

Partner



MAGYAR RÉZPIACI KÖZPONT

Az LPQI-VES társfinanszírozója



Education and Culture

Leonardo da Vinci

LPQI rész a:

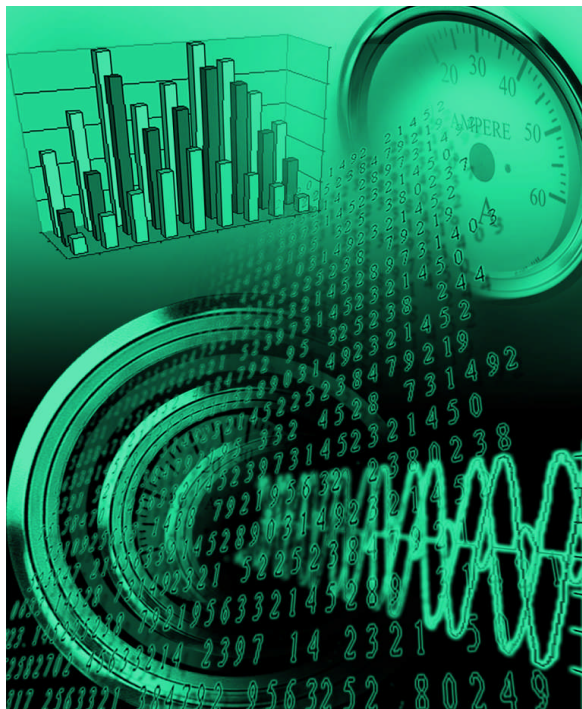
Leonardo
ENERGY

Harmonikusok

Definíciók, keletkezés, terjedés, forrás identifikáció, szűrés, teljesítmény, szabványok

Dr. Dán András

Az MTA doktora, BME VET
dan@vmt.bme.hu



LPQIVES tanfolyam
Harmonikusok és közbenső
harmonikusok
Budapest
2005. szeptember 08.

LPQI LEONARDO
POWER
QUALITY
INITIATIVE
ves

A kisfrekvenciás vezetett hálózati zavarok

Feszültség effektív értéke:

- Kiesés
- Letörés
- Emelkedés
- Aszimmetria (negatív sorrend)

Feszültség jelalak:

- Harmonikus
- Közbenső harmonikus
- Jelfeszültség

Feszültség effektív érték gyors változása:

- Villogás (flicker)



Vezetett zavar (MSZ EN 50160):

- "az elosztóhálózat vezetőin terjedő elektro-mágneses jelenség. Bizonyos esetekben az elektromágneses jelenség a transzformátor-tekerceken keresztül a különböző feszültségű hálózatok között is átterjed. Ezek a zavarok leronthatják egy eszköz, egy készülék vagy egy hálózat teljesítőképességét, vagy károsodást okozhatnak."



Harmonikus fogalmak

Periódikus időfüggvény

ω_1 az alapharmonikus körfrekvencia

$h \omega_1$ a harmonikus függvény
körfrekvenciája

$h < 1$: szubharmonikus

$h > 1$: felharmonikus

$h = 2, 3, 4, \dots$: harmonikus

$h \neq 2, 3, 4, \dots$: közbenső harmonikus



Harmonikusokat jellemző mennyiségek

Egyedi harmonikus torzulás:

- Feszültségre $D_U = U_h / U_1$
- Áramra $D_I = I_h / I_1$

Teljes harmonikus torzulás:

- Feszültségre

$$THD_U = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} U_h^2}}{U_1} 100 [\%]$$

- Áramra

$$THD_I = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}}{I_1} 100 [\%]$$



Fogyasztók csoportosítása

Lineáris

Nemlineáris

Állandó

Változó

(áramú, teljesítményű, impedanciájú)



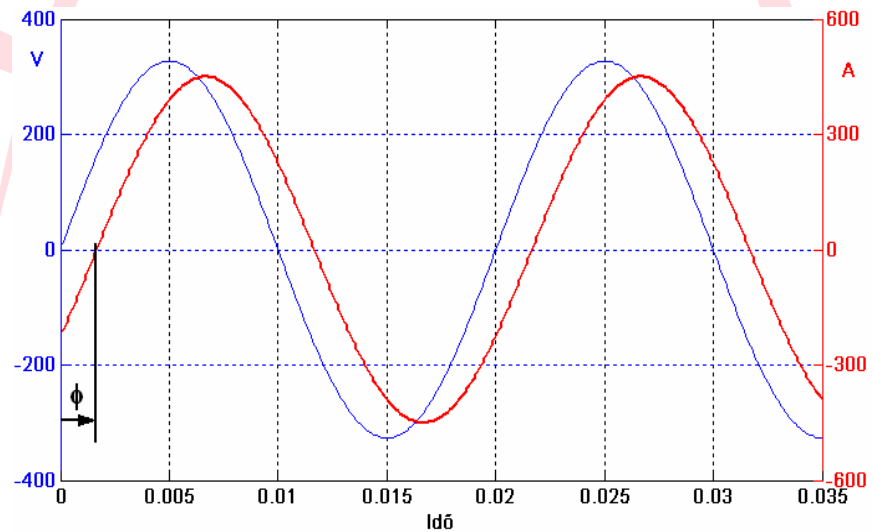
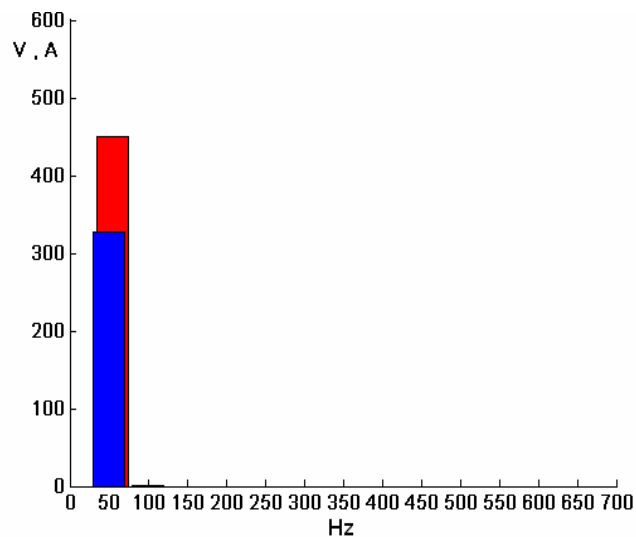
Lineáris fogyasztó

Tápfeszültség: $u(t) = U_m \sin \omega t$

Fogyasztó árama: $i(t) = I_m \sin(\omega t \pm \varphi)$

Ábrázolás időtartományban:

Frekvenciatartományban:



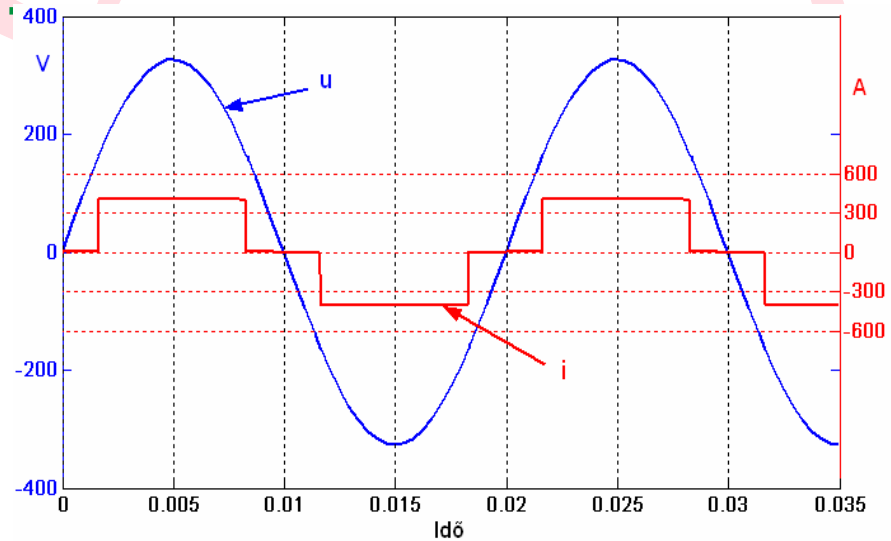
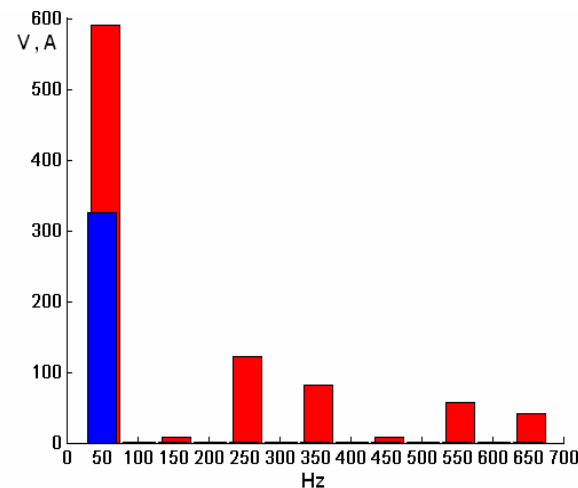
Nemlineáris fogyasztó

Tápfeszültség: $u(t) = U_m \sin \omega t$

Fogyasztó árama: $i(t) = I_m \sin(\omega t \pm \varphi) + \sum I_{hm} \sin(h\omega t \pm \varphi_h)$

Ábrázolás időtartományban:

Frekvenciatartományban:

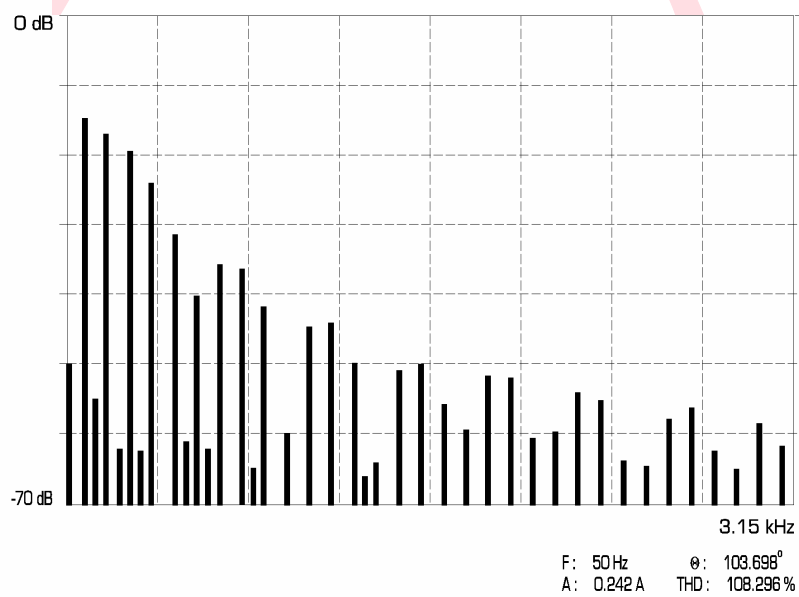
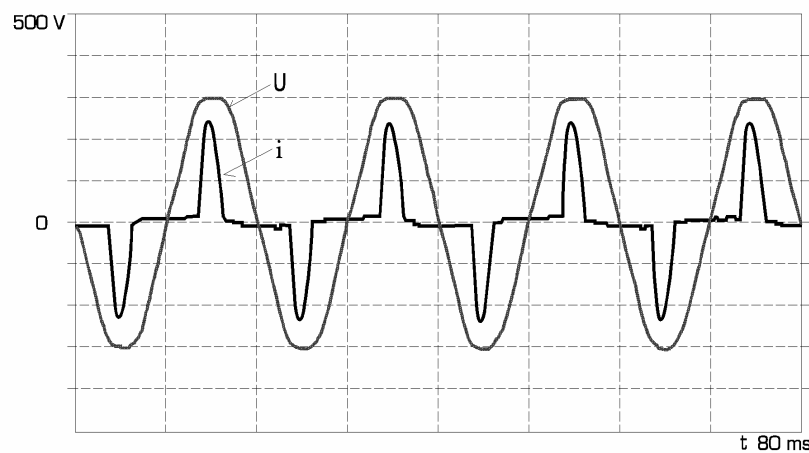
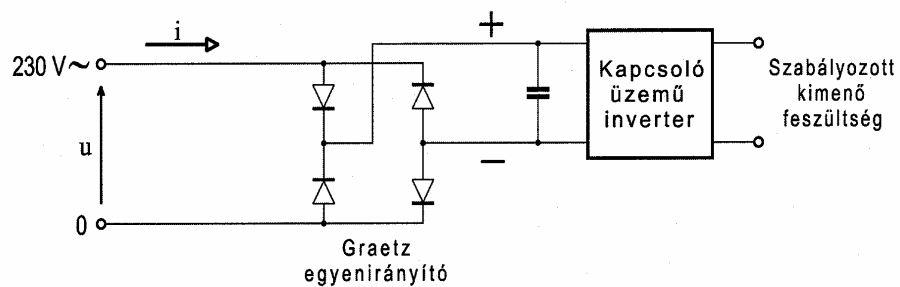


Néhány példa a kisfeszültségű nemlineáris fogyasztókra:

- **Időben állandó:** telítődő vasmagot tartalmazó fogyasztók, információ technológiai berendezések, kompakt fénycső elektronikus előtéttel.
- **Lassan változó:** fényerőszabályozós lámpák, fénymásolók, tirisztorral szabályozott berendezések, információ technológiai berendezések, mikrohullámú sütő.
- **Gyorsan változó:** fordulatszám szabályozott villamos hajtások, impulzusszélesség modulált inverteres hajtások: a terhelési ciklustól függ a besorolás, hegesztőberendezések.

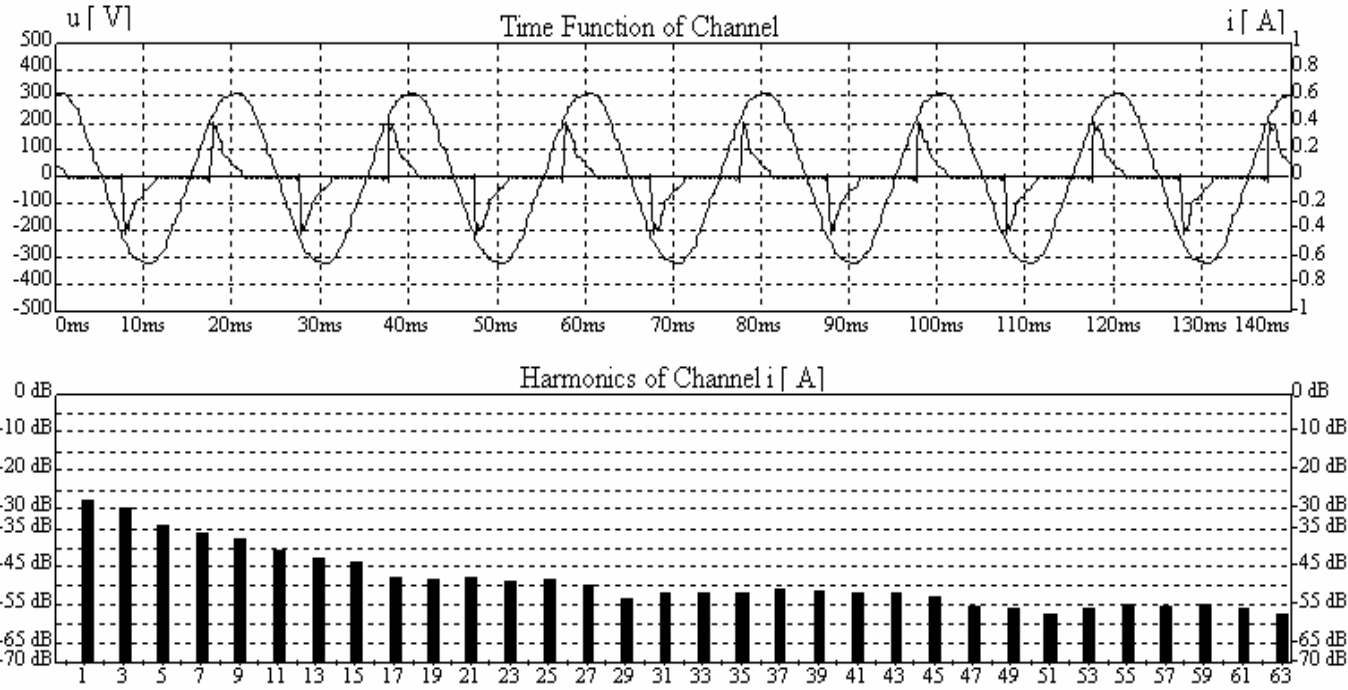


Példák nemlineáris fogyasztókra



Példák nemlineáris fogyasztókra

20W



$$I(1) = 0.091 \text{ A} \quad \varphi(I(1)) = 25.2^\circ \quad I(\text{eff}) = 0.133 \text{ A}$$

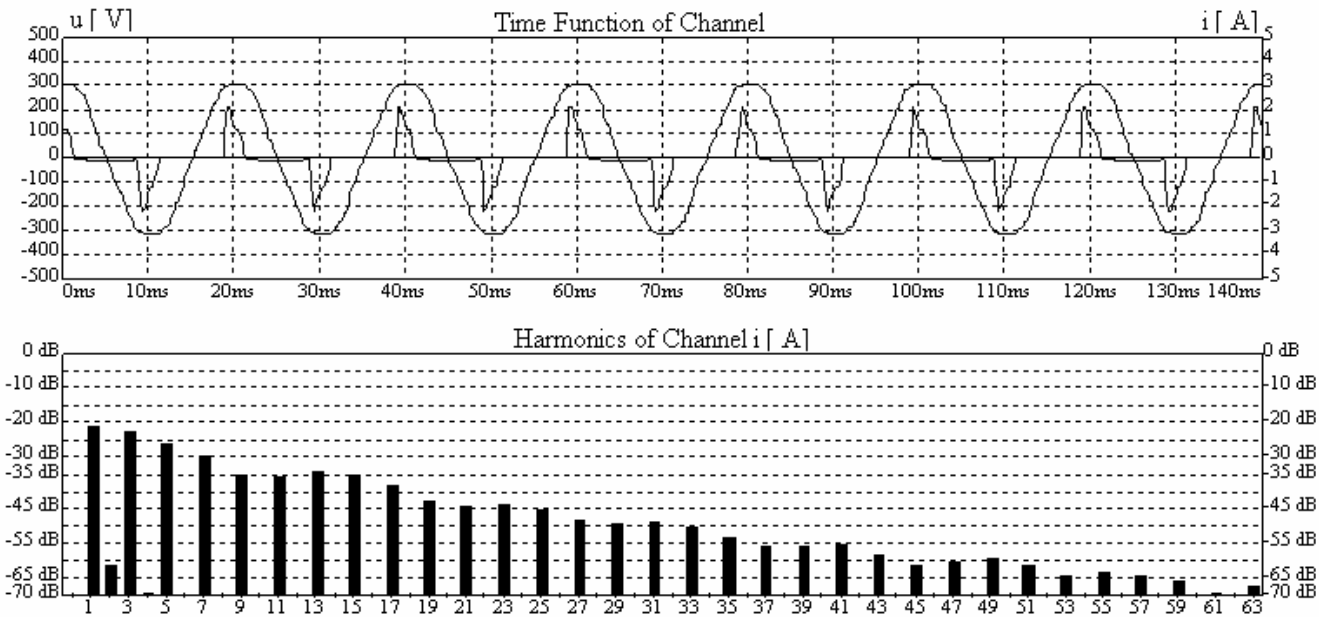
$$I(3) = 0.067 \text{ A} \quad \varphi(I(3)) = 79.8^\circ \quad \text{THD}(I) = 0.097 \text{ A}$$

$$I(5) = 0.040 \text{ A} \quad \varphi(I(5)) = 152.6^\circ$$



Példák nemlineáris fogyasztókra

Számítógép U(t), I(t) és áram spektrum



$$I(1) = 0.45 \text{ A} \quad \varphi(I(1)) = 14.4^\circ \quad I(\text{eff}) = 0.69 \text{ A}$$

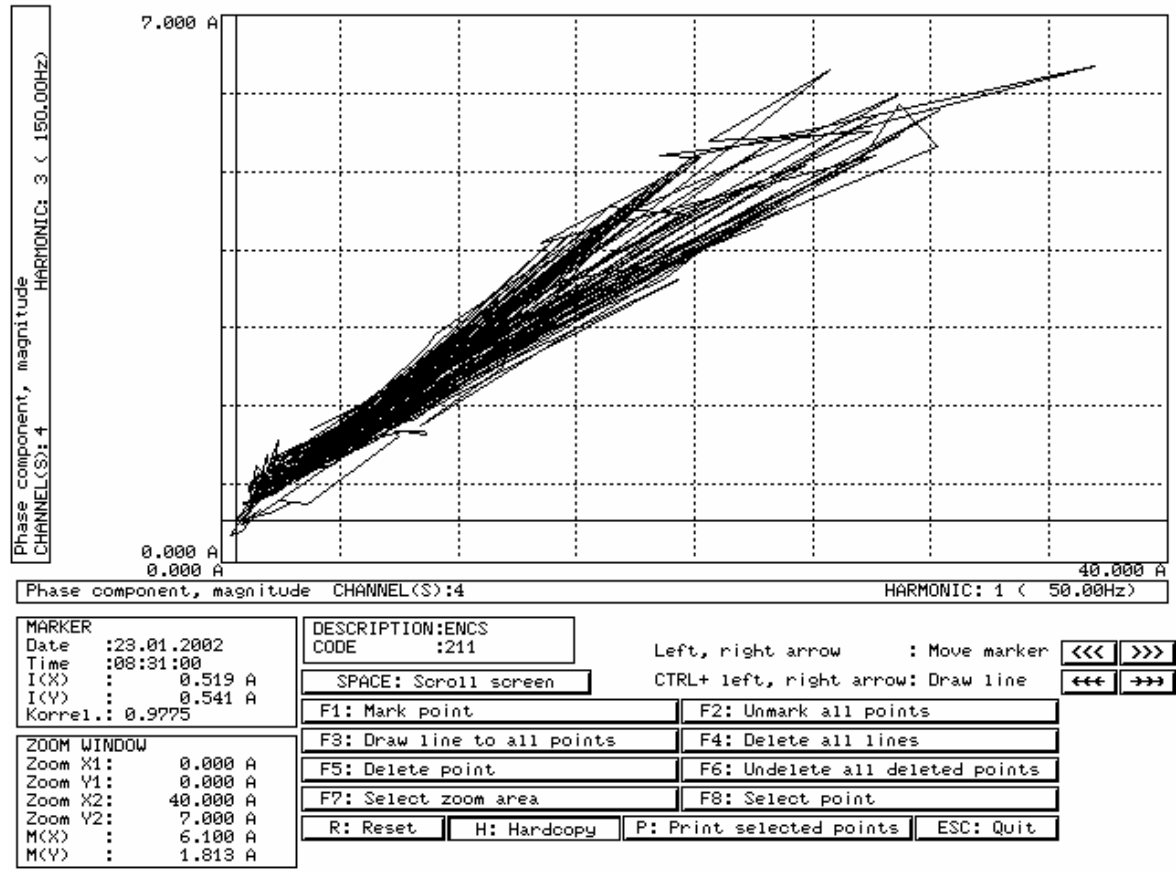
$$I(3) = 0.38 \text{ A} \quad \varphi(I(3)) = 20.4^\circ \quad \text{THD}(I) = 0.53 \text{ A}$$

$$I(5) = 0.27 \text{ A} \quad \varphi(I(5)) = 35.6^\circ$$



Példák nemlineáris fogyasztókra

MÁV alállomás 120 kV-os hálózati árama: $I_3 = f(I_1)$



Ki miért, milyen mértékben felelős?

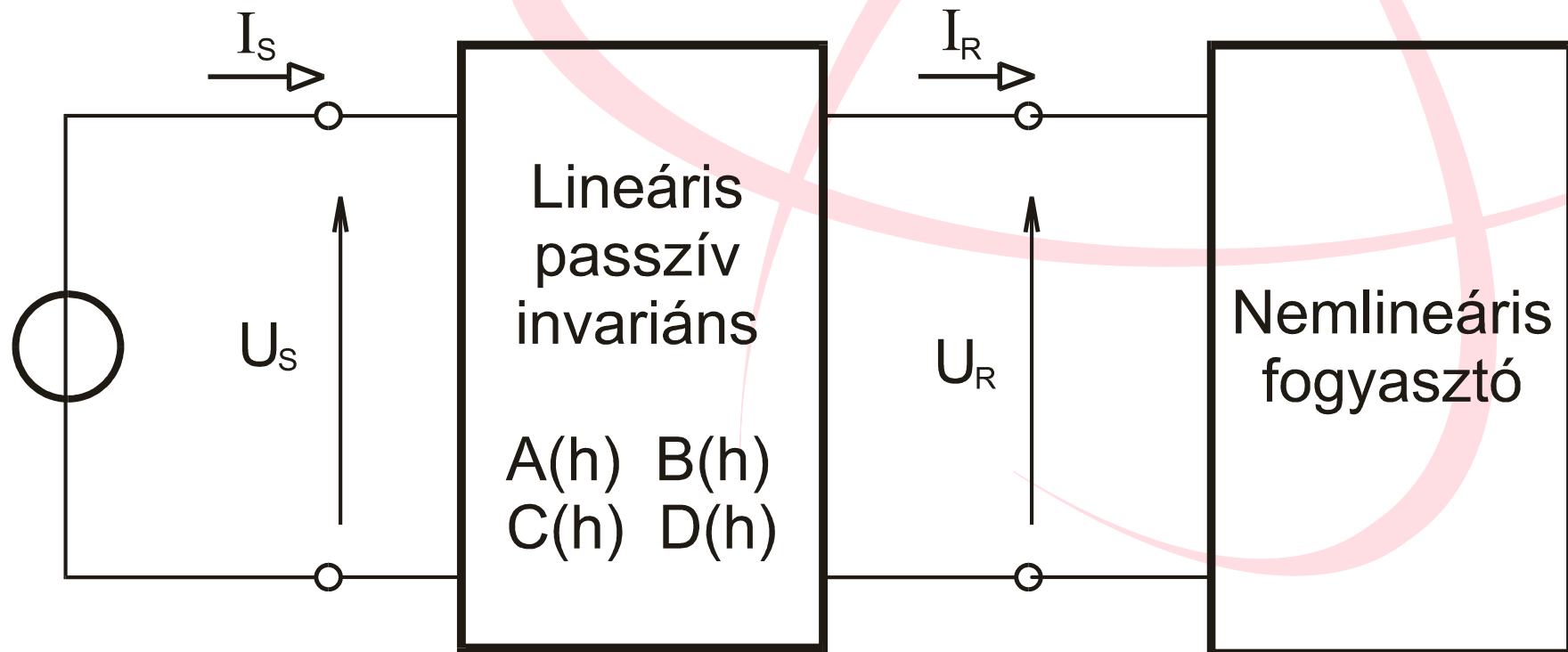
- Termelés?

- Hálózat?

- Fogasztó?



Harmonikus torzulás keletkezése



Harmonikus torzulás keletkezése

$$U_S(h) = A(h)U_R(h) + B(h)I_R(h)$$

$$I_S(h) = C(h)U_R(h) + D(h)I_R(h)$$

$$A(h) = ch\gamma(h)l$$

$$B(h) = Z_0(h)sh\gamma(h)l$$

$$C(h) = \frac{1}{Z_0(h)}sh\gamma(h)l$$

$$D(h) = ch\gamma(h)l$$

$$U_R(h) = \frac{1}{A(h)}U_S(h) - \frac{B(h)}{A(h)}I_R(h)$$



Harmonikus torzulás keletkezése

$$u_R(\omega t) = u_R(\omega t \pm 2\pi)$$

$$u_R(\omega t) = \frac{U_R(0)}{2} + \sum_{h=1}^{\infty} \operatorname{Re} \left[\hat{U}_R(h) e^{j\varphi(h)} e^{jh\omega t} \right]$$

$$\hat{U}_R(h) = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} u_R(\omega t) e^{-jh\omega t} d\omega t$$



Harmonikus torzulás keletkezése

$$i_R(\omega t) = g[u_R(\omega t)] \quad \text{periodikusáram}$$

$$i_R(\omega t) = i_R(\omega t \pm 2\pi)$$

$$i_R(\omega t) = \frac{I_R(0)}{2} + \sum_{h=1}^{\infty} \text{Re}[\hat{I}_R(h)e^{jh\omega t}]$$

$$\hat{I}_R(h) = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} i_R(\omega t) e^{-jh\omega t} d\omega t$$



Harmonikus torzulás keletkezése

$$\hat{I}_R(h) = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} g[u_R(\omega t)] e^{-jh\omega t} d\omega t$$

$$\hat{I}_R(h) = f_{h,n} [\hat{U}_R(n)]$$

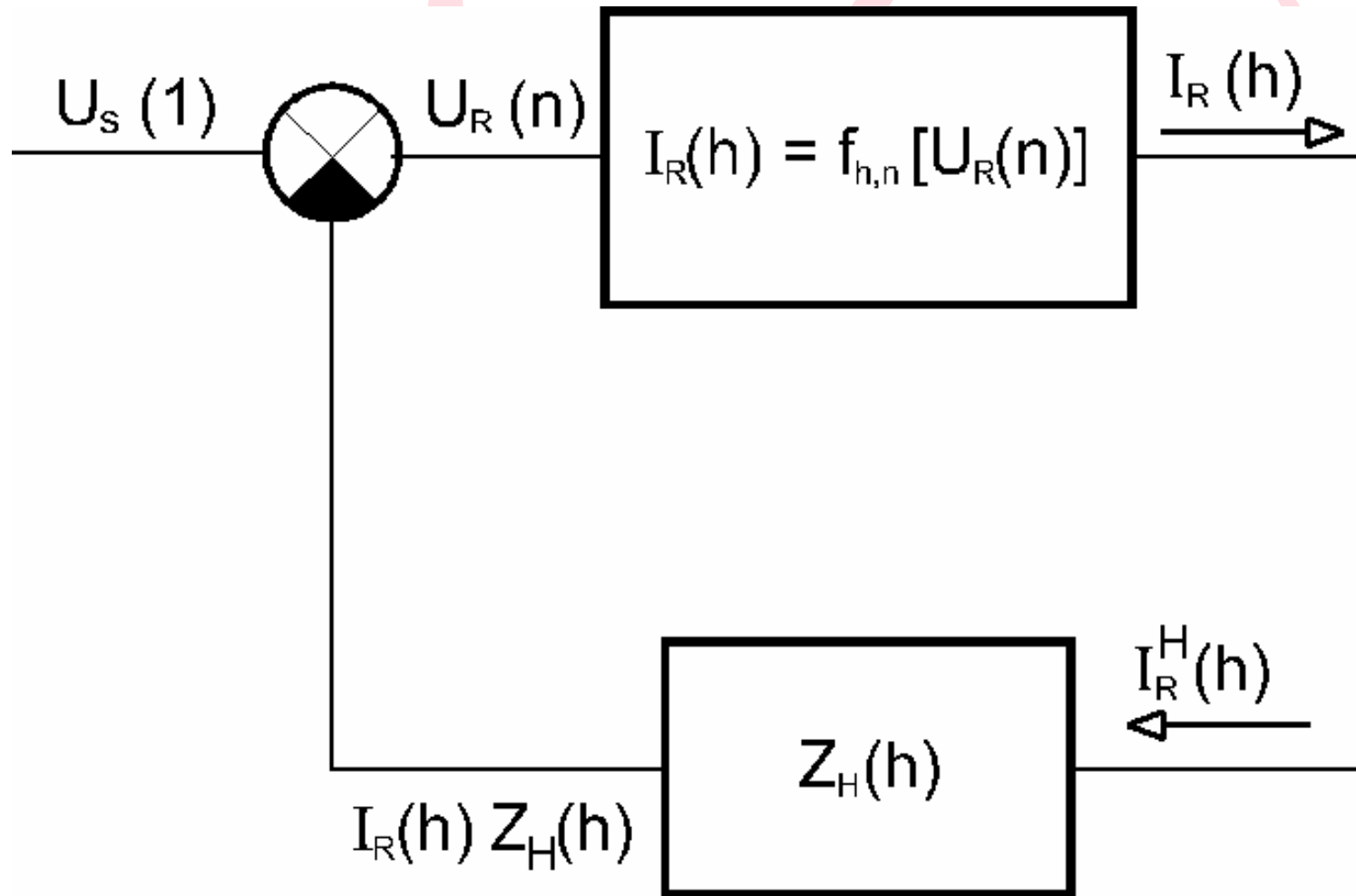
$$f_{5,0} [U_R(0)] + f_{5,1} [U_R(1)] + f_{5,2} [U_R(2)]$$

$$I_R(1) = g_R [U_R(1)]$$

$$I'_R(h) = f_{h,1} [g_R^{-1} [I_R(1)]],$$

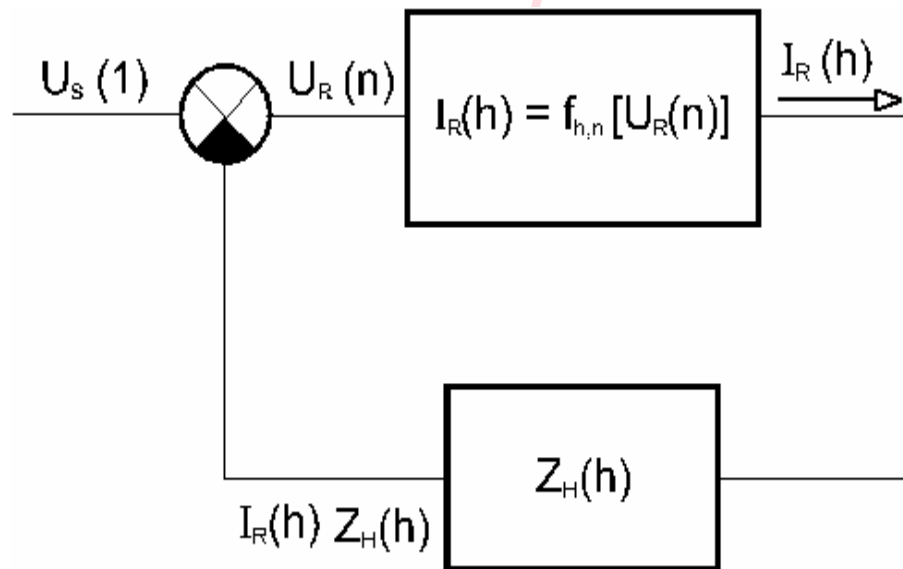
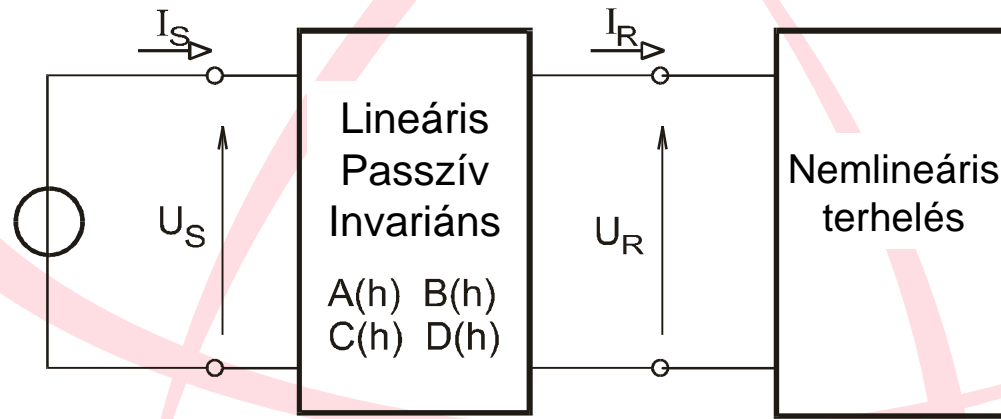


Harmonikus torzulás keletkezése

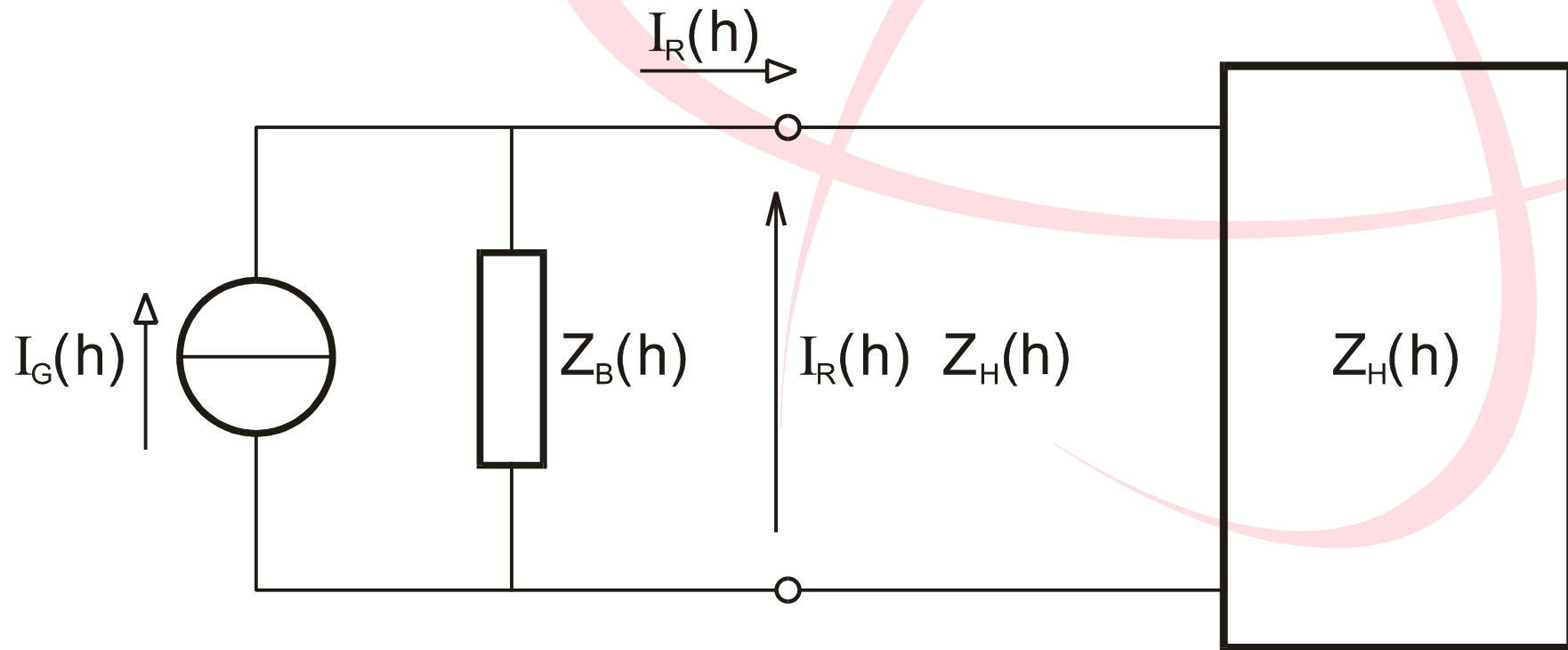


Harmonikus feszültség keletkezése

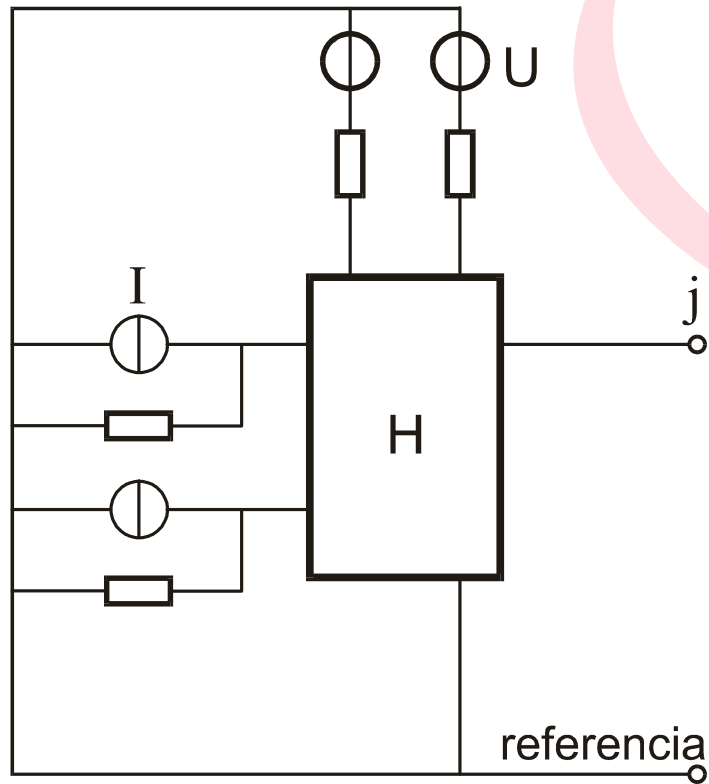
Harmonikus áram
↓
harmonikus feszültségtorzulás



Harmonikus feszültség keletkezése

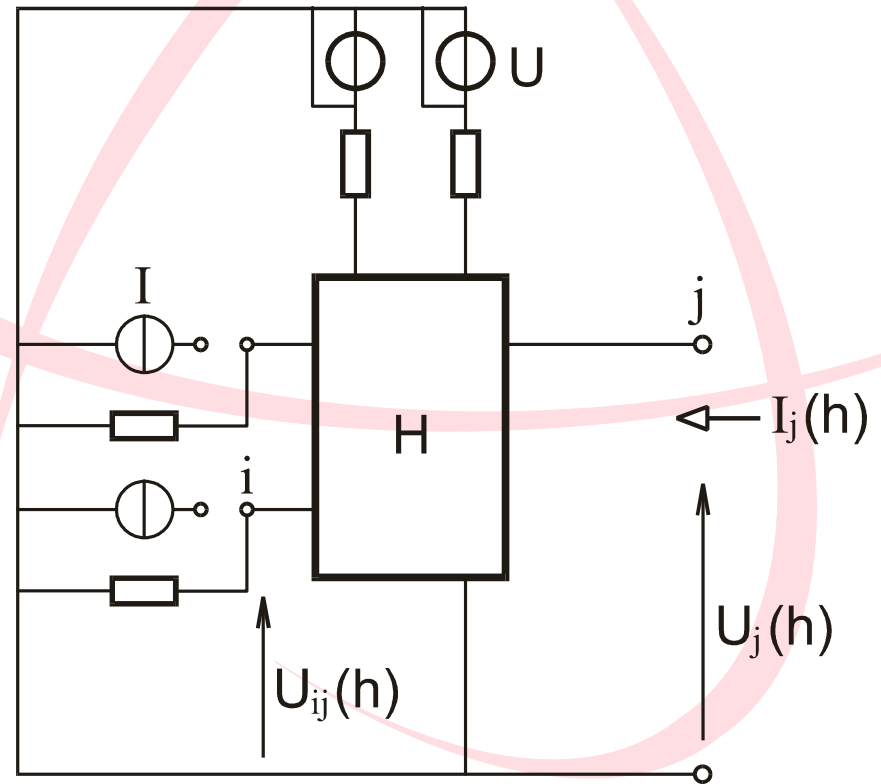


Harmonikus mérésponthi és transzfer impedancia



aktív hálózat

a)



deaktívizált hálózat

b)



Harmonikus mérésponi és transzfer impedancia

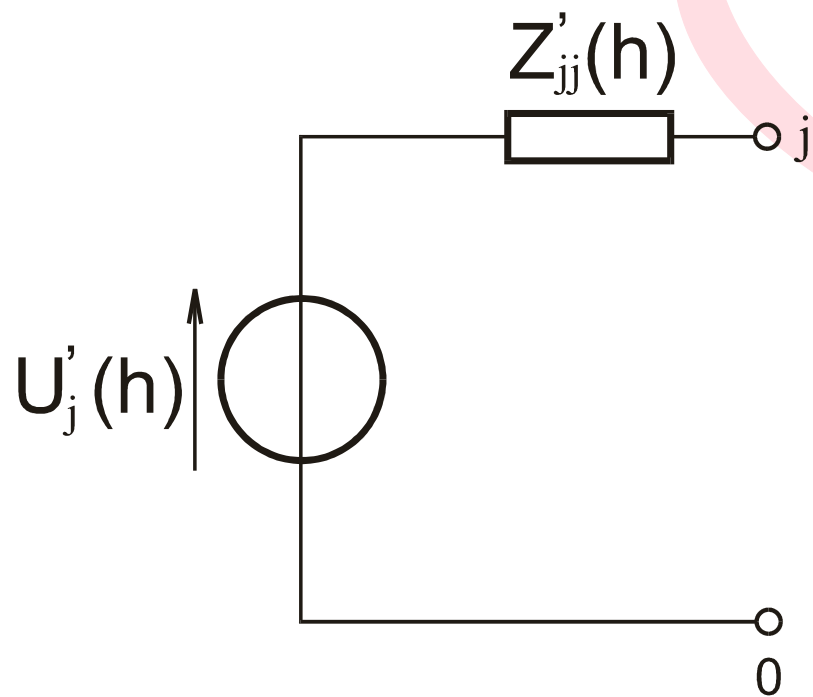
$$Z_{jj}(h) = \frac{U_j(h)}{I_j(h)}$$

$$Z_{ij}(h) = \frac{U_{ij}(h)}{I_j(h)}$$

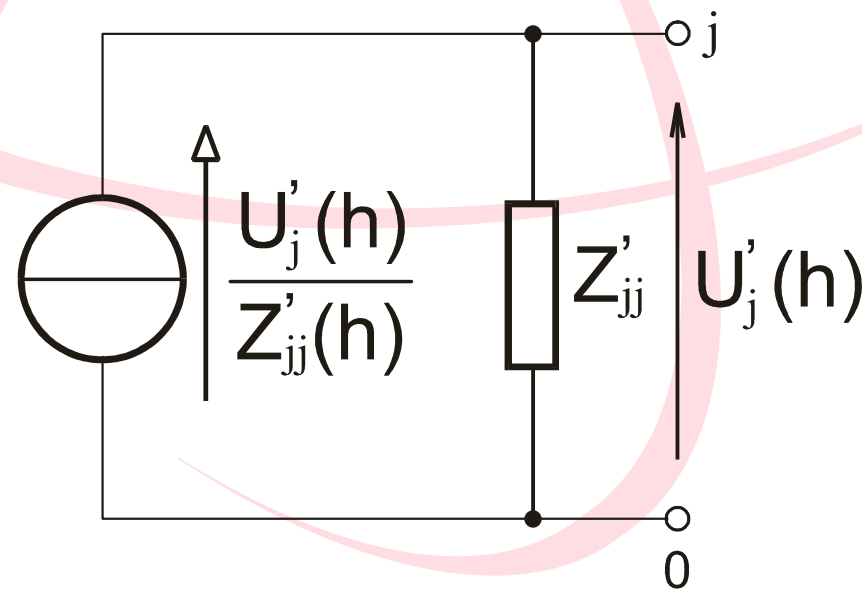
$$U_j(h) = I_1(h)Z_{1j}(h) + I_2(h)Z_{2j}(h) + \dots + I_i(h)Z_{ij}(h) -$$



Nemlineáris fogyasztó helyettesítése



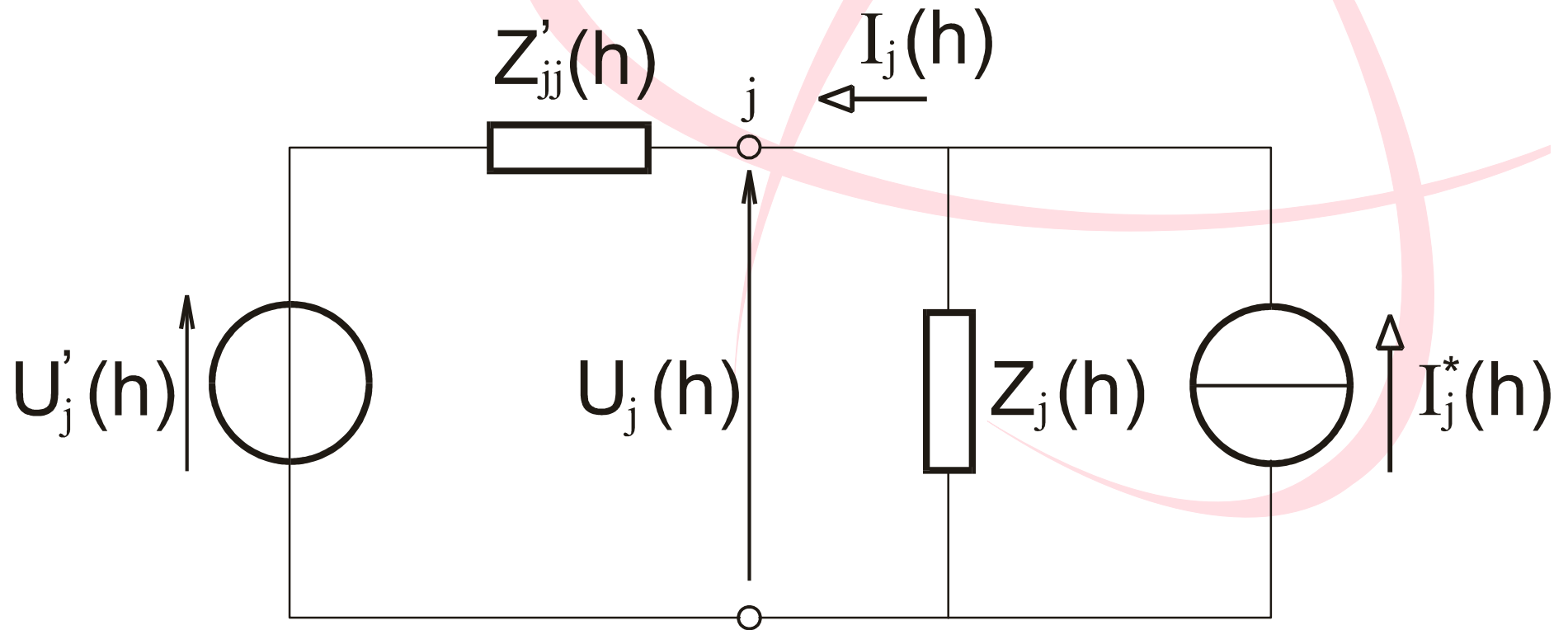
a)



b)



Új nemlineáris fogyasztó csatlakozása



Új nemlineáris fogyasztó csatlakozása

$$U_j(h) = U'_j(h) \frac{Z_j(h)}{Z_j(h) + Z'_{jj}(h)} + I_j^*(h) \frac{Z'_{jj}(h)Z_j(h)}{Z'_{jj}(h) + Z_j(h)}$$

$$U_j(h) \approx U'_j(h) + I_j(h)Z'_{jj}$$

$$|Z_j(h)| \gg |Z'_{jj}(h)|$$



Általános eset

- Csomóponti admittancia mátrix

$$\underline{\underline{Y}}_c(h)$$

$$\underline{\underline{Z}}_c(h) = \underline{\underline{Y}}_c^{-1}(h)$$

$$\underline{U}_c(h) = \underline{\underline{Z}}_c(h) \underline{I}_c(h)$$

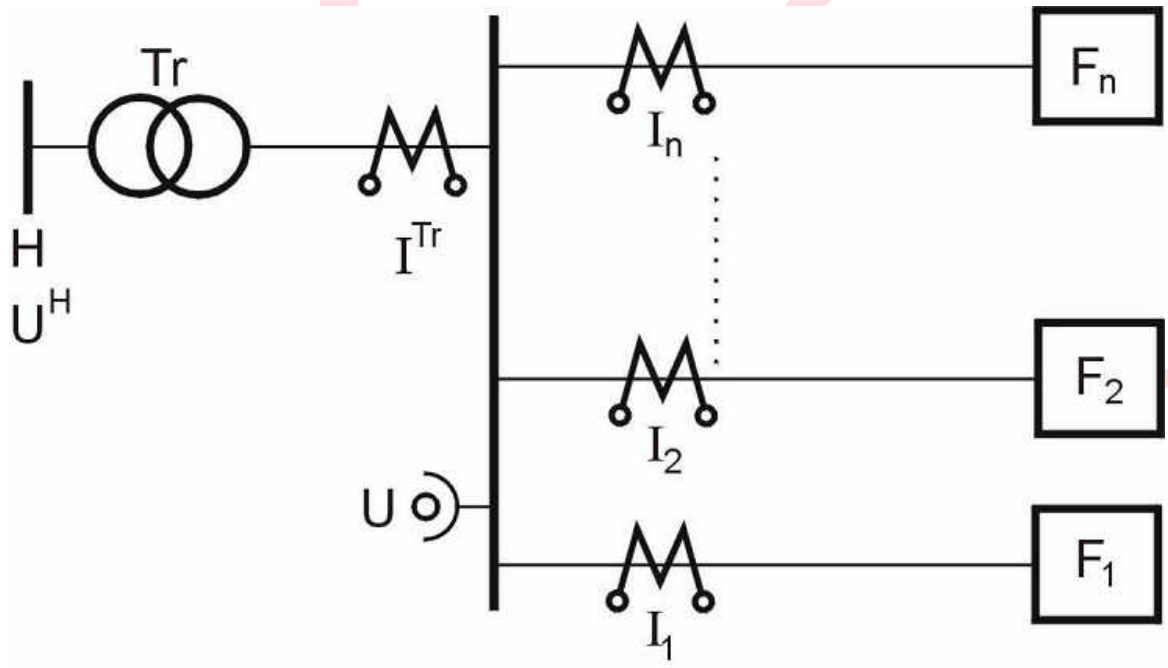


Harmonikus forrás azonosítás

“Monoparaméter változások” módszere



Gyűjtősín feszültségtorzulása

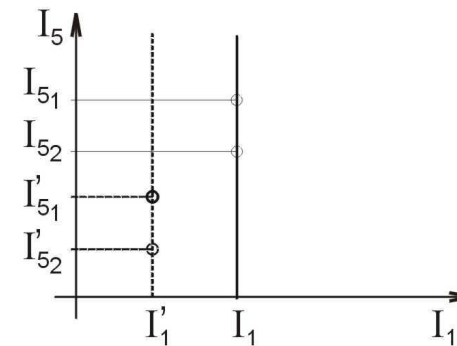
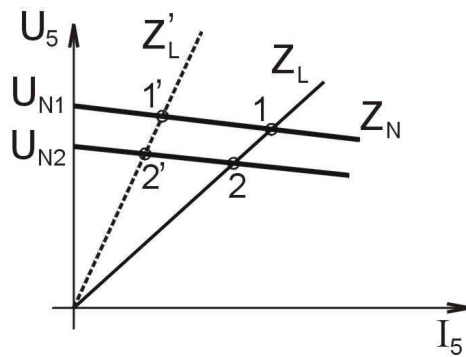
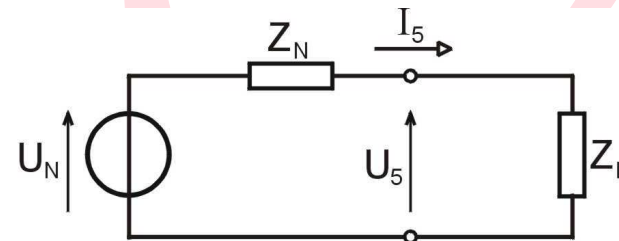


$$U_h = f (U_h^1, U_h^2, \dots, U_h^n, U_h^H)$$



Elvi alapok 1

Lineáris terhelés

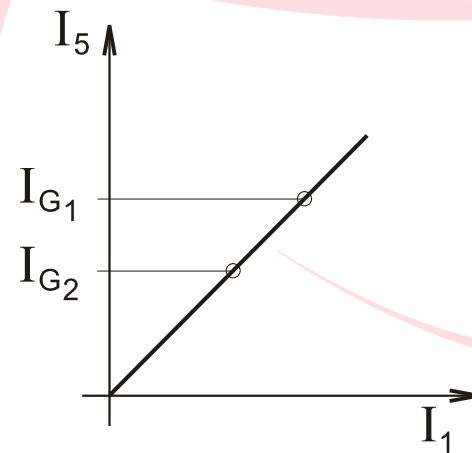
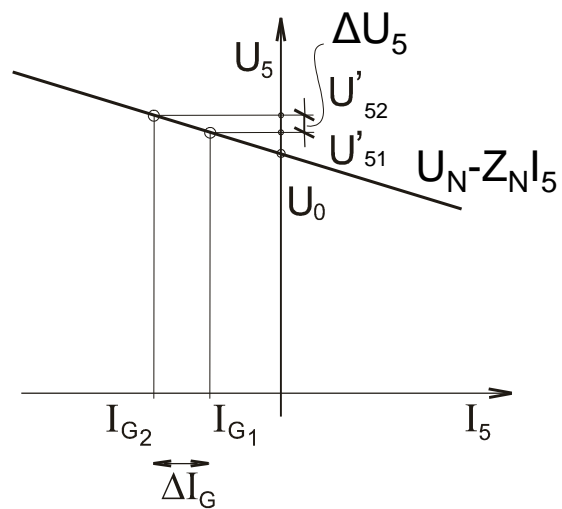
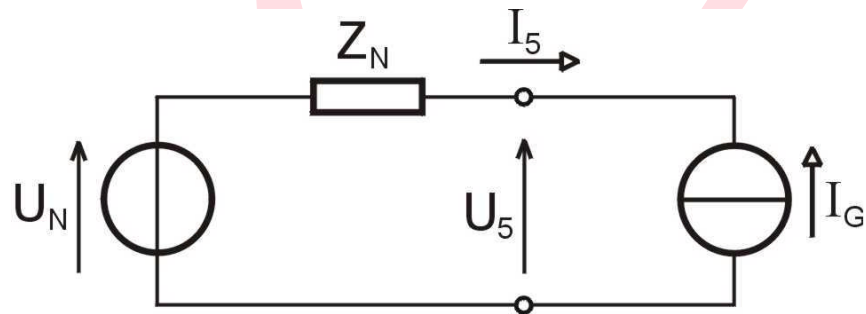


$$U_N - I_5 Z_N = U_5 = I_5 Z_L$$



Elvi alapok 2

Nemlineáris, változó áramú terhelés

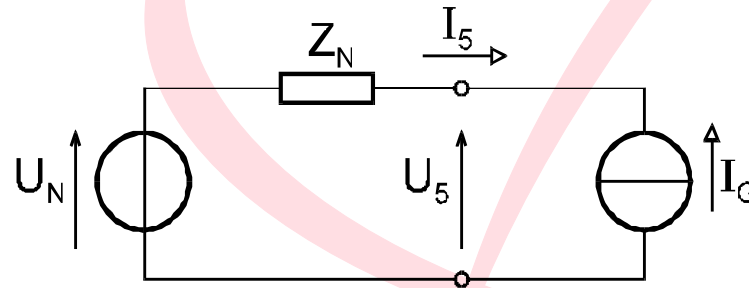


$$U_5 = U_N - I_5 Z_N = U_N + I_G Z_N$$

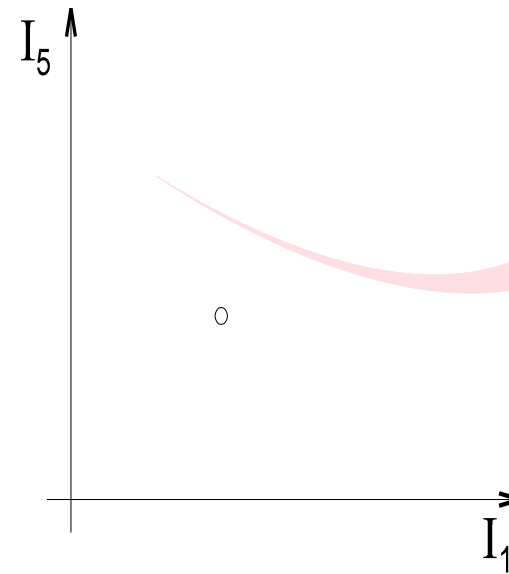
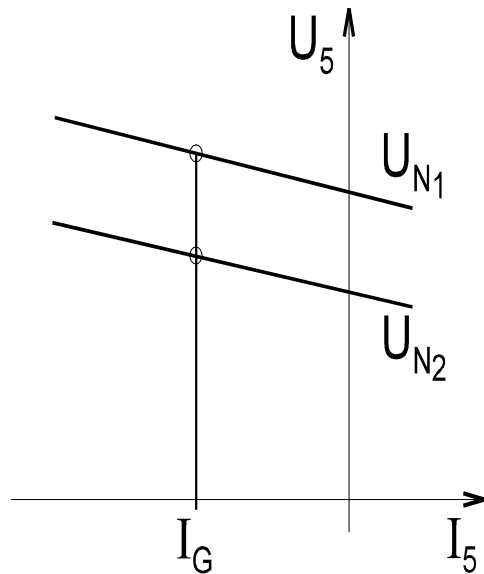


Elvi alapok 3

Nemlineáris terhelés, változó U_N

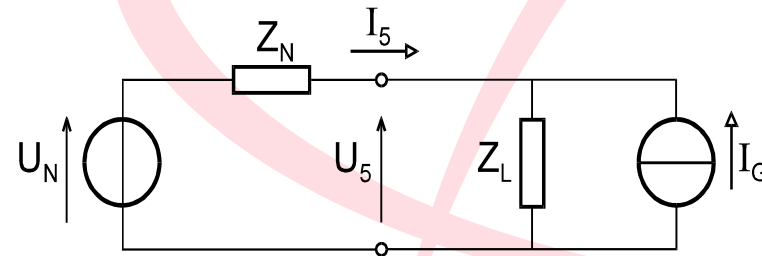


$$U_5 = U_N - I_5 Z_N = U_N + I_G Z_N$$

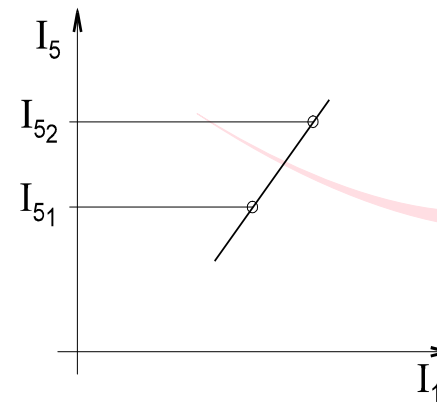
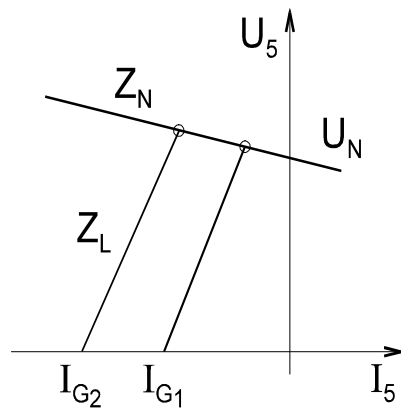


Elvi alapok 4

Vegyes terhelés, változó I_G

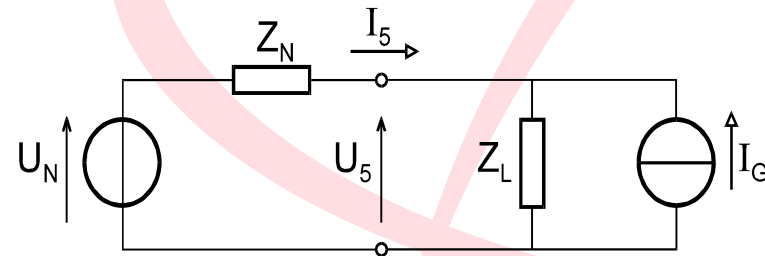


$$U_5 = U_N - I_5 Z_N = (I_5 + I_G) Z_L$$



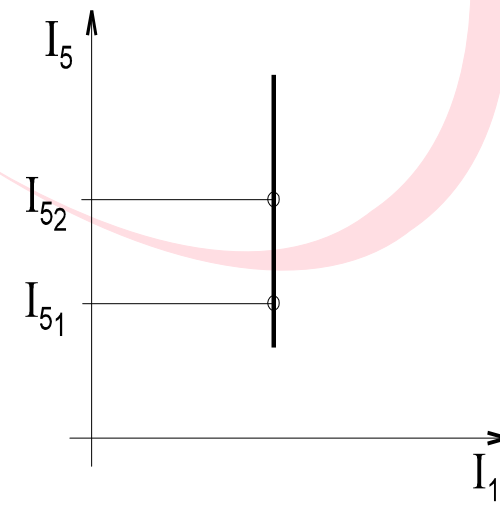
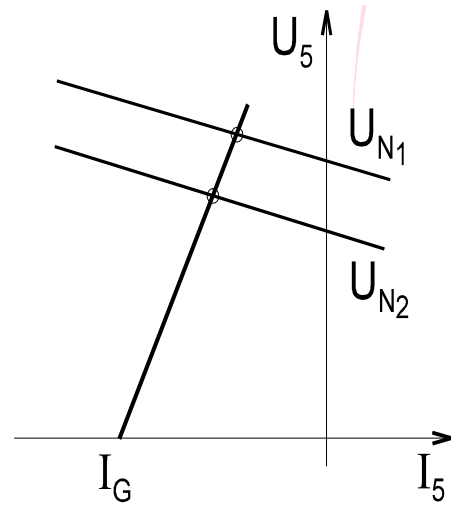
Elvi alapok 5

Vegyes terhelés, változó U_N



$$U_5 = U_N - I_5 Z_N = (I_5 + I_G) Z_L$$

$$Z_L = \frac{\Delta U_N}{\Delta I_5}$$

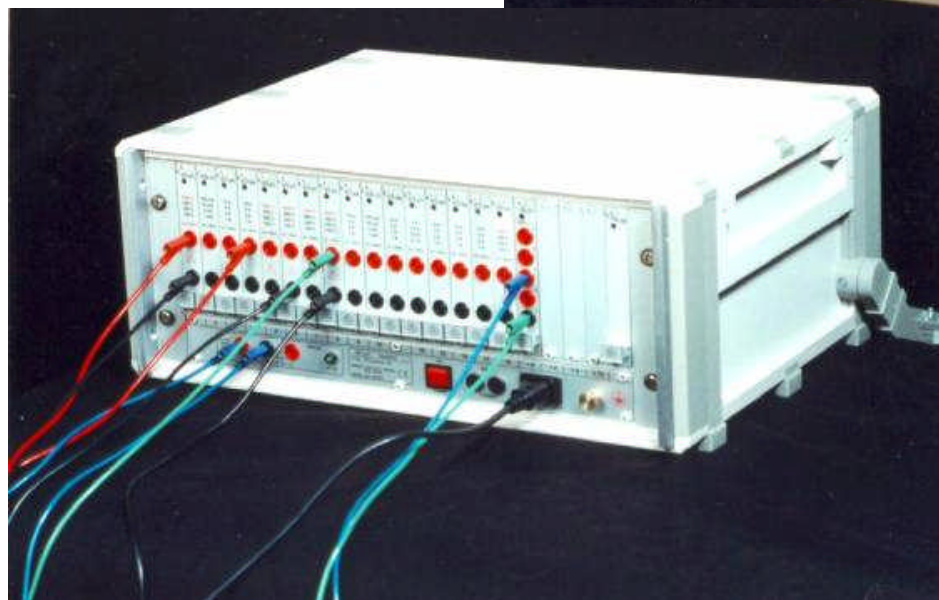


A módszer lépései

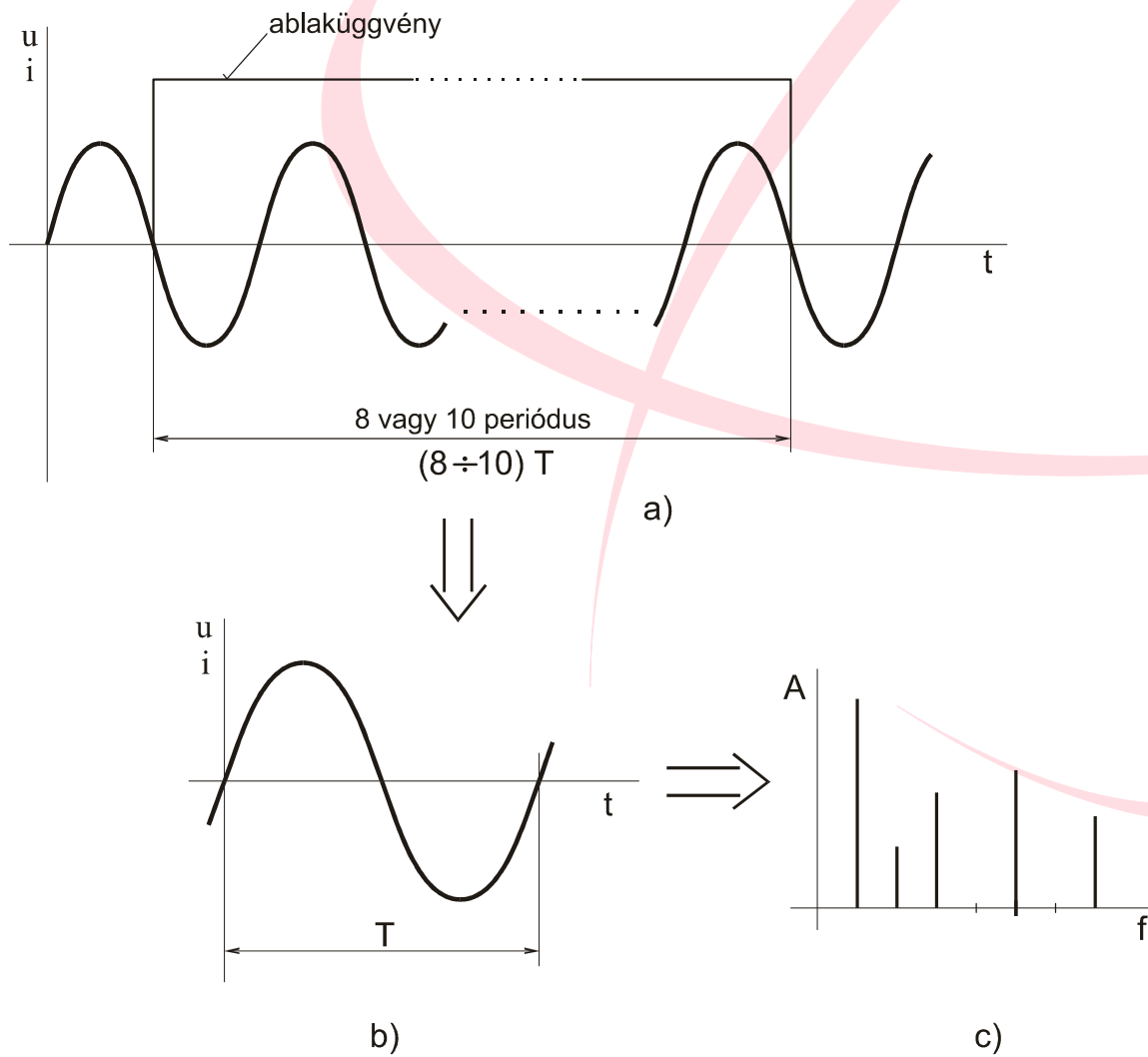
- Helyszíni mérés
- Kiértékelés harmonikusonként
 - Független hálózati impedancia
 - Virtuális hálózati impedancia
 - Passzív fogyasztói impedancia
 - Aktív és passzív fogyasztói áramok szétválasztása
 - Aktív fogyasztó által okozott feszültségtorzulás meghatározása



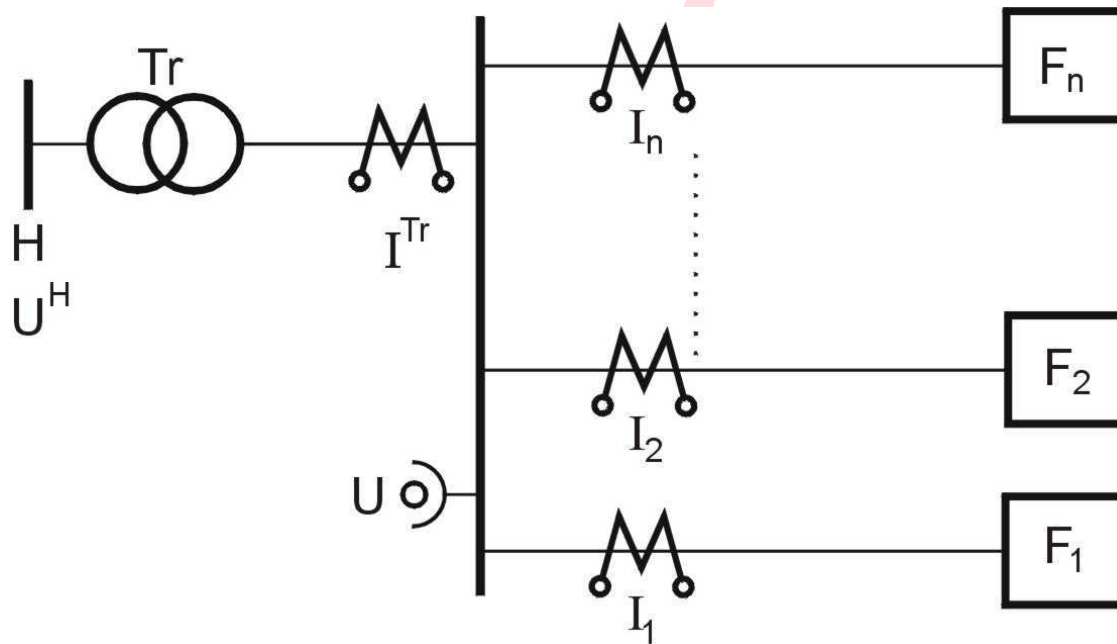
Helyszíni mérés



Helyszíni mérés



Helyszíni mérés



Mért mennyiségek: áramok, feszültségek



Független hálózati impedancia

Korrelációs együttható a teljes mérési időtartamra

$$r(I_1^{Tr}; I_h^{Tr}) = \frac{M[(I_h^{Tr} - M(I_h^{Tr}))(I_1^{Tr} - M(I_1^{Tr}))]}{D(I_h^{Tr})D(I_1^{Tr})}$$

Ha:

$$r(I_1^{Tr}; I_h^{Tr}) > 0$$

Differenciális meredekség az egymást követő kis változásokra

$$m_{d,h} = \frac{|I_h^{Tr}(t + \Delta t)| - |I_h^{Tr}(t)|}{|I_1^{Tr}(t + \Delta t)| - |I_1^{Tr}(t)|}$$

Ha $m_{d,h} > 0$ és $P_h = \operatorname{Re}[\Delta U_h \cdot \Delta \hat{I}_h^{Tr}] < 0$

A független hálózati impedancia (a jellemző szimmetrikus komponensre)

$$Z_{H,h} = \frac{\Delta U_h}{\Delta I_h}$$



Virtuális hálózati impedancia

Definíció:

$$\frac{1}{Z_{Hvirt,h}^i} = \frac{1}{Z_{H,h}} + \frac{1}{Z_{Hvirt,h}^1} + \dots + \frac{1}{Z_{Hvirt,h}^{i-1}} + \frac{1}{Z_{Hvirt,h}^{i+1}} + \dots + \frac{1}{Z_{Hvirt,h}^n}$$

Ha

$$r(I_1^i; I_h^i) > 0$$

$$m_{d,h}^i > 0$$

$$\Delta I_1^j \approx 0 \quad (j \neq i)$$

$$P_h^i = \operatorname{Re}[\Delta U_h \cdot \Delta \hat{I}_h^i] < 0,$$

akkor

$$Z_{Hvirt,h}^i = \frac{\Delta U_h}{\Delta I_h^i}$$



Passzív fogyasztói impedancia

$$Z_{pF,h}^1 = \frac{\Delta U_h}{\Delta I_h^1} \quad (\Delta I_1^1 \approx 0)$$

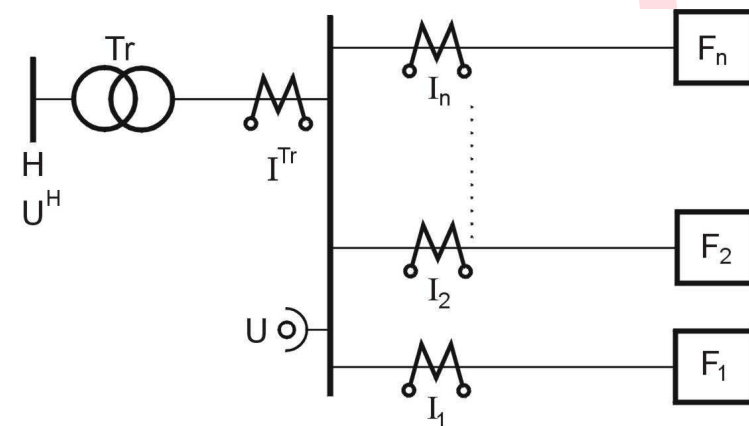
·
·

$$Z_{pF,h}^i = \frac{\Delta U_h}{\Delta I_h^i} \quad (\Delta I_1^i \approx 0)$$

$$Z_{pF,h}^n = \frac{\Delta U_h}{\Delta I_h^n} \quad (\Delta I_1^n \approx 0)$$

ha

$$\text{Re}[Z_{pF,h}^i] \geq 0$$



Tárolás:

$$\text{Re}[Z_{pF,h}^i] = f_{1,h}^i(\text{Re}[I_1^i])$$

$$\text{Im}[Z_{pF,h}^i] = f_{2,h}^i(\text{Im}[I_1^i])$$

$$Z_{pF,h}^i(I_1^i) = \text{Re}[Z_{pF,h}^i] + j \text{Im}[Z_{pF,h}^i]$$



Aktív és passzív fogyasztói harmonikus áramok szétválasztása

$$I_{pF,h}^i(I_1^i) = \frac{U_h}{Z_{pF,h}^i(I_1^i)} [A]$$

$$I_{aF,h}^i(I_1^i) = I_h^i - I_{pF,h}^i(I_1^i) [A]$$



Aktív fogyasztó által okozott egyedi feszültségtorzulás meghatározása

$$U_{aF,h}^i = I_{aF,h}^i (I_1^i) \cdot Z_{H,h} \longrightarrow U_{aF,h}^i (P(95))$$

Relatív harmonikus torzulás:

$$H_{rel,h}^i (P(95)) = \frac{U_{aF,h}^i (P(95))}{U_h (P(95))} \cdot 100[\%]$$

Abszolút harmonikus torzulás:

$$H_{abs,h}^i (P(95)) = \frac{U_{aF,h}^i (P(95))}{U_h (MSZEN50160)} \cdot 100[\%]$$



Aktív fogyasztó által okozott teljes harmonikus feszültségtorzulás meghatározása

$$U_{aF,h}^i = I_{aF,h}^i (I_1^i) \cdot Z_{H,h} \longrightarrow THD_{UaF}^i (P(95))$$

Relatív harmonikus torzulás:

$$THD_{Urel}^i (P(95)) = \frac{THD_{UaF}^i (P(95))}{THD_U (P(95))} \cdot 100[\%]$$

Abszolút harmonikus torzulás:

$$THD_{Uabs}^i (P(95)) = \frac{THD_{UaF}^i (P(95))}{THD_U (MSZEN50160)} \cdot 100[\%]$$



Eredmények

Phase/system: S02
Harmonic order: 3rd
Symmetrical component: 0

Use as filter Use as filter Use as filter

Calculate using:
 Virtual Thevenin impedance
 Independent source impedance

Active load contribution Show dominants only

Phase/System	abs(Uh)	Hrel[%]	Habs[%]
S02 _s	5044.33mV	58.62%	36.40%
S02 _g ⁰	72.85mV	4.60%	2.10%
S02 ₁₁ ⁻	2836.15mV	72.57%	35.09%
S02 ₁₃ ⁺	797.25mV	48.95%	11.51%
S02 ₁₅ ⁰	203.52mV	33.00%	17.63%
S03 ₇ ⁺	609.65mV	16.33%	5.28%

EN Limits
Export

< Back Next > Help



Eredmények

Phase/system: S02
Harmonic order: 3rd
Symmetrical component: 0

Use as filter Use as filter Use as filter

Calculate using:
 Virtual Thevenin impedance
 Independent source impedance

Active load contribution Show dominants only

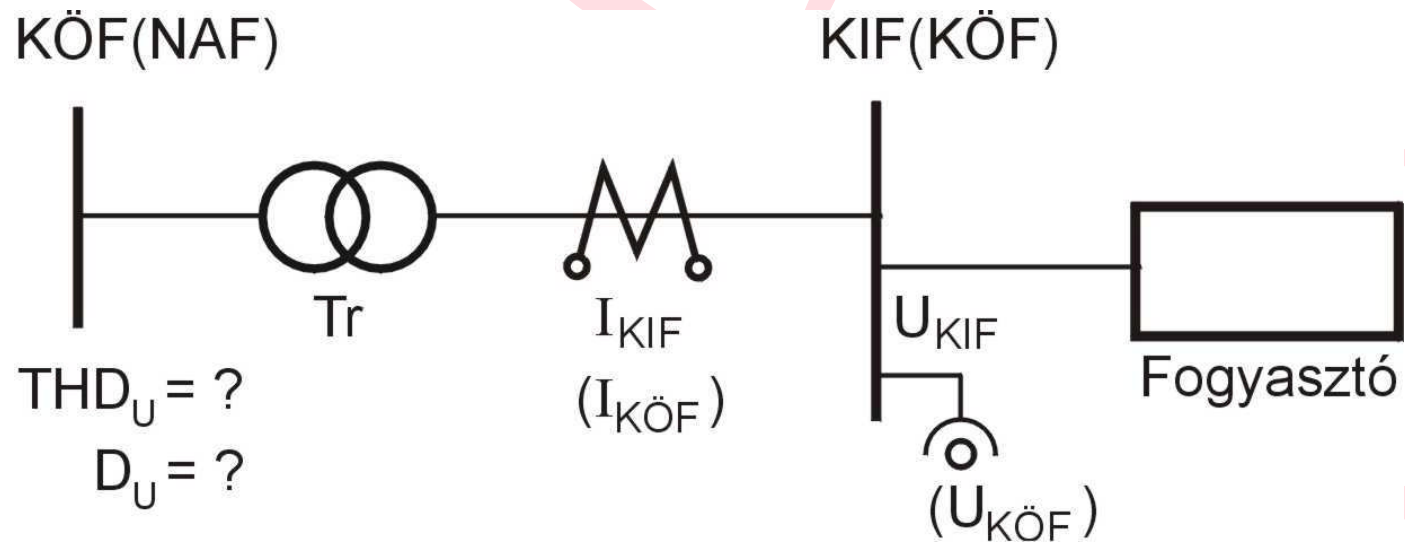
Phase/System	abs(Uh)	Hrel[%]	Habs[%]
S02 _s	4306.13mV	50.04%	31.08%
S02 _s ⁰	65.54mV	4.14%	1.89%
S02 ₁₁ ⁻	3425.36mV	87.64%	42.38%
S02 ₁₃ ⁺	522.21mV	32.06%	7.54%
S02 ₁₅ ⁰	119.62mV	19.39%	10.36%
S03 ₇ ⁺	102.65mV	2.75%	0.89%

EN Limits
Export

< Back Next > Help



A táptranszformátor nagyobb feszültségű oldalán a harmonikus feszültség meghatározása a kisebb feszültségű oldalon mért feszültségek és áramok alapján



Táphálózati feszültségtorzulás 1

$$\underline{U}_h^s = \underline{T}_{fs} \underline{U}_h^f$$

$$\underline{I}_h^s = \underline{T}_{fs} \underline{I}_h^f$$

$$\underline{T}_{fs} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix}$$



Táphálózati feszültségtorzulás 2

$$\underline{U}_h^{s,KÖF_r} = \underline{U}_h^s + \underline{Z}_{tr,h}^s \underline{I}_h^s$$

$$\underline{Z}_{tr,h}^s = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & R_{tr,h} + jhX_{tr} & 0 \\ 0 & 0 & R_{tr,h} + jhX_{tr} \end{bmatrix}$$

$$\underline{U}_h^{s,KÖF} = \underline{A} \underline{U}_h^{s,KÖF_r} \quad \underline{A} = A \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & e^{j\tau} & 0 \\ 0 & 0 & e^{-j\tau} \end{bmatrix}.$$



Táphálózati feszültségtorzulás 3

$$\underline{U}_h^{f,KÖF} = \underline{T}_{=sf} \underline{U}_h^{s,KÖF}$$

$$\underline{T}_{=sf} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix}$$

$$U_{ab} = U_a - U_b$$

$$U_{bc} = U_b - U_c$$

$$U_{ca} = U_c - U_a$$



Okozott feszültségtorzulás 1

$$\Delta U_h^s(n) = U_h^s(n) - U_h^s(n-1)$$

$$\Delta I_h^s(n) = I_h^s(n) - I_h^s(n-1)$$

$$Z_h^s(n) = \frac{\Delta U_h^s(n)}{\Delta I_h^s(n)}$$

$$r(I_1, I_h) \geq 0$$

$$m_d = \frac{\Delta I_h^s(n)}{\Delta I_1(n)} > 0$$

$$\operatorname{Re}[Z_h^s(n)] < 0$$



Okozott feszültségtorzulás 2

$$\left(Z_h^{s,KÖF} \right)_r = Z_h^s - Z_h^{tr}$$

$$\left(U_h^{s,KÖF} \right)_r = \left(Z_h^{s,KÖF} \right)_r I_h^s$$

$$\underline{U}_h^{f,KÖF} = \underline{T}_{s,f}^h \underline{A} \left(\underline{U}_h^{s,KÖF} \right)_r$$

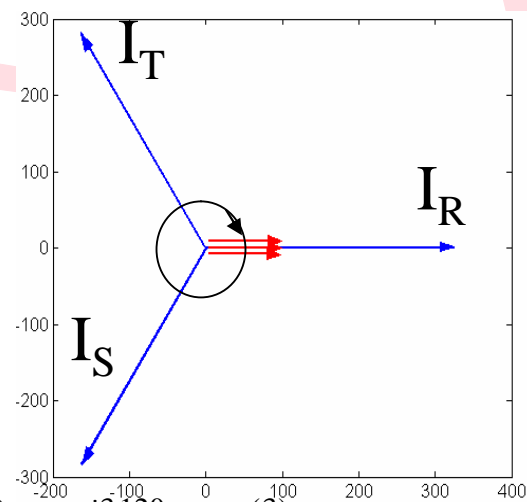
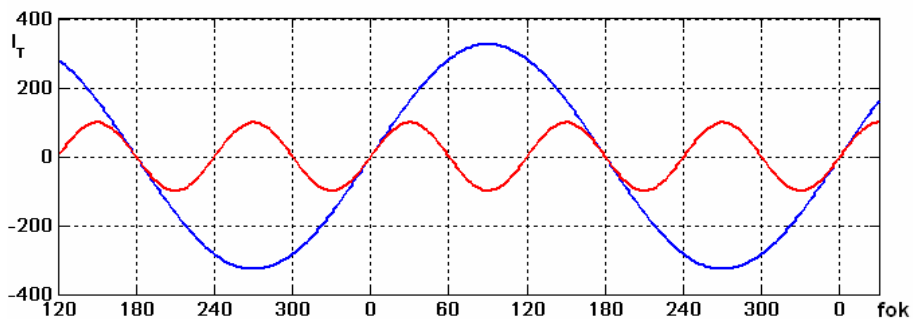
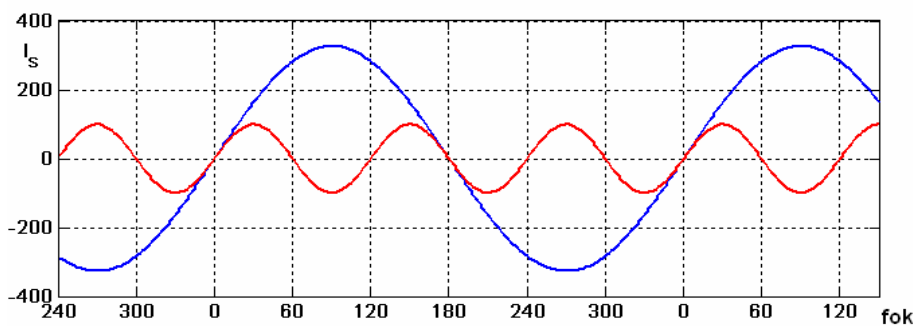
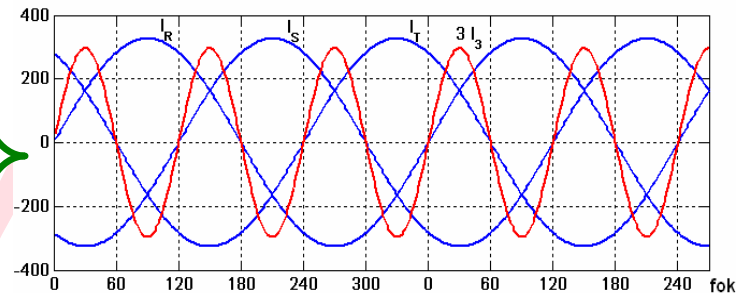
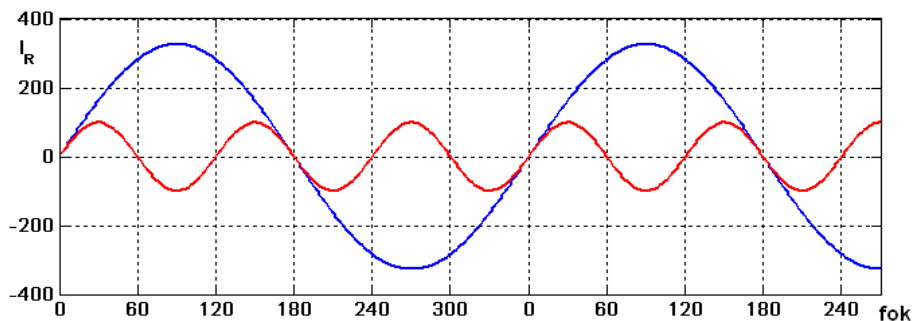


Mérési eredmények (120/10kV, h=5)

	Mért érték (fázis)	Számított érték (fázis)	Mért érték (negatív sorrend)	Számított érték (negatív sorrend)	Okozott (számított) feszülégtorzulás (negatív sr.)
$U_A[V] / ^\circ$	1100/-53.7°	904/-46.5°	965/-49°	955/-44°	1089/-41°
$U_B[V] / ^\circ$	913/75°	1019/74.6°	965/71°	955/76°	1089/79°
$U_C[V] / ^\circ$	872/-168°	950/-160°	965/-169°	955/-164°	1089/-161°



Harmonikusok terjedése



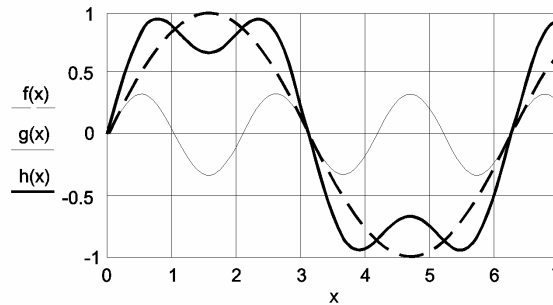
$$I_S^{(3)} = I_R^{(3)} \cdot e^{-j3 \cdot 120} = I_R^{(3)}$$

$$I_T^{(3)} = I_R^{(3)} e^{j3 \cdot 120} = I_R^{(3)}$$



Harmonikusok terjedése

$$f(x) = \sin(x) \qquad g(x) = \frac{1}{3} \sin(3x)$$
$$h(x) = f(x) + g(x) \qquad 0.2 \frac{\pi}{512} \leq x \leq 7$$



$$h(x) = f(x) - g(x) \qquad 0.2 \frac{\pi}{512} \leq x \leq 7$$

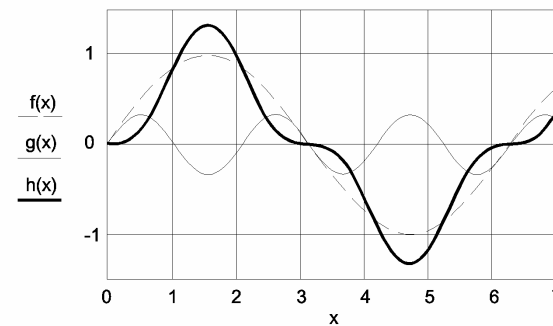
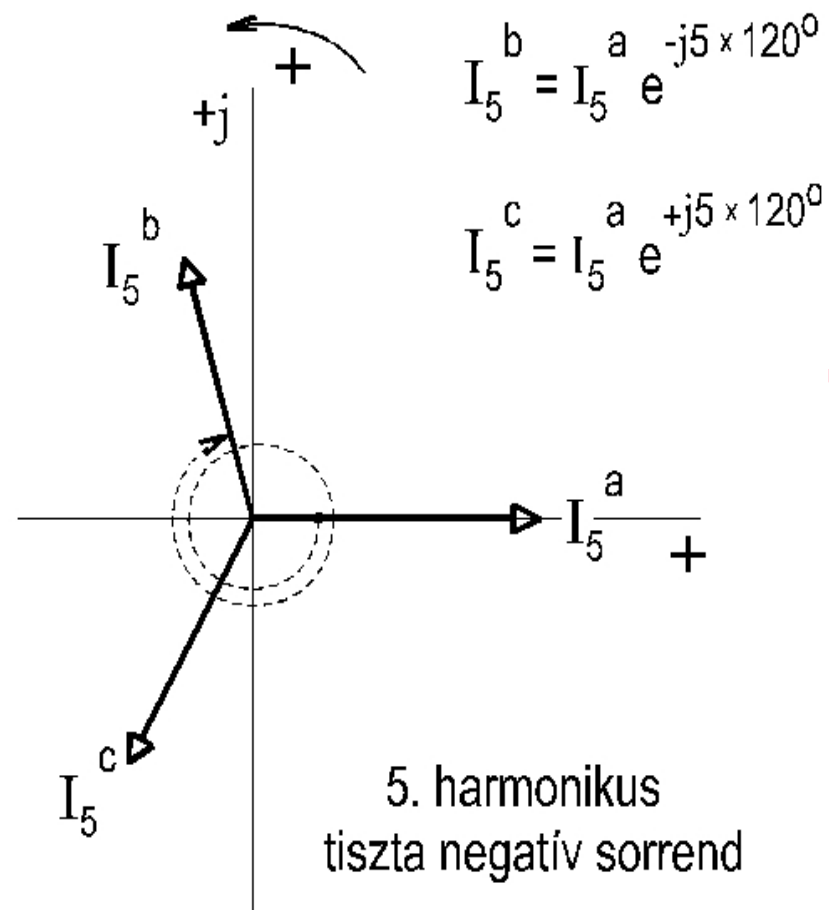
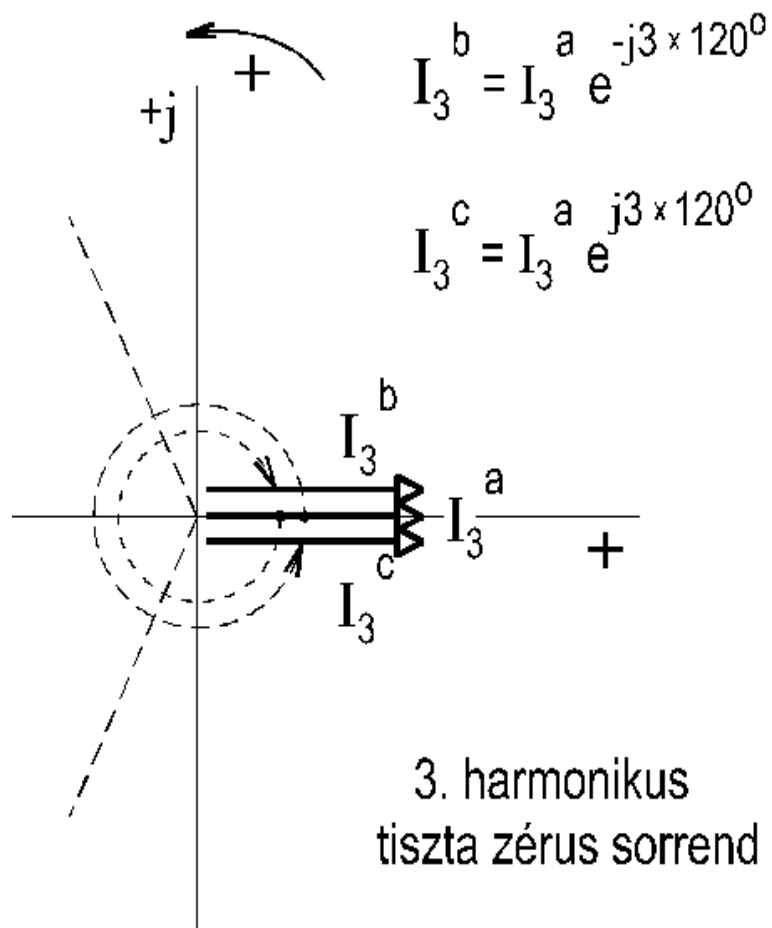


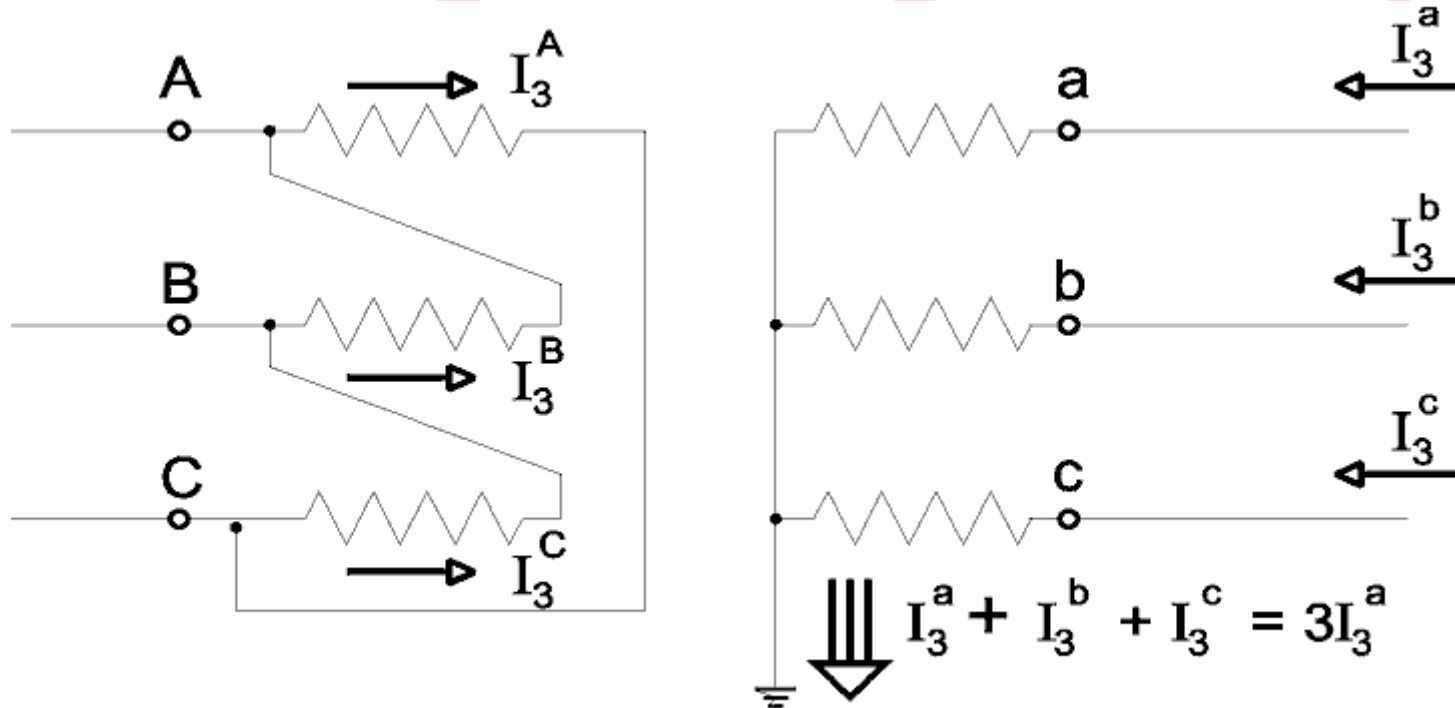
Fig.3. Effect of 3rd harmonic phase angle on the resultant wave shape



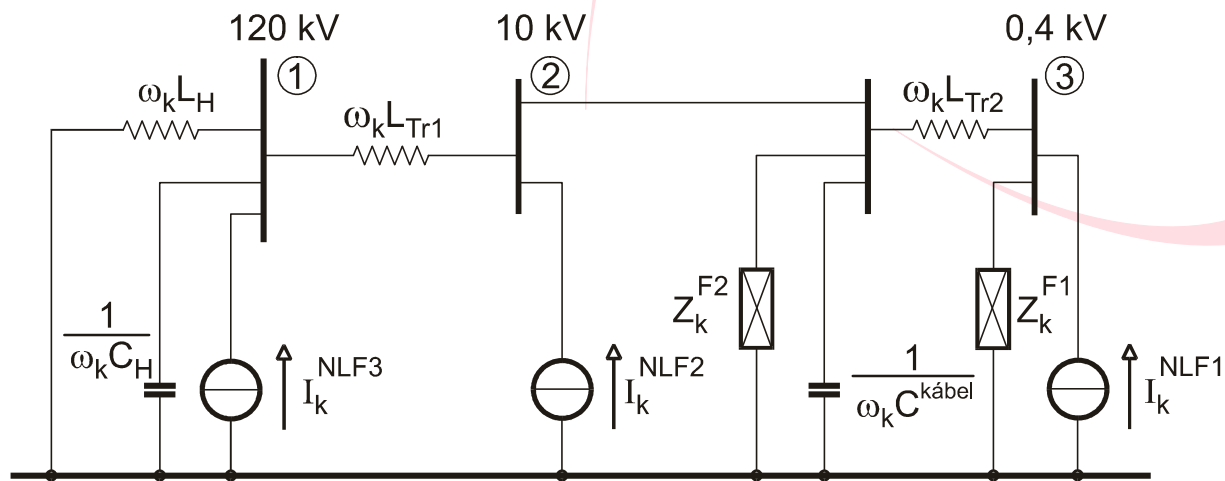
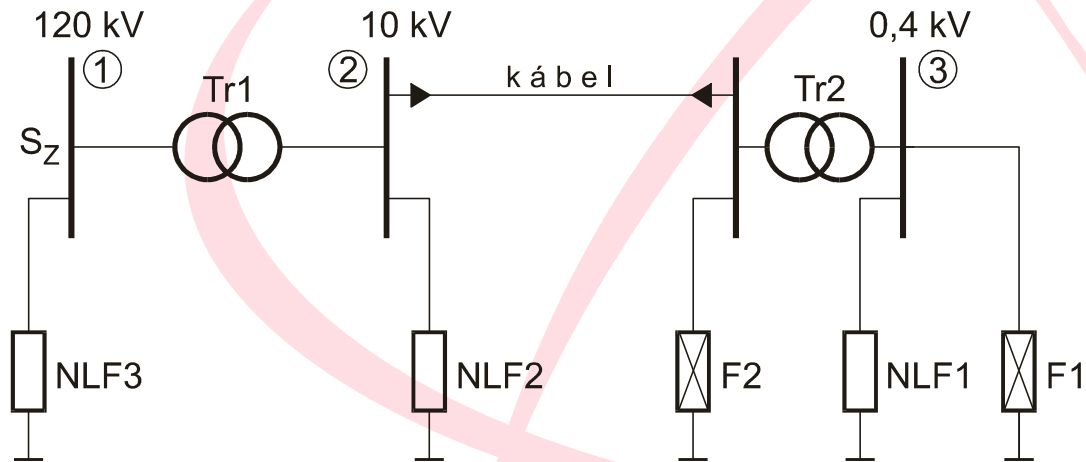
Harmonikusok terjedése



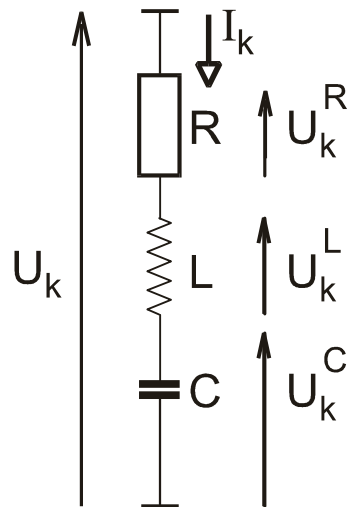
Harmonikusok terjedése



Harmonikusok terjedése



Harmonikusok terjedése



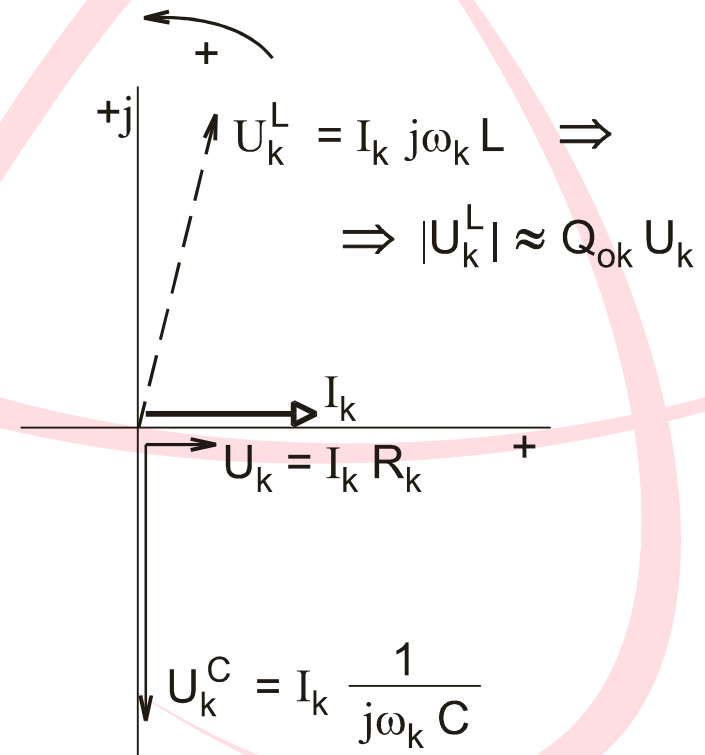
a.)

$$Z_k = R_k + j(\omega_k L - \frac{1}{\omega_k C})$$

$$\omega_k = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

jósági tényező

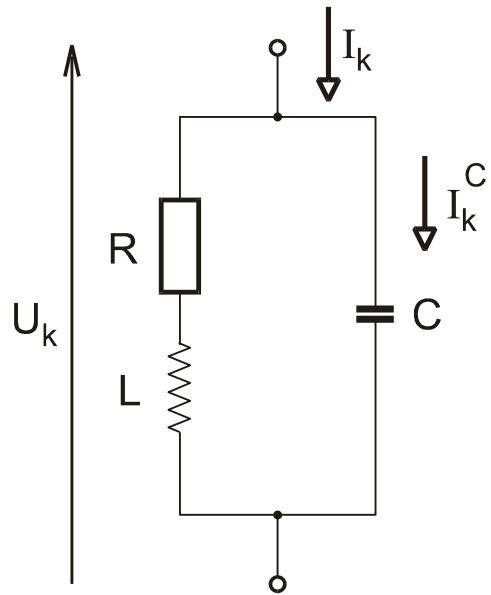
$$Q_{ok} = \frac{\omega_k L}{R}$$



b.)



Harmonikusok terjedése



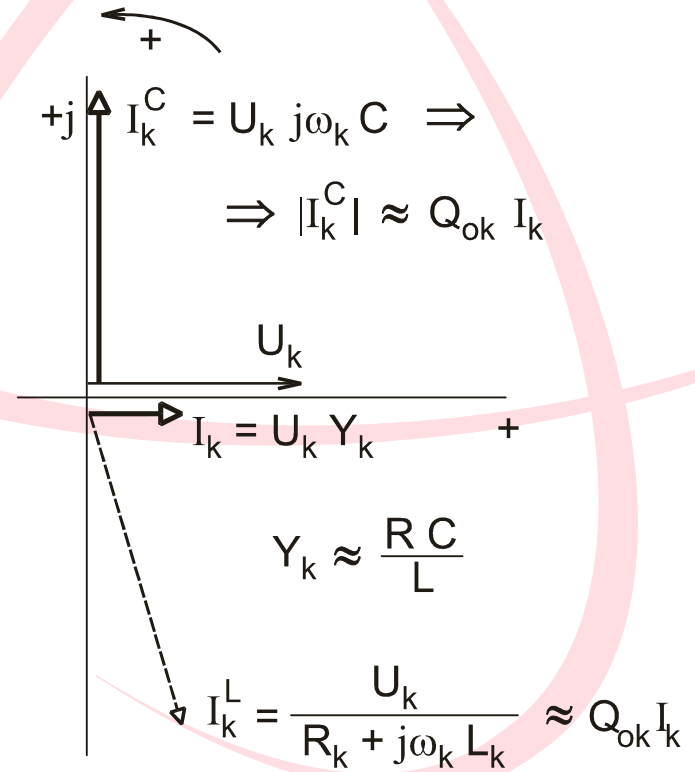
a.)

$$Y_k = \frac{1}{R_k + j\omega_k L} + j\omega_k C$$

$$\omega_k = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

jóságai tényező

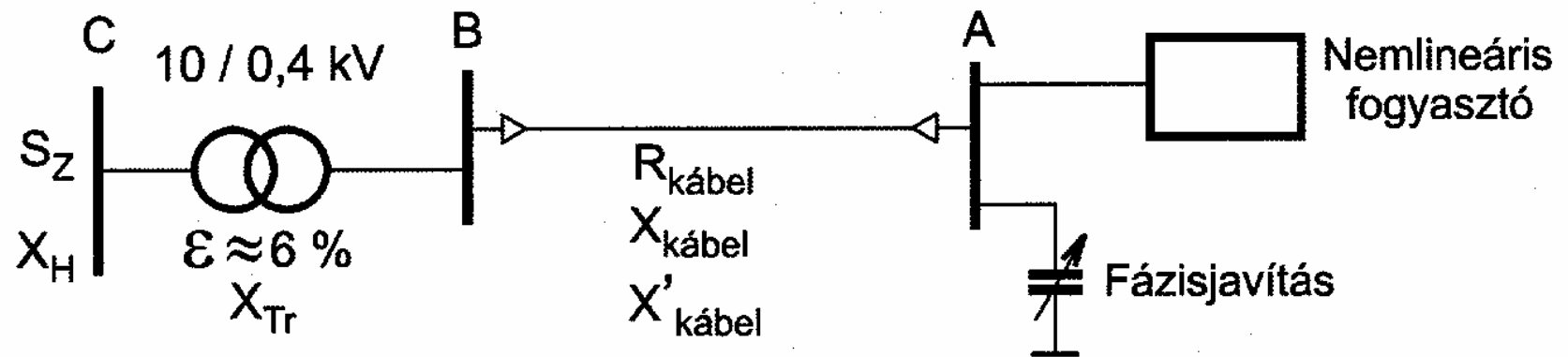
$$Q_{ok} = \frac{\omega_k L}{R}$$



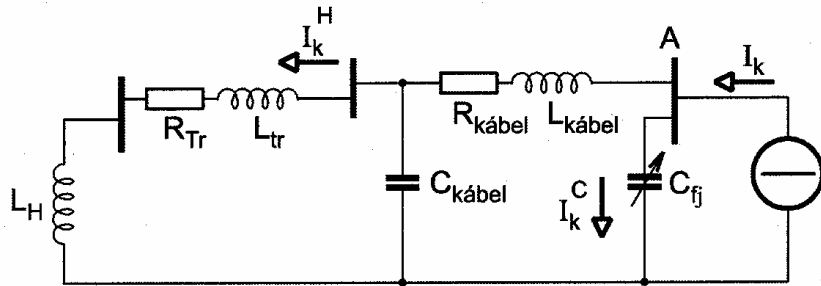
b.)



Harmonikusok terjedése

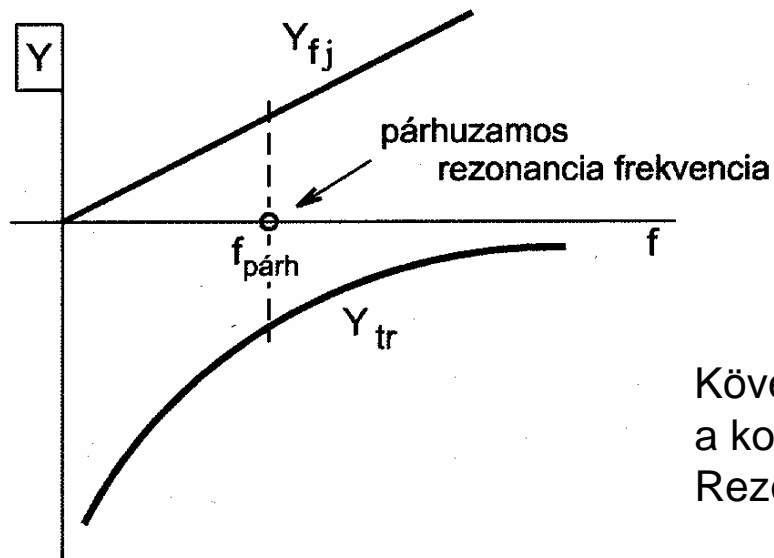


Harmonikusok terjedése



$$f_{\text{párh}} \approx \frac{1}{2\pi \sqrt{(L_{tr} + L_H + L_k)(C_{fj} + C_k)}}$$

$$f_{\text{párh}} \approx \frac{1}{2\pi \sqrt{L_{tr} C_{fj}}}$$

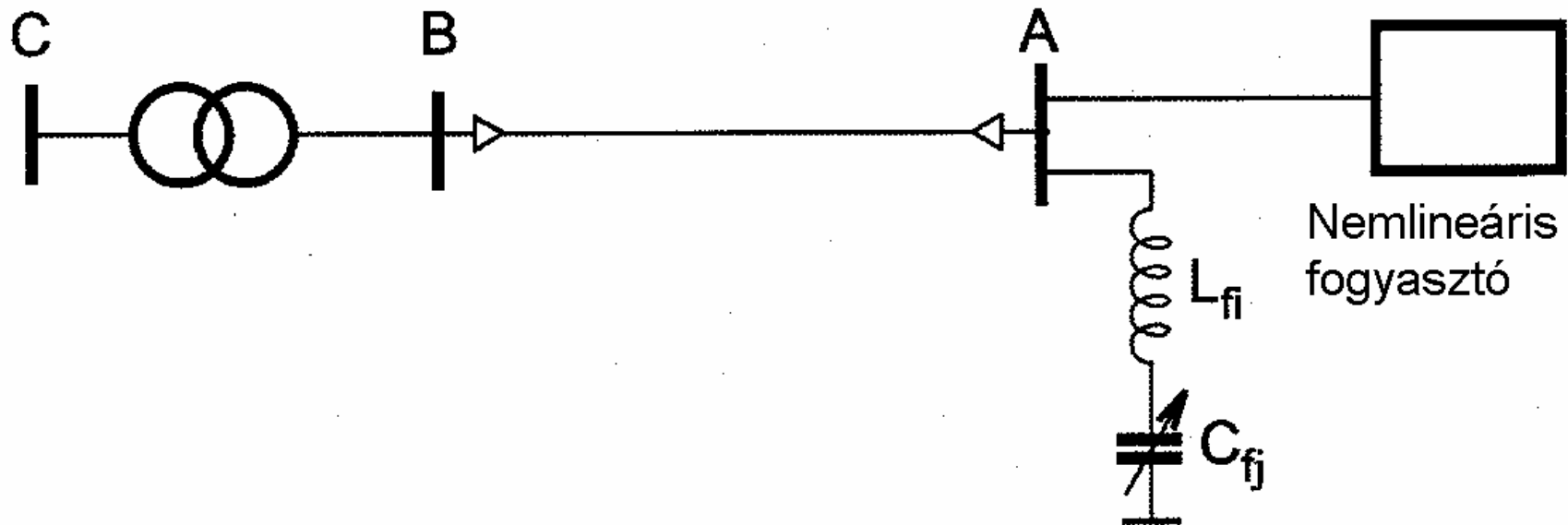


Következmény: a harmonikus áram megnő a kondenzátoron és a hálózaton is.
Rezonancia esetén:

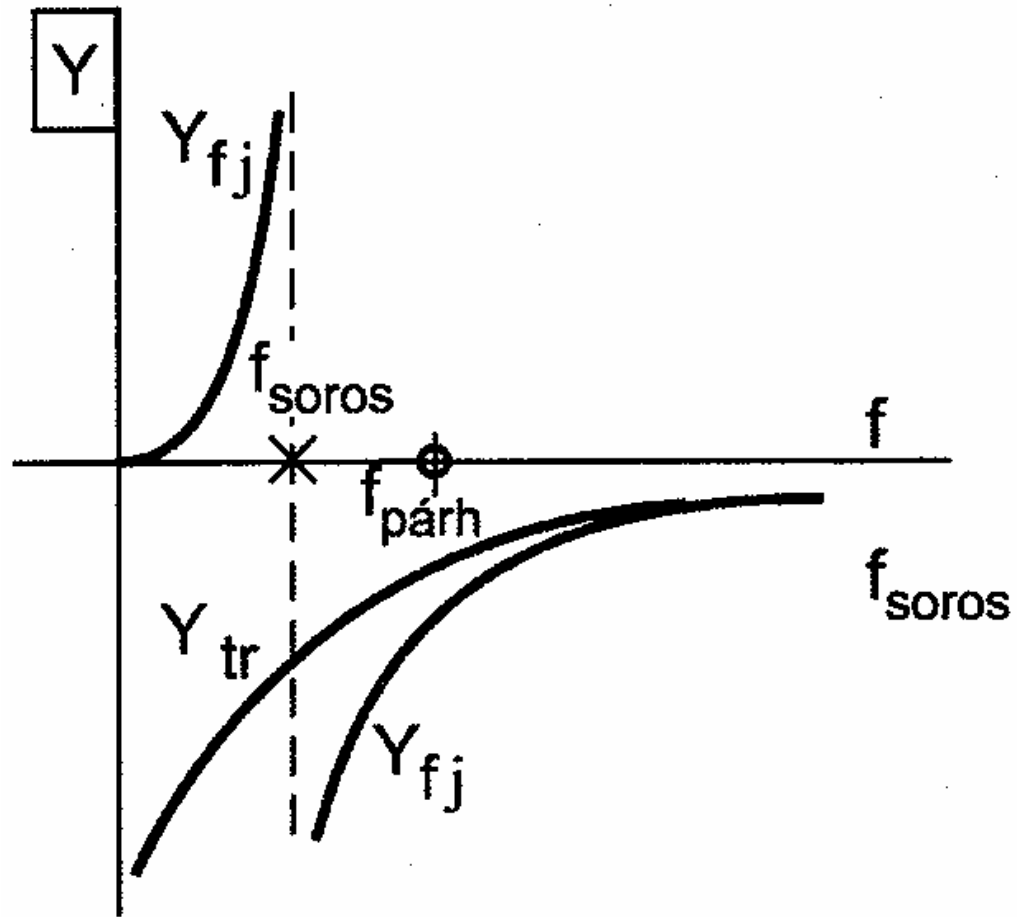
$$|I_k^H| = |I_k^C| = Q_0 I_k, \quad \text{ahol} \quad Q_0 \approx \frac{L_{tr} 2\pi f_k}{R_{tr}}$$



Harmonikusok terjedése



Harmonikusok terjedése



$$f_{soros} = \frac{1}{2\pi \sqrt{L_{fj} C_{fj}}}$$

$$f_{soros} < f_k$$



Harmonikusok által okozott zavarok

Többletveszteség: $P_{\text{ver}}/P_{\text{v1}} = 1 + \text{THD}_I^2$

- Kábelek, vezetékek többletmelegedése

Megoldás: - harmonikus szűrés
- visszaminősítés (keresztmetszet növelése)

- Transzformátorok túlmelegedése

– feszültségtorzulás miatt a vas
– áramtorzulás miatt a tekercs

Megoldás mint fent

- Védelmek hibás működése
(kisautomata "téves oldás")



Harmonikusok által okozott zavarok

- Szinkronizálásra érzékeny berendezéseknél hiba a nullátmenet bizonytalansága miatt
- HKV berendezések zavarása
- Fázisjavító kondenzátorok túlmelegedése
- KÖF hálózat hibahelyi maradékáram növelése
- Postai vonalak zúgászavara
- Energiamérők hibás mérése



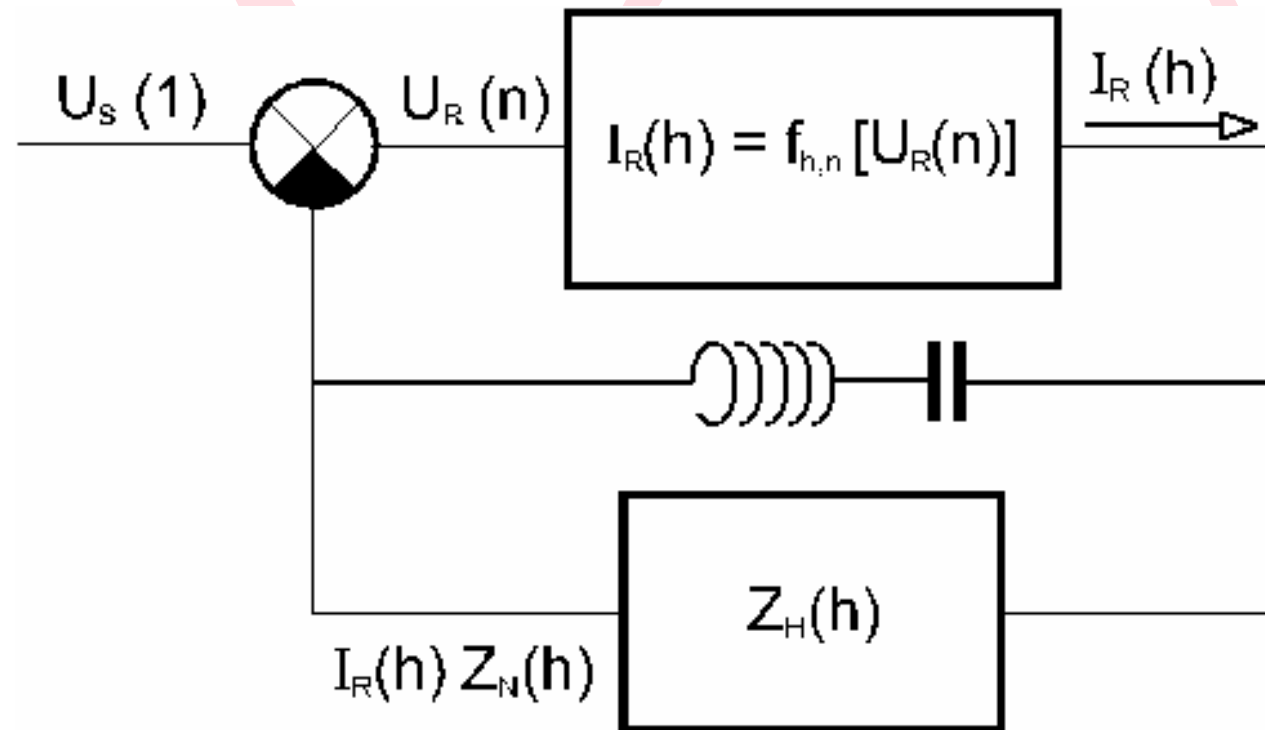
Védekezés a harmonikus torzulás ellen

- Megelőzés
 - Kis harmonikus torzítású berendezések alkalmazása
 - Harmonikus csökkentő kapcsolások
 - Készüléknél alkalmazva
 - Hálózaton alkalmazva



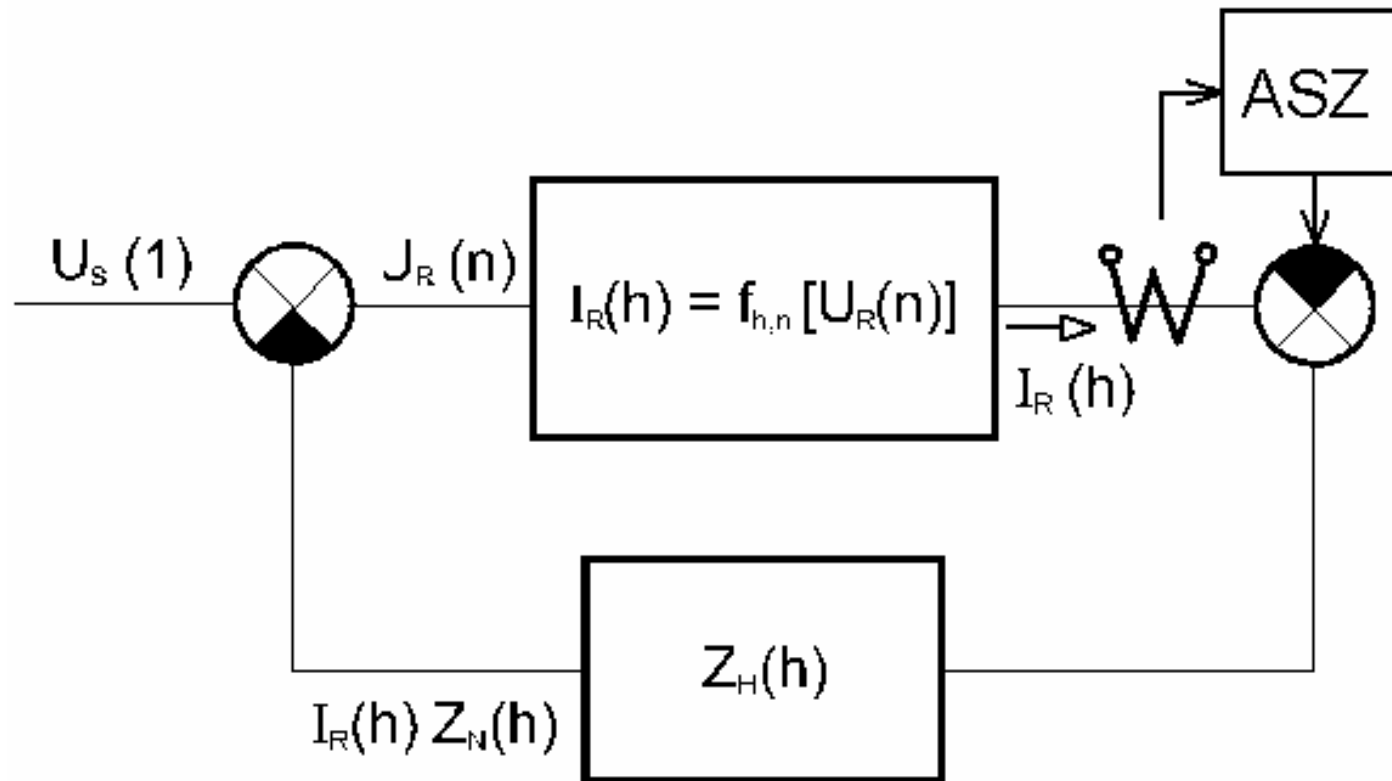
Védekezés a harmonikus torzulás ellen

Passzív szűrés



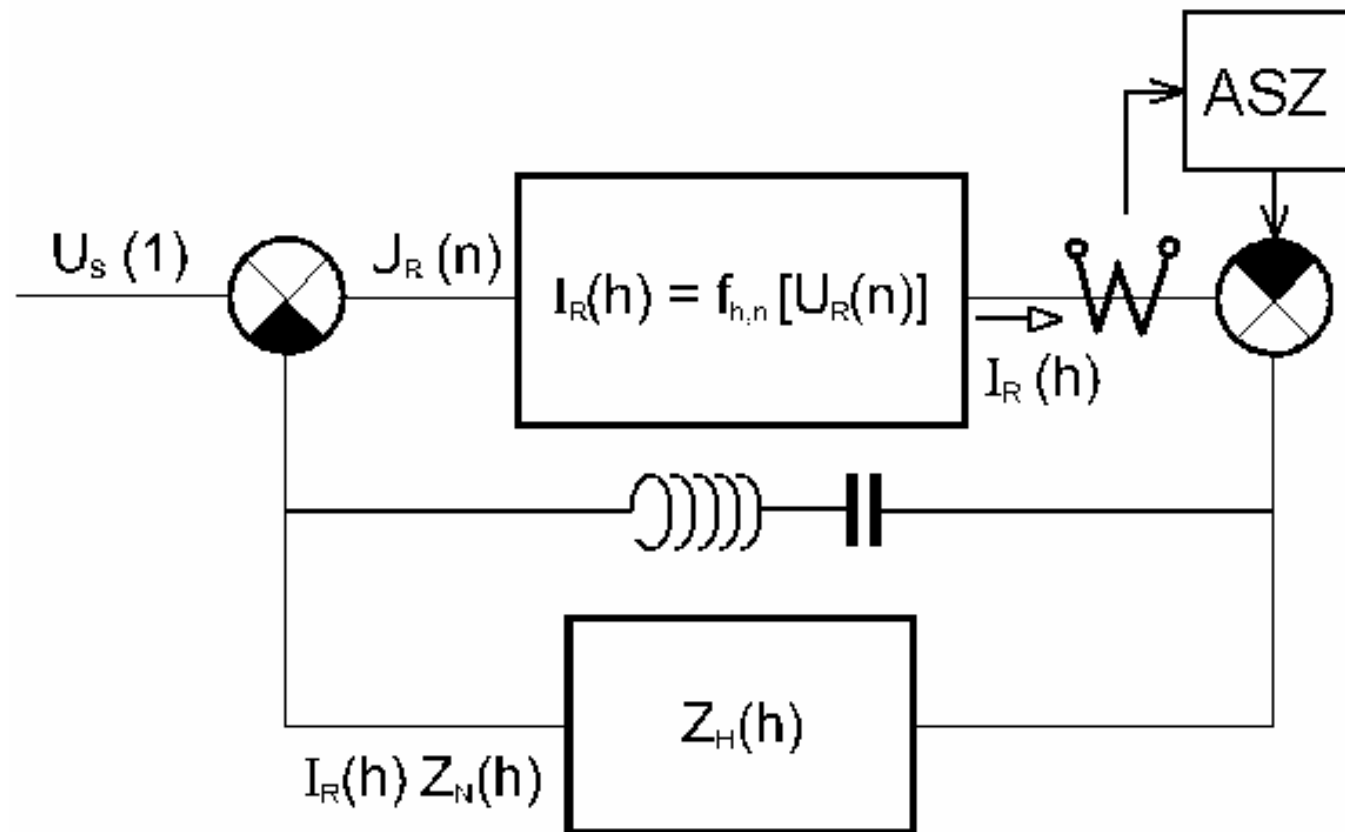
Védekezés a harmonikus torzulás ellen

Aktív szűrés



Védekezés a harmonikus torzulás ellen

Aktív + passzív szűrés



Harmonikus torzulás csökkentése

- a jellegzetes nemlineáris KIF fogyasztók által keltett harmonikus áramok spektrumában a 3.-5. rendszámok a dominánsak az amplitúdójukat illetően.
- a fogyasztók egy csoportjának, a feszültség inverteres impulzusszélesség modulált (kapcsolóüzemű) tápegységeknek a 3.-harmonikus áramai lényegében azonos kezdőfázisúak (-180°) az 5. harmonikus áramok kezdő fázisai pedig közel megegyeznek.



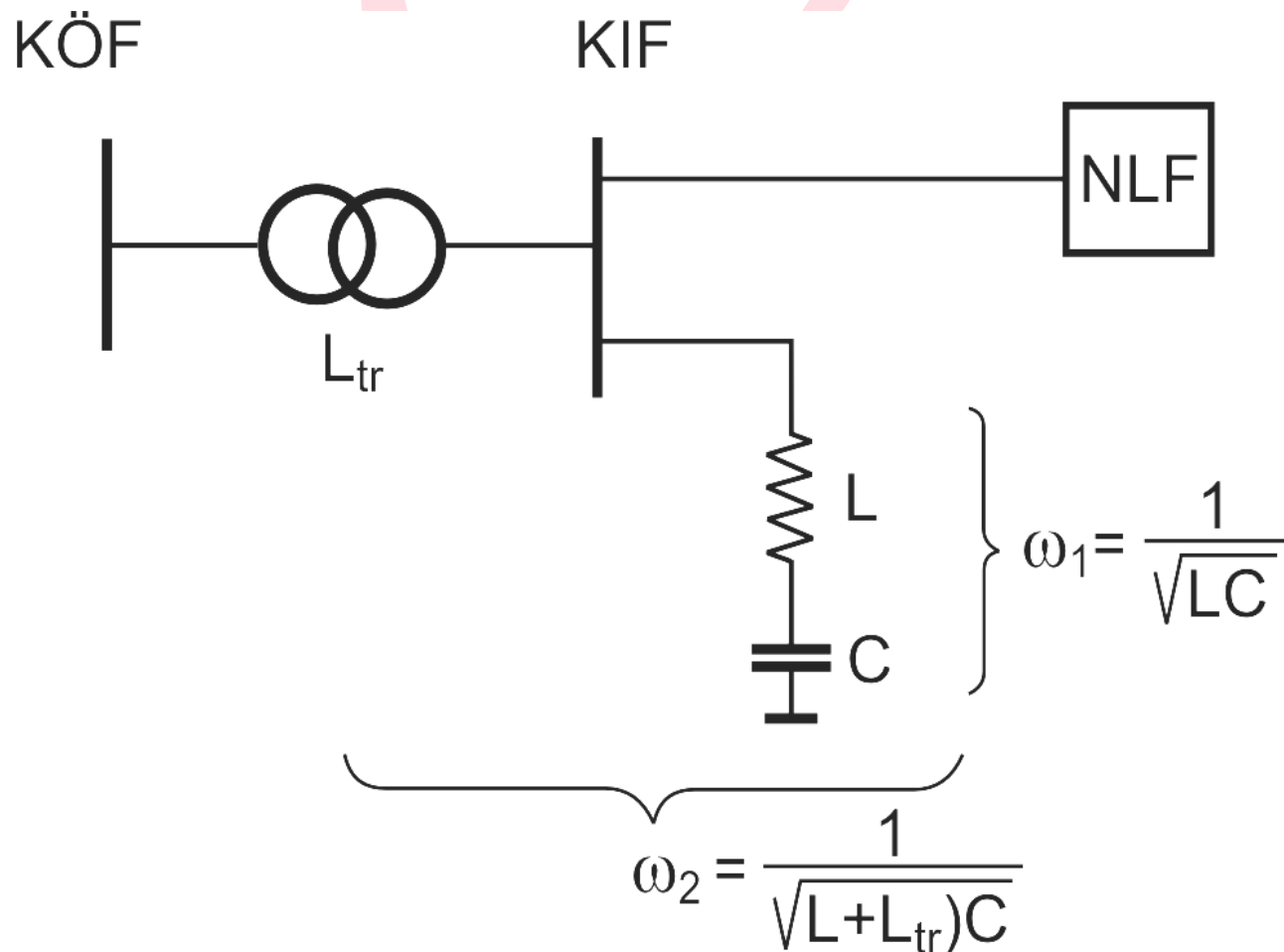
Harmonikus torzulás csökkentése

Hangolt rezgőkör tervezés ill. alkalmazás feltételei:

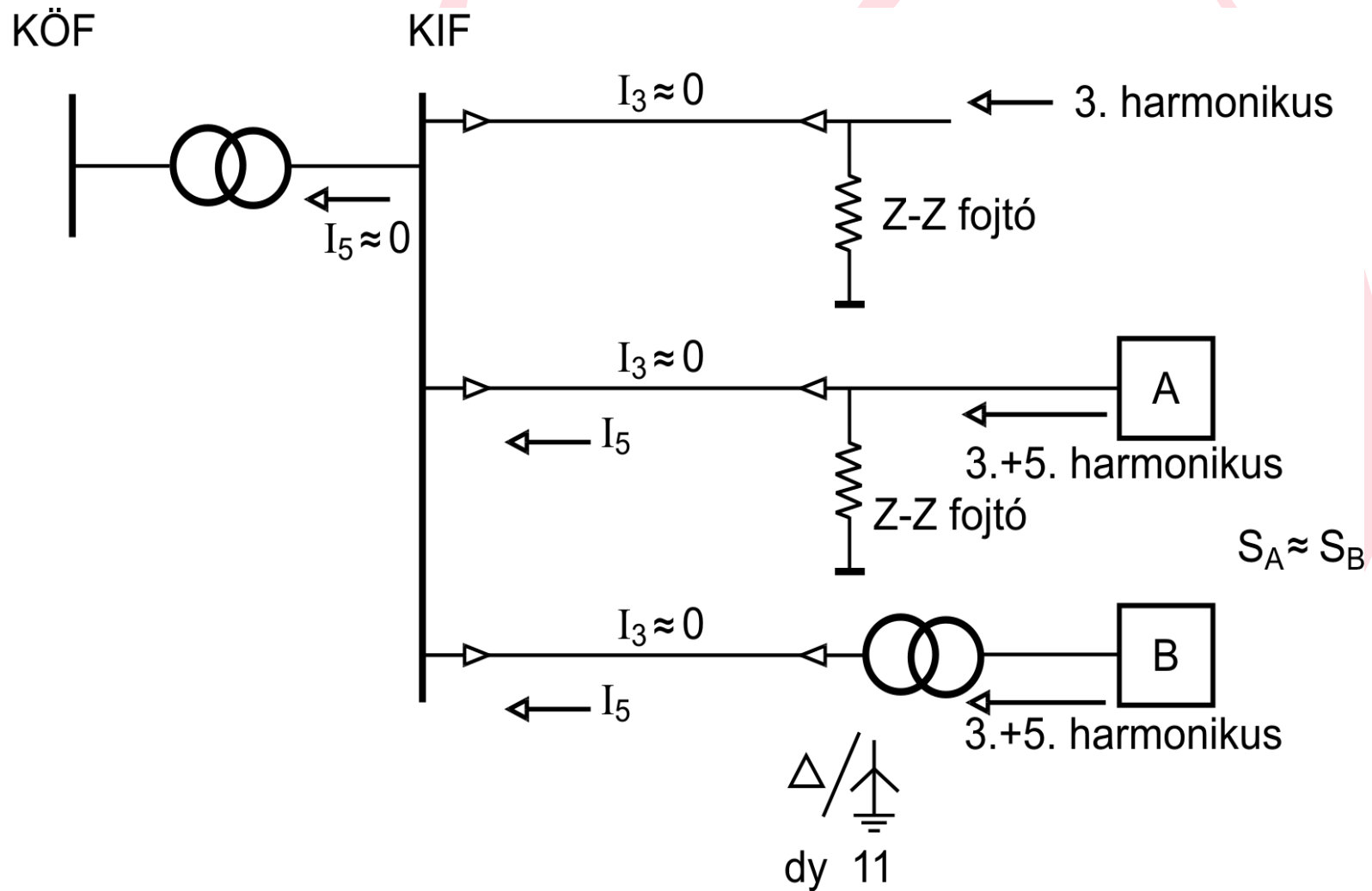
- A KIF oldali szűrő ne szűrje a fölérendelt KÖF hálózat harmonikusait
- A KIF oldali szűrő a KÖF/KIF transzformátor szórási induktivitásával együtt ne alkosson soros rezgőkört a KÖF oldalról nézve a HKV frekvenciára
- Szolgáltassa a szükséges mértékű meddőkompenzálást
- A KIF hálózatra közvetlenül csatlakozó nemlineáris fogyasztó nem szűrhető passzív szűrővel



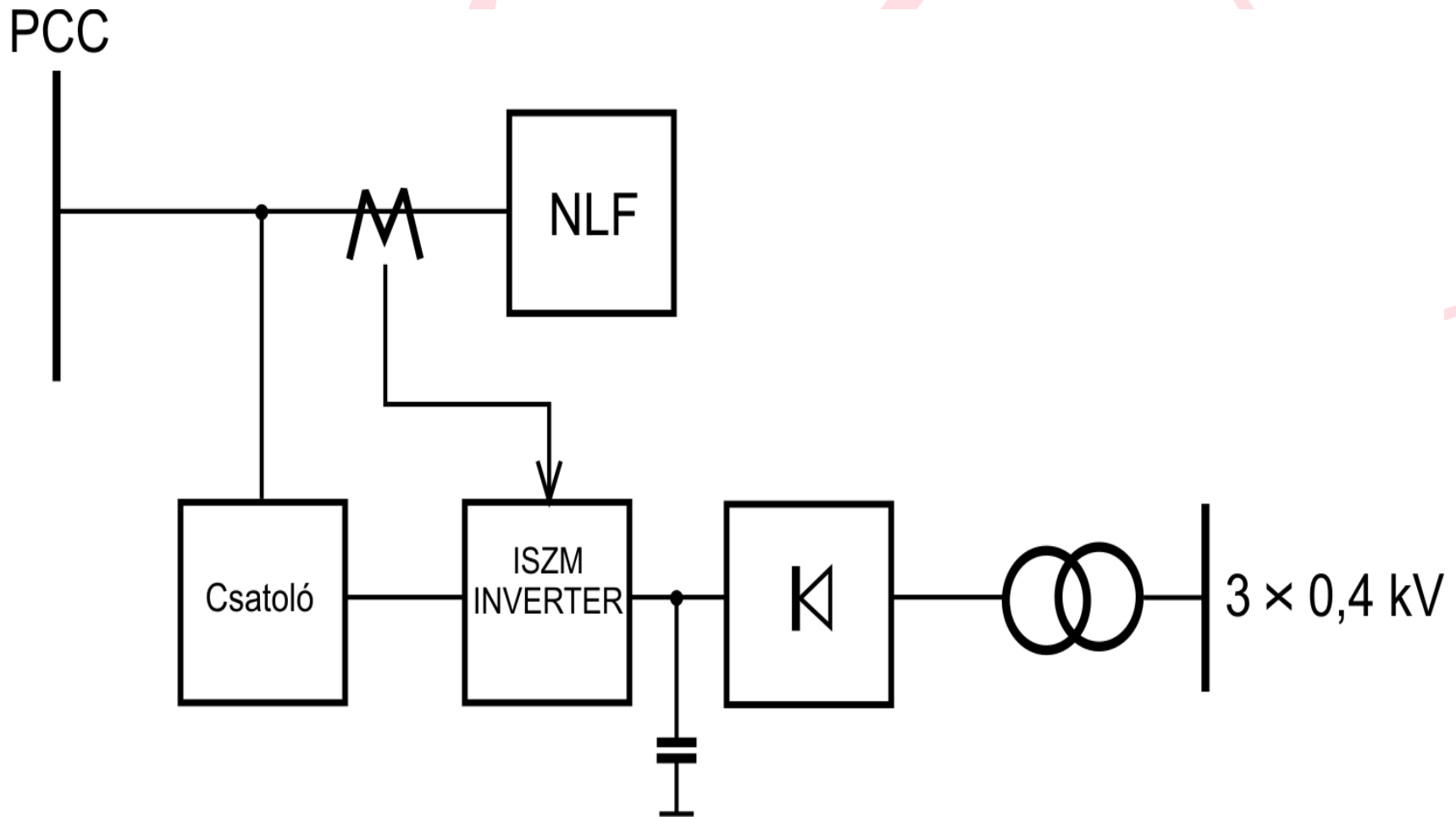
Hangolt rezgőkörös passzív szűrés és a hálózat kölcsönhatása



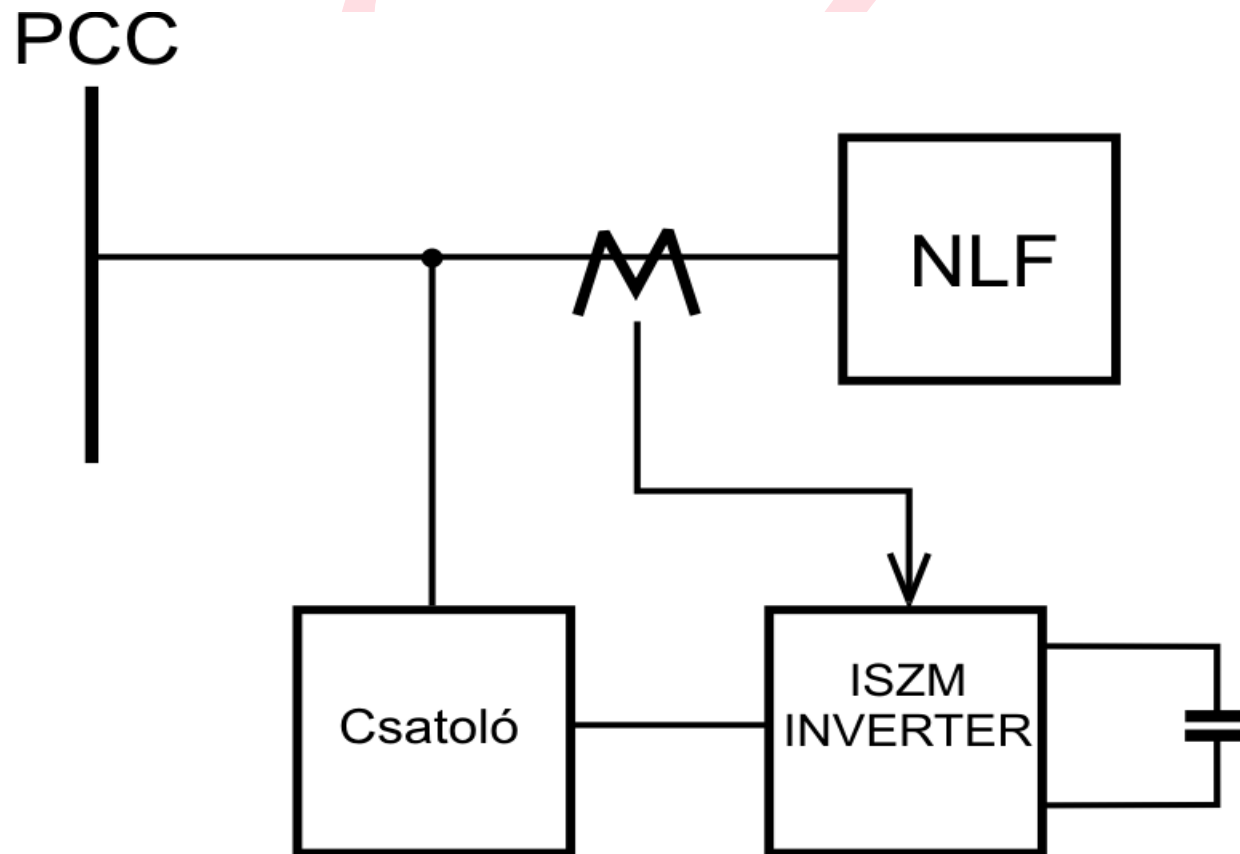
3. és 5. harmonikus áramok szűrése zeg-zug fojtóval és elválasztó transzformátorral



Közvetett kapcsolású aktív szűrő



Közvetlen kapcsolású aktív szűrő



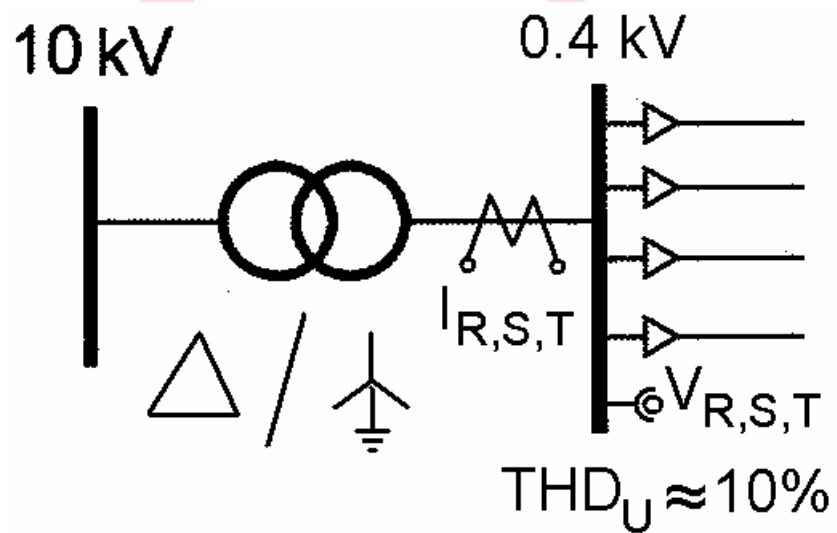
Esettenulmány

- Egyfázisú séma
- Eredmények
- Lehetséges megoldások
- Javasolt megoldás

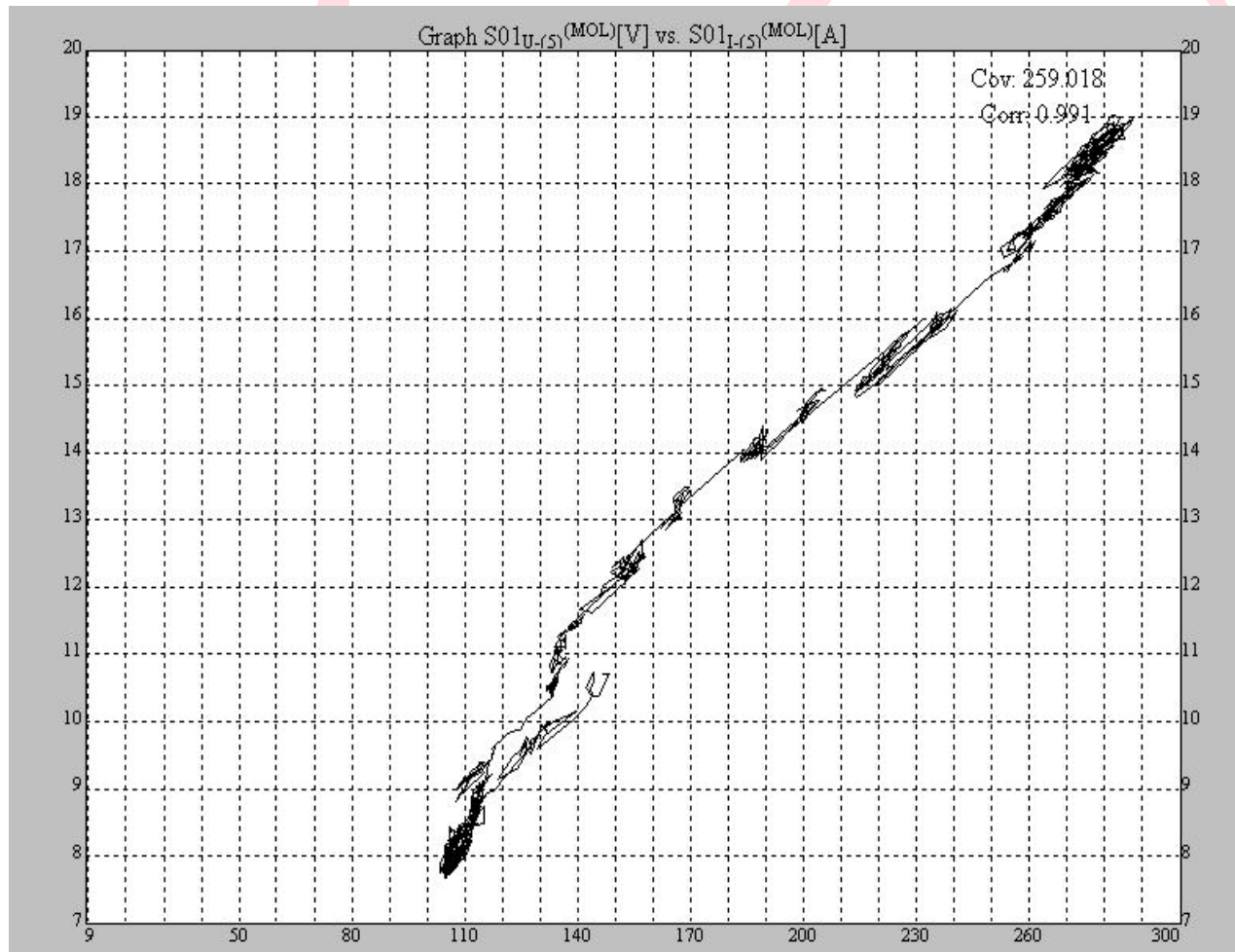


Esettanulmány

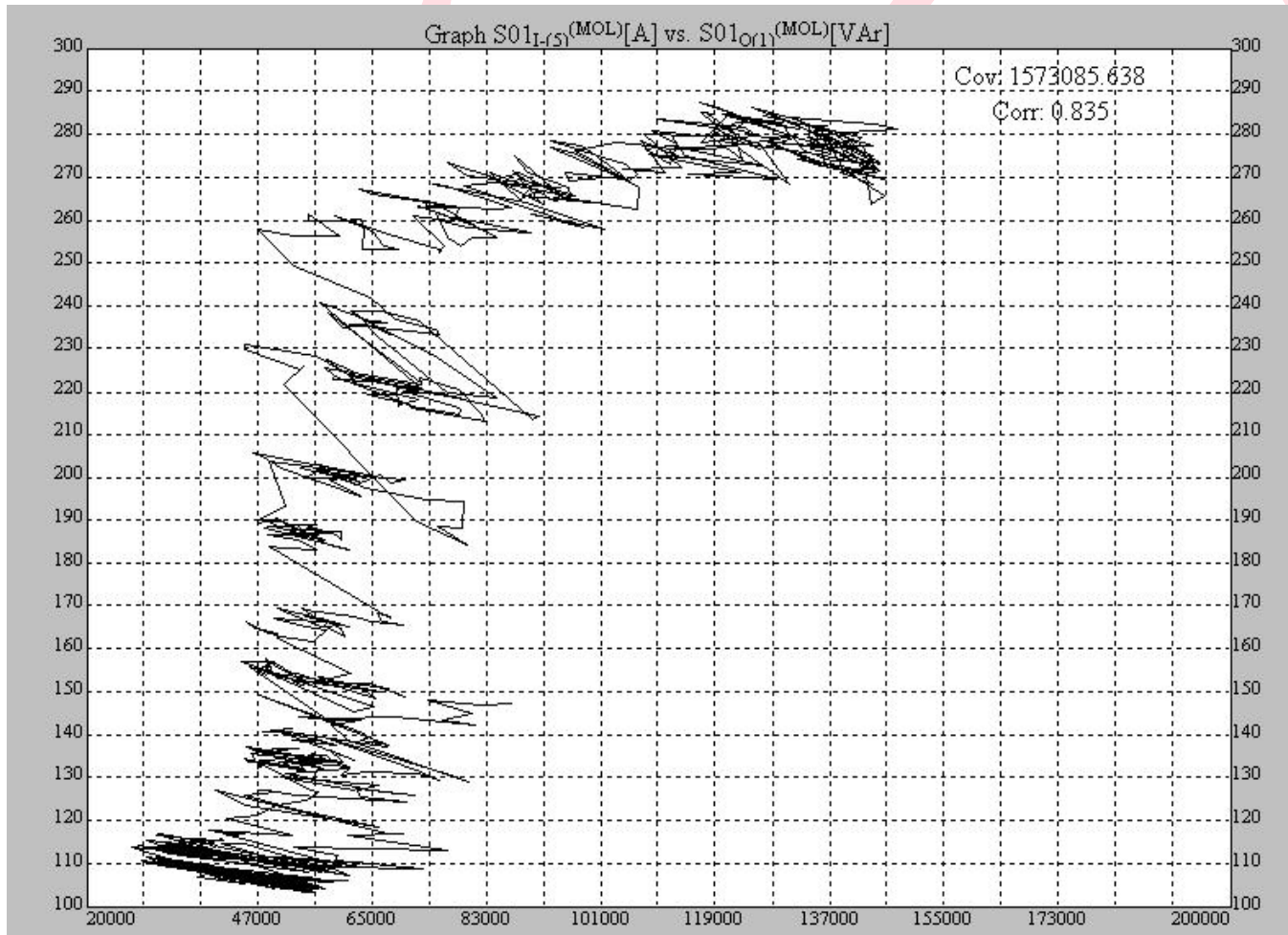
A mért hálózat:



Eredmények



Eredmények



Eredmények

Szoros korreláció:

$$I_5 - U_5$$

$$I_5 - Q_1$$

Meglévő meddő kompenzálás:

400 kVar névleges teljesítmény

50kVar egységként kapcsolható

Nem fojtózott

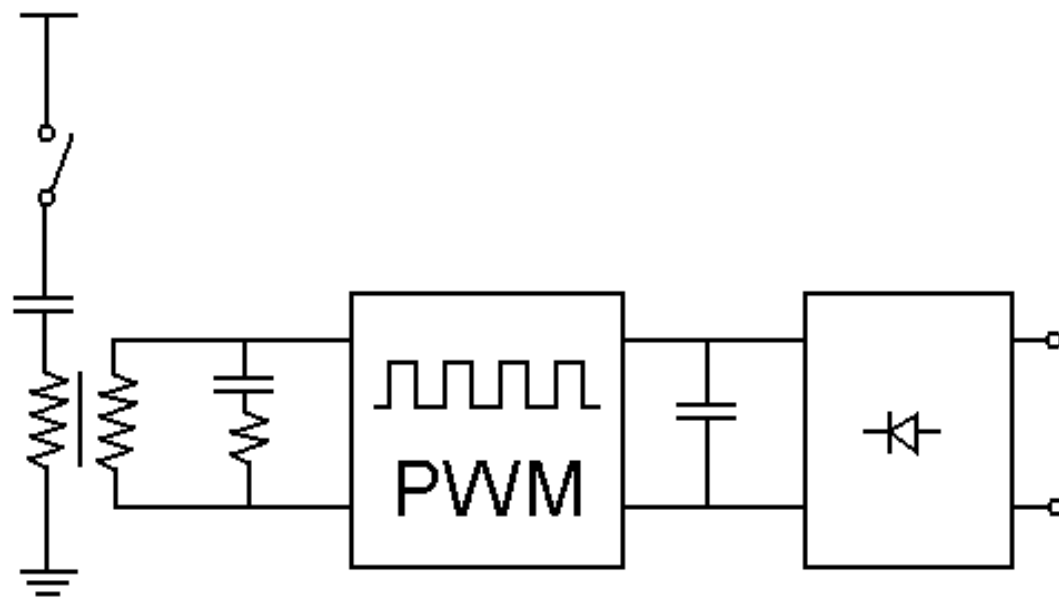


Lehetséges megoldások I.

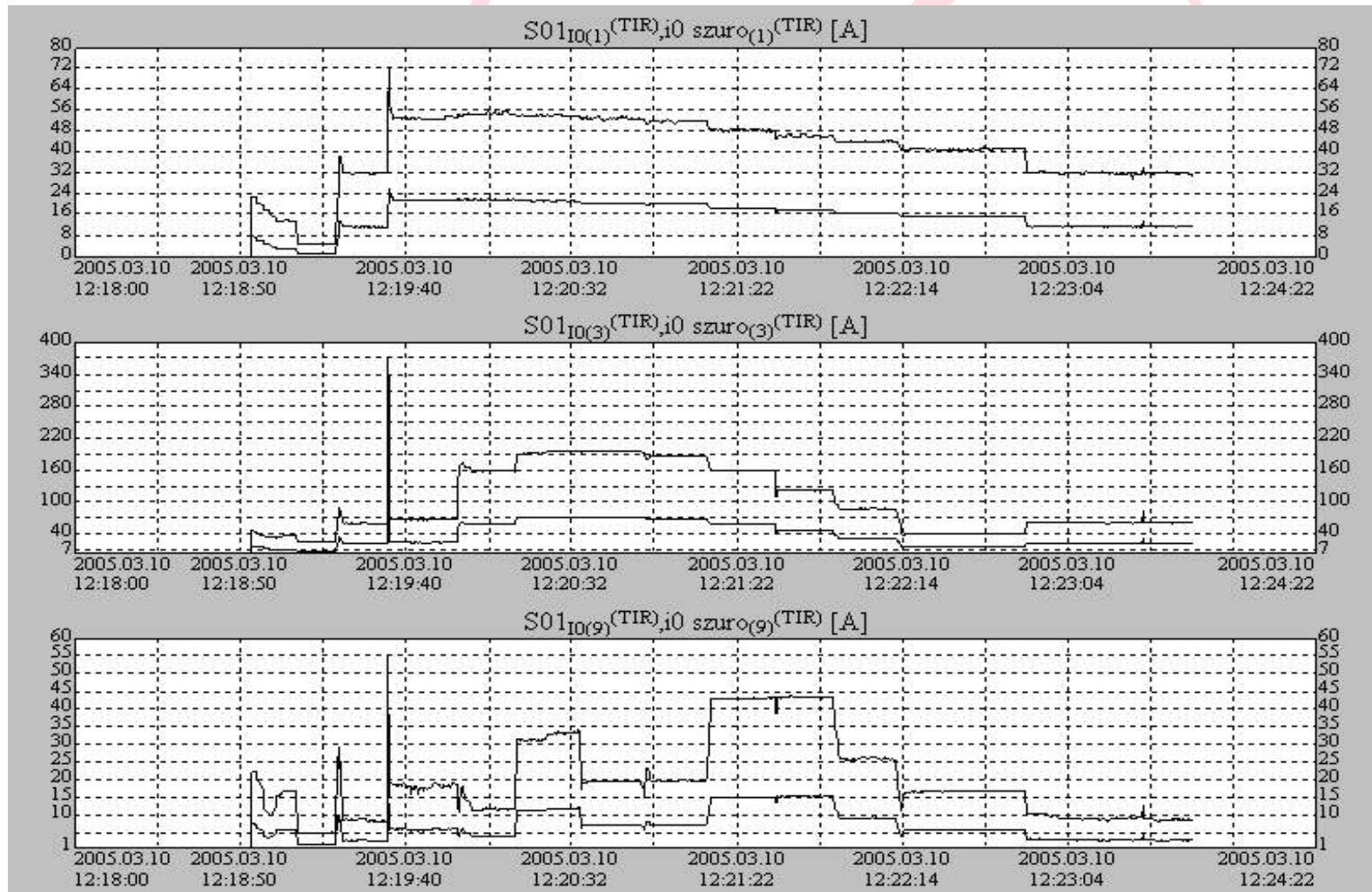
- 1.) Passzív hangolt szűrők
problémák:
 - Túlterhelődés a fölérendelt hálózat harmonikusaitól
 - Változó alapharmonikus meddő igény
- 2.) Aktív szűrő
 - Nincs alapharmonikus meddő kompenzálás
- 3.) Komplex aktív kompenzálás (Power conditioner)
 - Ár



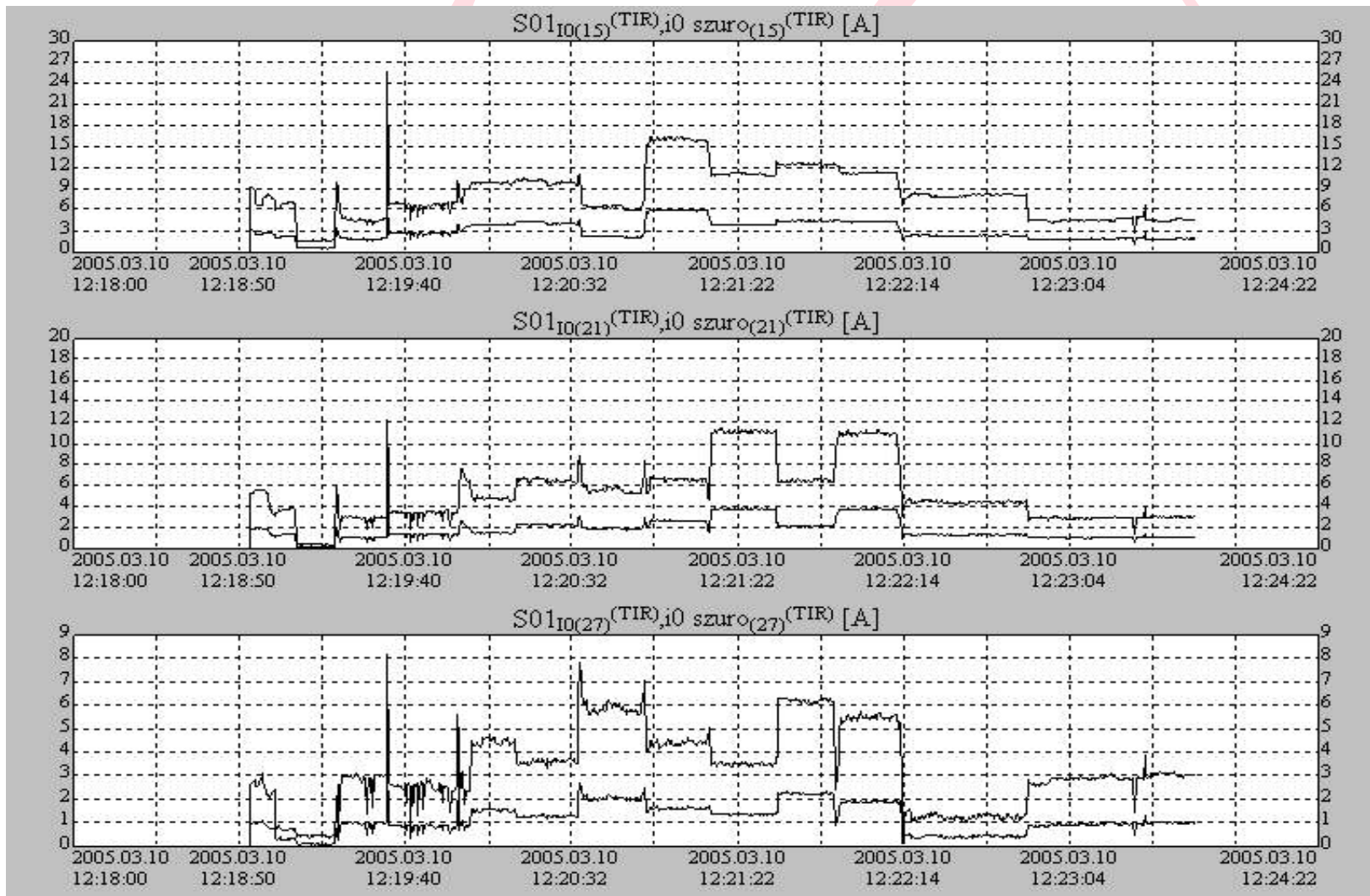
Javasolt megoldás



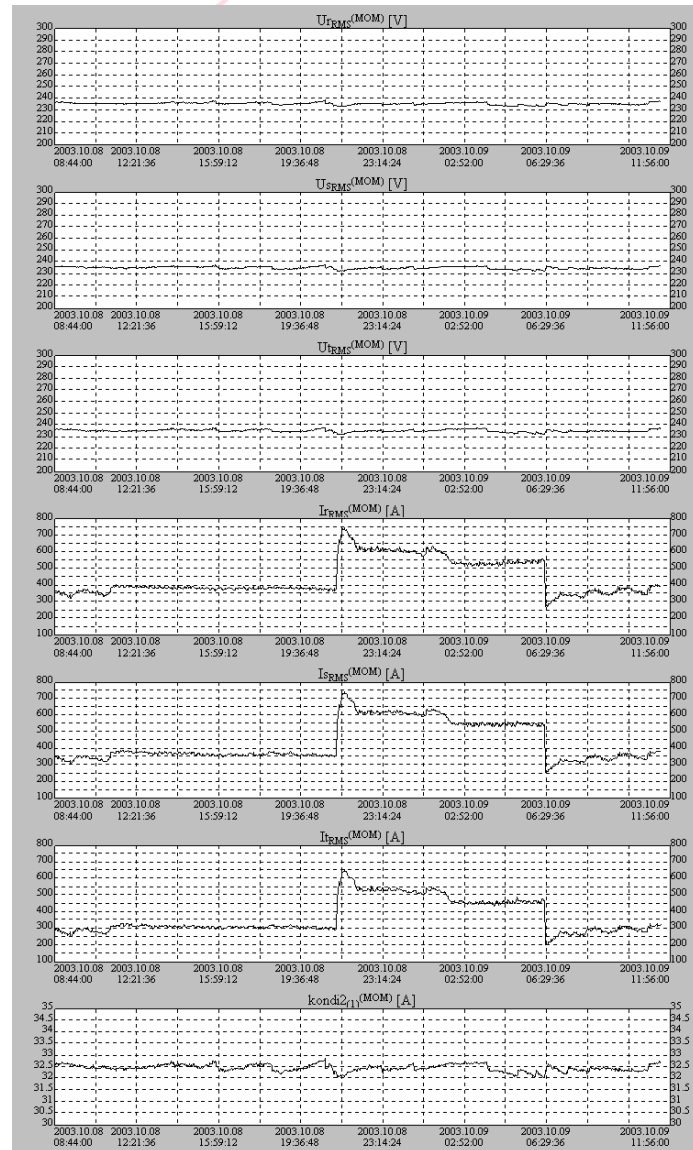
$h=3n$ szűrés Zeg-Zug fojtóval



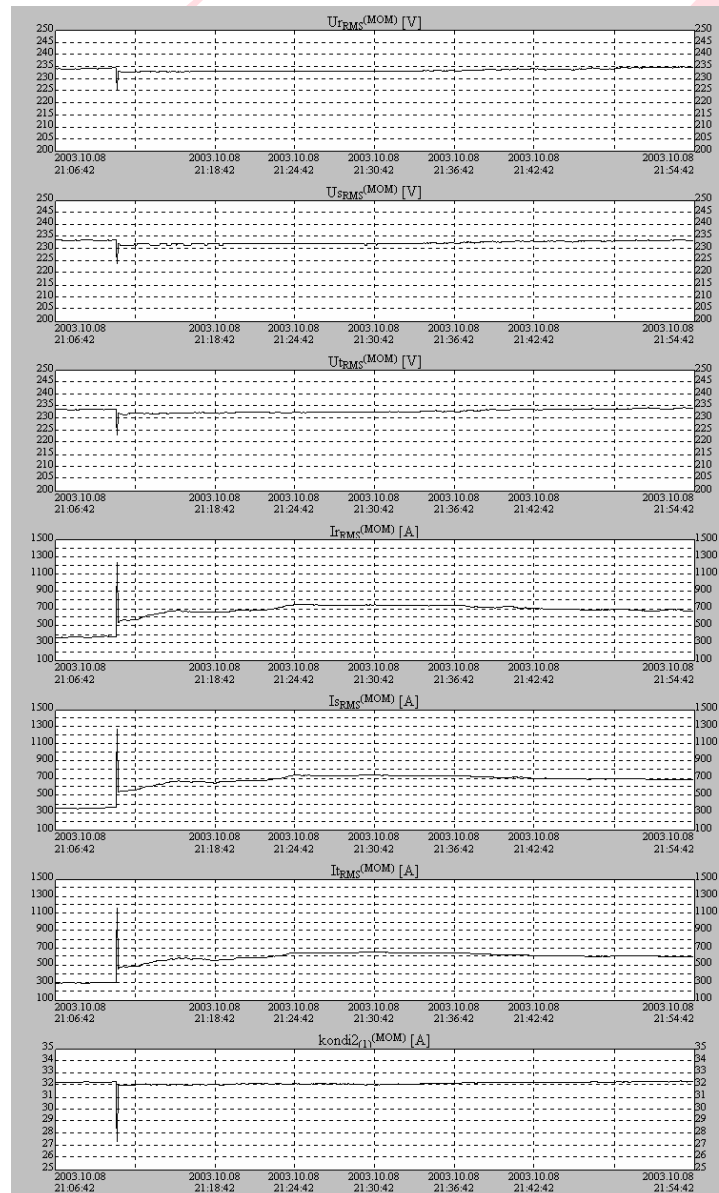
$h=3n$ szűrés Zeg-Zug fojtóval



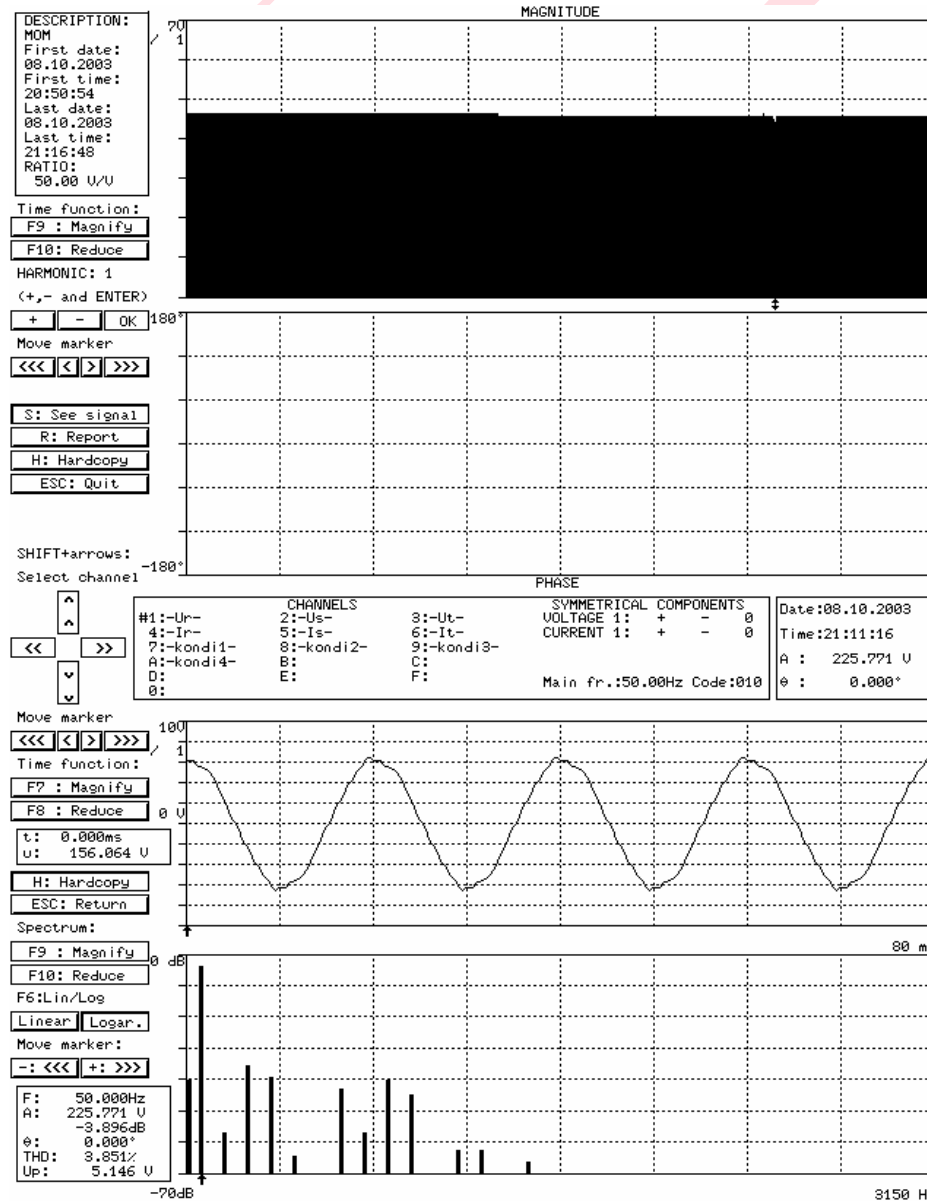
Esettanulmány 2



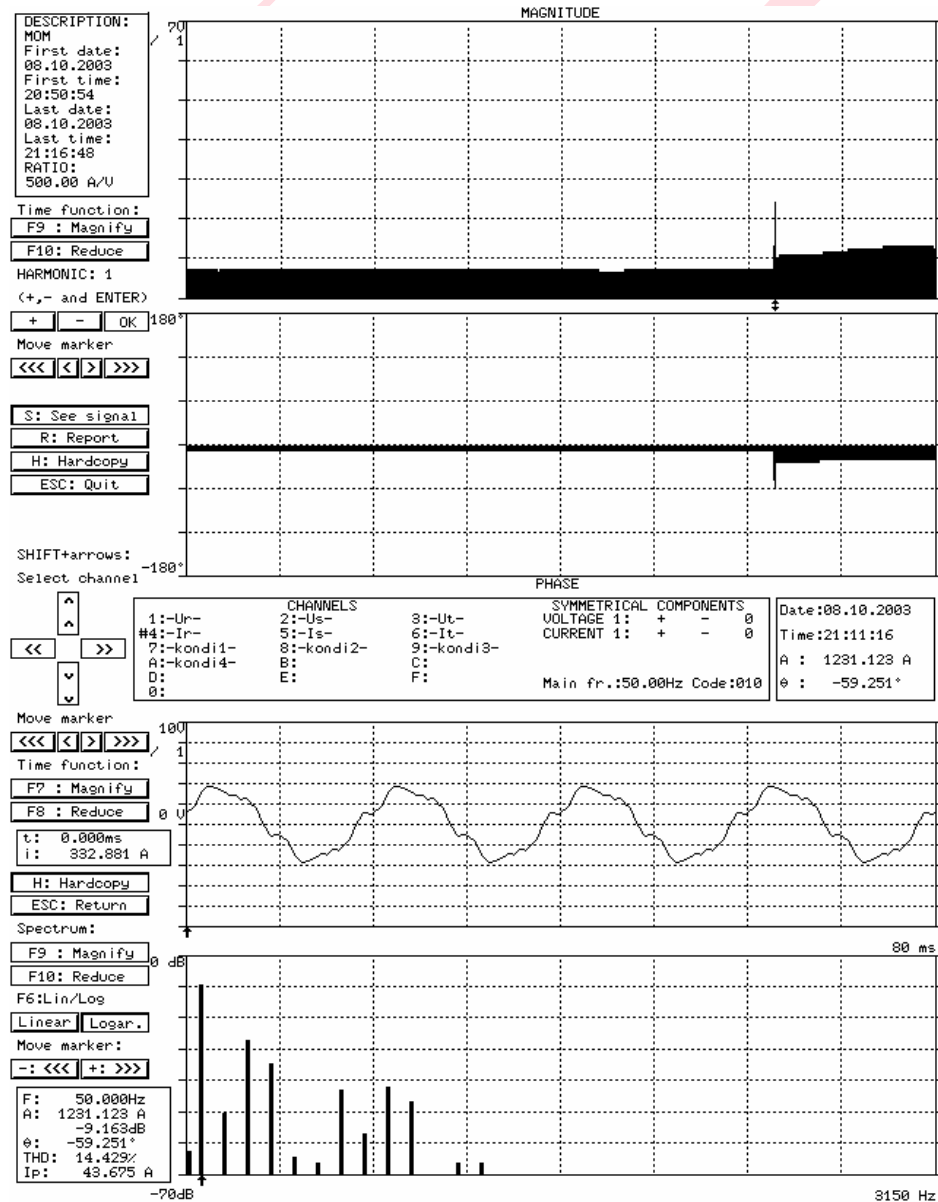
Esettanulmány 2



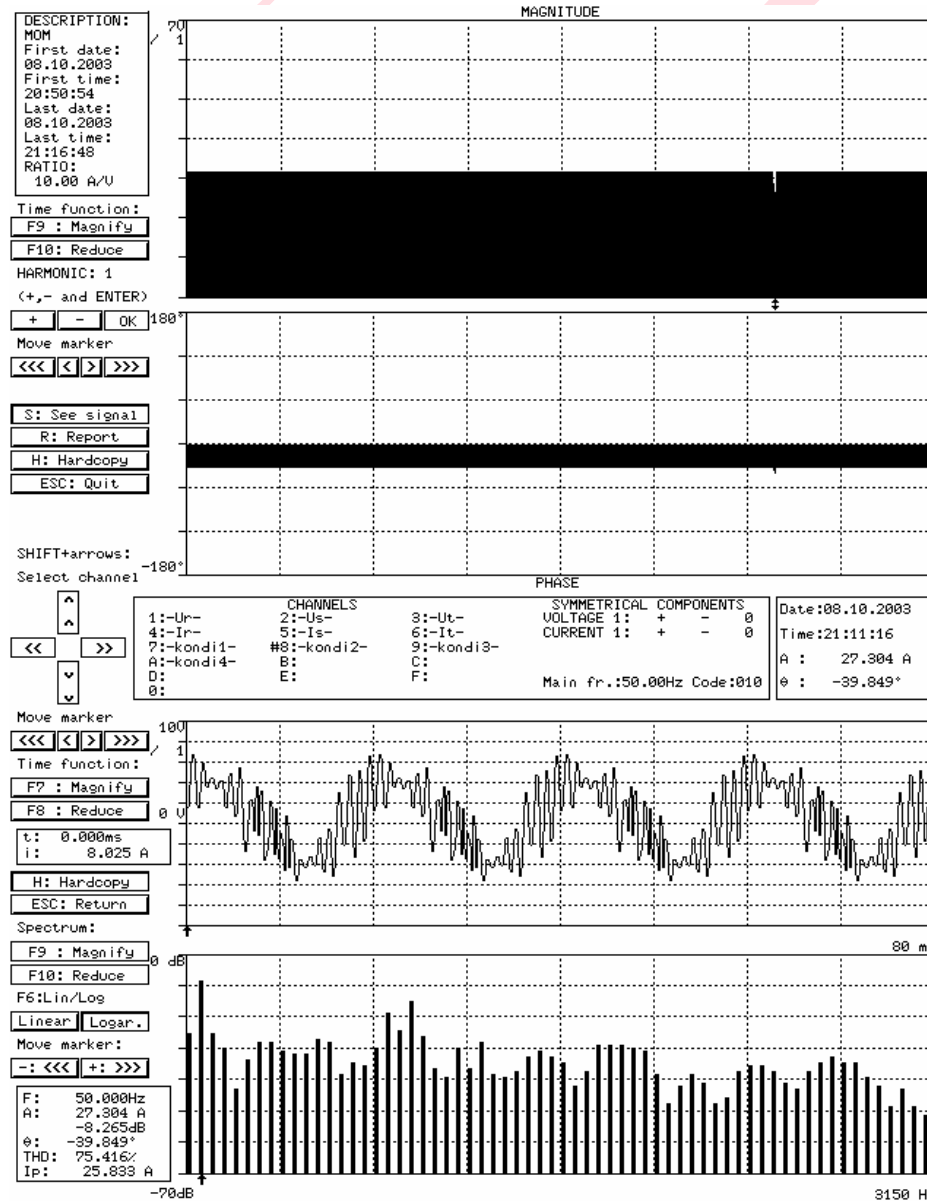
Esettanulmány 2



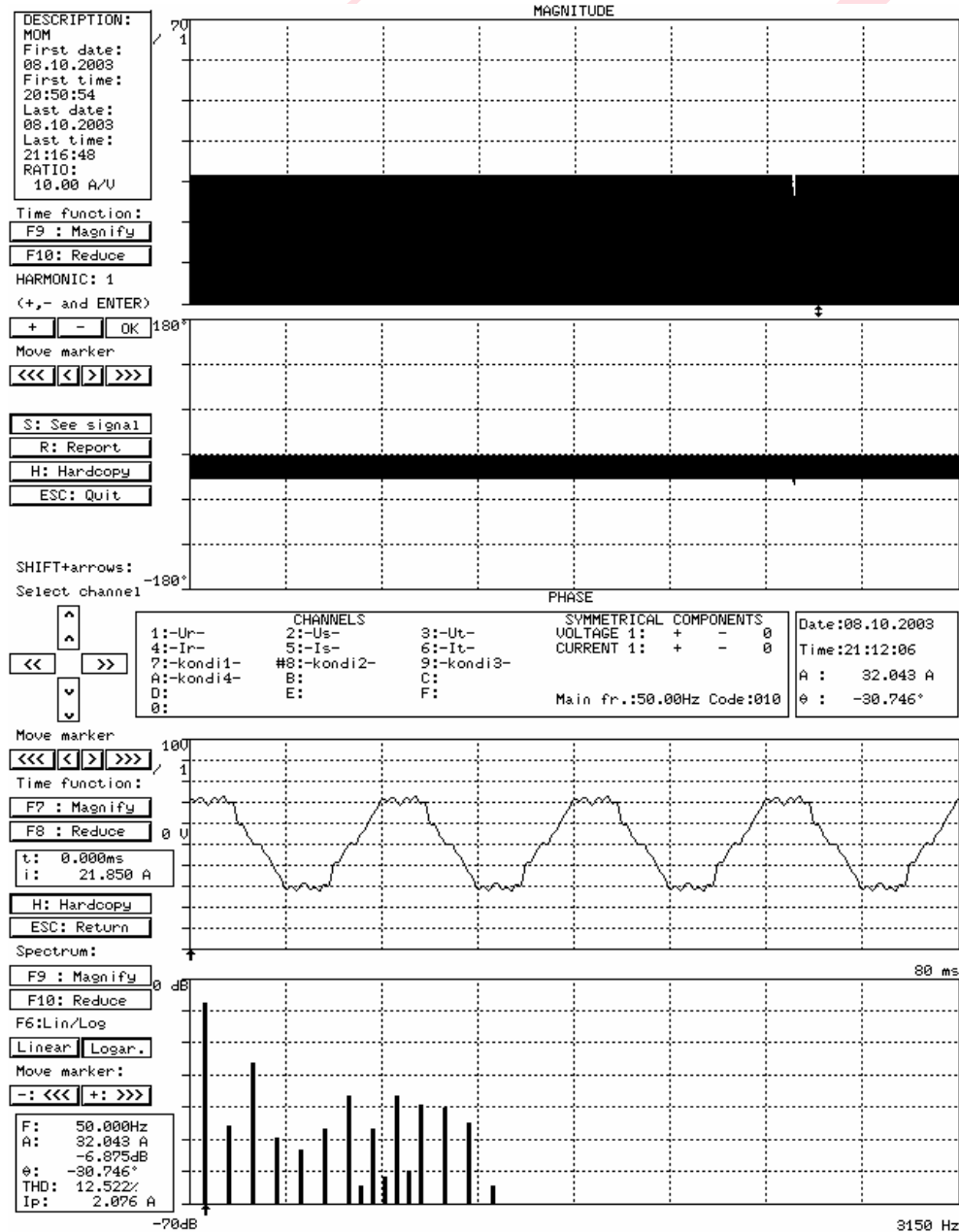
Esettanulmány 2



Esettanulmány 2



Esettanulmány 2



Teljesítmény mérés torzított hálózaton

Harmonikus hatásos teljesítmény:

$$P_h = P - P_1$$

Trigonometrikus összefüggések:

A keresztszorzatok ($k \neq m$) eredménye nulla

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T u i dt$$

$$P_1 = \frac{1}{T} \int_0^T u_1 i_1 dt$$

$$A. \int_0^{2\pi} \cos k\omega t \cos m\omega t d(\omega t)$$

$$B. \int_0^{2\pi} \sin k\omega t \cos m\omega t d(\omega t)$$

$$C. \int_0^{2\pi} \sin k\omega t \sin m\omega t d(\omega t)$$



Teljesítmény mérés torzított hálózaton

A látszólagos teljesítmény $S^2 = P^2 + Q^2$
harmonikusonként értelmezhető

$\Rightarrow S = U_{\text{eff}} \cdot I_{\text{eff}}$ nincs fizikai értelme

$$U_{\text{eff}}^2 = U_1^2 + \sum_{h=2}^{\infty} U_k^2,$$

$$I_{\text{eff}}^2 = I_1^2 + \sum_{m=2}^{\infty} I_m^2$$

$$U_{\text{eff}}^2 \cdot I_{\text{eff}}^2 = \left(U_1^2 + \sum_{k=2}^{\infty} U_k^2 \right) \left(I_1^2 + \sum_{m=2}^{\infty} I_m^2 \right) =$$

$$= U_1^2 I_1^2 + U_1^2 \sum_{m=2}^{\infty} I_m^2 + \sum_{k=2}^{\infty} U_k^2 \sum_{m=2}^{\infty} I_m^2 + I_1^2 \sum_{k=2}^{\infty} U_k^2$$

$$\frac{U_{\text{eff}}^2 \cdot I_{\text{eff}}^2}{U_1^2 I_1^2} = 1 + THD_I^2 + THD_U^2 \cdot THD_I^2 + THD_U^2,$$



Teljesítmény mérés torzított hálózaton

- Végtelen hálózat: $THD_U = 0$

$$\frac{S^2}{S_1^2} = 1 + THD_I^2$$

- Ha $THD_U \neq 0$

$$I_1^2 \sum_{k=2}^{\infty} U_k^2 \neq 0$$

$$U_1^2 \sum_{m=2}^{\infty} I_m^2 \neq 0$$

- Ezek a szorzatok nullát adnak.

$$\sum_{k=2}^{\infty} U_k^2 \cdot \sum_{m=2}^{\infty} I_m^2 > \sum_{k=2}^{\infty} U_k^2 I_k^2$$

- Eredmény. $S^2 = P^2 + Q^2$
nem alkalmas Q_1
számítására, ha S és P a
mért mennyiségek



Teljesítmény mérés torzított hálózaton

$$\frac{U_{eff}^2 \cdot I_{eff}^2}{U_1^2 I_1^2} = 1 + THD_I^2 + THD_U^2 \cdot THD_I^2 + THD_U^2,$$

$$THD_U^2$$

$$\frac{S^2}{S_1^2} \approx 1 + THD_I^2 = \frac{P_1^2 + Q_1^2 + D^2}{P_1^2 + Q_1^2}$$

$$1 + \frac{D^2}{S_1^2} \approx 1 + THD_I^2$$

$$D \approx S_1 \cdot THD_I$$



Teljesítmény mérés torzított hálózaton

$$THD_I = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}}{I_1}$$

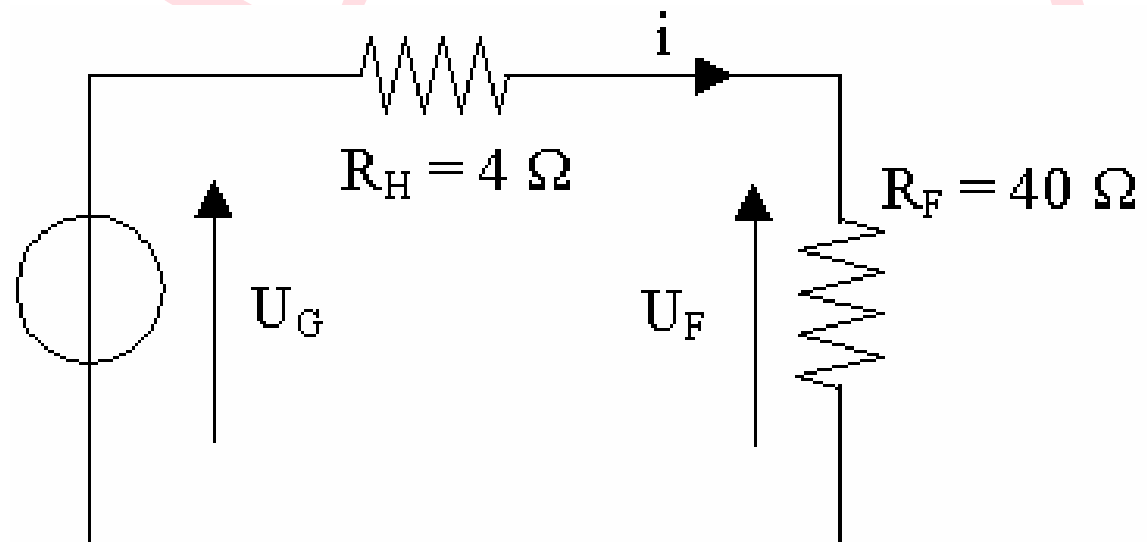
$$THD_I^* = \frac{\sqrt{\frac{1}{T} \int_t^{t+T} i^2(\tau) d\tau - i_{1eff}^2(t)}}{i_{1eff}(t)}$$

$$THD_U^* = \frac{\sqrt{\frac{1}{T} \int_t^{t+T} [u(\tau) - u_1(\tau)]^2 d\tau}}{u_{1eff}(t)}$$



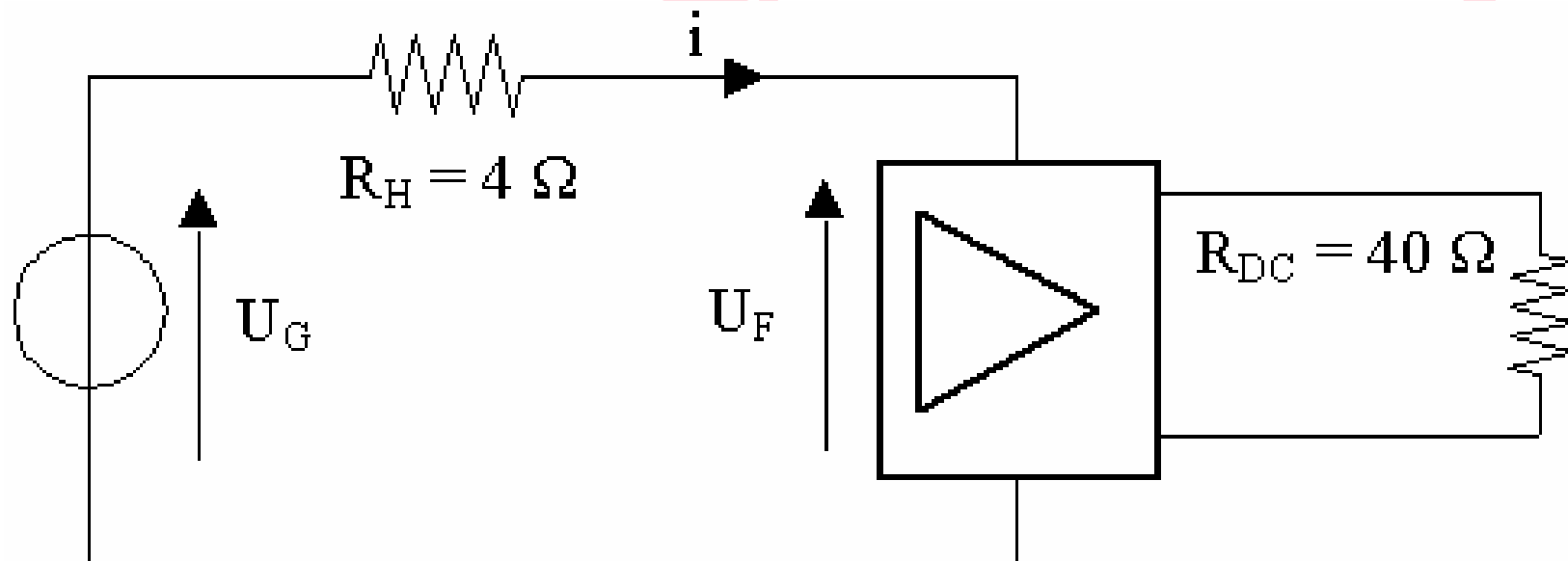
Teljesítmény mérés torzított hálózaton

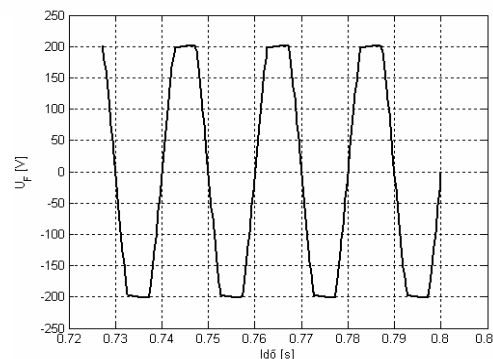
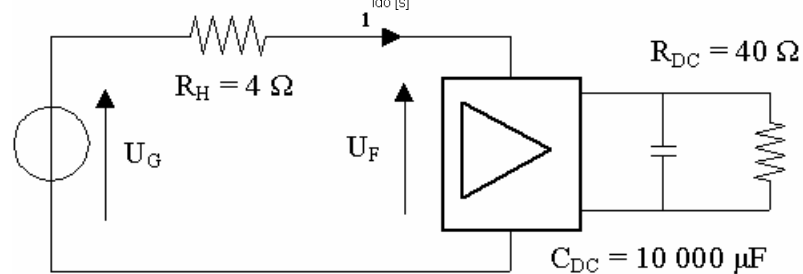
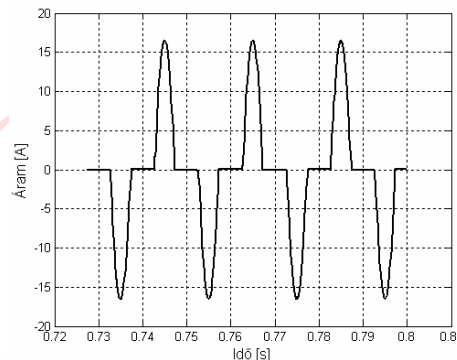
$U_G = 311.16 \text{ V}$, $U_F = 282.81 \text{ V}$
 $P_F = 1000 \text{ W}$, $P_H = 100 \text{ W}$



Teljesítmény mérés torzított hálózaton

$U_G = 311.16 \text{ V}$, $U_G = 282.81 \text{ V}$
PF teljes = 999.9570 W, PF 1 = 999.6945 W, PDC = 999.9656 W, PH = 99.9966 W





$$U_G = 266.15 \text{ V}, U_F = 228.16 \text{ V}$$

$$\text{THDI} = 67.93 \%$$

$$P_G = 1264.1 \text{ W}$$

$$P_F 1 = 1083.7 \text{ W}, P_F 3 = -74.4099 \text{ W}, P_F 5 = -6.9409 \text{ W}, P_F \text{ teljes} = 1000.3 \text{ W}, P_{DC} = 1000.3 \text{ W}$$

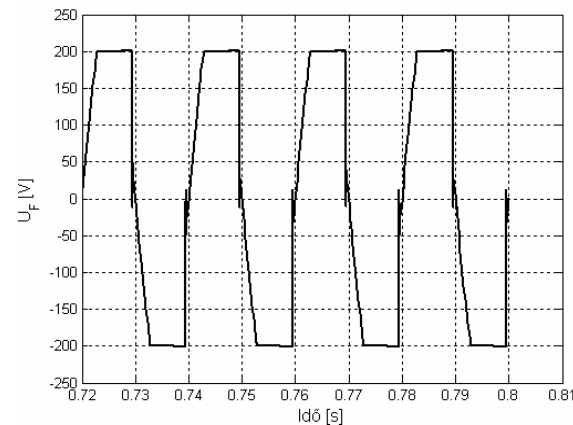
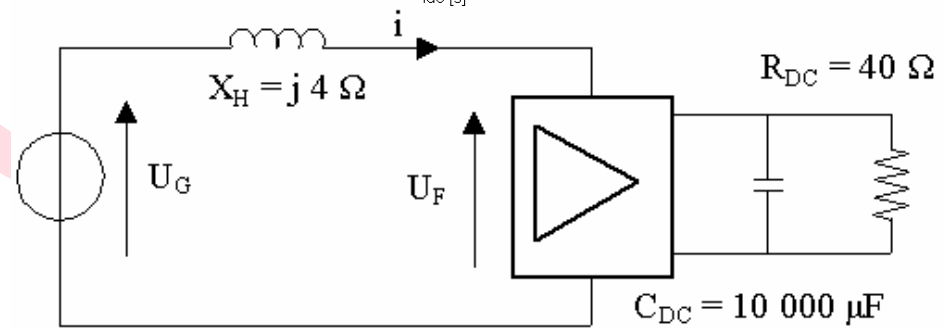
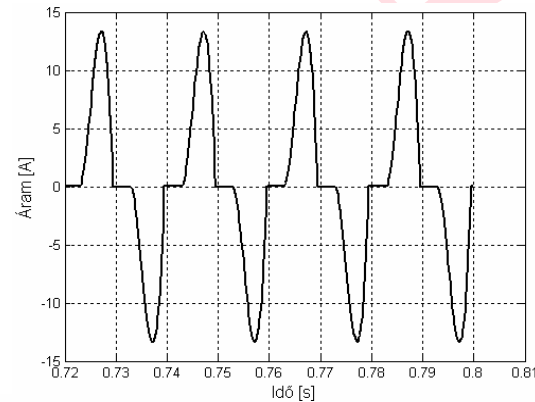
$$P_H 1 = 180.4911 \text{ W}, P_H 3 = 74.4018 \text{ W}, P_H 5 = 6.9711 \text{ W}, P_H \text{ teljes} = 263.7778 \text{ W}$$

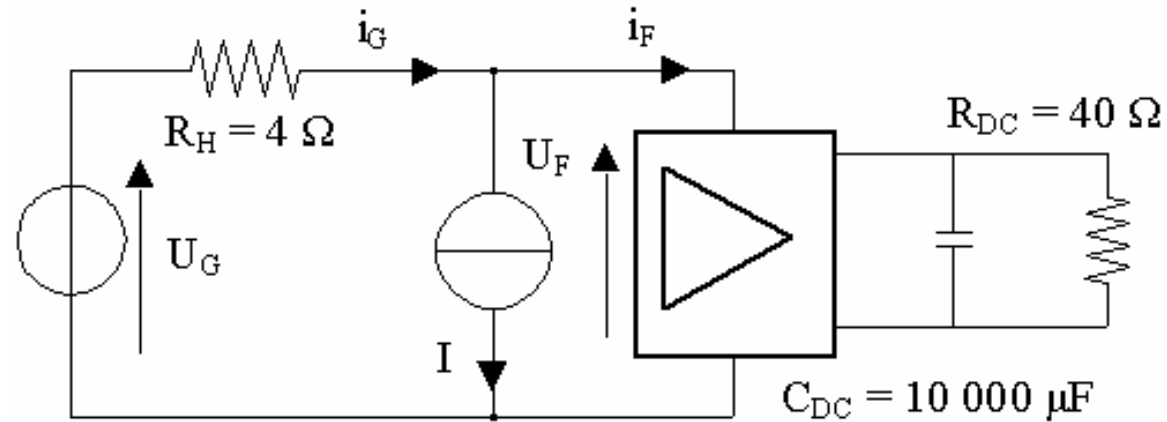
$$Q_F 1 = -13.1458 \text{ VAR}, Q_F 3 = 0.0269 \text{ VAR}$$

$$D_F = 750.9244 \text{ VA}, D_G = 858.7440 \text{ VA},$$



$U_G = 257.99 \text{ V}$, $U_F = 240.47 \text{ V}$
 $\text{THDI} = 47.83 \%$
 $\text{PG} = 1000.2 \text{ W}$
 $\text{PF}_1 = 1000 \text{ W}$, $\text{PF}_{\text{teljes}} = 999.4472 \text{ W}$, $\text{PDC} = 999.4228 \text{ W}$
 $\text{QG}_1 = 628.1799 \text{ VAR}$
 $\text{QF}_1 = 460.3127 \text{ VAR}$, $\text{QF}_3 = -107.4609 \text{ VAR}$, $\text{QF}_5 = -6.6982 \text{ VAR}$
 $\text{QH}_1 = 167.8669 \text{ VAR}$, $\text{QH}_3 = 107.5081 \text{ VAR}$, $\text{QH}_5 = 6.8973 \text{ VAR}$
 $\text{DF} = 612.4619 \text{ VA}$, $\text{DH} = 323.0124 \text{ VA}$, $\text{DG} = 564.9543 \text{ VA}$





$$U_G = 239.0 \text{ V}, U_F = 200.18 \text{ V}, I = 12.5 \text{ A} : 150 \text{ Hz} : 0\text{o}$$

$$\text{THDI} = 70.27 \%$$

$$\text{PG} = 1161.1 \text{ W}$$

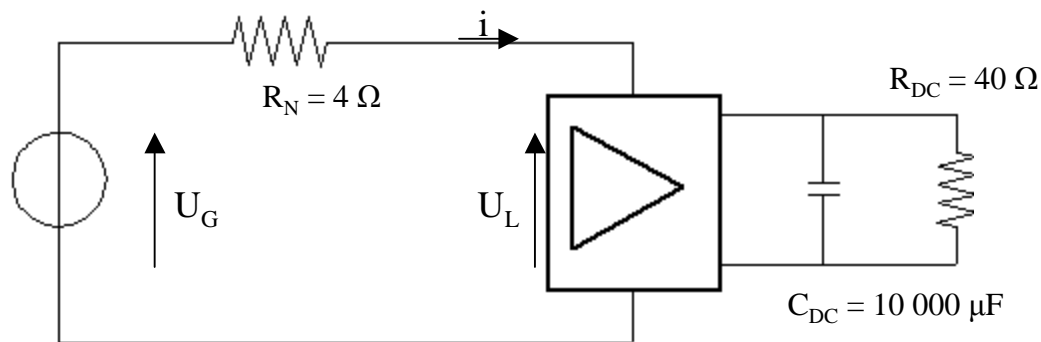
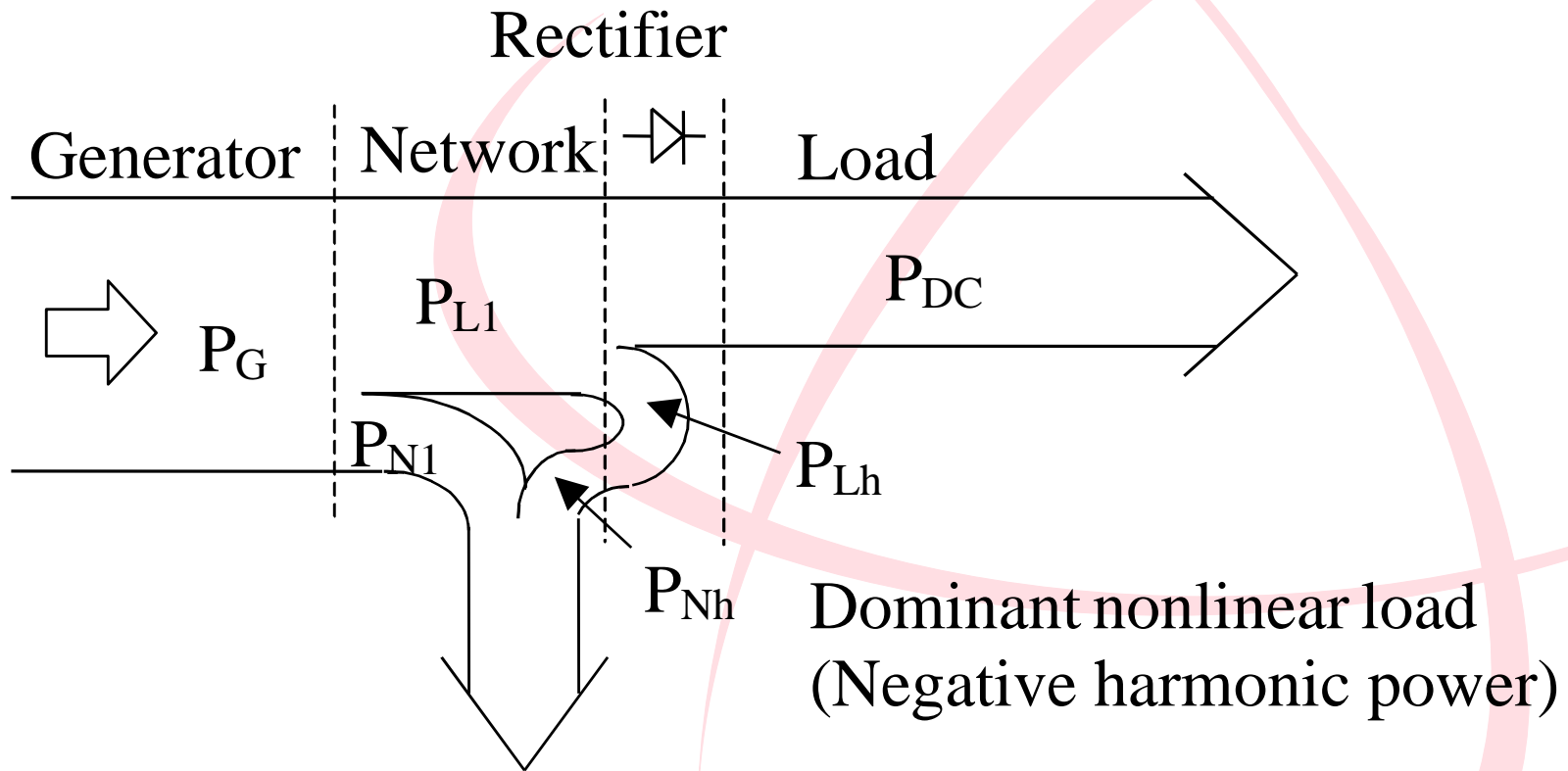
$$\text{PF1} = 972.7326 \text{ W}, \text{PF3} = + 74.3844 \text{ W}, \text{PF5} = -39.7848 \text{ W}, \text{PF}_{\text{teljes}} = 1000.7 \text{ W}, \text{PDC} = 1000.7 \text{ W}$$

$$\text{PH 1} = 188.7636 \text{ W}, \text{PH 3} = 47.1269 \text{ W}, \text{PH 5} = 39.6025 \text{ W}, \text{PH}_{\text{teljes}} = 281.9605 \text{ W}$$

$$\text{QF 1} = -7.7574 \text{ VAR}, \text{QF 3} = -3.9274 \text{ VAR}$$

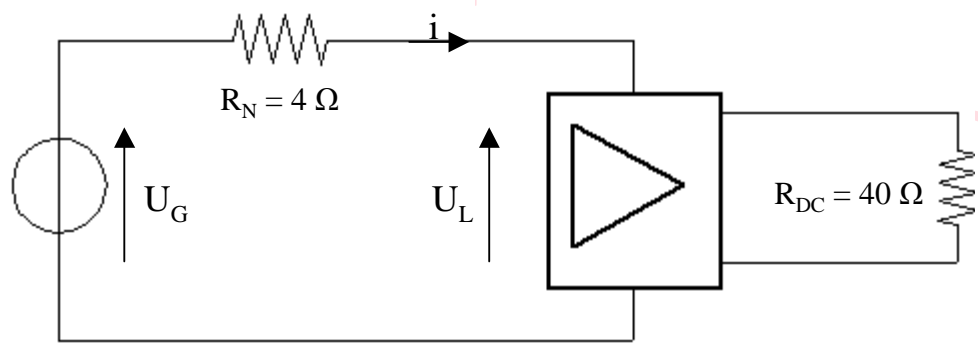
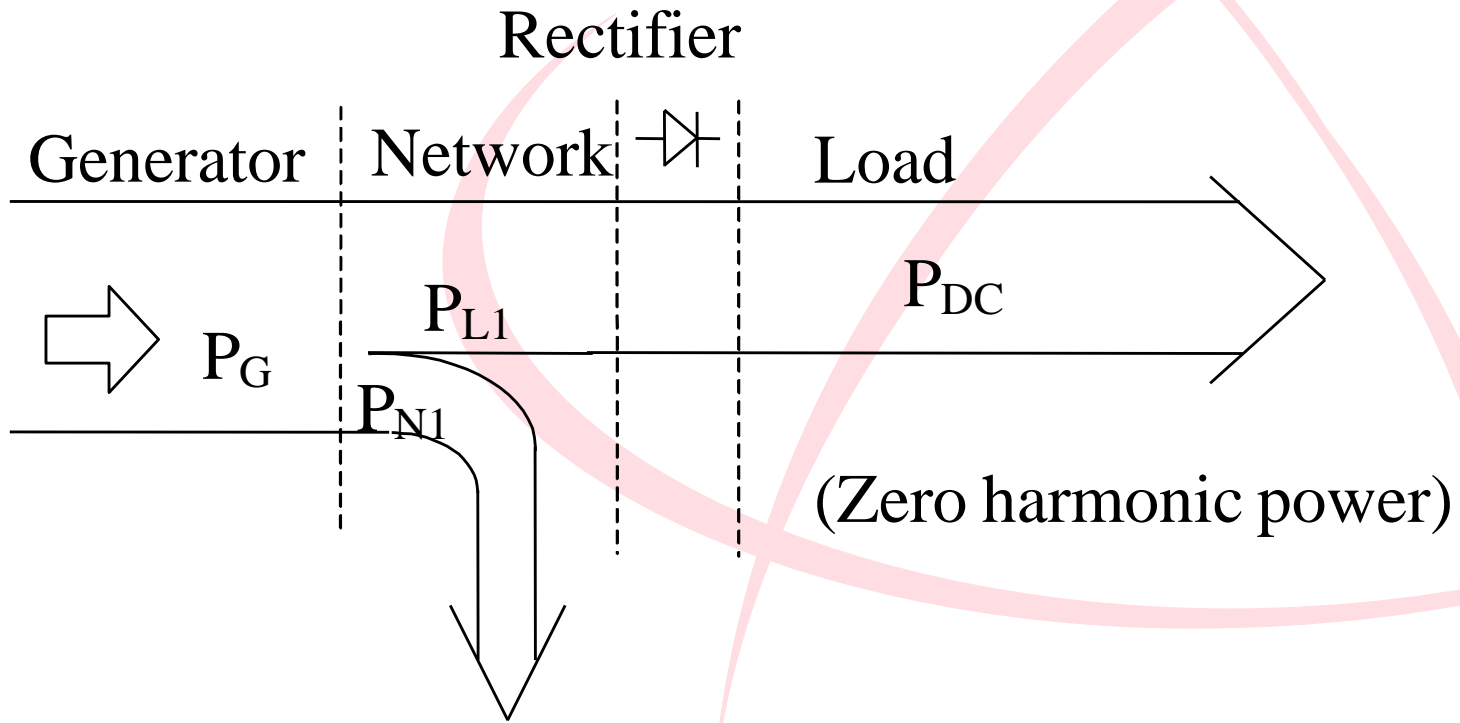
$$\text{DF} = 920.8262 \text{ VA}, \text{DG} = 815.6794 \text{ VA},$$



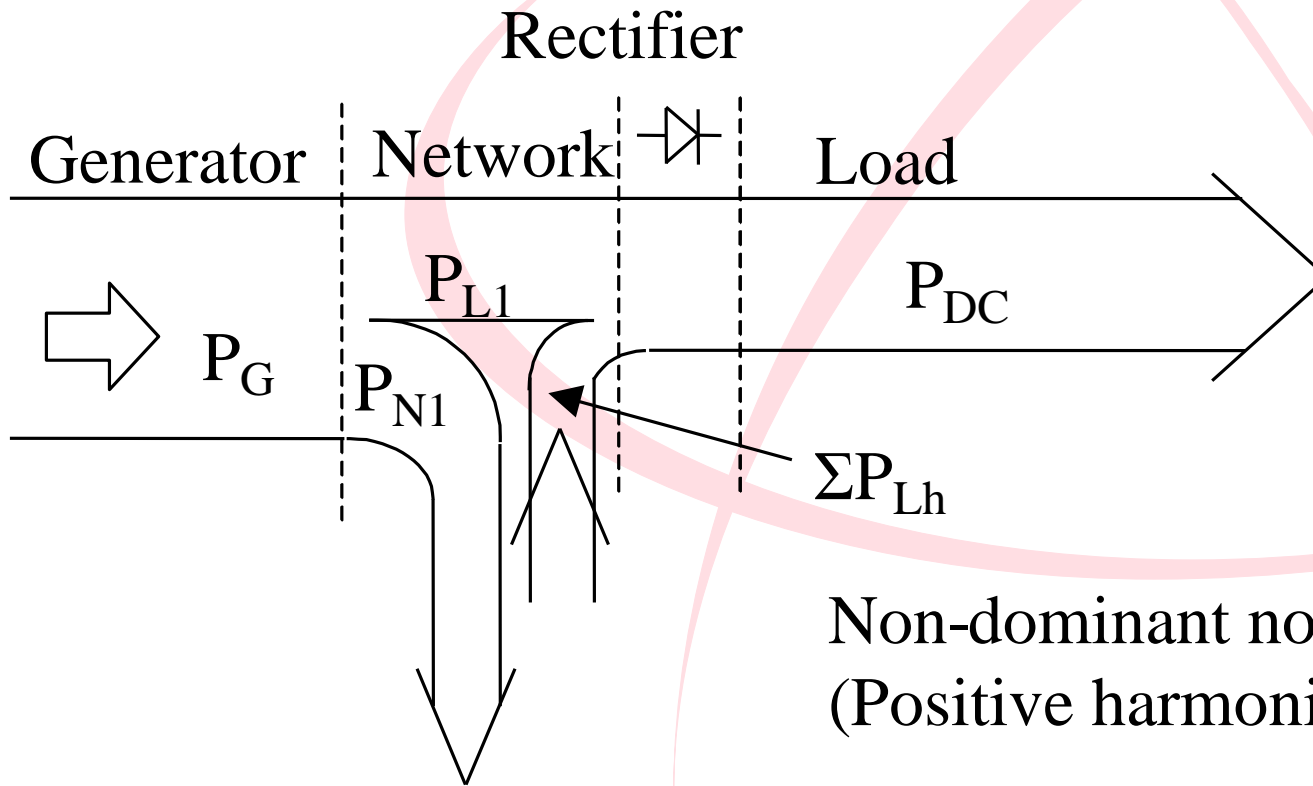


$$\begin{aligned}
 P_G &= 1264 \text{ W}, P_{DC} = \mathbf{1000 \text{ W}} \\
 P_{L1} &= \mathbf{1084 \text{ W}}, P_{Lh} = \mathbf{-84 \text{ W}} \\
 P_{L \text{ IECcomplying}} &= 1000 \text{ W} \\
 P_{L \text{ proposed}} &= 1084 \text{ W}
 \end{aligned}$$

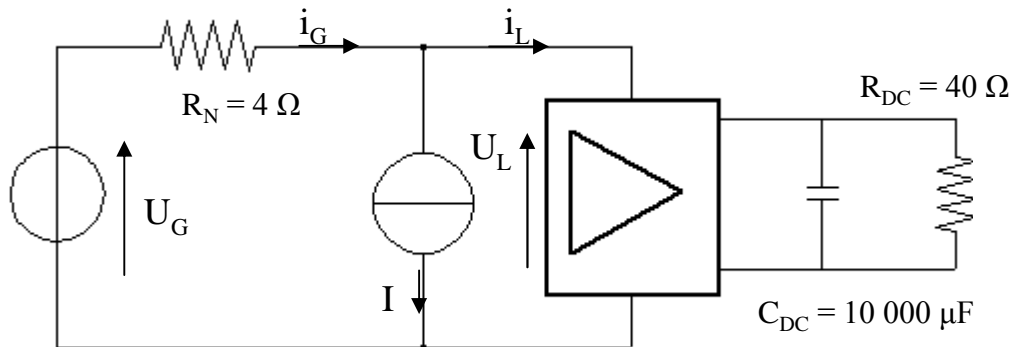




Teljesítmény mérés torzított hálózaton



Non-dominant nonlinear load
(Positive harmonic power)



- $P_G = 1161 \text{ W}, P_{DC} = 1000 \text{ W}$
- $P_{L1} = 972 \text{ W}, \Sigma P_{Lh} = 28 \text{ W}$
- $P_{L \text{ IECcomplying}} = 1000 \text{ W}$
- $P_{L \text{ proposed}} = 1046 \text{ W}$

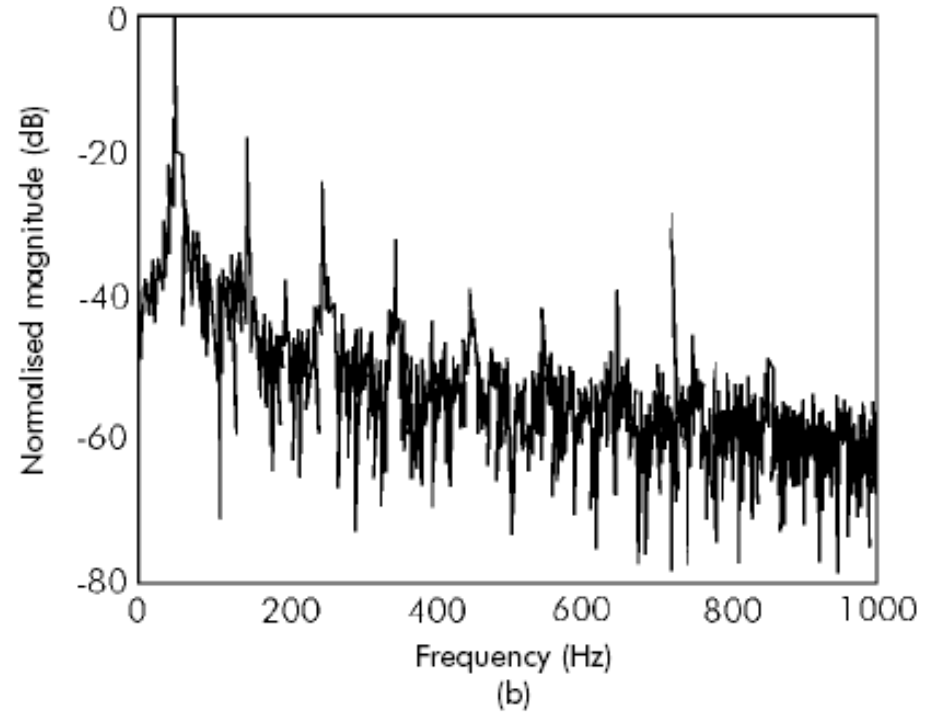
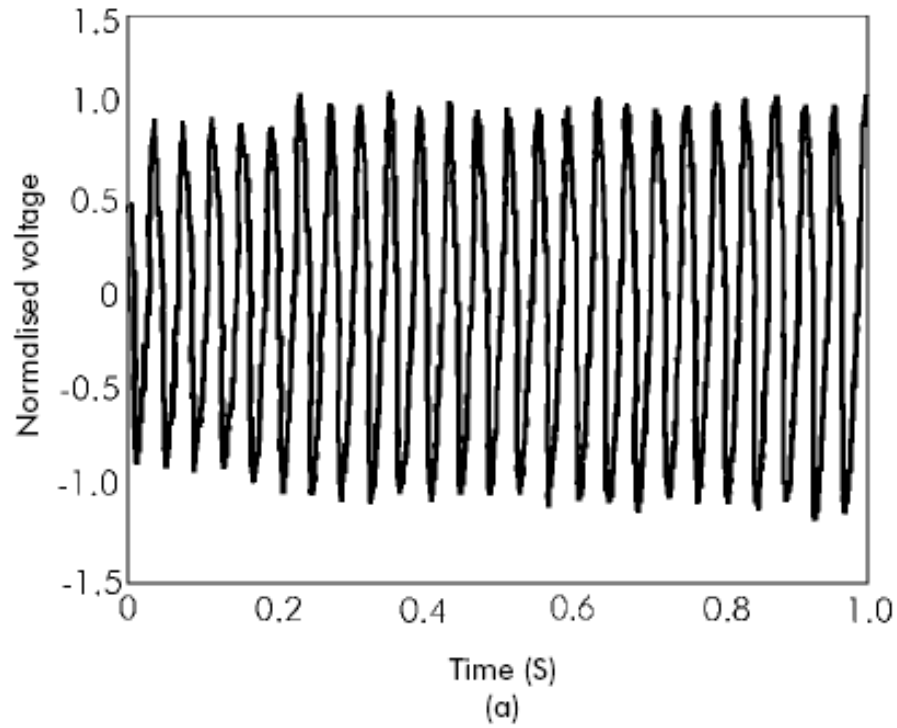


Közbenső harmonikusok

- Nemkarakterisztikus harmonikusok
 - Gyújtásszög aszimmetria
 - Tápfeszültség, tápimpedancia aszimmetria
 - Közbenső harmonikusok
 - Amplitúdó változás
 - Fázisszög változás
 - Nem szinkron vezérlésű félvezető eszközök (aszinkron kaszkád, ISZM hajtások)
 - Ívelő terhelések
 - HKV
- Jellemző: spektrum

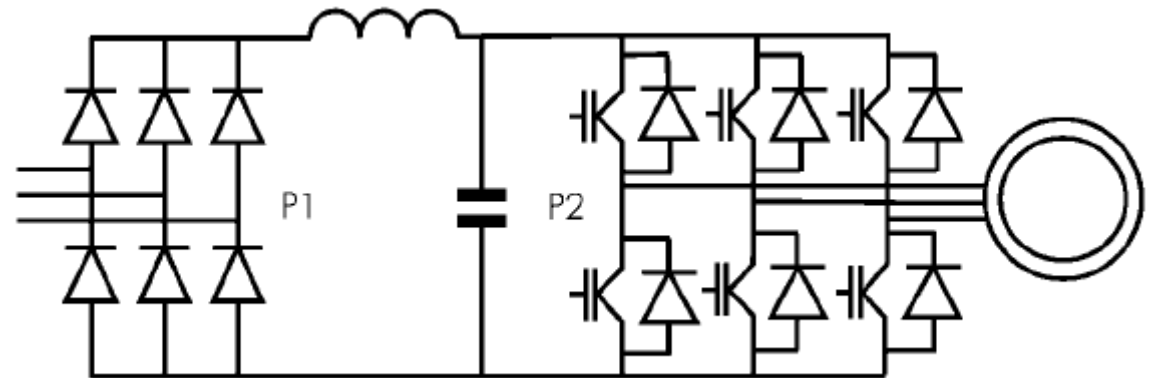
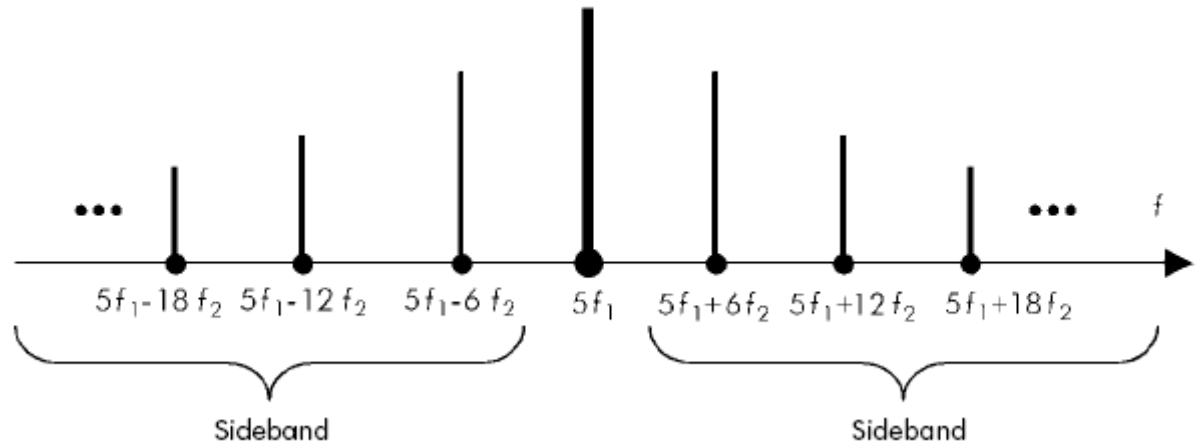


Közbenső harmonikusok

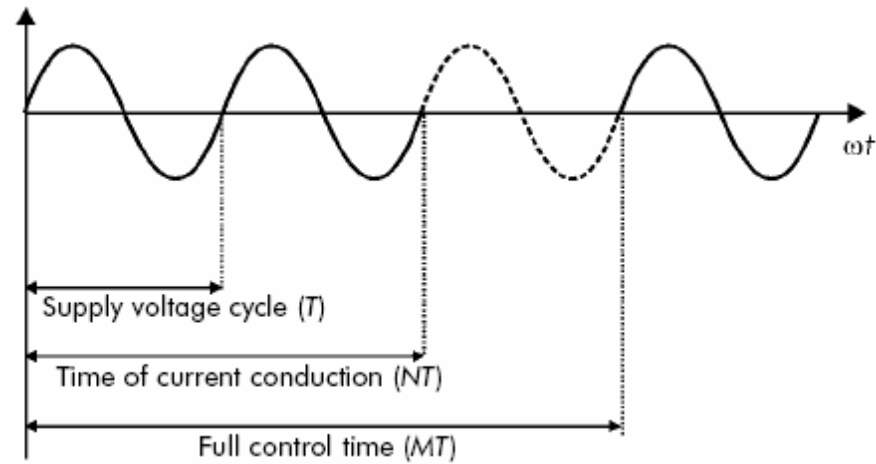
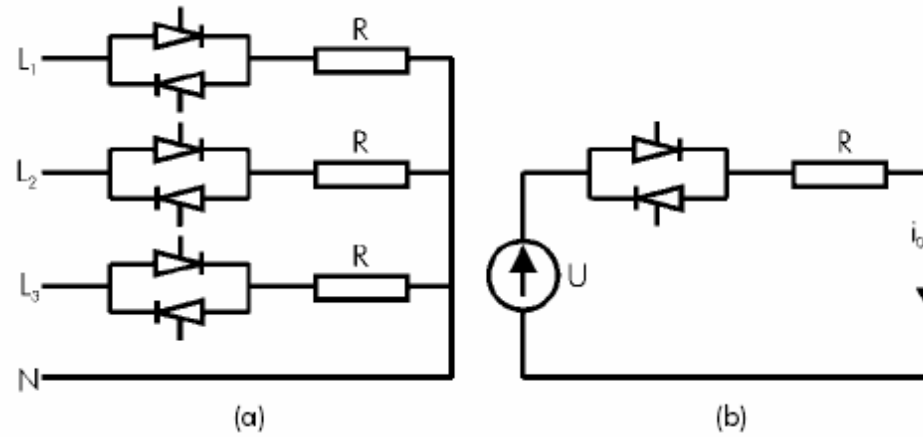


Közbenső harmonikusok

- $(kp_1 \pm 1)f_1$
 $\pm np_2f_2$



Közbenső harmonikusok



Közbenső harmonikusok

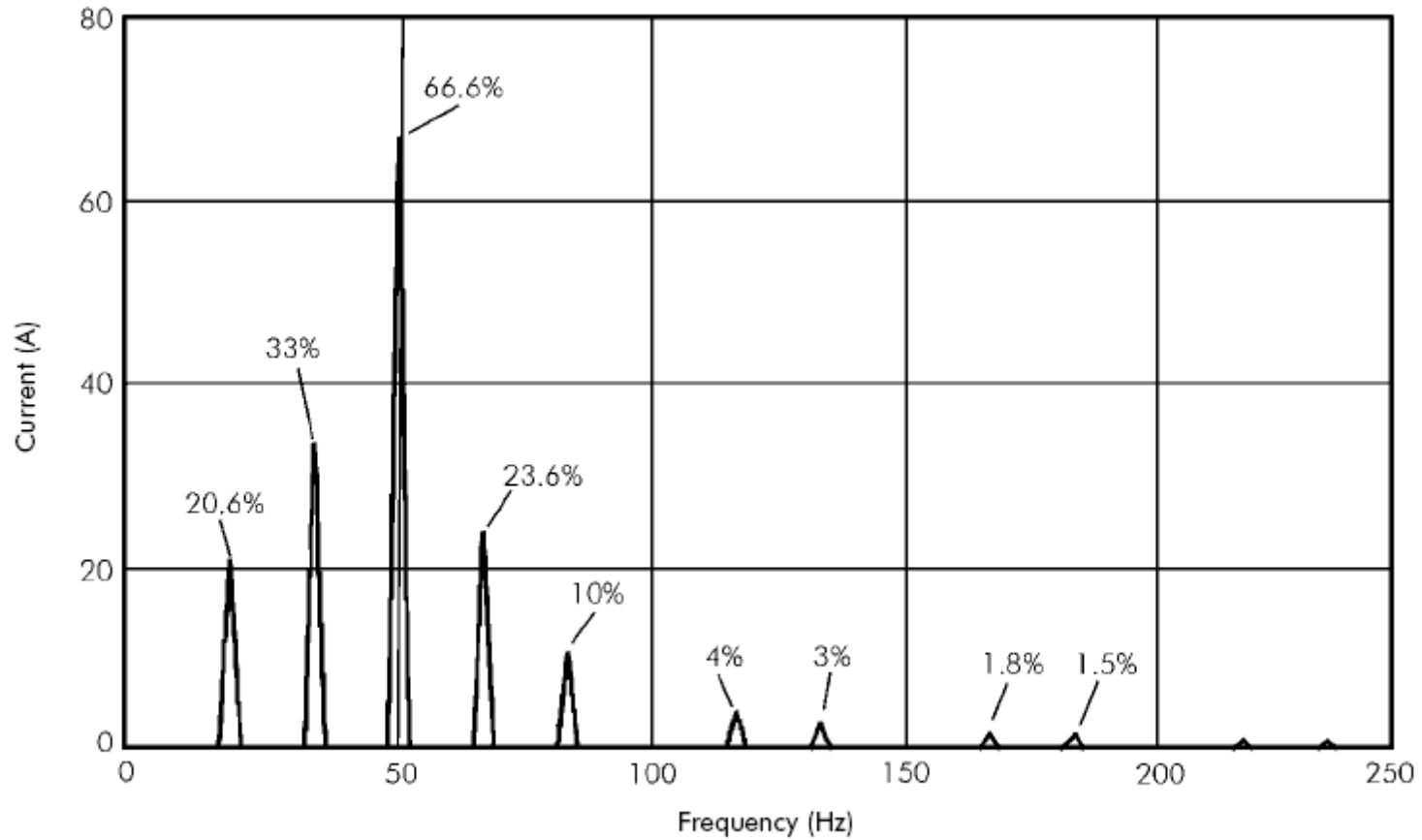


Figure 9 - Spectrum of the current for $N = 2, M = 3$



Közbenső harmonikusok

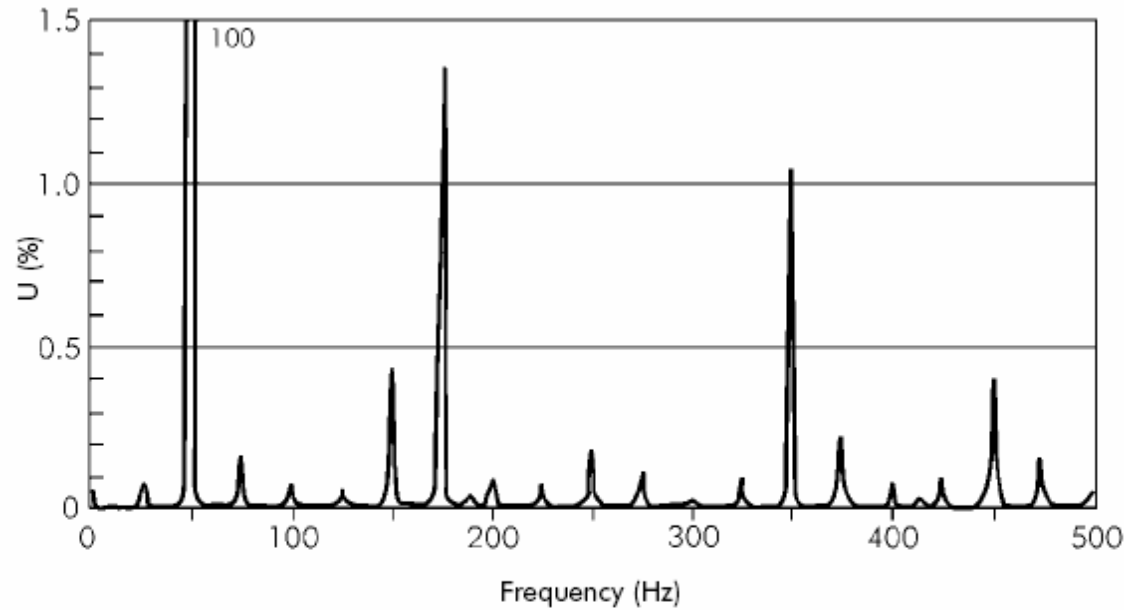
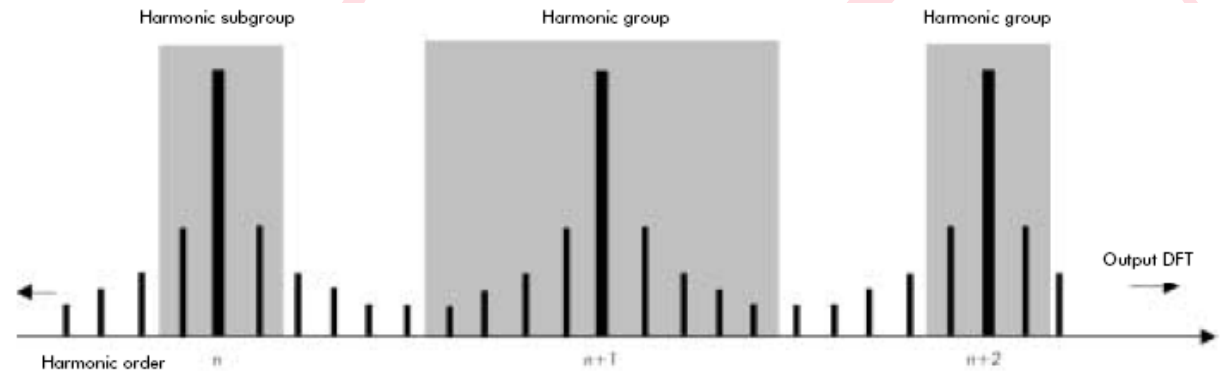


Figure 10 - FFT results for the voltage during emission of data transmission signal ($U_{ih} = 1.35\%$, $f(U_{ih}) = 175$ Hz)



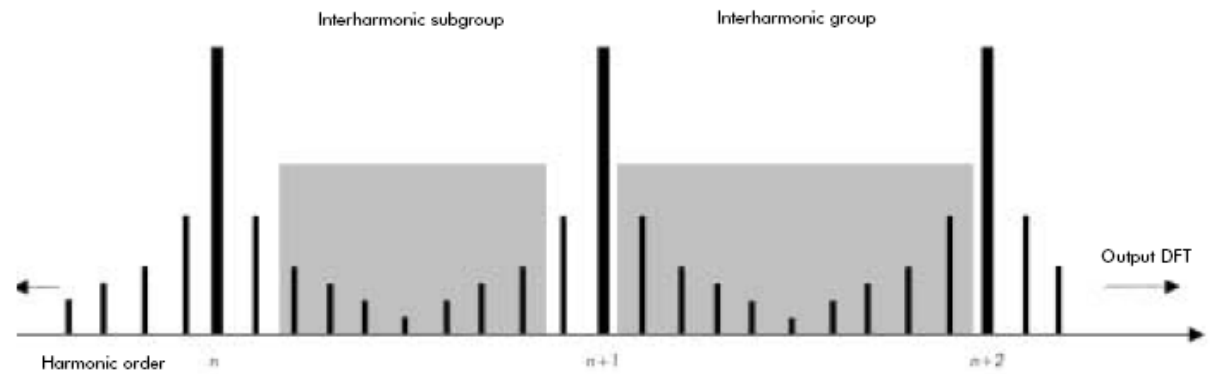
Közbenső harmonikusok



$$G_{sg,n}^2 = \sum_{k=-1}^1 C_{k+i}^2$$

$$G_{g,n+1}^2 = \frac{C_{k-5}^2}{2} + \sum_{k=-4}^4 C_{k+i}^2 + \frac{C_{k+5}^2}{2}$$

$$G_{sg,n+2}^2 = \sum_{k=-1}^1 C_{k+i}^2$$



$$C_{isg,n}^2 = \sum_{i=2}^8 C_{k+i}^2$$

$$C_{ig,n+1}^2 = \sum_{i=1}^9 C_{k+i}^2$$



Közbenső harmonikusok

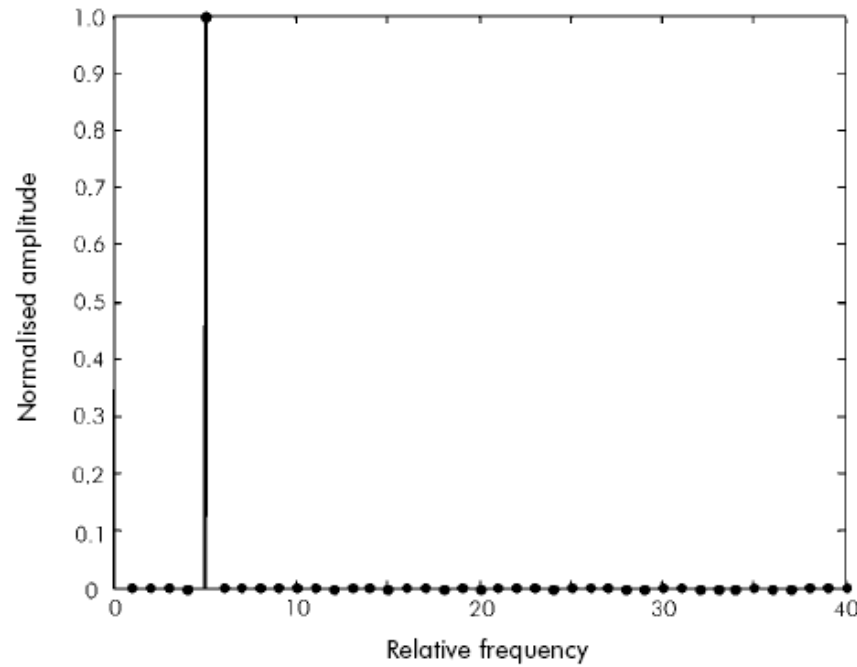


Figure A.1.1 - Modula of the signal spectrum, exactly 4 cycles have been used for analysis

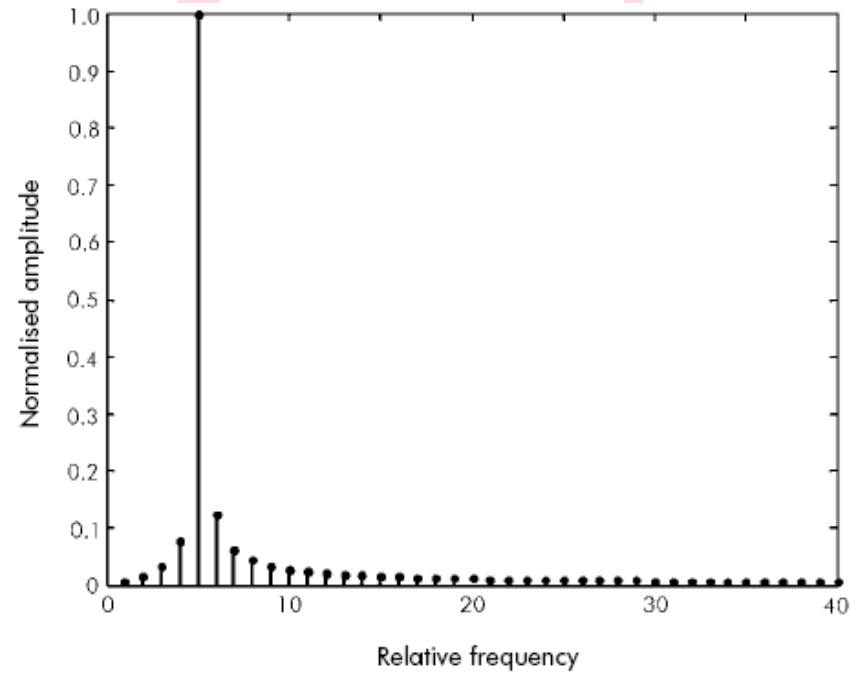


Figure A.1.2 - Modula of the signal spectrum, 4.1 cycles have been used for analysis



Szabványok

Tipus	Tartalom	Cél
Alap (Basic)	<ul style="list-style-type: none"> - mérési és vizsgálati módszerek - műszerezés, - vizsgálati összeállítások, -vizsgálati szintek tartományai, <p>Nem foglalkozik:</p> <ul style="list-style-type: none"> -megengedett értékekkel -működési feltételekkel 	<p>-hivatkozási dokumentumok</p> <p>Nem célja: gyártmányok megfelelőségi vizsgálata</p>
Általános (Generic)	<ul style="list-style-type: none"> - precíz és alapvető követelmények illetve <i>határértékek, a különböző környezetben</i> használni kívánt minden egyes termékre kiterjedően: <ul style="list-style-type: none"> - lakó, kereskedelmi és kisipari környezet - ipari - mérés tekintetében csak hivatkozás az alapszabványokra - általános működési feltételek 	<ul style="list-style-type: none"> - gyártmányok megfelelőségi vizsgálata - gyártmány - családok közötti koordinálás
Termékcsalád (Product family)	<ul style="list-style-type: none"> - gyártmánycsaládokra vonatkozó EMC követelmények - részletesebb működési feltételekkel - <i>különleges</i> vizsgálati összeállítások - mérések tekintetében csak hivatkozás az alapszabványokra 	<ul style="list-style-type: none"> - gyártmányok megfelelőség vizsgálata - összehangoltan hivatkozik az általános szabványokra
Termék (Product)	<ul style="list-style-type: none"> - egyedi (egészen különleges) termékekre vonatkozik 	



A 61000 sorozatú EMC szabványok témakörei (Főszakaszai)

1	<i>Általános</i> <ul style="list-style-type: none">• megfontolások, (bevezetés, alapelvek)• fogalom meghatározások
2	<i>Környezet</i> <ul style="list-style-type: none">• leírása,• osztályozása,• összeférhetőségi szintek
3	<i>Határértékek (általános szabvány)</i> <ul style="list-style-type: none">• zavarkibocsátásra és• zavartűrésre, (amennyiben erről nem rendelkezik termék(család) szabvány)
4	<i>Vizsgálati és méréstechnikák (alap szabvány)</i> <ul style="list-style-type: none">• mérési technikák• vizsgálati módszerek
5	<i>Létesítési és védelmi irányelvek</i> <ul style="list-style-type: none">• létesítési irányelvek• védelmi módszerek és eszközök
6	<i>Általános szabványok</i>
9	<i>Egyebek.</i>



A 61000 sorozatú EMC szabványok főszakaszhoz tartozó szabványok db. száma

Fő szakasz	Témakör	Létező db. (04-02)		
		IEC	EN	MSZ
1	<i>Általános</i> <ul style="list-style-type: none"> • megfontolások, (bevezetés, alapelvek) • fogalom meghatározások 	3	0	0
2	<i>Környezet</i> <ul style="list-style-type: none"> • leírása, • osztályozása, • összeférhetőségi szintek 	11 (12)	7	6
3	<i>Határértékek (általános szabvány)</i> <ul style="list-style-type: none"> • zavarkibocsájtásra és • zavartűrésre, (amennyiben erről nem rendelkezik termék(család) szabvány) 	8 11	4	3
4	<i>Vizsgálati és mérés technikák (alap szabvány)</i> <ul style="list-style-type: none"> • mérési technikák • vizsgálati módszerek 	27 (32)	27	26
5	<i>Létesítési és védelmi irányelvek</i> <ul style="list-style-type: none"> • létesítési irányelvek • védelmi módszerek és eszközök 	7 (7)	1	1
6	<i>Általános szabványok</i>	5 (6)	4	4
9	<i>Egyebek.</i>	0	0	0



EMC, Környezetek 61000 – 2 - X

Magyar szabvány	Cím	
MSZ EN 61000-2-2:2002	-2. rész: A kisfrekvenciás, vezetett zavarok és a jeltovábbítás összeférhetőségi szintjei a közcélú, kisfeszültségű táphálózatokon (IEC 61000-2-2:2002)	J
MSZ EN 61000-2-4:2003	-4. rész: Ipartelepek kisfrekvenciás, vezetett zavarainak összeférhetőségi szintjei (IEC 61000-2-4:2002)	J
MSZ EN 61000-2-12:2003	-12. rész: A kisfrekvenciás, vezetett zavarok és a jeltovábbítás összeférhetőségi szintjei a közcélú, közép feszültségű táphálózatokon (IEC 61000-2-12:2003)	J



EMC, Határértékek 61000 – 3 - X

Magyar szabvány	Cím	
MSZ EN 61000-3-2:2002	-2. rész: A harmonikus áramok kibocsátási határértékei (fázisonként legfeljebb 16 A bemenő-áramerősségű berendezésekre) (IEC 61000-3-2:2000, módosítva)	
MSZ EN 61000-3-3:1997	-3. rész: Határértékek. A feszültség-ingadozások és a villogás (flicker) határértékei kisfeszültségű táphálózatokon a legfeljebb 16 A névleges áramerősségű berendezések esetén (IEC 1000-3-3:1994)	
MSZ EN 61000-3-3:1995/A1:2001	-3. rész: A feszültségváltozások, a feszültség-ingadozások és a villogás (flicker) határértékei közcélú kisfeszültségű táphálózatokon a fázisonként legfeljebb 16 A névleges áramerősségű és különleges feltételek nélkül csatlakozó berendezések esetén (IEC 61000-3-3:1994/A1:2001)	
MSZ EN 61000-3-11:2001	-11. rész: A feszültségváltozások, a feszültség-ingadozások és a villogás (flicker) határértékei a közcélú kisfeszültségű táphálózatokon. Legfeljebb 75 A névleges áramerősségű és adott feltételek szerint csatlakozó berendezések (IEC 61000-3-11:2000)	



EMC, Vizsgálati és mérési módszerek 61000 – 4 - X

Magyar szabvány	Cím	
MSZ EN 61000-4-7:2003	-7. rész: A villamosenergia-rendszerek és a hozzájuk kapcsolódó berendezések harmonikusai és közbenső harmonikusai méréseinek és mérőműszereinek általános útmutatója (IEC 61000-4-7:2002)	
MSZ EN 61000-4-11:1994/A1:2001	-11. rész: Vizsgálati és mérési módszerek. Feszültségletörésekkel, rövid idejű feszültségkimaradásokkal és feszültségváltozásokkal szembeni zavartűrés vizsgálata (IEC 61000-4-11:1994/A1:2000)	J
MSZ EN 61000-4-11:1994/A1:2001	-11. rész: Vizsgálati és mérési módszerek. Feszültségletörésekkel, rövid idejű feszültségkimaradásokkal és feszültségváltozásokkal szembeni zavartűrés vizsgálata (IEC 61000-4-11:1994/A1:2000)	J
MSZ EN 61000-4-13:2002	-13. rész: Vizsgálati és mérési módszerek. Váltakozó áramú hálózati csatlakozás harmonikusokkal és közbenső harmonikusokkal - beleértve a táphálózati jelfeszültségeket - szembeni kisfrekvenciás zavartűrés vizsgálata (IEC 61000-4-13:2002)	



EMC, Vizsgálati és mérési módszerek

61000 – 4 - X (folytatás)

Magyar szabvány	Cím	
MSZ EN 61000-4-15:1998	-15. rész: Villogásmérő . Működési és tervezési előírások	
MSZ EN 61000-4-15:1998/A1:2003	-15. rész: Villogásmérő . Működési és tervezési előírások (IEC 61000-4-15:1997/A1:2003)	
MSZ EN 61000-4-17:2000	-17. rész: A bemeneti kapu egyenáramú táplálásának hullámosságával szembeni zavartűrési vizsgálat (IEC 61000-4-17:1999)	J
MSZ EN 61000-4-27:2002	-27. rész: A feszültségaszimmetriával szembeni zavartűrési vizsgálat (IEC 61000-4-27:2000)	
MSZ EN 61000-4-28:2000	-28. rész: A hálózati frekvencia változásával szembeni zavartűrési vizsgálat (IEC 61000-4-28:1999)	
MSZ EN 61000-4-29:2002	-29. rész: Egyenáramú bemeneti kapu feszültségletörésekkel, rövid idejű feszültség-kimaradásokkal és feszültségváltozásokkal szembeni zavartűrésének vizsgálata (IEC 61000-4-29:2000)	J
MSZ EN 61000-4-30:2003	-30. rész: A hálózati feszültség minőségének mérési módszerei (IEC 61000-4-30:2003)	J



EMC, Általános szabványok 61000 – 6 - X

Magyar szabvány	Cím	
MSZ EN 61000-6-1:2002	-1. rész: A lakóhelyi, a kereskedelmi és a kisipari környezet zavartűrése (IEC 61000-6-1:1997, módosítva)	J
MSZ EN 61000-6-2:2002	-2. rész: Az ipari környezet zavartűrése (IEC 61000-6-2:1999, módosítva)	J
MSZ EN 61000-6-3:2002	-3. rész: A lakóhelyi, a kereskedelmi és a kisipari környezet zavarkibocsátási szabványa (IEC 61000-6-3:1996, módosítva)	J
MSZ EN 61000-6-4:2002	-4. rész: Az ipari környezet zavarkibocsátási szabványa (IEC 61000-6-4:1997, módosítva)	J



CENELEC 50000 sorozatú EN szabvány

Magyar szabvány	Cím	
MSZ EN 50160	A közcélú elosztóhálózatokon szolgáltatott villamos energia feszültségjellemzői EN 50160:2001	



Köszönöm a figyelmet!

