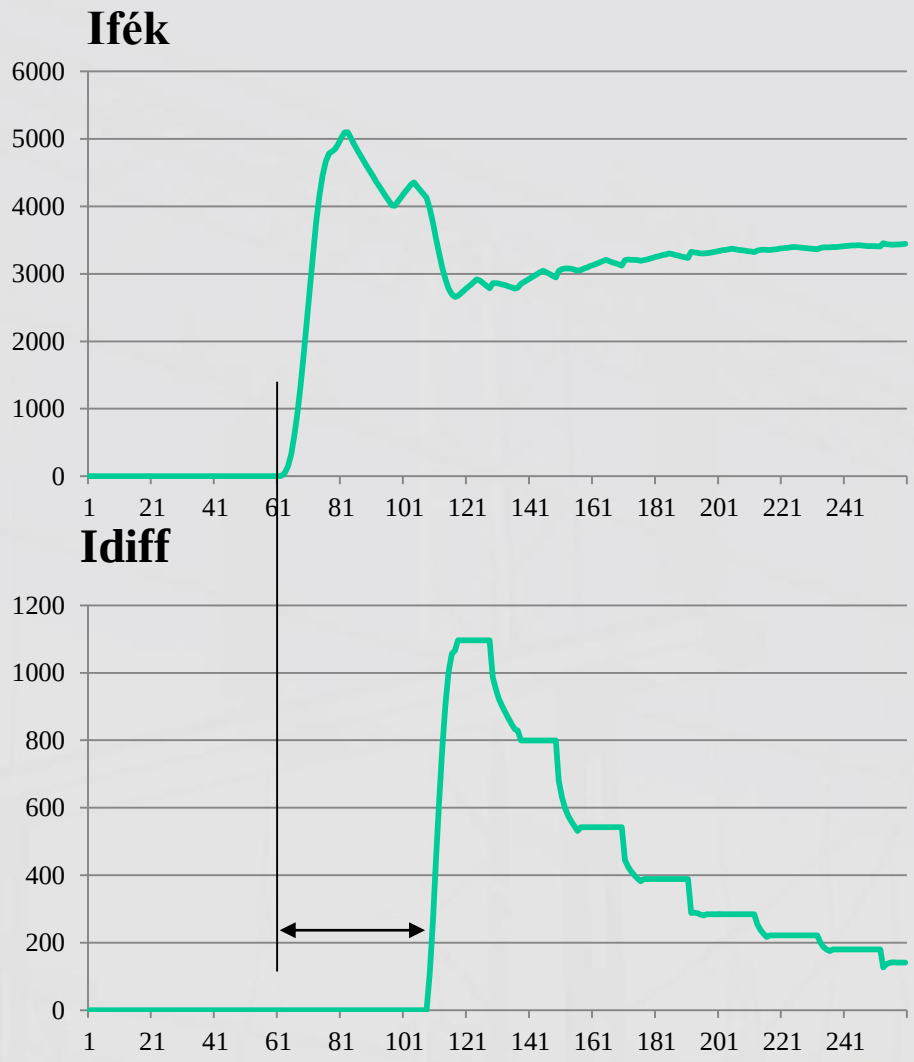


A védelem érzékelése

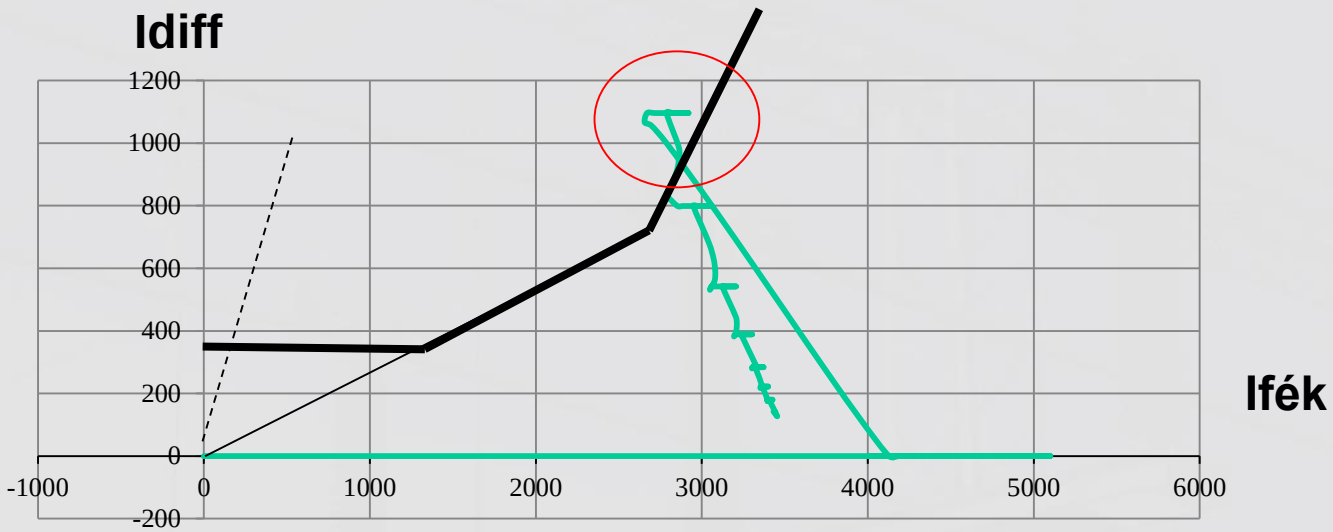
Fékező áram

(Példa algoritmus, durva, szűrés nélkül)

Különbözeti áram



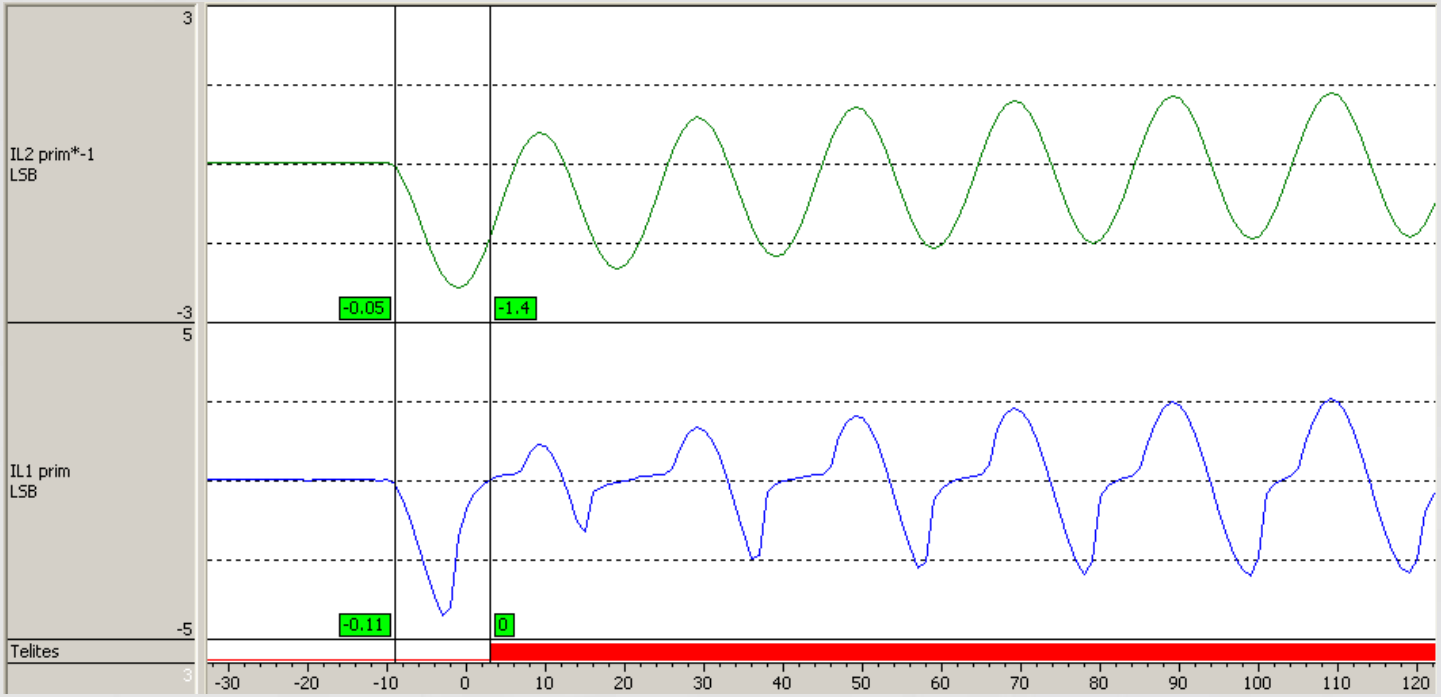
Munkapont mozgása a karakterisztikával



Javítási módszerek:

- Karakterisztika állítás
- Ismétlés szám
- Dinamikus karakterisztika
- Emlékezés korábbi döntésre
- Telítés detektor
- Döntés telítetlen szakaszon, stb.

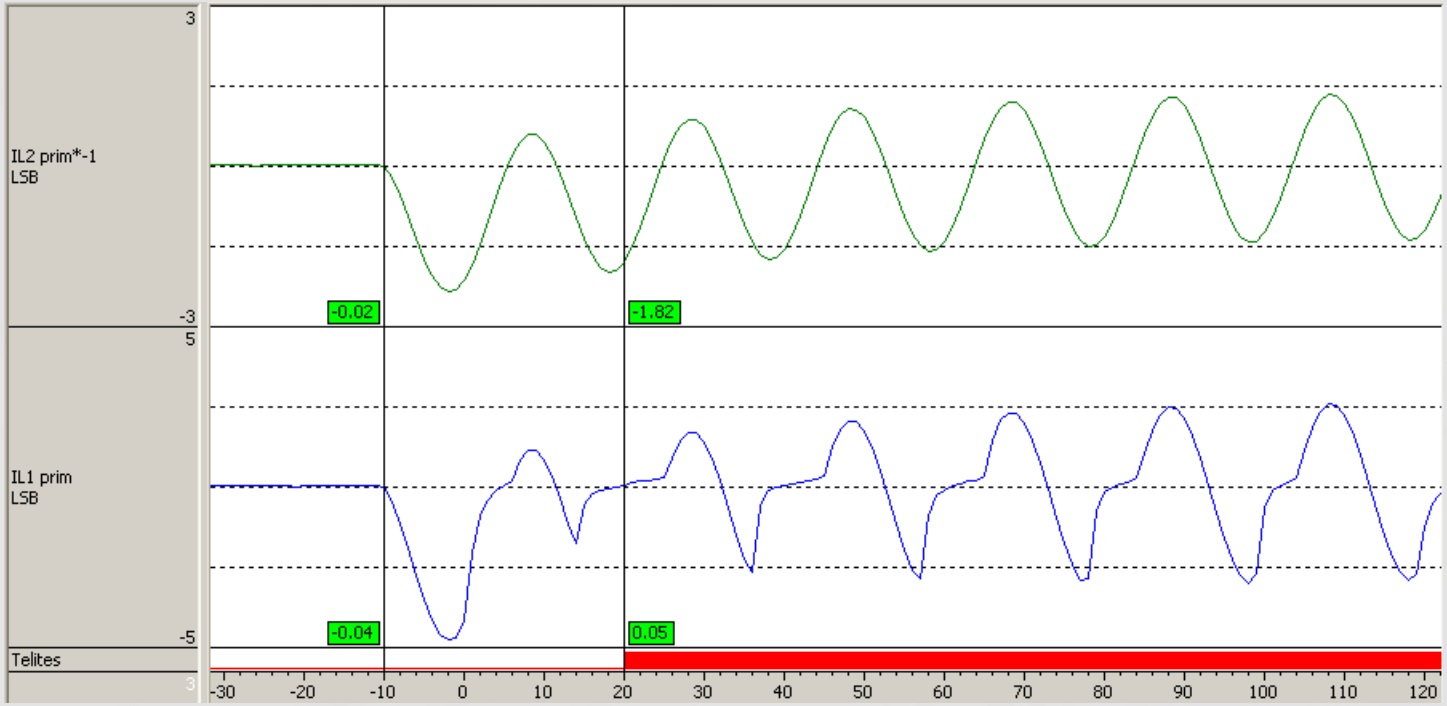
Telítés detektor/1



A megszólalás feltételei

- **a felfutó meredekséghez képest lényegesen nagyobb lefutó meredekség**
- **az áram csúcs a névleges áram csúcsértékét meghaladja**

Telítés detektor/2

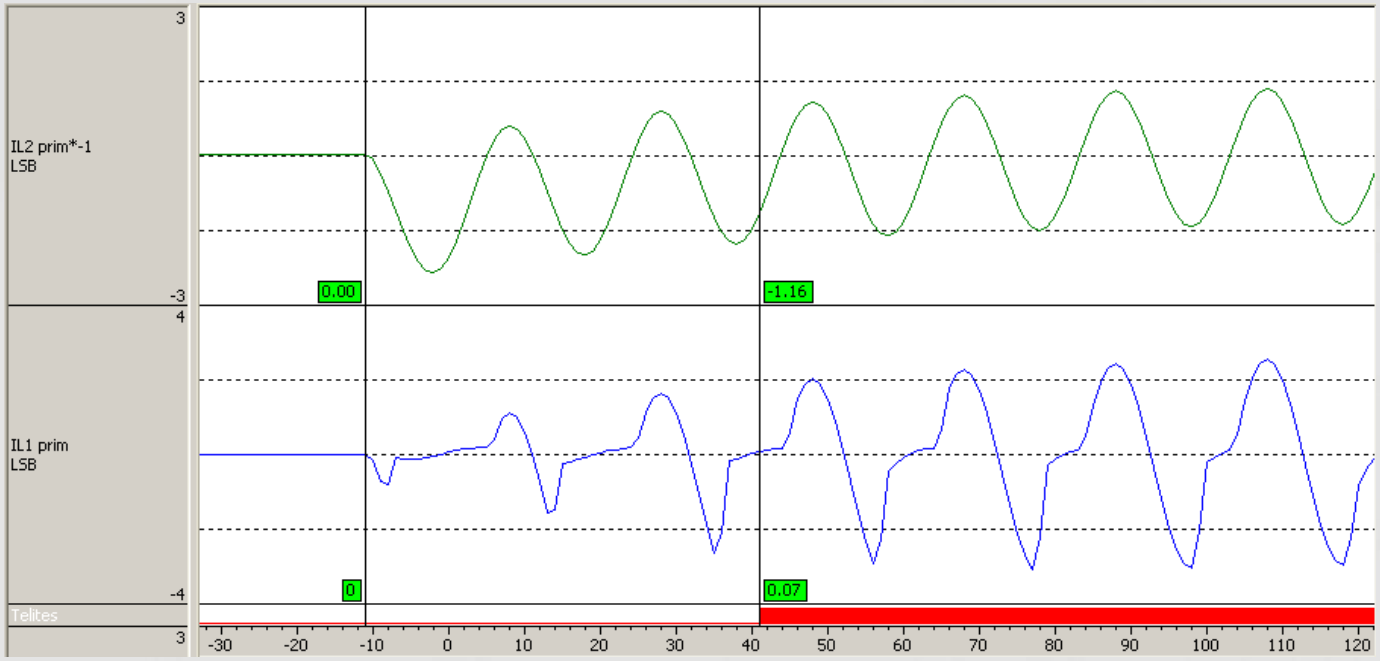


Hosszabb telítés-mentes időszak

A telítés detektor működése a vártnak megfelelő

A telítés detektor korlátai

Nagy remanens fluxus – az első periódusokat alig viszi át az áramváltó

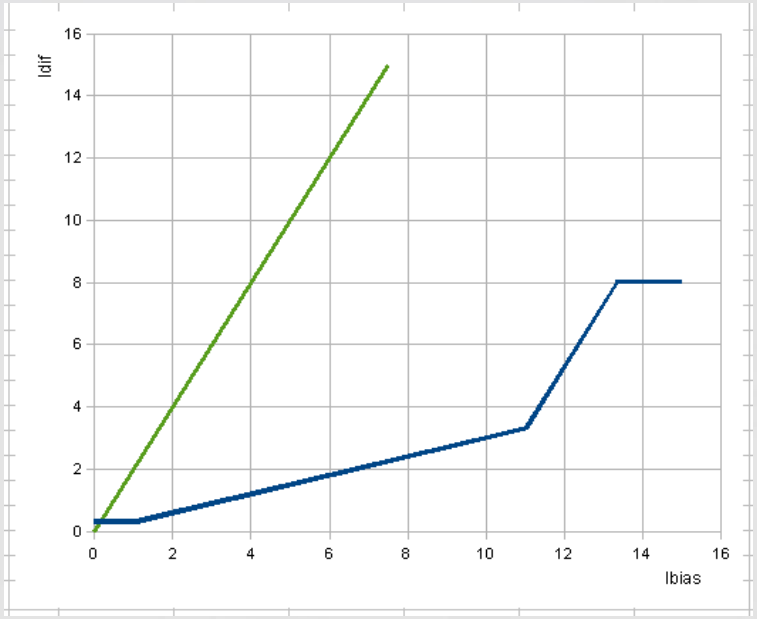


Az áramváltót helyesen kell méretezni

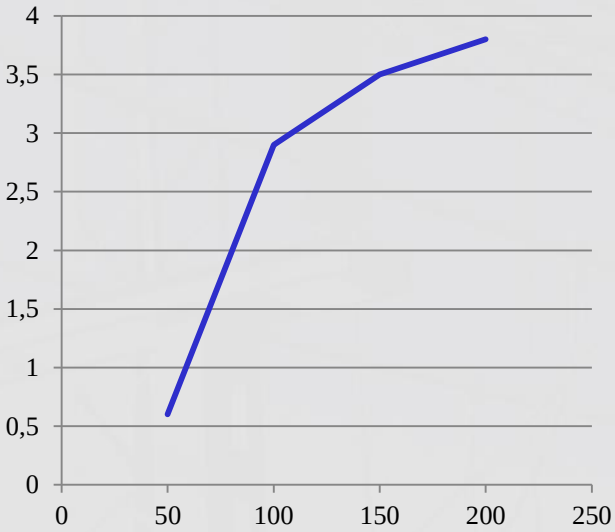
Kis remanens fluxusú (TPY) áramváltót célszerű választani

Túlméretezés igény érzékeny karakterisztika esetén

A karakterisztika

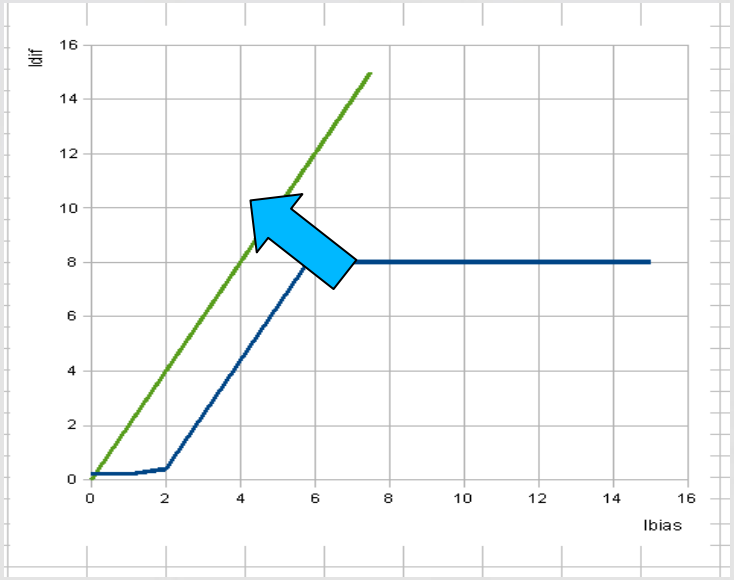


K_{tranz} a primer időállandó függvényében (ms)

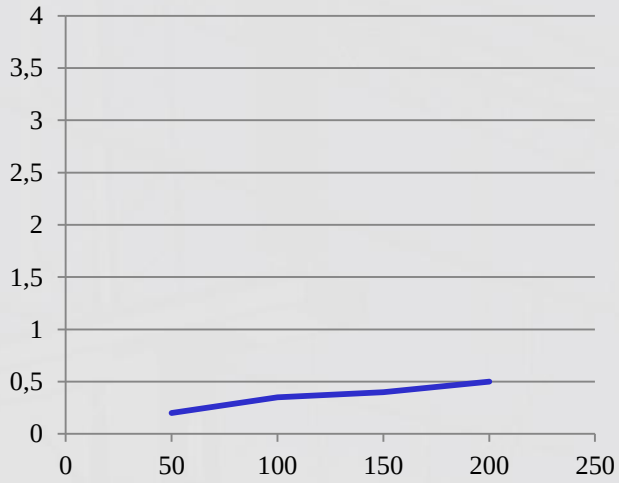


Túlméretezés igény érzéketlen karakterisztika esetén

A karakterisztika



K_{tranz} a primer időállandó függvényében (ms)

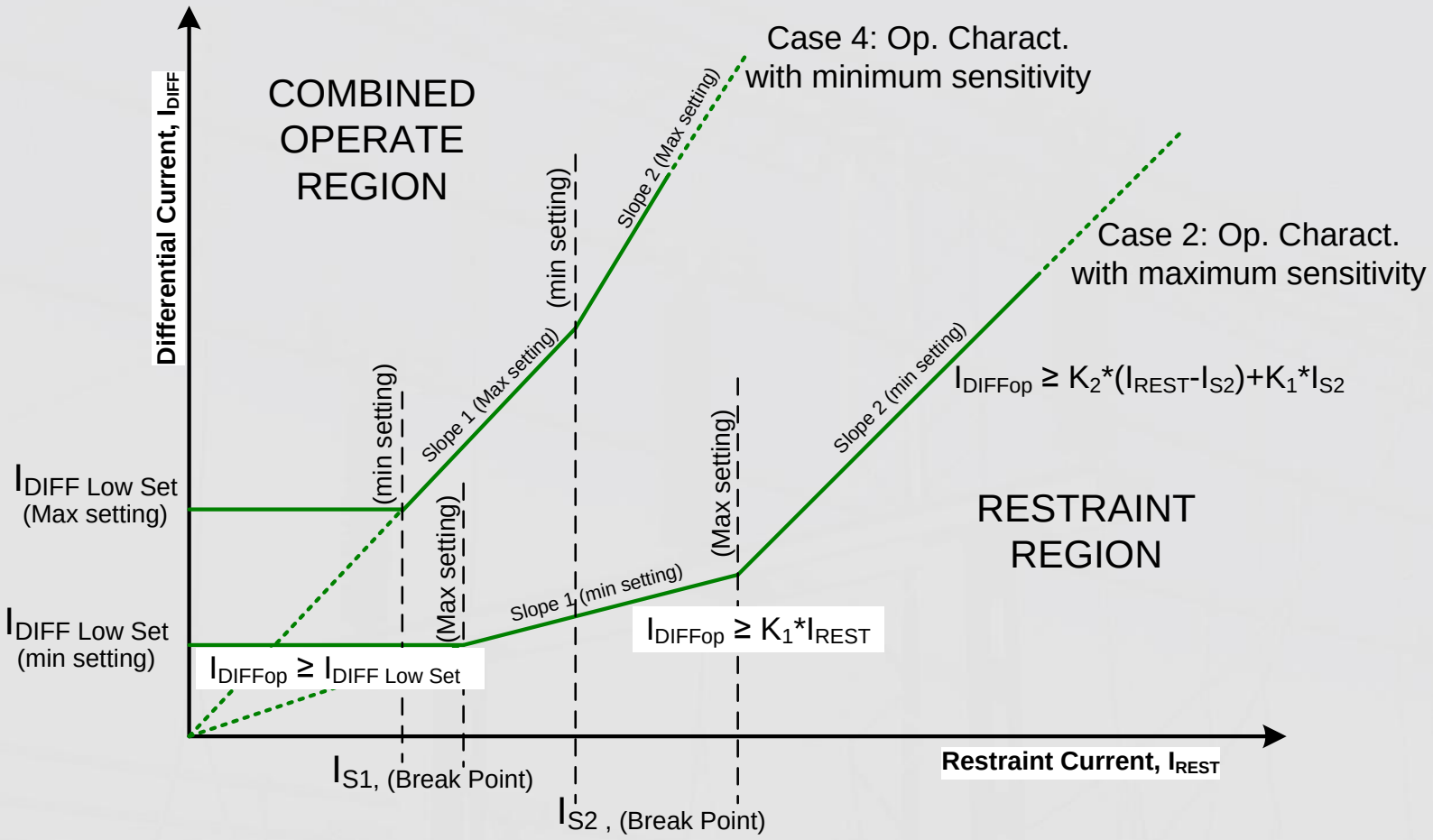


Ez a karakterisztika állandósult telítést is elvisel

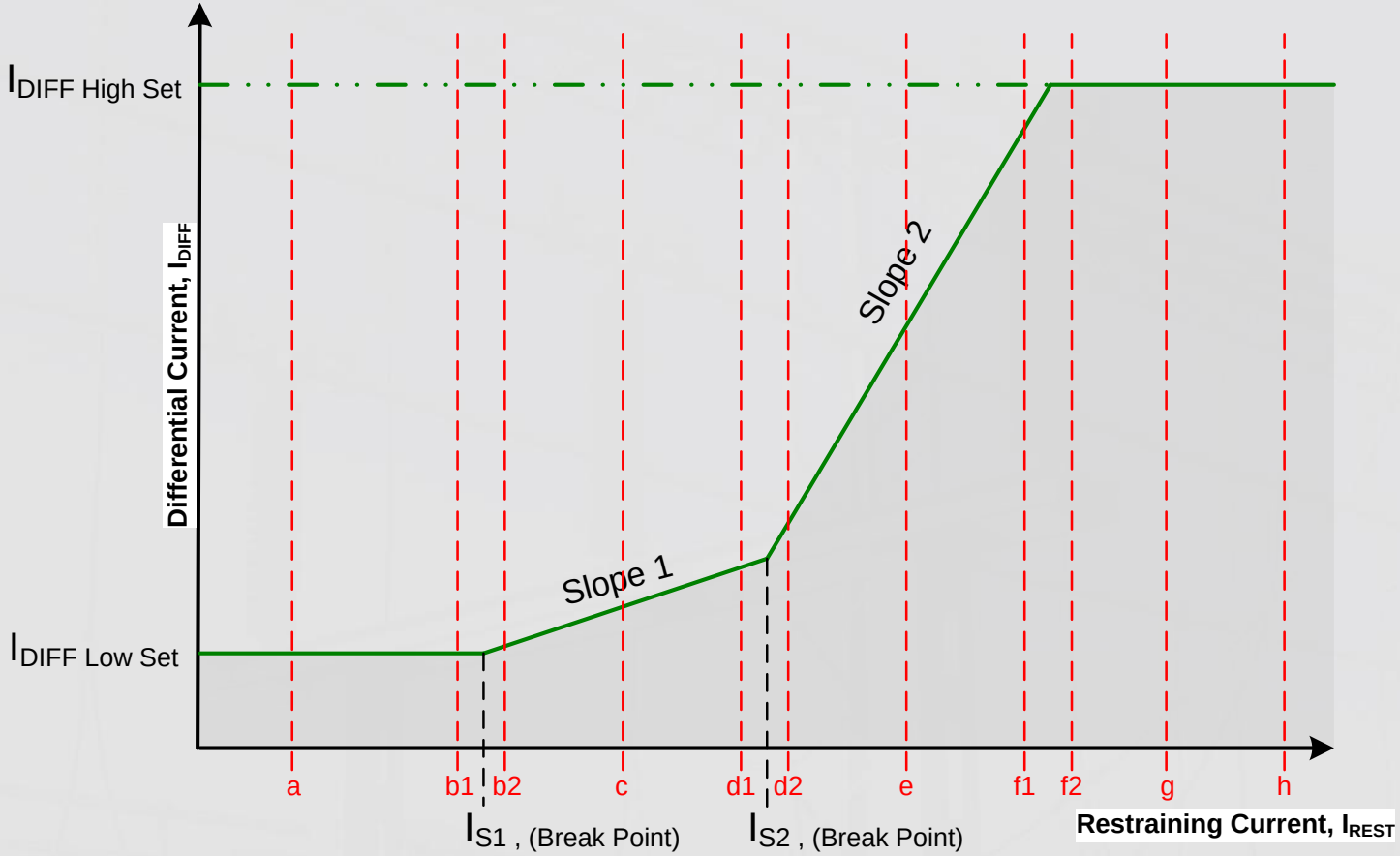
Differenciál védelem

Szabványos vizsgálatok

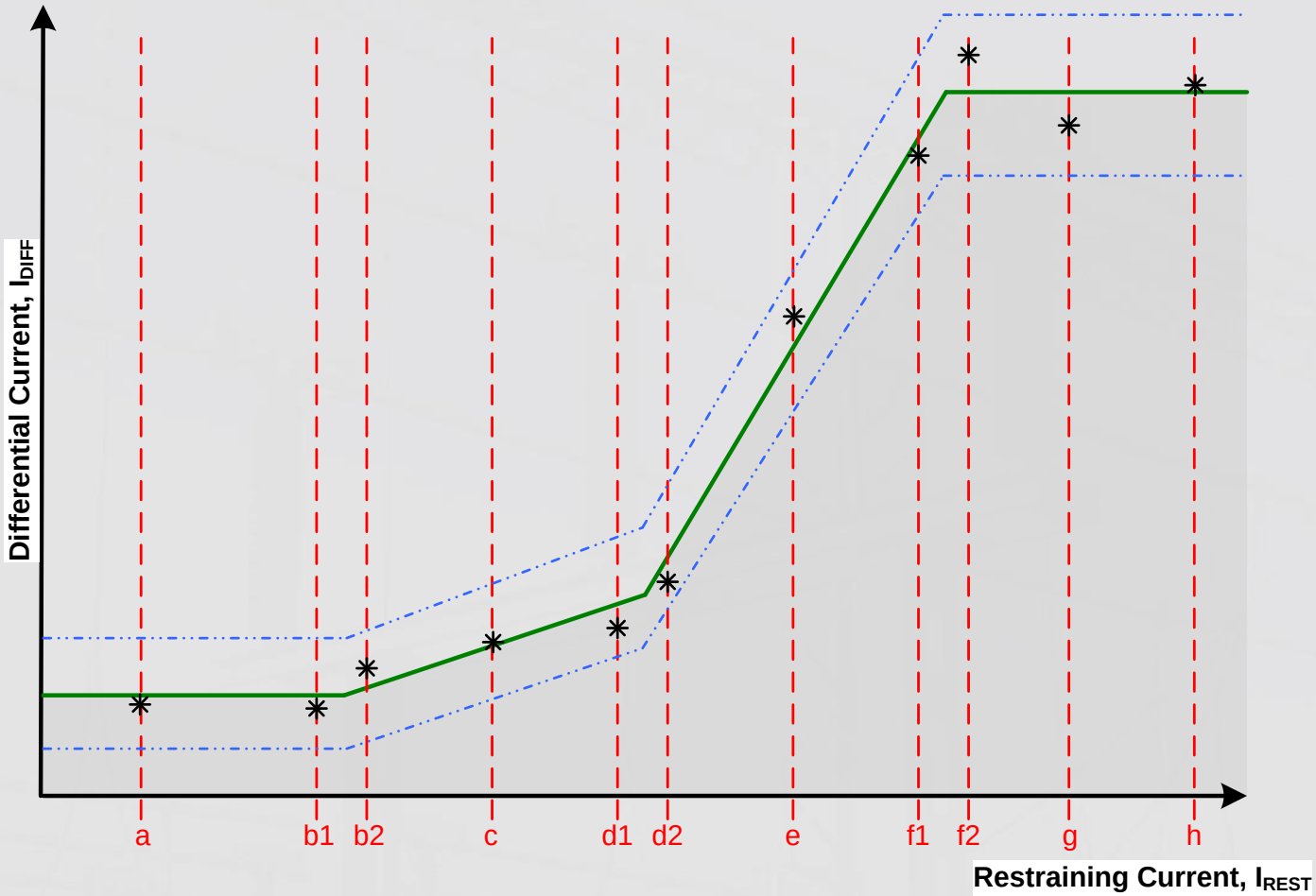
A karakterisztika pontossága/1



A karakterisztika pontossága/2

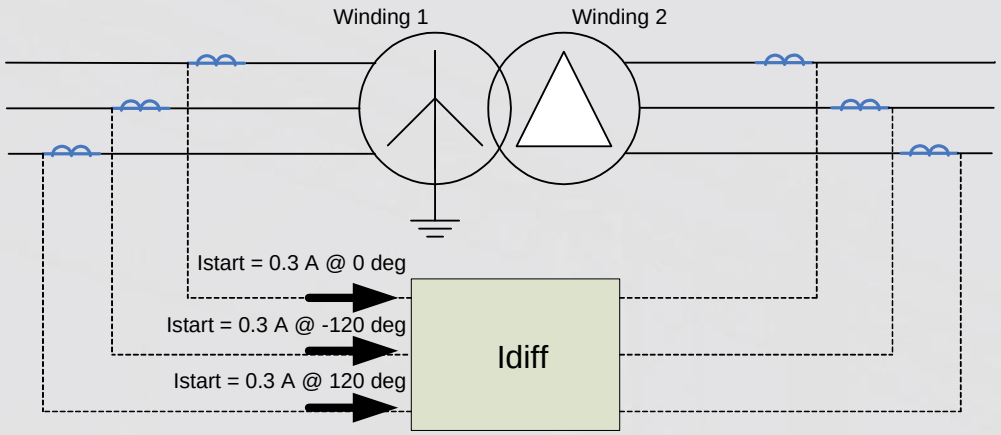


A karakterisztika pontossága/ példa



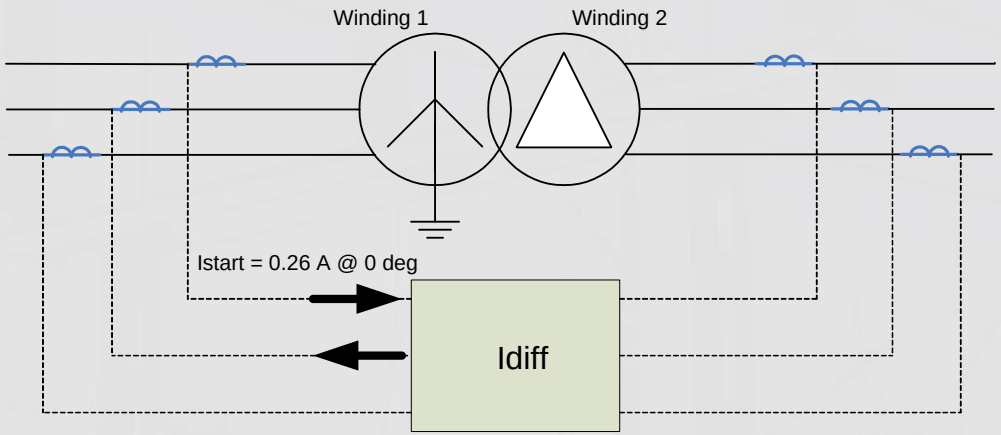
Alapérzékenység/2F

3F
0.3A



Three phase injection (L1, L2, L3) for Winding 1.
pick-up current = 0.30 A

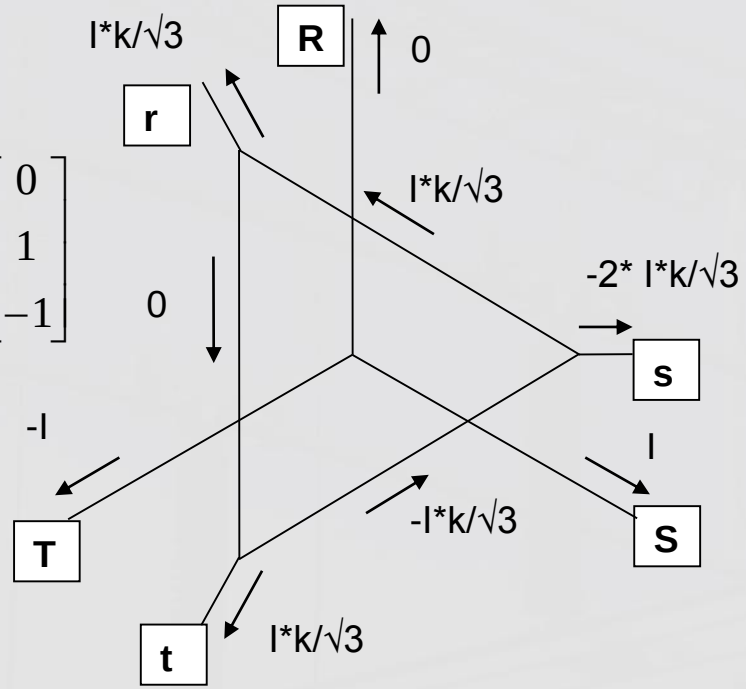
2F
0.26A



Double phase injection (L1, L2) for Winding 1.
pick-up current = 0.26 A

2F zárlat az Y oldalon, kompenzálás a d oldalra

$$\begin{bmatrix} I1Rinput \\ I1Sinput \\ I1Tinput \end{bmatrix} = I \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ -1 \end{bmatrix}$$



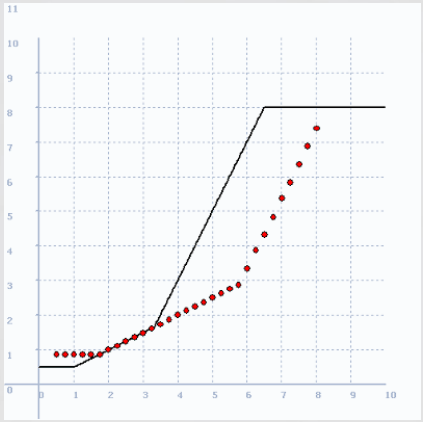
$$\begin{bmatrix} I2Rinput \\ I2Sinput \\ I2Tinput \end{bmatrix} = k * \frac{1}{\sqrt{3}} * I \begin{bmatrix} 1 \\ -2 \\ 1 \end{bmatrix}$$

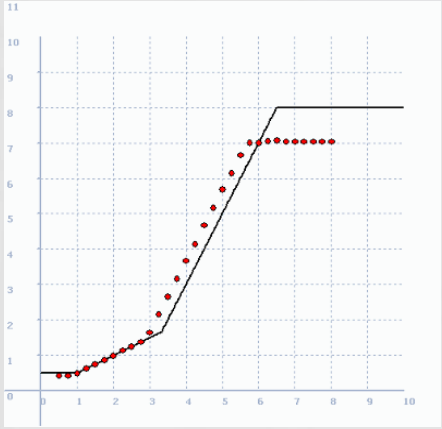
Kompenzálás a d oldalra

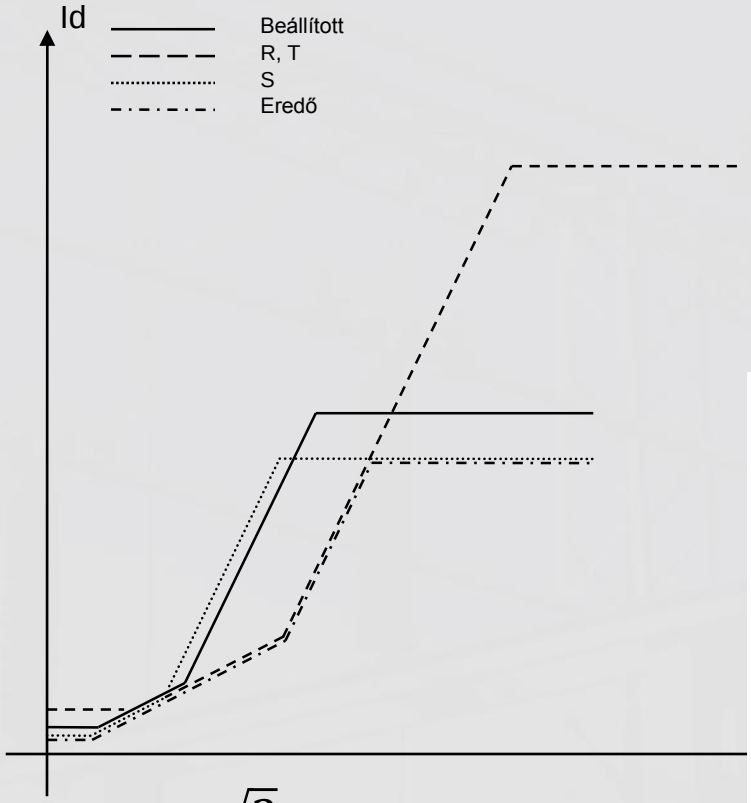
$$\begin{bmatrix} I1Rshift \\ I1Sshift \\ I1Tshift \end{bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{3}} \begin{bmatrix} 1 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & -1 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} I \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ -1 \end{bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{3}} I \begin{bmatrix} -1 \\ 2 \\ -1 \end{bmatrix}$$

R és T relé $I\frac{1}{\sqrt{3}}$ S relé $I\frac{2}{\sqrt{3}}$

2F zárlat az Y oldalon, kompenzálás a d oldalra

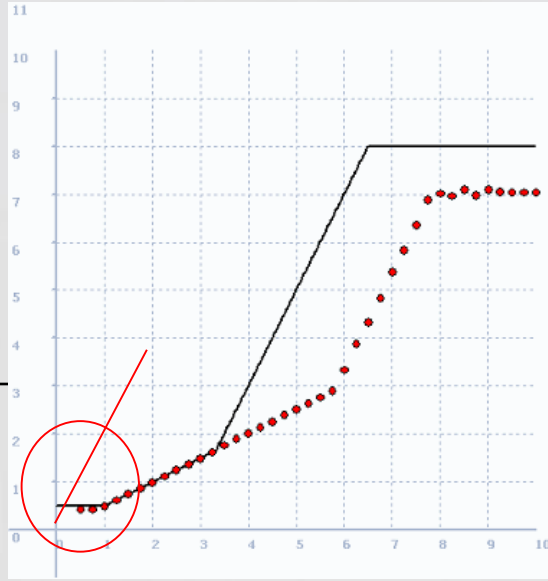






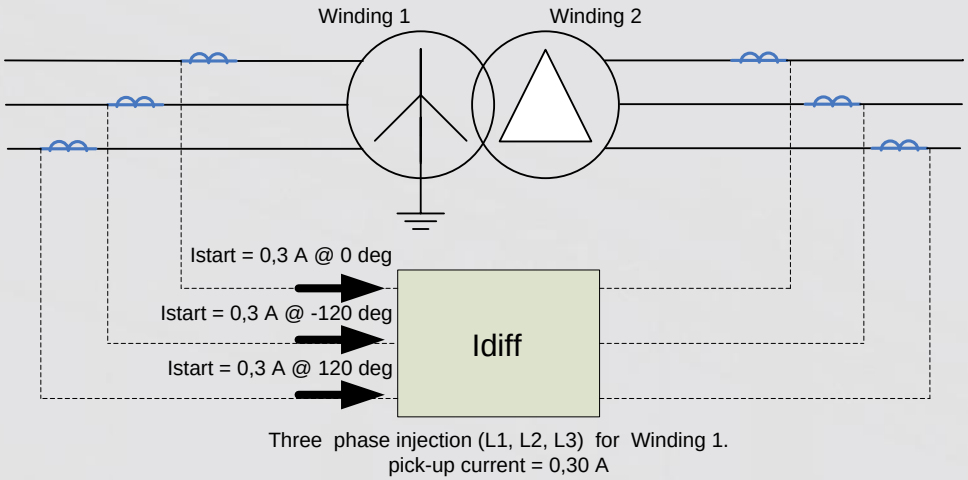
$$0.3 * \frac{\sqrt{3}}{2} = 0.2598$$

Érzékenyebb!

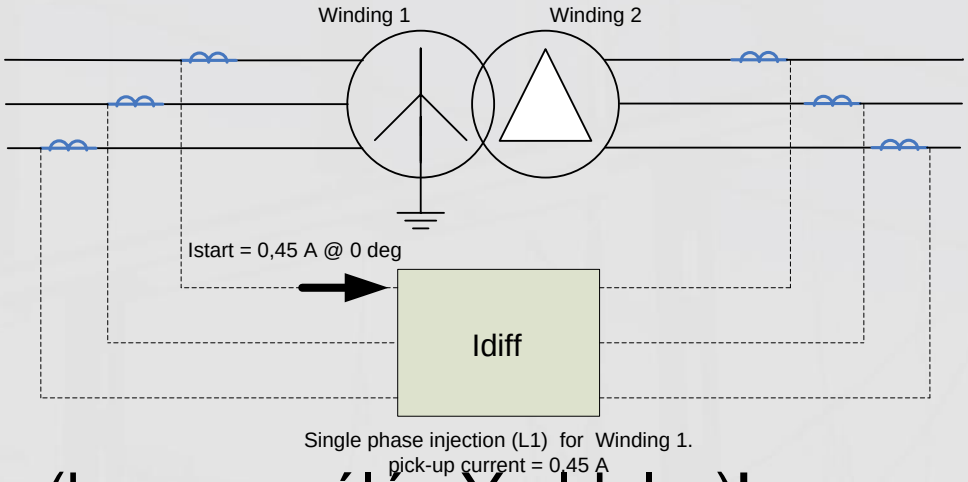


Alapérzékenység/1F

3F
0.3A

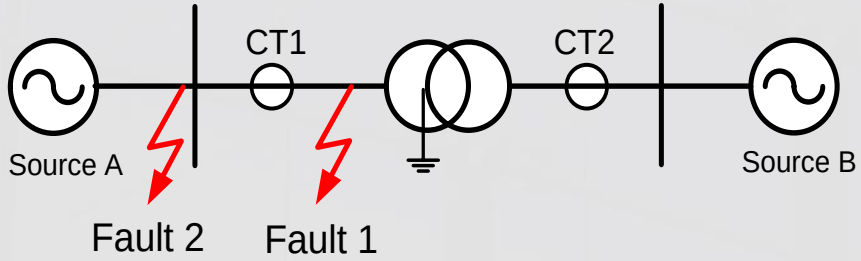


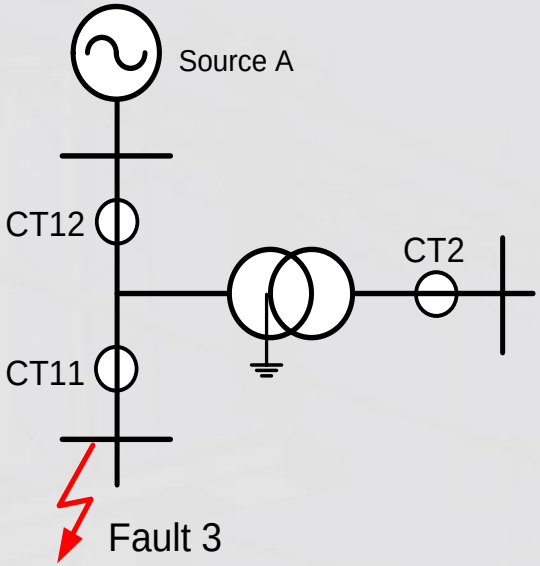
1F
0.45A



Kevésbé érzékeny (kompenzálás Y oldalra)!

Dinamikus vizsgálatok





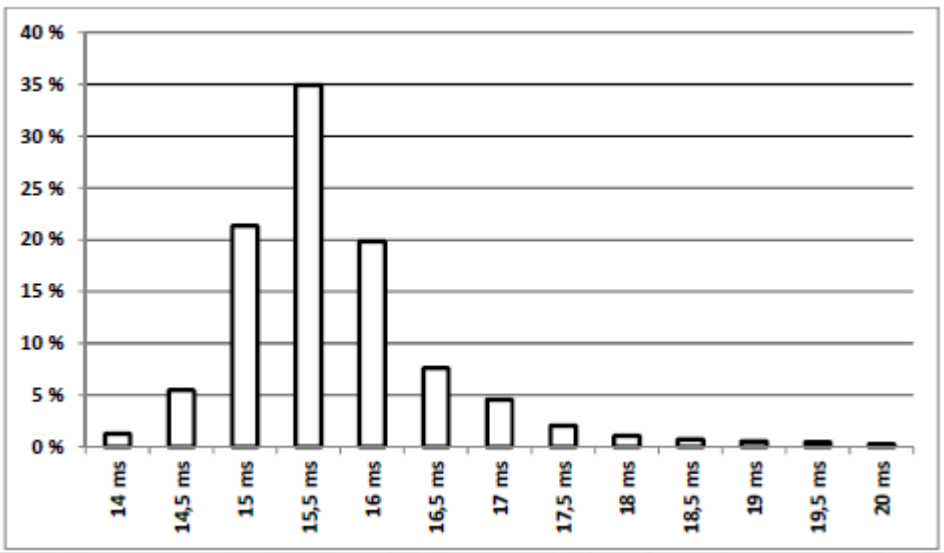
Cél:
Összehasonlításra alkalmas működési idő eredmények mérése „valós” körülmények között

Variálandó:

- Kapcsolási csoport
- Névleges frekvencia
- Áramváltó áttétel
- Zárlatfajta
- Zárlati áram nagysága
- Fázisszög (egyenáramú összetevő)

Eredmény:

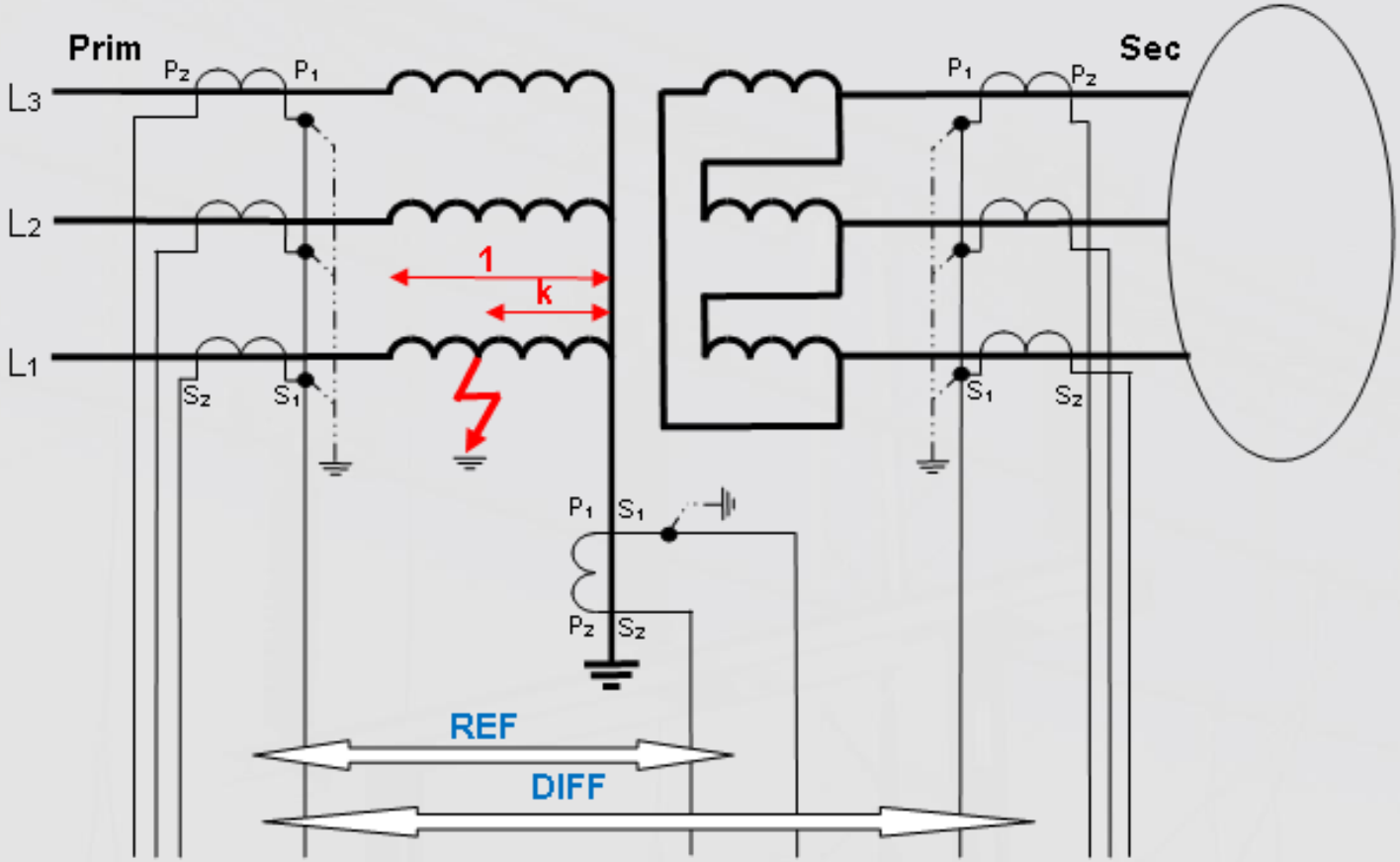
- Hisztogram
- Átlag
- Középérték
- Leggyakoribb érték



Zérus sorrendű differenciál védelem

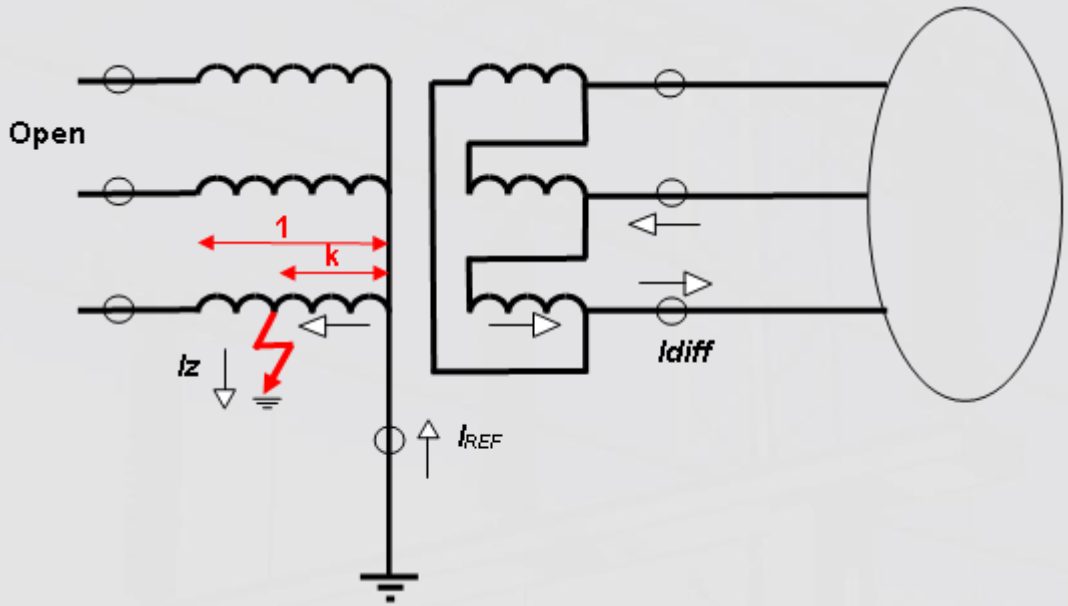
Restricted Earth-Fault protection
REF

Zérus sorrendű diff. védelem (REF)



Zérus sorrendű diff. védelem (REF)

Árameloszlás belső zárlatnál



Zérus sorrendű diff. védelem (REF)

REF

Az áramot a menetek „k” részében indukált feszültség okozza

$$I_{REF} = I_z = k * I_{max}$$

Az érzékelt áram „k” szerint lineáris

diff

Gerjesztési egyensúly:

$$n_2 * I_z = N_{delta} * I_{delta}$$

A résztvevő menetek az Y oldalon:

$$n_2 = k * N_Y$$

A tényleges áttétel a menetszámokkal:

$$a = \frac{N_y * \sqrt{3}}{N_{delta}}$$

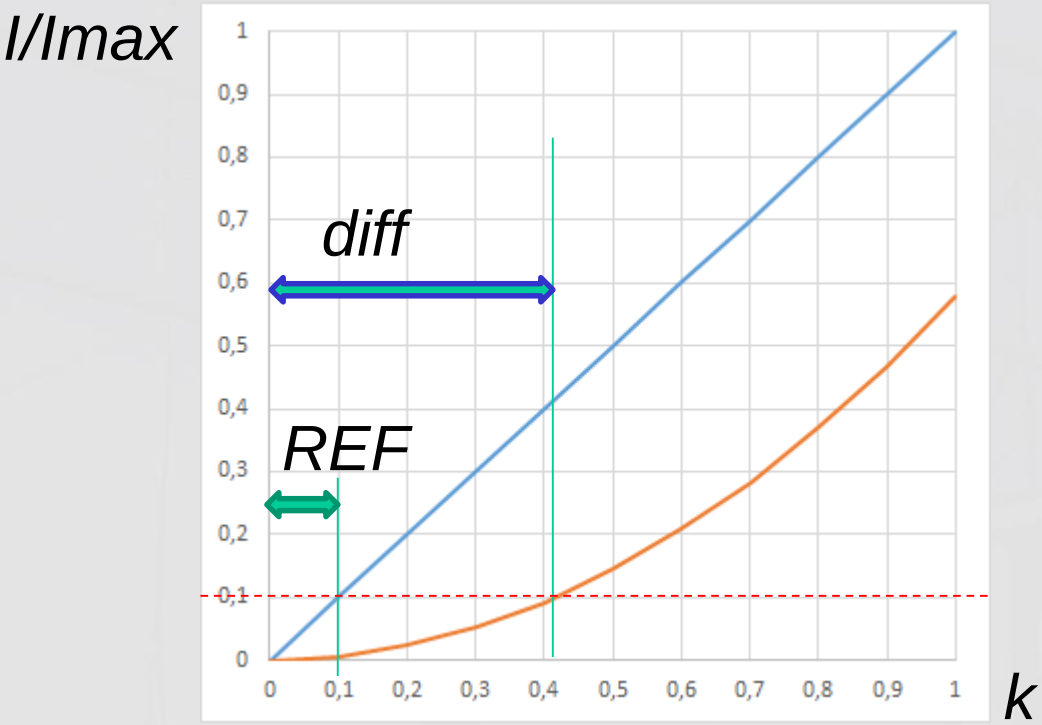
$$I_{diff} = I_{delta} = \frac{k * N_Y * k * I_{max}}{N_{delta}}$$

$$= \frac{k * N_Y * k * I_{max}}{\frac{N_Y * \sqrt{3}}{a}} = \frac{k^2}{\sqrt{3}} * a * I_{max}$$

Az érzékelt áram „k” szerint négyzetes

Zérus sorrendű diff. védelem (REF)

Érzékenység belső zárlatra



Hátrány: áram összegzés hibái
Kiegészítés: irányfeltétel

Nem érintett témák

- Mechanikus védelmek
  - Buchholz
  - Hőmérséklet mérés
  - Olajáramlás érzékelés
  - Hűtés/hőmérséklet szabályozás
- Olajállapot felügyelet
- Zaj-diagnosztika
- Részkisülések
- Irányítástechnika
- Üzembe helyezés, karbantartás, mérések
- Zárlati statisztikák
- …