



Védelmek és automatikák (BMEVIVEM266)

Póka Gyula, Varju György, Petri Kornél
BME Villamos Energetika Tanszék

TAMOP-4.1.2-08/2/A/KMR-2009-0048

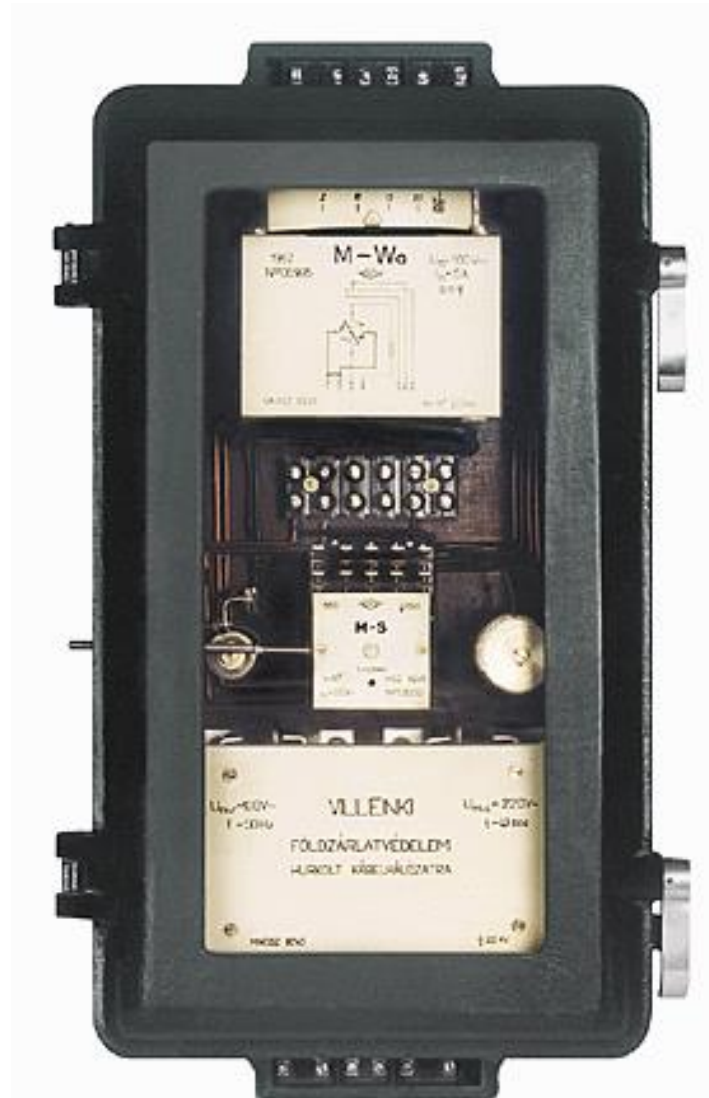
A Projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Regionális
Fejlesztési Alap társfinanszírozásával valósult meg



A védelmek három generációja

- Elektromechanikus készülékek
- Elektronikus készülékek
- Numerikus készülékek

Elektromechanikus készülékek



Elektromechanikus készülékek

- Előnyök

- Áttekinthető konstrukció
- Rutin tesztelés, karbantartás
- Mechanikai tehetetlenség
- Megbízhatóság
- Nincs tápegység

- Hátrányok

- Kopás, fáradás, szennyeződés
- Helyigény
- Mérőváltók terhelése
- Információ igényt nem elégít ki

Elektronikus készülékek



Elektronikus készülékek

- Előnyök

- Automatizált gyártás
- Új elvek, komplex védelmek
- Moduláris felépítés
- Nincs mechanikai meghibásodás
- Egyszerű beállítás, tesztelés
- Kis terhelés a mérőváltókra
- Kisebb helyigény

- Hátrányok

- Zavarérzékenység figyelmet igényel
- Tápegység
- Korlátozott információ szolgáltatás

Mikroprocesszoros készülékek



Numerikus készülékek

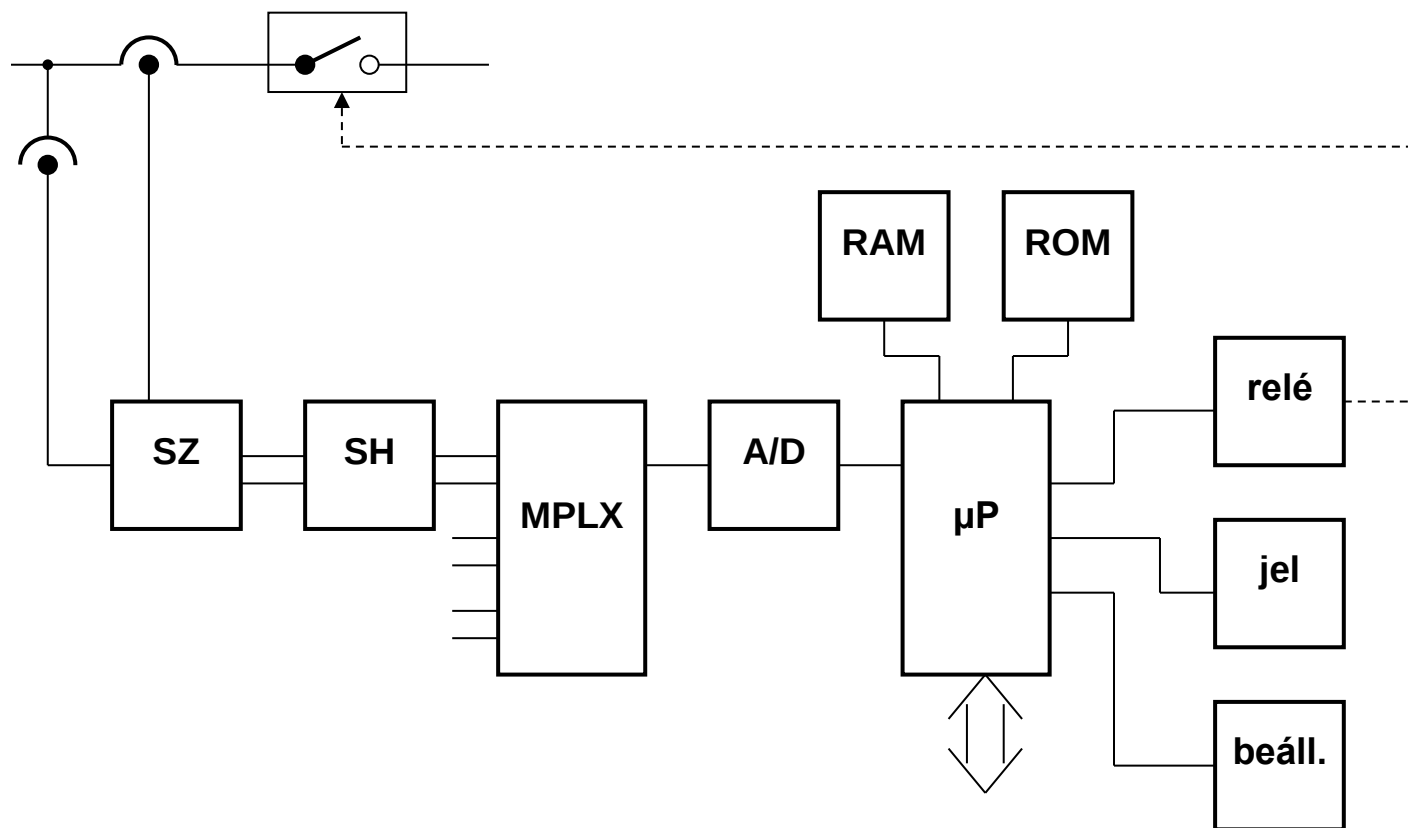
- Előnyök

- Mint elektronikus +++++
- Önellenőrző képesség
- Kommunikációs képesség
- Illeszkedés a SCADA rendszerbe
- Azonos HW új programmal
- Változatos relé-karakterisztikák
- Komplex védelmek, automatikák
- Eseménynapló, zavaríró
- Alkalmazkodó képesség

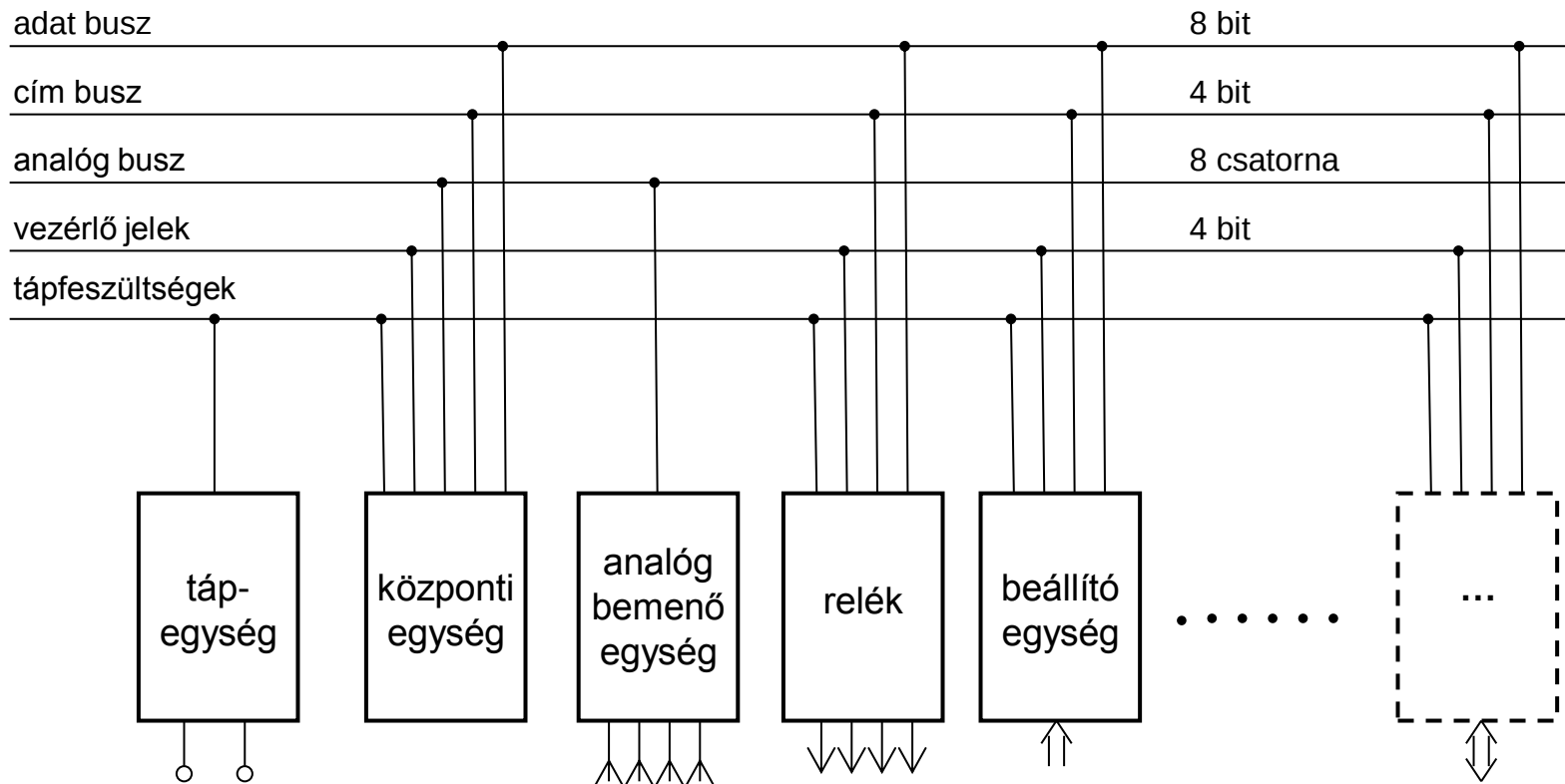
- Hátrányok

- Új technológia
- Túl gyors az elemek fejlődése
- Tapasztalatok?
- Zavarérzékenység?

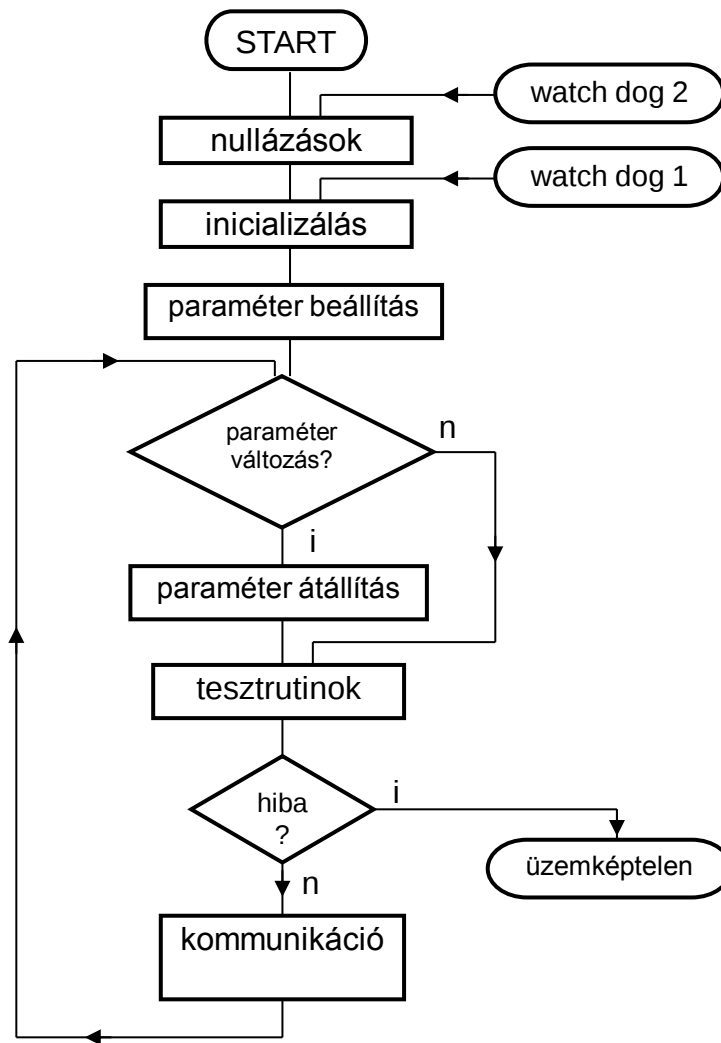
Processzoros védelem elvi séma



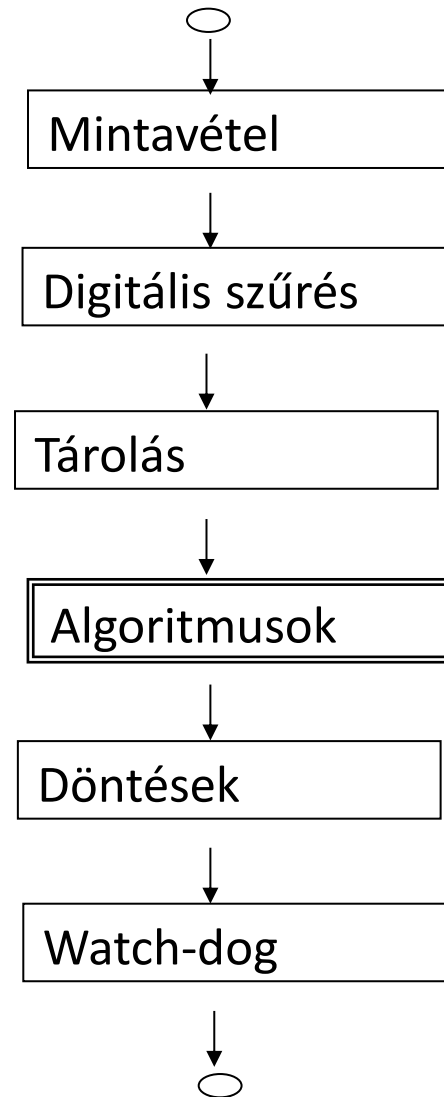
Processzoros védelem felépítés



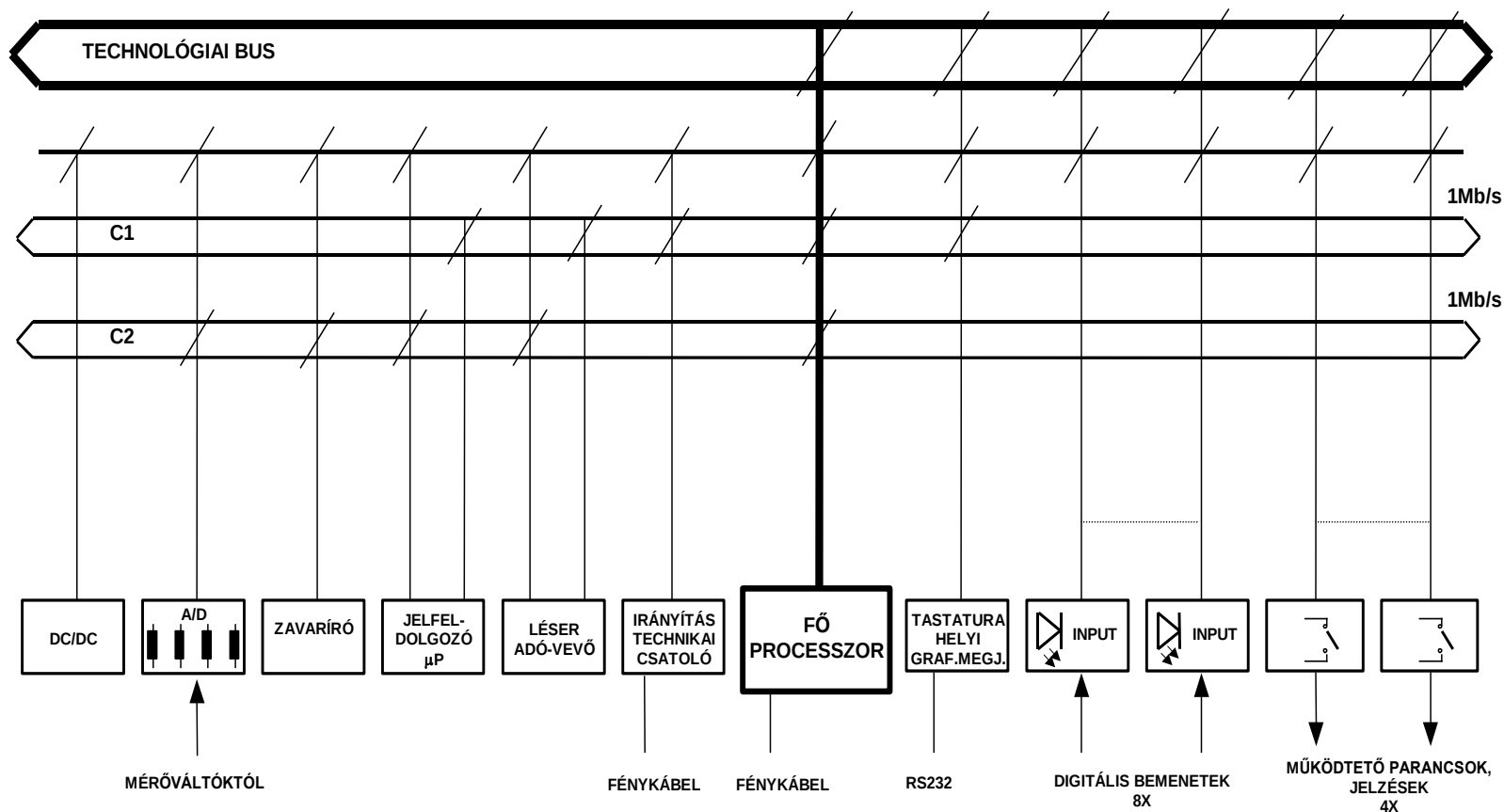
Processzoros védelem „főprogram”



Processzoros védelem „interrupt rutin”

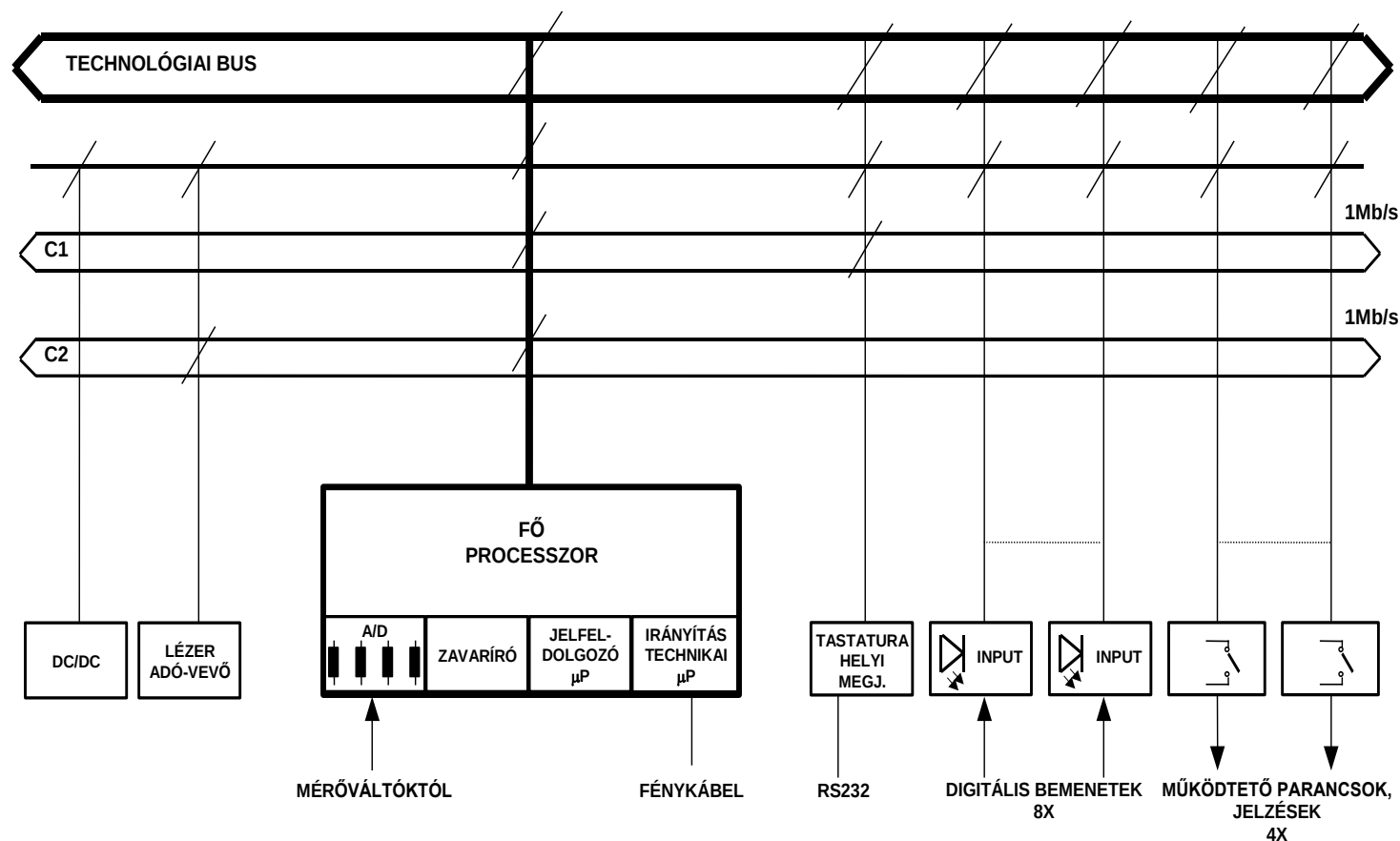


A Protecta modul rendszere



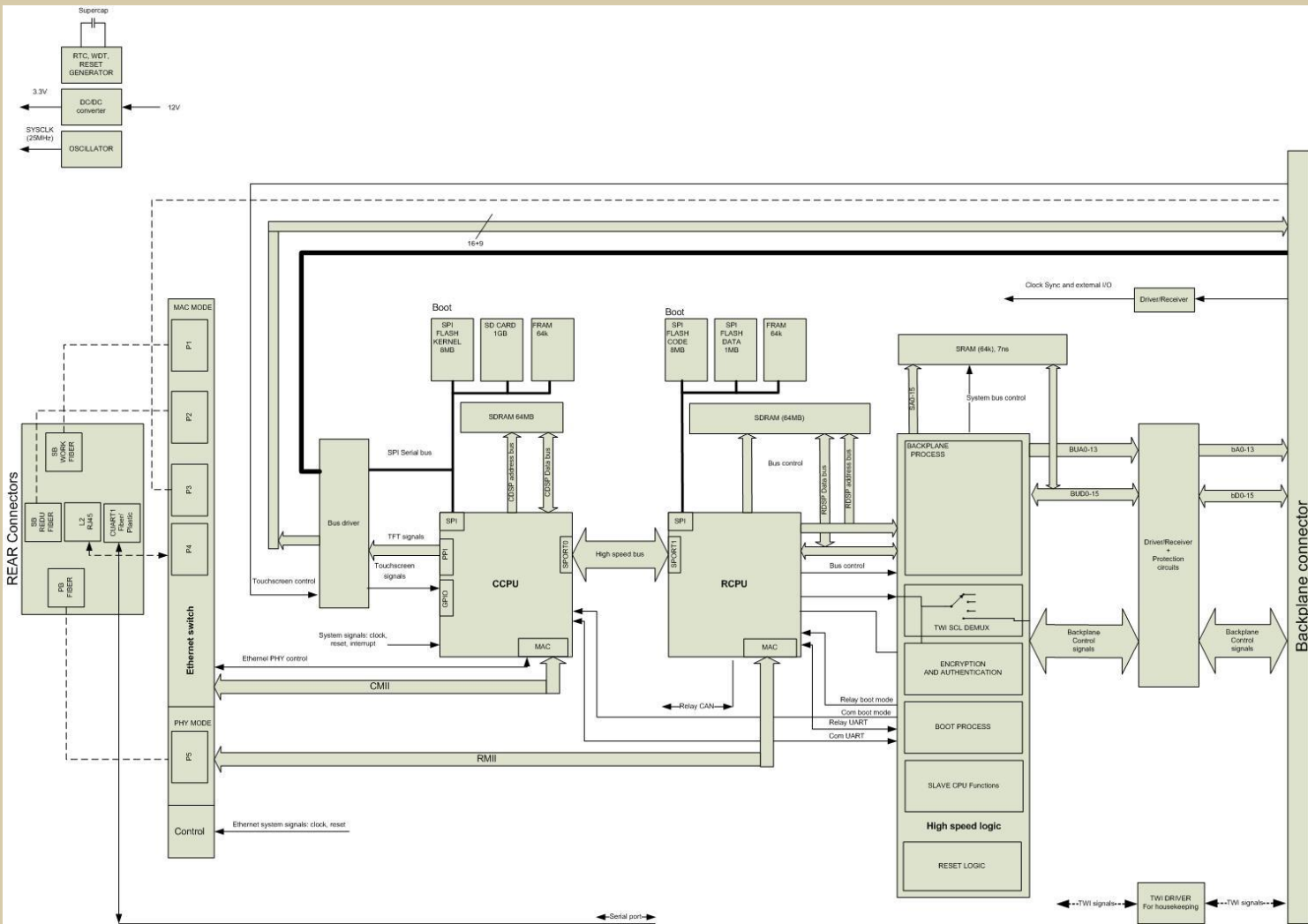
EUROPROT HARDVER STUKTURA

Protecta integrált CPU-s rendszere



EUROPROT HARDVER STRUKTÚRA

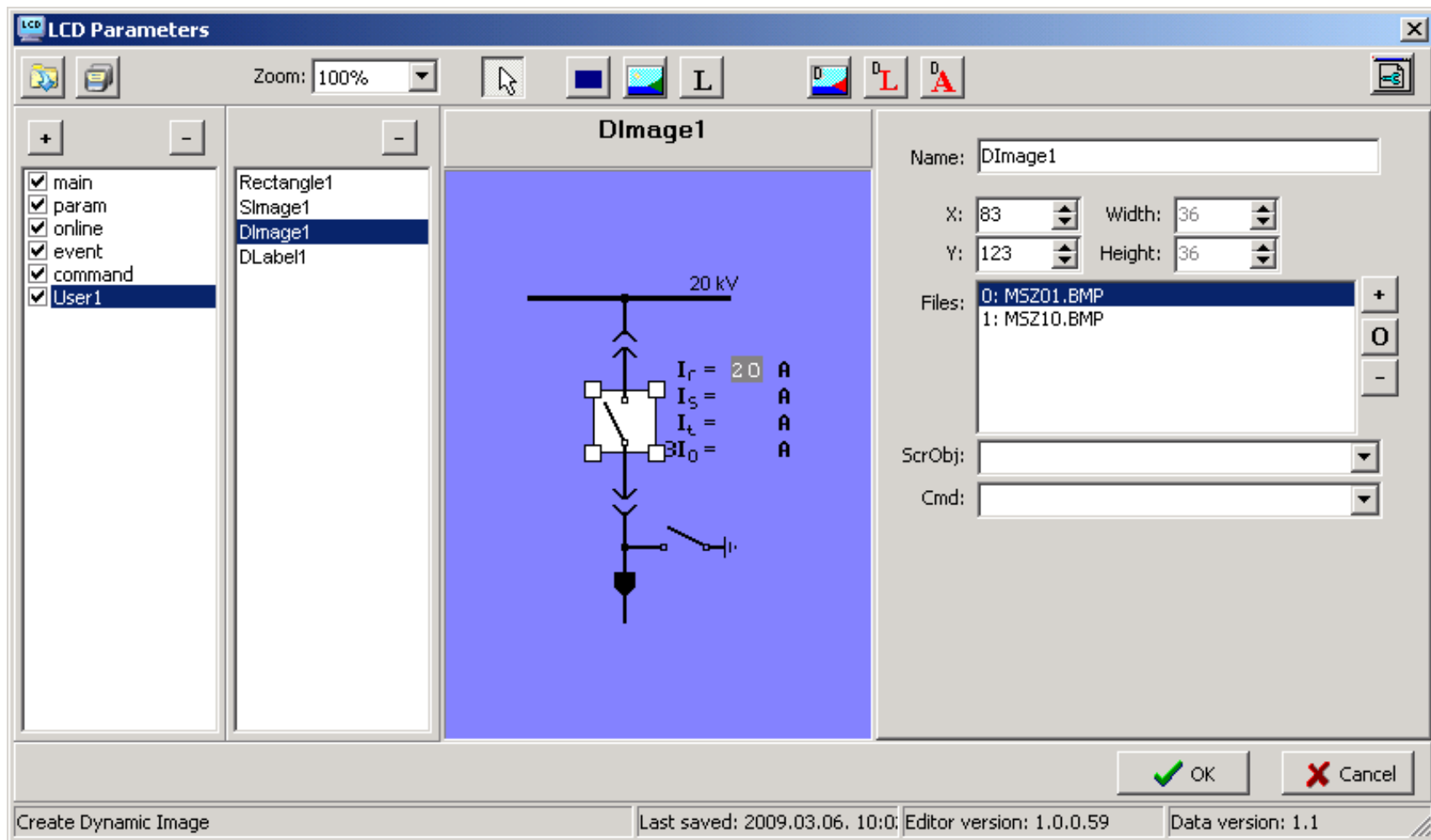
CPU modul



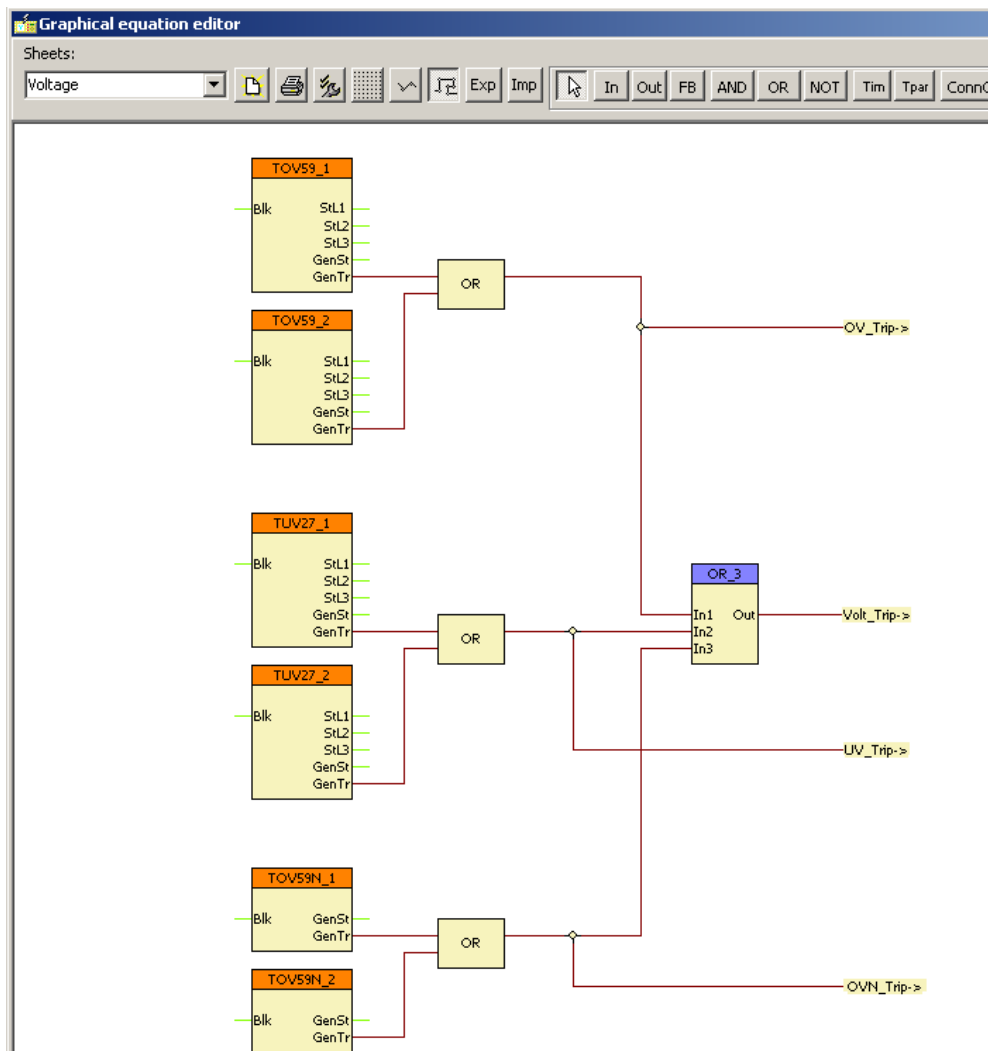
CPU modul



LCD szerkesztés



PLC editor (egy példa)



A védelem, mint WEB szerver

main

parameters

system settings

on-line data

events

disturbance recorder

commands

network protectionHood

documentation

advanced

Get parameters

Set parameters

Save parameters

Expand all

Collapse all

Print

[+] Common

[+] VT4 module

[+] CT4 module

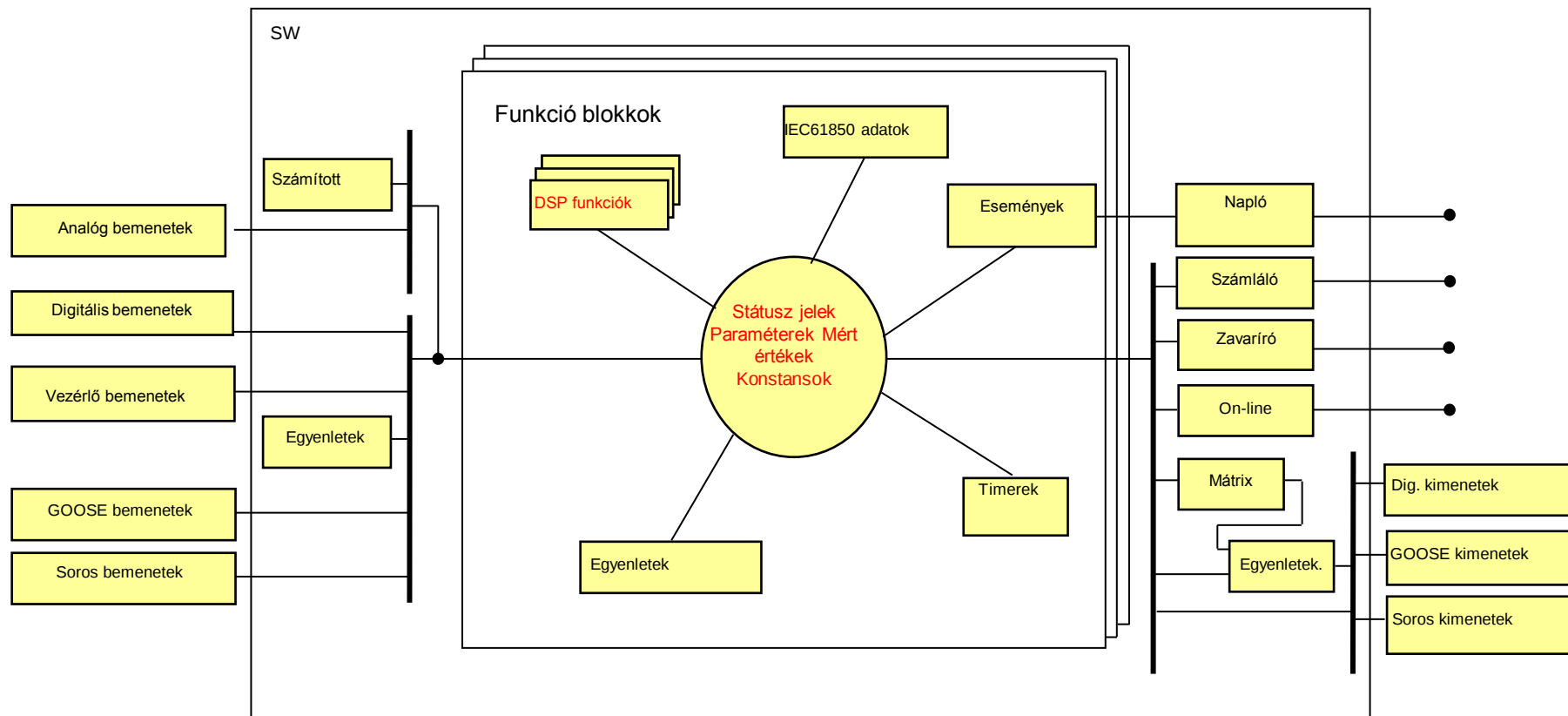
[-] 3ph Time Overcurrent

Operation	DefinitTime		
Start Current	200	%	(20 - 1000 / 1)
Time Multiplier	1.00	sec	(0.05 - 999.00 / 0.01)
Min Time Delay	100	msec	(0 - 60000 / 1)
Definite Time Delay	100	msec	(0 - 60000 / 1)
Reset Time	100	msec	(0 - 60000 / 1)

[+] Res Inst Overcurrent

A védelmi szoftver rendszer

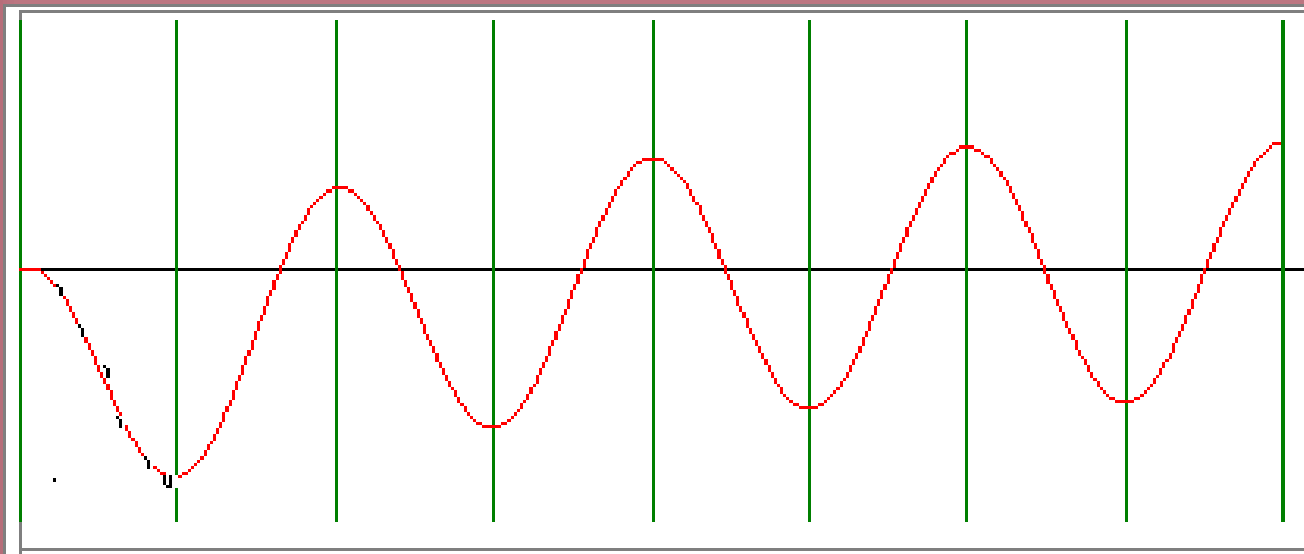
HW környezet



Numerikus túláramvédelmek

- Az áram pillanatértékeinek értékelése
- Egyenirányított középérték mérés
- Effektív érték mérés
- Fourier algoritmus, felharmonikus szűrés
- Hőmás védelem

Az áram pillanatértékeinek értékelése



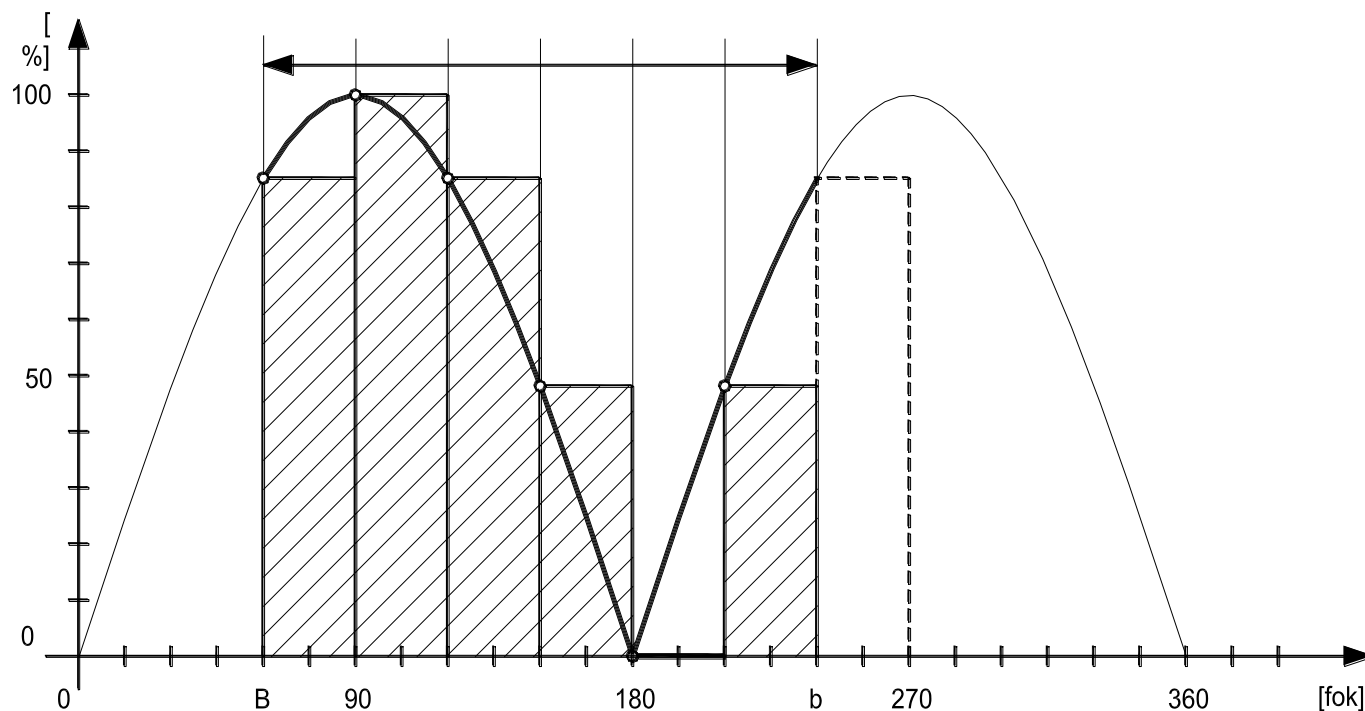
Védelmi döntésre önmagában alkalmatlan

Egyenirányított középérték mérés (1)

- A Deprez műszer mérési elvének numerikus megvalósítása

$$T = A \int_{\alpha}^{\alpha+\pi} |\sin(\omega t)| d\omega t = A \int_0^{\pi} \sin(\omega t) d\omega t = 2 \cdot A$$

Egyenirányított középérték mérés (2)



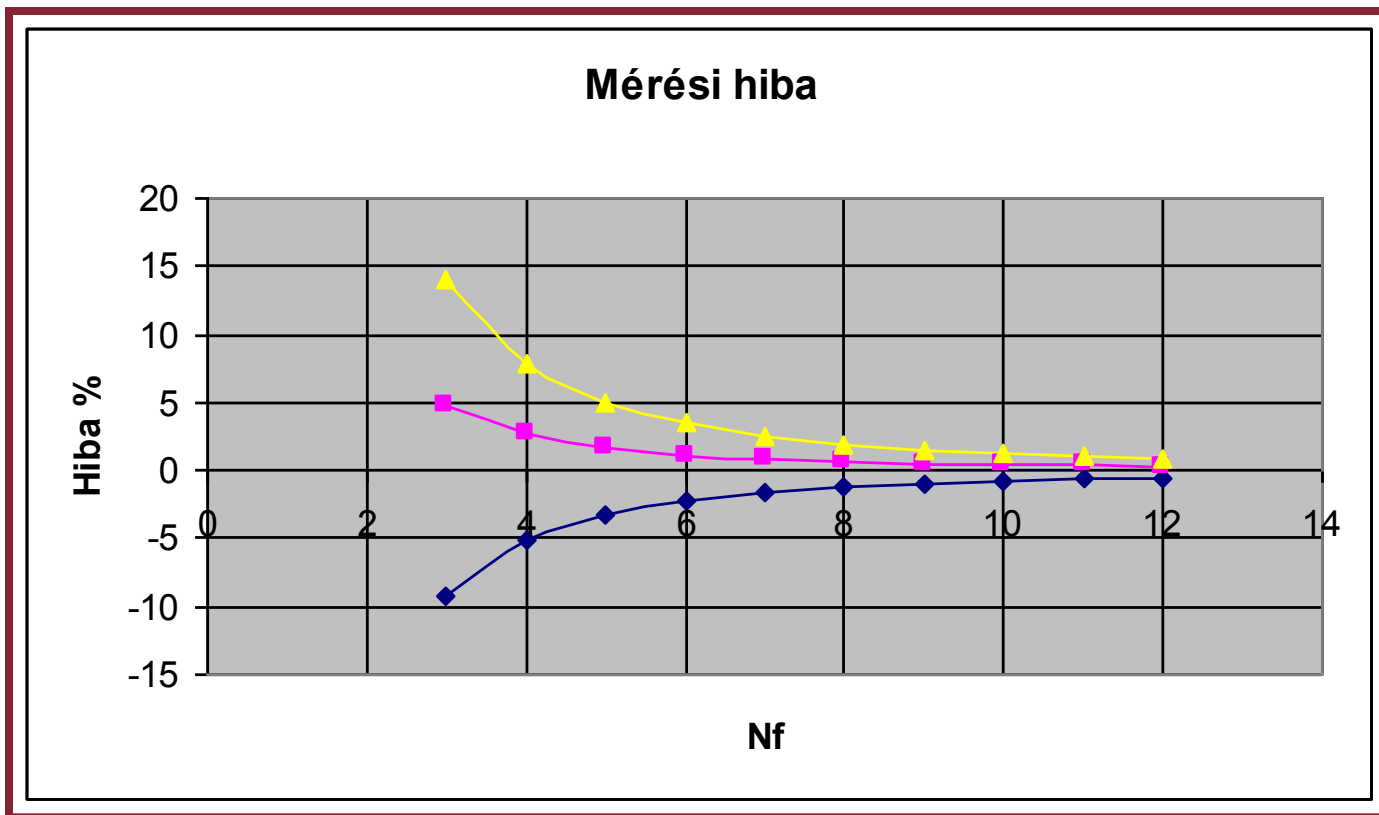
Egyenirányított középérték mérés (4)

- Hibaforrások:
 - integrál közelítés
 - tranziens jelenségek
 - frekvencia eltolódás
 - felharmonikusok
 - digitális mintavételezés

Egyenirányított középérték mérés (6/a)

N_f	min	max	sáv
	%	%	%
3	-9,31	4,72	14,03
4	-5,19	2,62	7,81
5	-3,31	1,66	4,97
6	-2,30	1,15	3,45
7	-1,68	0,84	2,52
8	-1,29	0,65	1,94
9	-1,02	0,51	1,53
10	-0,82	0,41	1,23
11	-0,68	0,34	1,02
12	-0,57	0,29	0,86

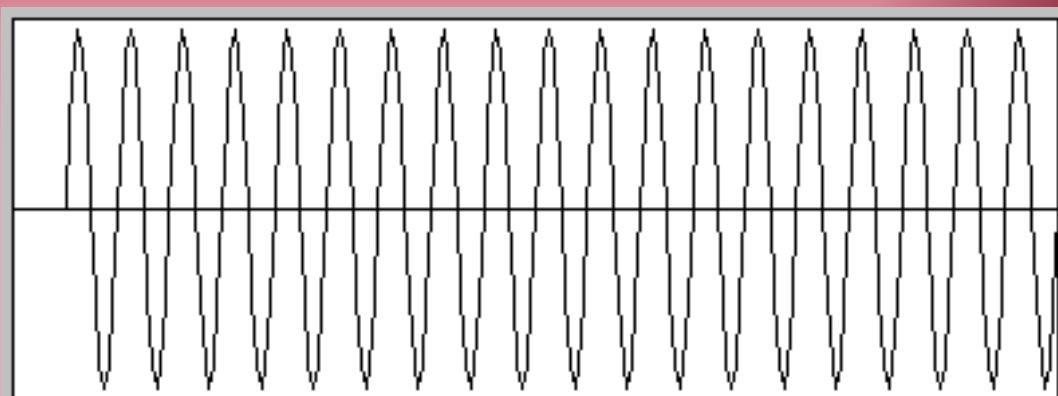
Egyenirányított középérték mérés (6/b)



A módszer tranziensei (1)

Tiszta 50 Hz-es időfüggvény egyenáramú összetevő nélkül

Zárlati áram



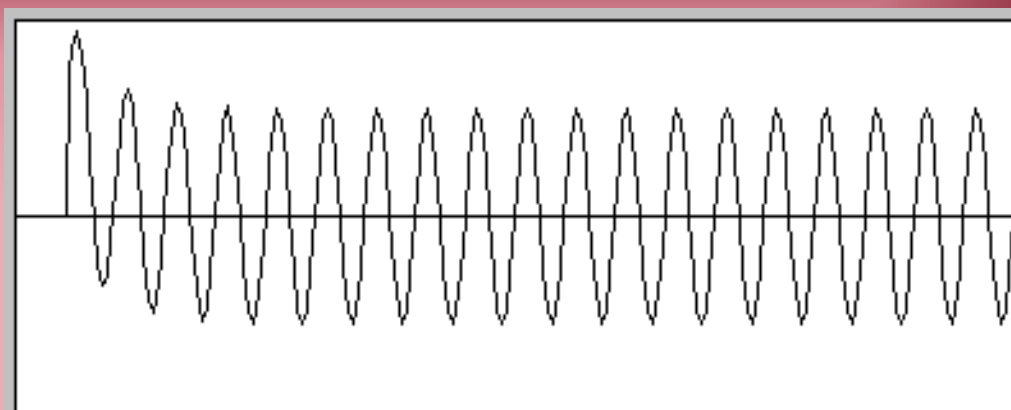
Számított érték



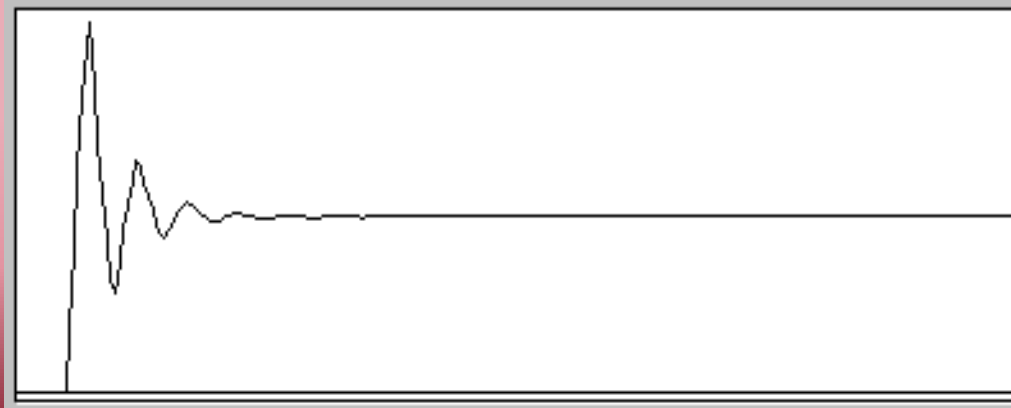
A módszer tranziensei (2)

Tiszta 50 Hz-es időfüggvény egyenáramú összetevővel

Zárlati áram



Számított érték



Az egyenáramú összetevő kiszűrése

Ha az egyenáramú összetevő állandó

$$i = I_0 + I \sin(\omega t)$$

Két fél periódus eltérésű pillanatérték összege:

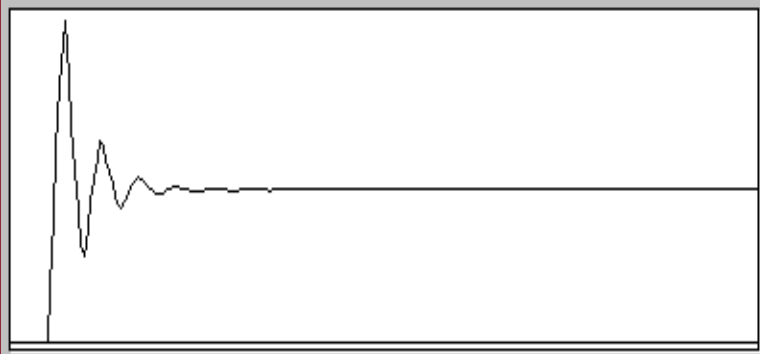
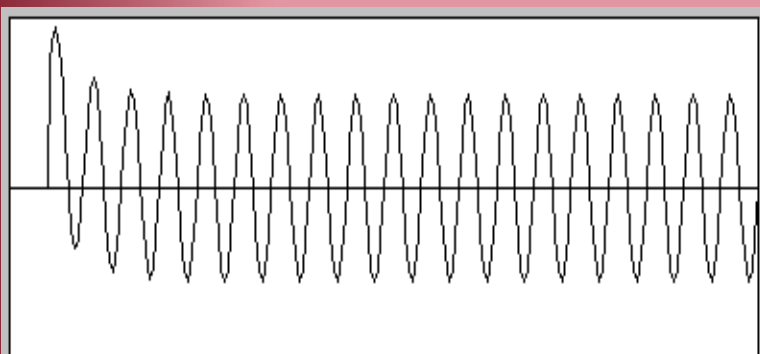
$$i(t) + i\left(t + \frac{T}{2}\right) = [I_0 + I \sin(\omega t)] + [I_0 + I \sin(\omega t + \pi)] = 2I_0$$

Hiba a szűrésben az exponenciálisan lecsengő jelleg miatt

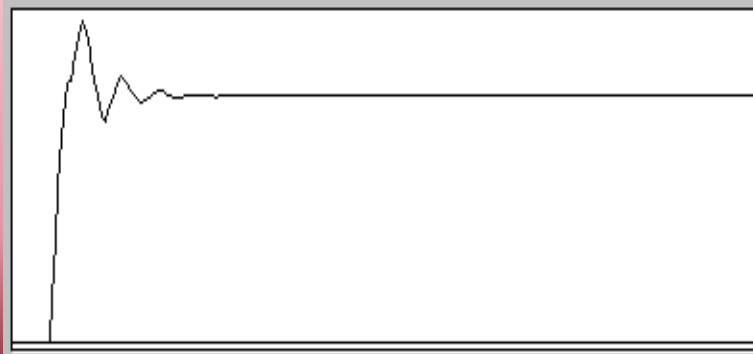
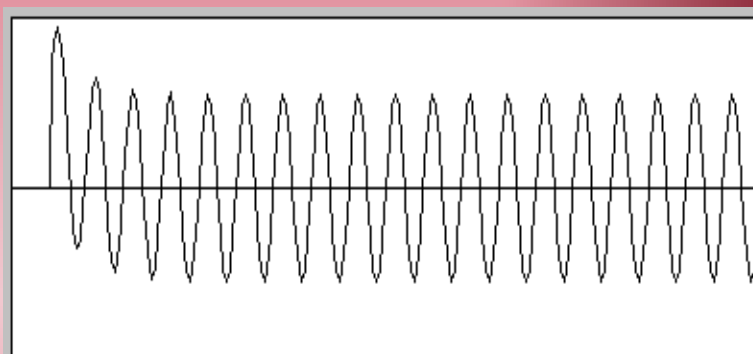
- ha T kicsi, kicsi a hatás,
- ha T nagyon nagy, a szűrő jól szűr,
- $\Rightarrow$ van olyan T , amelynek legrosszabb a hatása.

Az egyen-szűrés hatása

Szűrés nélkül



Szűréssel



Simító szűrés

- Az algoritmus kimenetén a hasznos jel az állandó összetevő,
- a hibát a nagyfrekvenciás összetevő okozza,
- $\Rightarrow$ alul-áteresztő szűrés javít.

Simító szűrő algoritmus (1)

$$y(n) = q \cdot y(n - 1) + x(n)$$

- $x(n)$ az n-edik mintavételkor számított közelítő összeg, az algoritmus kimenete,
 $y(n)$ a fenti rekurzív szűrő kimenete az n-edik mintavételkor,
 $y(n-1)$ az előző mintavételi lépésben nyert kimenet,
 q egy egynél kisebb, pozitív szűrő állandó.

Simító szűrő algoritmus (2)

$$y(n) = q \cdot y(n - 1) + x(n)$$

Állandó x bemenetnél geometriai sor,
ennek összege a szűrő állandósult kimenete:

$$s = x(n) \frac{1}{1 - q}$$

Simító szűrő algoritmus (3)

A szűrő frekvencia-átvitele

A vizsgáló jel:

$$x(n) = e^{j\omega t}$$

A kimeneten ugyanilyen frekvenciájú jel jelenik meg:

$$y(n) = A(\omega)e^{j\omega t}$$

Ennek egy mintavétellel korábbi értéke:

$$y(n - 1) = A(\omega)e^{j\omega(t-\Delta t)}$$

Simító szűrő algoritmus (4)

Az előzőekkel a szűrő egyenlete:

$$A(\omega)e^{j\omega t} = qA(\omega)e^{j\omega(t-\Delta t)} + e^{j\omega t}$$

Ebből a frekvencia-átviteli karakterisztika:

$$A(\omega) = \frac{1}{1 - qe^{j\omega\Delta t}}$$

A simító szűrő karakterisztika tulajdonságai

$$A(\omega) = \frac{1}{1 - qe^{j\omega\Delta t}}$$

1) Periodikus

$$2\pi = \omega\Delta t = \frac{\omega}{f_m} = 2\pi \frac{f}{f_m}$$

2) A 0-ra szimmetrikus, a szokásos vizsgált intervallum:

$$0 \leq \frac{f}{f_m} \leq 0,5$$

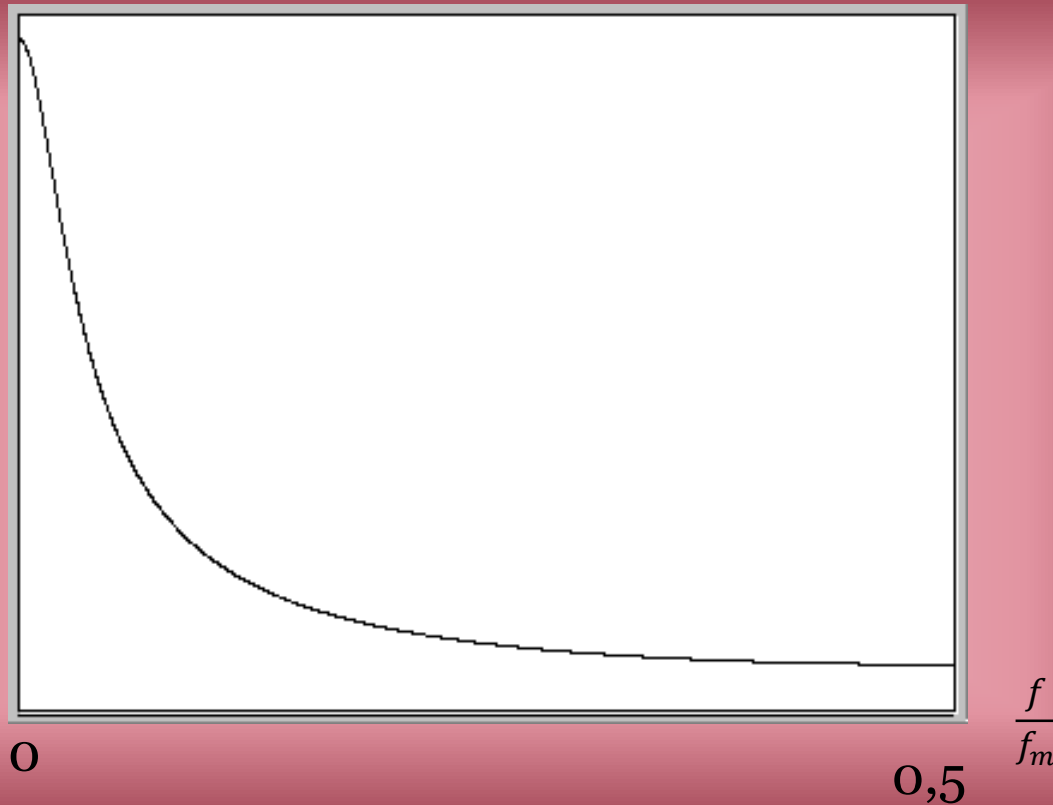
3) A szélső értékek:

$$A(0) = \frac{1}{1 - qe^{j0}} = \frac{1}{1 - q}$$

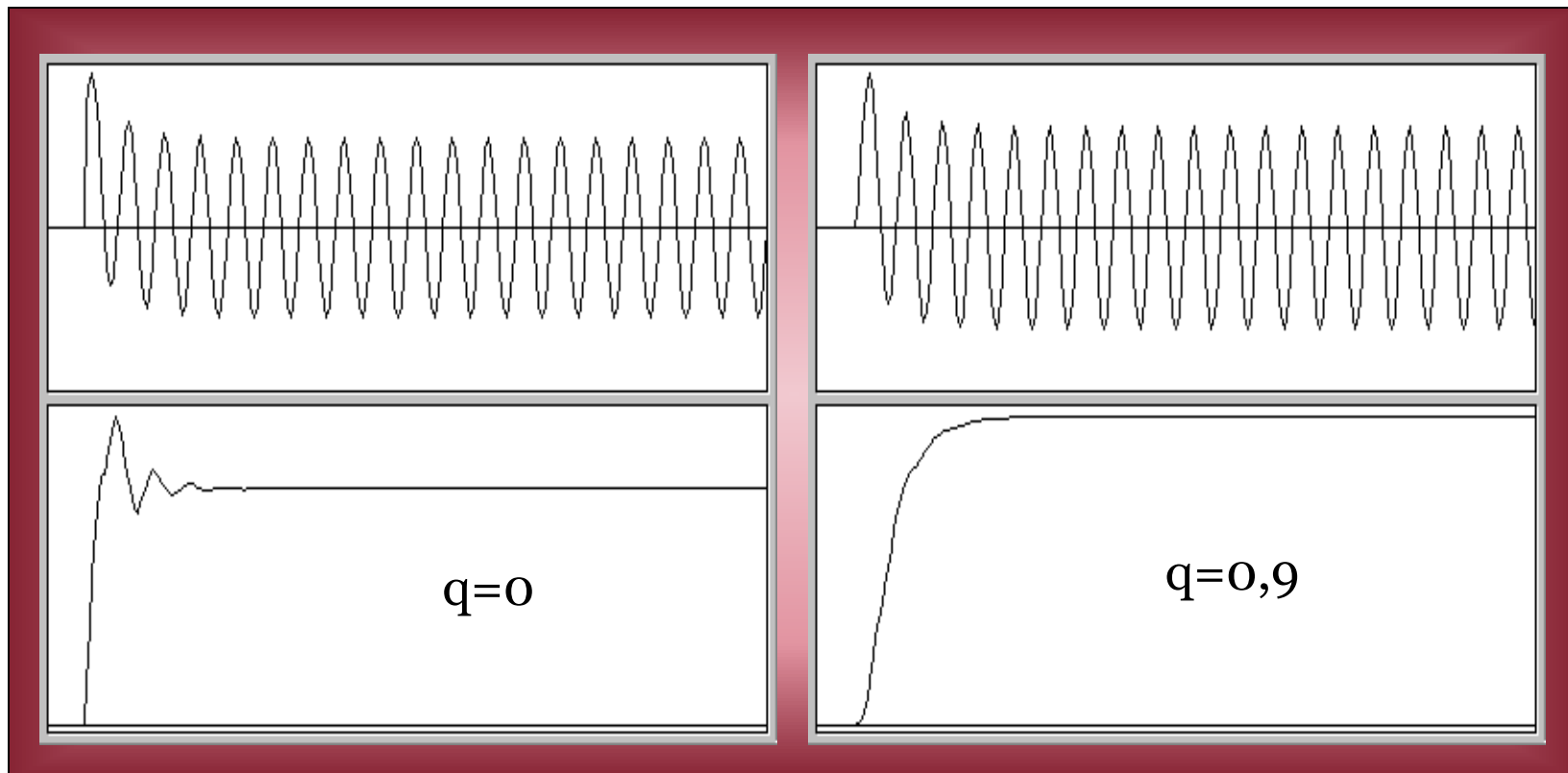
$$A(\pi) = \frac{1}{1 - qe^{j\pi}} = \frac{1}{1 + q}$$

A simító szűrő karakterisztika

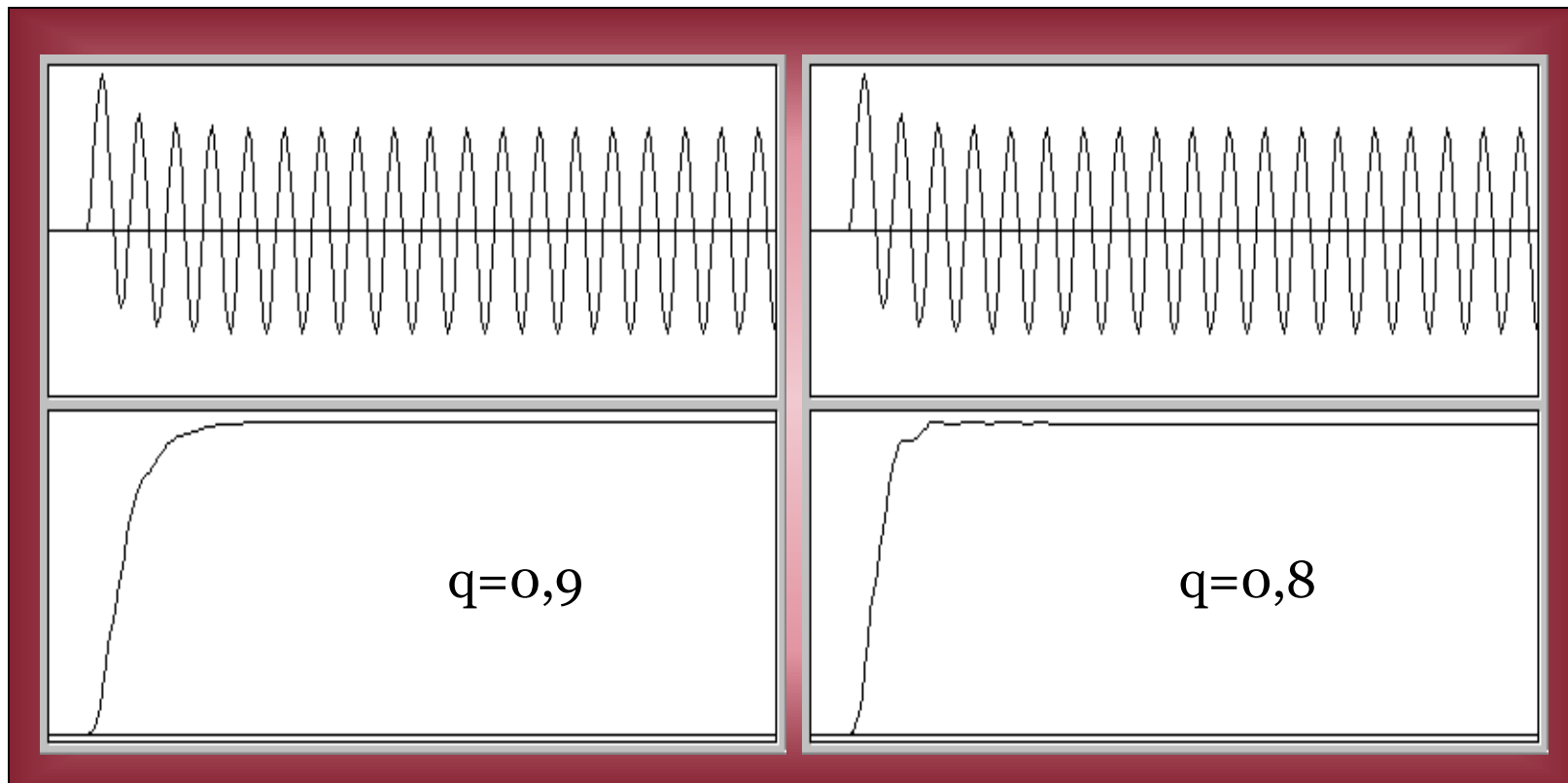
$A(w)$



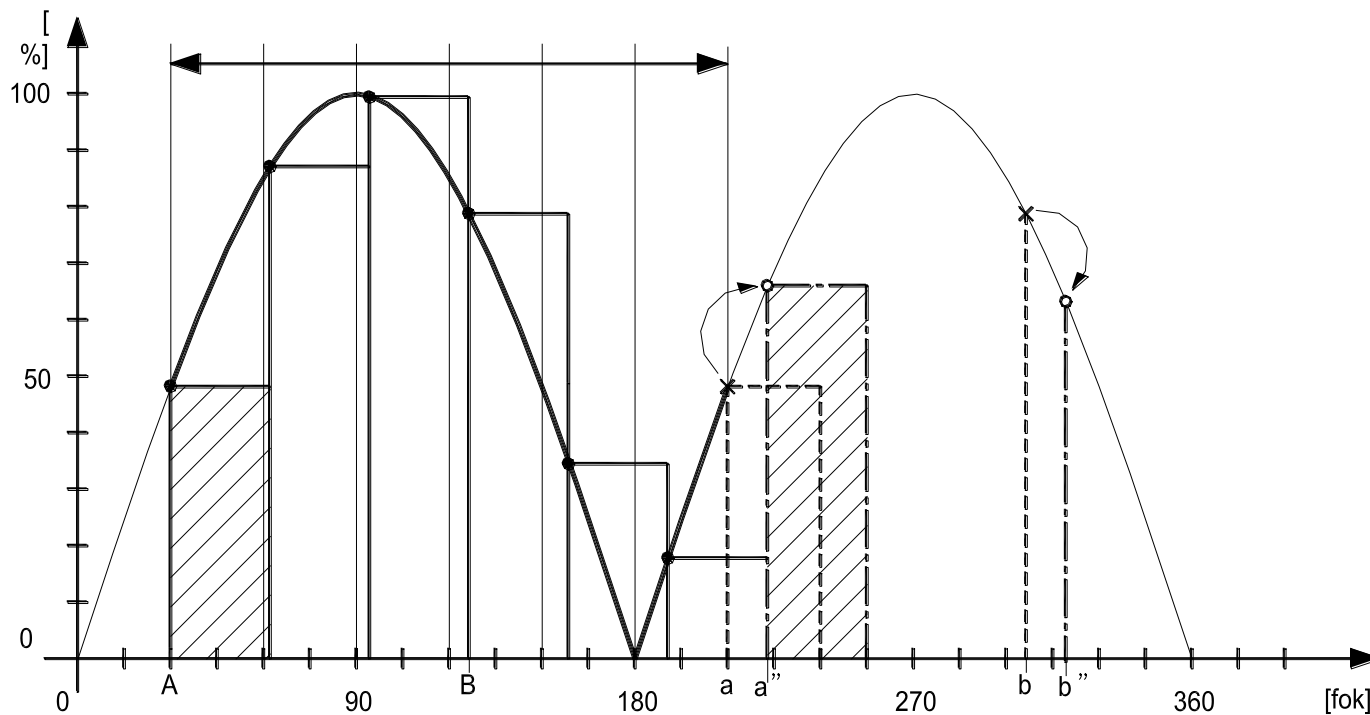
A simító szűrés hatása (1)



A simító szűrés hatása (2)



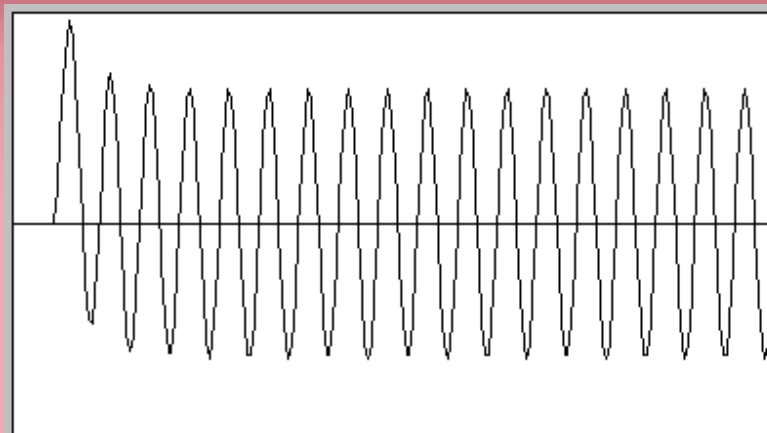
Egyenirányított középérték mérés



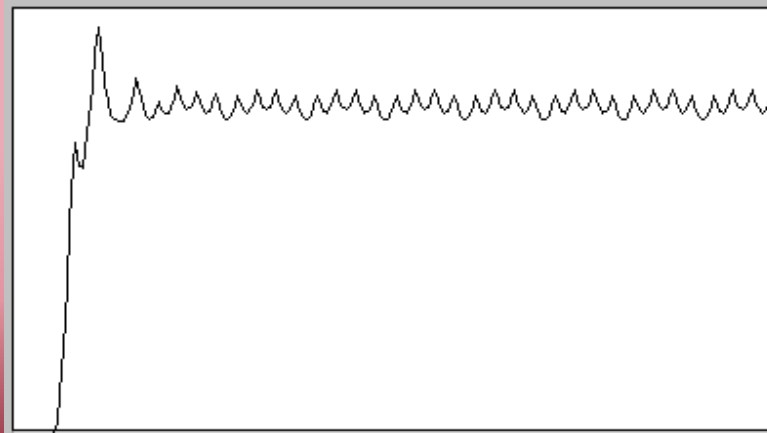
Egyenirányított középérték mérés (9)

Az algoritmus tranziense és állandósult állapota $f=48$ Hz-en

Zárlati áram

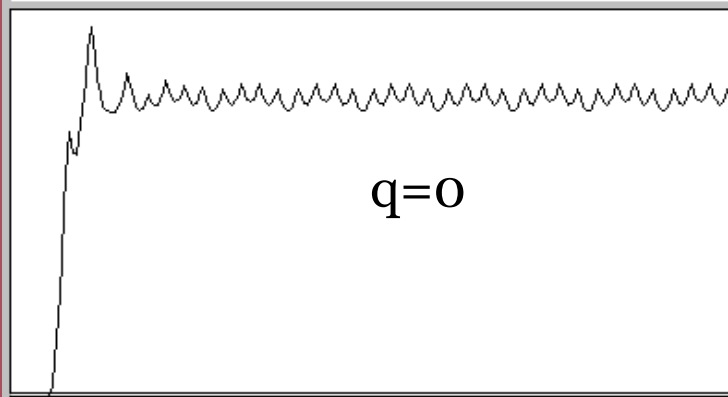
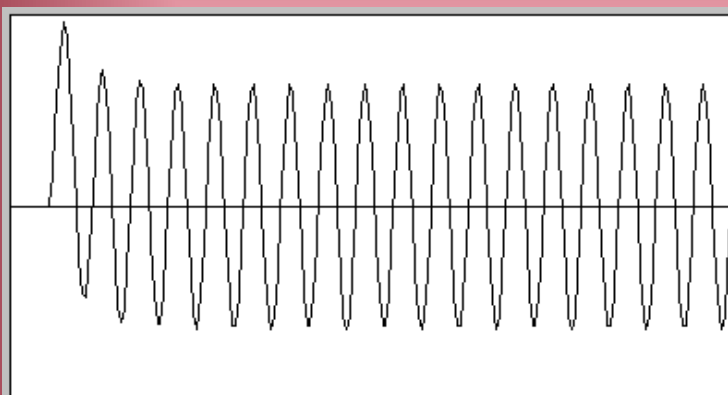


Számított érték

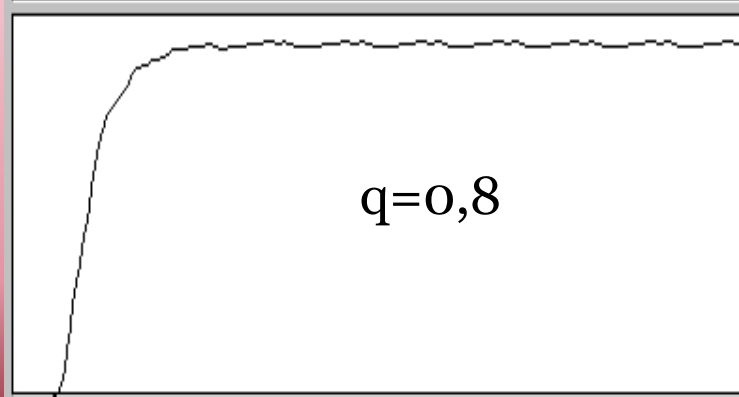
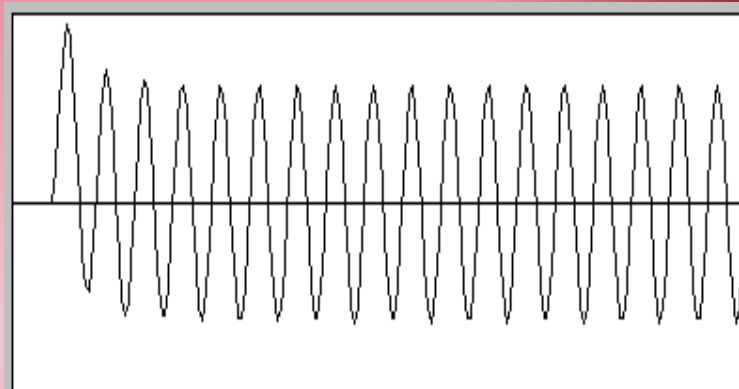


A simítás hatása

Simítás nélkül



Simítással



Effektív érték mérés (1)

Időfüggvény négyzet integrálása fél periódusra,
a lágyvasas műszer mérési elvének numerikus
megvalósítása

$$T^2 = A^2 \int_{\alpha}^{\alpha+\pi} \sin^2(\omega t) d\omega t = A^2 \int_{\alpha}^{\alpha+\pi} \frac{1 - \cos(2\omega t)}{2} d\omega = \frac{\pi}{2} \cdot A^2$$

Effektív érték mérés (2)

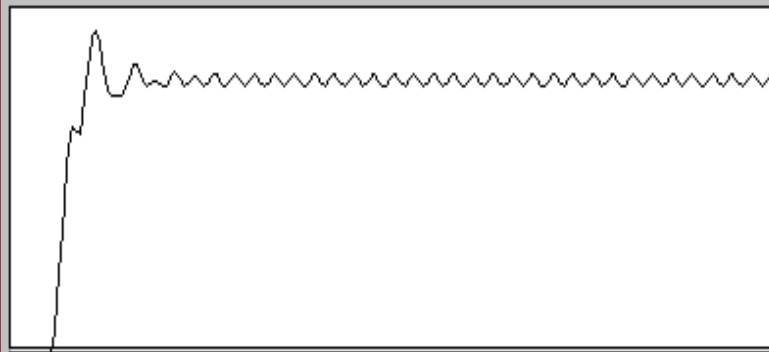
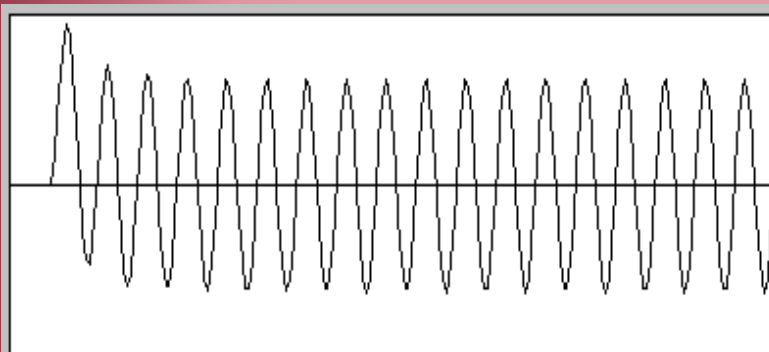
Az algoritmus nem függ a kezdőszögtől, így

- a kimeneti időfüggvény pontosabb,
- a kimeneti időfüggvényben nincs kis frekvenciás összetevő
- a simító szűrés hatékonyabb.

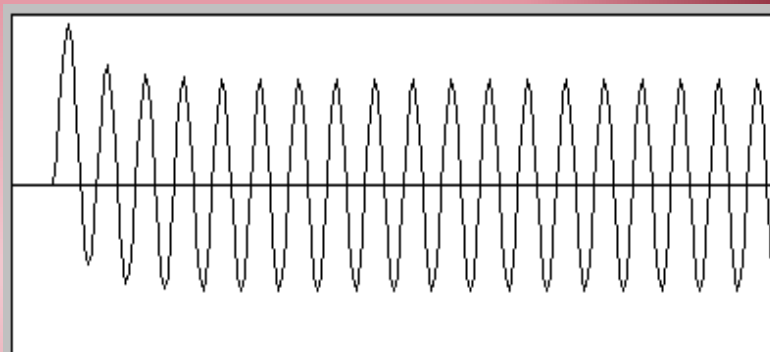
Hátránya a nagyobb művelet-igény.

A simító szűrés hatása

Szűrés nélkül



Szűréssel



A FOURIER algoritmus (1)

- A Fourier sorfejtés numerikus megvalósítása
- Periodikus időfüggvény feltételezése
- Felharmonikusok korrekt kezelése

A Fourier módszer matematikai alapja

Periodikus időfüggvény feltételezése:

$$i(t) = A_0 + \sum_{n=1}^{\infty} [A_n \cos(n\omega_1 t) + B_n \sin(n\omega_1 t)]$$

A Fourier együtthatók:

$$A_n = \frac{2}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} i(t) \cos(n\omega_1 t) dt$$

$$B_n = \frac{2}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} i(t) \sin(n\omega_1 t) dt$$

A Fourier módszer numerikus megvalósítása

Mintavételezés

$$i_0, i_1, \dots, i_{(N-1)}, i_N$$

Az integrál közelítése

$$A_1 = \frac{2}{N} \sum_{k=0}^{N-1} \left[i_k \cos \left(\omega_1 \left(t_0 + k \frac{T}{N} \right) \right) \right] = \sum_{k=0}^{N-1} [i_k a_k]$$

$$B_1 = \frac{2}{N} \sum_{k=0}^{N-1} \left[i_k \sin \left(\omega_1 \left(t_0 + k \frac{T}{N} \right) \right) \right] = \sum_{k=0}^{N-1} [i_k b_k]$$

A Fourier együtthatók

Álló koordináta-rendszer

$$a_k = \cos\left(\omega_1 k \frac{T}{N}\right)$$

$$b_k = \sin\left(\omega_1 k \frac{T}{N}\right)$$

Forgó koordináta-rendszer

$$a_k = \cos\left(\omega_1 \left(t_0 + k \frac{T}{N}\right)\right)$$

$$b_k = \sin\left(\omega_1 \left(t_0 + k \frac{T}{N}\right)\right)$$

Alapharmonikus számítása

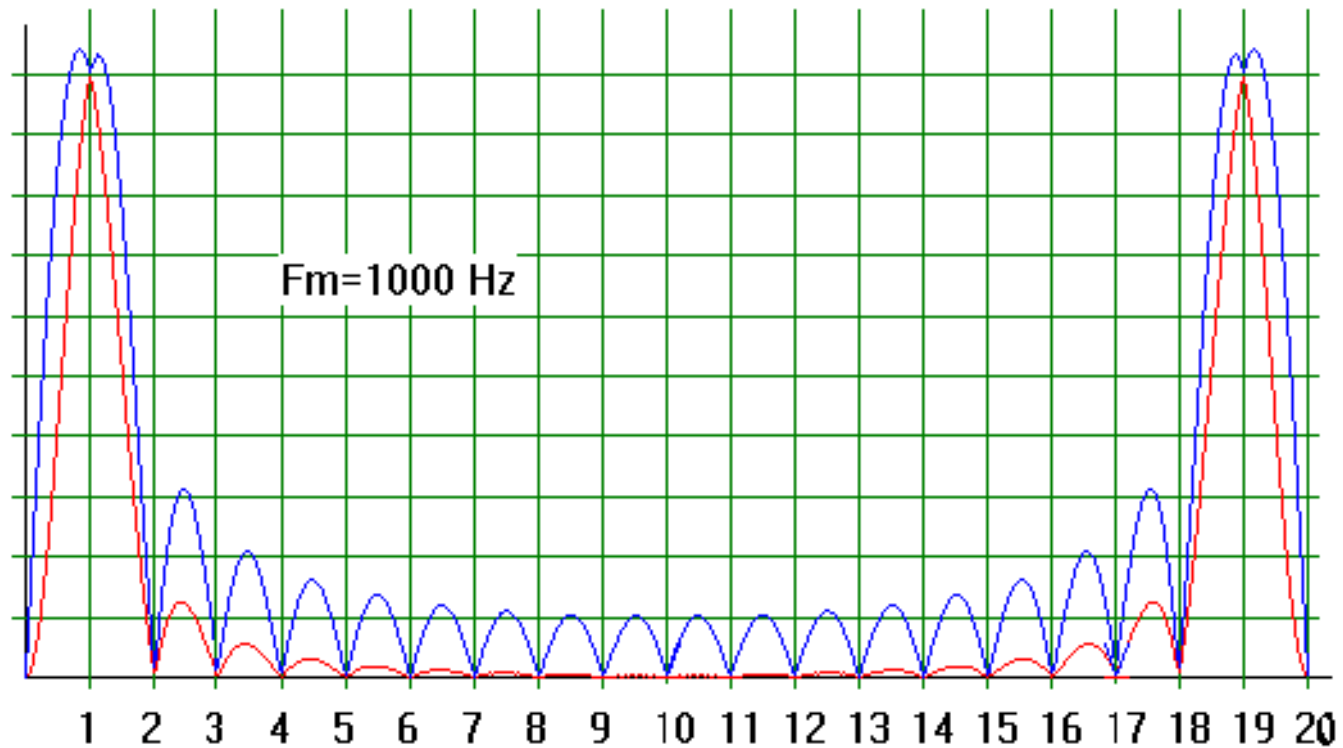
$$A_1 = \frac{2}{N} \sum_{k=0}^{N-1} \left[i_k \cos \left(\omega_1 \left(t_0 + k \frac{T}{N} \right) \right) \right] = \sum_{k=0}^{N-1} [i_k a_k]$$

$$B_1 = \frac{2}{N} \sum_{k=0}^{N-1} \left[i_k \sin \left(\omega_1 \left(t_0 + k \frac{T}{N} \right) \right) \right] = \sum_{k=0}^{N-1} [i_k b_k]$$

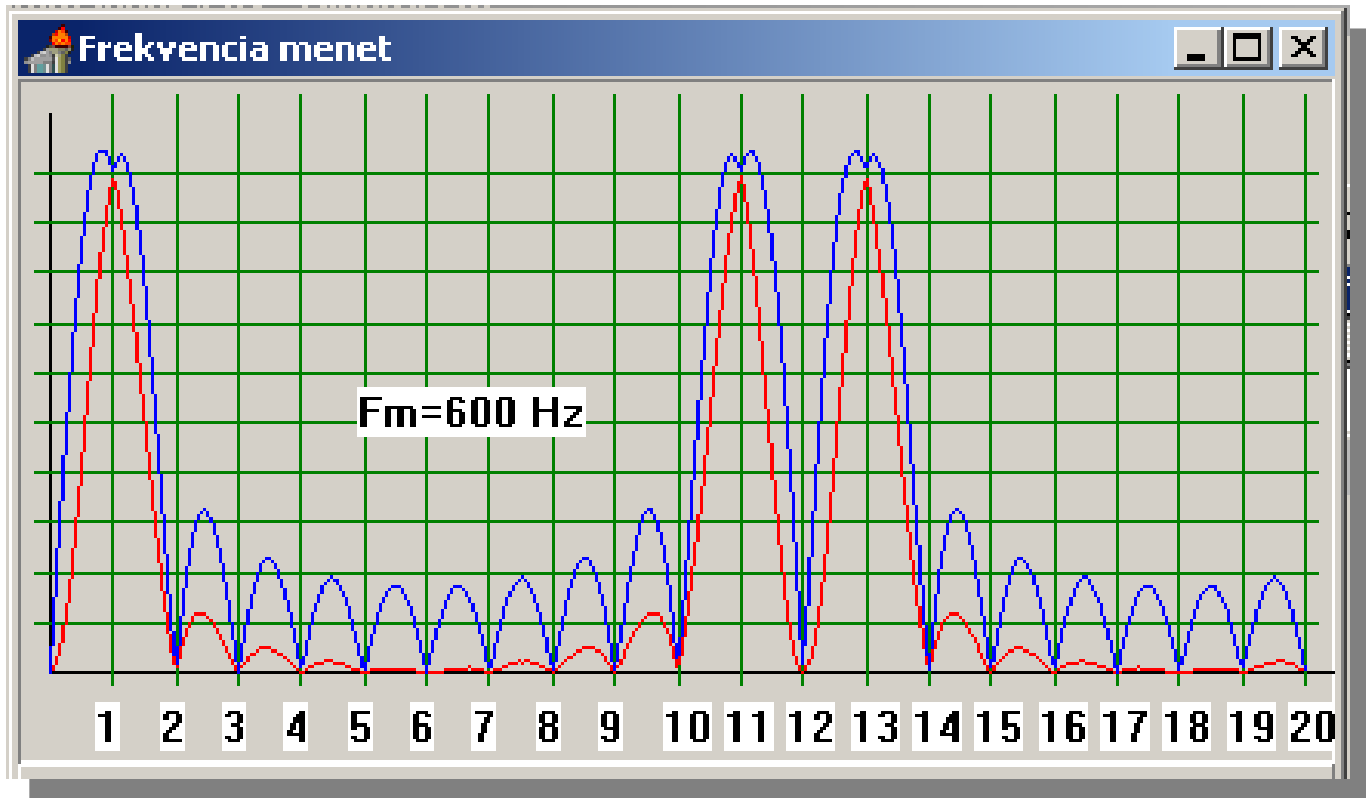
$$|I_1| = \sqrt{A_1^2 + B_1^2}$$

$$\varphi_1 = \arctg \left(\frac{B_1}{A_1} \right)$$

A Fourier szűrő frekvenciamenete (1)



A Fourier szűrő frekvenciamenete (2)



A kiemelt felharmonikusok

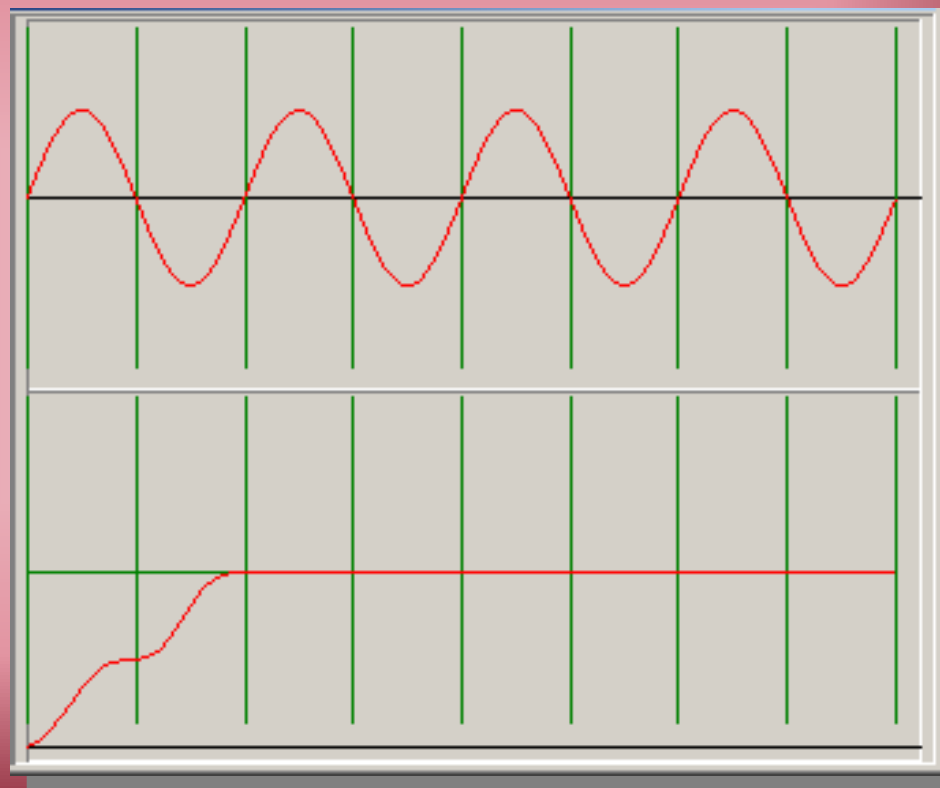
N	A kiemelt felharmonikusok rendszáma													
4	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23	25	27	...
6		5	7		11	13		17	19		23	25		
8			7	9			15	17			23	25		
10				9	11				19	21				
12					11	13					23	25		
14						13	15						27	
16							15	17						
18								17	19					
20									19	21				

A Fourier szűrő tranziensei (1)

Tiszta 50 Hz-es időfüggvény egyenáramú összetevő nélkül

Zárlati áram

Számított érték

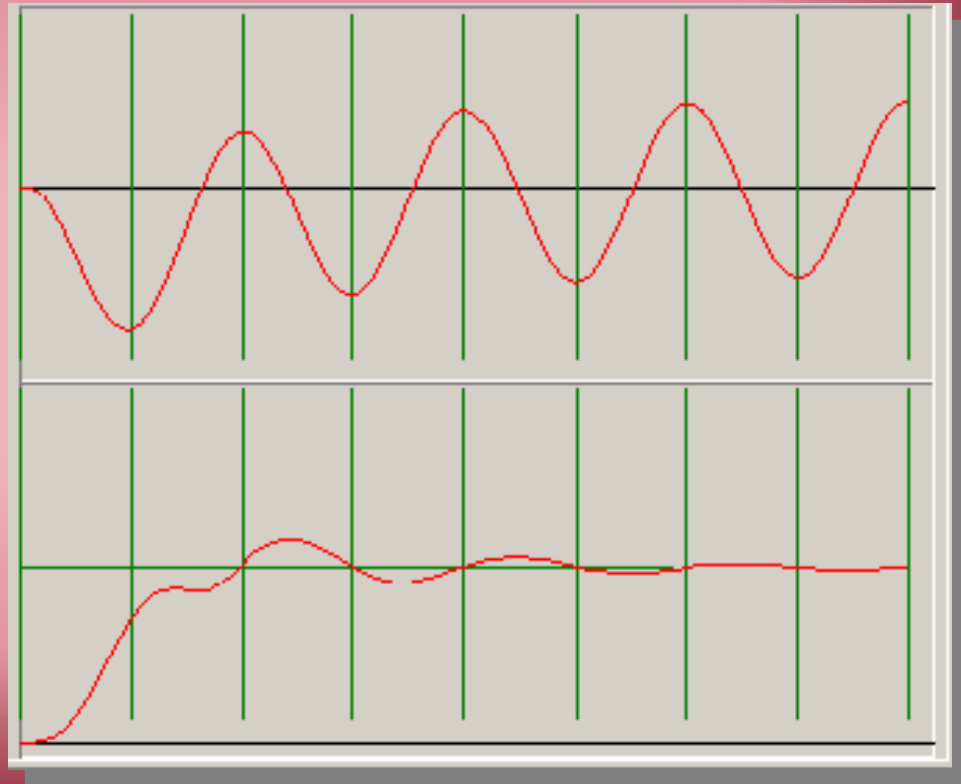


A Fourier szűrő tranziensei (2)

50 Hz-es időfüggvény egyenáramú összetevővel,
automatikus egyen szűrés

Zárlati áram

Számított érték

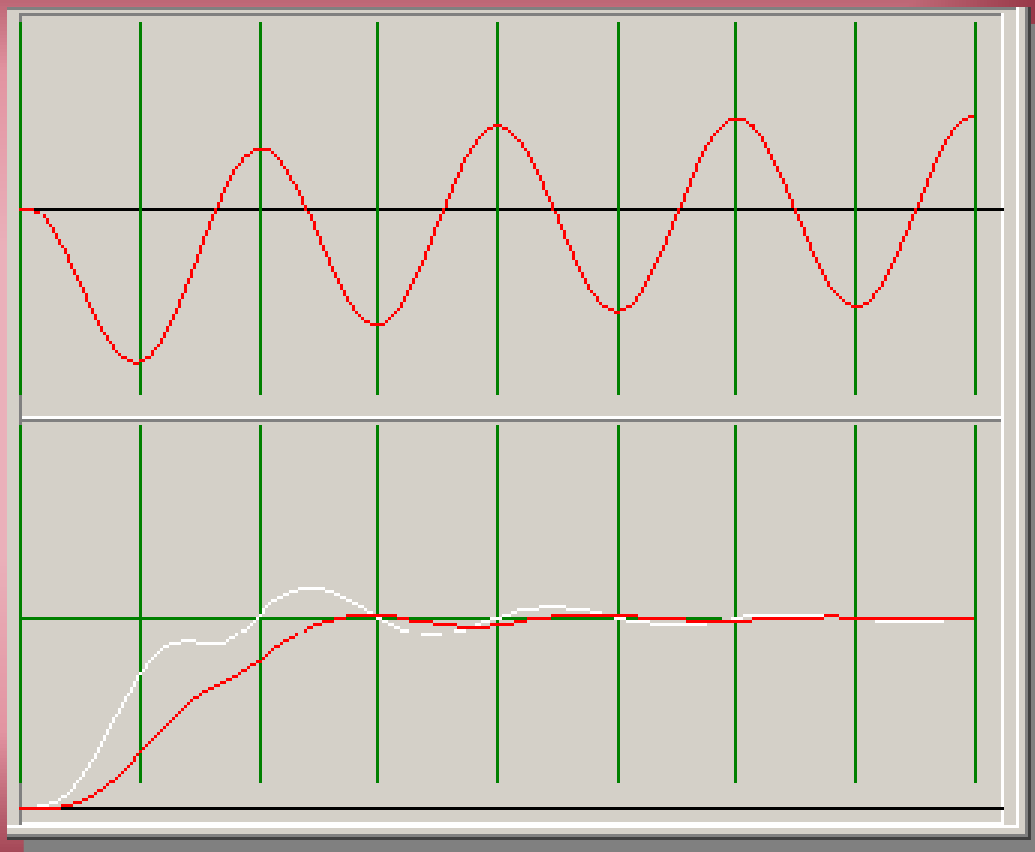


A Fourier szűrő tranziensei (3)

Simító szűréssel

Zárlati áram

Számított érték

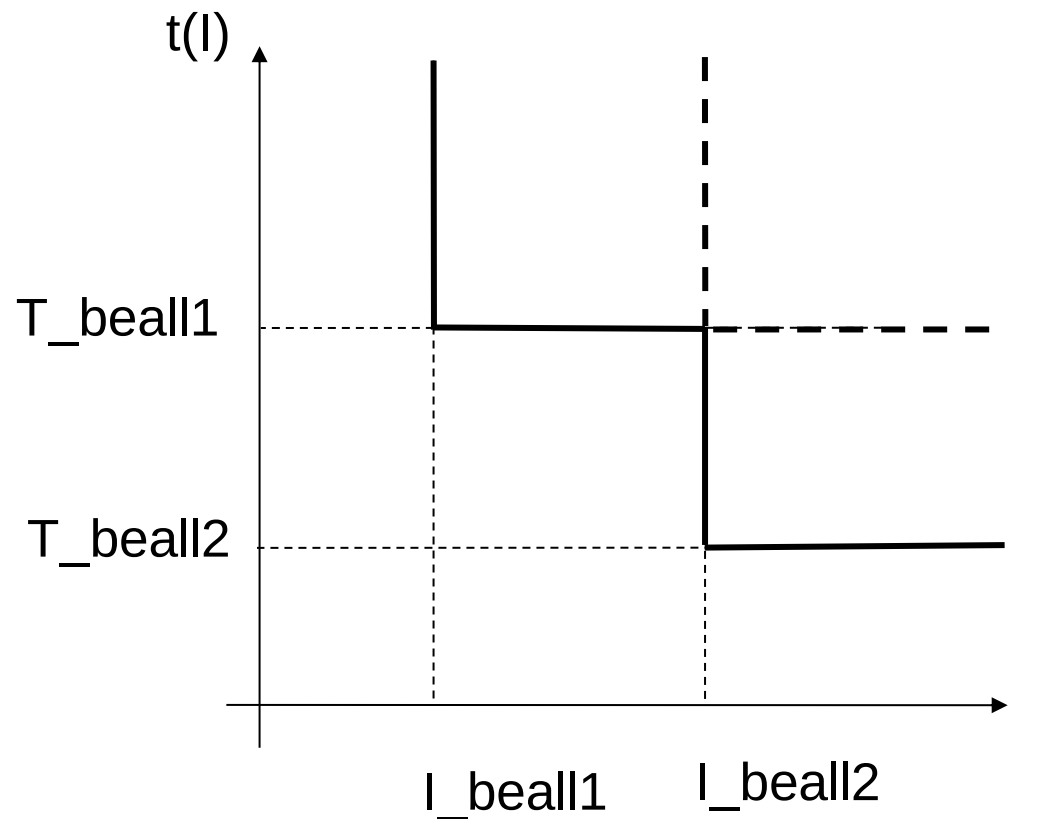


Túláramvédelem fajták összehasonlítása

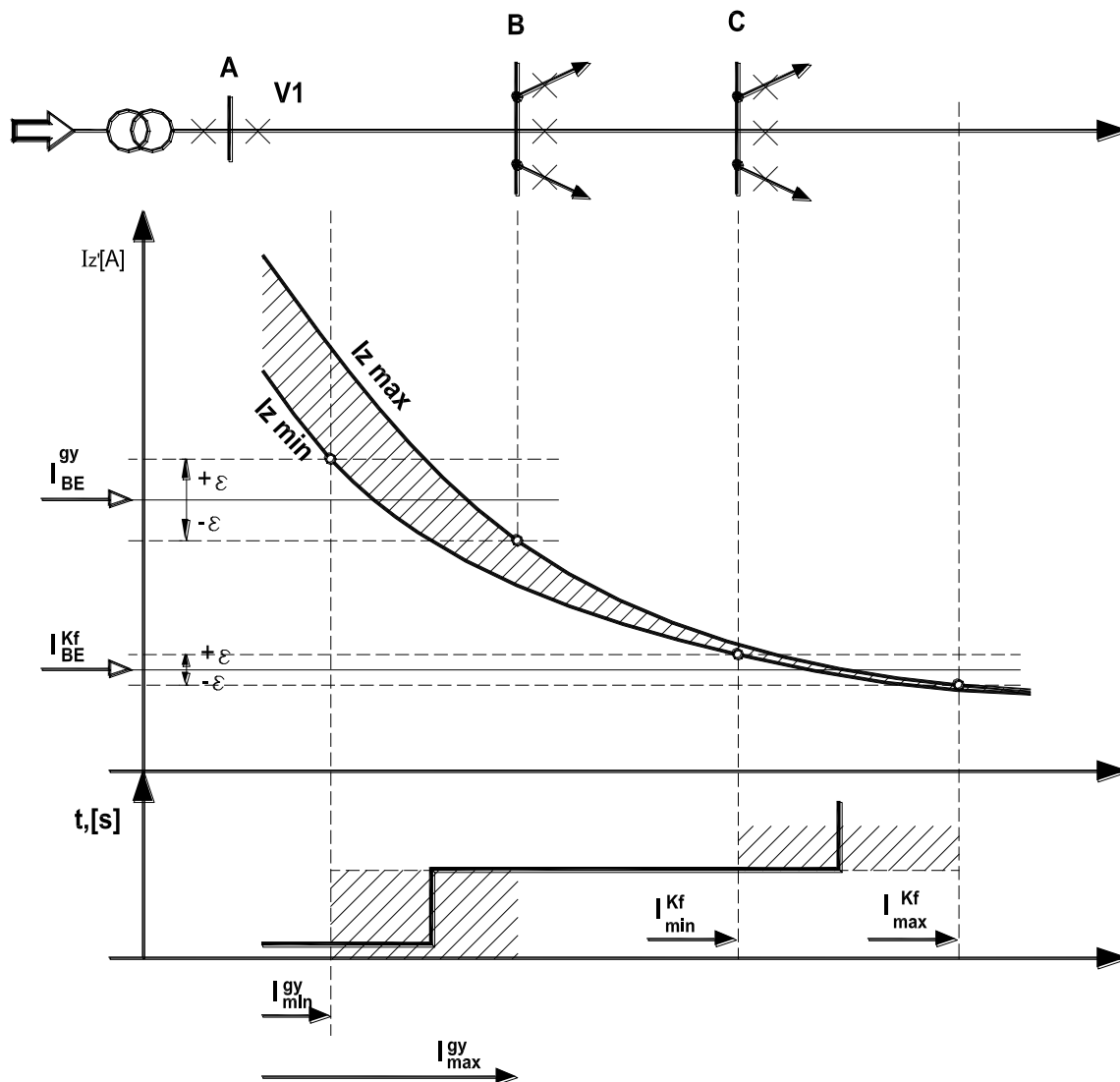
Döntés az áram effektív értéke alapján

- Független késleltetésű túláramvédelmek
- Áramtól függő késleltetésű túláramvédelmek
 - Inverse
 - Very inverse
 - Extremely inverse
- Hőmás védelem

Független késleltetésű túláramvédelmek



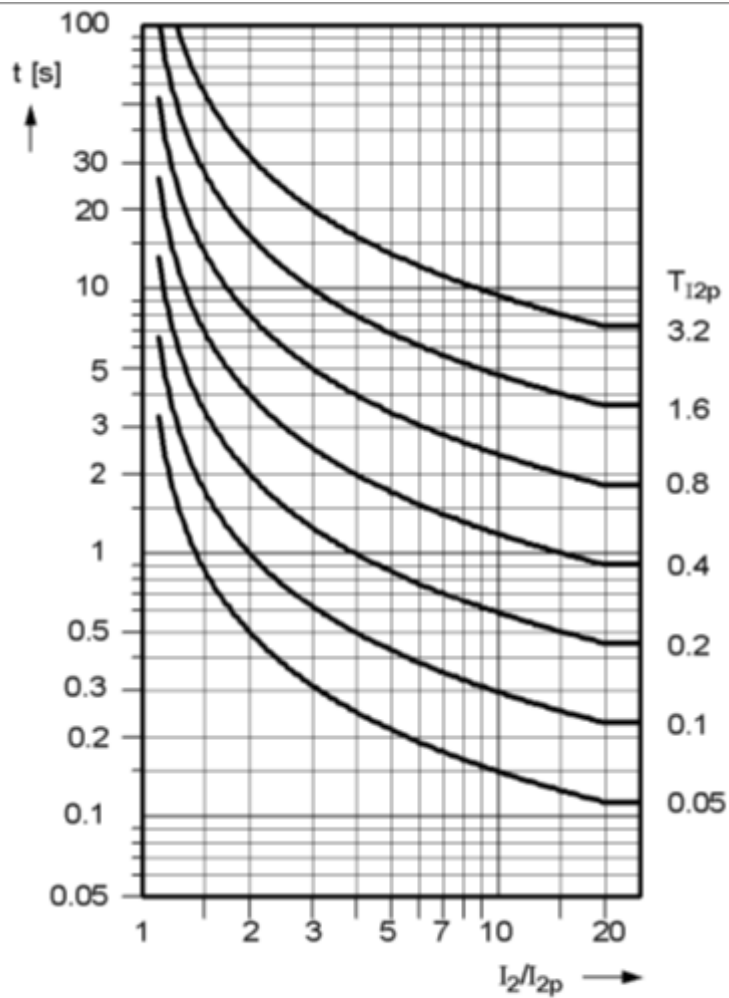
Független késleltetésű túláramvédelmek



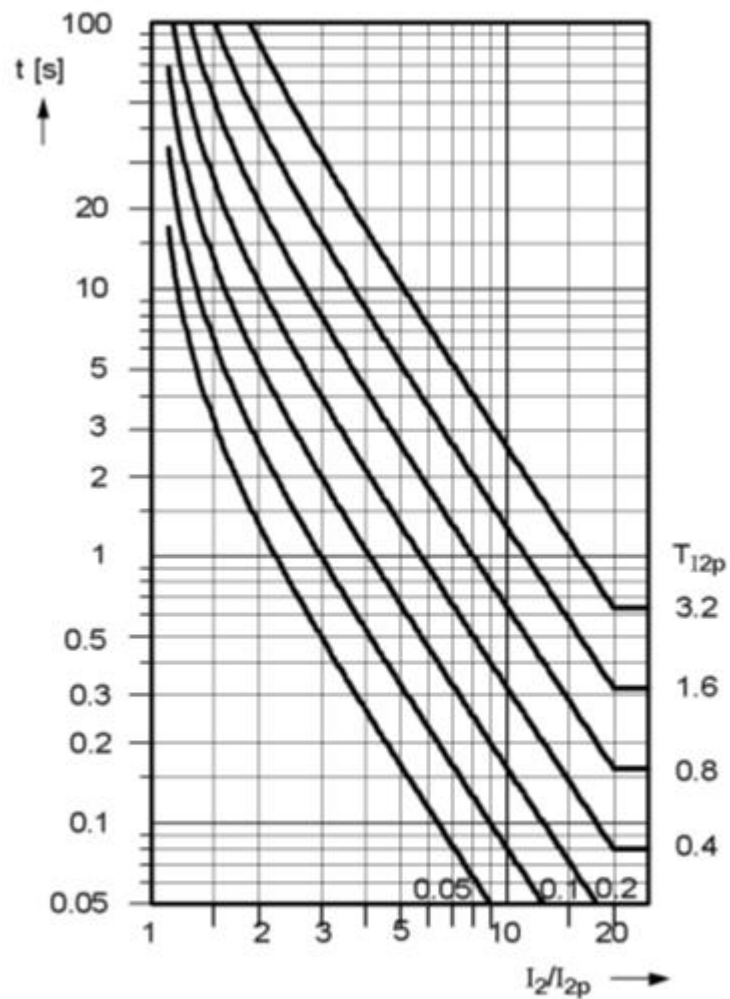
Áramtól függő késleltetésű túláramvédelmek (IDMT)

$$t(G) = TMS \left[\frac{k}{\left(\frac{I}{I_{beall}} \right)^{\alpha} - 1} + c \right]$$

	IEC ref	Title	k _r	c	α
1	A	IEC Inv	0,14	0	0,02
2	B	IEC VeryInv	13,5	0	1
3	C	IEC ExtInv	80	0	2
4		IEC LongInv	120	0	1
5		ANSI Inv	0,0086	0,0185	0,02
6	D	ANSI ModInv	0,0515	0,1140	0,02
7	E	ANSI VeryInv	19,61	0,491	2
8	F	ANSI ExtInv	28,2	0,1217	2
9		ANSI LongInv	0,086	0,185	0,02
10		ANSI LongVeryInv	28,55	0,712	2
11		ANSI LongExtInv	64,07	0,250	2



IEC NORMAL INVERSE:
$$t = \frac{0.14}{(I_2/I_{2p})^{0.02} - 1} \cdot T_{I2p} \text{ [s]}$$



IEC EXTREMELY INVERSE:
$$t = \frac{80}{(I_2/I_{2p})^2 - 1} \cdot T_{I2p} \text{ [s]}$$

A hőmás védelem elmélete (1)

A termelt hő:

$$Q_I = I^2(t)Rdt$$

A melegedésre:

$$Q_M = cmd\Theta$$

A környezetbe leadott:

$$Q_K = hA\Theta dt$$

A hőegyensúly:

$$Q_I = Q_M + Q_K$$

Θ : a környezethez képesti hőmérséklet

A hőmás védelem elmélete (2)

A hőegyensúly: $I^2(t)Rdt = cmd\Theta + hA\Theta dt$

Ebből a differenciál egyenlet:

$$\frac{d\Theta}{dt} = \frac{I^2(t)R}{ThA} - \frac{1}{T}\Theta$$

A hőmérsékleti időállandó:

$$T = \frac{cm}{hA}$$

A hőmás védelem elmélete (3)

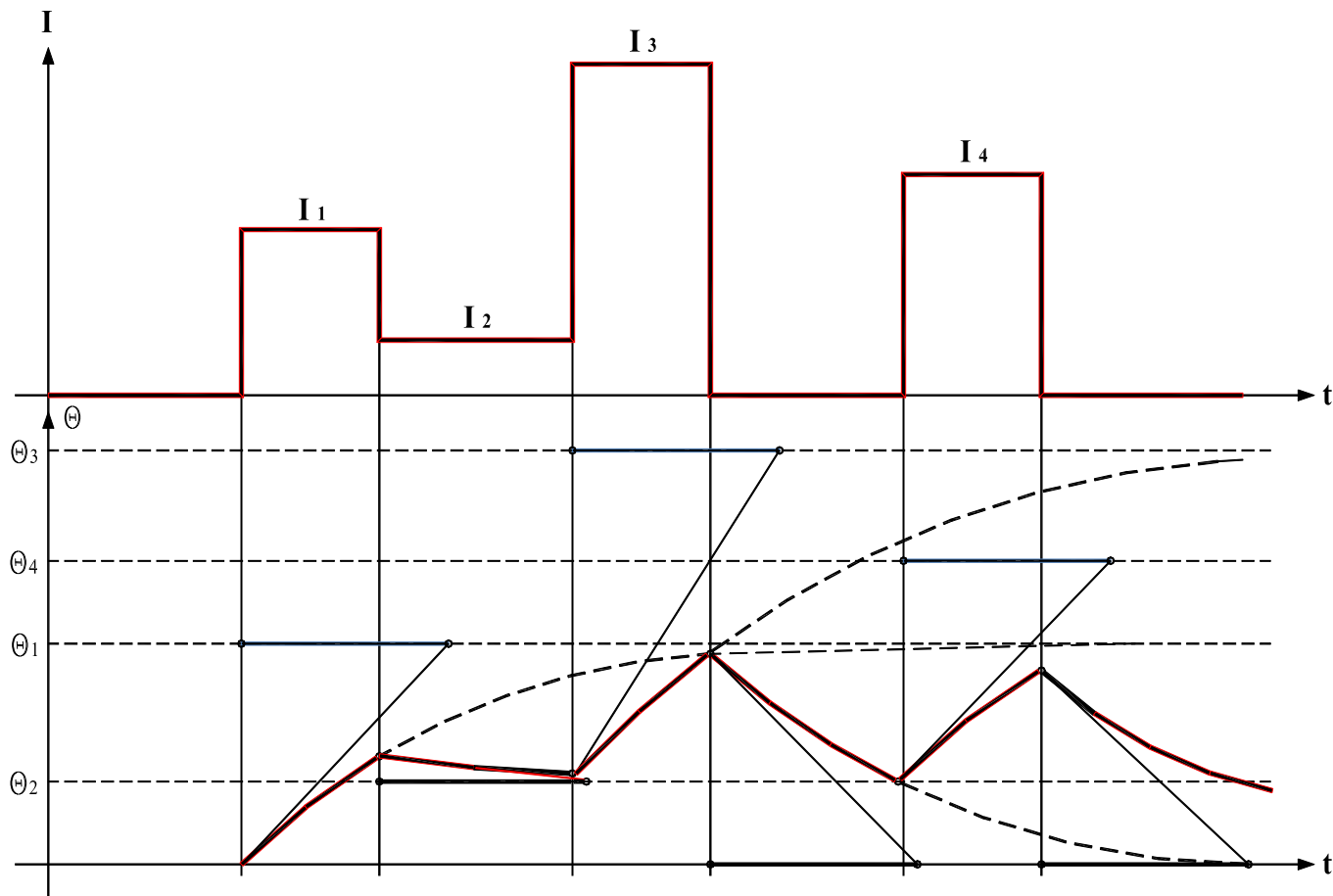
A hőmérséklet alakulása (a diff egyenlet megoldása)
- állandó áram esetén

$$\Theta(t) = \frac{I^2 R}{hA} \left(1 - e^{-\frac{t}{T}}\right)$$

- árammentes állapotban (Θ_0 hőmérsékletéről indulva)

$$\Theta(t) = \Theta_0 e^{-\frac{t}{T}}$$

A melegedés időbeli folyamata



A hőmás védelem elmélete (4)

$$\Theta(t) = \frac{I^2 R}{hA} \left(1 - e^{-\frac{t}{T}} \right) + \Theta_o e^{-\frac{t}{T}}$$

Névleges áram (I_n) esetén állandósul a névleges hőmérséklet (Θ_n)

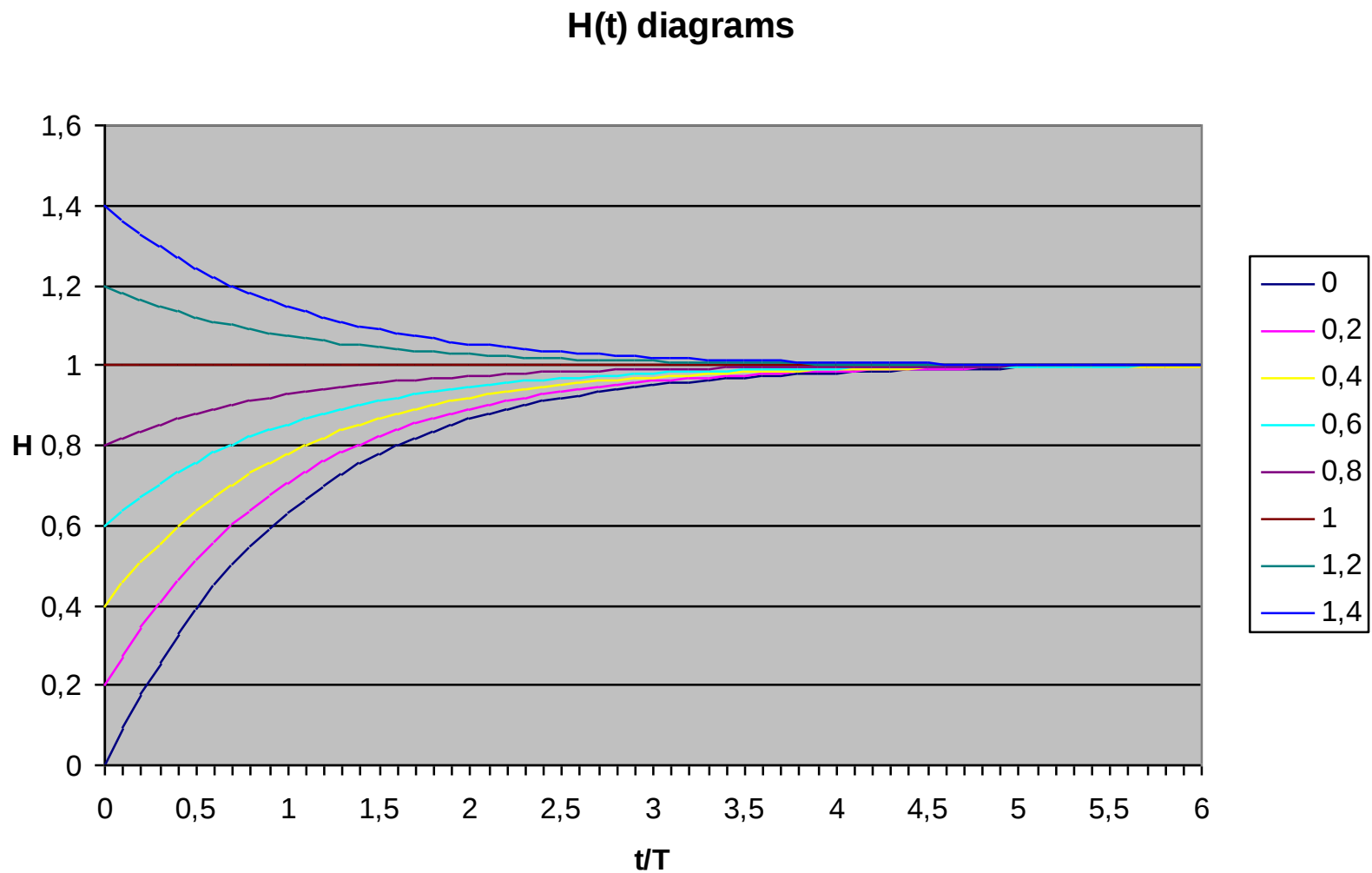
$$\Theta_n = \frac{I_n^2 R}{hA}$$

$$\frac{R}{hA} = \frac{\Theta_n}{I_n^2}$$

Ezzel

$$H(t) = \frac{\Theta(t)}{\Theta_n} = \frac{I^2}{I_n^2} \left(1 - e^{-\frac{t}{T}} \right) + \frac{\Theta_o}{\Theta_n} e^{-\frac{t}{T}}$$

A „hőállapot”



A hőmás védelem elmélete (4)

Az áram és az állandósult hőmérséklet összefüggése

$$\frac{R}{hA} = \frac{\Theta_n}{I_n^2} = \frac{\Theta_o}{I_o^2} = \frac{\Theta_{beall}}{I_{beall}^2}$$

Ezzel

$$H(t) = \frac{\Theta(t)}{\Theta_n} = \frac{I^2}{I_n^2} \left(1 - e^{-\frac{t}{T}} \right) + \frac{I_o^2}{I_n^2} e^{-\frac{t}{T}}$$

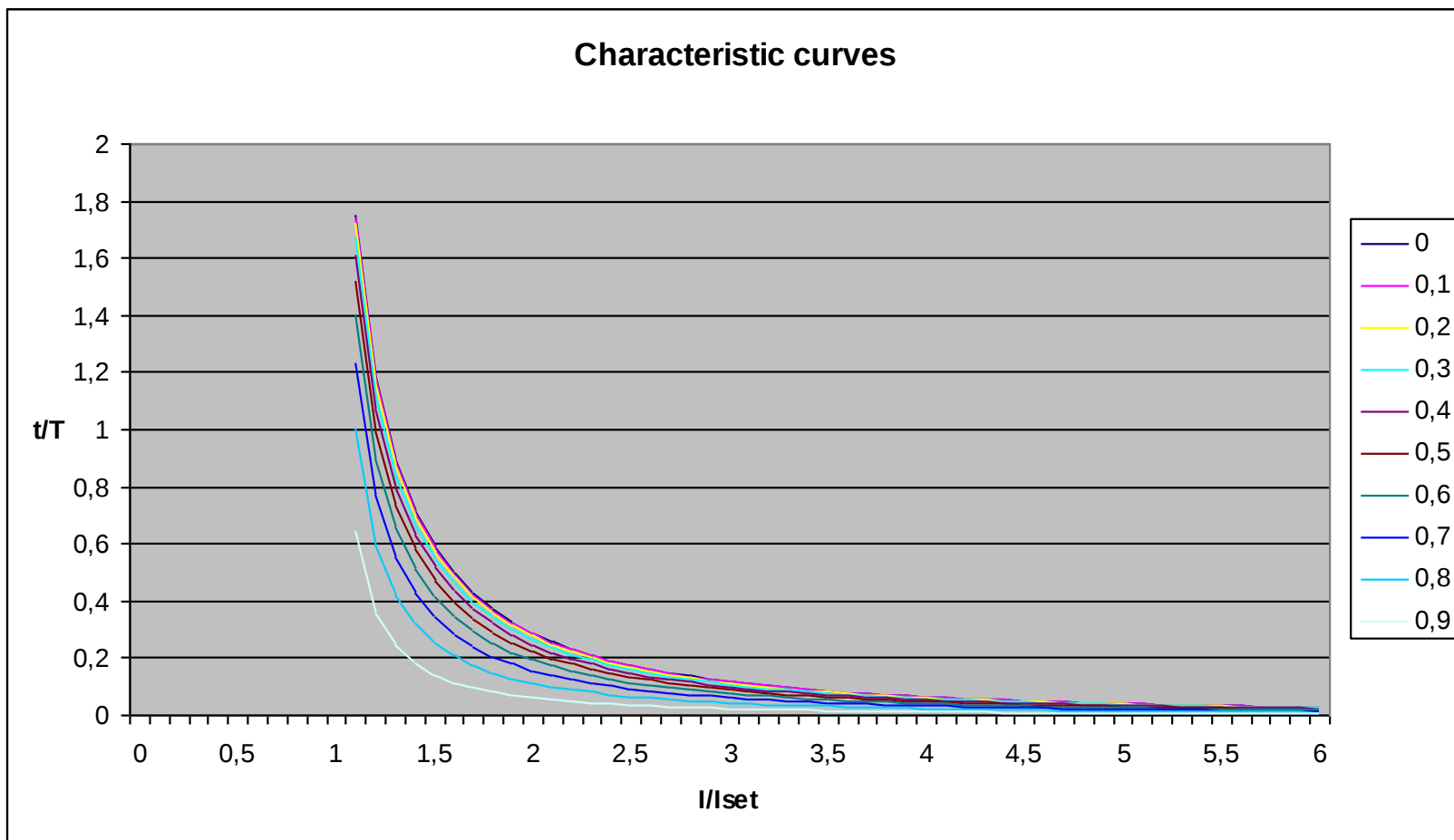
Átrendezve

$$\frac{\Theta(t)}{\Theta_n} = \frac{I^2}{I_n^2} + \left(\frac{I_o^2}{I_n^2} - \frac{I^2}{I_n^2} \right) e^{-\frac{t}{T}}$$

A kikapcsolási hőmérséklet (Θ_{beall}) eléréséhez szükséges idő adott I áramnál

$$\frac{t}{T} = \ln \left(\frac{\frac{I^2}{I_n^2} - \frac{I_o^2}{I_n^2}}{\frac{I^2}{I_n^2} - \frac{I_{beall}^2}{I_n^2}} \right)$$

Hőmás védelem jelleggörbéi



A hőmás védelem numerikus megvalósítása (1)

A differenciál-egyenlet:

$$\frac{d\Theta}{dt} = \frac{I^2(t)R}{ThA} - \frac{1}{T}\Theta$$

Általános formában:

$$m = \frac{dy}{dx} = f(x, y)$$

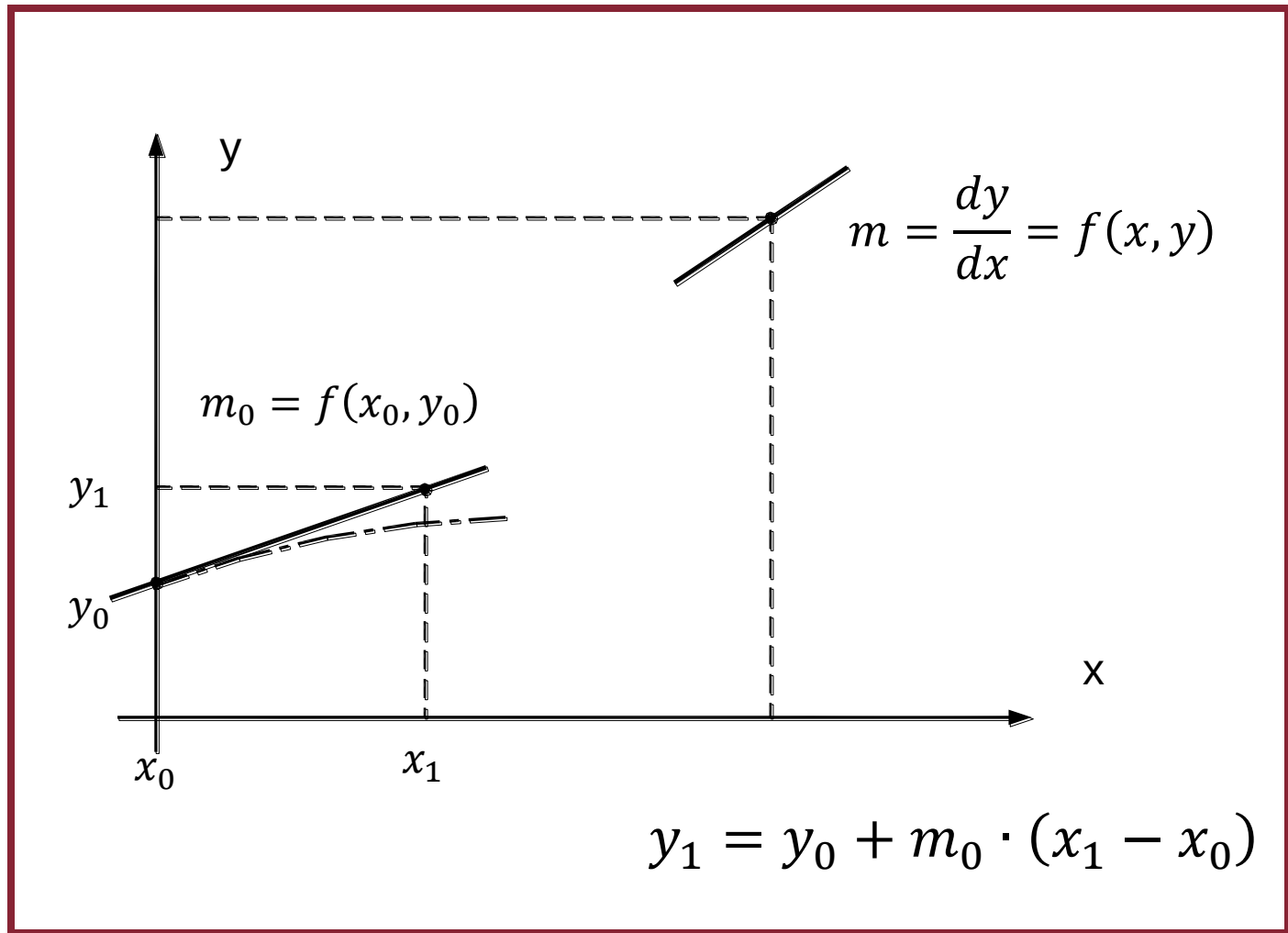
az x független változó
az y függő változó

$\Rightarrow$ a t idő;
 $\Rightarrow$ a Θ hőmérséklet;

és az $f(x, y)$ függvény

$$\Rightarrow \frac{I^2(t)R}{ThA} - \frac{1}{T}\Theta$$

Megoldás lépésről-lépésre



A hőmás védelem numerikus megvalósítása (2)

A differenciál-egyenlet megoldása lépésről-lépésre:

$$\Theta(t + \Delta t) = \left(1 - \frac{1}{T} \frac{\Delta t}{\Delta t}\right) \Theta(t) + \frac{1}{\frac{T h A}{\Delta t R}} I^2(t)$$

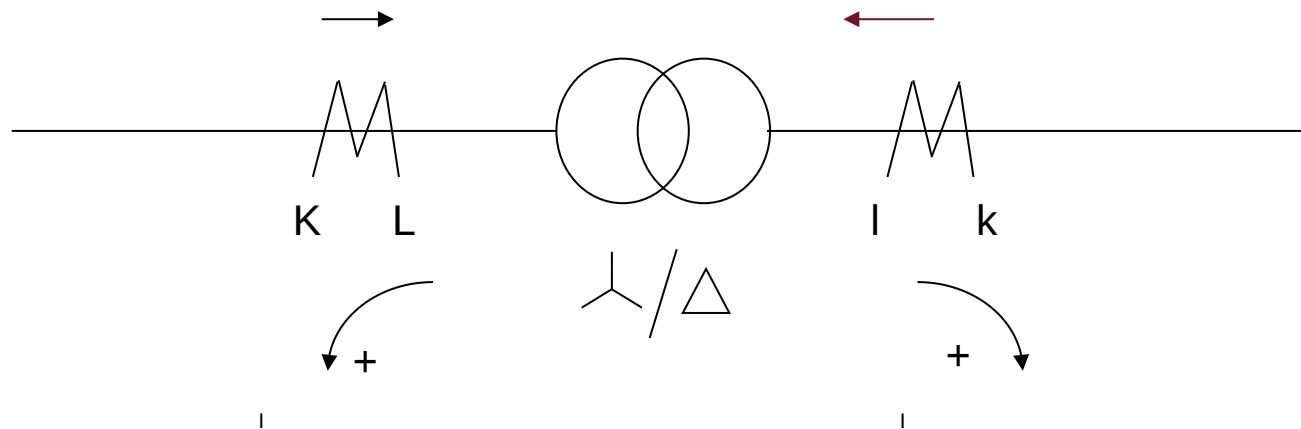
Egyszerűbben:

$$\Theta(t + \Delta t) = q \Theta(t) + k I^2(t)$$

$$y(n) = q \cdot y(n - 1) + x(n)$$

Transzformátor differenciál védelem

$$\Sigma I = 0$$

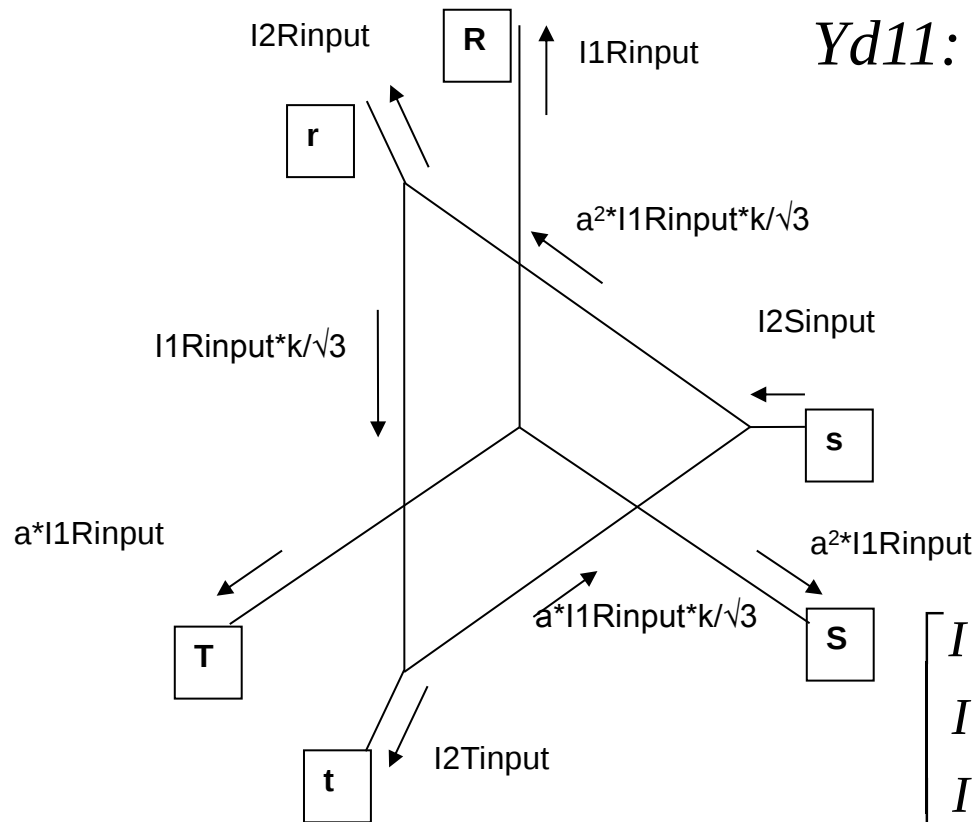


A numerikus védelmeknél közvetlen bekötés és

- Numerikus amplitúdó kompenzálás
- Numerikus vektor kompenzálás
- Numerikus zérus sorrend eliminálás
- Védekezés bekapcsolási áramlökés ellen
- Védekezés áramváltó telítés ellen
- Védekezés áttétel változtatás ellen

PÉLDA

Yd11:



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

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

Vektor kompenzálás („d” oldalra)

Dy7	8	$\begin{bmatrix} \Pi Rshift \\ \Pi Sshift \\ \Pi Tshift \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Pi r \\ \Pi s \\ \Pi t \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} I2Rshift \\ I2Sshift \\ I2Tshift \end{bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{3}} \begin{bmatrix} -1 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 1 \\ 1 & 0 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I2r \\ I2s \\ I2t \end{bmatrix}$
Yd7	9	$\begin{bmatrix} \Pi Rshift \\ \Pi Sshift \\ \Pi Tshift \end{bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{3}} \begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ -1 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Pi r \\ \Pi s \\ \Pi t \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} I2Rshift \\ I2Sshift \\ I2Tshift \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I2r \\ I2s \\ I2t \end{bmatrix}$
Dy11	10	$\begin{bmatrix} \Pi Rshift \\ \Pi Sshift \\ \Pi Tshift \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Pi r \\ \Pi s \\ \Pi t \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} I2Rshift \\ I2Sshift \\ I2Tshift \end{bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{3}} \begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ -1 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I2r \\ I2s \\ I2t \end{bmatrix}$
Yd11	11	$\begin{bmatrix} \Pi Rshift \\ \Pi Sshift \\ \Pi Tshift \end{bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{3}} \begin{bmatrix} 1 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & -1 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Pi r \\ \Pi s \\ \Pi t \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} I2Rshift \\ I2Sshift \\ I2Tshift \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I2r \\ I2s \\ I2t \end{bmatrix}$



PÉLDA

$$S_n = 125 \text{ MVA}$$

$$U_1/U_2 = 132/11.5 \text{ kV/kV}$$

$$Y_{d11}$$

Az áramváltók áttétele:

$$AV1 \quad 600/1 \text{ A/A}$$

$$AV2 \quad 6000/1 \text{ A/A}$$

$$I_{1np} = 546 \text{ A}$$

az áramváltó szekunder oldalán

$$I_{1n} = 0.91 \text{ A}$$

$$I_{2np} = 6275 \text{ A}$$

az áramváltó szekunder oldalán

$$I_{2n} = 1.05 \text{ A}$$

Amplitudo kompenzáláshoz

$$I_{be1} = 91 \%$$

$$I_{be2} = 105\%$$

Ellenőrzés terhelő áramra

$$\begin{bmatrix} I1Rinput \\ I1Sinput \\ I1Tinput \end{bmatrix} = I1np * \frac{1}{600} \begin{bmatrix} 1 \\ a^2 \\ a \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} I1Rshift \\ I1Sshift \\ I1Tshift \end{bmatrix} = \frac{100}{Ibe1} \frac{1}{\sqrt{3}} \begin{bmatrix} 1 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & -1 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I1Rinput \\ I1Sinput \\ I1Tinput \end{bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{3}} I1np * \frac{1}{600} * \frac{100}{Ibe1} \begin{bmatrix} (1-a^2) \\ (a^2-a) \\ (a-1) \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} I1Rshift \\ I1Sshift \\ I1Tshift \end{bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{3}} I1np * 0.00183 \begin{bmatrix} (1-a^2) \\ (a^2-a) \\ (a-1) \end{bmatrix}$$

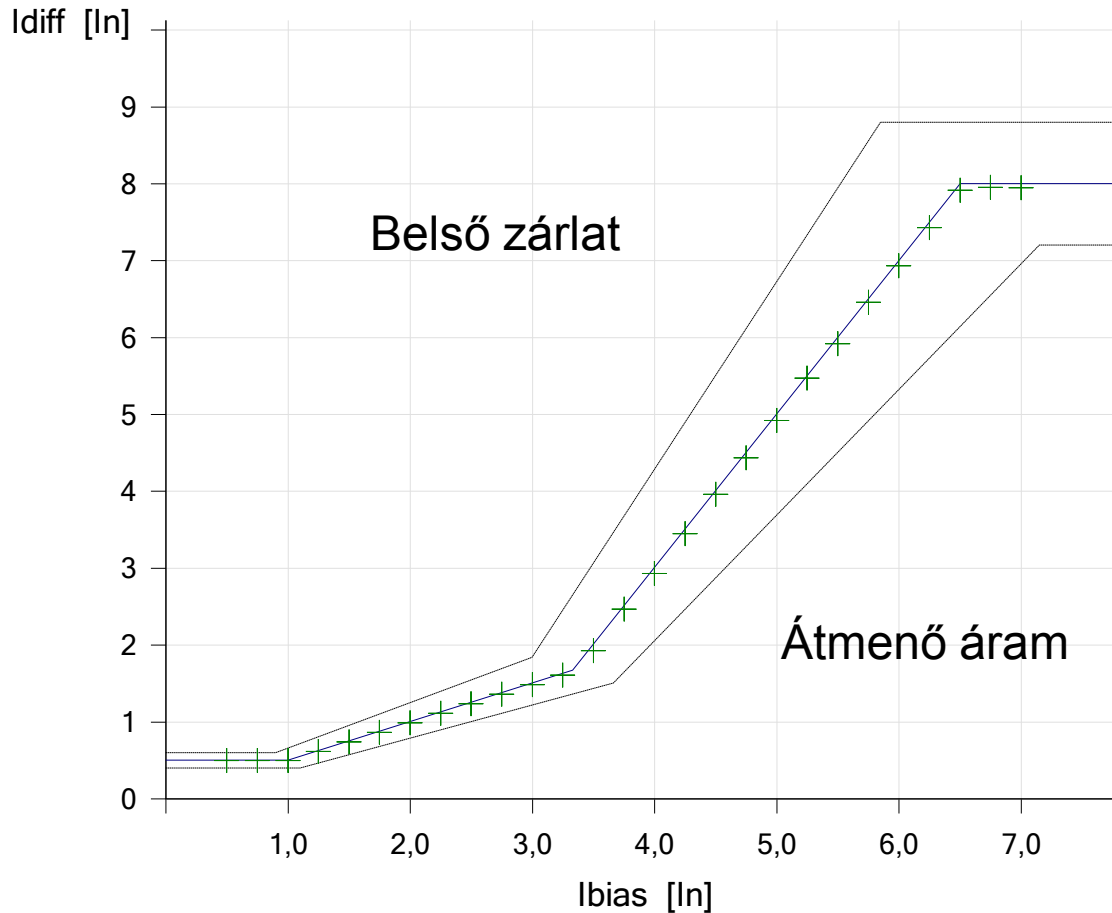
$$\begin{bmatrix} I2Rinput \\ I2Rinput \\ I2Rinput \end{bmatrix} = I1np * \frac{132}{11.5} * \frac{1}{\sqrt{3}} * \frac{1}{6000} \begin{bmatrix} (a^2-1) \\ (a-a^2) \\ (1-a) \end{bmatrix}$$

Idiff=0

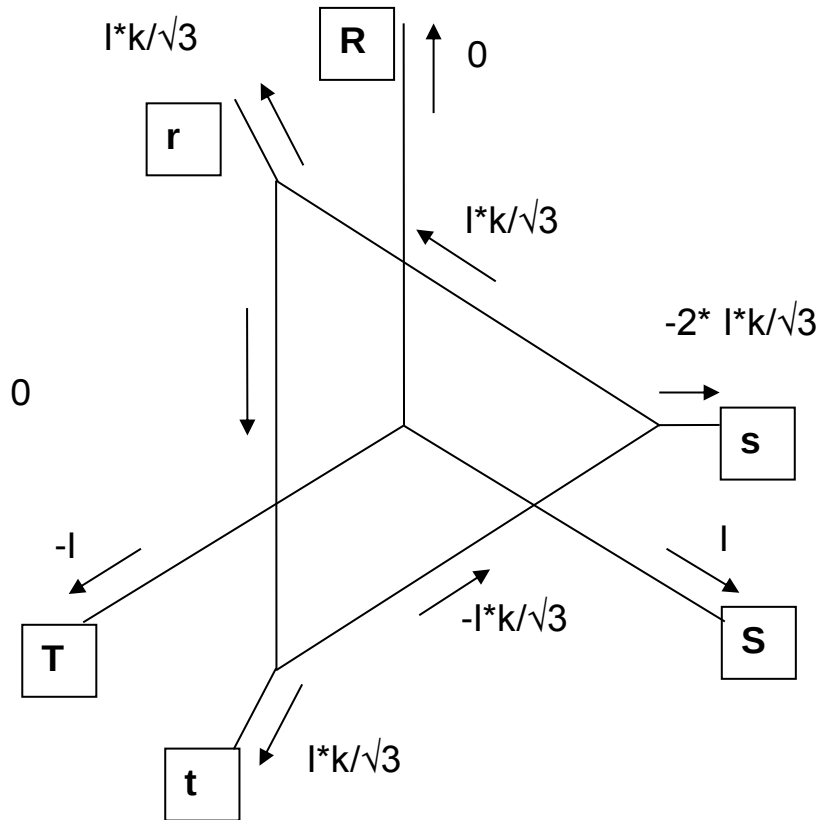
$$\begin{bmatrix} I2Rshift \\ I2Sshift \\ I2Tshift \end{bmatrix} = \frac{100}{Ibe2} * I1np * \frac{132}{11.5} * \frac{1}{\sqrt{3}} * \frac{1}{6000} \begin{bmatrix} (a^2-1) \\ (a-a^2) \\ (1-a) \end{bmatrix} = -\frac{1}{\sqrt{3}} I1np * 0.00182 \begin{bmatrix} (1-a^2) \\ (a^2-a) \\ (a-1) \end{bmatrix}$$

Transzformátor differenciál védelem működési karakterisztika (3F mérés)

Operating Characteristic Diagram



Példa: külső 2F zárlat az Y oldalon



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

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

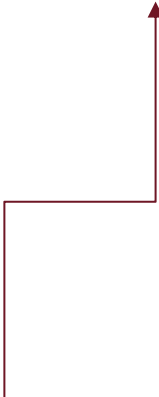
Ellenőrzés Y oldali külső 2F zárlatra

$$\begin{bmatrix} I1Rinput \\ I1Sinput \\ I1Tinput \end{bmatrix} = \frac{1}{600} * I * \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ -1 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} I1Rshift \\ I1Sshift \\ I1Tshift \end{bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{3}} * \begin{bmatrix} 1 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & -1 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I1Rinput \\ I1Sinput \\ I1Tinput \end{bmatrix} = \frac{1}{600} * \frac{100}{Ibe1} * \frac{1}{\sqrt{3}} * I * \begin{bmatrix} -1 \\ 2 \\ -1 \end{bmatrix} = 0.00183 * \frac{1}{\sqrt{3}} * I * \begin{bmatrix} -1 \\ 2 \\ -1 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} I2Rinput \\ I2Sinput \\ I2Tinput \end{bmatrix} = \frac{1}{6000} * \frac{132}{11.5} * \frac{1}{\sqrt{3}} * I * \begin{bmatrix} 1 \\ -2 \\ 1 \end{bmatrix}$$

Idiff=0

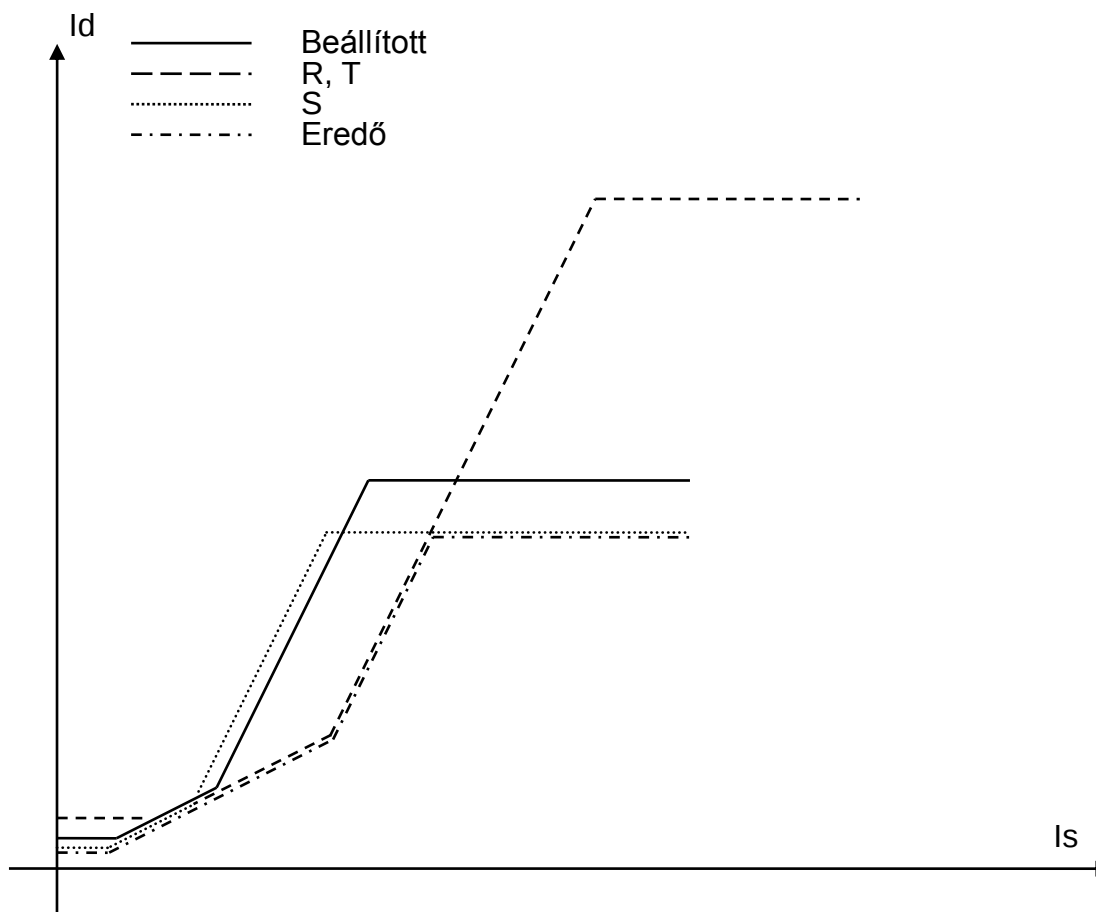


$$\begin{bmatrix} I2Rshift \\ I2Sshift \\ I2Tshift \end{bmatrix} = \frac{100}{Ibe2} * \frac{1}{6000} * \frac{132}{11.5} * \frac{1}{\sqrt{3}} * I * \begin{bmatrix} 1 \\ -2 \\ 1 \end{bmatrix} = 0.00182 * \frac{1}{\sqrt{3}} * I * \begin{bmatrix} 1 \\ -2 \\ 1 \end{bmatrix}$$

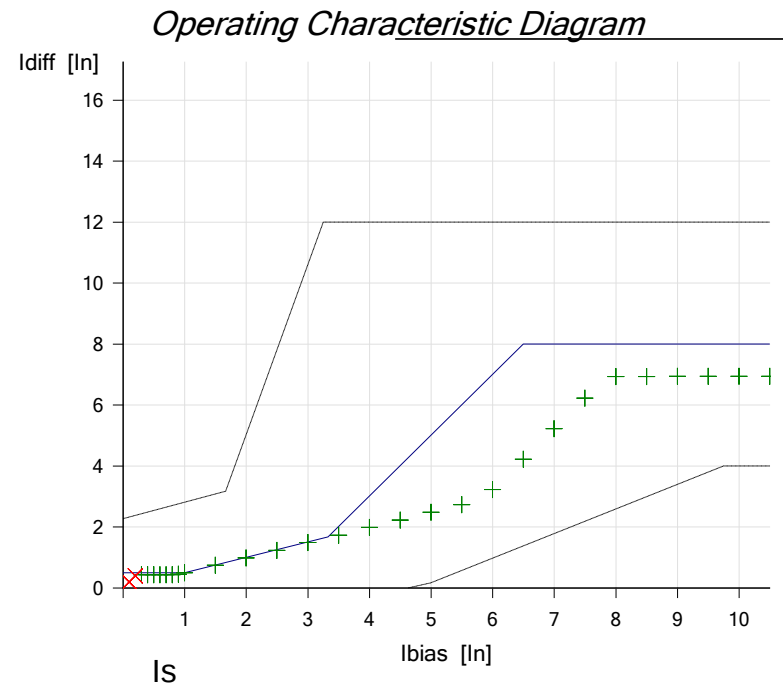
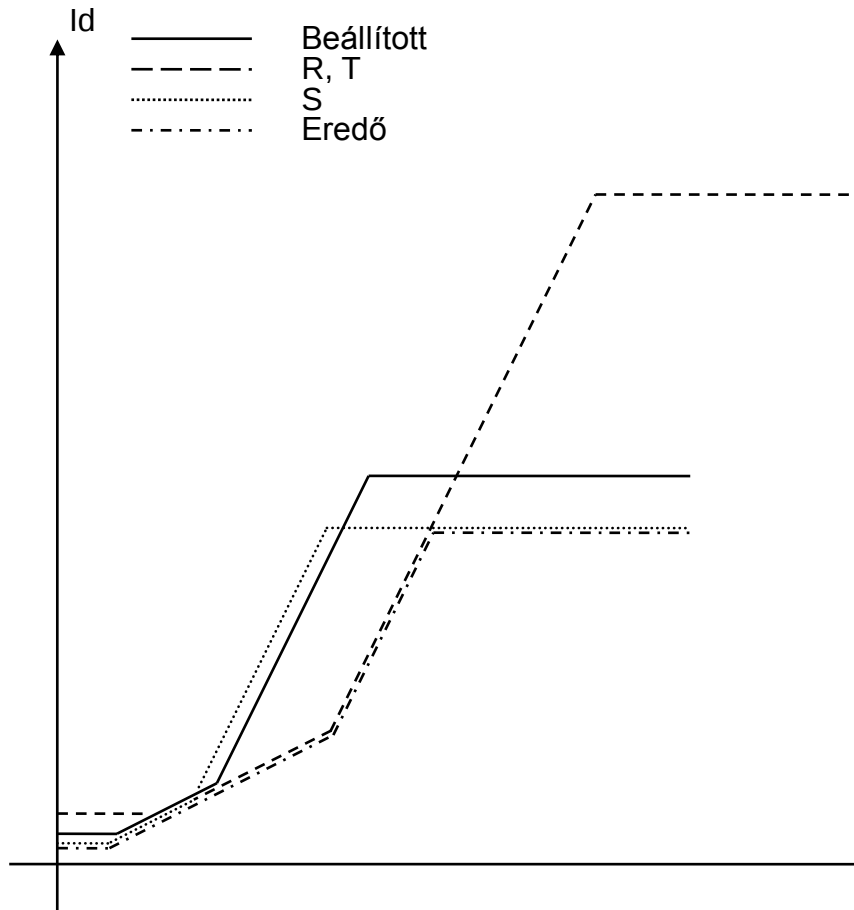
Zárlatfajta	Szorzótényező		
	R	S	T
2F zárlat az Y oldalon	$1/\sqrt{3}$	$2/\sqrt{3}$	$1/\sqrt{3}$

Transzformátor differenciál védelem működési karakterisztika (2F elmélet)

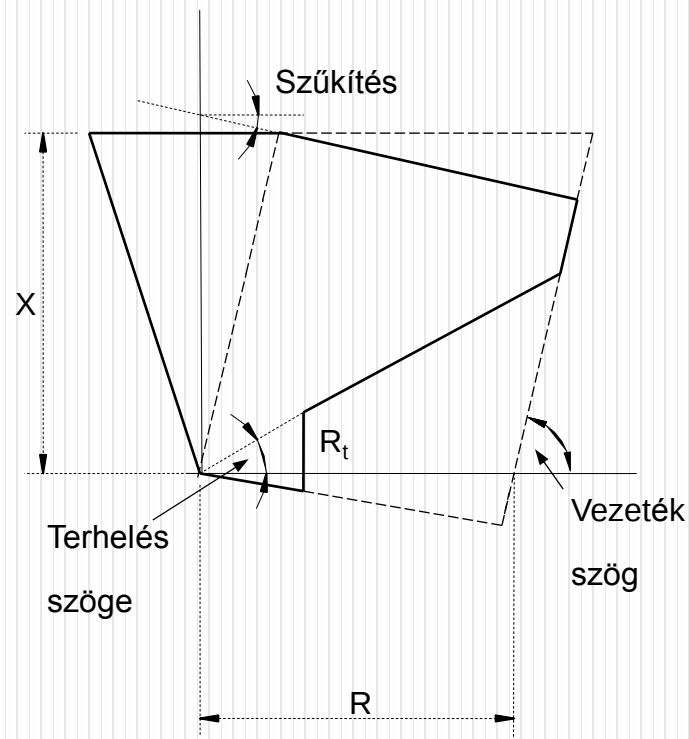
Zárlatfajta	Szorzótényező		
	R	S	T
2F zárlat az Y oldalon	$1/\sqrt{3}$	$2/\sqrt{3}$	$1/\sqrt{3}$



Transzformátor differenciál védelem működési karakterisztika (2F mérés)



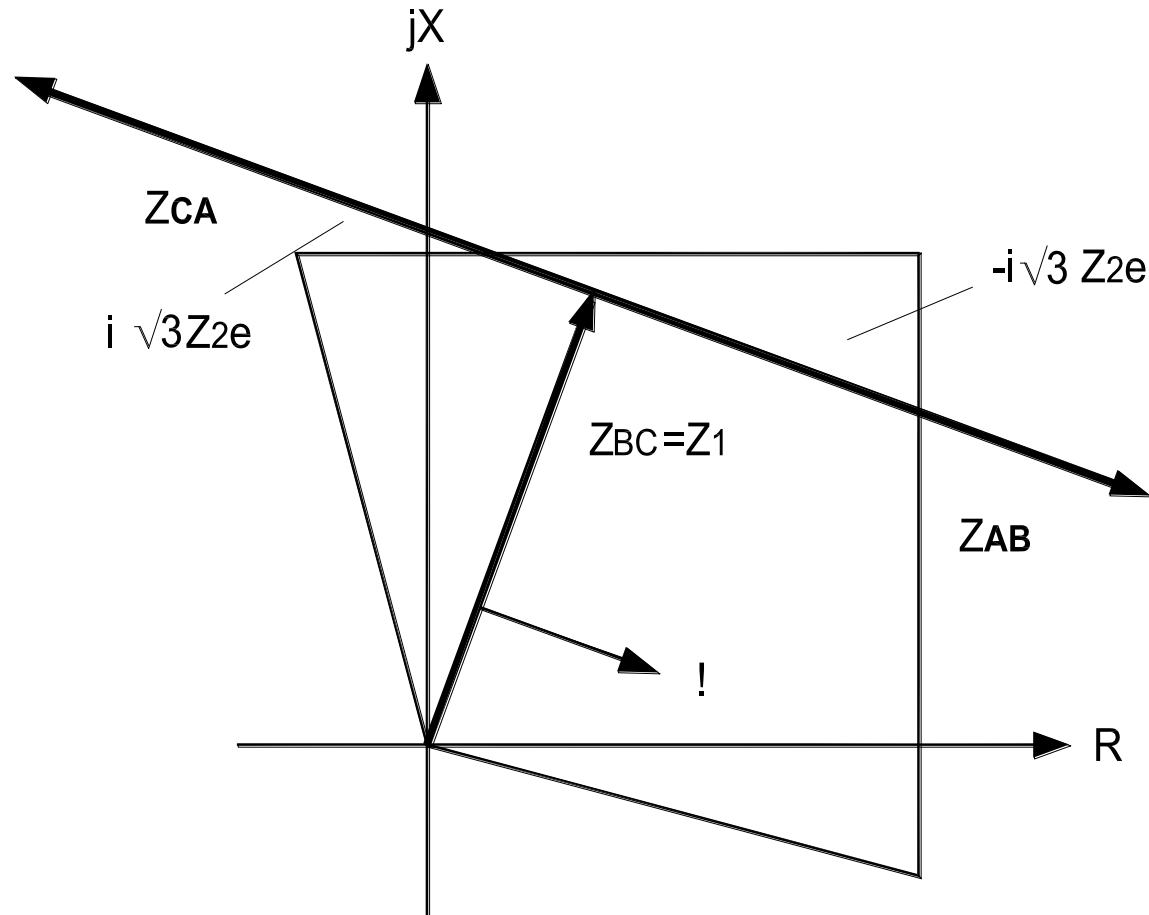
Numerikus távolsági védelem algoritmusok



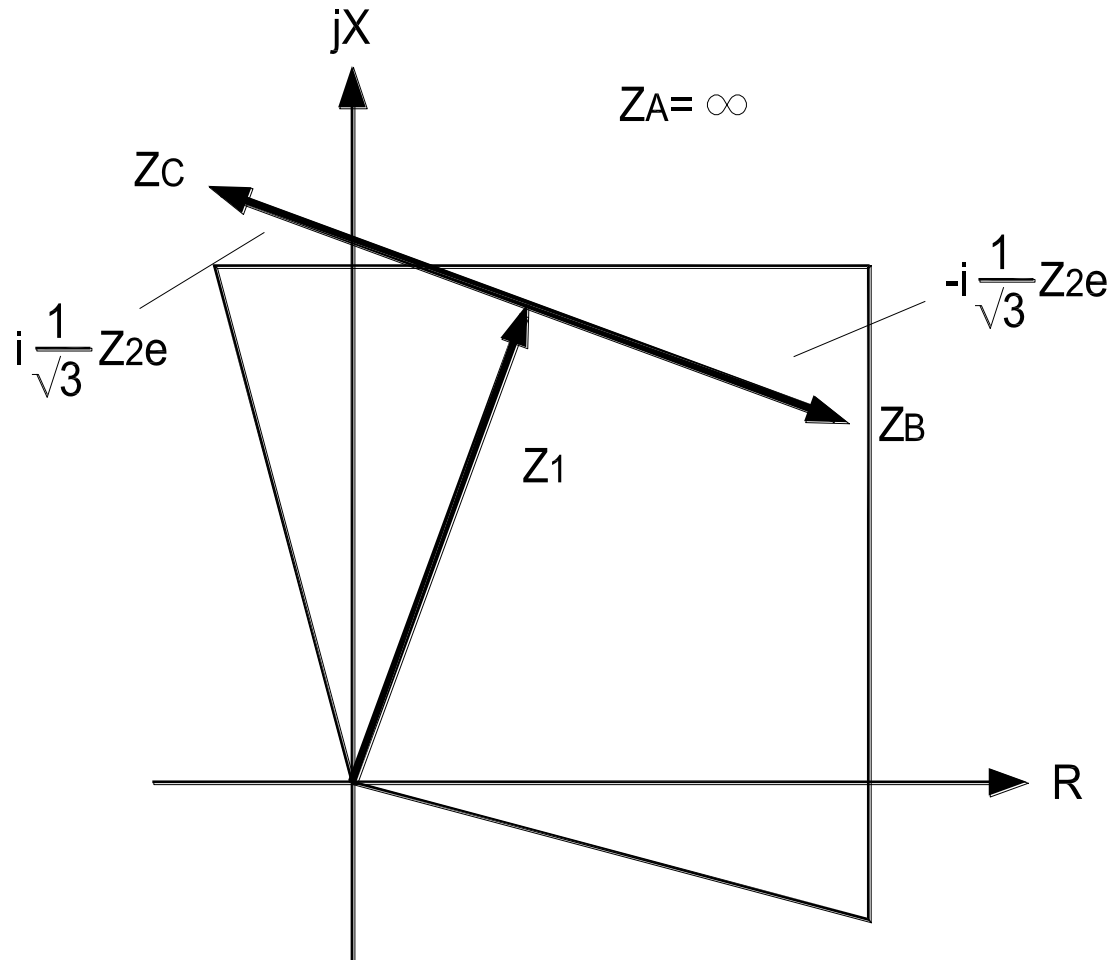
Impedancia mérés zárlatfajtánként

Zárlatfajta	Z	Lehet még
3F(N)	$Z_{BC} = \frac{U_B - U_C}{I_B - I_C}$	Z_{AB}, Z_{CA} Z_A, Z_B, Z_C
2F AB	$Z_{AB} = \frac{U_A - U_B}{I_A - I_B}$	
2F BC	$Z_{BC} = \frac{U_B - U_C}{I_B - I_C}$	
2F CA	$Z_{CA} = \frac{U_C - U_A}{I_C - I_A}$	
2FN AB	$Z_{AB} = \frac{U_A - U_B}{I_A - I_B}$	Z_A, Z_B
2FN BC	$Z_{BC} = \frac{U_B - U_C}{I_B - I_C}$	Z_B, Z_C
2FN CA	$Z_{CA} = \frac{U_C - U_A}{I_C - I_A}$	Z_C, Z_A
FN A	$Z_A = \frac{U_A}{I_A + 3I_o\alpha}$	
FN B	$Z_B = \frac{U_B}{I_B + 3I_o\alpha}$	
FN C	$Z_C = \frac{U_C}{I_C + 3I_o\alpha}$	

Példa1: vonali egyenletek 2F mérés



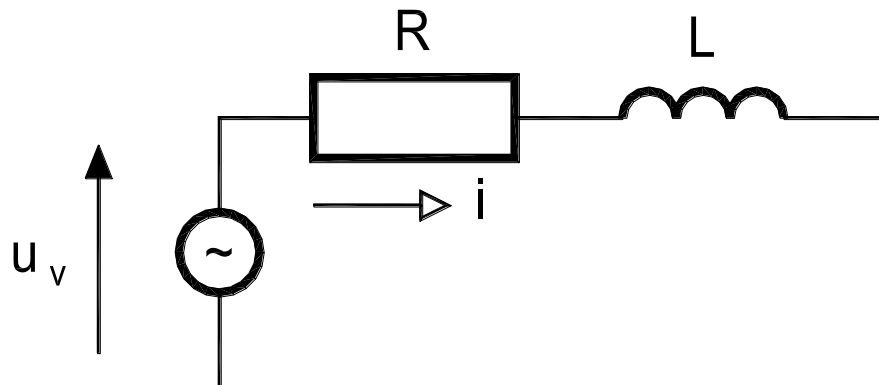
Példa2: fázis egyenletek 2F mérés



Speciális problémák a numerikus algoritmusok kapcsán

- A zárlati tranziensek által okozott zavar
 - A gyors algoritmusok működése alatt még nem áll be az állandósult állapot
 - Nincs természetes csillapító hatás
- Az áramváltó telítésének hatása
 - A torz szekunder áram ellenére pontosan kell impedanciát mérni

Az R-L modell (1)



A körre felírható differenciál-egyenlet két időpontra:

$$Ri_1 + L \frac{di_1}{dt} = u_1$$

$$Ri_2 + L \frac{di_2}{dt} = u_2$$

Ismeretlen R és L ,
mért az áram pillanatértékek
és a deriváltak

Az R-L modell (2)

A két-ismeretlenes egyenletrendszer:

$$aR + bL = c$$

$$dR + eL = f$$

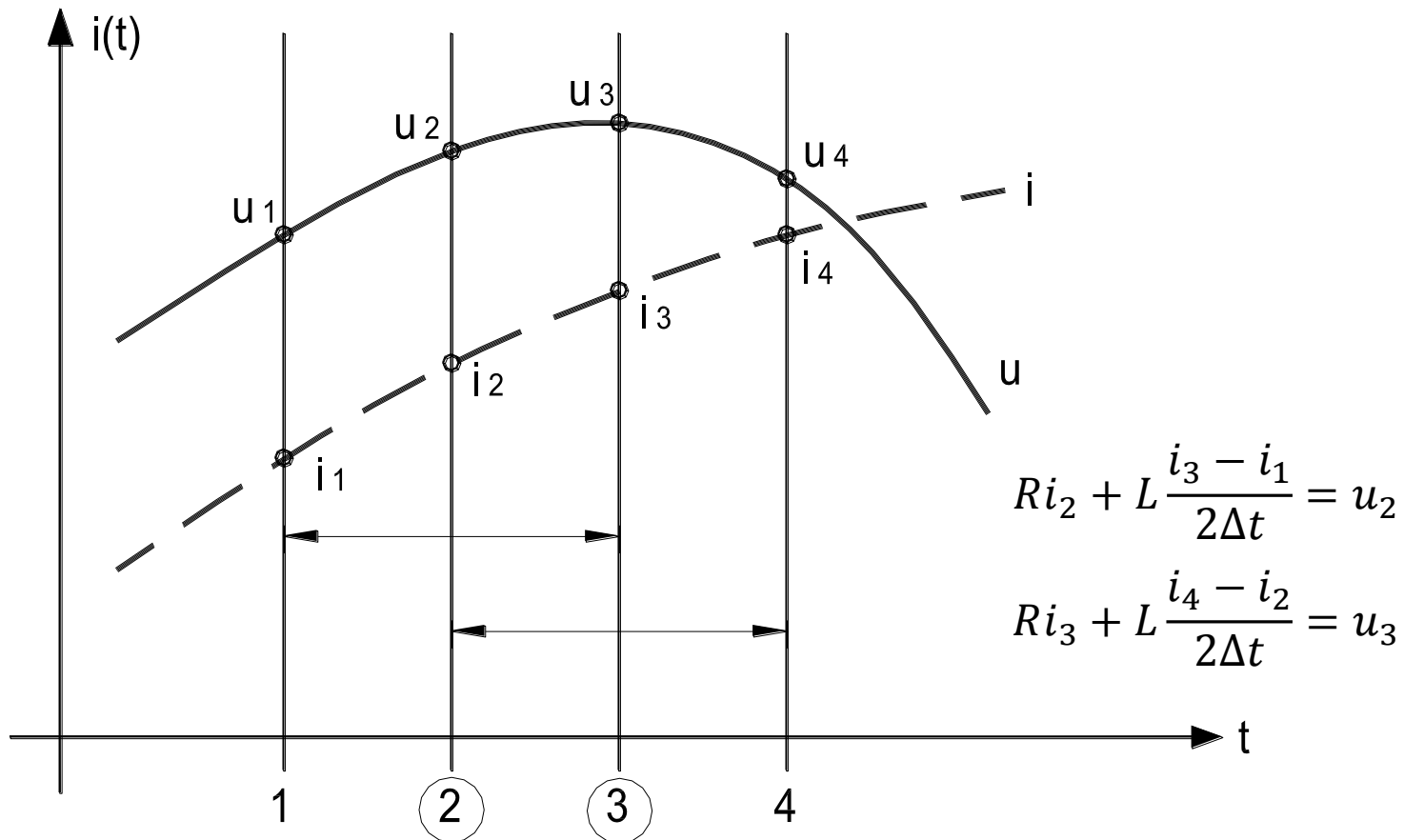
A megoldás:

$$R = \frac{(ce - bf)}{(ae - bd)}$$

$$L = \frac{(cd - fa)}{(bd - ea)}$$

Különböző numerikus módszerek az együtthatók meghatározása szerint.

Az „A4” módszer



Az „A4” módszer együtthatói

Pl. „BC” zárlatkor

$$a = i_{b2} - i_{c2}$$

$$b = \frac{(i_{b3} - i_{c3}) - (i_{b1} - i_{c1})}{2\Delta t} \cdot korr$$

$$c = u_{b2} - u_{c2}$$

$$d = i_{b3} - i_{c3}$$

$$e = \frac{(i_{b4} - i_{c4}) - (i_{b2} - i_{c2})}{2\Delta t} \cdot korr$$

$$f = u_{b3} - u_{c3}$$

Az „A4” módszer tranziensei (1)

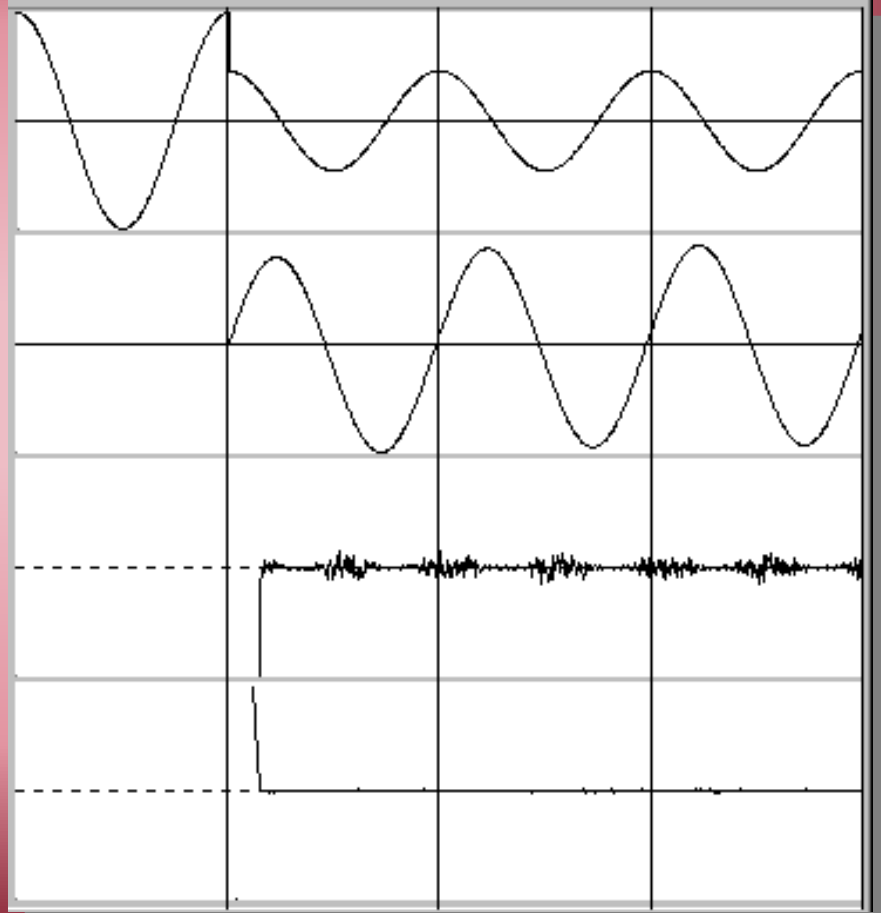
R-L kör, zárlat feszültség csúcsértéknél, szűrés nélkül

$u(t)$

$i(t)$

$$\frac{R_{\text{számított}}}{R}$$

$$\frac{L_{\text{számított}}}{L}$$



Az „A4” módszer tranziensei (2)

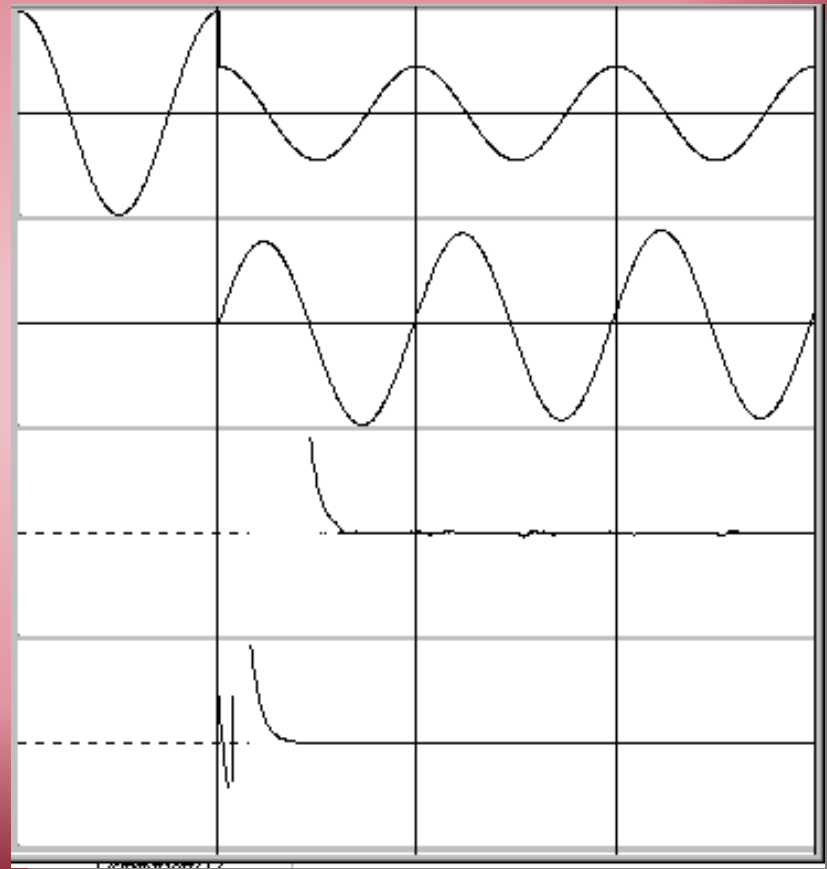
R-L kör, zárlat feszültség csúcsértéknél

$u(t)$

$i(t)$

$$\frac{R_{\text{számított}}}{R}$$

$$\frac{L_{\text{számított}}}{L}$$



Az „A4” módszer tranziensei (3)

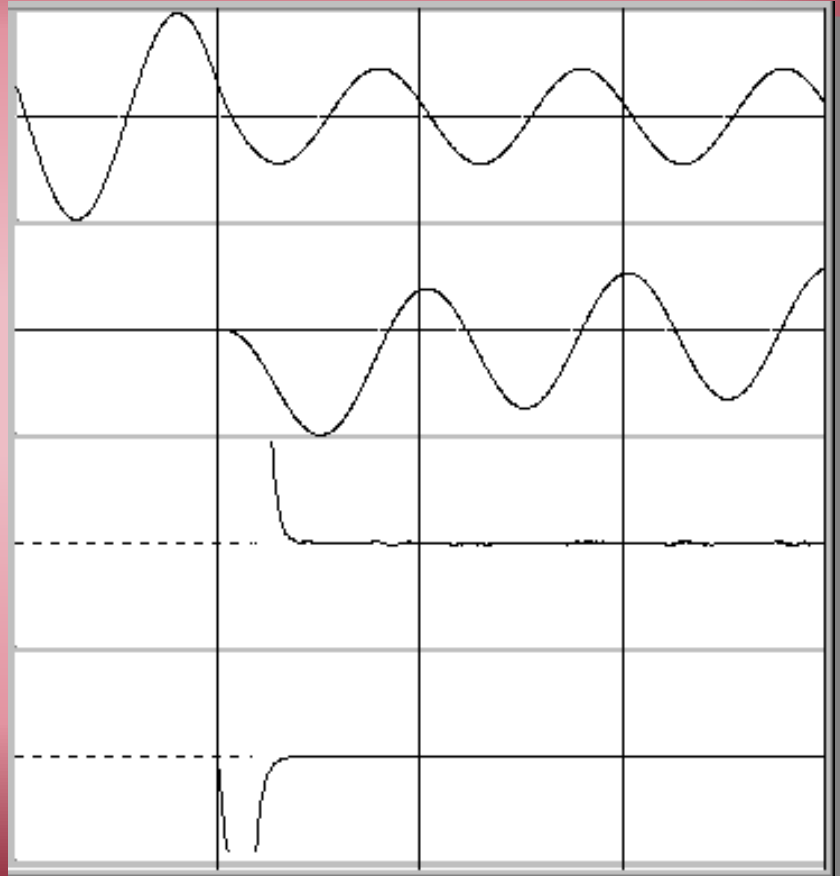
R-L kör, zárlat feszültség nulla-átmenet közelében

$u(t)$

$i(t)$

$$\frac{R_{\text{számított}}}{R}$$

$$\frac{L_{\text{számított}}}{L}$$



Az „A4” módszer tranziensei (4)

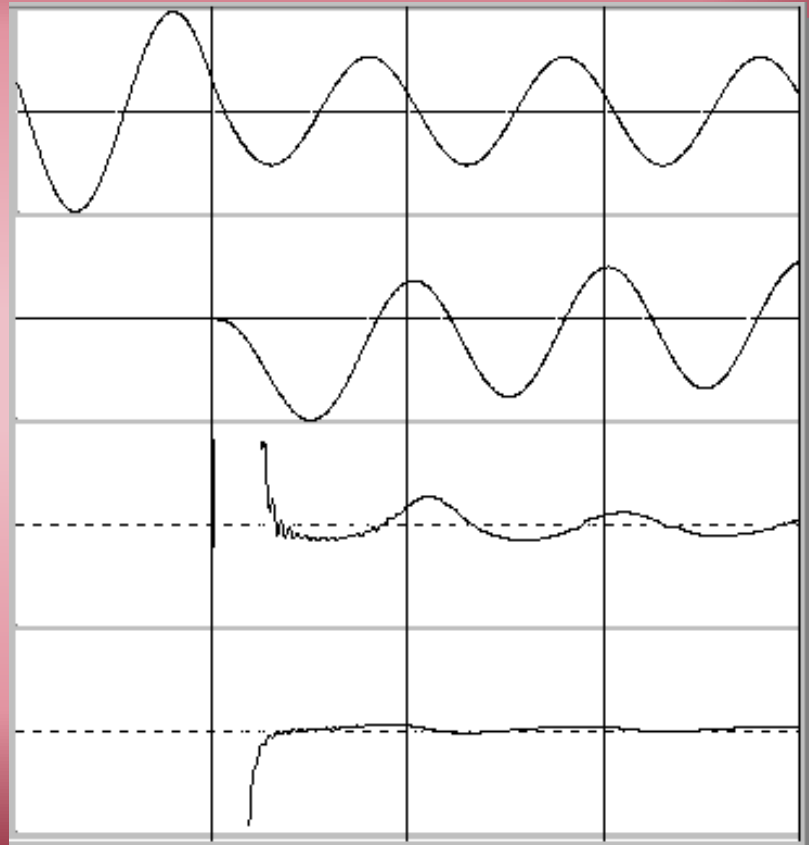
Távvezeték, zárlat feszültség nulla-átmenet közelében

$u(t)$

$i(t)$

$\frac{R_{\text{számított}}}{R}$

$\frac{L_{\text{számított}}}{L}$



Az „A4” módszer tranziensei (5)

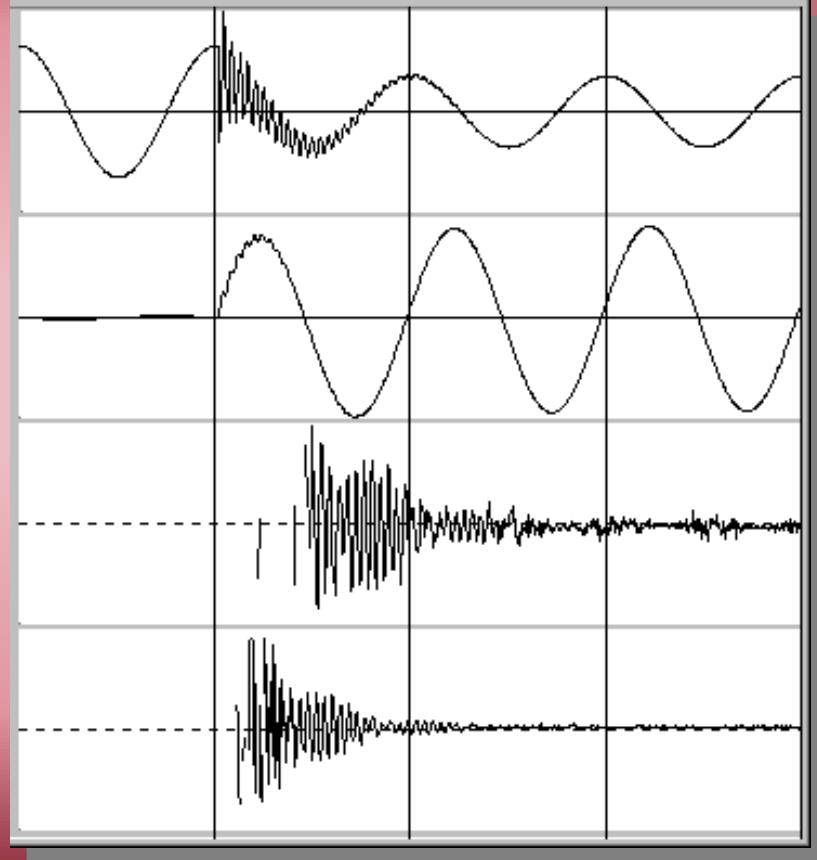
Távvezeték, zárlat feszültség csúcsértékénél

$u(t)$

$i(t)$

$$\frac{R_{\text{számított}}}{R}$$

$$\frac{L_{\text{számított}}}{L}$$



Az „A4” módszer tranziensei (6)

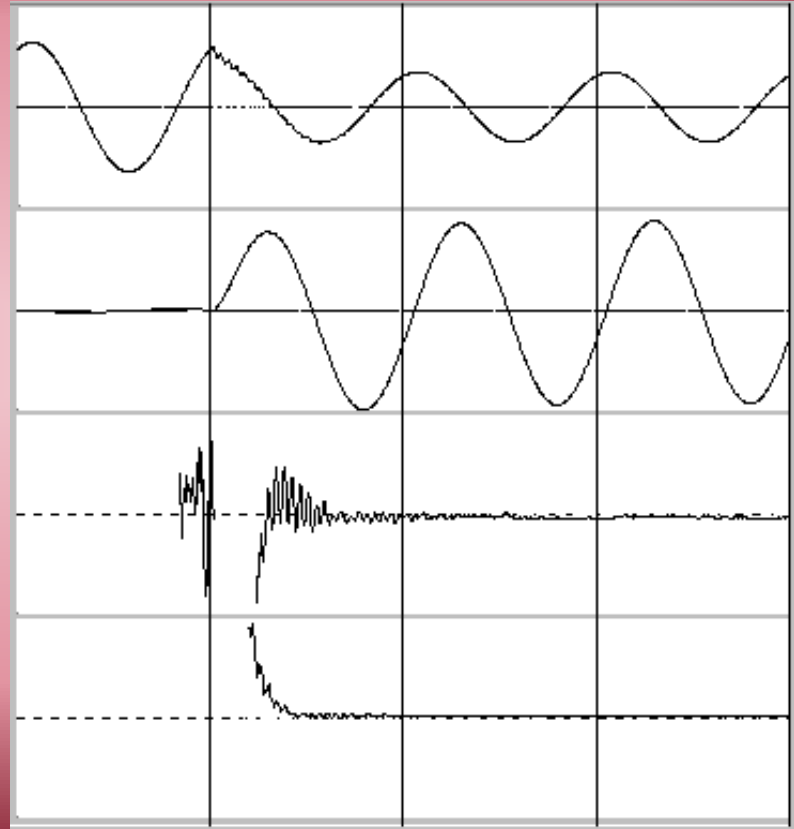
Távvezeték, zárlat feszültség csúcsértékénél, szűréssel

$u(t)$

$i(t)$

$\frac{R_{\text{számított}}}{R}$

$\frac{L_{\text{számított}}}{L}$



Összefoglaló a diff.egyenlet megoldó módszerekről

- Jól alkalmazható R és L meghatározására,
- Alul-áteresztő szűrés szükséges,
- Egymás között nincs lényeges különbség,
- A hosszú ablakkal dolgozó módszer zajtűrőbb, de lassabb,
- A zérus sorrendű keverés két valós tényezővel megoldható,
- R számításában nagyobb a bizonytalanság.

Ortogonalis összetevőkön alapuló módszerek

U és I vektor-komponensek

$$U = A_u + jB_u$$

$$I = A_i + jB_i$$

Ezekkel az impedancia

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

A Fourier módszer alkalmazása

$$A_u = \frac{2}{\pi} \sum_{k=1}^N u_k \cos k\omega t \Delta t = \sum_{k=1}^N a_k u_k$$

$$B_u = \frac{2}{\pi} \sum_{k=1}^N u_k \sin k\omega t \Delta t = \sum_{k=1}^N b_k u_k$$

(Áramra hasonlóan).

Problémák:

- periodikus időfüggvényt feltételez,
- 1 periódusnyi ablak,
- periodikus szűrő karakterisztika.

Fourier módszer tranziensei (1)

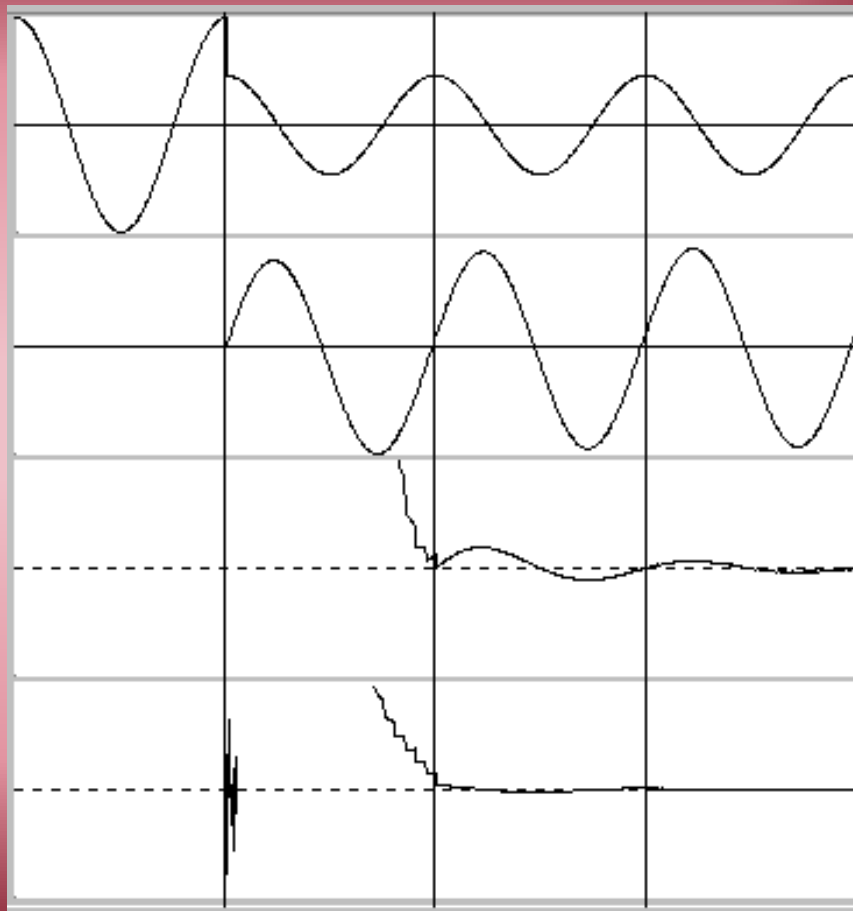
Zárlat feszültség csúcsban:

$u(t)$

$i(t)$

$$\frac{R_{\text{számított}}}{R}$$

$$\frac{L_{\text{számított}}}{L}$$



Fourier módszer tranziensei (2)

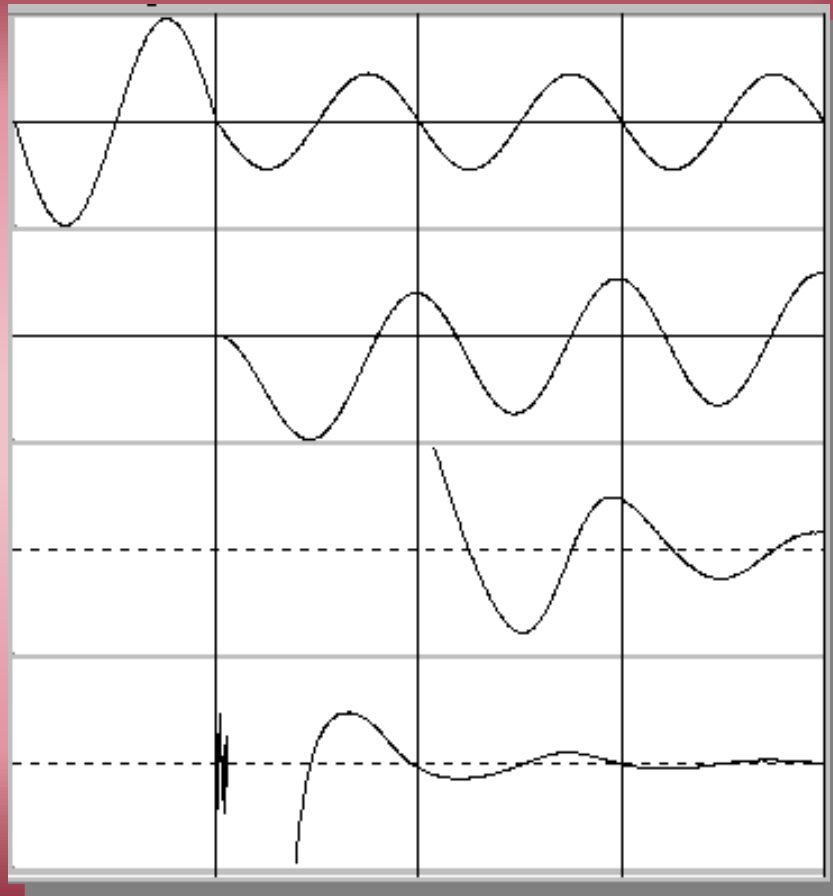
Zárlat feszültség nullánál

$u(t)$

$i(t)$

$$\frac{R_{\text{számított}}}{R}$$

$$\frac{L_{\text{számított}}}{L}$$



Fourier

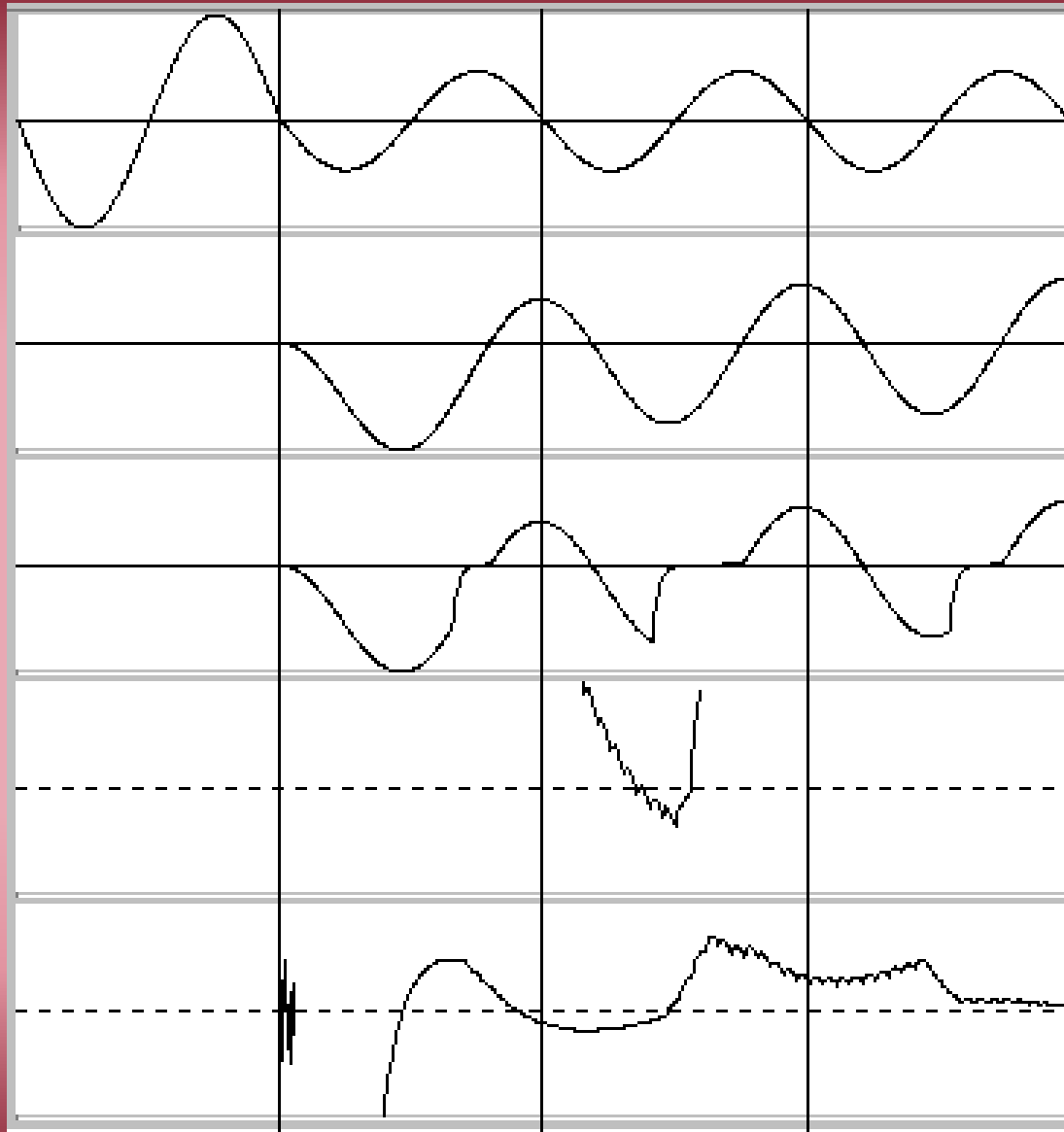
$u(t)$

$i(t)$

$i_{\text{telített}}(t)$

$\frac{R_{\text{számított}}}{R}$

$\frac{L_{\text{számított}}}{L}$



A4

$u(t)$

$i(t)$

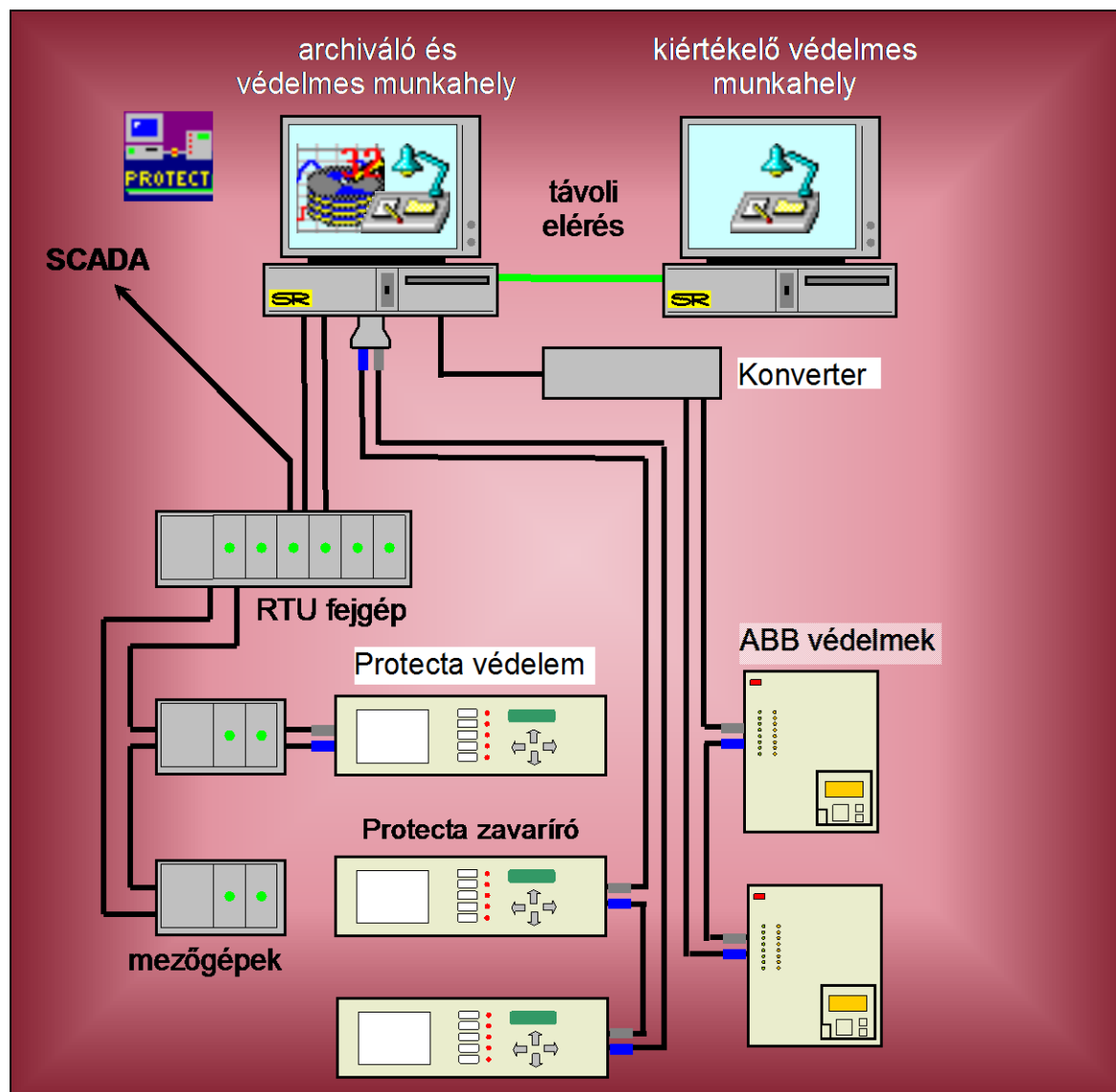
$i_{\text{telített}}(t)$

$\frac{R_{\text{számított}}}{R}$

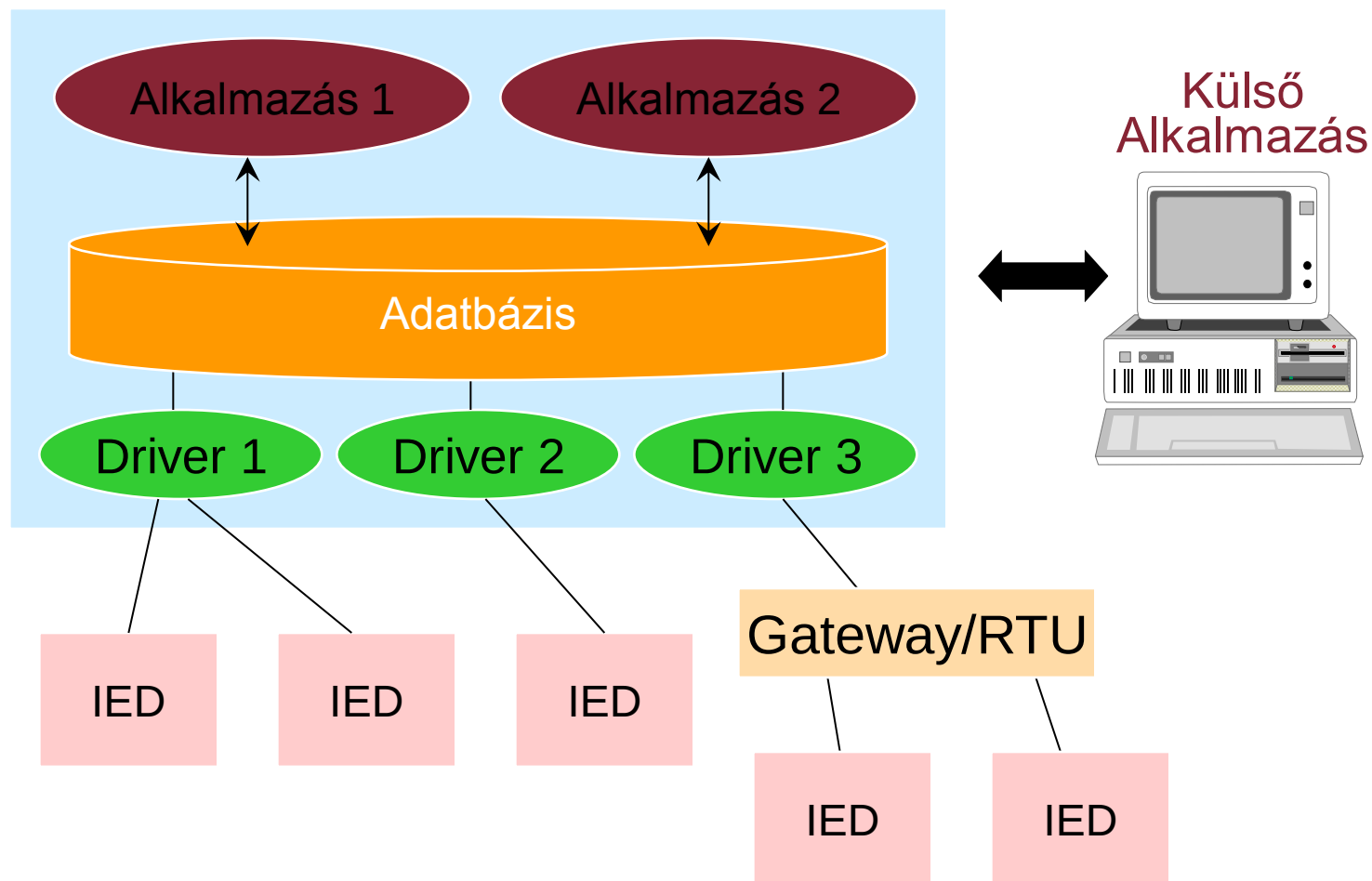
$\frac{L_{\text{számított}}}{L}$



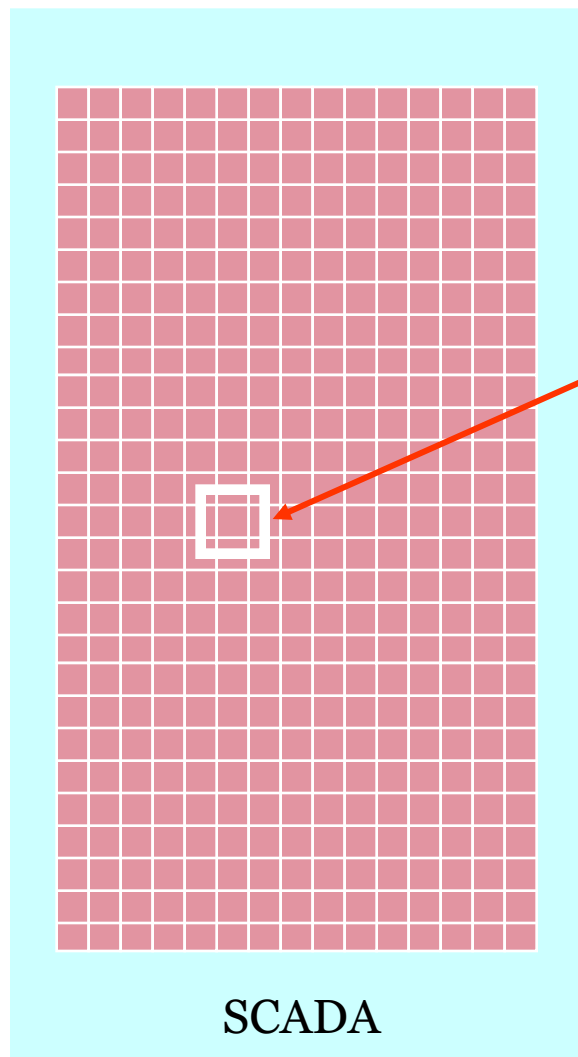
Védelmek és az üzemirányítás



Hagyományos alállomási kommunikáció



Hagyományos SCADA adat hozzáférés



A feszültség itt van
Definíció!?



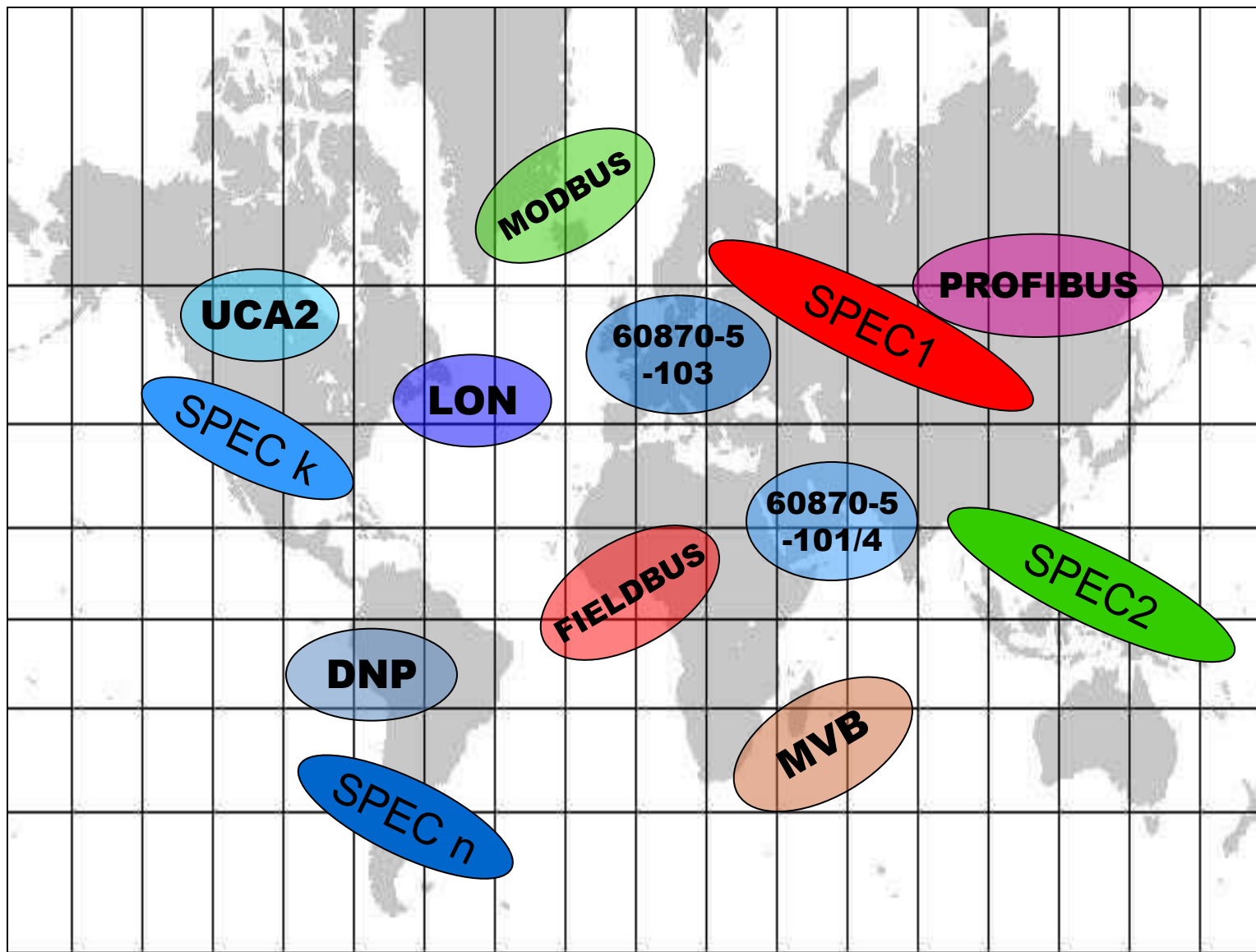
Hagyományos alállomási kommunikáció

- **Speciális pont-pont kapcsolat az IED-khez.**
- **Alkalmazások felkészítése:**
 - Különböző protokollokhoz
 - Különböző adat formátumokhoz
 - Különböző adat címezésekhez
- **A protokollok alkalmazási korlátai**
- **Nehézkes hozzáférés más alkalmazások számára**
- **Új készülék és/vagy alkalmazás esetén a kommunikációs rendszert újra kell konfigurálni**

Hagyományos SCADA adatszerkezet

- **Gyártótól függő azonosítók**
- **Egyedi felépítésű címzés**
 - **Driver**
 - **Vonal**
 - **Rack**
 - **Készülék adatcím**
 - **Hálózat**
- **Kézi címzés-hozzárendelés**
- **Kézi ellenőrzés**
- **Alkalmazástól függő címkézés**

A jelenlegi helyzet

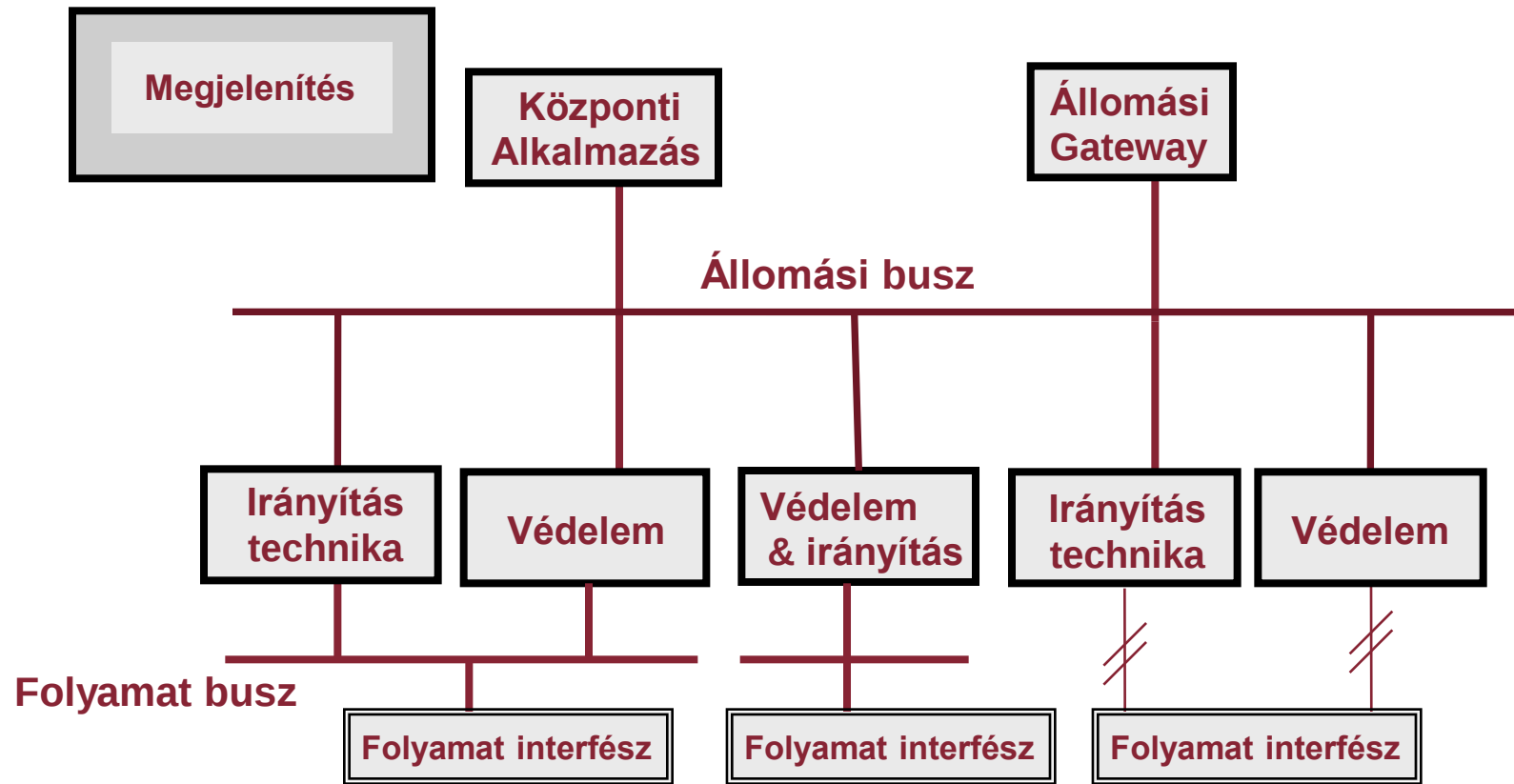


Cél: Együttműködés (interoperability)

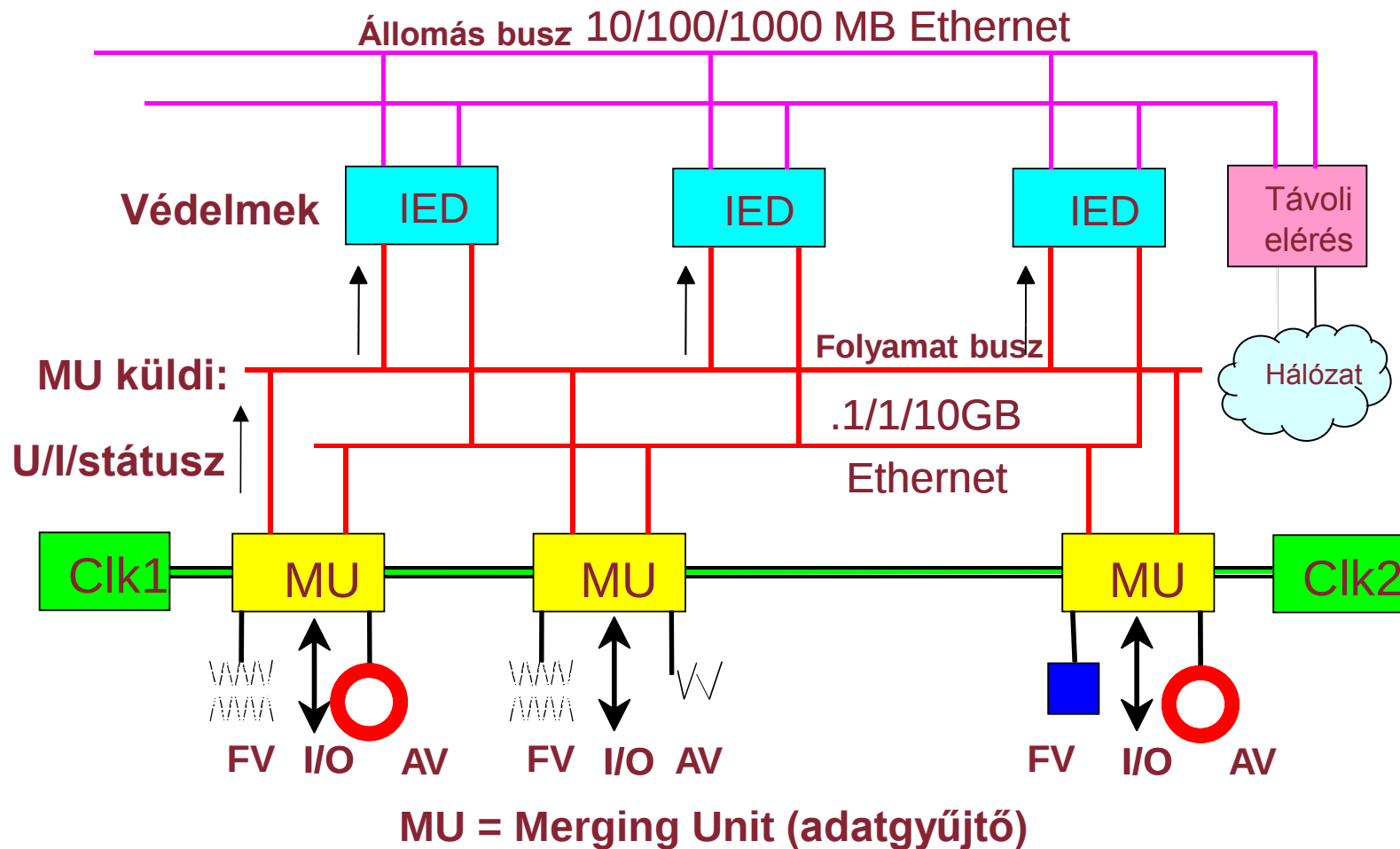
- Közös busz és közös protokoll (syntax)
- Kölcsönös megértés (szemantika)
- Közösén teljesített funkciók

A helyettesíthetőség (Interchangeability) nem követelmény

Új SCADA rendszer



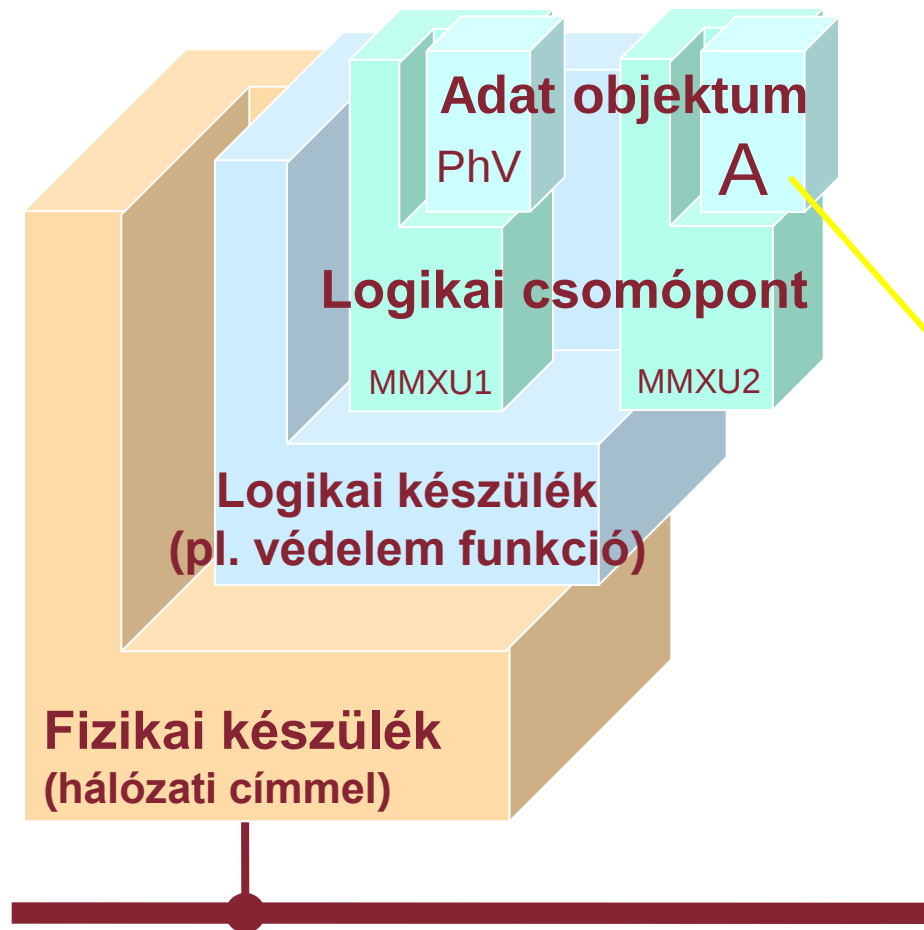
IEC61850 alállomási kommunikáció



Tipikus IED-k

- Információátvitel
 - *Gateways, converters, RTU-s*
 - Védelmi készülékek (védelmi jelátvittele)
- HMI interface
 - *Gateways, PC, workstations,*
 - IED-k integrált HMI-vel (számítógépek)
- Technológia
 - Mezőgép
 - **Védelmi készülék**
 - RTU
 - Mérő műszer
 - Önálló szabályozók (pl. feszültségszabályozó)
 - Jeladó
 - Digitális feszültségváltók, áramváltók

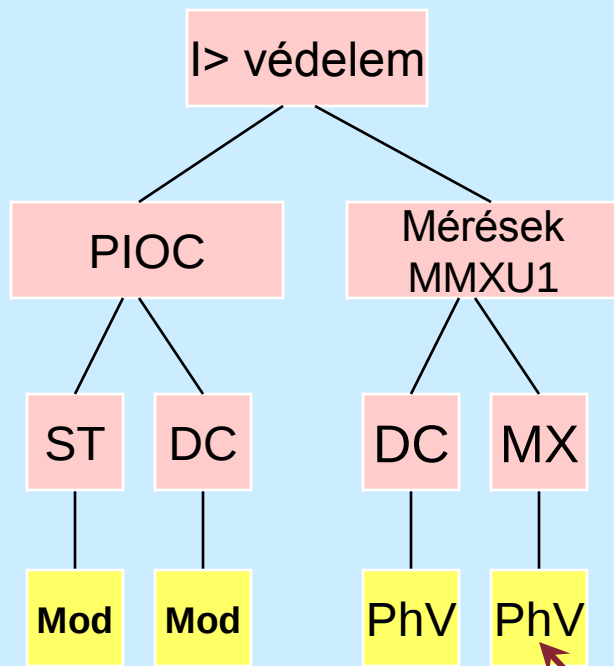
IEC61850 objektum modell



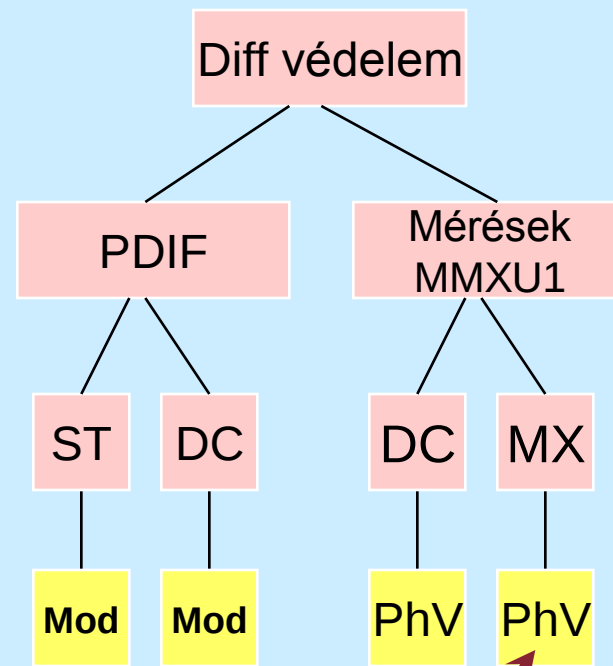
- 2-es leágazás
- Áram mérés
- az 1. védelemben

IEC61850 készülékek

X készülék



Y készülék



MMXU1\$MX\$PhV
IEC61850-8-1 megnevezés

IEC61850 hálózat felépítés

- **Az IED-k adatai minden alkalmazásban használhatók**
- **Új készülék és/vagy alkalmazás esetén a hálózat változatlan**
- **Szabványos, bevált kommunikációs hálózat**
- **Az IED-kben és az alkalmazásokban közös:**
 - **Protokoll**
 - **Adat formátum és leíró**
 - **Adat címezés és megnevezés**
 - **Konfiguráló nyelv**

IEC61850 készülékek

- **A távoli kliensben csak a készülék címezést kell ismerni**
- **Az adatpont neve azonosítja az adatokat**
- **Az adatpont neve automatikusan lekérdezhető**
- **Minden készülék azonos megnevezés-rendszer szerint értelmezi az adatokat**
- **A készülék konfigurációk az IEC61850-6-1 (SCL) file átadásával állíthatók be**

Abstract Communications Service Interface ACSI

- Definiálja az objektumokat
- Definiálja az objektumok jellemző adatait
- Definiálja az eljárásokat (services), amikkel hozzáférhetünk az objektumokhoz

Adatmodell (példa)

+	LN	DO4GGIO1	
+	LN	F1PHAR1	
+	LN	F1PTOC1	
+	LN	F1PTOC3	
-	LN	F3PTOC1	
-	FC	ST	
+	DO	Mod	{ 1, [00000000000000], (u01/01/1970_00:00:00.000,[01101010]) }
+	DO	Beh	{ 1, [00000000000000], (u01/01/1970_00:00:00.000,[01101010]) }
+	DO	Health	{ 1, [00000000000000], (u01/01/1970_00:00:00.000,[01101010]) }
-	DO	Str	{ F, 0, F, 0, F, 0, F, 0, F, 0, [00000000000000], (u01/01/1970_00:00:00.000,[01101010]) }
	DA	general	F
	DA	dirGeneral	0
	DA	phsA	F
	DA	dirPhsA	0
	DA	phsB	F
	DA	dirPhsB	0
	DA	phsC	F
	DA	dirPhsC	0
	DA	neut	F
	DA	dirNeut	0
	DA	q	[00000000000000]
	DA	t	(u01/01/1970_00:00:00.000,[01101010])
-	DO	Op	{ F, [00000000000000], (u01/01/1970_00:00:00.000,[01101010]) }
	DA	general	F
	DA	q	[00000000000000]
	DA	t	(u01/01/1970_00:00:00.000,[01101010])
+	FC	CF	
+	FC	DC	
+	LN	F3PTOC3	
+	LN	IN16GGIO1	
+	LN	IN16GGIO2	
+	LN	IN16GGIO3	
+	LN	IN8GGIO1	
+	LN	IN8GGIO2	
+	LN	INTCILO1	

Logikai csomópont típusok

- **L** Rendszer
- **P** Védelem (Protection)
- **R** Védelmmel kapcsolatos
- **C** Vezérlés (Control)
- **G** Általános (Generic)
- **I** Interfész és archiválás
- **A** Automatikus szabályozás

- **M** Mérések
- **S** Szenzorok és felügyelet
- **X** Kapcsoló berendezés
- **T** Mérőváltók
- **Y** Transzformátorok
- **Z** Egyéb hálózati elemek

- ***Példák:***

- *PDIF: Differenciál védelem*
- *RBRF: Megszakító beragadás*
- *XCBR: Megszakító*

- *CSWI: Átkapcsoló automatika*
- *MMXU: Mérő elem*
- *YPTR: Transzformátor*

Példa az objektum kezelő eljárásokra (services)

- GetData – Adat kiolvasás
- SetDataValues – Adat beírás
- GetDataDirectory – Az objektumok neveinek kiolvasása

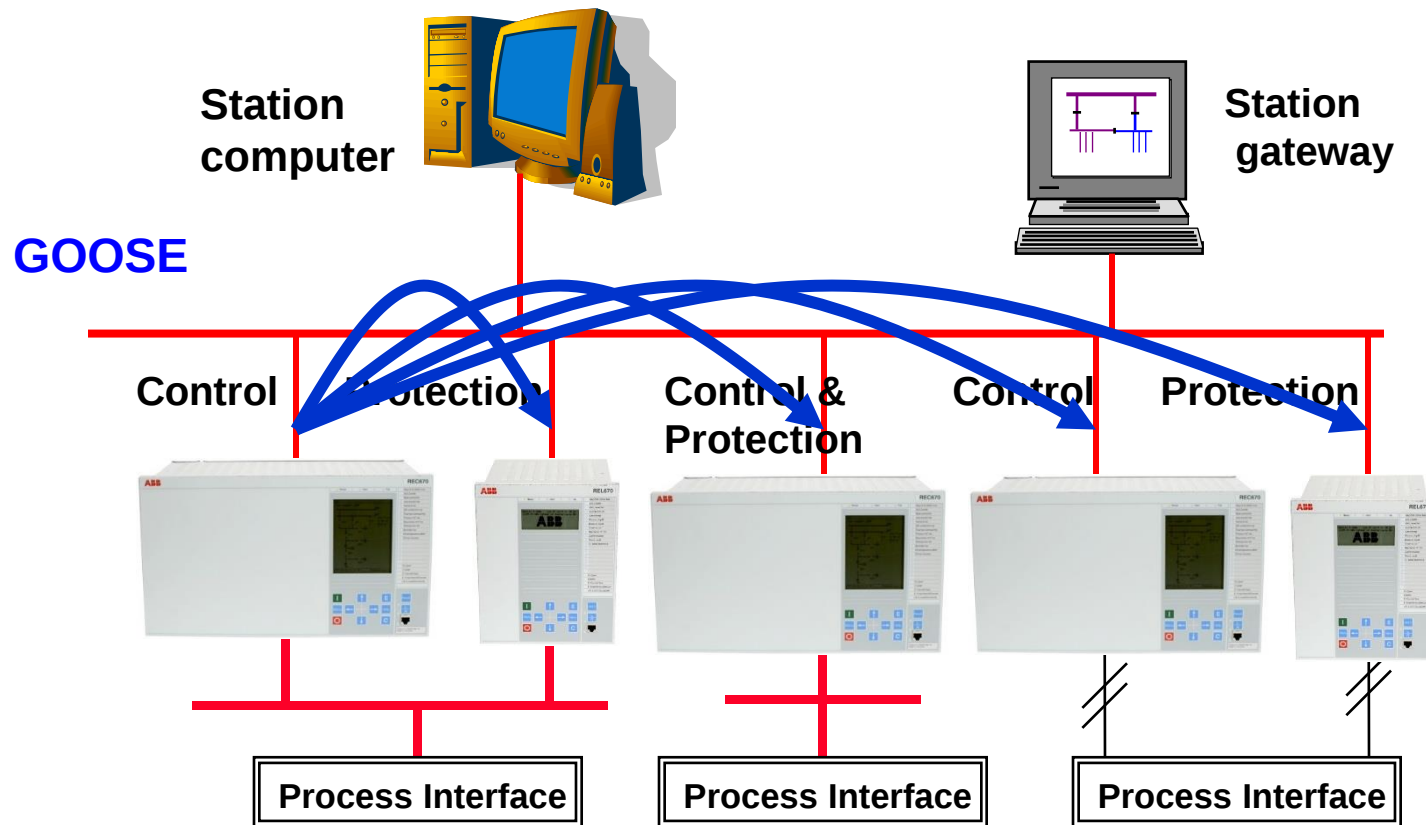
ACSI eljárások (services)

Az önleírást
biztosító
eljárások



ACSI Services	MMS Services
LogicalDeviceDirectory	GetNameList
GetAllDataValues	Read
GetDataValues	Read
SetDataValues	Write
GetDataDirectory	GetNameList
GetDataDefinition	GetVariableAccessAttributes
GetDataSetValues	Read
SetDataSetValues	Write
CreateDataSet	CreateNamedVariableList
DeleteDataSet	DeleteNamedVariableList
GetDataSetDirectory	GetNameList
Report (Buffered and Unbuffered)	InformationReport
GetBRCBValues/GetURCBValues	Read
SetBRCBValues/SetURCBValues	Write
GetLCBValues	Read
SetLCBValues	Write
QueryLogByTime	ReadJournal
QueryLogAfter	ReadJournal
GetLogStatusValues	GetJournalStatus
Select	Read/Write
SelectWith Value	Read/Write
Cancel	Write
Operate	Write
Command-Termination	Write

Kommunikáció az IED-k között



GOOSE = Generic Object Oriented System-wide Events

Prioritásos üzenetek

