

# Relévédelmi, automatika rendszerek

---

**ZERÉNYI József**

**MAVIR Zrt. - Rendszerirányítási Igazgatóság**  
**(zerenyi@mavir.hu, 06-20-929-4570)**

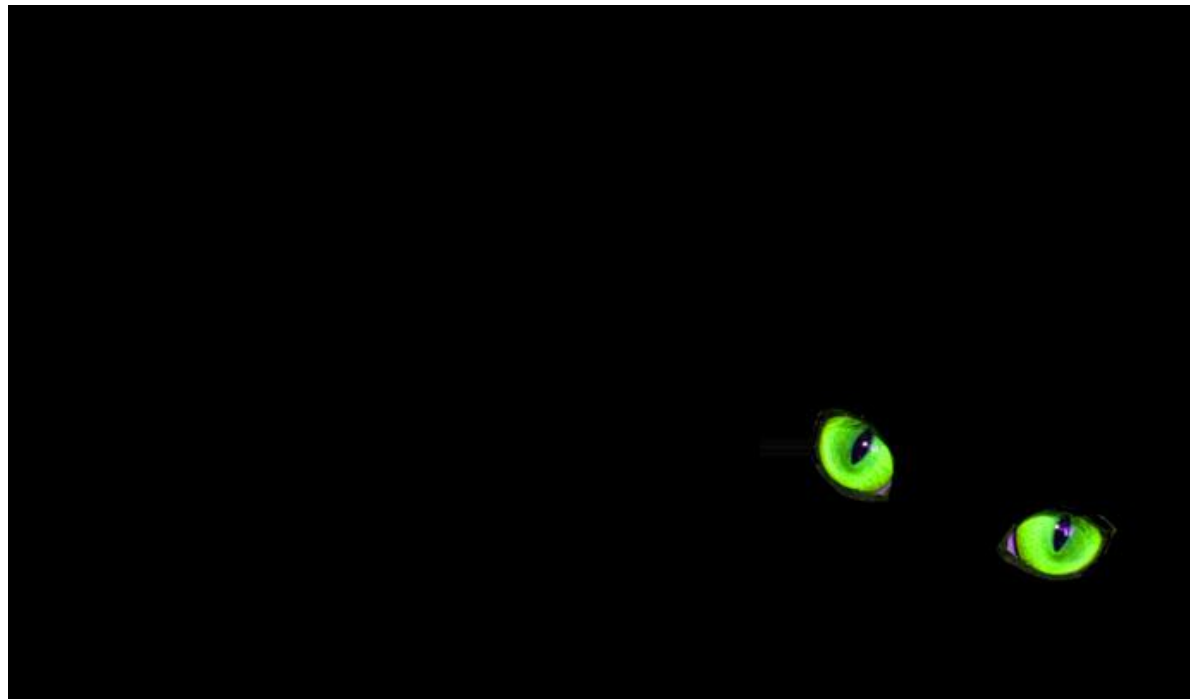


Villamos Energetika Tanintézet  
Villamos Művek és Környezet Csoport

# Relévédelmi, automatika rendszerek

X

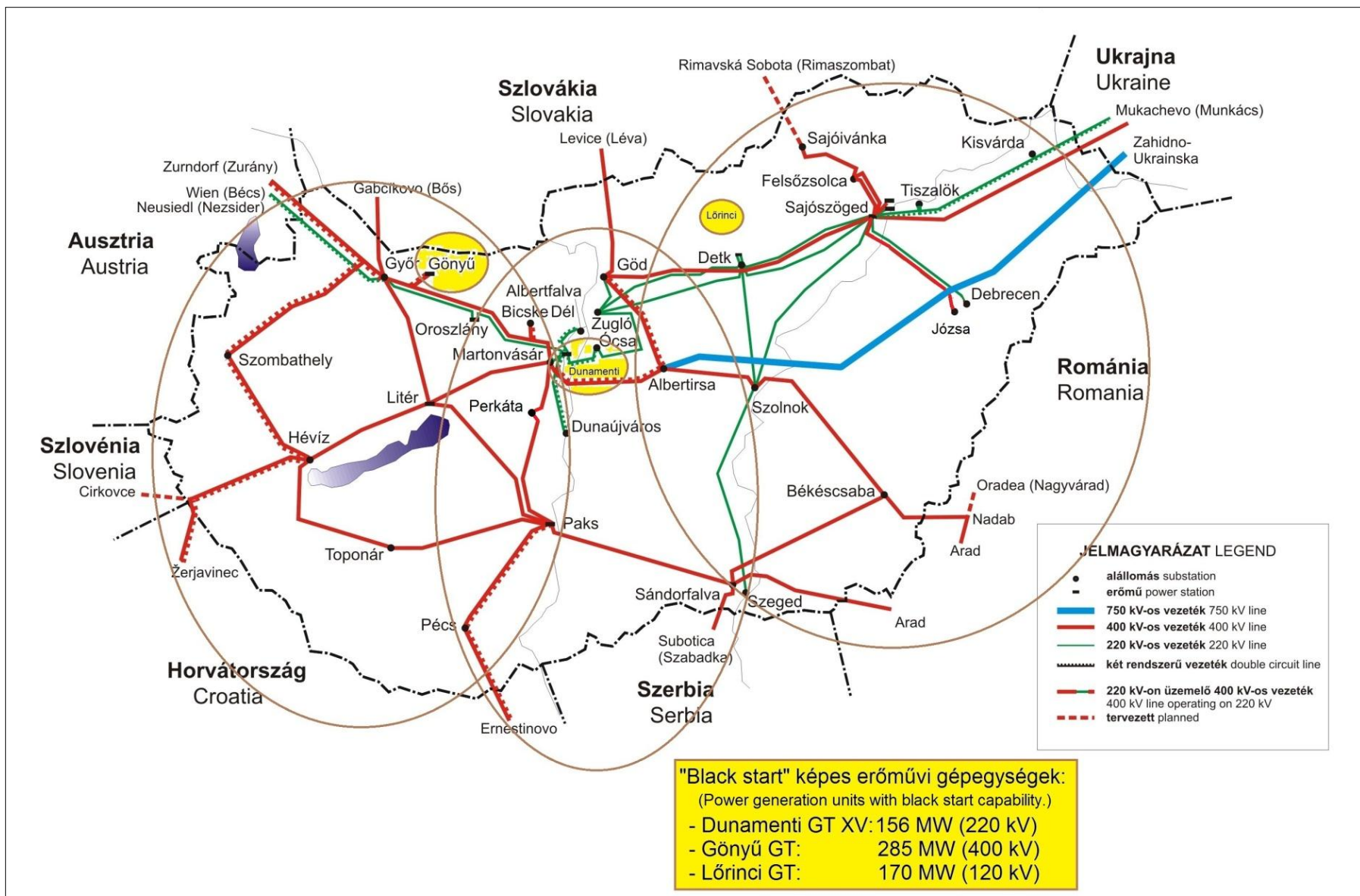
**Mottó: Ha villany nincs – semmi sincs!**



**AZ INFORMATIKA ÉS A TÁVKÖZLÉS JÖVŐJE  
A MEGBÍZHATÓ VILLAMOS ENERGIA  
SZOLGÁLTATÁS NÉLKÜL**



# Relévédelmi, automatika rendszerek



## A VER-ben fellépő zárlatok, hibák, üzemzavarok hatásai:

- zárlati áram dinamikus hatásai miatti készülék sérülések
- zárlati áram hőhatása miatti készülék sérülések
- rendszer stabilitásának elvesztése
- energiaszolgáltatás, -termelés kiesése
- élőlények veszélyeztetése



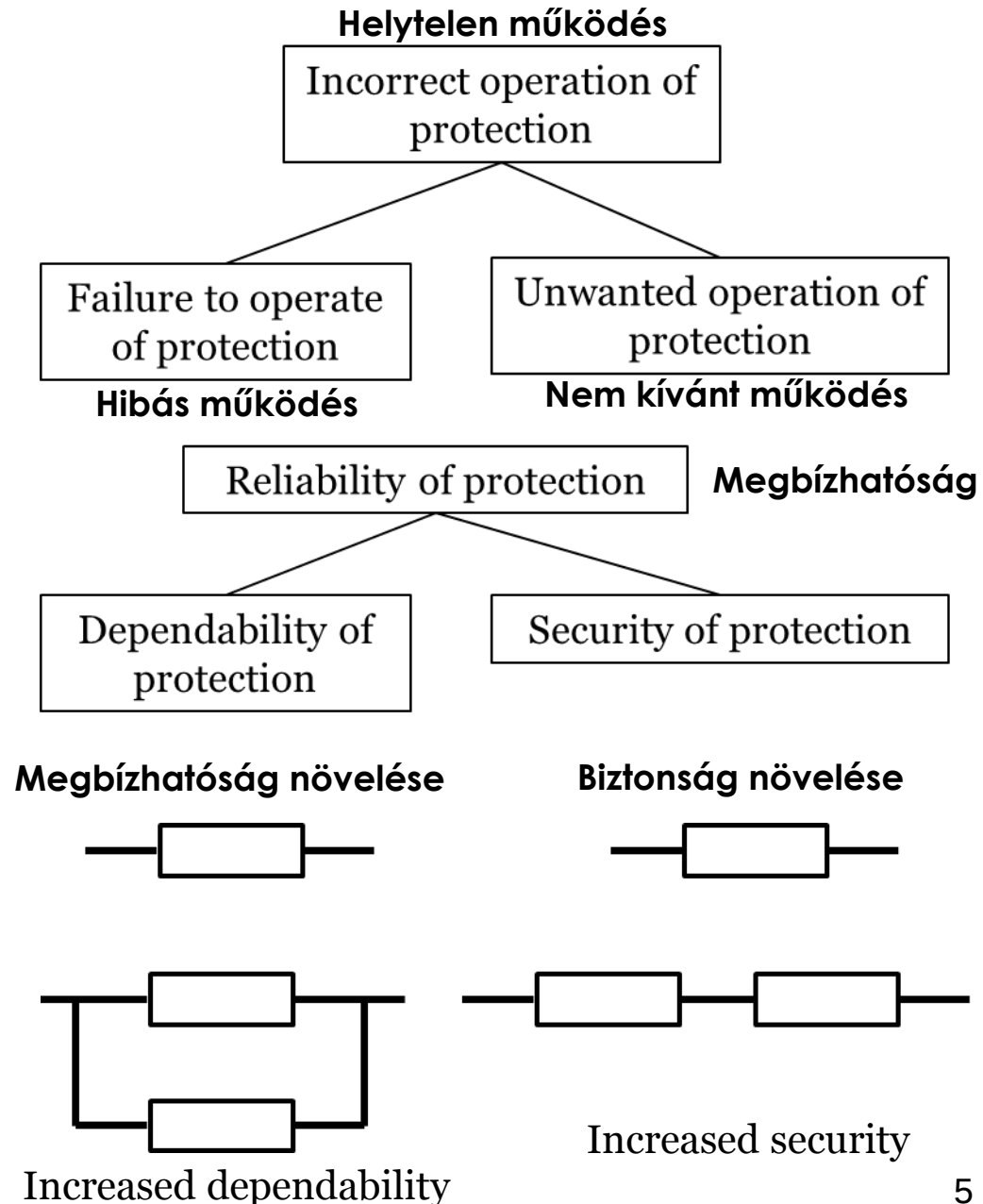
## Relévédelmi rendszerrel szemben támasztott általános követelmények:

- **Szelektivitás** (idő- és beállítási áram lépcsőzés, irányérzékelés, amplitúdó és fázis összehasonlítás, irány összehasonlítás – jelátvitel)
- **Megbízhatóság** (reliability)
  - Biztonságos működés** (dependability, responsibility, security)
  - Rendelkezésre állás** (availability) (magas műszaki színvonal, redundáns kiépítés, gondos üzembe helyezés, állandó üzemfelügyelet)
- **Gyorsaság** (villamos ív:  $c I^2 R t = c' I^{0.6} t$ , stabilitás)
- **Érzékenység** (relatíve kis mértékű analóg jel változás érzékelése)

## IEC 50(448)

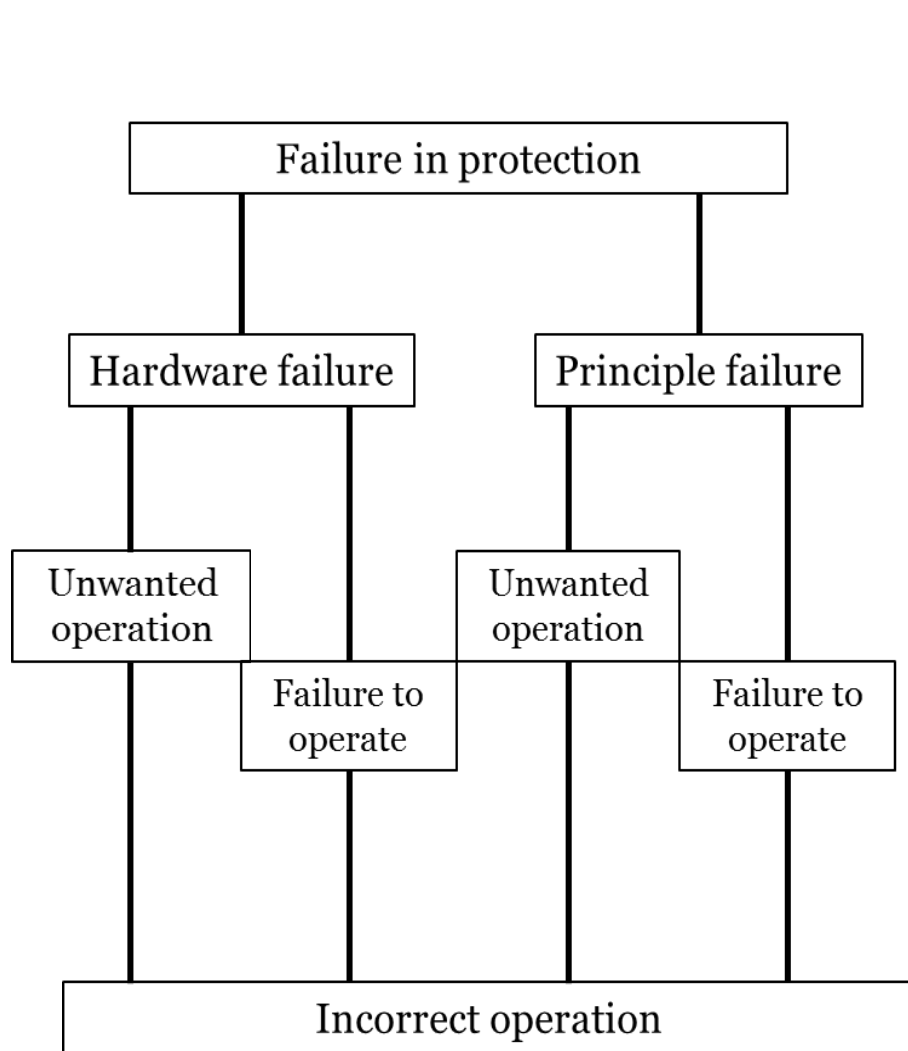
### International Electrotechnical Vocabulary

### Chapter 448: Power system protection

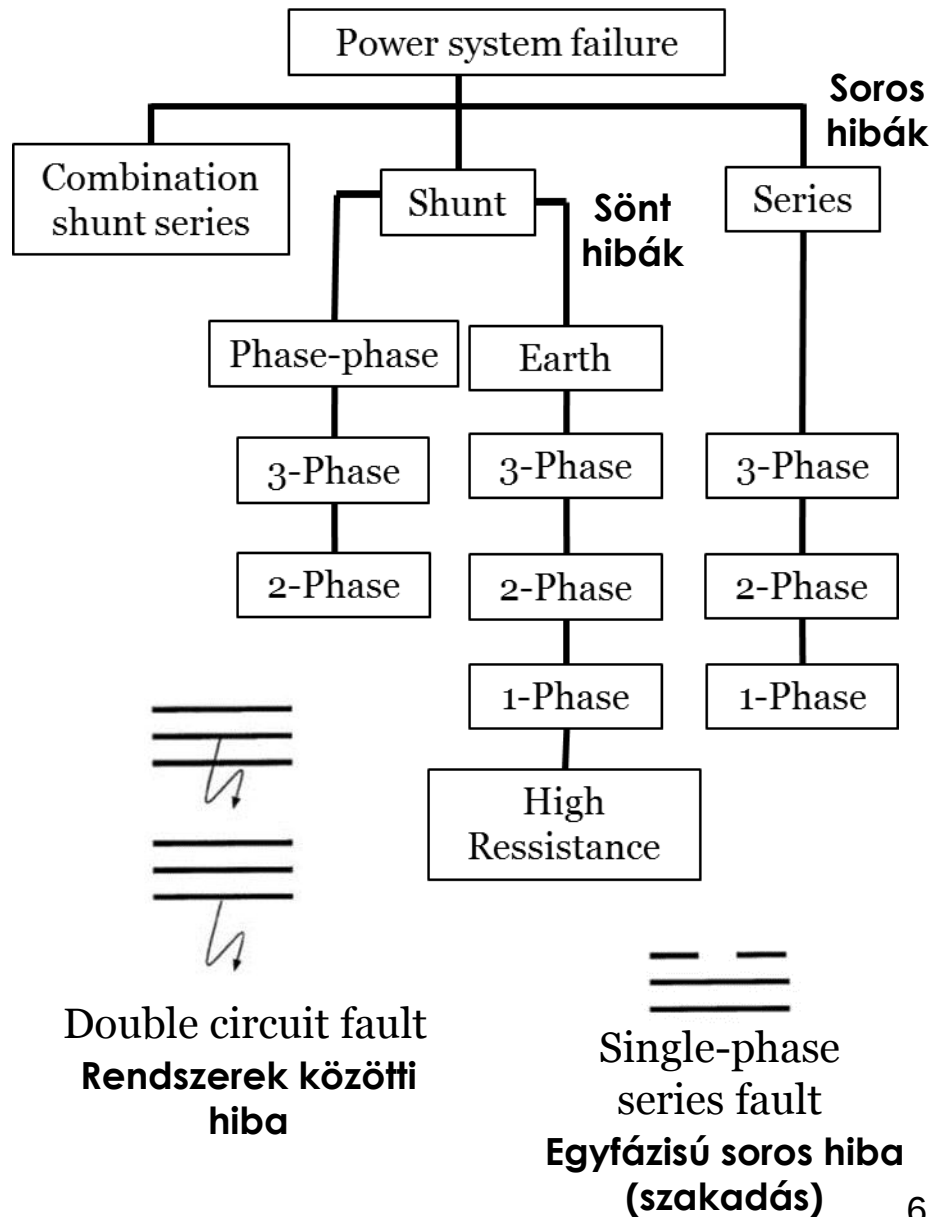


**Figure 448-1**  
**Reliability of protection**

# Relévédelmi, automatika rendszerek



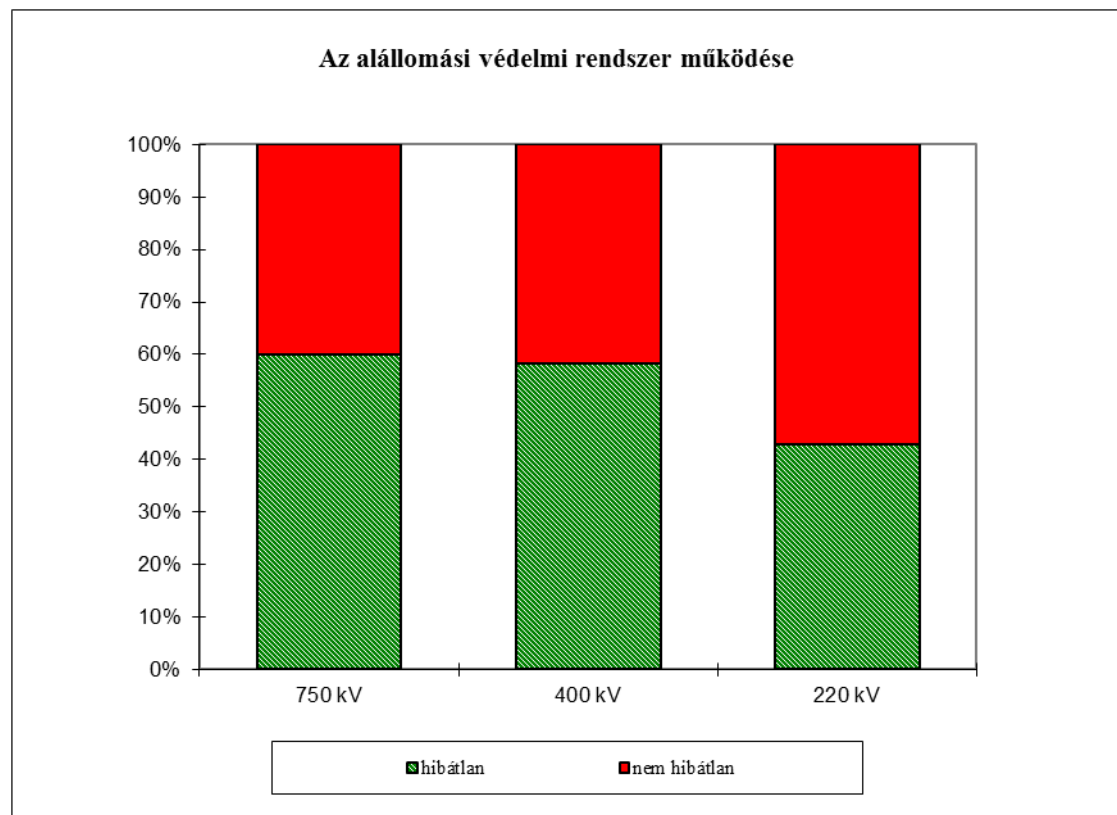
**Figure 448-2**



# Relévédelmi, automatika rendszerek



| 1983 -2014       | Az állomási védelmi rendszer működése |                    |     |                        |     |
|------------------|---------------------------------------|--------------------|-----|------------------------|-----|
| Feszültség szint | A működést kiváltó okok száma         | Hibátlan működések |     | Nem hibátlan működések |     |
|                  |                                       | száma              | %   | száma                  | %   |
| 750 kV           | 10                                    | 6                  | 60% | 4                      | 40% |
| 400 kV           | 127                                   | 74                 | 58% | 53                     | 42% |
| 220 kV           | 117                                   | 50                 | 43% | 67                     | 57% |

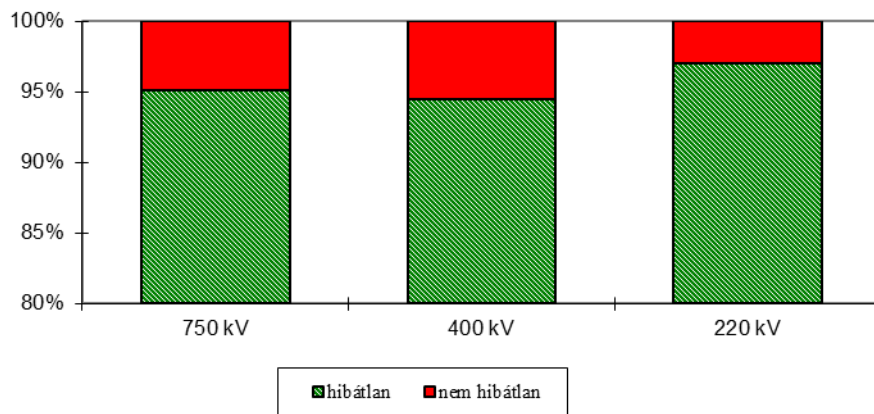


# Relévédelmi, automatika rendszerek

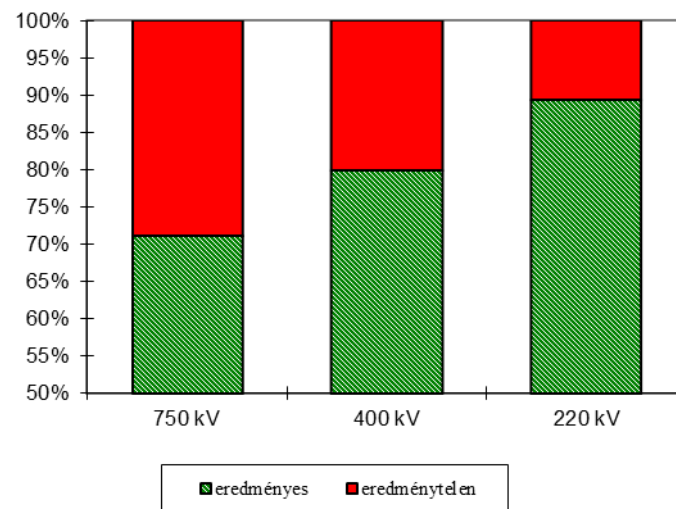


| 1983 -2014       |                               | A távvezeték védelmi rendszer működése |     |                        |    |                            |     |               |     |
|------------------|-------------------------------|----------------------------------------|-----|------------------------|----|----------------------------|-----|---------------|-----|
| Feszültség szint | A működést kiváltó okok száma | Hibátlan működések                     |     | Nem hibátlan működések |    | Az automatikus visszahatás |     |               |     |
|                  |                               | száma                                  | %   | száma                  | %  | eredményes                 |     | eredménytelen |     |
|                  |                               |                                        |     |                        |    | db                         | %   | db            | %   |
| 750 kV           | 61                            | 58                                     | 95% | 3                      | 5% | 32                         | 71% | 13            | 29% |
| 400 kV           | 901                           | 851                                    | 94% | 50                     | 6% | 651                        | 80% | 164           | 20% |
| 220 kV           | 1843                          | 1787                                   | 97% | 56                     | 3% | 1599                       | 89% | 191           | 11% |

A távvezeték védelmi rendszer működése

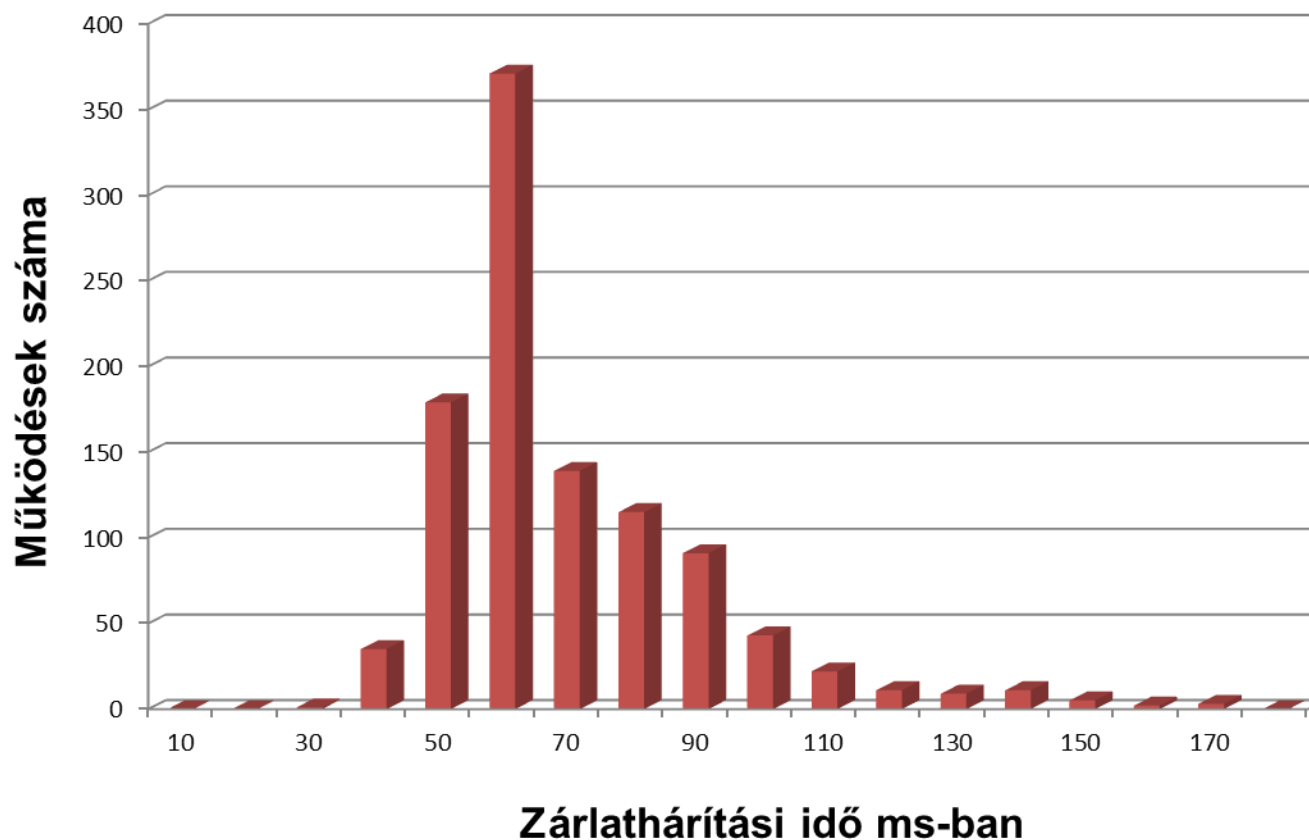


Az automatikus visszahatások eredményessége



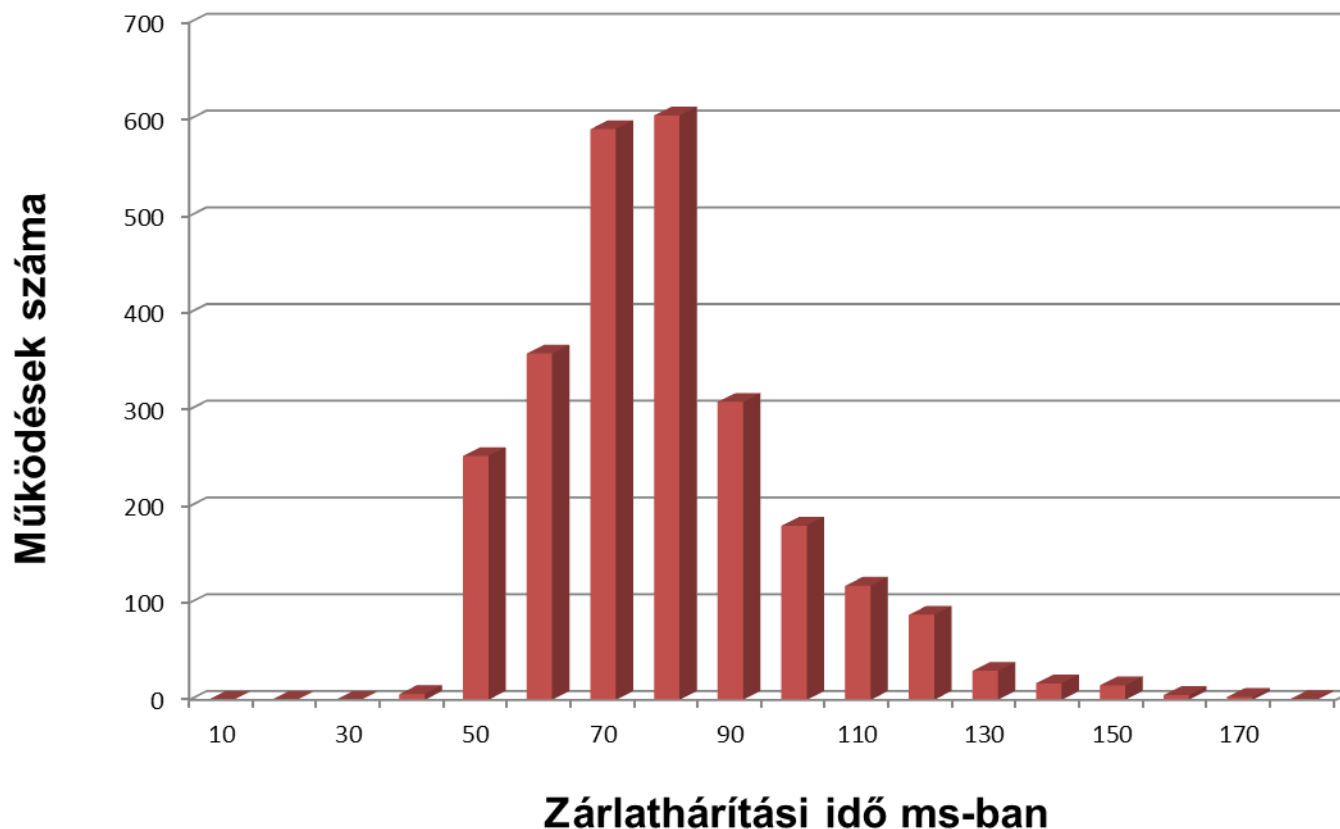


## Zárlathárítási idők a 400 kV-os távvezetéseken 1995-2014





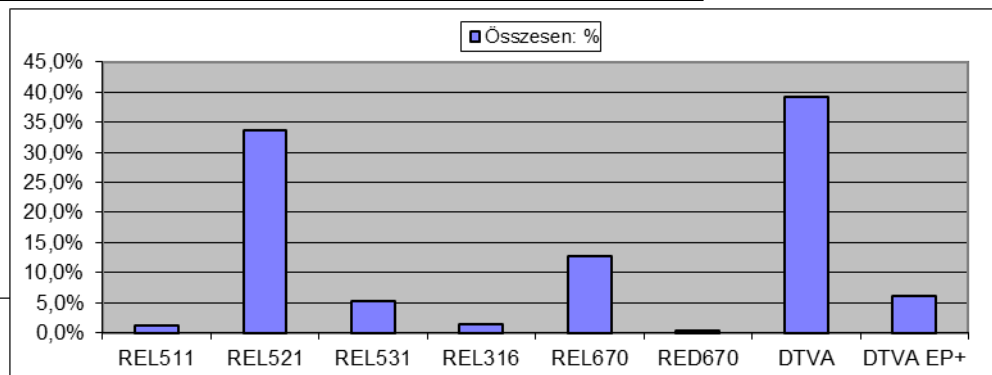
## Zárlathárítási idők a 220 kV-os távvezetéseken 1995-2014



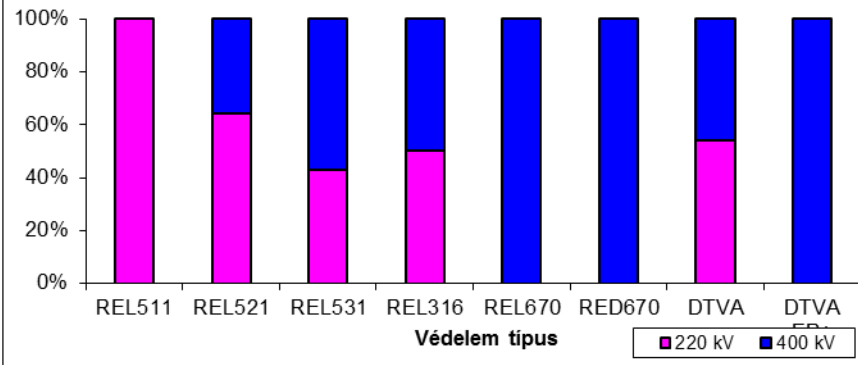
# Relévédelmi, automatika rendszerek

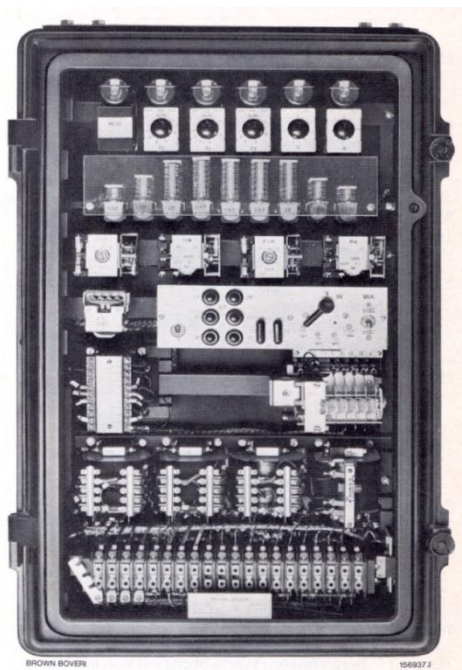


| Védelem típus    | 220 kV-on  | 400 kV-on  | Összesen: db | Összesen: %   |
|------------------|------------|------------|--------------|---------------|
| REL511           | 3          | 0          | 3            | 1,1%          |
| REL521           | 57         | 32         | 89           | 33,6%         |
| REL531           | 6          | 8          | 14           | 5,3%          |
| REL316           | 2          | 2          | 4            | 1,5%          |
| REL670           | 0          | 34         | 34           | 12,8%         |
| RED670           | 0          | 1          | 1            | 0,4%          |
| DTVA             | 56         | 48         | 104          | 39,2%         |
| DTVA EP+         | 0          | 16         | 16           | 6,0%          |
| <b>Összesen:</b> | <b>124</b> | <b>141</b> | <b>265</b>   | <b>100,0%</b> |



Az elsősorban alkalmazott távolsági védelmek típusok szerinti megoszlása feszültség szintenként

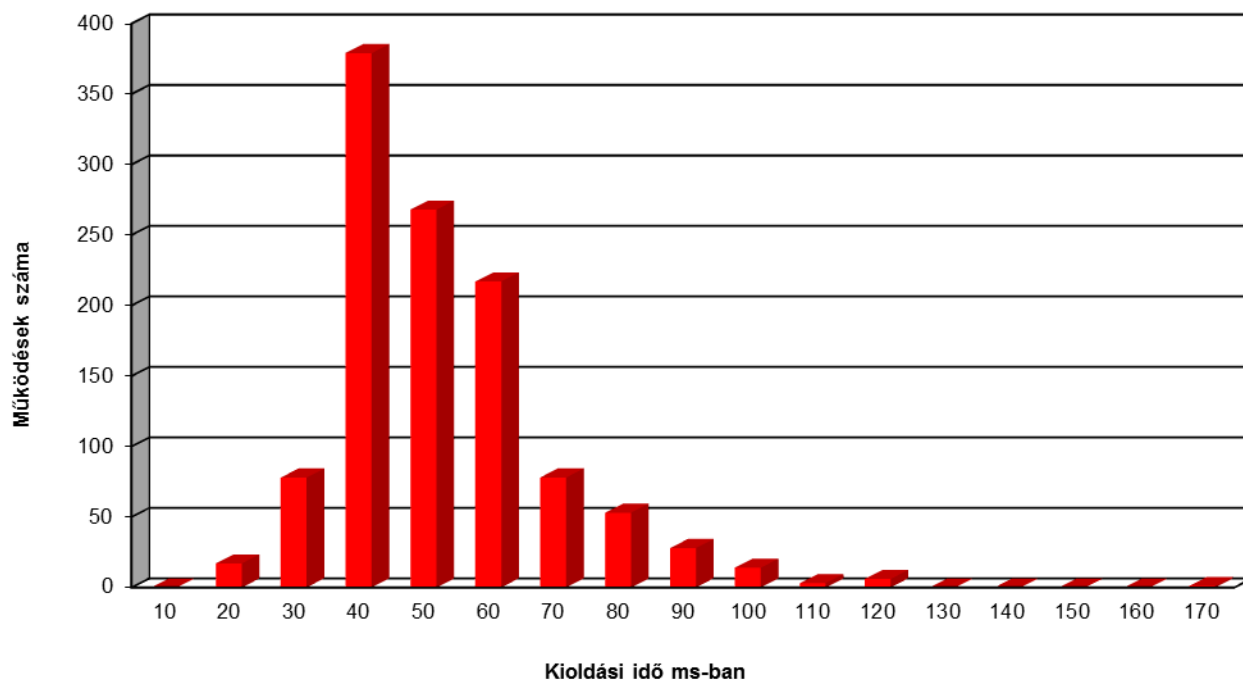




## LZ 32

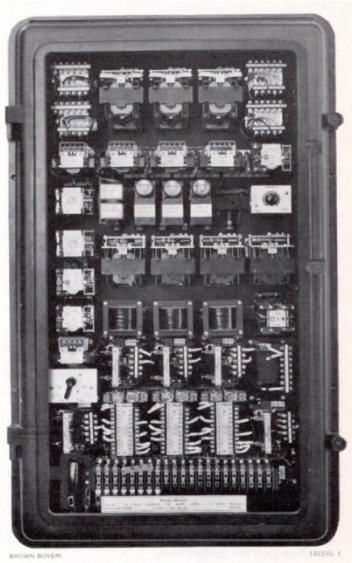
(elektro-mechanikus távolsági védelem)

LZ32 típusú távolsági védelmek kioldási ideje a 220-400 kV-os távvezetéseken 1995-2009

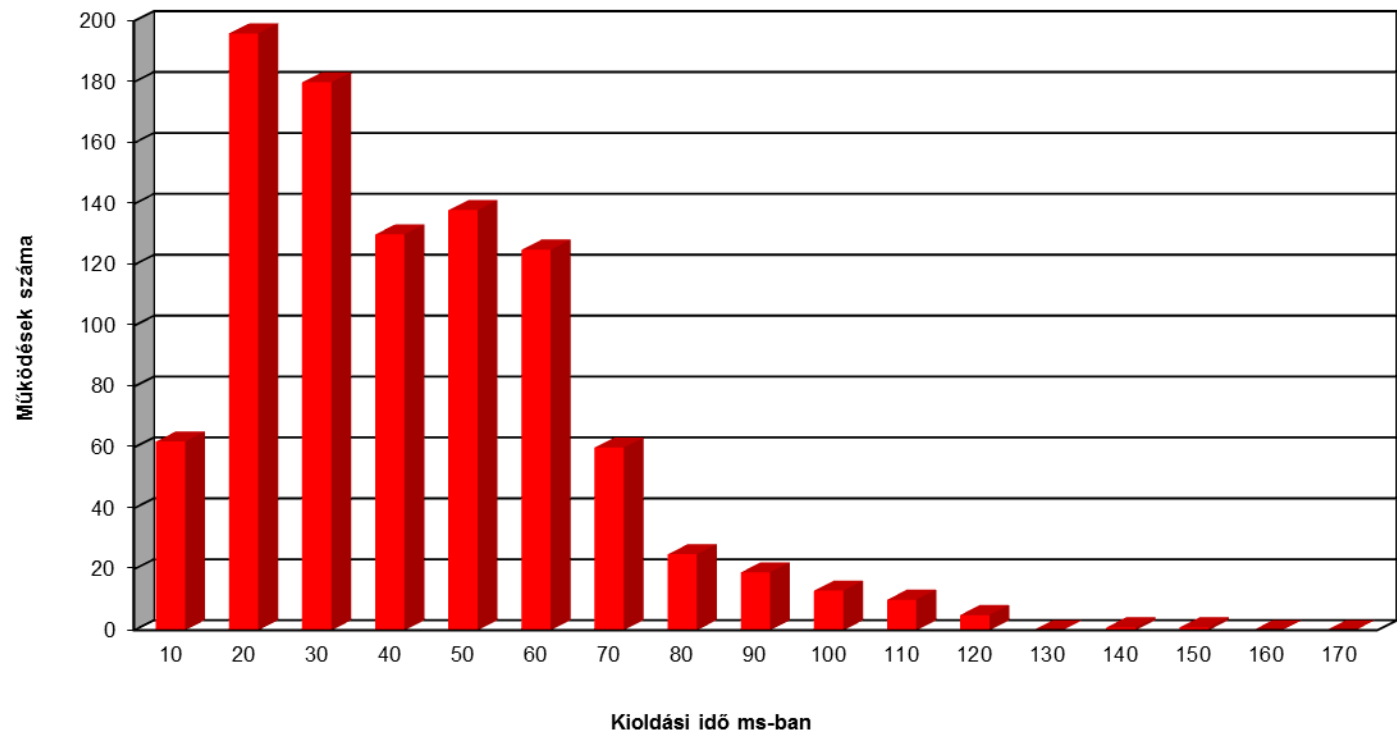


## L8a

(elektro-mechanikus távolsági védelem)

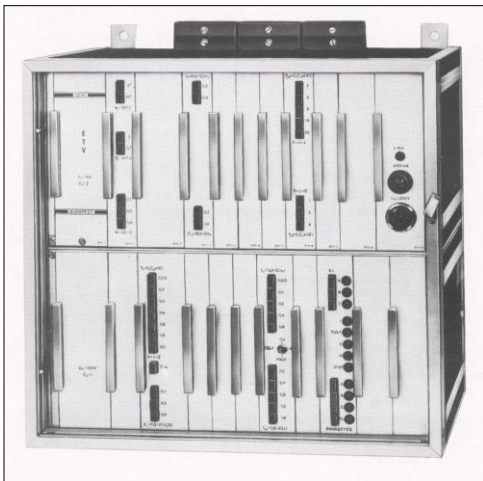


L8a típusú távolsági védelmek kioldási ideje a 220-400 kV-os távvezetéseken 1995-2009

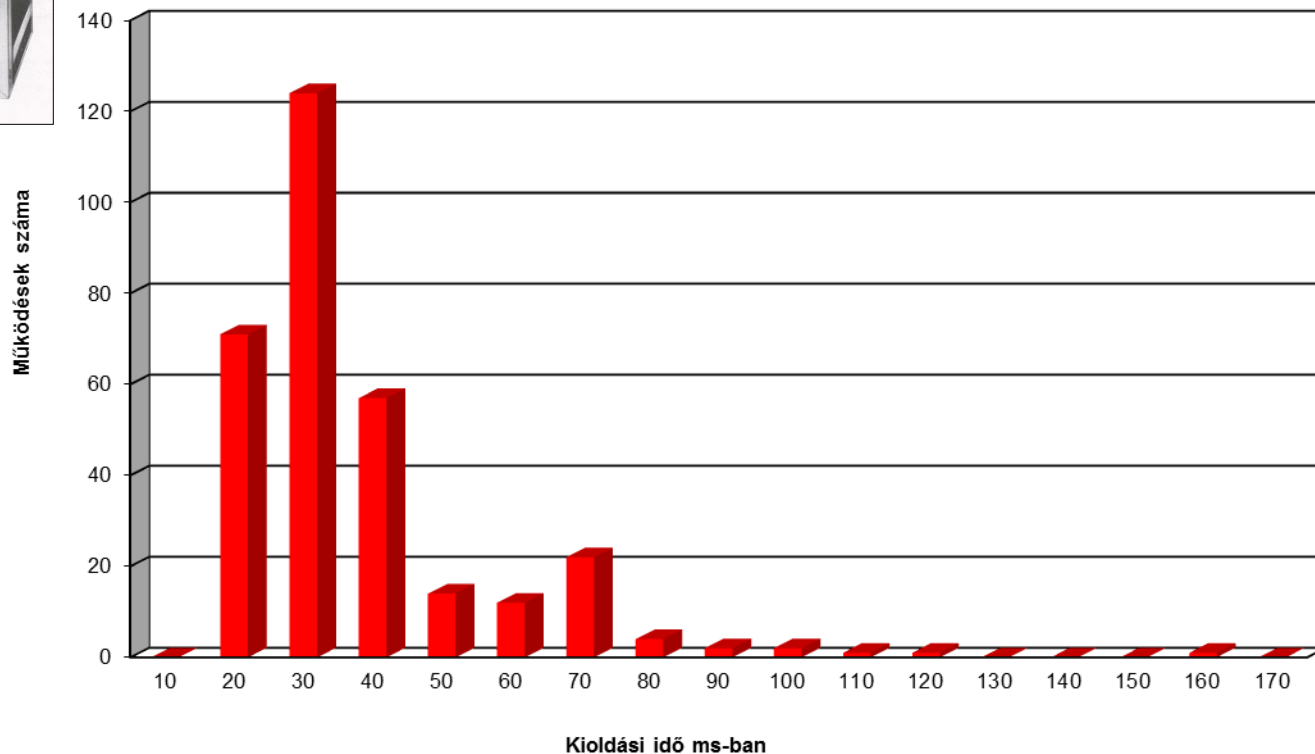


## ETV

(analóg-elektronikus távolsági védelem)

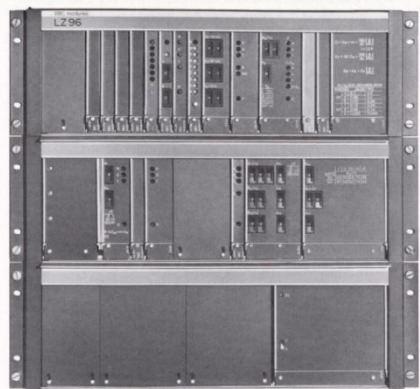


ETV típusú távolsági védelmek kioldási ideje a 220-400 kV-os távvezetéseken 1995-2009

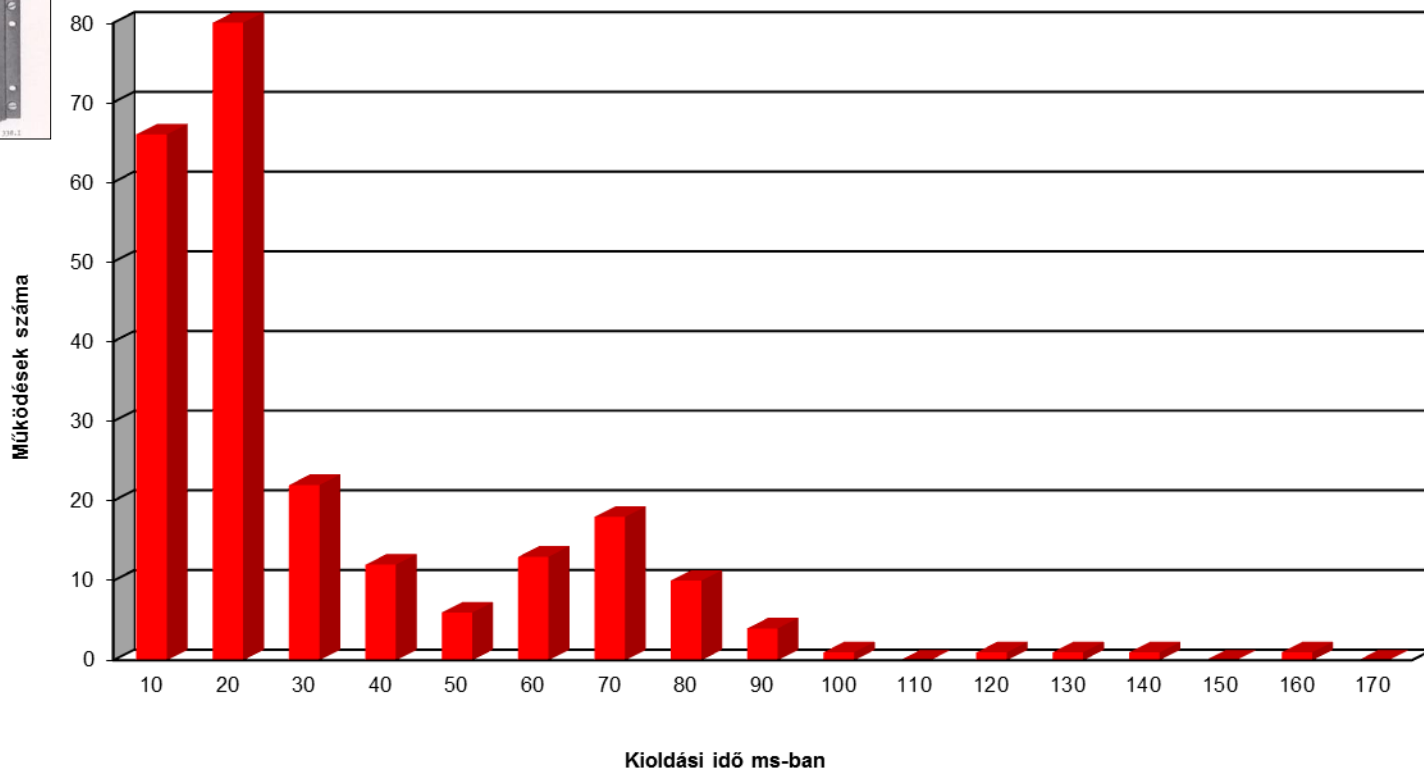


## LZ 96

(analóg-elektronikus távolsági védelem)



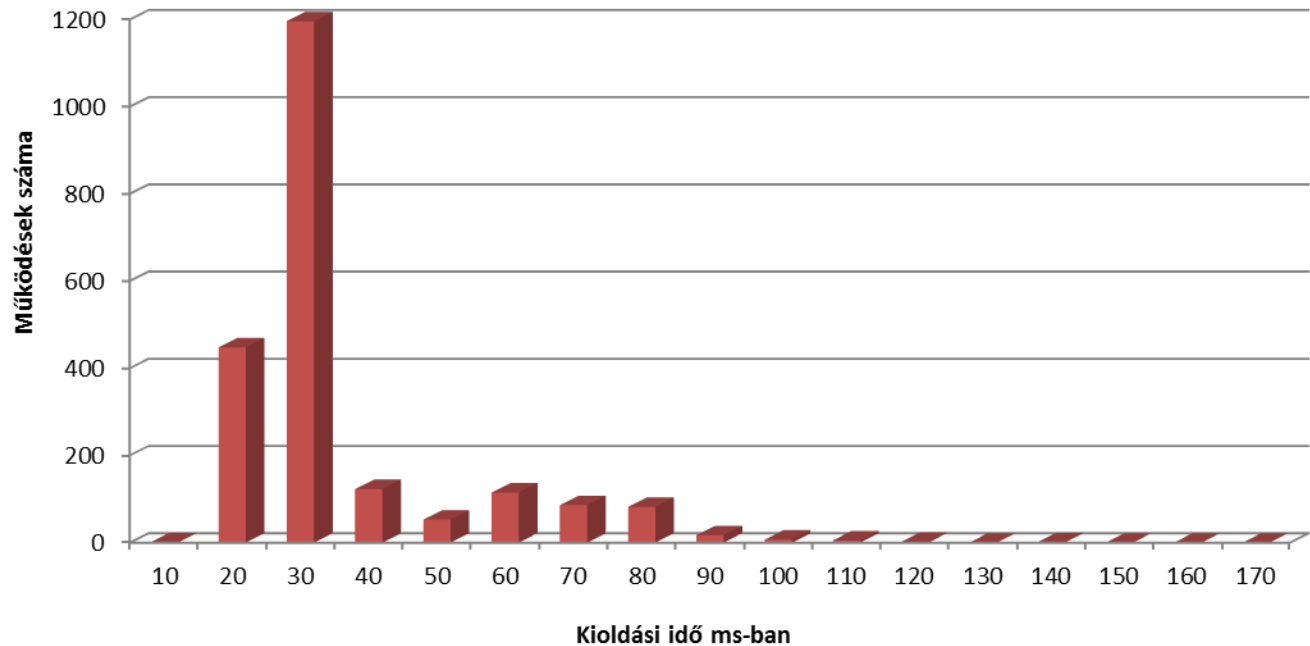
LZ96 típusú távolsági védelmek kioldási ideje a 220-400 kV-os távvezetéseken 1995-2007

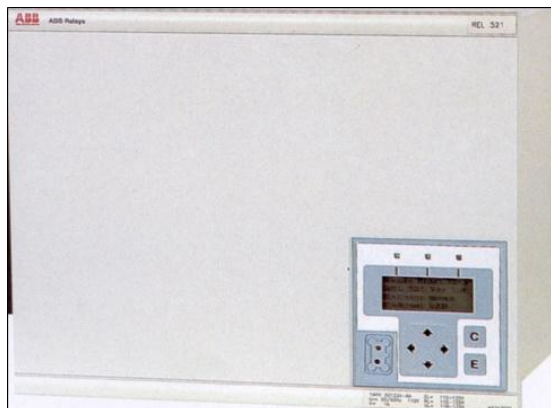


## REL 521

(digitális távolsági védelem)

REL521 típusú távolsági védelmek kioldási ideje a 220-400 kV-os távvezetéseken 1995-2014

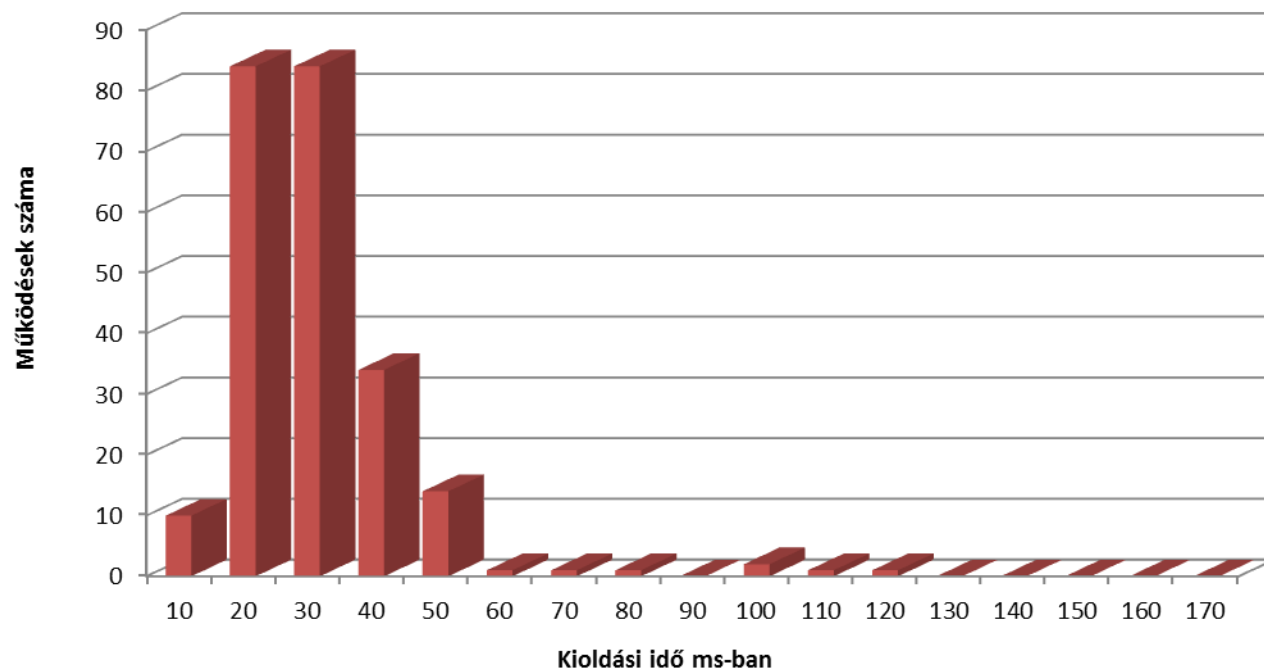




## REL 531

(digitális távolsági védelem)

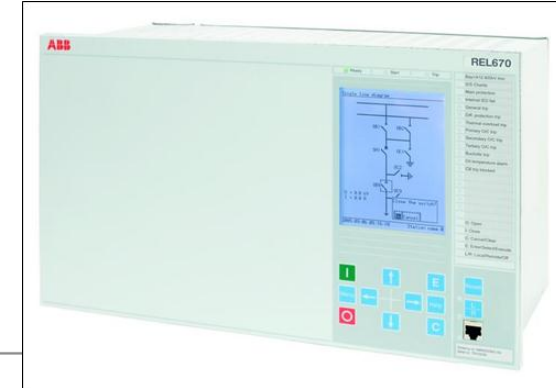
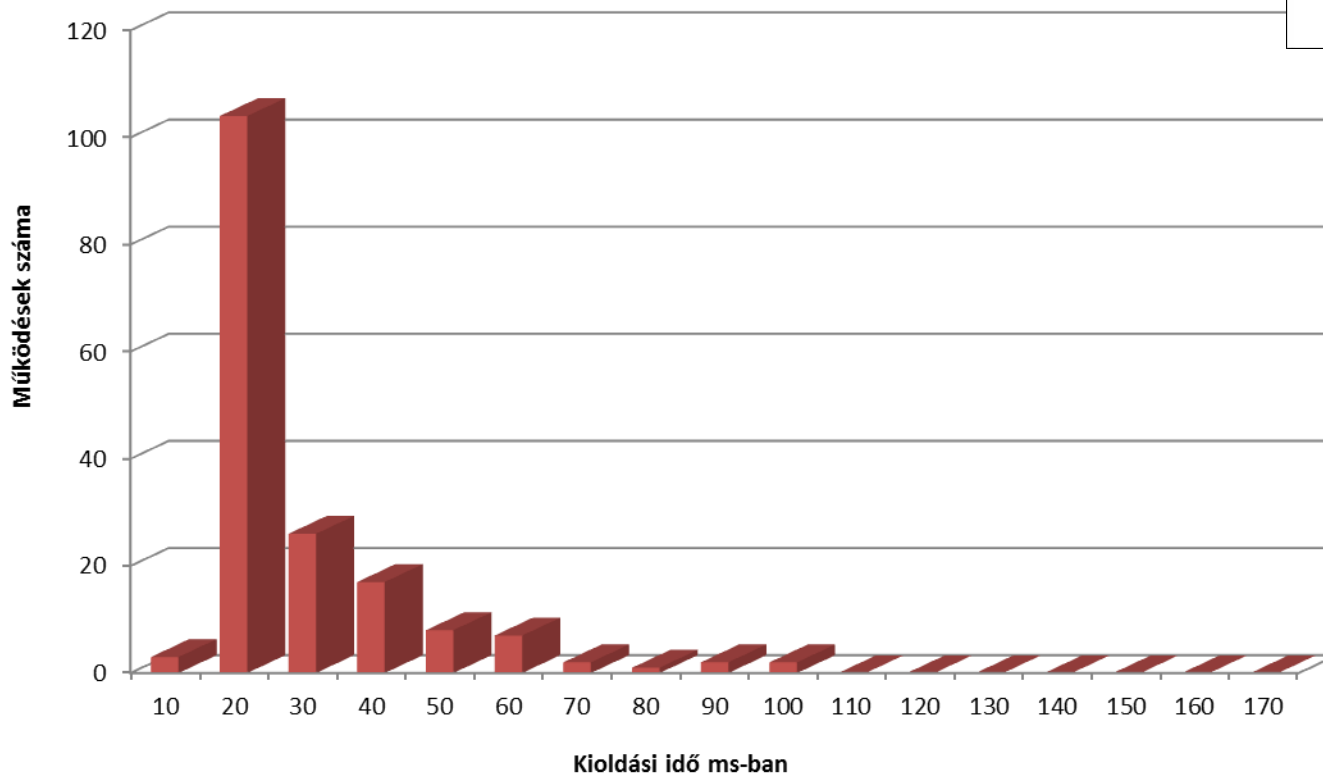
REL531 típusú távolsági védelmek kioldási ideje a 220-400 kV-os távvezetéseken 1998-2014



## REL 670

(digitális távolsági védelem)

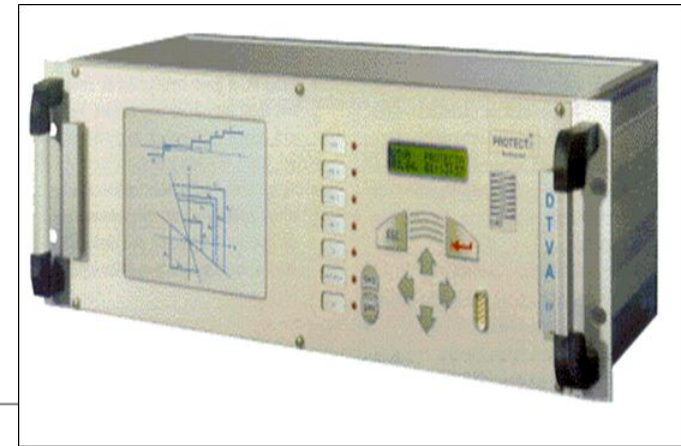
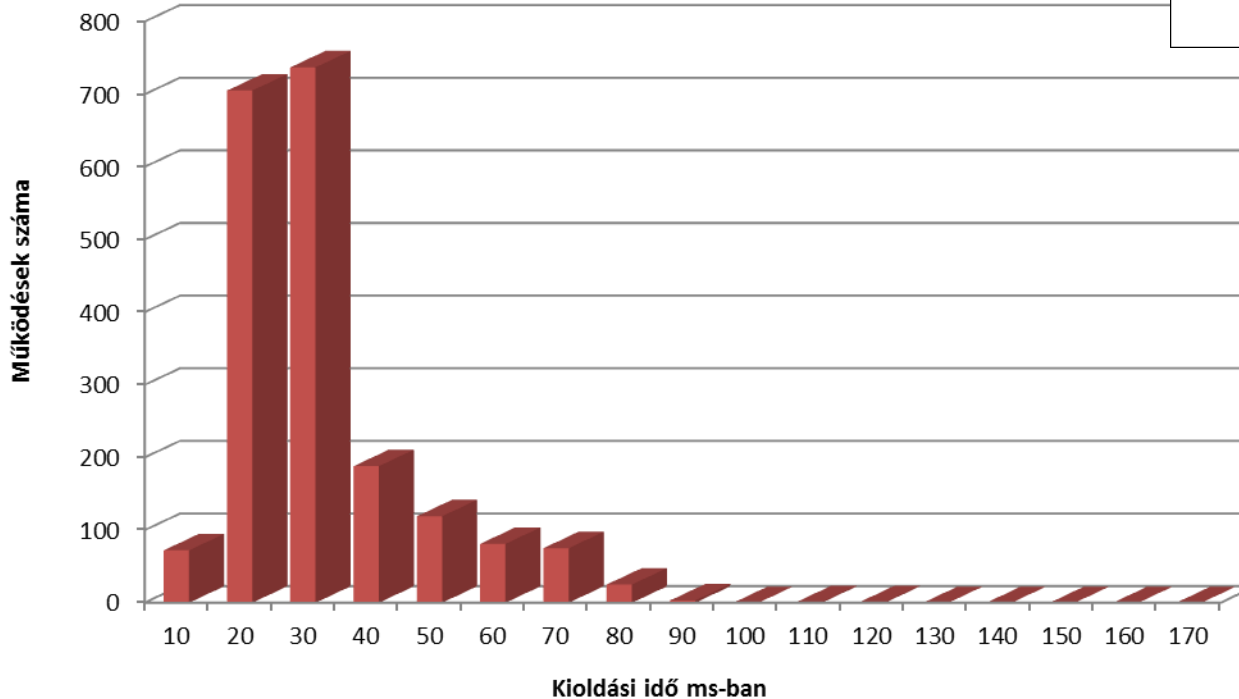
REL670 típusú távolsági védelmek kioldási ideje a 220-400 kV-os távvezetéseken 2007-2014



## DTVA

(digitális távolsági védelem)

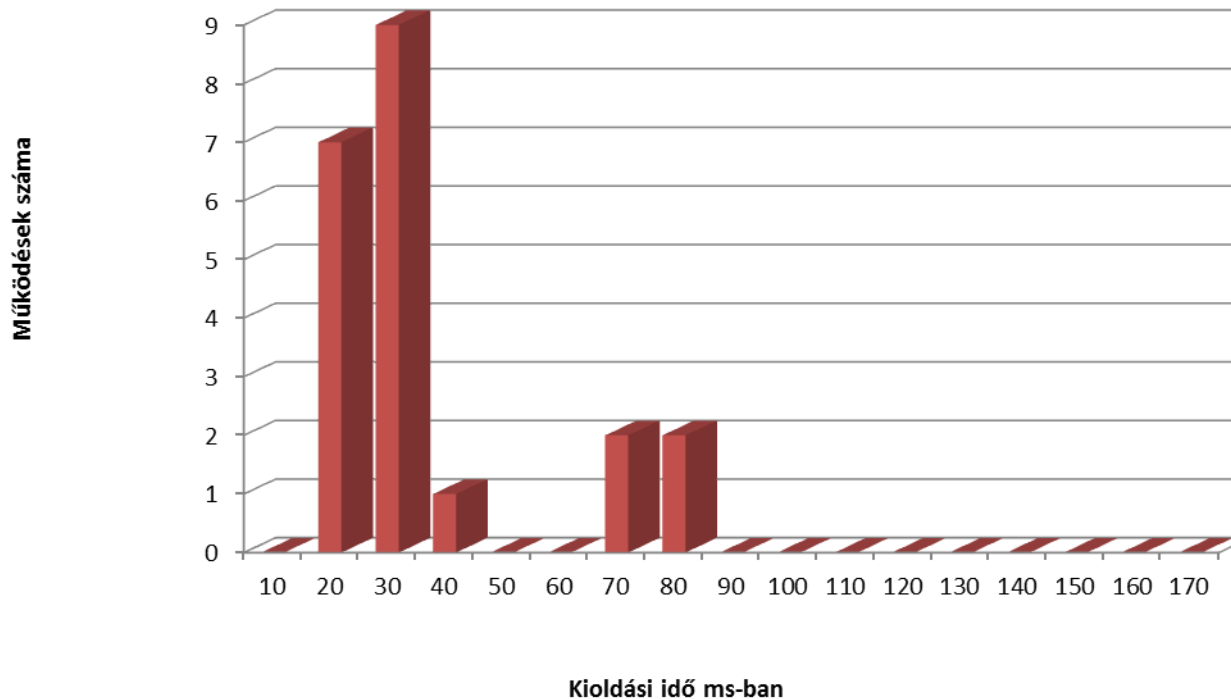
DTVA típusú távolsági védelmek kioldási ideje a 220-400 kV-os távvezetéseken 2002-2014



## DTVA EP + (digitális távolsági védelem)



DTVA EP+ típusú távolsági védelmek kioldási ideje a 220-400 kV-os távvezetéseken 2002-2014



## A rendszer kialakításánál, üzemeltetésénél figyelembe veendők:

- A villamos energiaszolgáltatás célja = a fogyasztók lehetséges **maximálisan folyamatos** ellátása a műszaki-gazdasági racionalitás határain belül (ma már azonban nagyon fontos az üzlet (business))
- Alállomási primér kialakítás – hálózati topológia – relévédelmi, automatika rendszer **harmonikus egységet** kell, hogy képezzen
- Redundancia és hézagmentes tartalékolás kell
- **Egyenszilárdságú** megbízhatóság (védelem, jelátvitel, automatika)
- Műszaki fejlődés új eredményeinek felhasználása – **progresszív konzervativizmus**
- Egyeztetett szabványos interface-ek – csereszabátosság, szabad alkalmazástechnika
- Készülék felhasználás, beszerzés – **alkalmasság** megítélése (előzetes funkcionális és típus vizsgálatok, EMC, **alkalmassági tanúsítvány**)
- Gondos üzembe helyezés, műszaki átvétel
- Rendszeres működésanalízis, körütekintő üzemzavar kivizsgálás
- Szakmai felkészültség és elkötelezettség (szakmai degradáció!)

# Relévédelmi, automatika rendszerek

X

## Biztonság:

- ☐ Alkalmazottak, munkát végzők
- ☐ Lakosság
- ☐ Környezeti hatások

## Piac:

- ☐ Energiacsere, tranzit szállítások (Available Transfer Capacity - ATC)
- ☐ Határkeresztező távvezetékek áteresztő kapacitása, aukció (Net Transfer Capacity - NTC)
- ☐ Menetrendek
- ☐ Piac összekapcsolás
- ☐ Szabályozási tartalékok egyesítése (EGCC)

## Gazdaságosság:

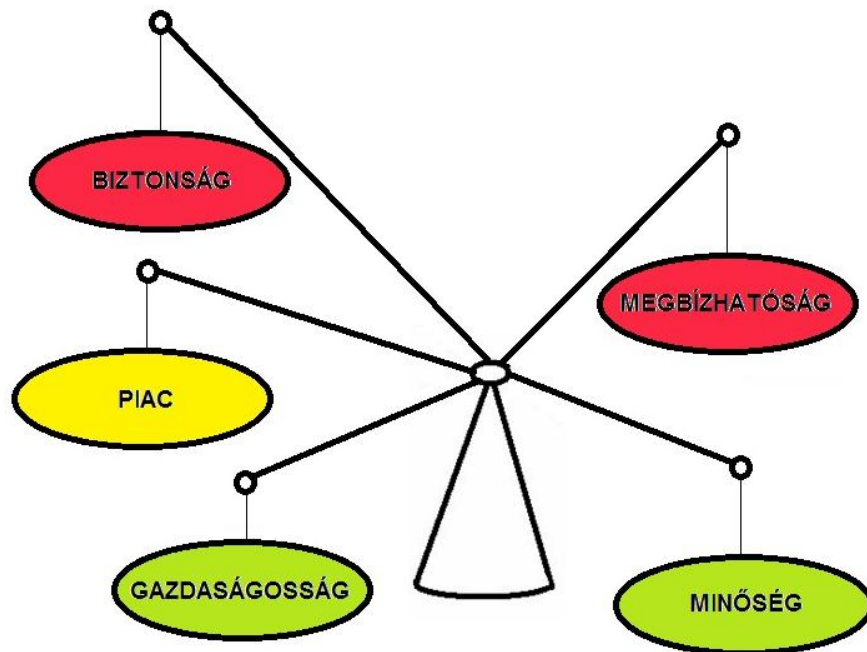
- ☐ Optimális üzem, hálózati veszteségek
- ☐ Forrástervezés
- ☐ Hálózati üzemelőkészítés (load-flow, Dynamic Security Assessment - DSA)
- ☐ Karbantartás
- ☐ Elhalasztott beruházások

## Megbízhatóság:

- ☐ Rendszer stabilitás
- ☐ Határértékek és kényszerek
- ☐ Üzemzavarok elkerülése
- ☐ Gyors helyzet felismerés (Awareness System, TSO Security Cooperation - TSC, WAMS)
- ☐ Gyors üzem helyreállítás (system restoration)
- ☐ Megújulók integrálása (RES, PV, embeded generation)

## Minőség:

- ☐ Feszültség, frekvencia, felharmonikusok
- ☐ Folyamatos ellátás
- ☐ Rendelkezésre állás
- ☐ Partnerkapcsolatok



**VER**  
**rendszerirányítás**

## Alapvető hibák és az azokat meghatározó mennyiségek

|                                |                                                                                                                   |                                                                        |
|--------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|
| 1. Rövidzárlatok általában     | fázisáram<br>differenciaáram<br>áram-fázisszög differencia<br>fázisfeszültség<br>teljesítmény irány<br>impedancia | $I$<br>$\Delta I$<br>$\Delta \varphi$<br>$U$<br>$P \rightarrow$<br>$Z$ |
| 2. Aszimmetrikus rövidzárlatok | fentiek és kiegészítésképpen:<br>negatív- és zérussorrendű<br>áramok,<br>feszültségek,<br>teljesítmények          | $I_2, I_0$<br>$U_2, U_0$<br>$P_2, P_0$                                 |
| 3. Földzárlatok                | zérussorrendű mennyiségek                                                                                         | $I_0, U_0, P_0 \rightarrow$                                            |
| 4. Túlterhelés                 | fázisáram<br>hőmérséklet                                                                                          | $I$<br>$\vartheta$                                                     |
| 5. Aszimmetrikus terhelés      | negatívssorrendű áram                                                                                             | $I_2$                                                                  |
| 6. Hatásos teljesítményhiány   | frekvencia<br>frekvencia gradiens                                                                                 | $f$<br>$df/dt$                                                         |
| 7. Hatásos teljesítménytöbblet | frekvencia<br>frekvencia gradiens                                                                                 | $f$<br>$df/dt$                                                         |

## Relévédelmi, automatika rendszerek kialakítása

- **Digitális készülék- és rendszertechnika**  
(mintavételezés, állandó önellenőrzés és üzemfelügyelet, állandó egyenáramú segédüzemi fogyasztás, akkutöltők üzeme!)
- **Fénytávközlés, fényvezető kábelek alkalmazása**  
(EMC hatásoktól védettség, redundancia, regenerátor!)
- **Rézkábelezés minimalizálása**  
(alállomáson belüli EMC hatások csökkentése, szakaszolás – villamos ív!)
- **Mezőorientált, decentralizált kivitel**  
(reléházak kialakítás – központi relétér)
- **Jövőkép**  
(közvetlen optikai csatolású mérőváltók, SF<sub>6</sub>-os primér)

# Relévédelmi, automatika rendszerek

X



**Korszerű alállomás kialakítás: reléházak kivétel (MAVIR Zrt. Pécs alállomása)  
(rézkábelezés csökkentése, réz földelőháló - EMC)**

# Relévédelmi, automatika rendszerek

X



Zerjavinec  
Horvátország



MAVIR Zrt. Pécs aláll.



**Korszerű alállomás kialakítás:  
csőgyűjtősín, fojtótekerces,  
reléház, Diesel aggregátor**

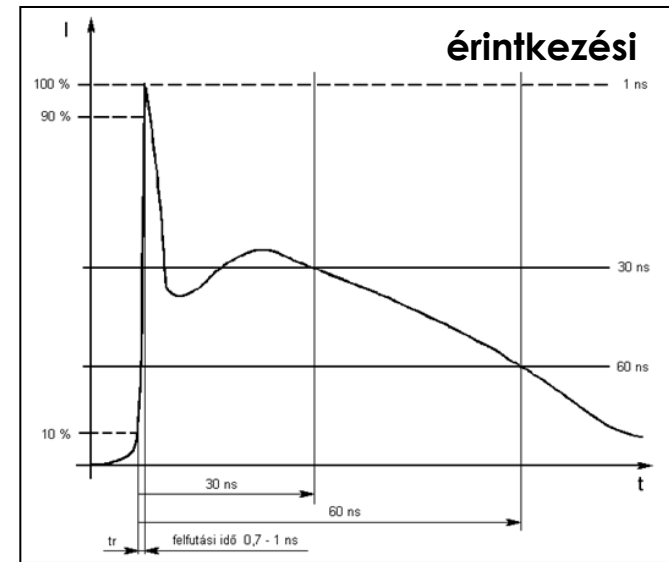
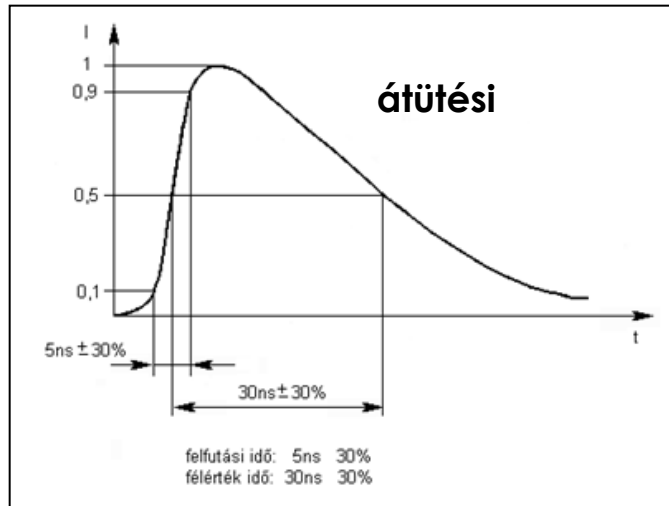
# Relévédelmi, automatika rendszerek



Szekrényes kivitelű szerelés

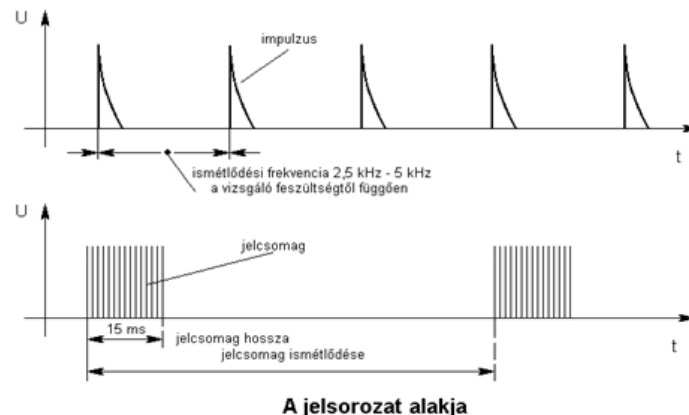
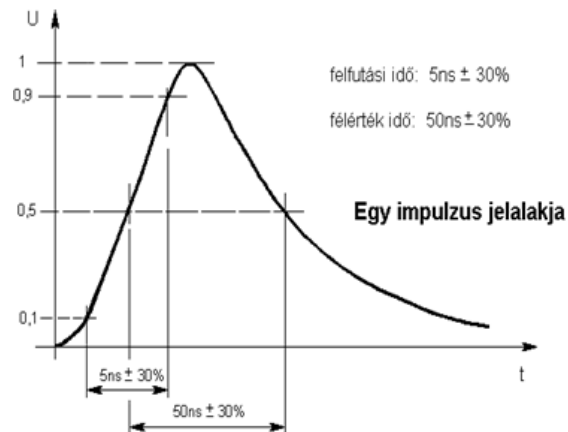
# Relévédelmi, automatika rendszerek

X



## Elektrosztatikus kisülés – electrostatic discharge test

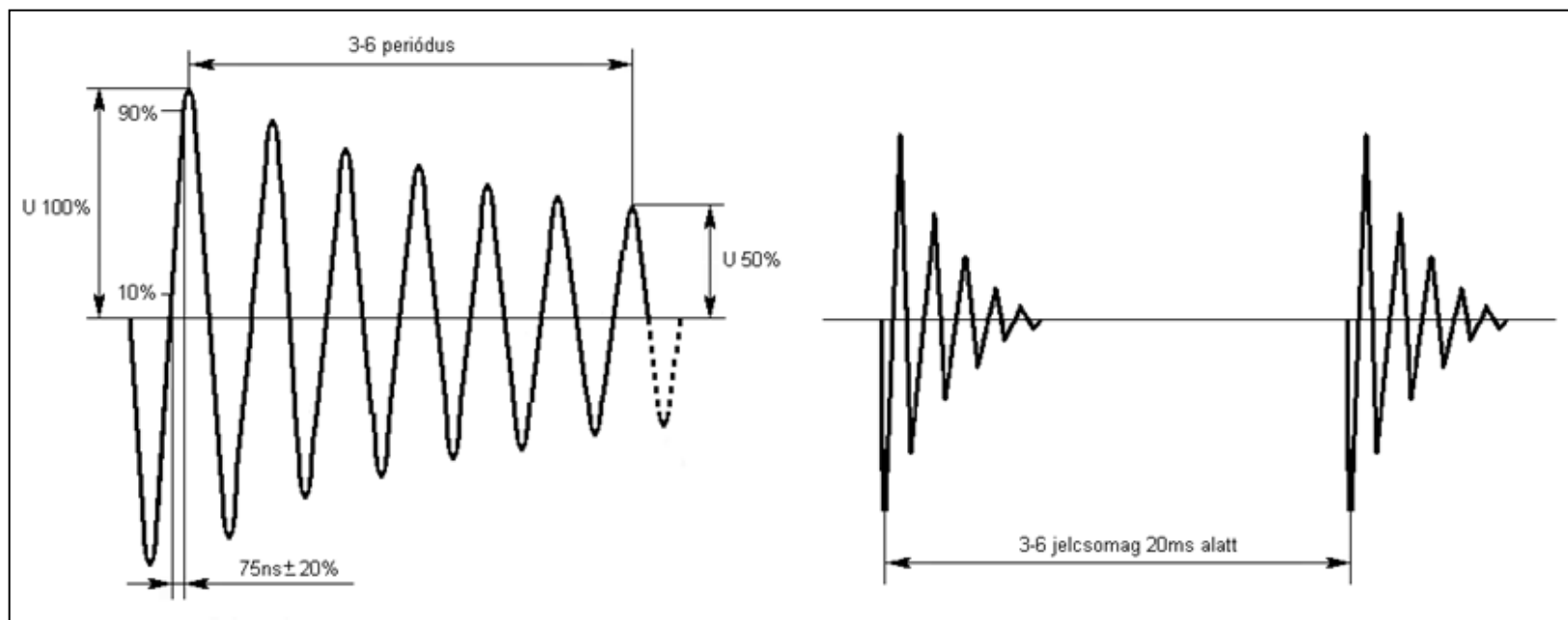
**EMC**



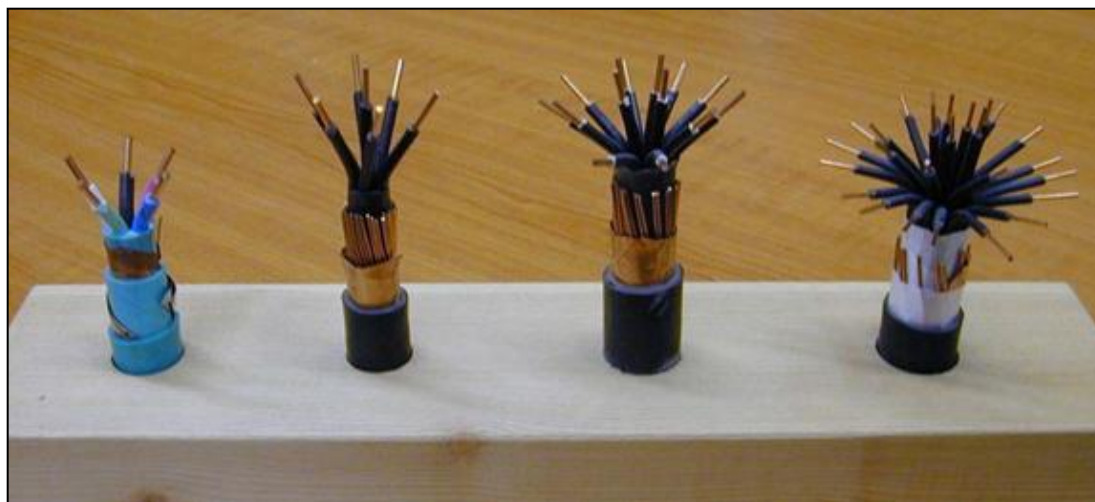
## Gyors villamos tranziensekkel szembeni zavartűrés – electrical fast/transient burst immunity test

# Relévédelmi, automatika rendszerek

X



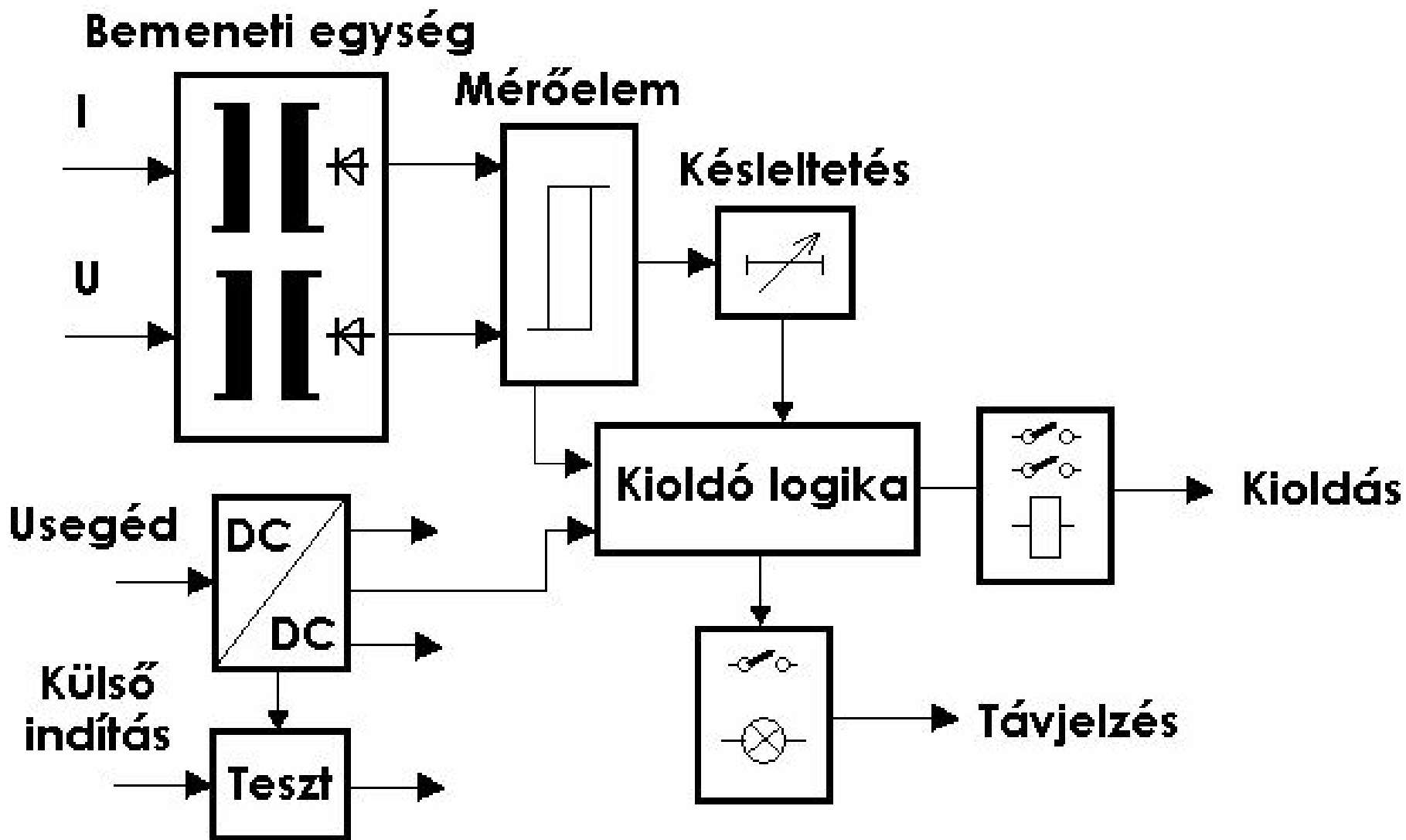
1 MHz-es csillapított rezgések – burst disturbance test



**EMC**

Árnyékolt rézkábelezés

# Relévédelmi, automatika rendszerek



Hagyományos (el.-mech. és anal.-elektr.) védelmek felépítése

# Relévédelmi, automatika rendszerek

X

- 1) Mérőváltó bemeneti egység
- 2) A/D átalakító (antialias szűrő) egység
- 3) Fő CPU egység
- 4) Kétállapotú ki- és bemenetek
- 5) Kommunikációs és tároló egység
- 6) MMC – ember-gép kapcsolati egység
- 7) Tápegység

FE CPU = Front End CPU

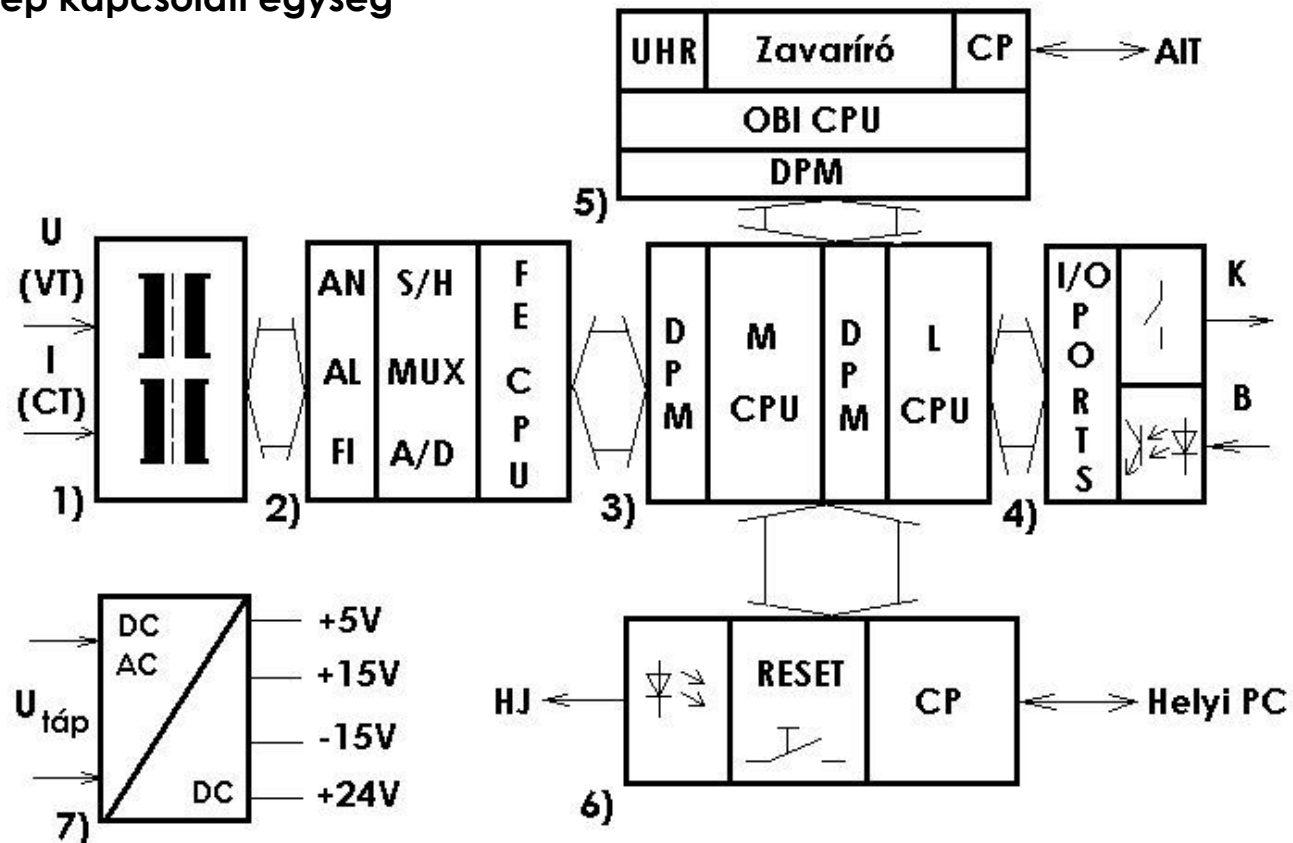
DPM = Dual Port Memory

M CPU = Main CPU

L CPU = Logic CPU

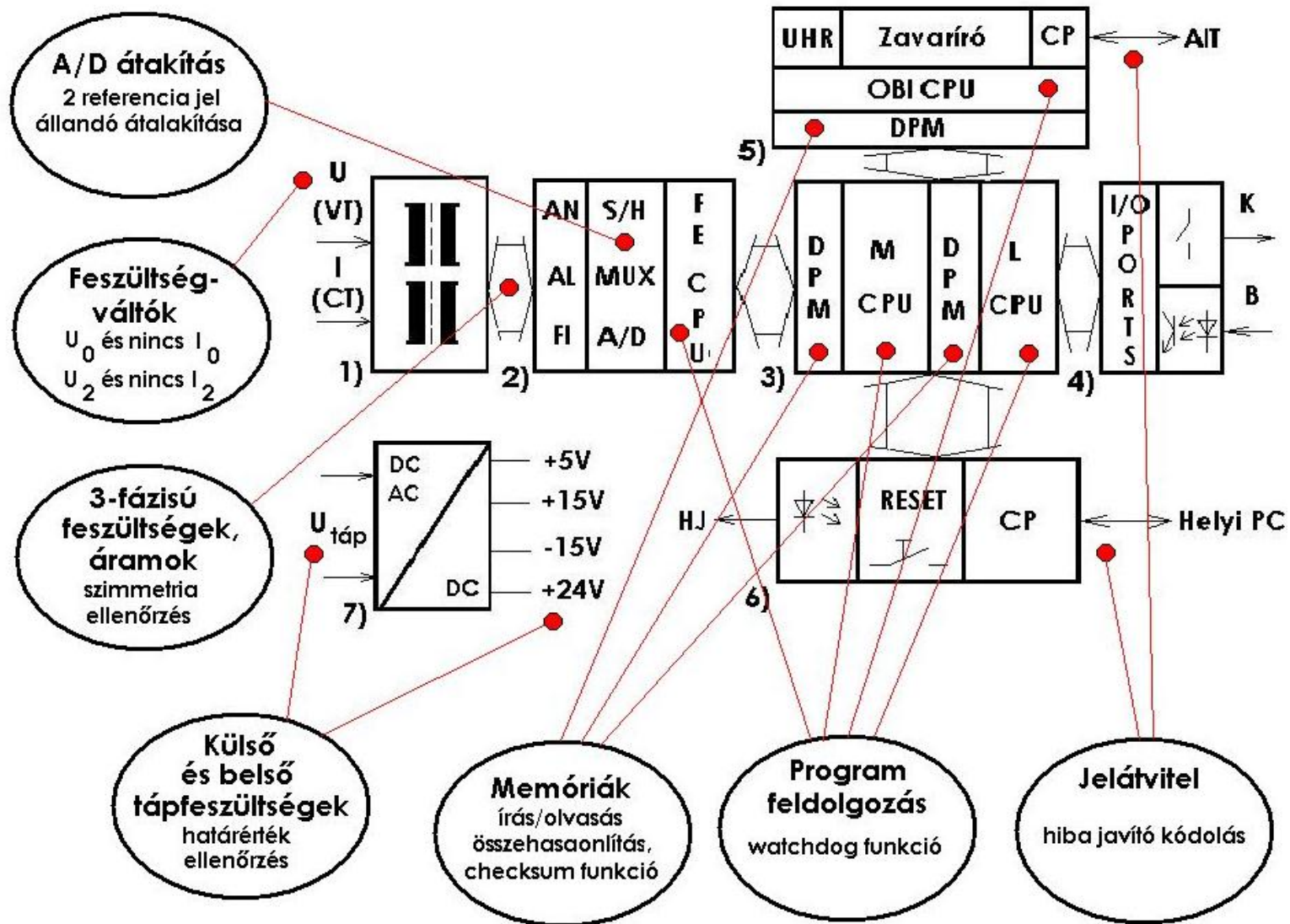
OBI = Object Bus Interface

CP = Communication Port



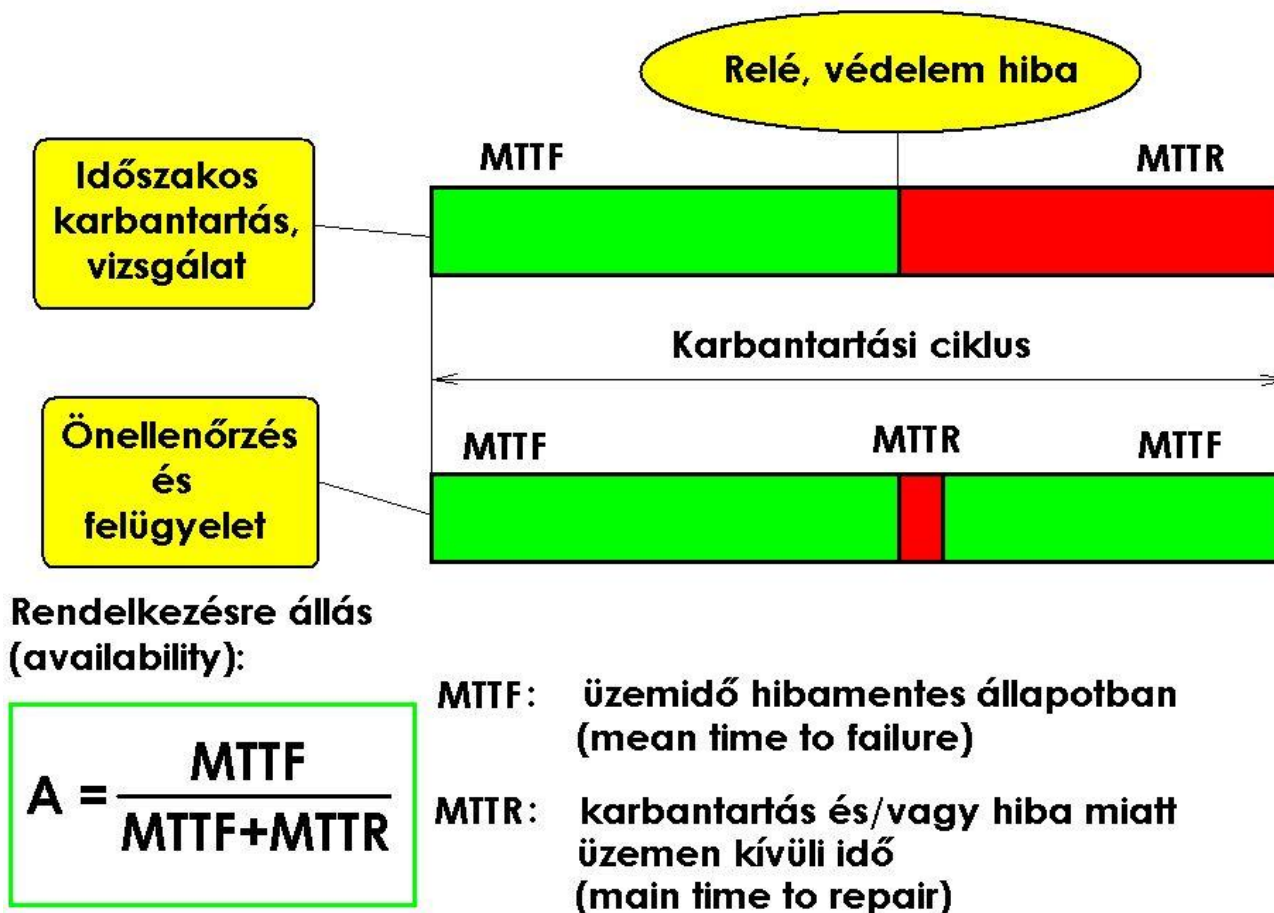
**Digitális védelem hardver felépítése**

# Relévédelmi, automatika rendszerek

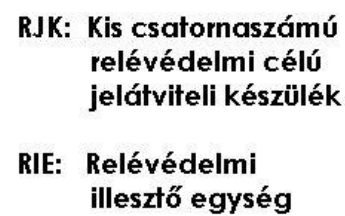


**Önellenőrzés digitális védelmeknél**  
(selfmonitoring and supervision)

# Relévédelmi, automatika rendszerek

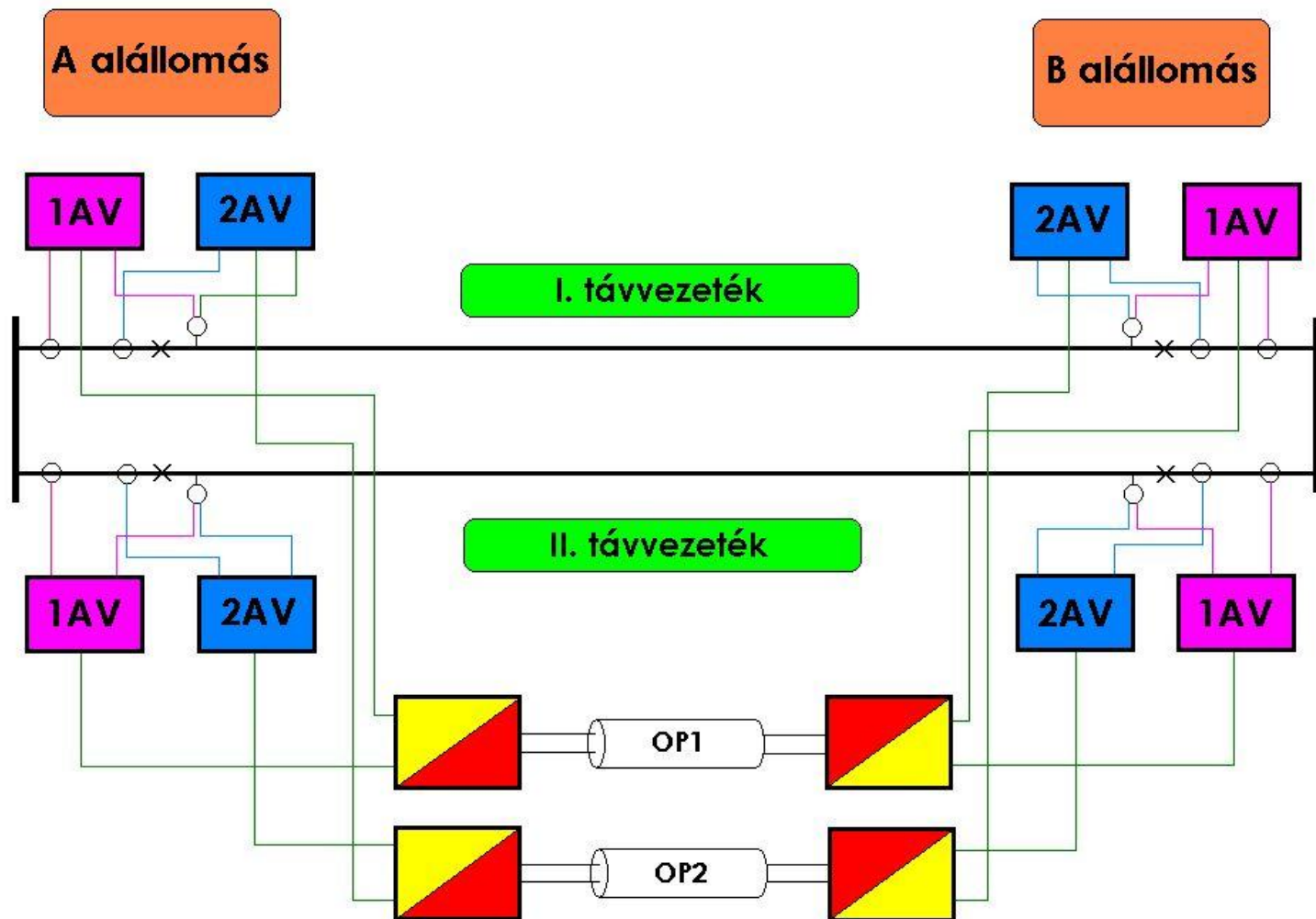


**Önellenőrzés és felügyelet**  
(selfmonitoring and supervision)



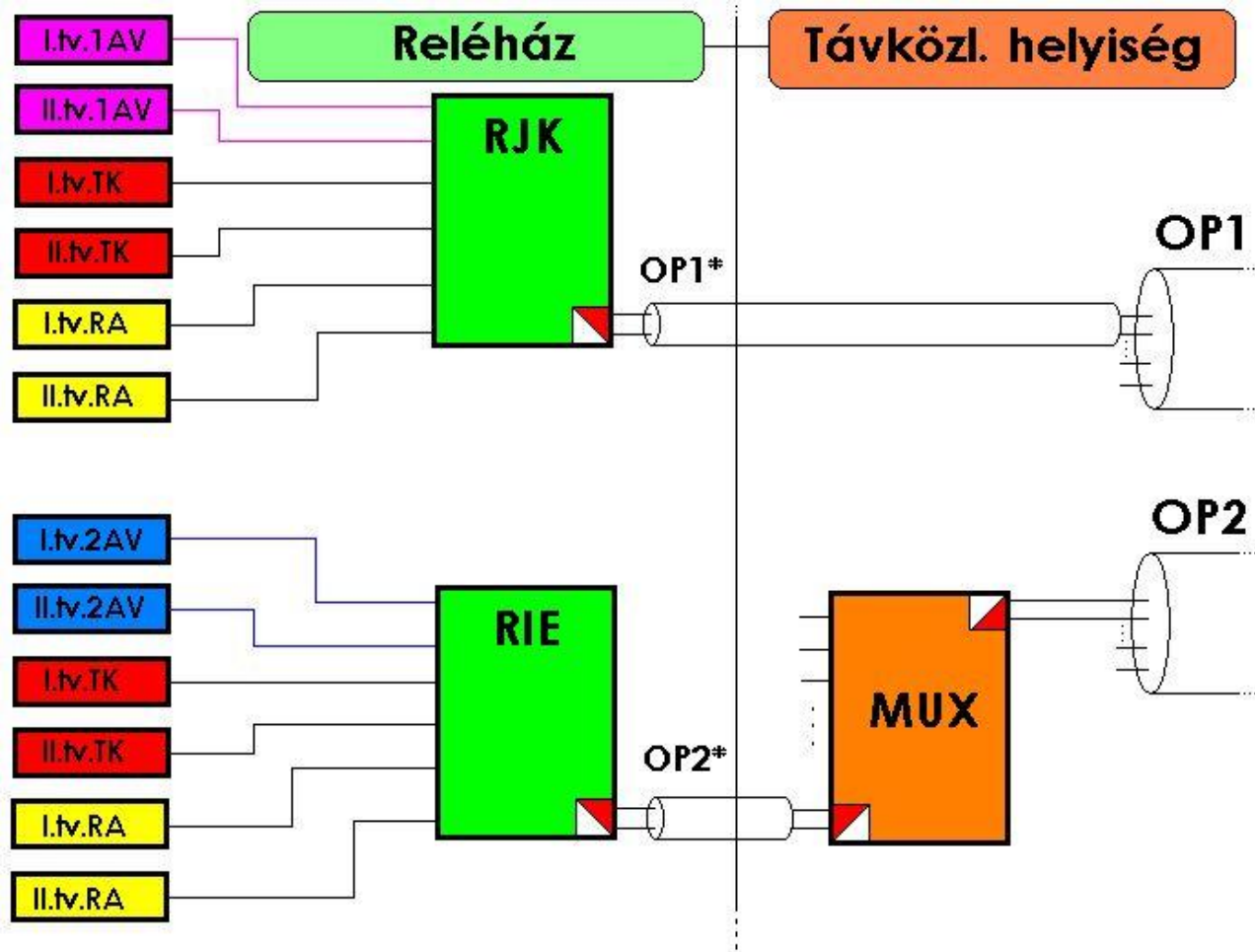
34

# Relévédelmi, automatika rendszerek



Relévédelmi célú jelátvitel (védelem szinkronozás)

# Relévédelmi, automatika rendszerek

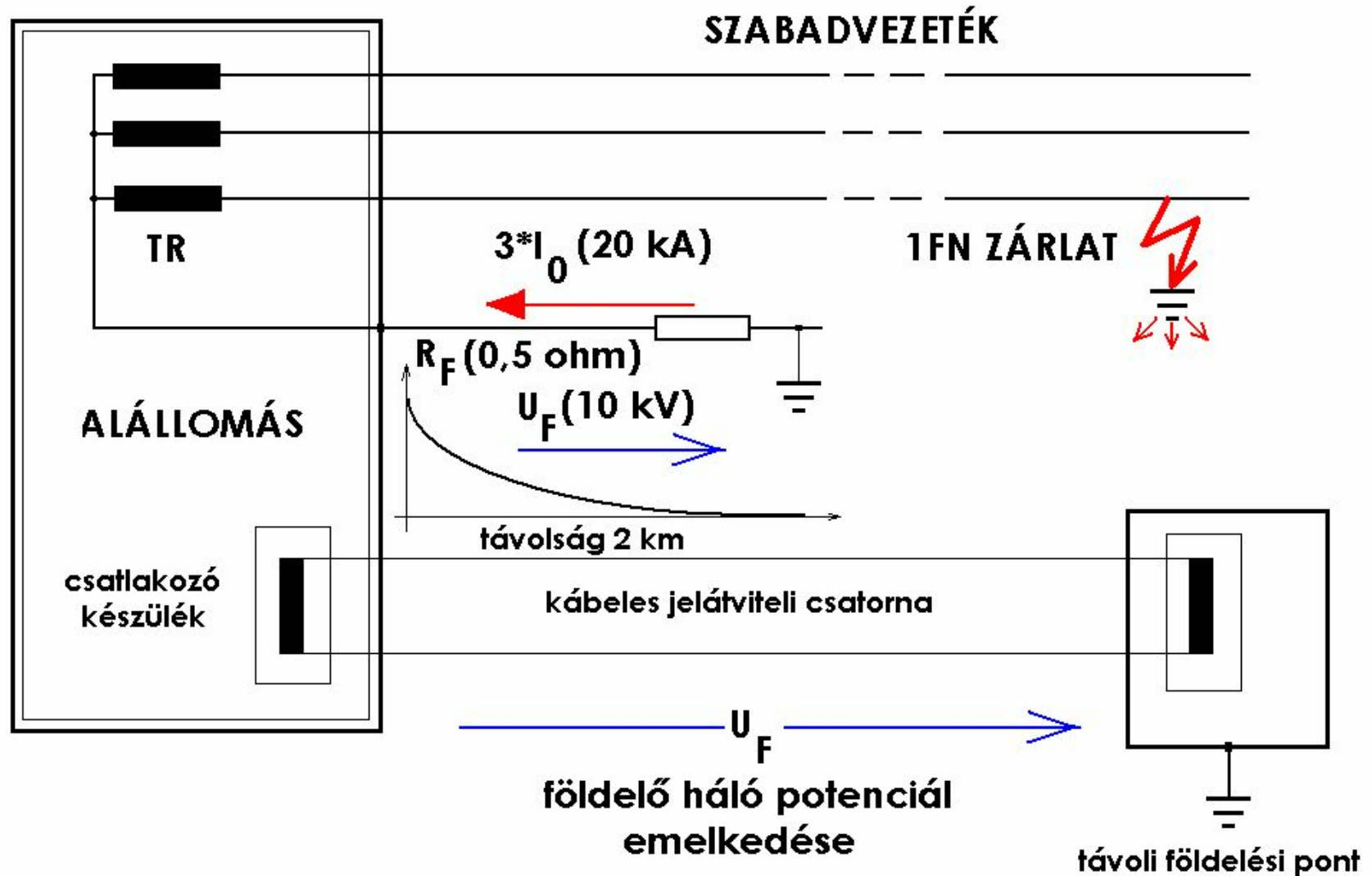


TK: távkioldás, RA: rendszerautomatika, RJK: kis csatornaszámú relévédelmi célú jelátviteli készülék

RIE: relévédelmi illesztő egység, MUX: távközlési multiplexer

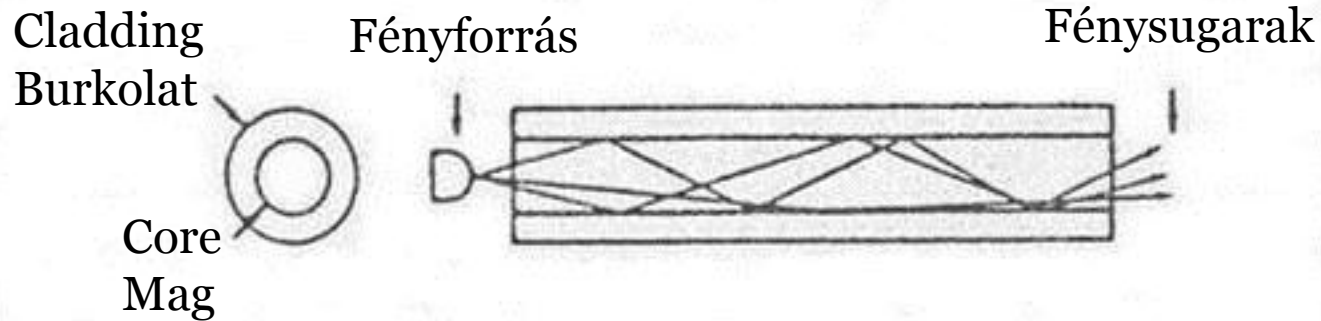
## Relévédelmi célú jelátvitel

# Relévédelmi, automatika rendszerek

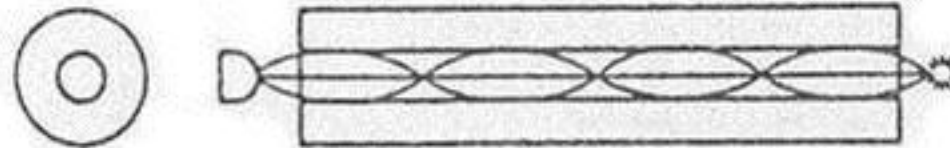


**Galvanikus összeköttetés veszélye**

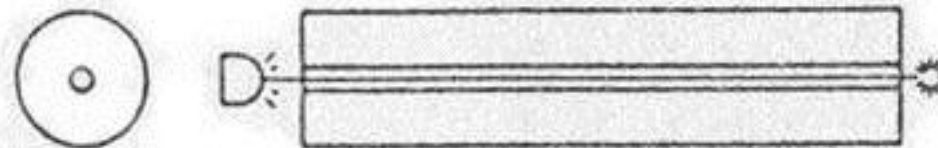
## Step Index (multimode)



## Multimode (graded index)

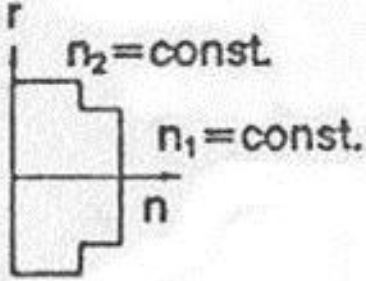
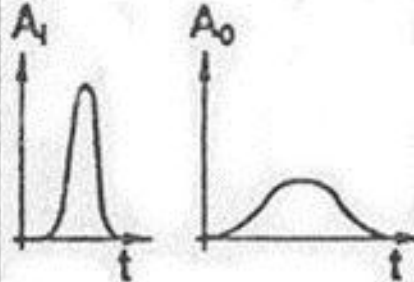


## Single mode



# Relévédelmi, automatika rendszerek

X

| Refractive index profile<br>Törésmutató profil                                    | Geometrical structure                                                                                                                                               | Impuse response of a multimode step index fibre                                                                                                                                |
|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  |  <p>Core diameter:<br/><math>d_c</math> typical = <math>100\mu\text{m}</math></p> |  <p><b>Bemenet</b><br/>Input<br/>impulses</p> <p><b>Kimenet</b><br/>Output<br/>impulses</p> |

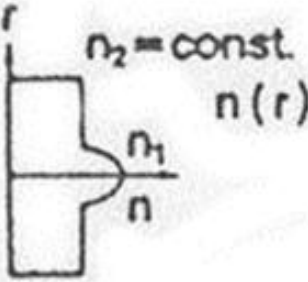
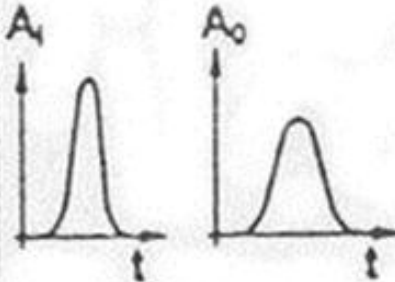
## Characteristics

- Large differences in group delay among different modes
- Pronounced pulse broadening
- Bandwidth:  $B \cdot L < 100 \text{ MHz} \cdot \text{km}$

Multimódusú, lépcsős törésmutatójú üvegszál

# Relévédelmi, automatika rendszerek

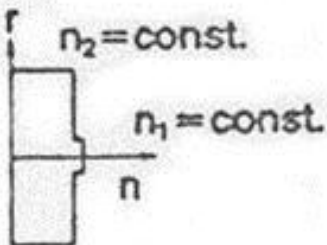
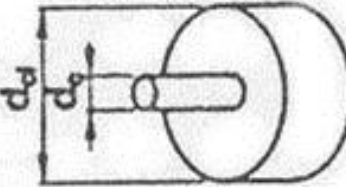
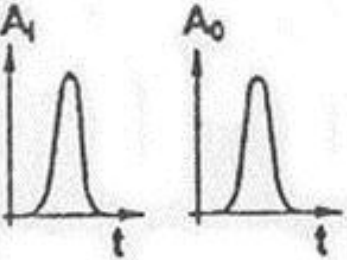
X

| Refractive index profile                                                                                                                                                                | Geometrical structure                                                                                                                                          | Impuse response of a multimode step index fibre                                                                                |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <p><math>n_2 = \text{const.}</math><br/><math>n(r)</math><br/><math>n_1</math><br/><math>n</math></p> |  <p>Core diameter:<br/><math>d_c \text{ typical} = 50 \mu\text{m}</math></p> |  <p>Input impulses      Output impulses</p> |

## Characteristics

- Small differences in group delay among different modes
- Slight pulse broadening
- Bandwidth:  $B \cdot L \sim 1 \text{ GHz} \cdot \text{km}$

**Multimódusú, gradiens törésmutatójú üvegszál**

| Refractive index profile                                                                                                                                                          | Geometrical structure                                                                                                                                        | Impuse response of a multimode step index fibre                                                                                |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <p><math>n_2 = \text{const.}</math><br/><math>n_1 = \text{const.}</math><br/><math>n</math></p> |  <p>Core diameter:<br/><math>d_c \text{ typical} = 9\mu\text{m}</math></p> |  <p>Input impulses      Output impulses</p> |

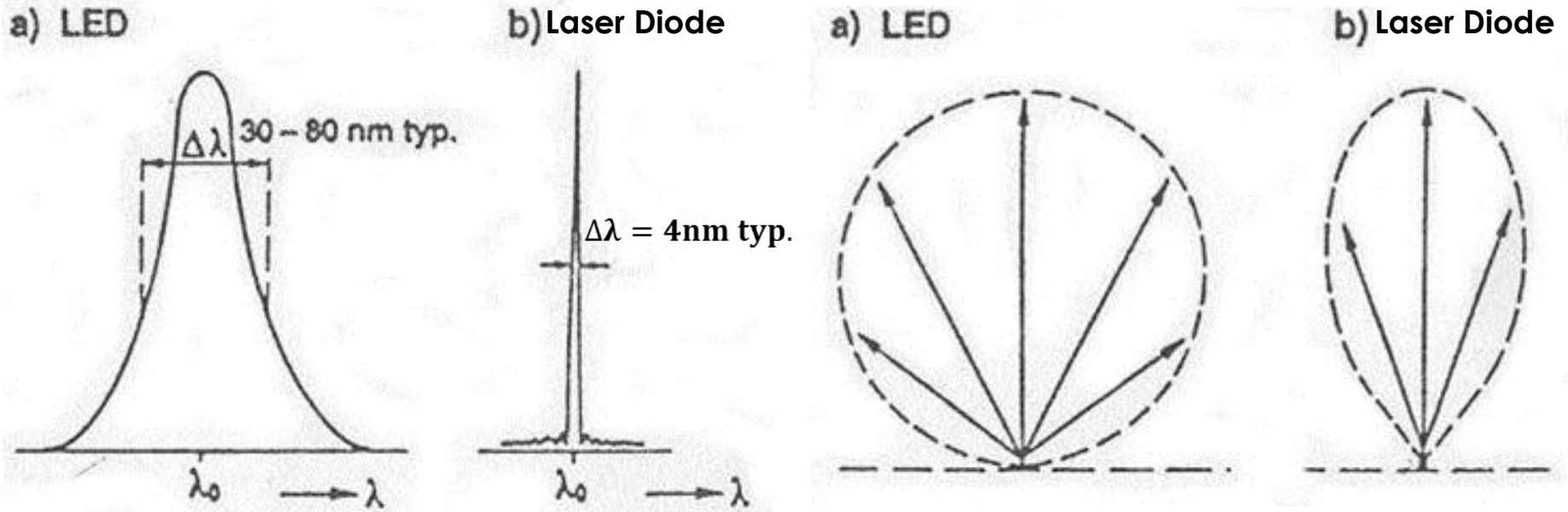
## Characteristics

- No group delay differences due to single propagation mode
- Small pulse broadening due to single
- Bandwidth:  $B \cdot L \sim 100 \text{ GHz} \cdot \text{km}$
- Lowest optical attenuation of all fibres available

**Monomódusú üvegszál**

# Relévédelmi, automatika rendszerek

X

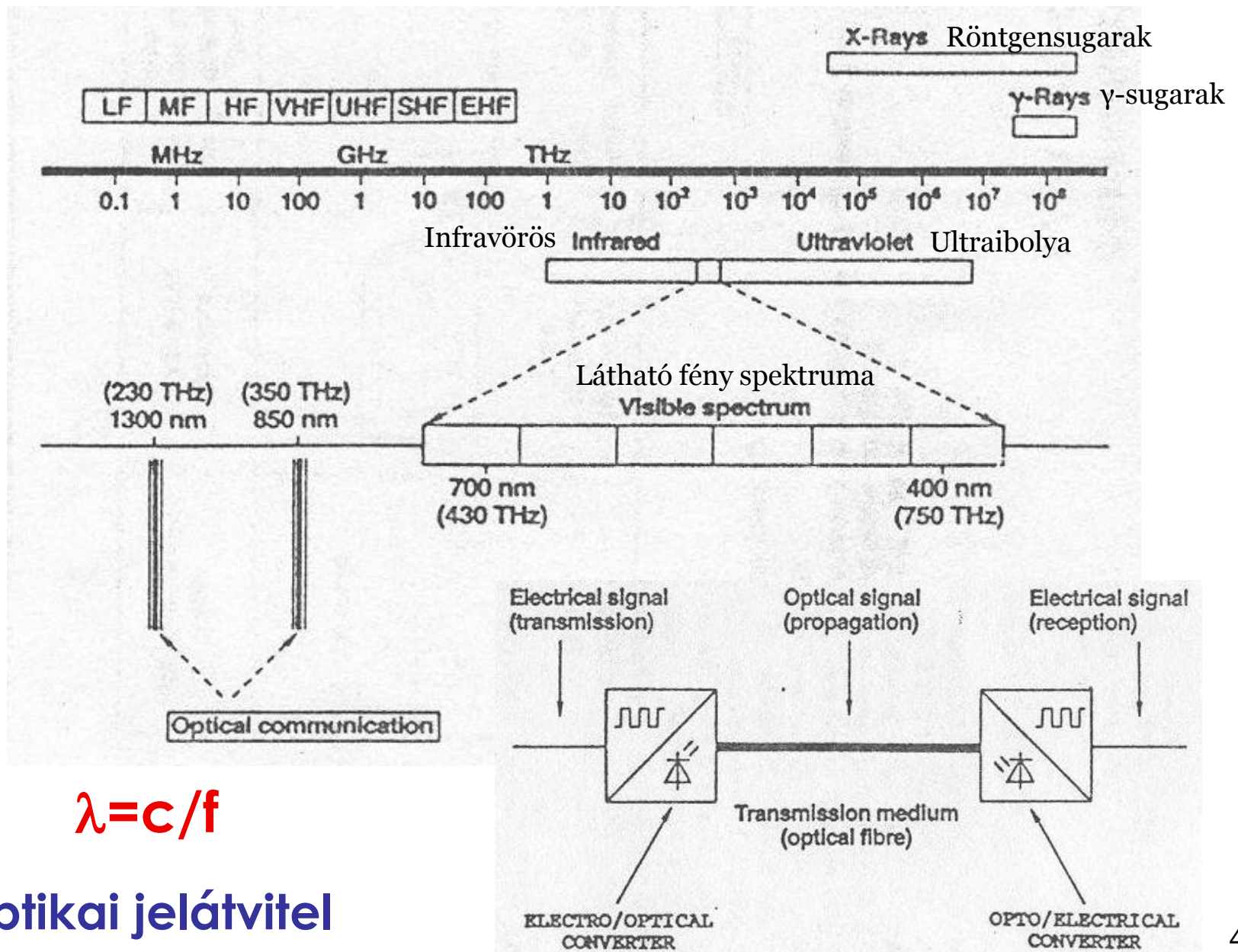


Spectral distribution of the emitted light  
A kibocsátott fény spektruma

Radiation pattern of the light sources  
Különböző fényforrások kisugárzási  
mintázata

**Fényforrások jellemzői (spektrális eloszlás, sugárzás)**

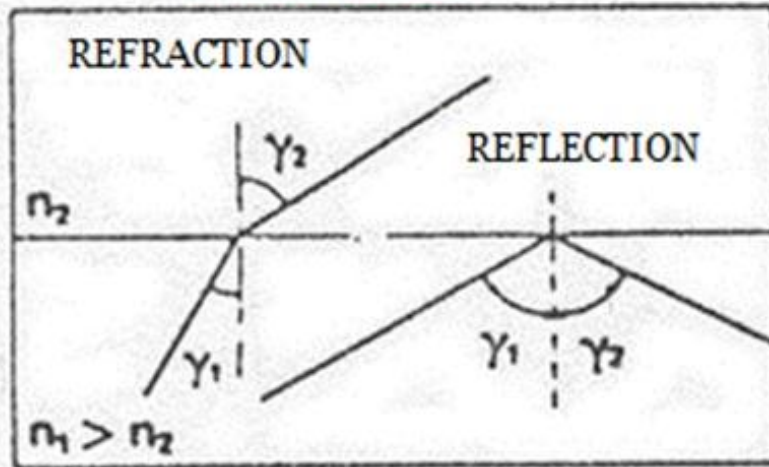
# Relévédelmi, automatika rendszerek



# Relévédelmi, automatika rendszerek

## Optikai jelátvitel

### törésmutató



$n_1, n_2$ : refractive index

$\gamma_1$ : incident angle

REFRACTION:  $\frac{\sin(\gamma_1)}{\sin(\gamma_2)} = \frac{n_2}{n_1}$

### törés és visszaverődés

Numerical aperture NA

$$NA = n_0 \cdot \sin \theta_a = n_1 \cdot \sin \gamma_c = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$

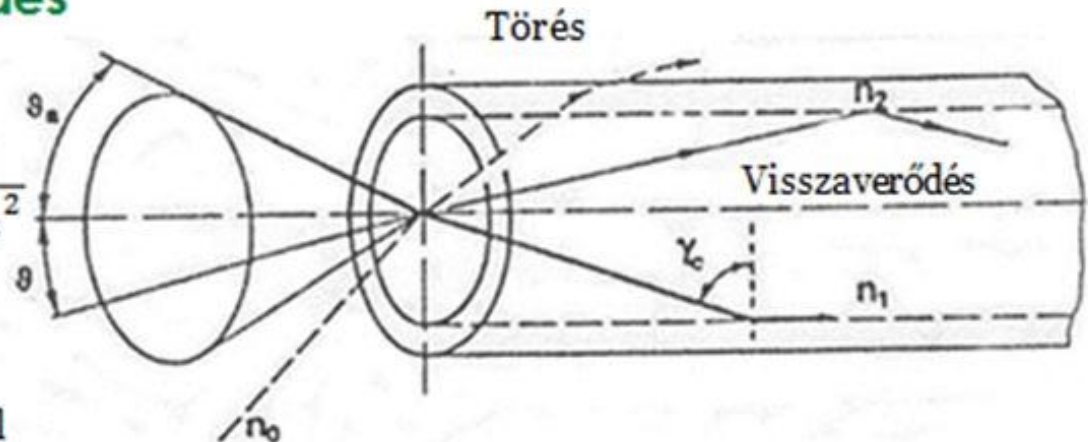
$\theta_a$ : Angle of acceptance

$\gamma_c$ : Critical angle

$n_1$ : Refractive index of core material

$n_2$ : Refractive index of cladding material

$n_0$ : Refractive index of free space,  $n_0=1$



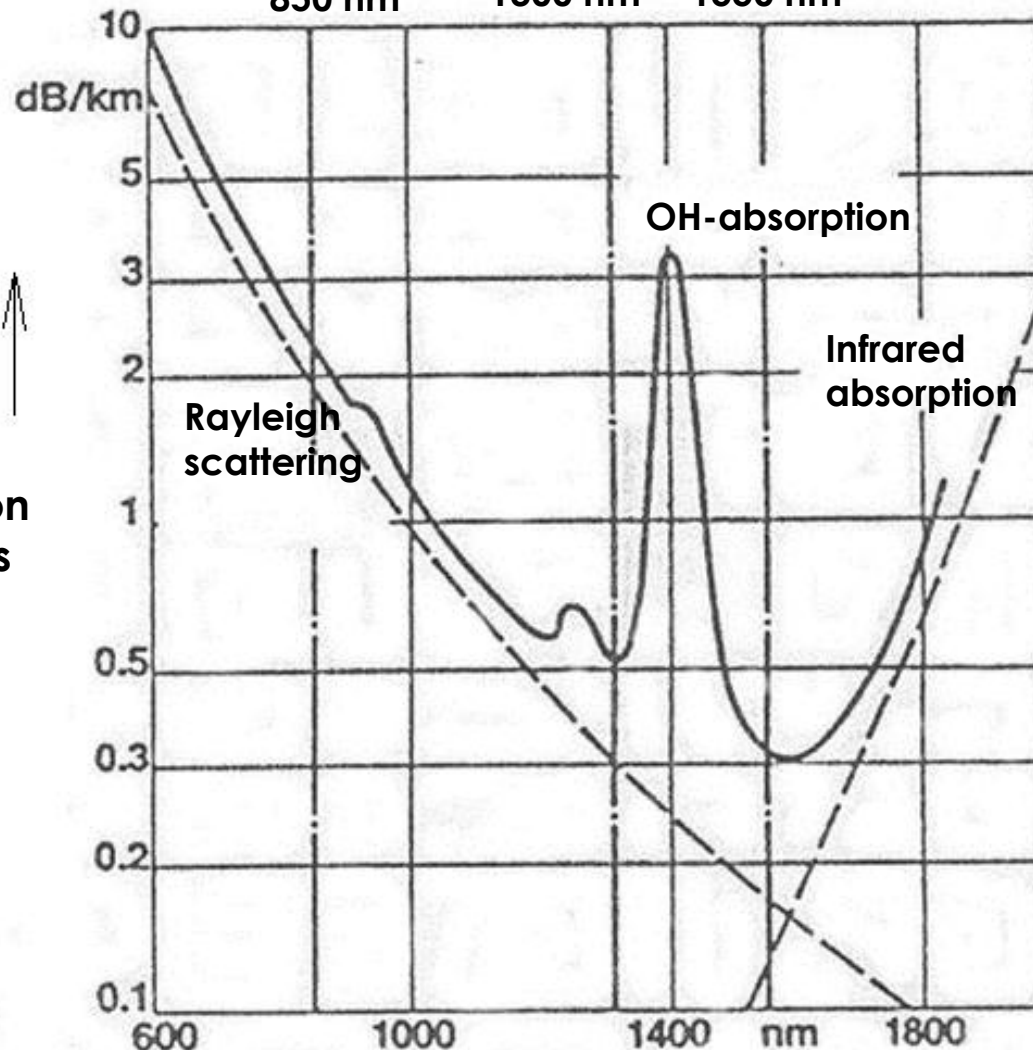
# Relévédelmi, automatika rendszerek

First  
optical  
window  
850 nm

Second  
optical  
window  
1300 nm

Third  
optical  
window  
1550 nm

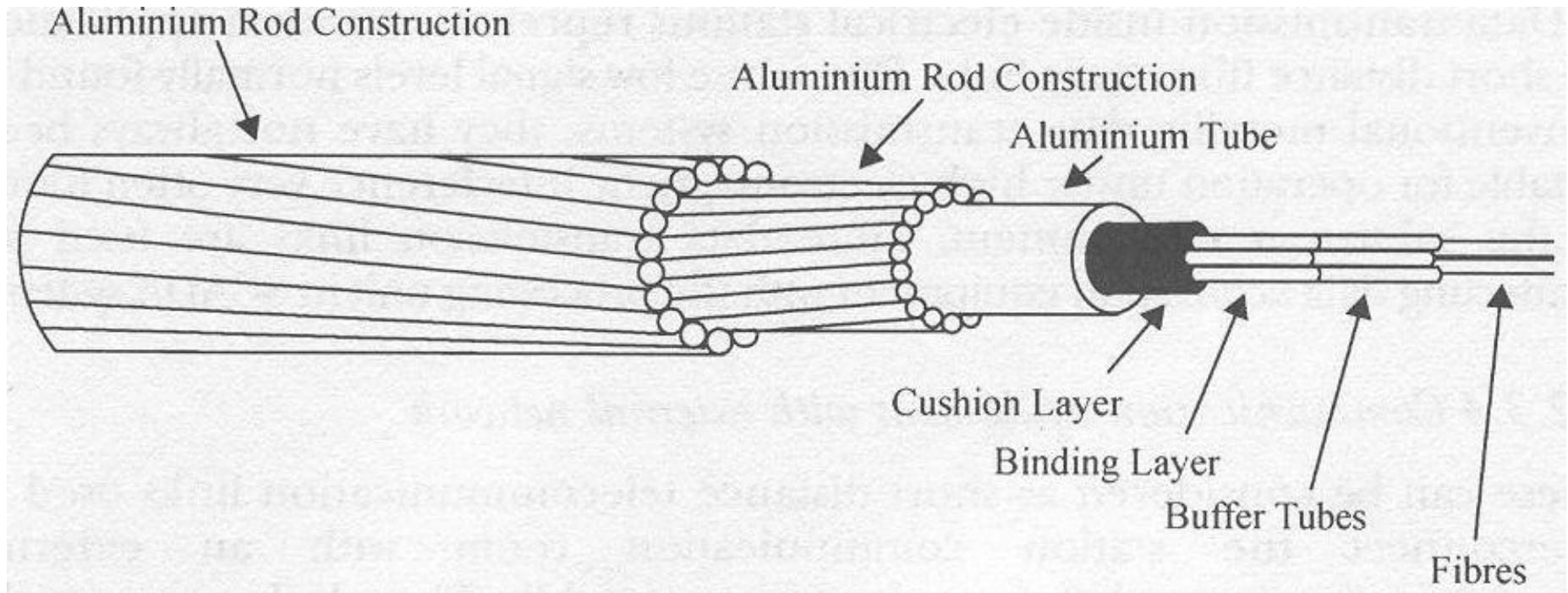
optikai ablakok



Attenuation  
Csillapítás

Optikai jelátvitel

Hullámhossz

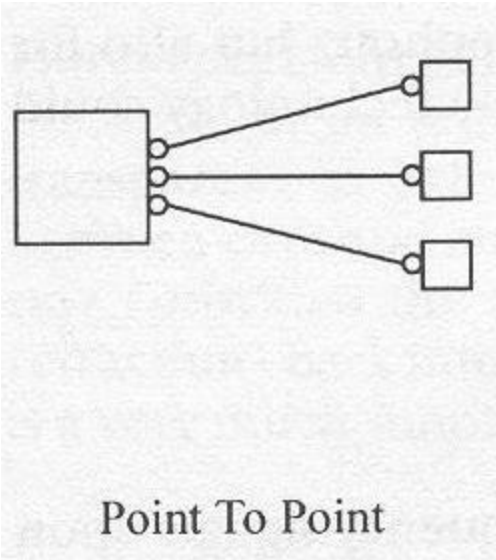


**kompozit szabadvezetési sodrony**

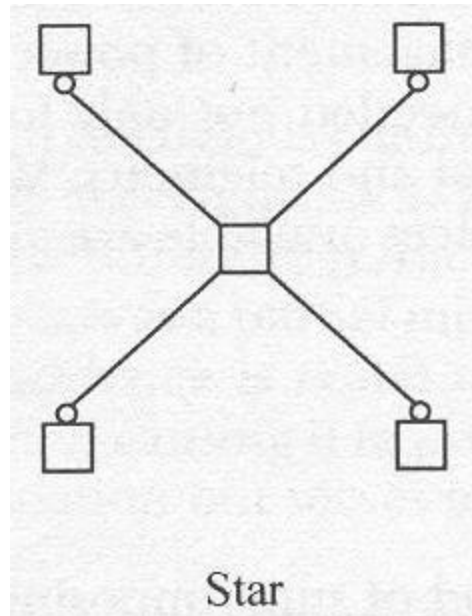
**Optikai jelátvitel**

# Relévédelmi, automatika rendszerek

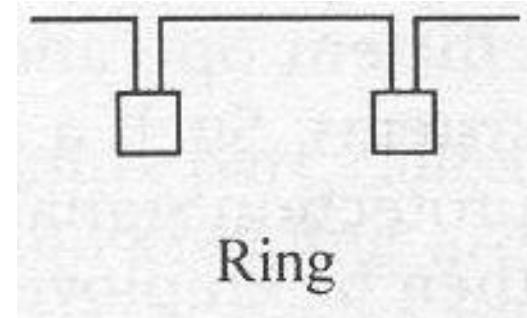
X



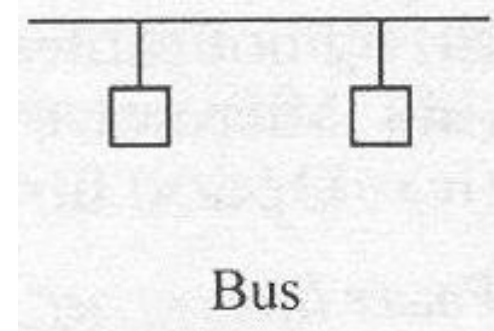
**Pont-pont  
összeköttetés**



**Csillag alakzat**

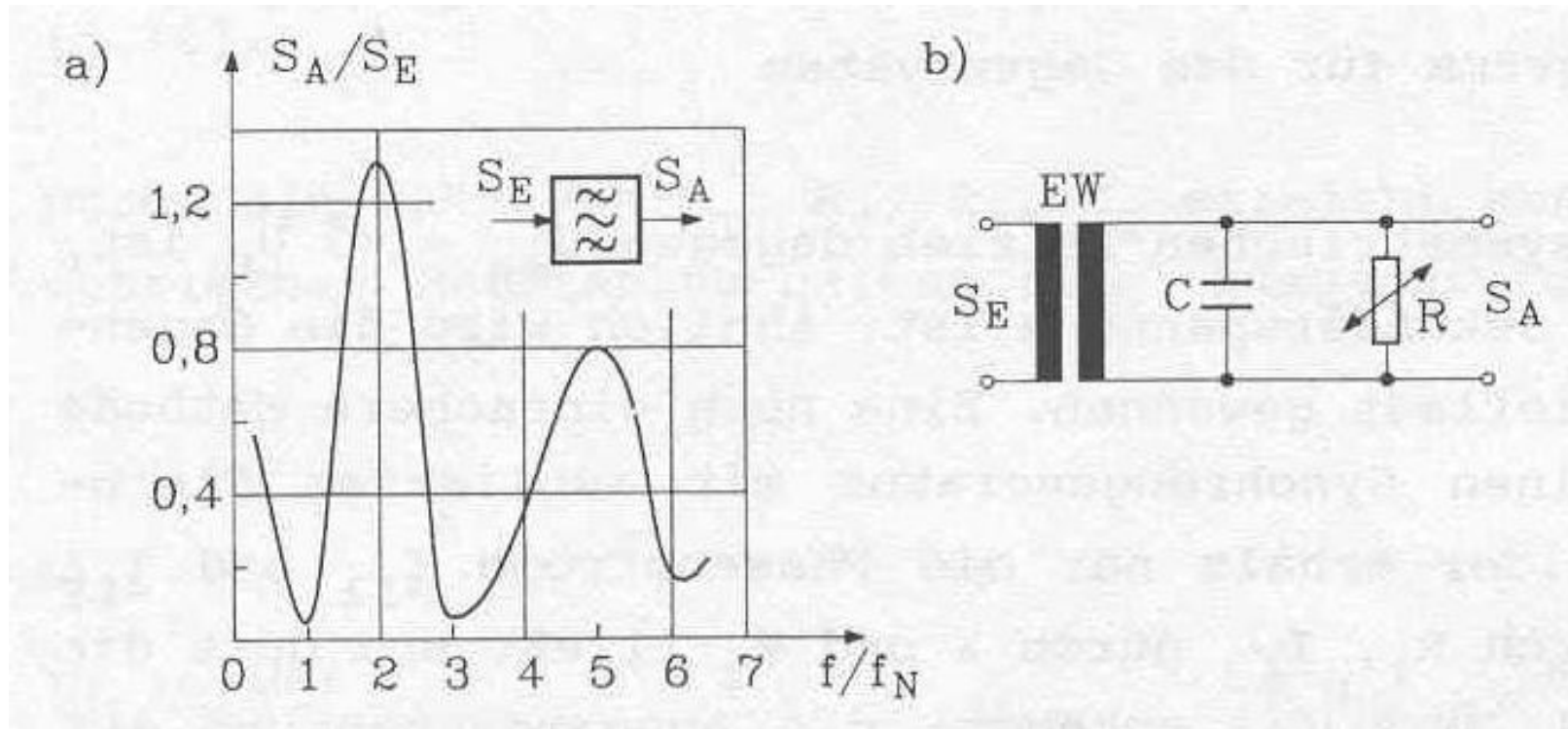


**Gyűrű alakzat**



**Sínes kalakítás**

**Optikai jelátvitel**  
**LAN konfigurációk**

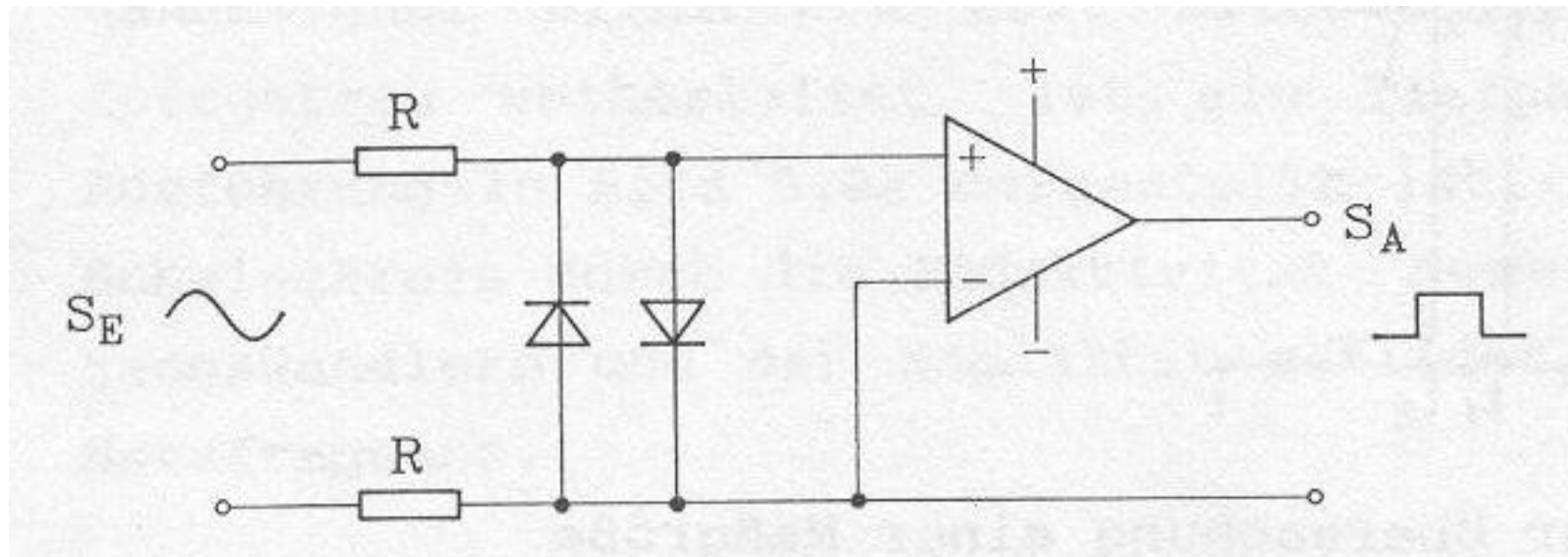


a) amplitúdó-frekvencia menet

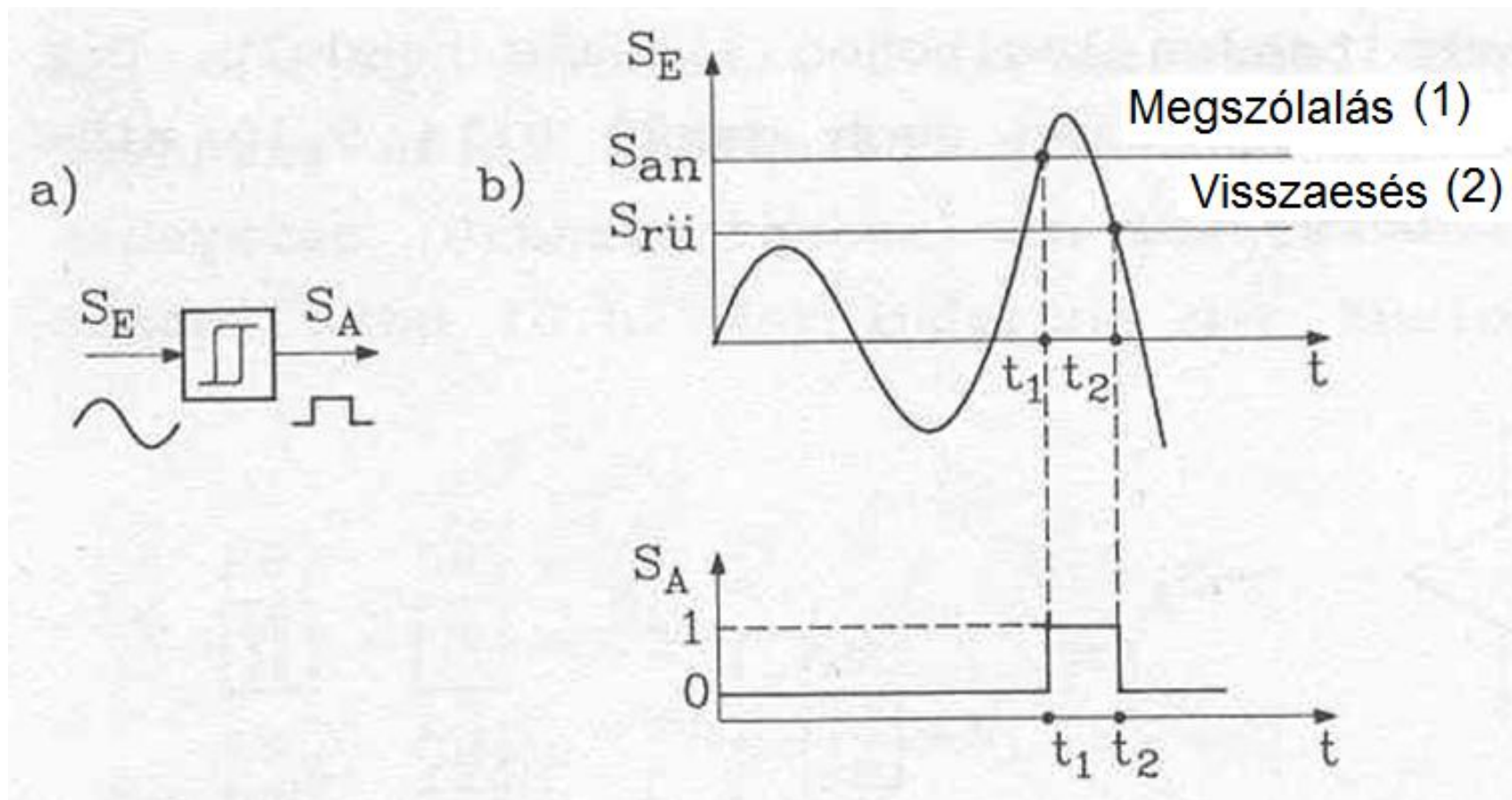
b) kapcsolás

$S_E$ : bemenő jel,  $S_A$ : kimenő jel

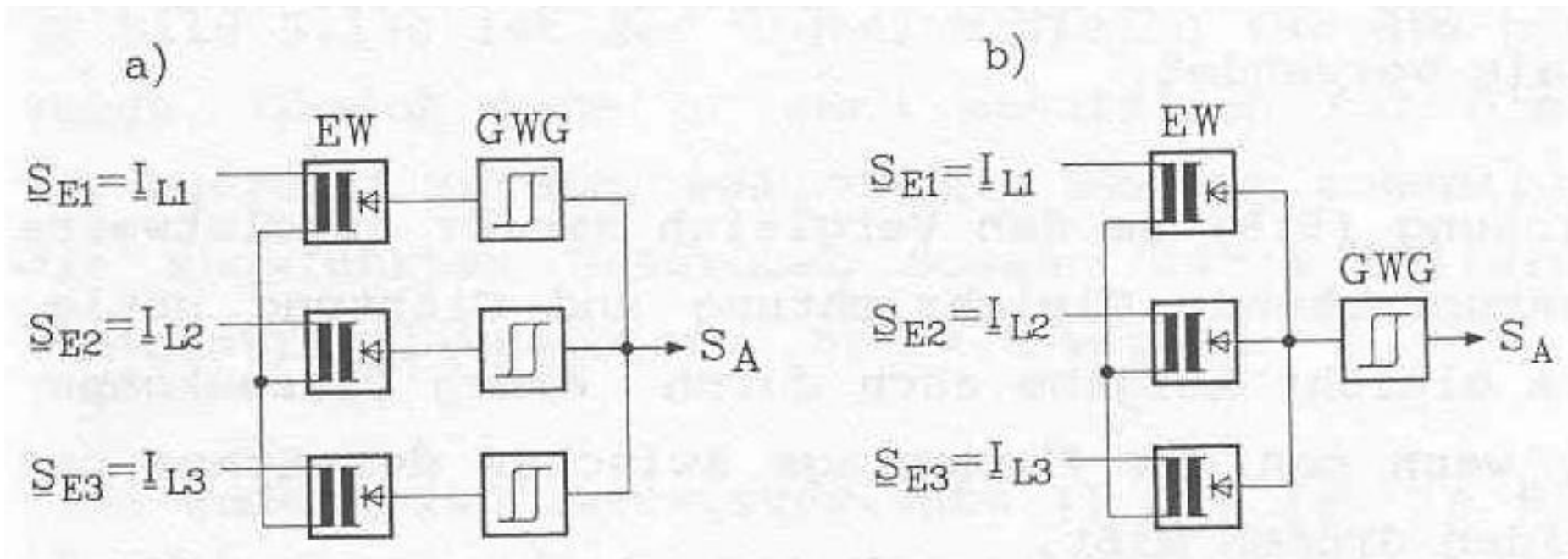
**Bemeneti sávszűrő** (alapharmonikusok előállítása)



## Négyzögesítés műveleti erősítővel

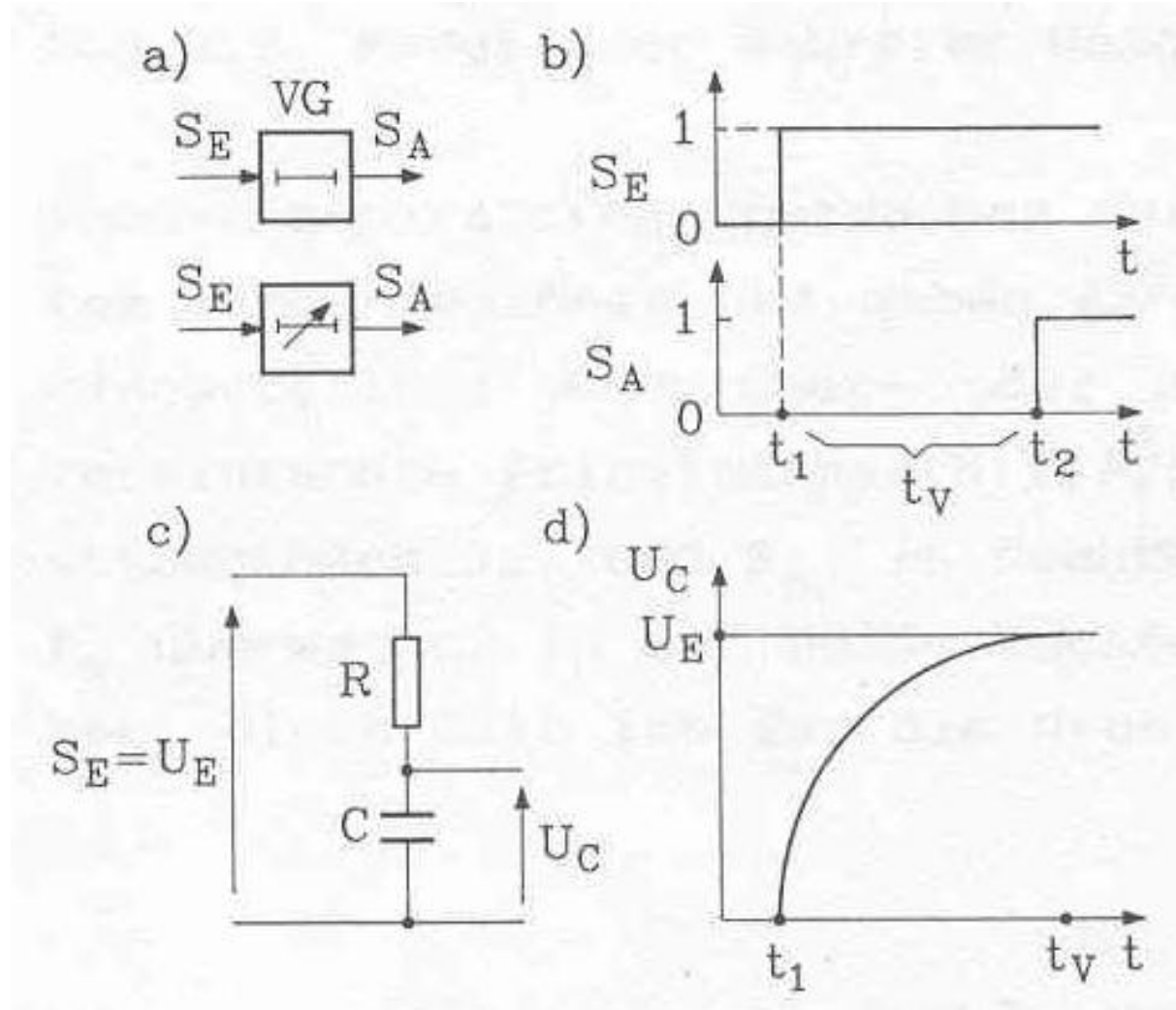


## Négyszögesítés (értékhatár-átlépés érzékelése)



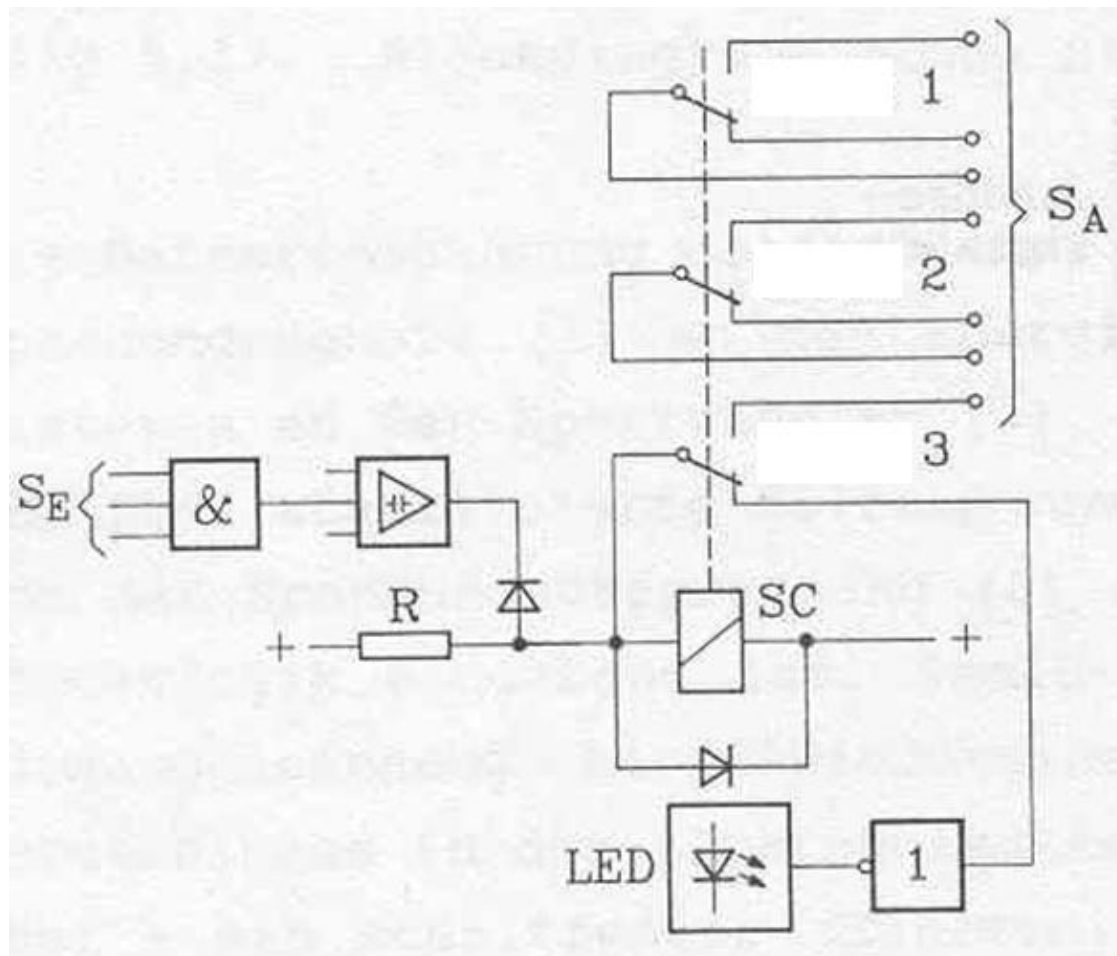
## Fázisonkénti és összegzett áramérzékelés

# Relévédelmi, automatika rendszerek



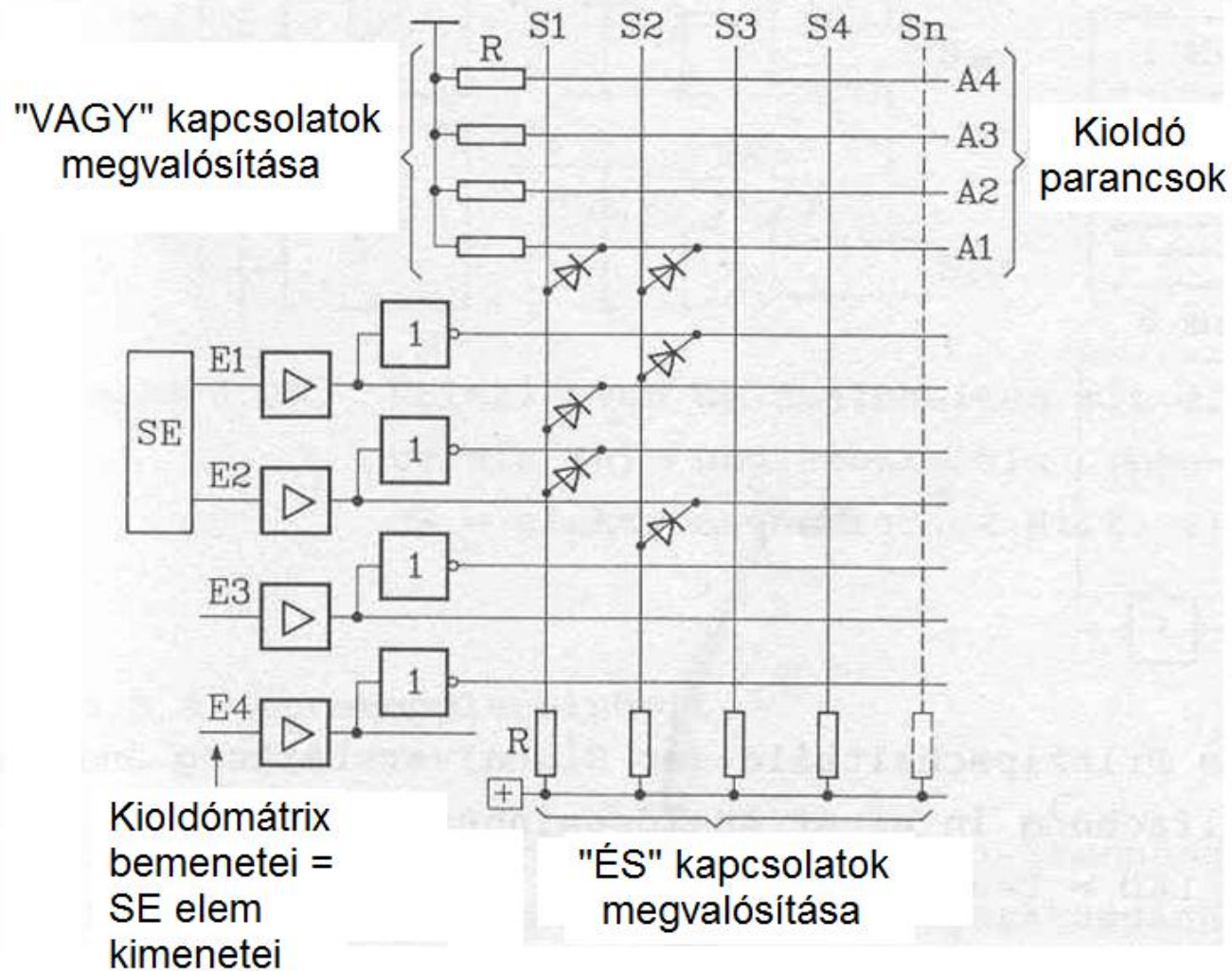
## Statikus időrelé (állandó és változtatható beállítással)

# Relévédelmi, automatika rendszerek

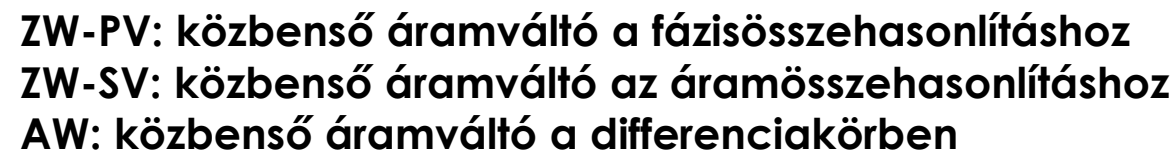


## Kimenő egység (jelerősítés és -sokszorozás)

# Relévédelmi, automatika rendszerek



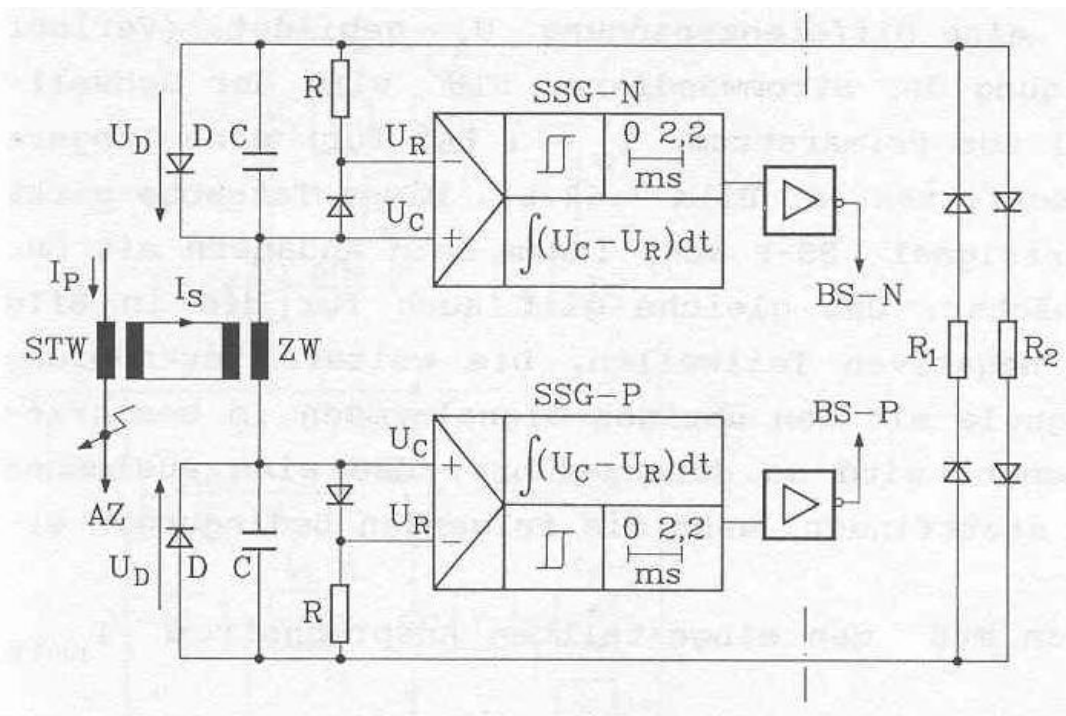
## Kioldómátrix (programozható kimenő logikai egység)



55

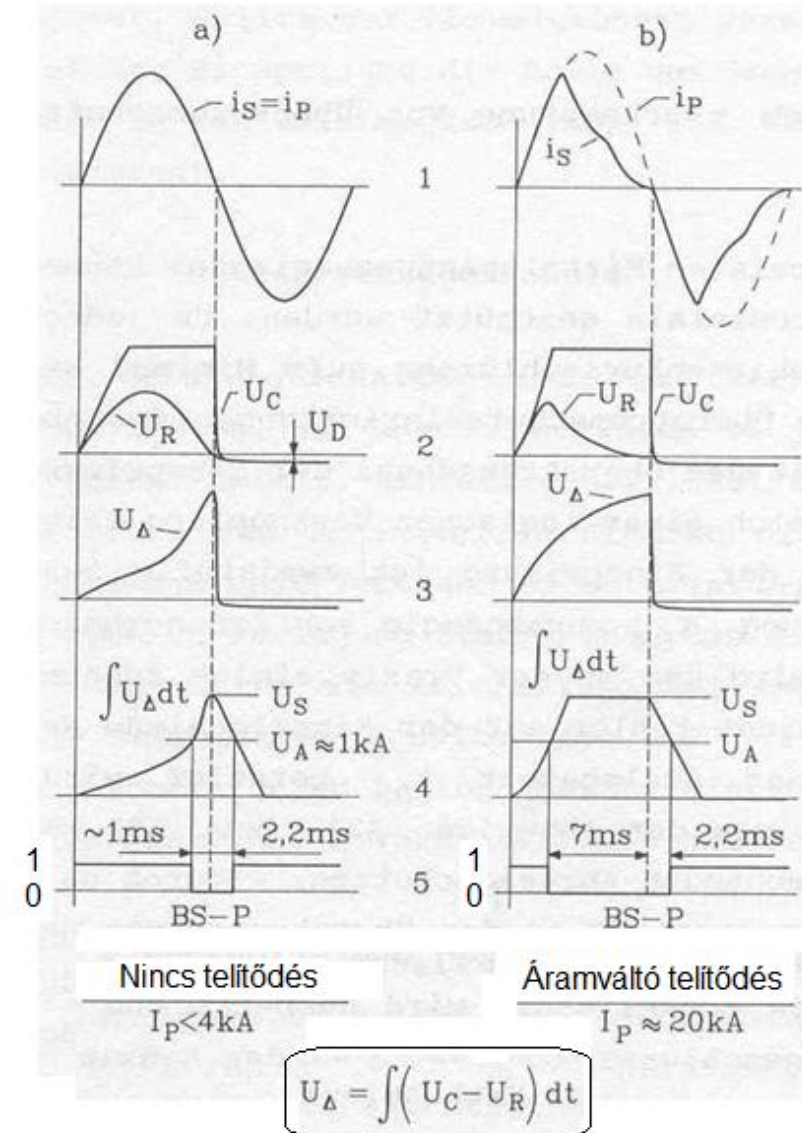
# Relévédelmi, automatika rendszerek

X

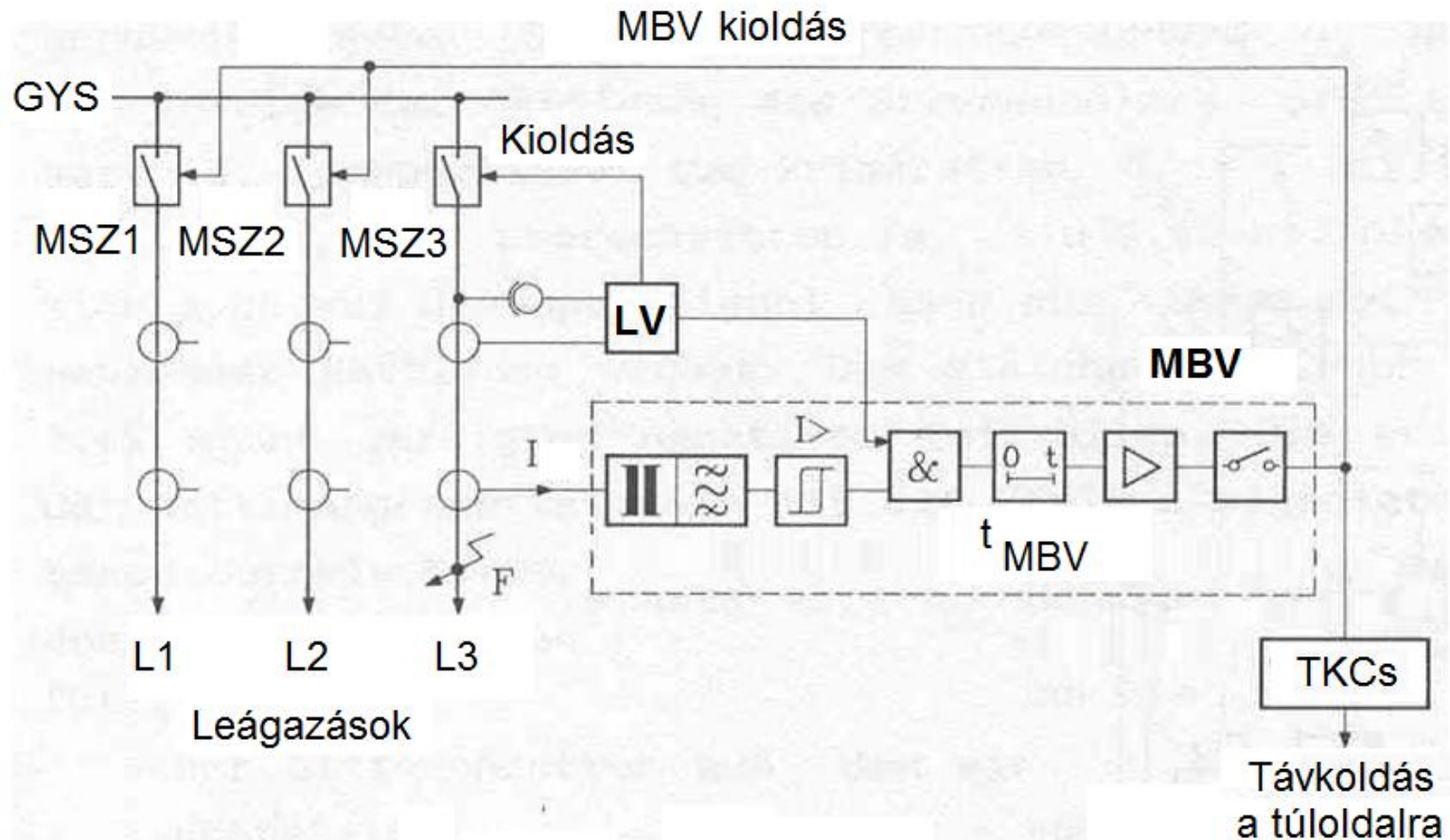


**SSG-P, SSG-N: blokkoló impulzus-adó a pozitív és negatív félhullámokra**

**Gyűjtőínvédelem  
(áramváltó telítődés érzékelése)**



# Relévédelmi, automatika rendszerek



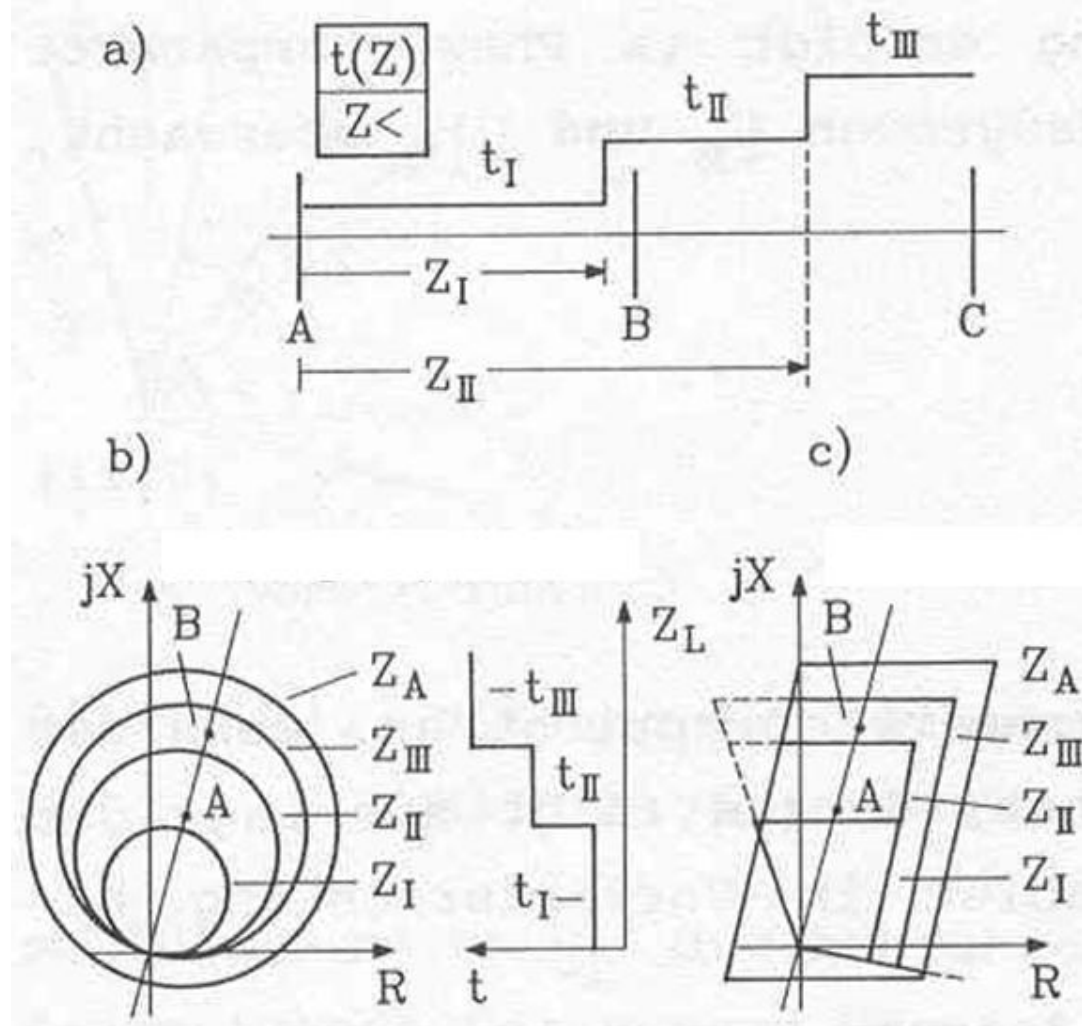
**LV:** L3 jelű leágazás alapvédelme

**MBV:** megszakítóberagadási védelem

**TKCs:** távközlési csatlakozó (relévédelmi célú jelátvitel)

## Megszakítóberagadási védelem (MBV)

# Relévédelmi, automatika rendszerek



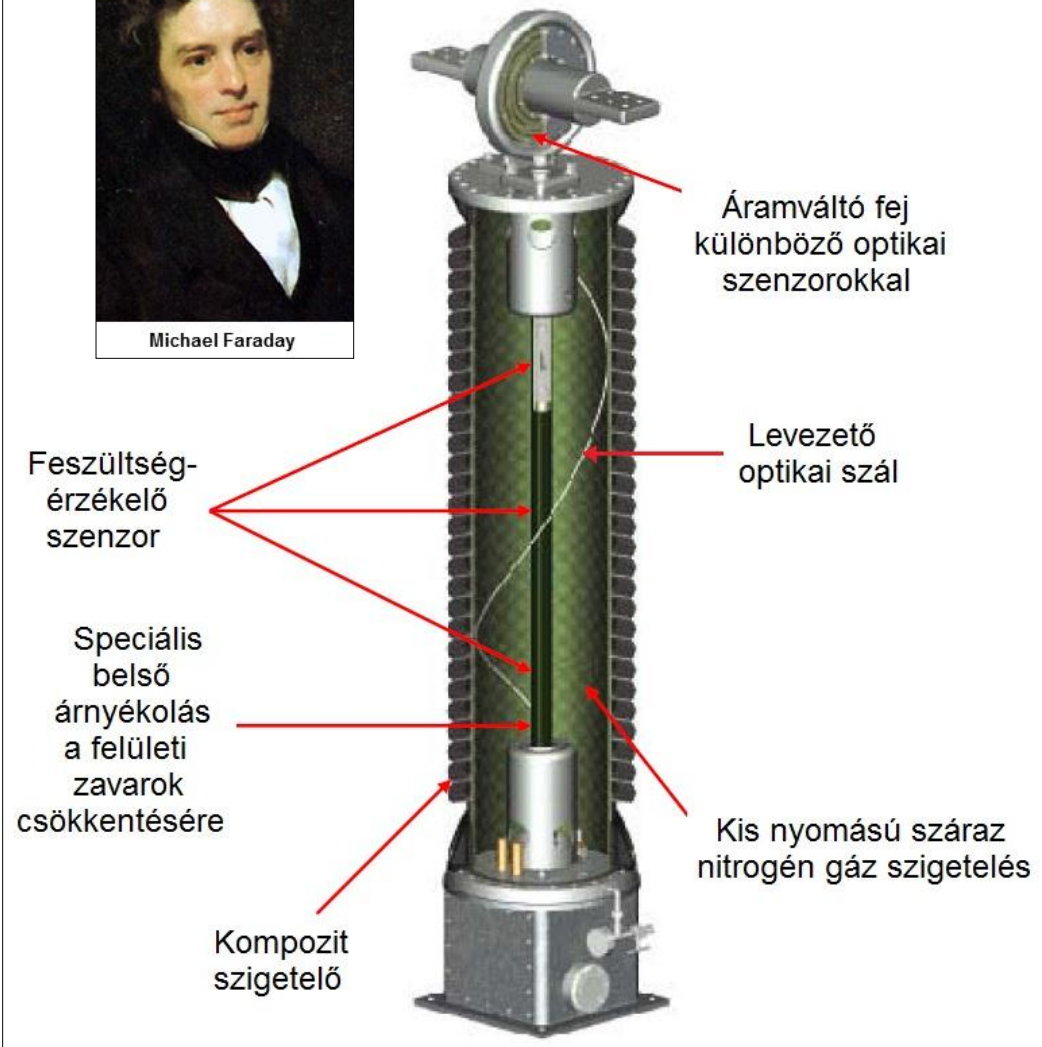
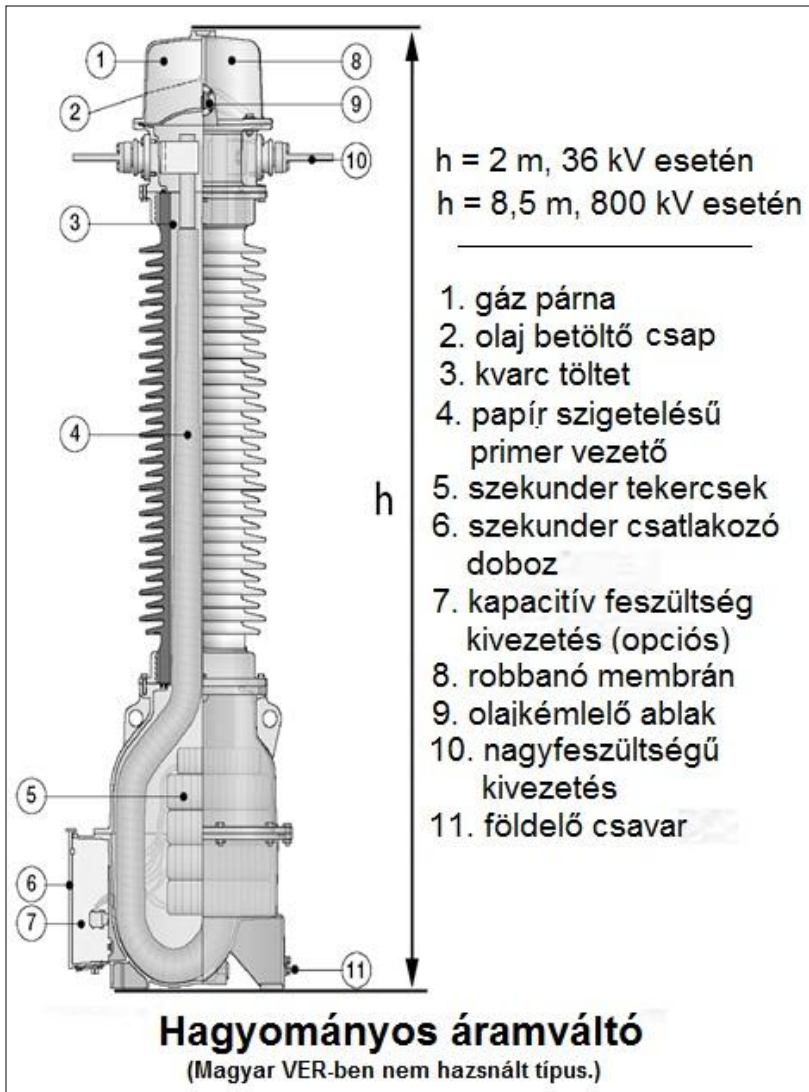
„mho” (kör) karakterisztika

poligon karakterisztika

**Távolsági védelem** (működési karakterisztikák)

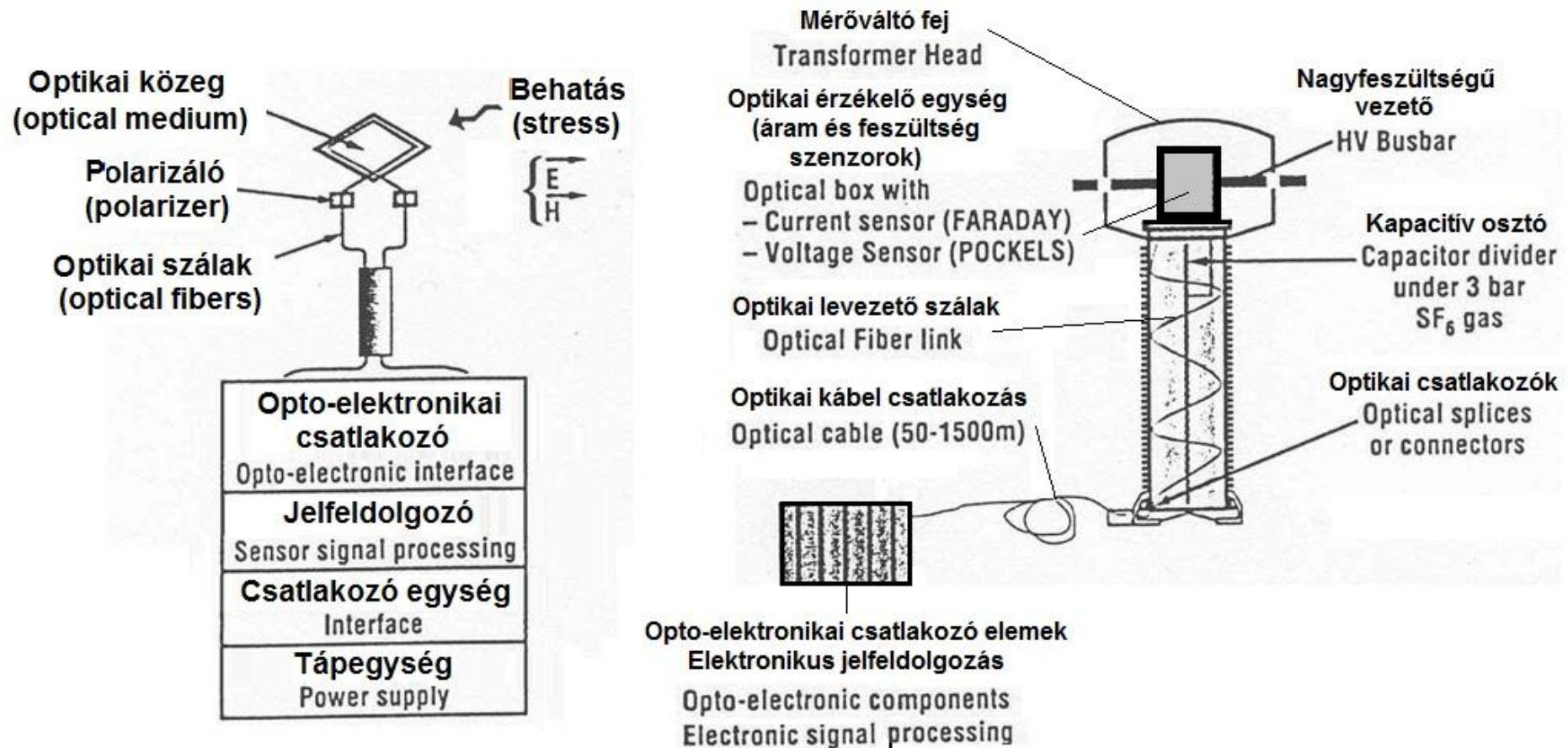
# Relévédelmi, automatika rendszerek

X



## Optikai kombinált mérőváltó

# Relévédelmi, automatika rendszerek



Közvetlen optikai csatolású kombinált mérőváltók

# Relévédelmi, automatika rendszerek

## Jellemzők:

- Pontosság felülmúlja az ANSI/IEEE 0,15/IEC 0,2S osztályt.
- Széles dinamikus működési sáv.
- DC → 100. felharmonikusig való átvitel.
- Földrengésállóság.
- Felhasználó által megválasztható áttétel.
- Nincs telítődés.
- Kiváló fázis pontosság.

## Biztonsági és környezetvédelmi vonatkozások:

- Szigetelőanyagként száraz nitrogén gázt használ, nem olajat, cellulózt vagy SF<sub>6</sub> gázt.
- Nincsenek szabad szekunder kivezetések.
- Nincs ferorezonancia.
- Galvanikus szigetelés a nagyfeszültségű részekről.

## Szerelés, rekonstrukció:

- Nagymértékben csökkenő súly (súly a konvencionális típus 10%-a).
- ÁV+FV funkció egy egységben (kombinált mérőváltó).



BC Hydro's Ingledow állomás – 230 kV  
Kombinált optikai mérőváltó

## Közvetlen optikai csatolású kombinált mérőváltók

# Relévédelmi, automatika rendszerek

## Egy tanulságos történelmi példa



A „Vasa” svéd hadi galleon esete

A „Vasa” hajó 1628. augusztus 10-én, vasárnap, kb. 1300 méter megtétele után a stockholmi kikötőben – a Beckholmen félszigetnél – stabilitási okok miatt elsüllyedt.

### Okok:

- a svéd király (II. Gusztáv Adolf) nagyravágyása (árboc magasság, ütegfedélzetek száma)
- szélsőséges fejlesztési elképzelések, műszaki követelmények,
- műszaki alázat hiánya.



### Szomorú eredmény:

a stabilitás  
súlyos  
megbomlása →  
rendszer-  
összeomlás  
(blackout).



A VER üzemének  
legfontosabb  
jellemzője kell  
legyen – minden  
résztevő  
érdekében – az  
(üzem)**biztonság**.

Köszönöm  
a megtisztelő  
figyelmet.





X

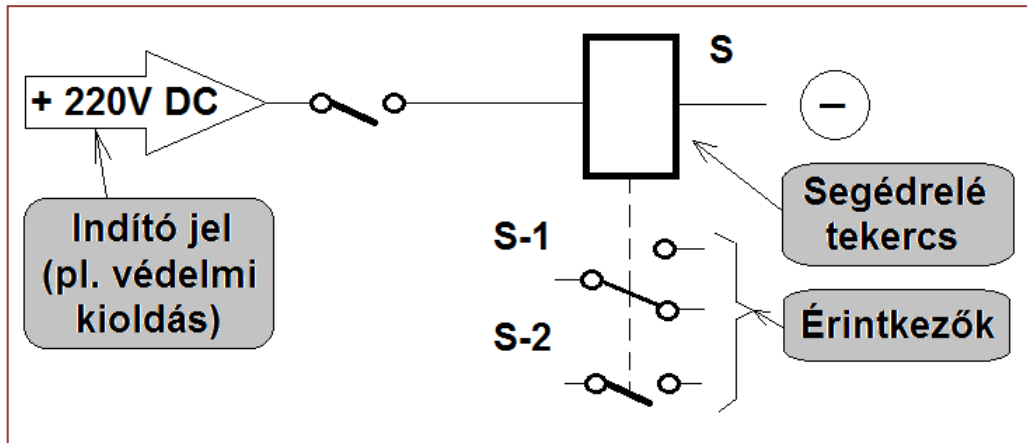
# VÉDELMEK ÉS AUTOMATIKÁK

(megszakítóberagadási védelem, visszakapcsoló  
automatika, zavaríró)

**Zerényi József**  
**MAVIR Zrt.**

**Tel.: 06-20-929-4570, e-mail: [zerenyi@mavir.hu](mailto:zerenyi@mavir.hu)**

# Automatika elemek



## Segédrelék

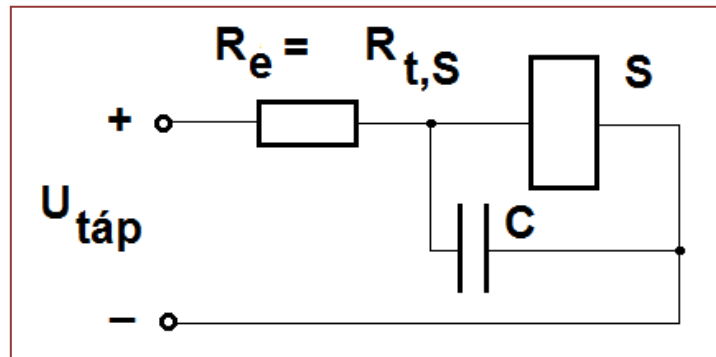
**Parancsadó elemek  
védelmi kioldások  
megvalósítására,  
sokszorozásra,  
működtetések,  
állásjelzések  
továbbítására.**

### Jellemzői:

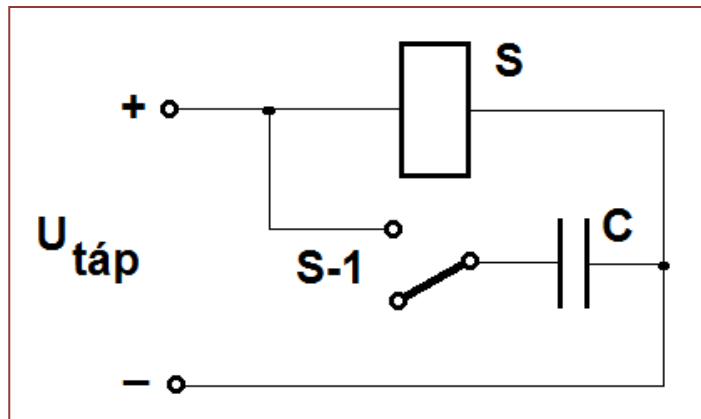
- Névleges feszültség ( $U_n$ ),
- Tekercs ellenállás, induktivitás,
- Működési idő (20-50 ms, gyors kivitel: 2-5 ms).

| Funkció                                | Érintkezők jelölése |          |
|----------------------------------------|---------------------|----------|
| Váltóérintkező                         | S-1<br>             | S-11<br> |
| Munkaérintkező<br>(Záróérintkező)      | S-2<br>             | S-12<br> |
| Nyugalmi érintkező<br>(Nyitóérintkező) | S-3<br>             | S-13<br> |

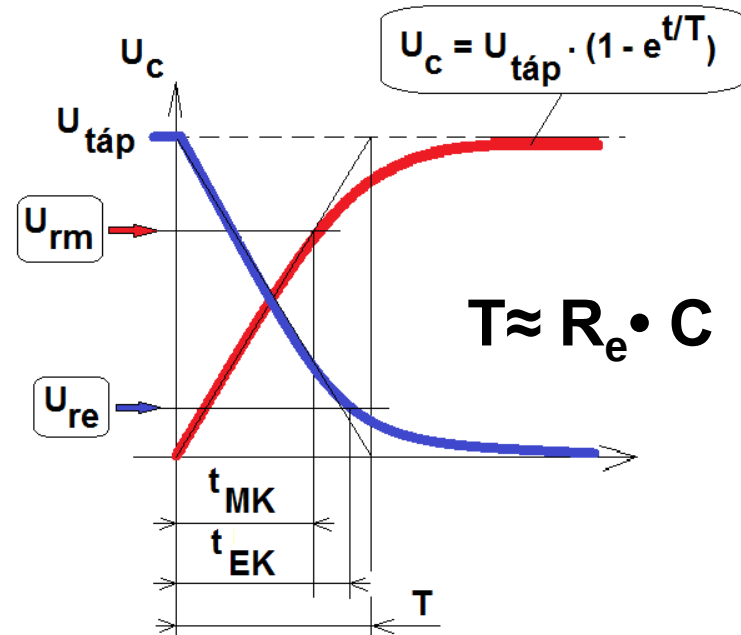
# Kondenzátoros késleltetés



**MK: meghúzáskésleltetés**



**EK: ejtéskésleltetés**  
(emlékezési funkció!)



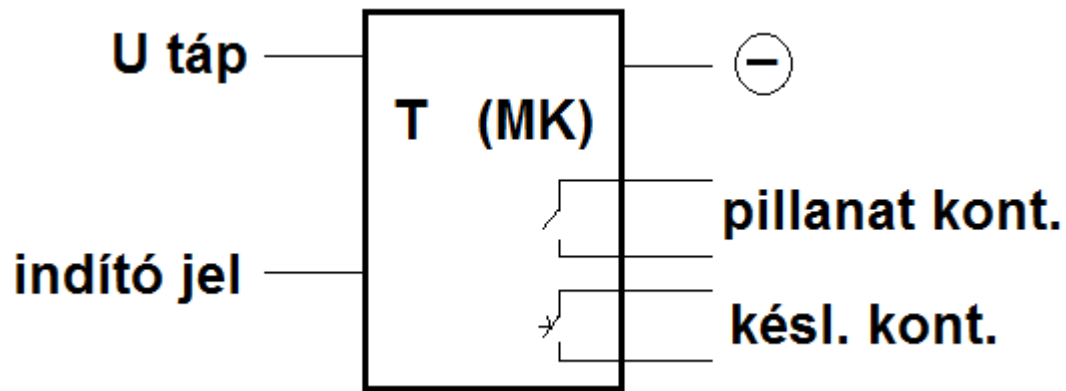
**Előny: egyszerű megvalósíthatóság**  
**Hátrány: tápfeszültség függés**

**Alállomási egyenáramú  
segédüzem:**

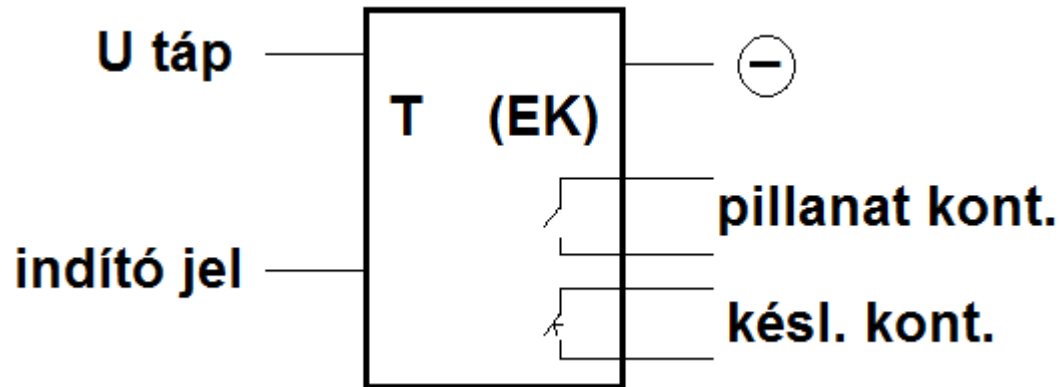
$$U_{táp} = 220 \text{ V DC } \begin{matrix} +10\% \\ -20\% \end{matrix} \quad (176-242 \text{ V})$$

# Időrelék

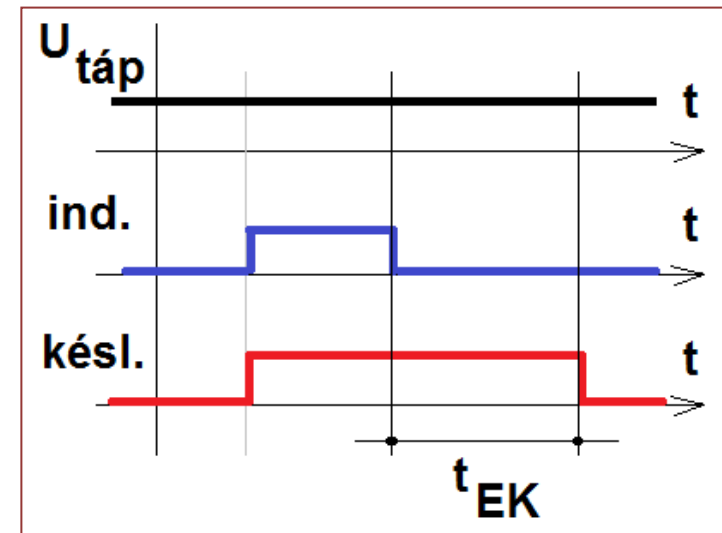
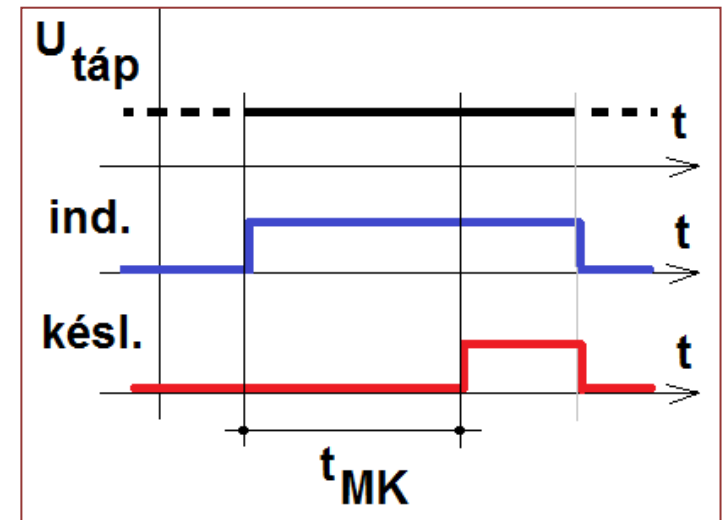
X



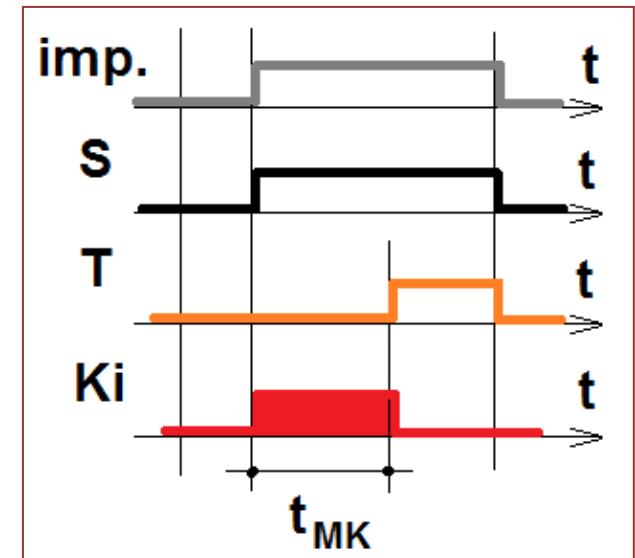
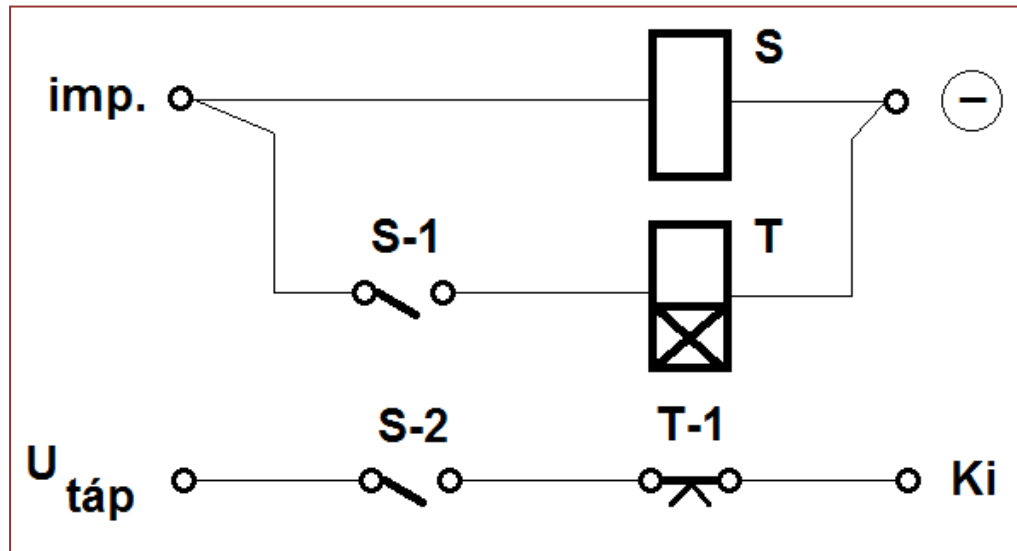
## Meghúzáskésleltetés



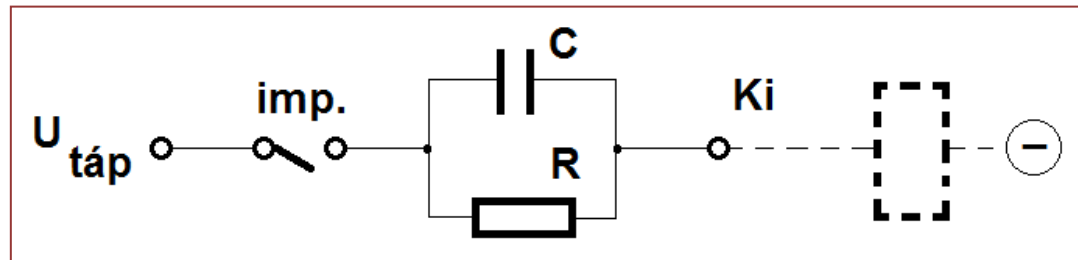
## Ejtéskésleltetés



# Impulzuskorlátozás



A T jelű MK időrelével az impulzus az időrelén beállított  $t_{MK}$  hosszúságúra állítható be.

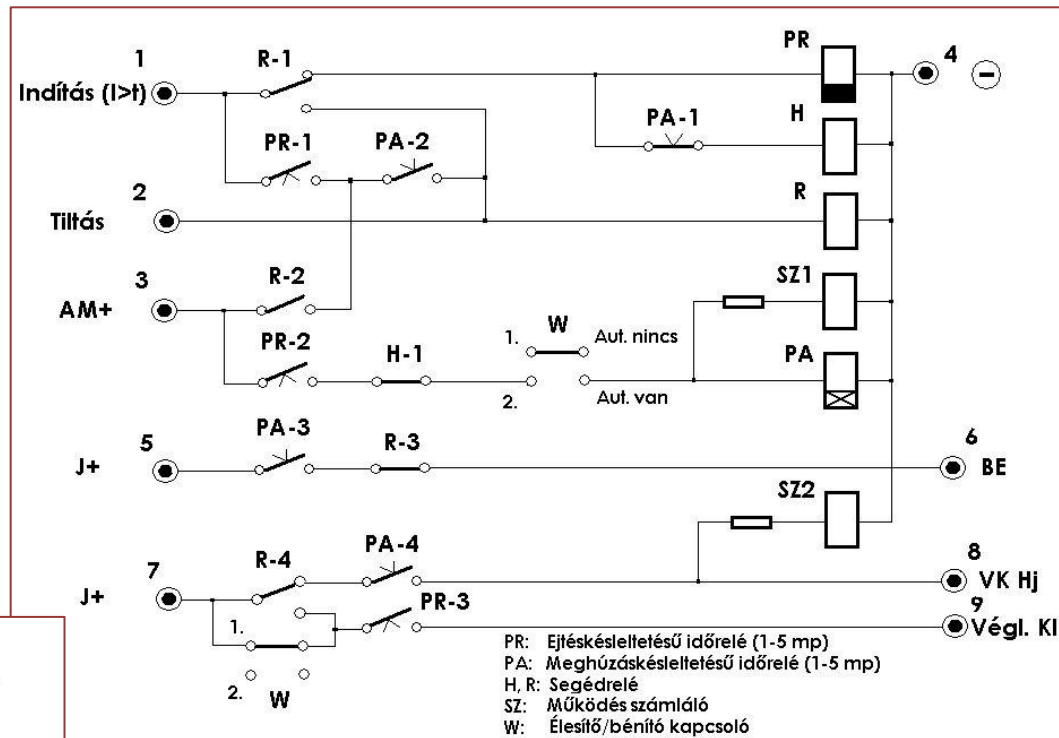
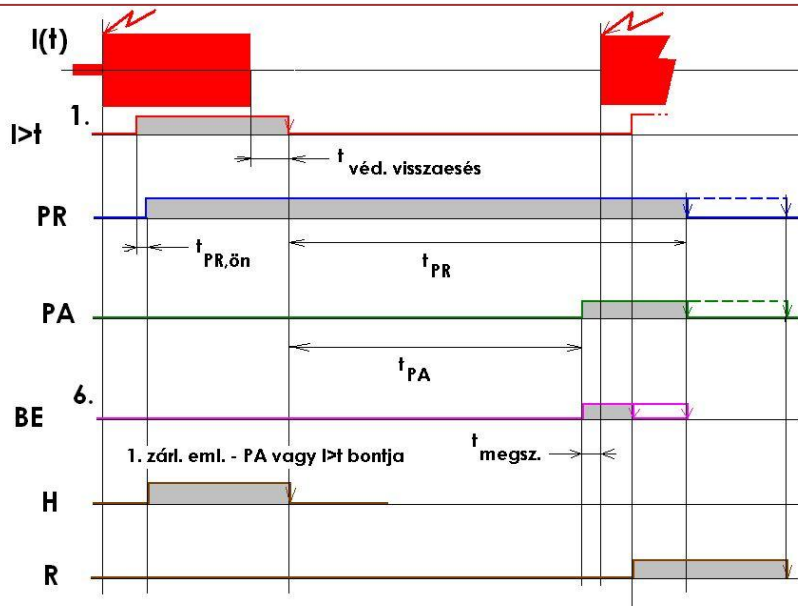


Egyszerű impulzuskorlát R-C taggal is megoldható.

# Távvezetési visszakapcsoló automatika (egy holtidős)

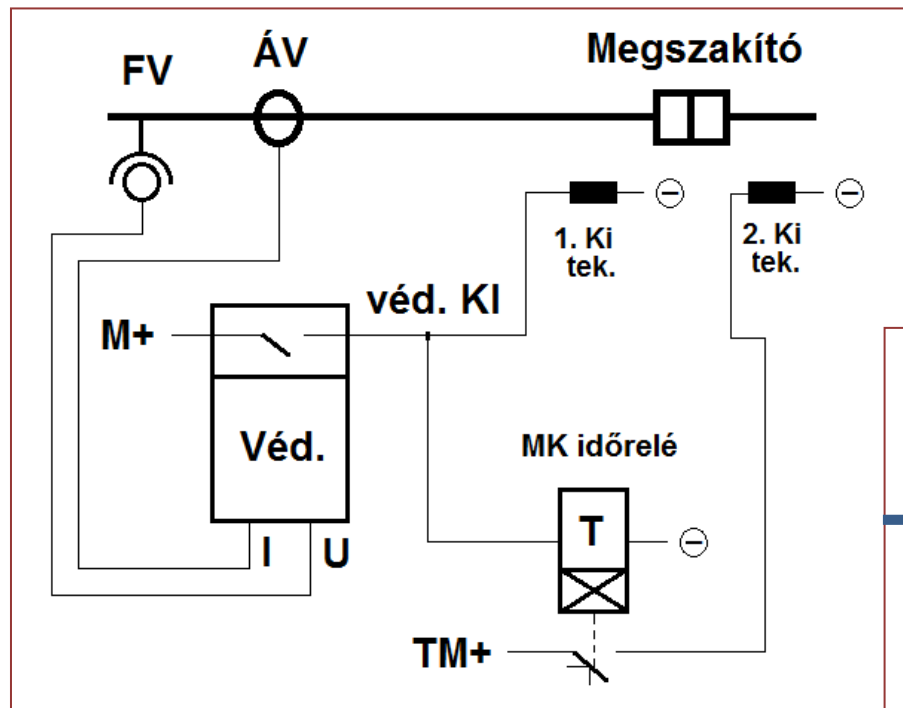
## Jelmagyarázat:

-  EK időrelé
-  MK időrelé
-  Késleltetve zár
-  Késleltetve nyit
-  Gerjesztéskor zár és késleltetve nyit

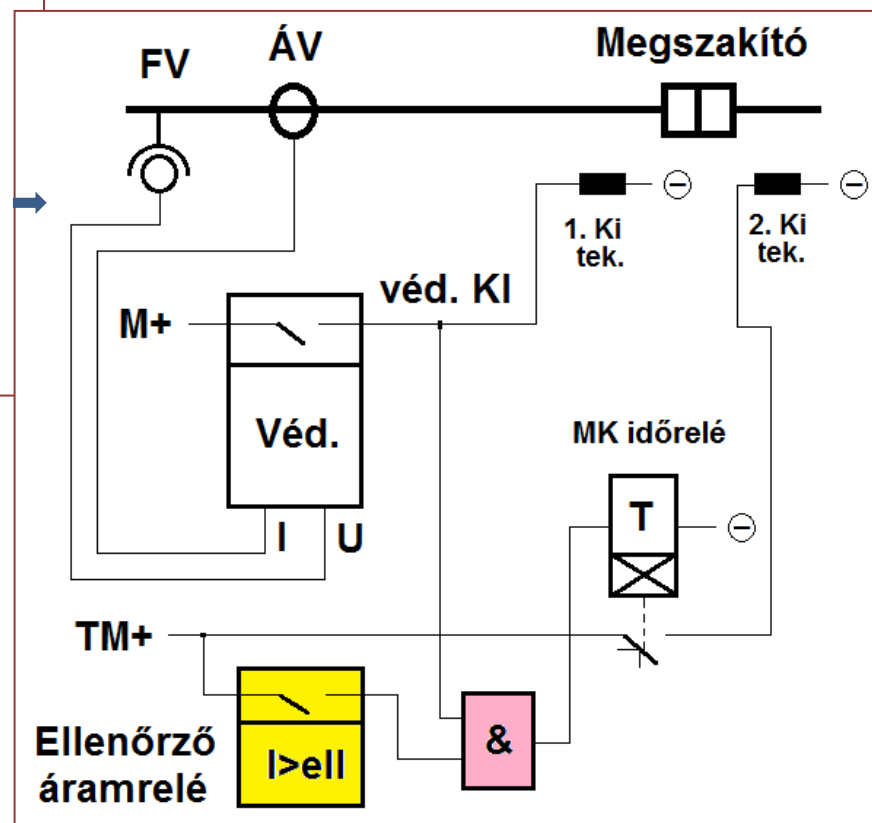
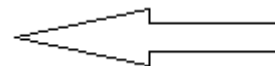


Minden érintkező gerjesztetlen állapotban van!

# Megszakítóberagadási védelem



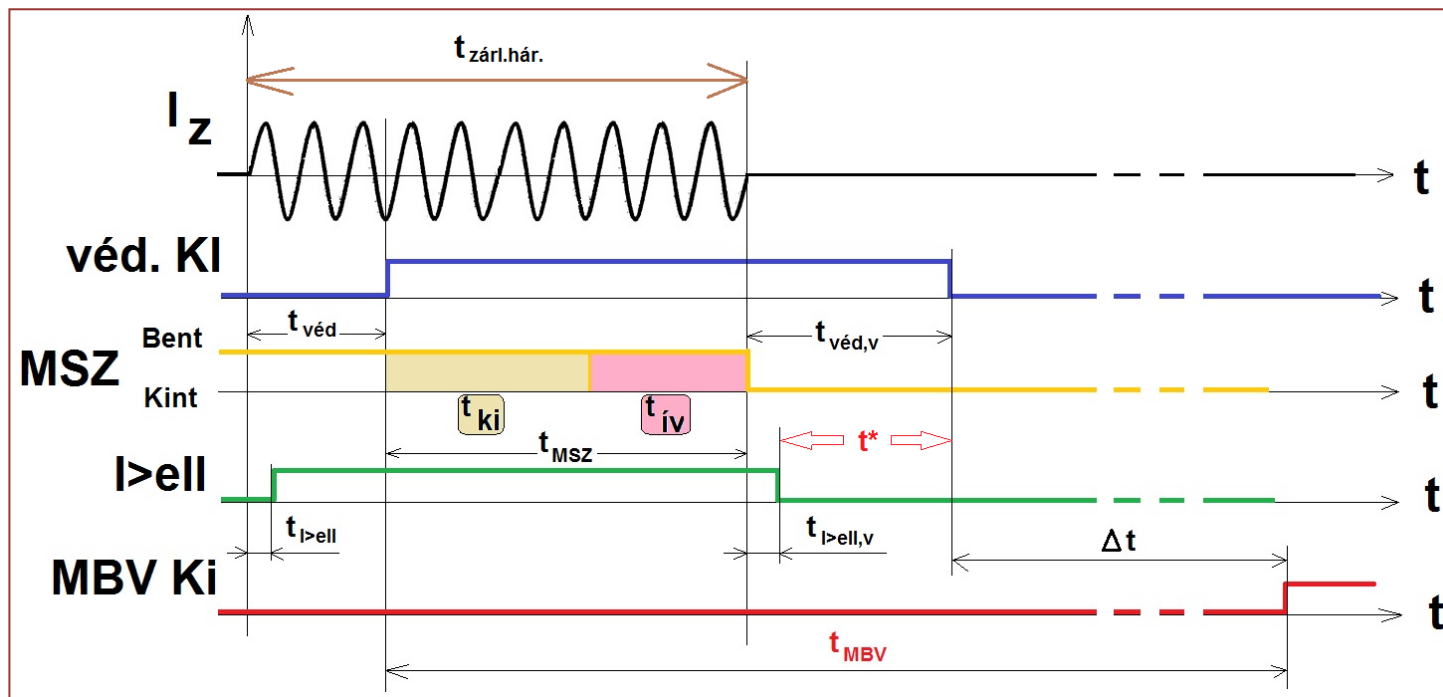
Egyszerű kivitel: a védelmi kioldó impulzus hosszának mérése.



Áramellenőrzéses kialakítás: kis visszaesési idejű és 1-hez közeli ejtőviszonyú áramrelével.



# Megszakítóberagadási védelem



A teljes zárlathárítási idő  $t_{\text{zárl.hár.}} = t_{\text{véd}} + t_{\text{MSZ}}$

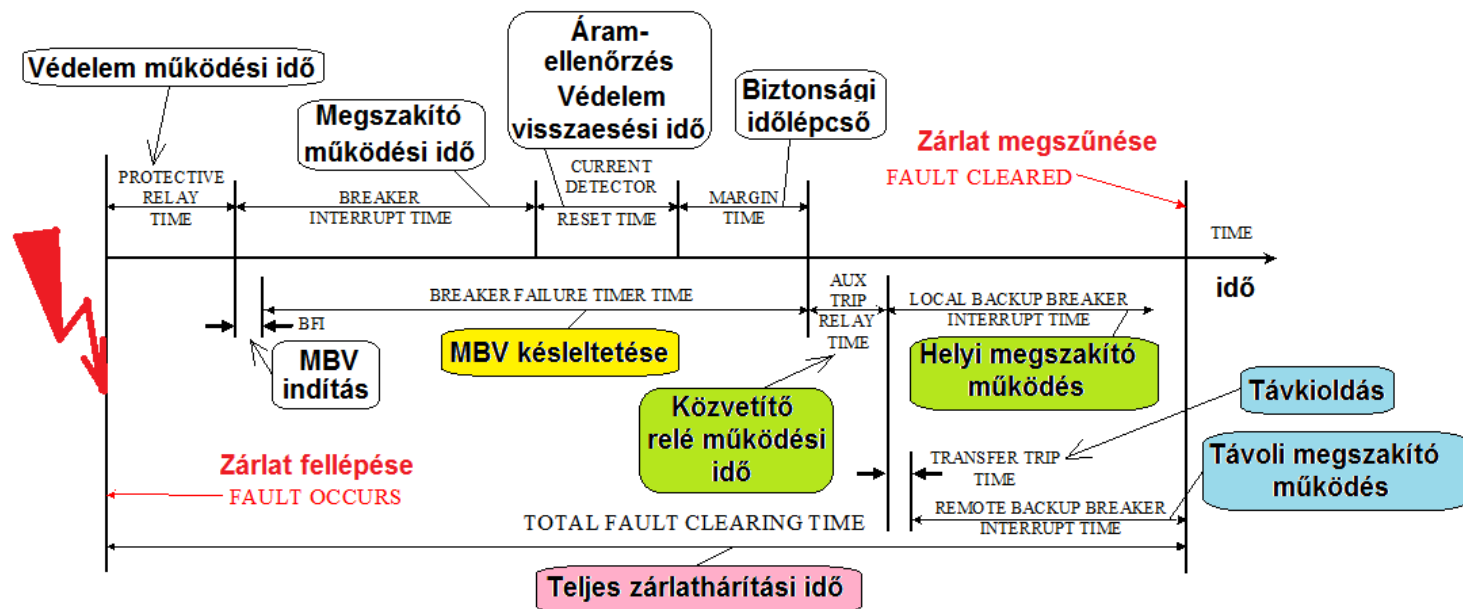
A megszakítóberagadási védelem működési idejének ( $t_{\text{MBV}}$ ) meghatározásánál figyelembe kell venni a normál védelmi működési időt ( $t_{\text{véd}}$ ), a védelem visszaesési idejét ( $t_{\text{véd,v}}$ ) és egy biztonsági időlépcsőt ( $\Delta t$ )  $\rightarrow$  ezt rövidíti le az ellenőrző áramrelé alkalmazása. (Lásd a  $t^*$  időt a rajzon!)

# Megszakítóberagadási védelem

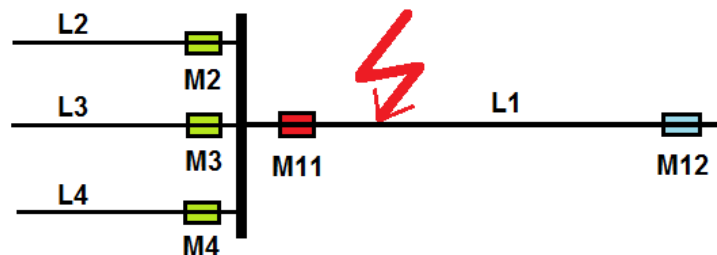
## Mottó:

*A relévédelmi mérnökök két törvénye:*

- *Murphy törvénye (Ami elromolhat, az el is romlik.)*
- *Ohm törvény*

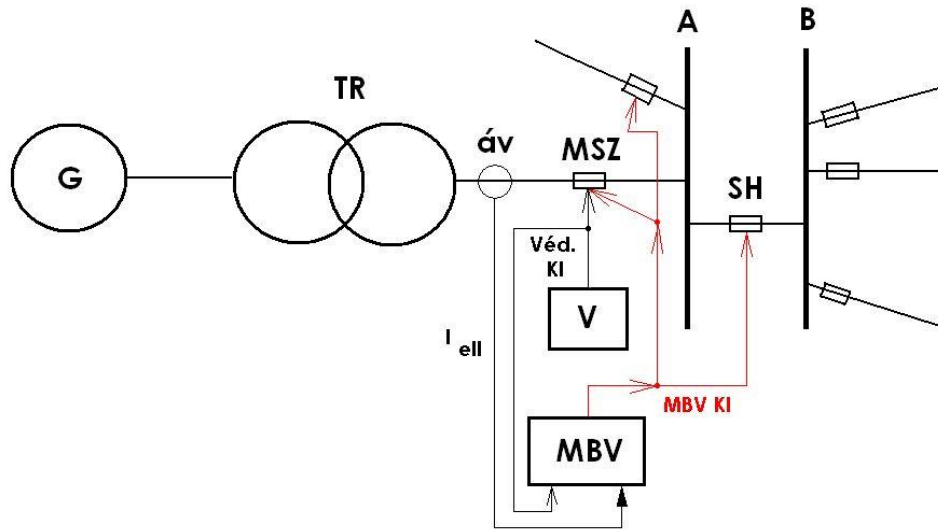


## MBV - Megszakítóberagadási Védelem



# Megszakítóberagadási védelem

X  
X



MBV késleltetését meghatározza (stabilitás!):

- **Maximális zárlathárítási idő** (Total Fault Clearing Time),
- **Primer készülékek zárlati terhelhetősége** (Critical Clearing Time),
- **Védelem visszaesési idő** – áramellenőrzés használata,
- **Biztonsági időlépcső** ( $\Delta t$ ).

## Néhány fontos feltétel:

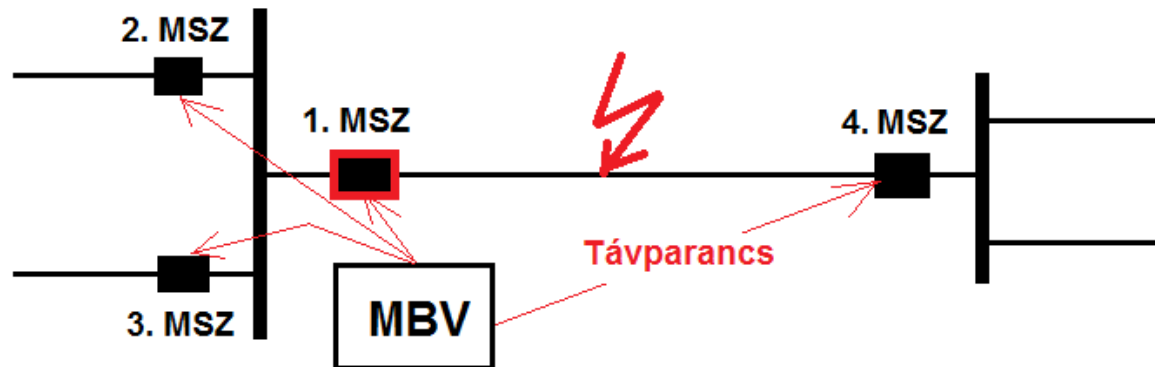
- Megszakítók két „KI”-tekercessel (a redundancia egyik alapfeltétele),
- Ismételt kioldó impulzus a 2. „KI”-tekercsre,
- Távköldés (távoli vég felől a zárlati rátáplálás megszüntetése, esetleg  $I_0 >$  a távköldés helyi feltétételeként ),
- Áramellenőrzésre gyors működésű és visszaesésű áramrelé alkalmazása.



# Megszakítóberagadási védelem

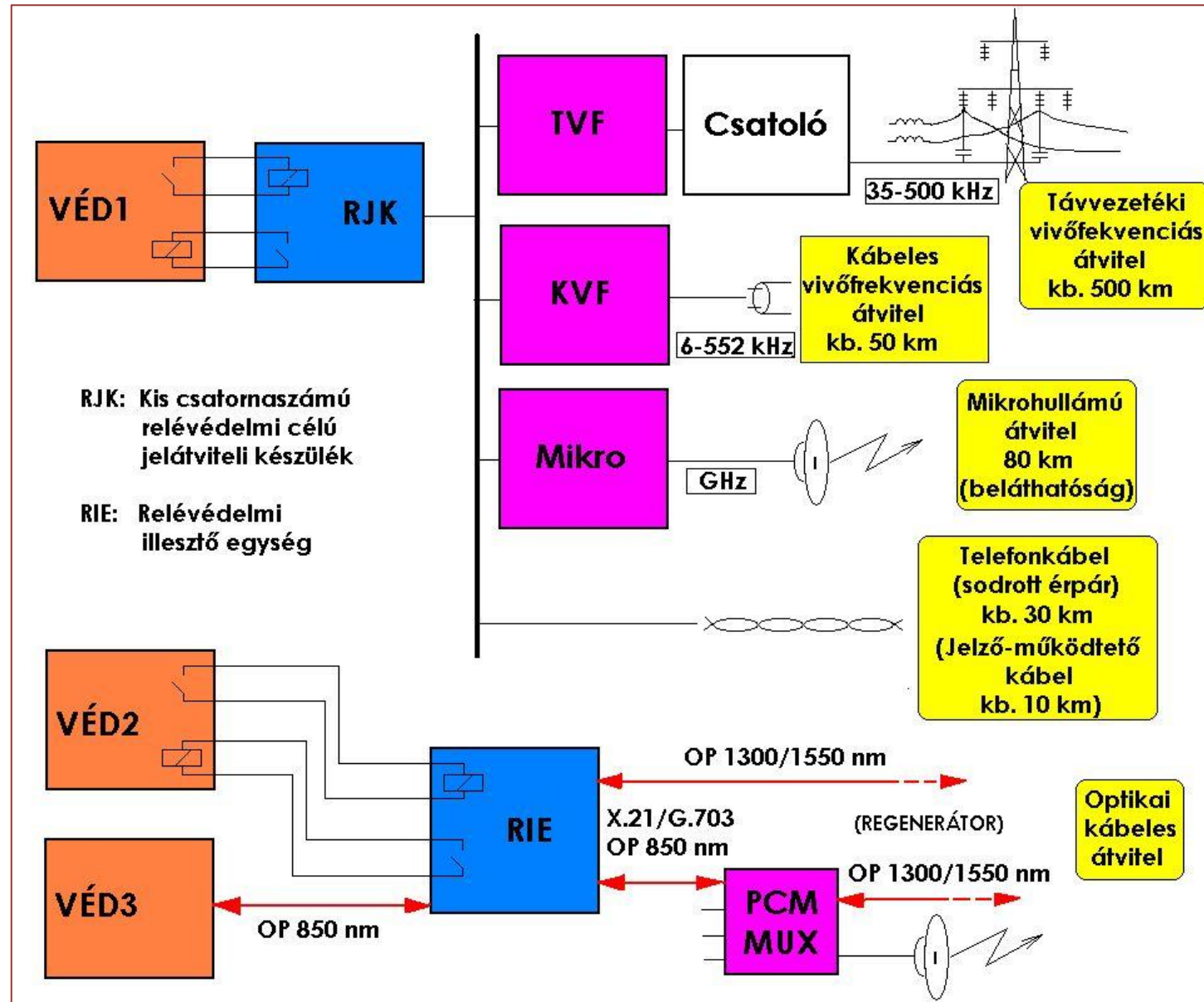
Az ellenőrző áramrelé beállítását az alábbiak szerint lehet meghatározni:

$$\frac{1}{1-\varepsilon} I_{\max, \text{terh}} < (I_{\text{ell}})_{\text{be}} < \frac{1}{1+\varepsilon} I_{\text{z, min}}$$

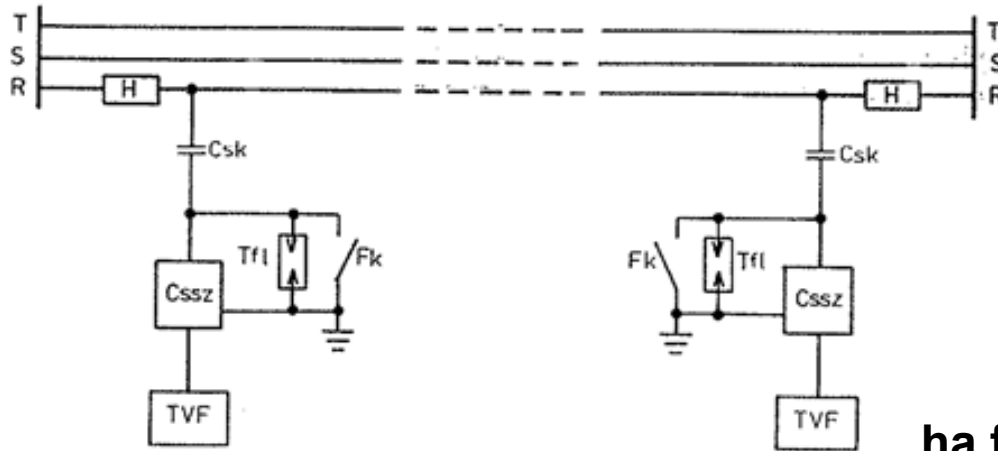


A MBV működése estén minden zárlatra tápláló áramút megszakítóját ki kell kapcsolni.

# Védelmi célú jelátvitel, távparancs átadás



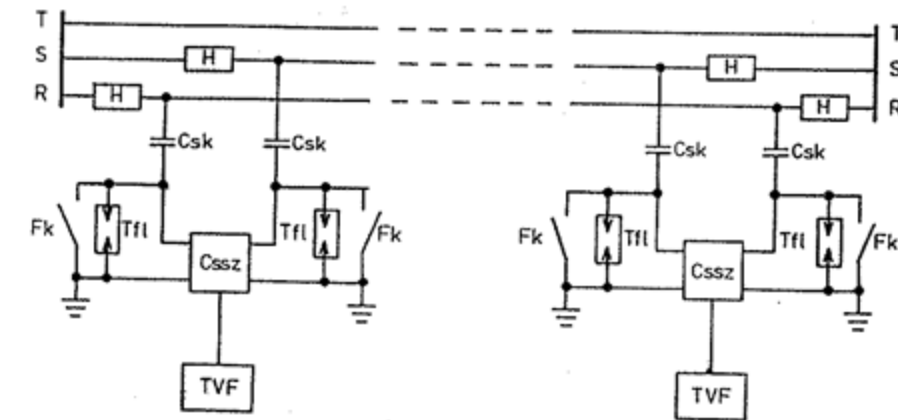
# Védelmi célú jelátvitel, távparancs átadás



Fázis-föld csatolás

## TVF – Távvezetési Vivőfrekvenciás jelátvitel csatolási módjai

$(X_L = \omega \cdot L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L \text{ ill. } X_C = 1/(\omega \cdot C) = 1/(2 \cdot \pi \cdot f \cdot C),$   
ha  $f$  relatíve nagy  $\rightarrow X_C$  kicsi és  $X_L$  nagy.)



H hullámzár

Csk csatolókapacitás

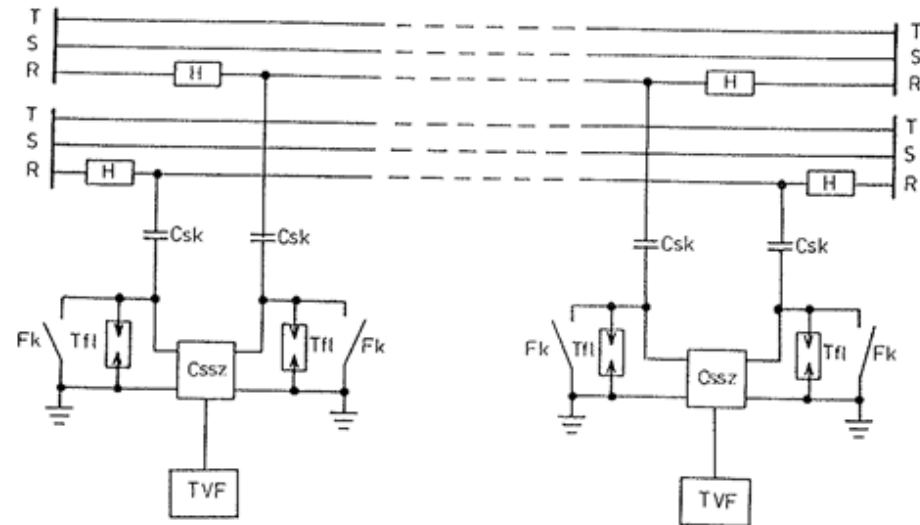
Cssz csatolósűrű

Tfl túlfeszültséglevezető

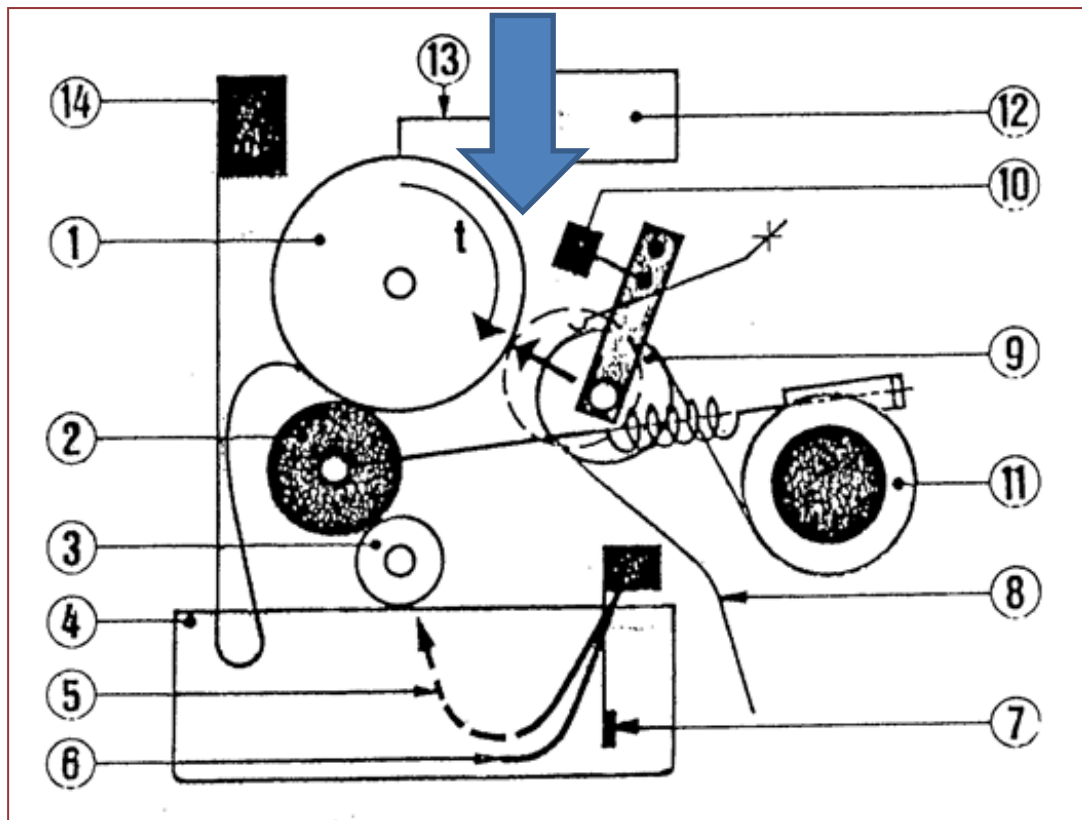
Fk földelő

TVF vivőfrekvenciás berendezés

Fázis-fázis csatolás



Rendszerek közötti csatolás



**Működési elv: máshol írunk fel az egyenletesen forgó fémhengerre, mint ahol a papírhenger vonala van indítás után. Memória kb. 0,5 s.**

## **Történelem: Masson-Carpentier electro-mechanikus készülék.**

- 1: íróhenger – tükörsima felületű fémhenger
- 2: gumihenger – tintafilm terítés
- 3: festékhenger – tinta továbbító
- 4: tintatartó
- 5: festékező toll
- 6: papírtovábbító nemez henger – indításkor nekifeszül az íróhengernek
- 7: papírtovábbító nemez henger
- 8: papírtovábbító nemez henger
- 9: papírtovábbító nemez henger
- 10: indító papírtovábbító mágnes
- 11: papírtekercs
- 12: írókészülékek – analóg és kétállapotú jelek
- 13: író toll – zafír kristály tollak
- 14: lehúzó

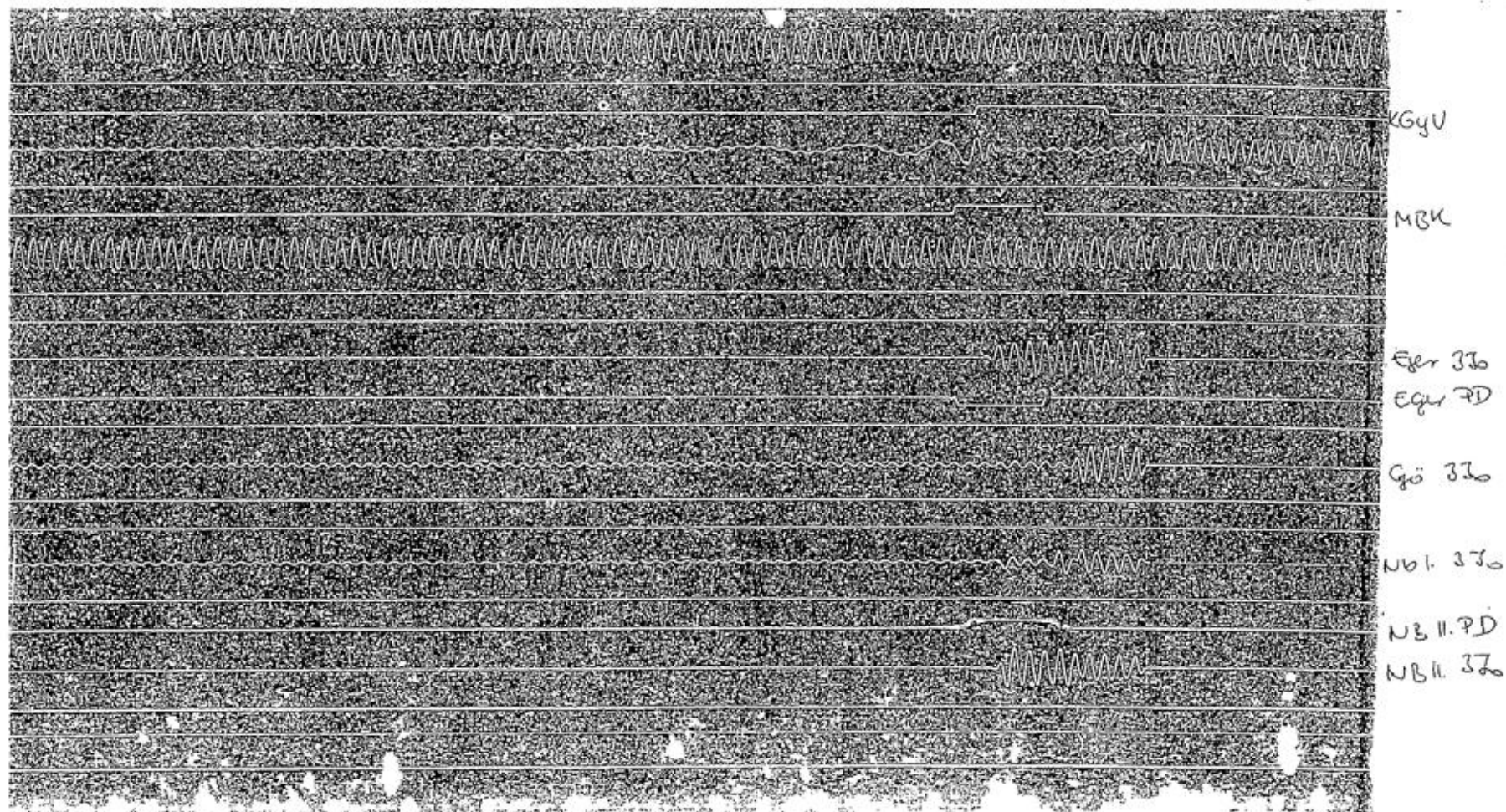
# Zavaríró felvétel

X

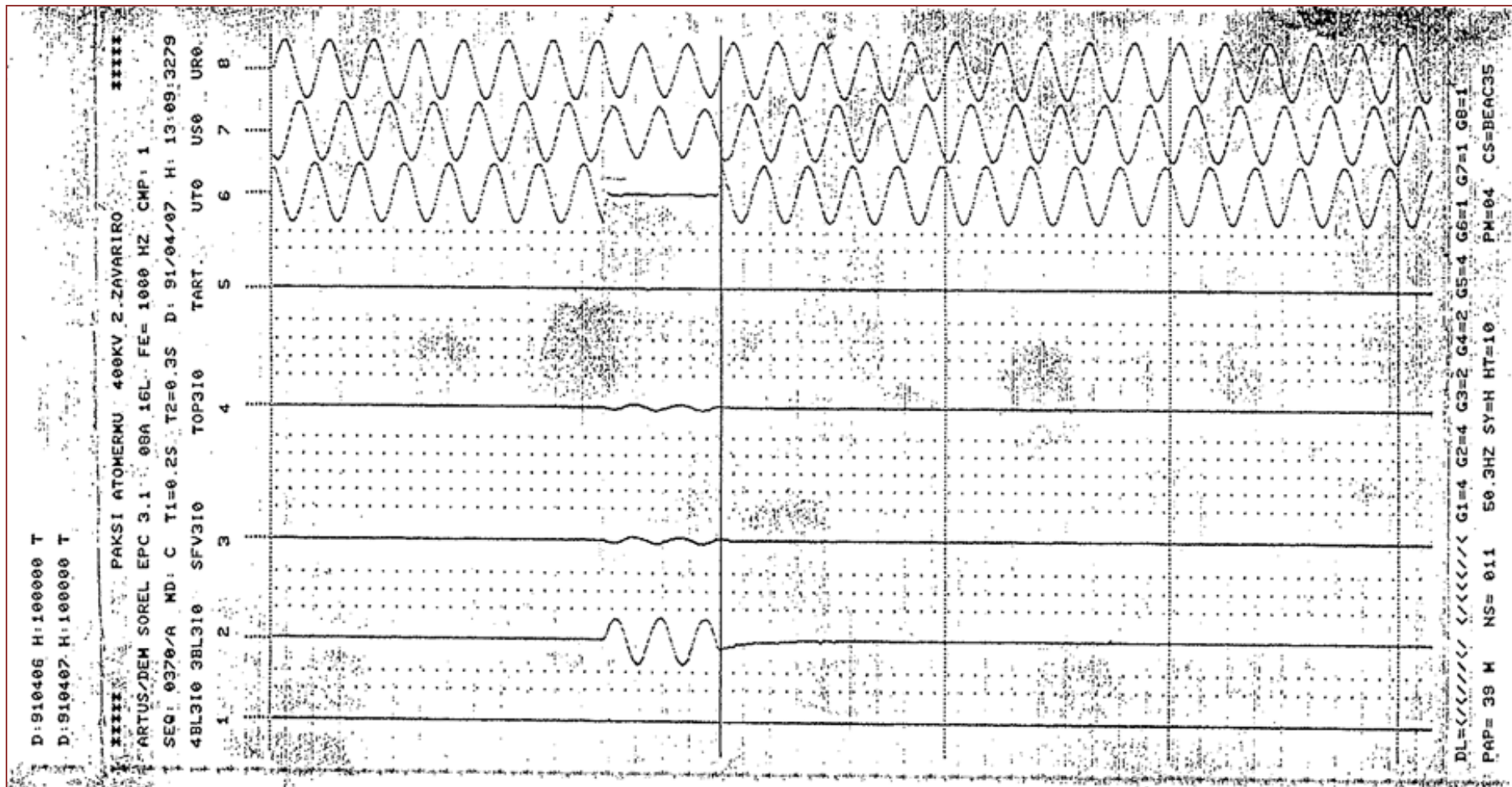
1994. 09. 21.

09.42 DETK

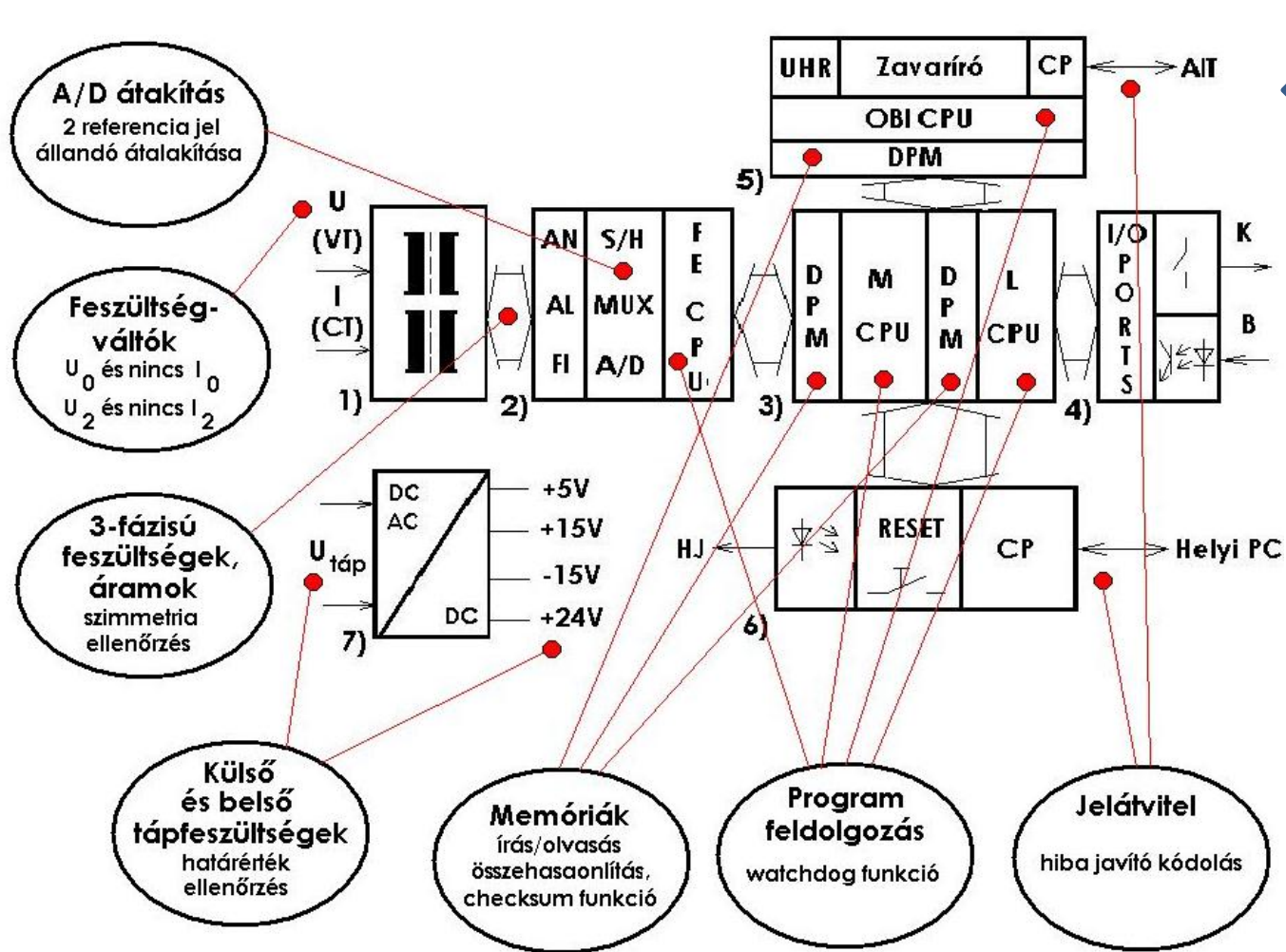
120 kV



# Zavaríró felvétel

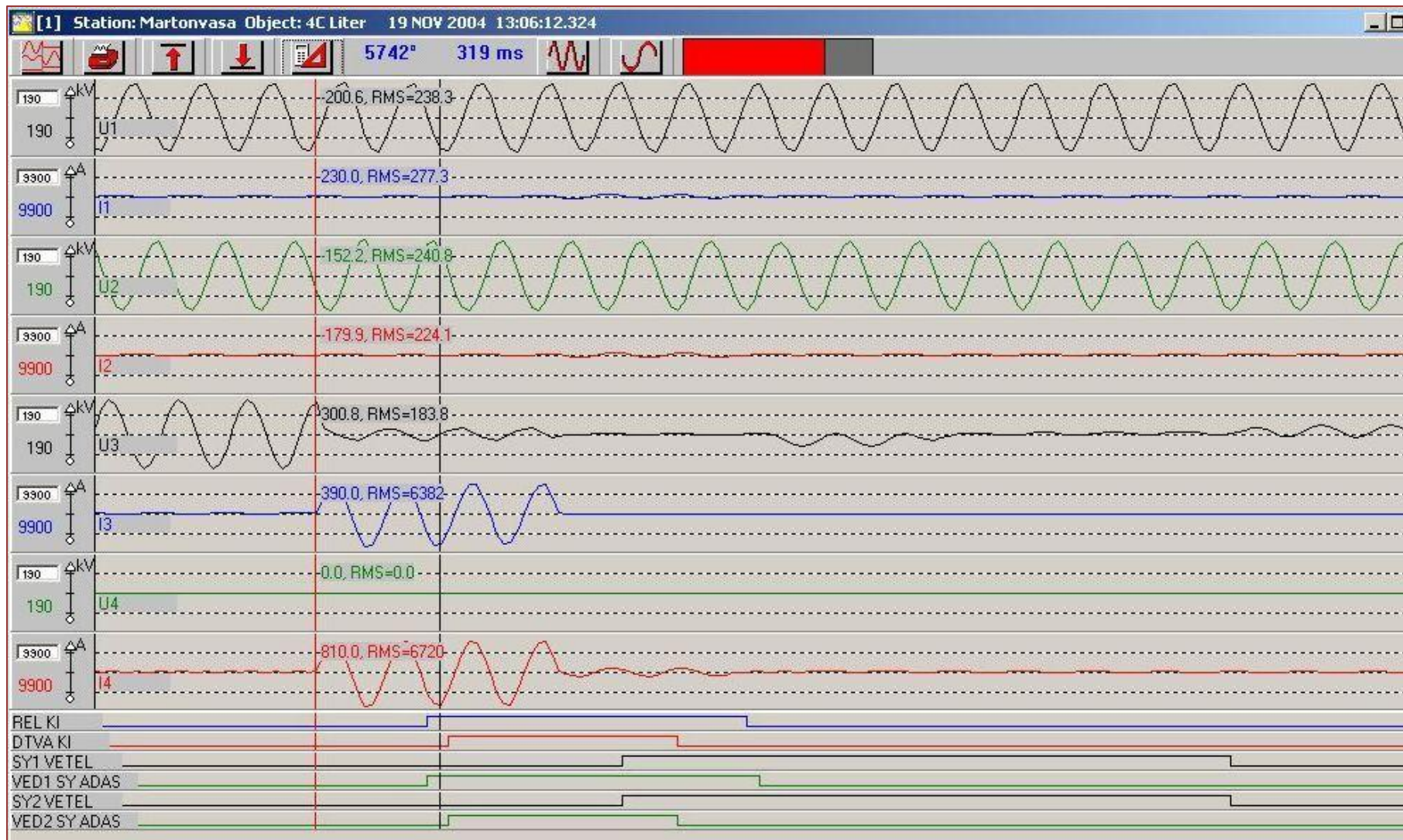


# Zavaríró felvétel



Korszerű digitális védelmeknél a zavaríró funkció a működési elvből adódóan, potenciálisan megvalósul.

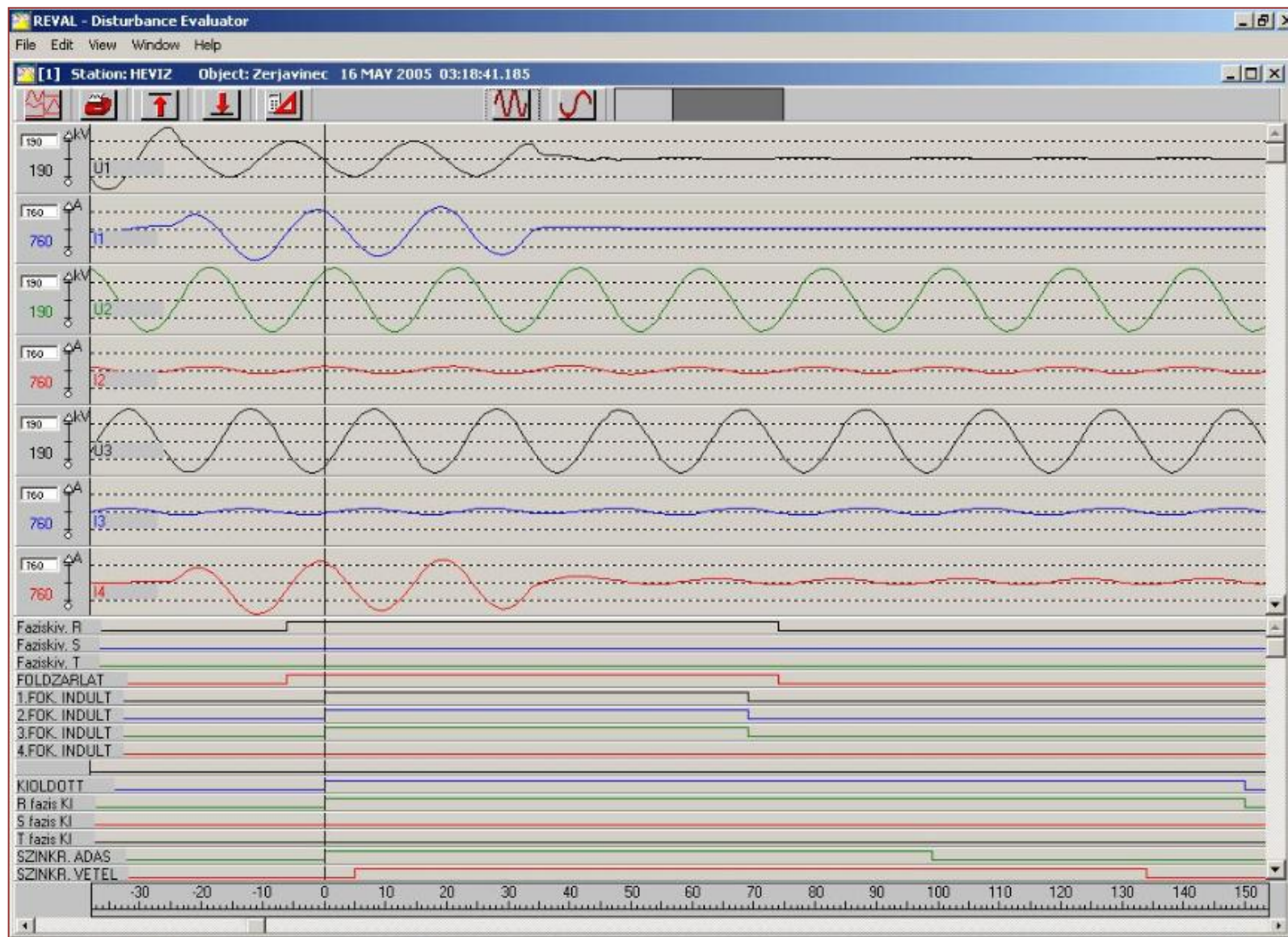
# Zavaríró felvétel



**Martonvásár-Litér 400 kV-os távvezetéken fellépett zárlat**

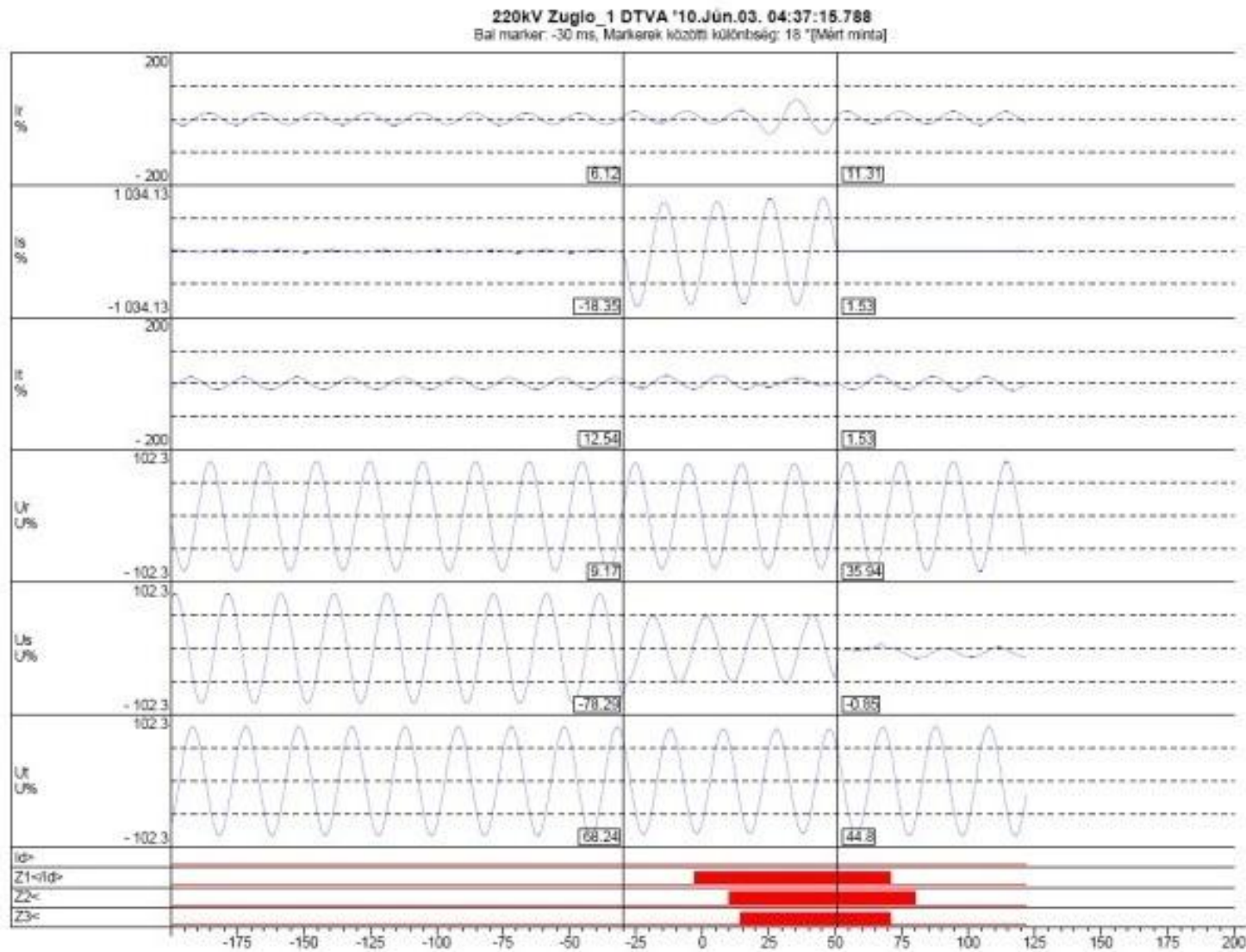
# Zavaríró felvétel

X



Hévíz-Zerjavinec 400 kV-os távvezeték zárata

# Zavaríró felvétel



Zugló 220 kV

# Erőművi lengéscsillapítás (PSS) és a WAMS (Wide-Area Monitoring System)

Zerényi József  
MAVIR ZRt.

Tel.: 06-20-929-4570, e-mail:  
zerenyi@mavir.hu

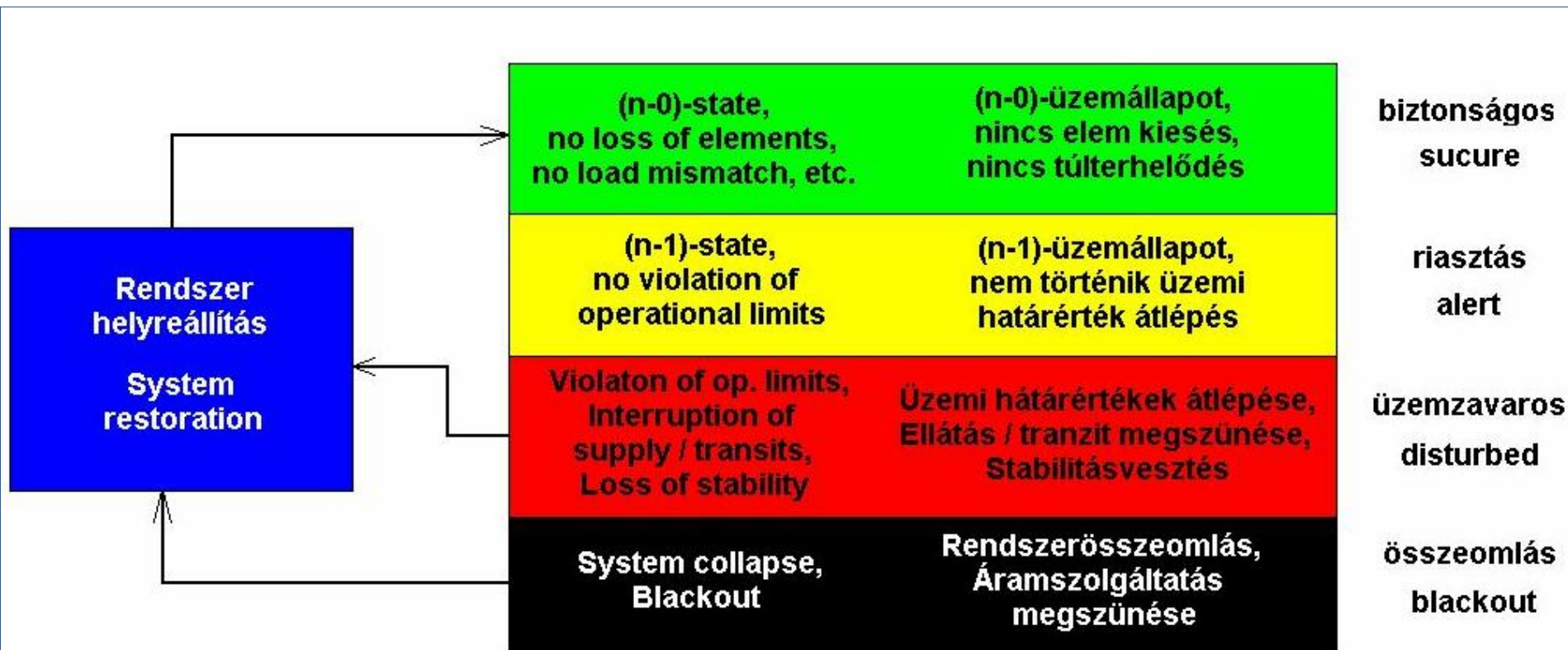


Villamos Energetika Tanszék  
Villamos Művek és Környezet Csoport

## Amiről szó lesz:

- ☐ Rendszerüzemzavarok, rendszerhelyreállítás, 50,2 Hz probléma
- ☐ Az erőművi lengéscsillapítás (PSS funkció) fontossága, tipikus lengési módok, ENTSO-E RG CE tapasztalatok, követelmények
- ☐ A PSS funkció működésének alapjai
- ☐ Ellenőrző mérési lehetőségek
- ☐ Helyszíni, üzem alatti mérések és a Fourier transzformáció módszerének használata a kiértékelésben
- ☐ Az állapotváltozók lengéseinek rendszer-szintű vizsgálata
- ☐ Wide-Area Measuring Systems – WAMS – szinkronizált fázor-mérés
- ☐ MAVIR WAMS megvalósítás – PROLAN rendszer (mérési helyek)
- ☐ Jellemző és érdekes WAMS felvételek
- ☐ A WAMS jövője, fejlődési irányok





**A VER üzemállapotai**  
**Classification of system states**

# Rendszerüzemzavarok

X



Rendszer  
üzembiztonságának  
csökkenése,  
állapotromlás

|                                             |                                                                                                        |
|---------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>NORMÁL<br/>üzemállapot<br/>(Normal)</b>  | <b>biztonságos,<br/>(n-0) üzemállapot,<br/>nincs elem kiesés,<br/>nincs túlterhelődés</b>              |
| <b>RIASZTÁS<br/>üzemállapot<br/>(Alert)</b> | <b>(n-1) üzemállapot,<br/>nem történik értékhatár<br/>átlépés az üzemi<br/>paraméterekben</b>          |
| <b>ÜZEMZAVAR<br/>(Emergency)</b>            | <b>értékhatár átlépés<br/>az üzemi paraméterekben,<br/>általános üzembiztonság<br/>veszélyeztetése</b> |
| <b>(Loss of<br/>Stability)</b>              | <b>stabilitásvesztés</b>                                                                               |

Védelmi Terv (Defence Plan)

**RENDSZER-  
ÖSSZEOMLÁS  
(BLACKOUT)**

**rendszerösszeomlás,  
áramszolgáltatás  
megszűnése**

**Rendszer  
helyeállítás  
(System Restoration)**



**A VER üzemállapotainak állapotromlása**

## **Normál üzemállapot (normal state):**

- Minden, a VER üzemére jellemző állapotváltozó a megadott határértékeken belül van mind alap, mind túlterhelt (contingency state) üzemállapotban.
- Normál üzemállapot: a frekvencia, a feszültség és a terhelési értékek a biztonságos működés határain belül helyezkednek el.
- Túlterhelődések: előre meghatározott korrekciós, a helyzetet javító intézkedések [remedial actions] történnek a rendszerirányító diszpécser reakcióidejében.

## **Riasztás üzemállapot (alert state):**

A VER-ben túlterhelődések: a jellemző állapotváltozók ugyan a megadott határértékeken belül vannak, de

- a túlterhelődés kedvezőtlen hatással van a szomszédos rendszer(ek)re,
- alap üzemállapotban biztonságos működés (az üzemállapot stabil a frekvencia, az átviteli és feszültség határértékek szempontjából, de a tranzit áramlások és a terhelések megnövekedése a feszültségviszonyok romlásához vezet),
- legalább egy, túlterhelődéssel járó esetben az  $(n-1)$  biztonság nem érvényesül,

- a lehetséges javító intézkedések teljes mértékben és késleltetés nélkül megtörténtek az (n-1) biztonság helyreállítása érdekében és ezen gyors reagálási lehetőségek a továbbiakra nézve kimerültek,
- az IT infrastruktúra területén csökken a VER megfigyelhetősége.

**A rendszerirányító komoly bizonytalanságba kerül a normál üzemállapotba való késleltetés nélküli visszatérés terén.**

(A további javító intézkedések hiányában nagy a valószínűsége annak, hogy a VER egy még veszélyesebb üzemállapotba kerül egy újabb túlterhelődés vagy a terhelések fokozatos növekedése miatt.

Az így kialakuló üzemállapot kiváltó oka lehet:

- időjárási viszonyok megváltozása, elsődleges vagy tartalék SCADA rendszer működésképtelensége,
- üzembiztonsági számítások ellehetetlenülése,
- erőművi forráshiány,
- eredetileg nem kiegyenlített rendszer további tartalékok nélküli üzemeltetése, stb.)

## Üzemzavar (emergency state):

- **A rendszer jellemző állapotváltozói kívül kerülnek az elviselhetőség határán,**
- **A VER üzemállapota jelentősen kihat a szomszédos energiarendszer(ek)re.**
- **A frekvencia, az átviteli és a feszültség határértékek nem teljesülnek.**
- **Az általános megbízhatóság veszélybe kerül.**

(Ilyen esetekben azonnali és hatékony intézkedéseket kell fogatosítani annak érdekében, hogy a VER visszakerüljön az elviselhető működési feltételek közé.

Ezen intézkedések tartalmazhatnak kézi és/vagy automatikus beavatkozásokat – ellenőrzött fogyasztói terheléskorlátozás, erőművi generátor kikapcsolás –, amelyek megakadályozzák a rendszerösszeomlást és csökkentik az üzemzavar térbeli és időbeni kiterjedését, illetve áttérjedését más rendszer(részek)re.

Előfordulhatnak kaszkád jelenségek és a rendszer állapotának kedvezőtlen irányú megváltozásai – pl. FTK működés, rendszerrészek lekapcsolódása –, de ezek nem jelentenek rendszer-összeomlást. Azonban a szükséges intézkedések elmaradása, nem elegendő hatékonysága vagy nem időben történő fogatosítása eredményezhet rendszerösszeomlást.)

## Rendszerösszeomlás (blackout):

**Az átviteli hálózat olyan állapota, amit a feszültség szinte teljes hiánya jellemez, ennek következtében a fogyasztói terhelés megszűnik, nagyerművi termelő egységek lekapcsolódnak és házi szigetüzemben működnek.**

### **A rendszerösszeomlás lehet**

- **részleges (amikor az együttműködő rendszer/ek/ egy részét érinti), de lehet**
- **teljes, az egész együttműködő rendszeregyesülésre kiterjedő.**

(A rendszerösszeomlás legtöbbször súlyos és kritikus üzemállapotok rendkívüli gyorsasággal történő kifejlődése (collapse).

Közvetlenül a rendszerösszeomlást megelőzően kialakuló üzemi helyzet, amikor a VER viselkedésének dinamizmusa túl gyors diszpécseri döntések, koordináció, vagy intézkedés meghozatalához. Ilyen esetben léphetnek működésbe rendszerautomatikák, amelyek készülék meghibásodásokat előzhetnek meg, illetve rendszerrészek integritásának megőrzését szolgálhatják a lehetséges legkedvezőbb rendszer-helyreállítás feltételeinek kialakításához.)

**Az összeomlás folyamata megállhat**

- egy közbenső és
- a végső fázisban.

**Helyzetismeret fontossága:**

- a nem ellátott (feszültség nélküli) hálózatrészek,
- a hálózati topológia,
- a kikapcsolódott rendszerközi és belső átviteli hálózati távvezetékek, valamint
- a házi szigetüzemmel, vagy a nélkül levált erőművi gépegységek pontos meghatározása igen fontos feladat ebben a fázisban.

**Rendszerhelyreállítás (restoration):**

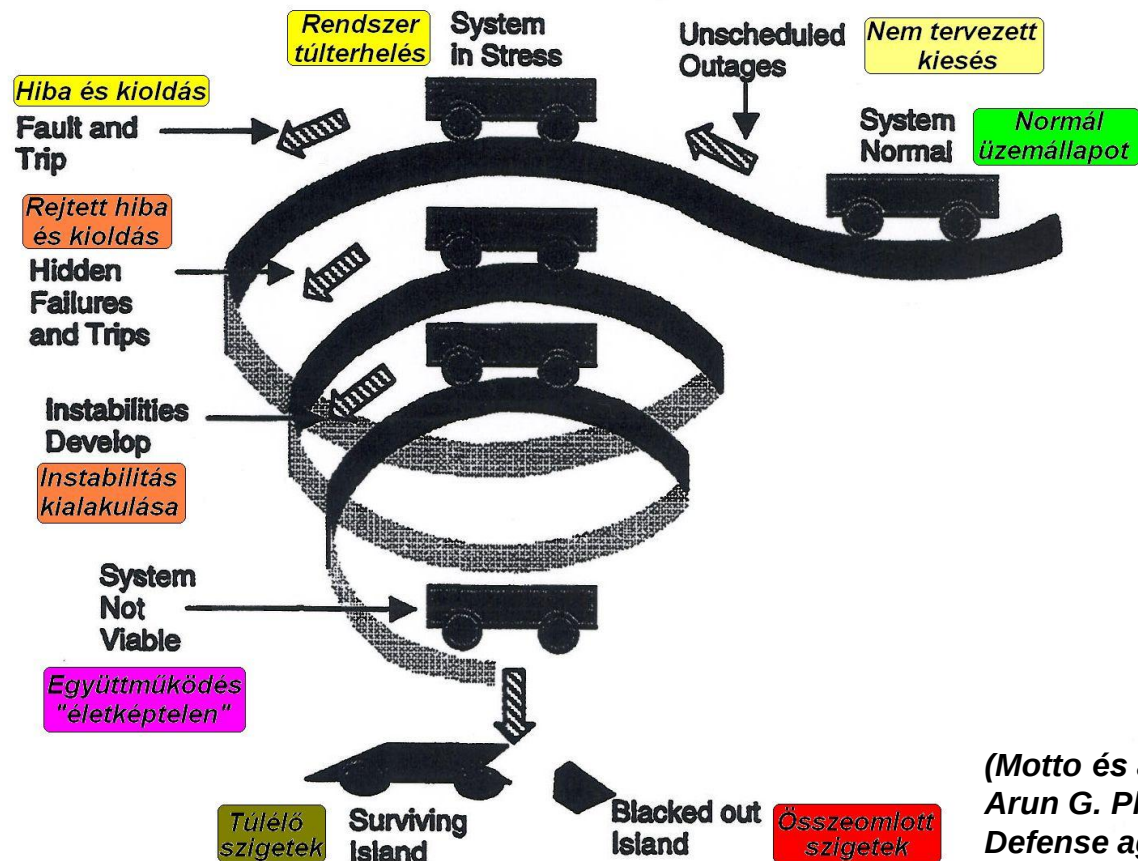
**Az energiarendszer olyan állapota, amikor a feszültség alatti területen a frekvencia és a feszültség az előírt tartományon belül van, és a fogyasztók/erőművek csatlakoztatása**

- a Rendszerirányító tervének megfelelően,
- irányítása alatt történik.

# Rendszerüzemzavarok



„A nagy rendszer üzemzavarokat nem lehet teljesen elkerülni. A legtöbb, amit tehetünk, hogy csökkentjük fellépésük valószínűségét és megpróbáljuk korlátozni kiterjedésüket és időtartamukat. A katasztrofális üzemzavarok rendszerint a villamos energiarendszer szélsőségesen igénybevett, túlterhelt üzemállapotában lépnek fel és általában egy váratlan hiba indítja el a folyamatot. „ (Arun G. Phadke)



## „Lefelé a lejtőn”:

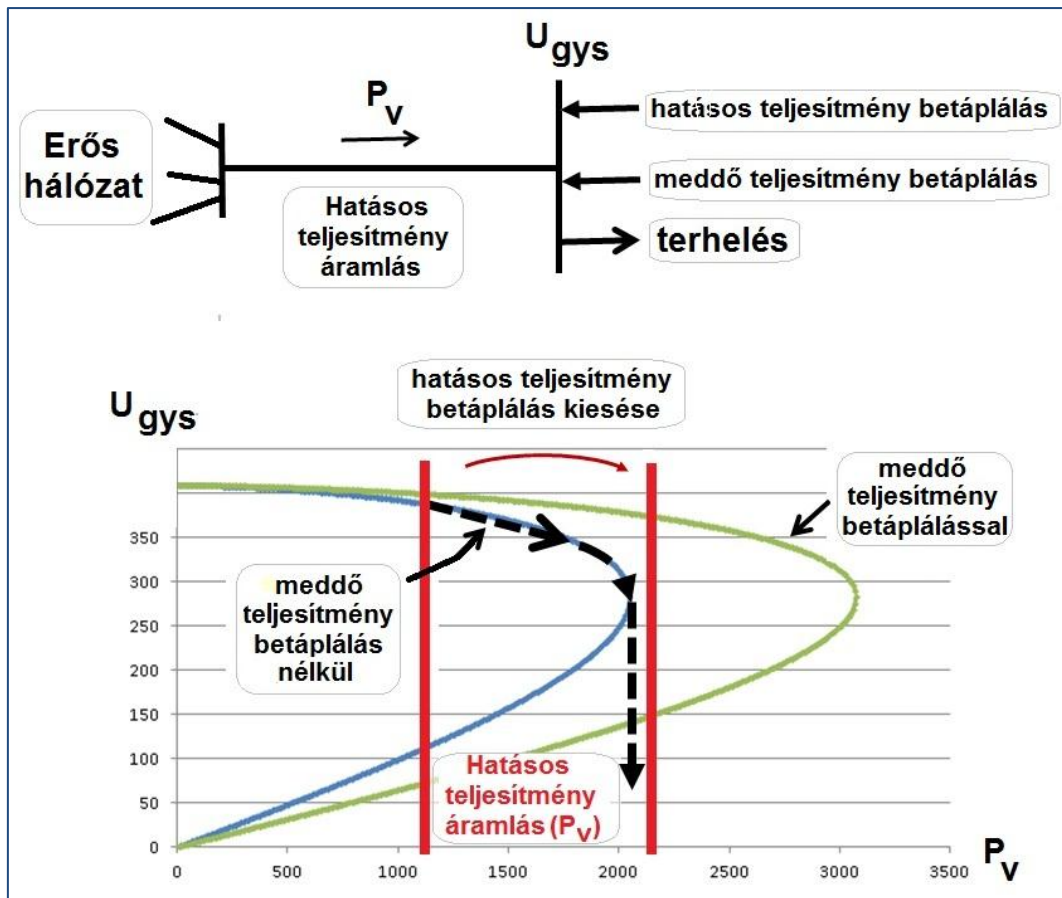
1. Normál üzemállapot → túlterhelés (nem várt kiesés, szélsőséges időjárás, stb.) → határértékekhez közeli állapot.
2. TSO elveszti áttekintését.
3. Fellépő hiba elindít egy láncreakciót.
4. Rejtett hiba (védelmek) miatti hibás kioldás(ok).
5. Meggyengült hálózat → instabilitás.
6. Részekre (szigetek) szakadás, esetleg rendszerösszeomlás.

(Motto és a kép származási helye:

Arun G. Phadke; Power Line Communication for Defense against Catastrophic Failures of Complex Interactive Power Networks, ISPLC 2001)

## A VER üzemét befolyásoló (tranziens) jelenségek

- (1.) Túlterhelődések (feszültség összeomlás)
- (2.) Erőművi forráskiesések ( $\Delta P_{ki} \rightarrow \Delta f, df/dt$ )
- (3.) (Önmaguktól felgerjedő) rendszerközi lengések (inter-area oscillations, Power System Stabilizer - PSS csillapító hatása)

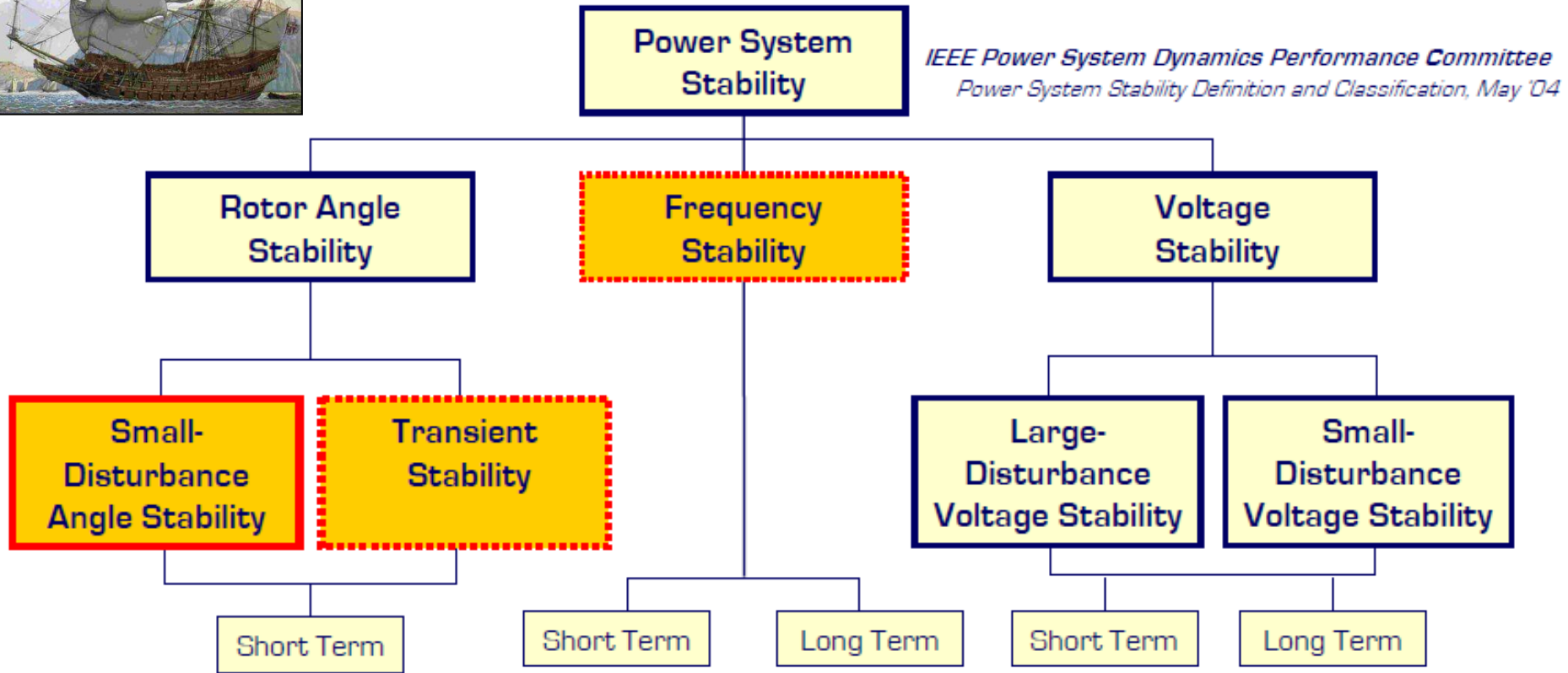
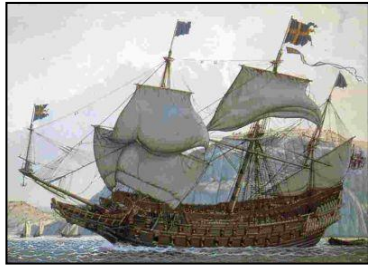


**Ellenintézkedések a  
Védelmi Tervben  
(Defence Plan).  
Rendszeres rendszer  
vizsgálatokkal  
ellenőrizni kell a  
hatékonyságot!**

**Feszültség összeomlás.  
Ellenintézkedés:  
Feszültségfüggő  
terheléskorlátozás  
(UVLS).**

# Rendszerüzemzavarok

X



## Stabilitási problémák kategorizálása

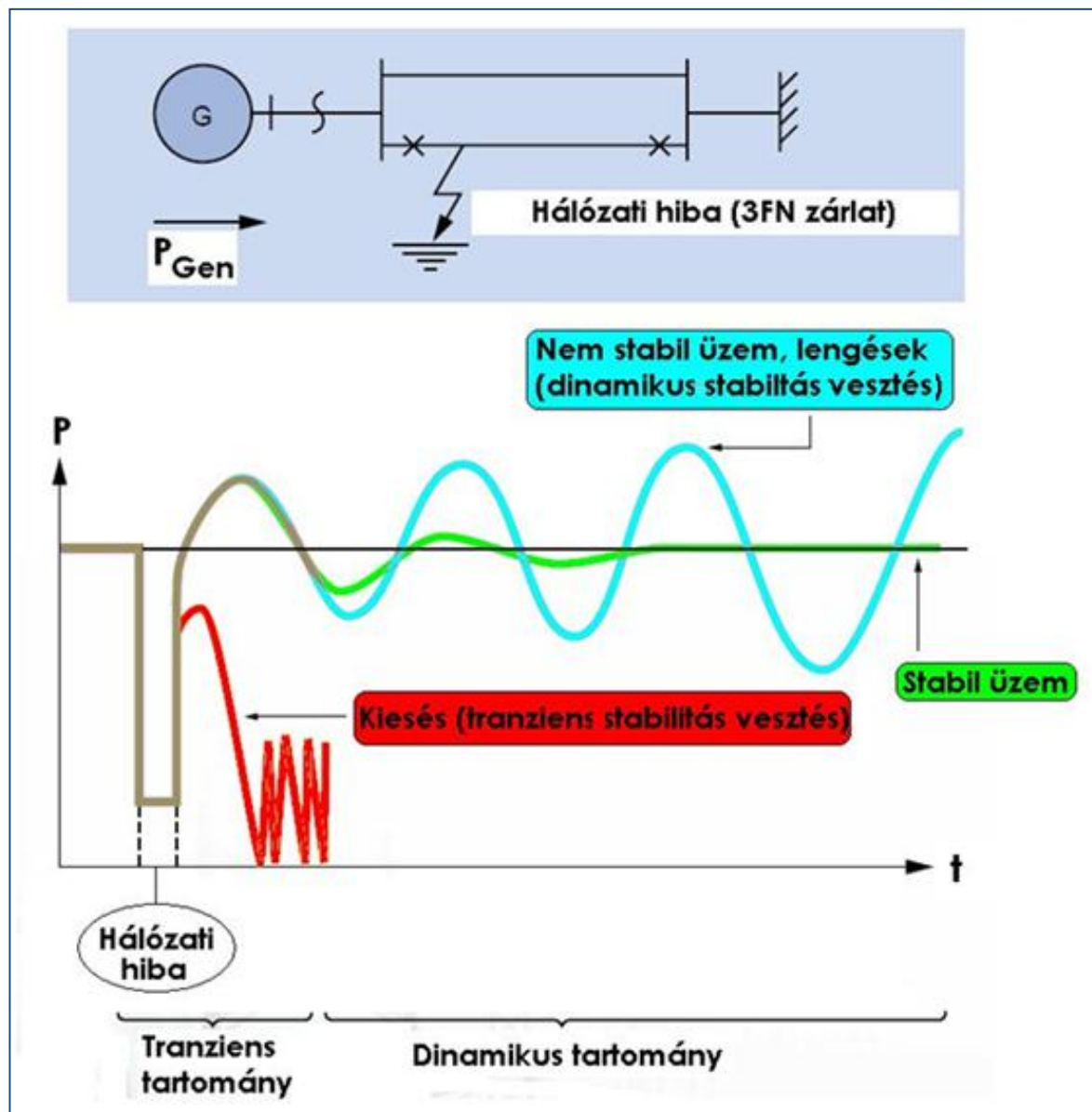
A VER – fizikai természetétől fogva – egy komplex, dinamikus, lengő rendszer.

A VER megbízható és biztonságos üzemének (system security) alapja:

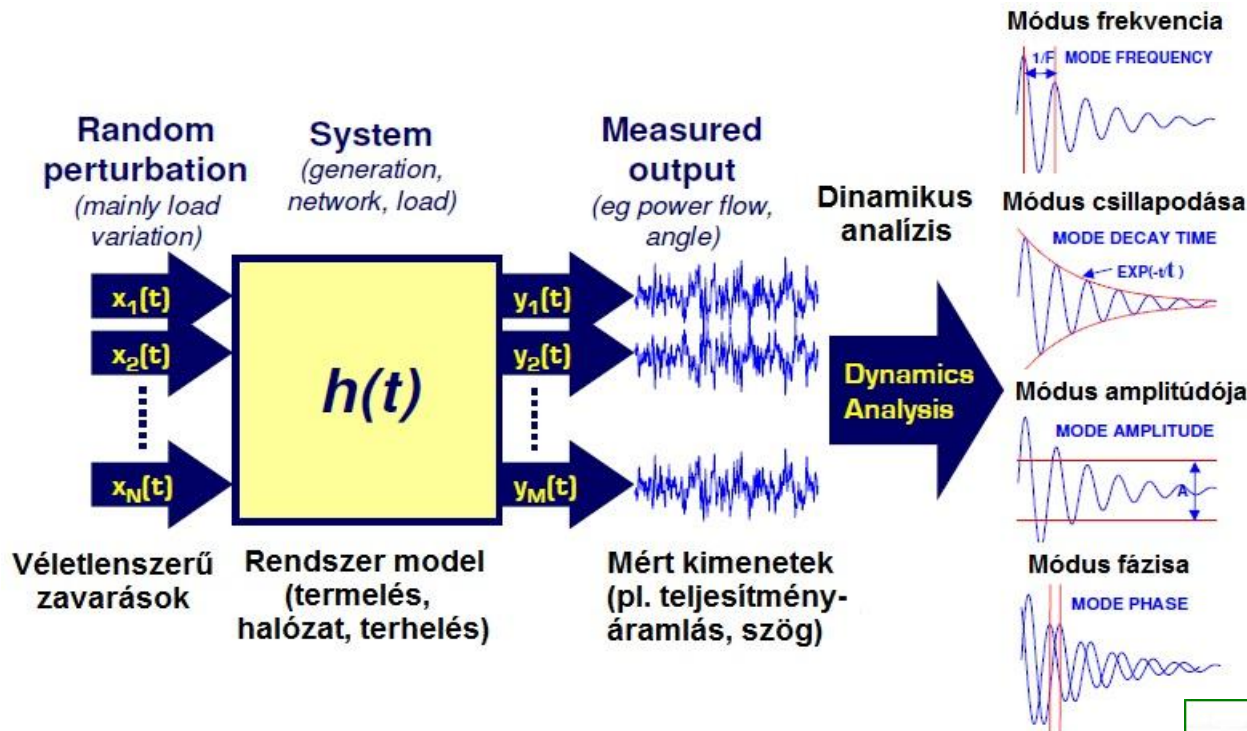
Biztosítani, hogy **minden fellépő lengés stabil legyen.**

# Rendszerüzemzavarok

X



*Erőművi gépegység üzeme hálózati hiba esetén*

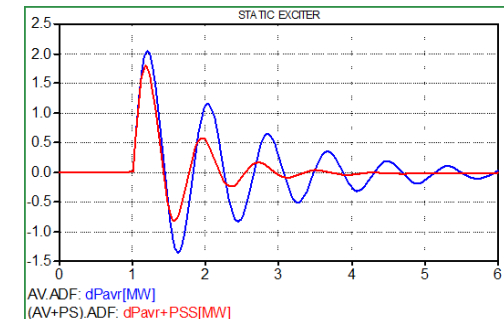
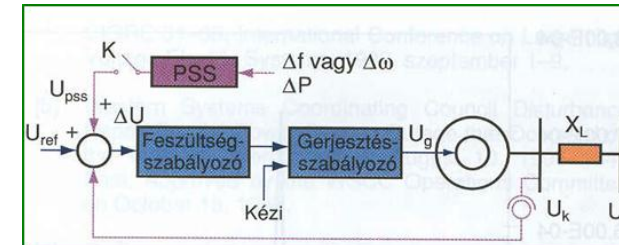


## Modál analízis – rendszervizsgálat részeként

Lengések csillapításának eszközei:

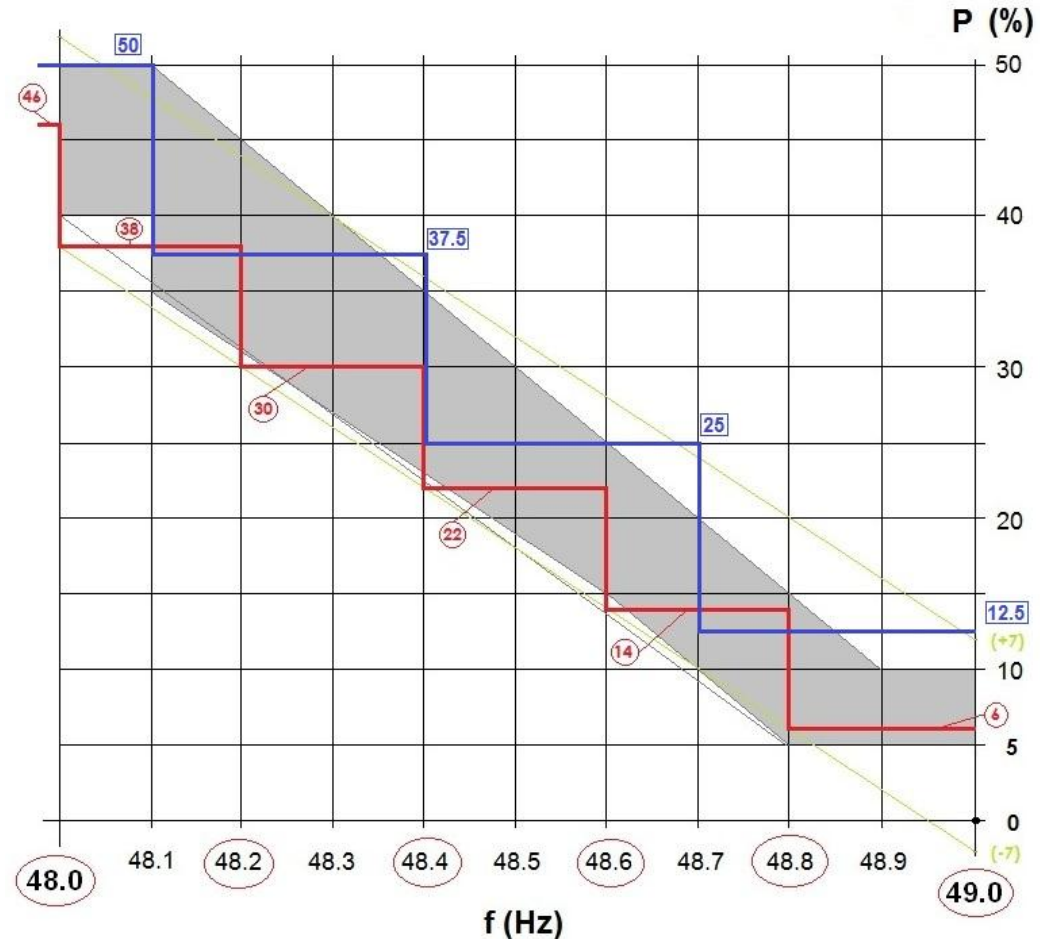
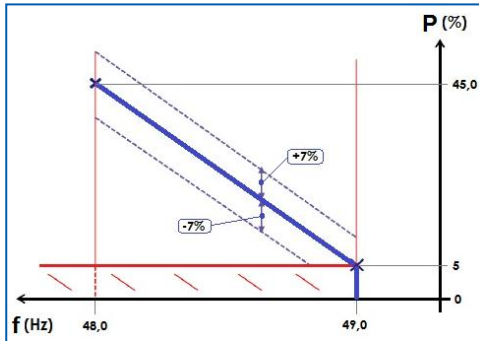
- ☐ Generátorok gerjesztésszabályozó rendszerei (Power System Stabilizer – PSS)
- ☐ Static VAR kompenzátorok (FACT elemek)
- ☐ HVDC szabályozás (egyenáramú betétek)
- ☐ Lendkerekas tárolók

Igen fontos a koordinált paraméter beállítás és a csillapítási hatékonyság ellenőrzése (WAMS).

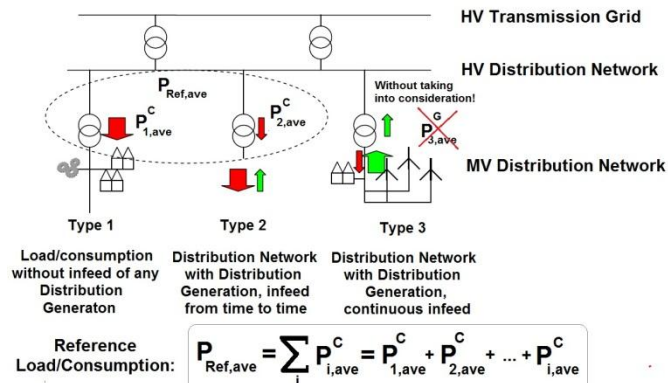


## Defence Plan – Védelmi Terv

### 1.) Frekvenciacsökkenés – Frekvenciafüggő terheléskorlátozás (UFLS, LFDD – ENTSO-E RGCE Policy 5 és Emergency and Restoration Network Code előírások).

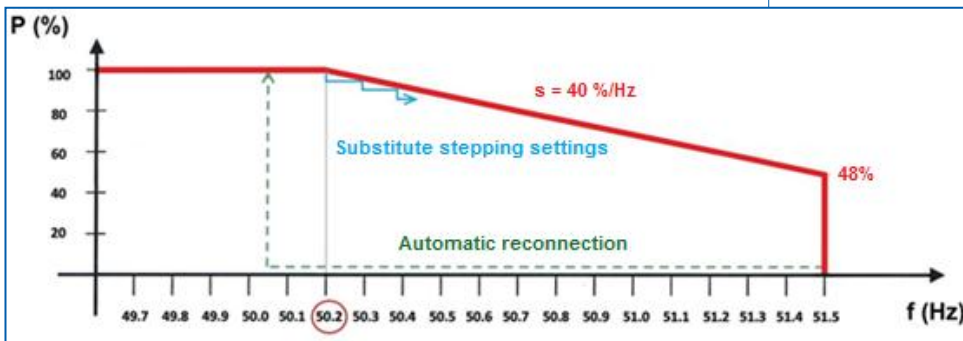


| Frequency steps (Hz)      | 49.0 | 48.8 | 48.7 | 48.6 | 48.4 | 48.2 | 48.1 | 48.0 |
|---------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Current operating values: |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Shed load (%)             | 12.5 |      | 12.5 |      | 12.5 |      | 12.5 |      |
| $\Sigma$ (%)              | 12.5 |      | 25.0 |      | 37.5 |      | 50.0 |      |
| New settings (6 steps):   |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Shed load (%)             | 6.0  | 8.0  |      | 8.0  | 8.0  | 8.0  |      | 8.0  |
| $\Sigma$ (%)              | 6.0  | 14.0 |      | 22.0 | 30.0 | 38.0 |      | 46.0 |

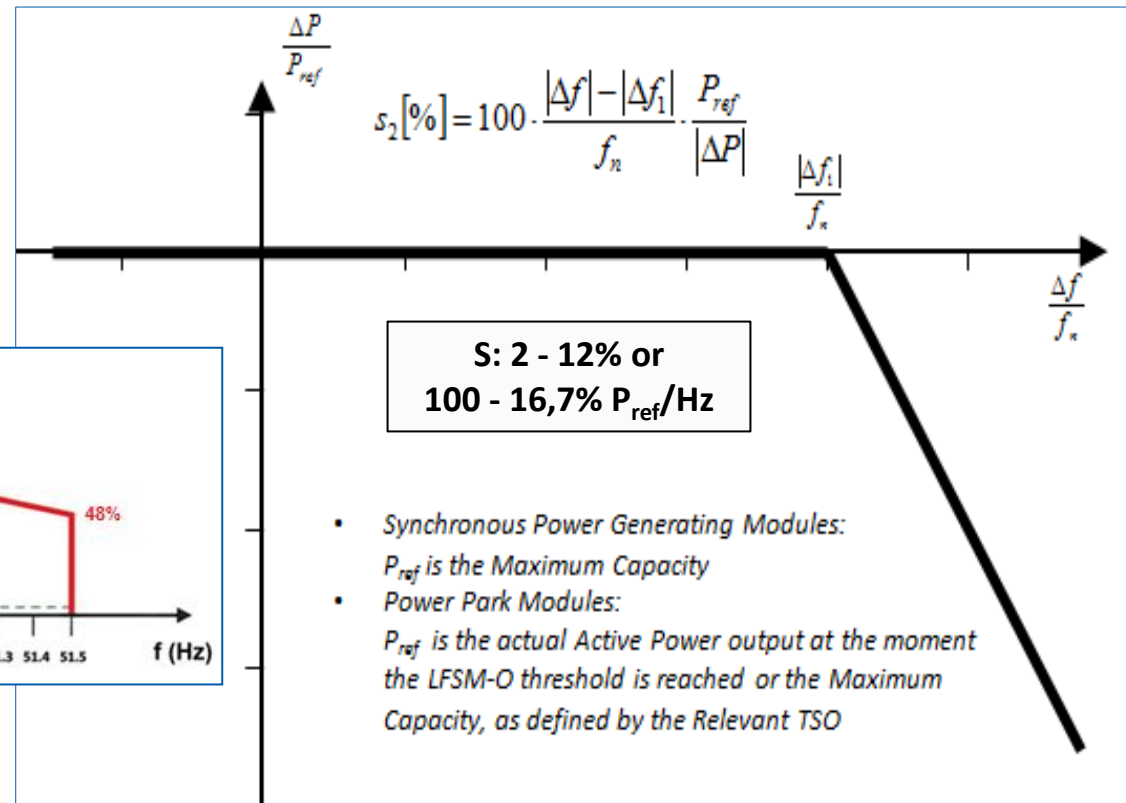


## 2. Frekvencianövekedés

RfG (termelő egységekre vonatkozó) Network Code előírása: LFSM-O (Limited Frequency Sensitive Mode – Overfrequency) helyi szabályozási funkció használata.



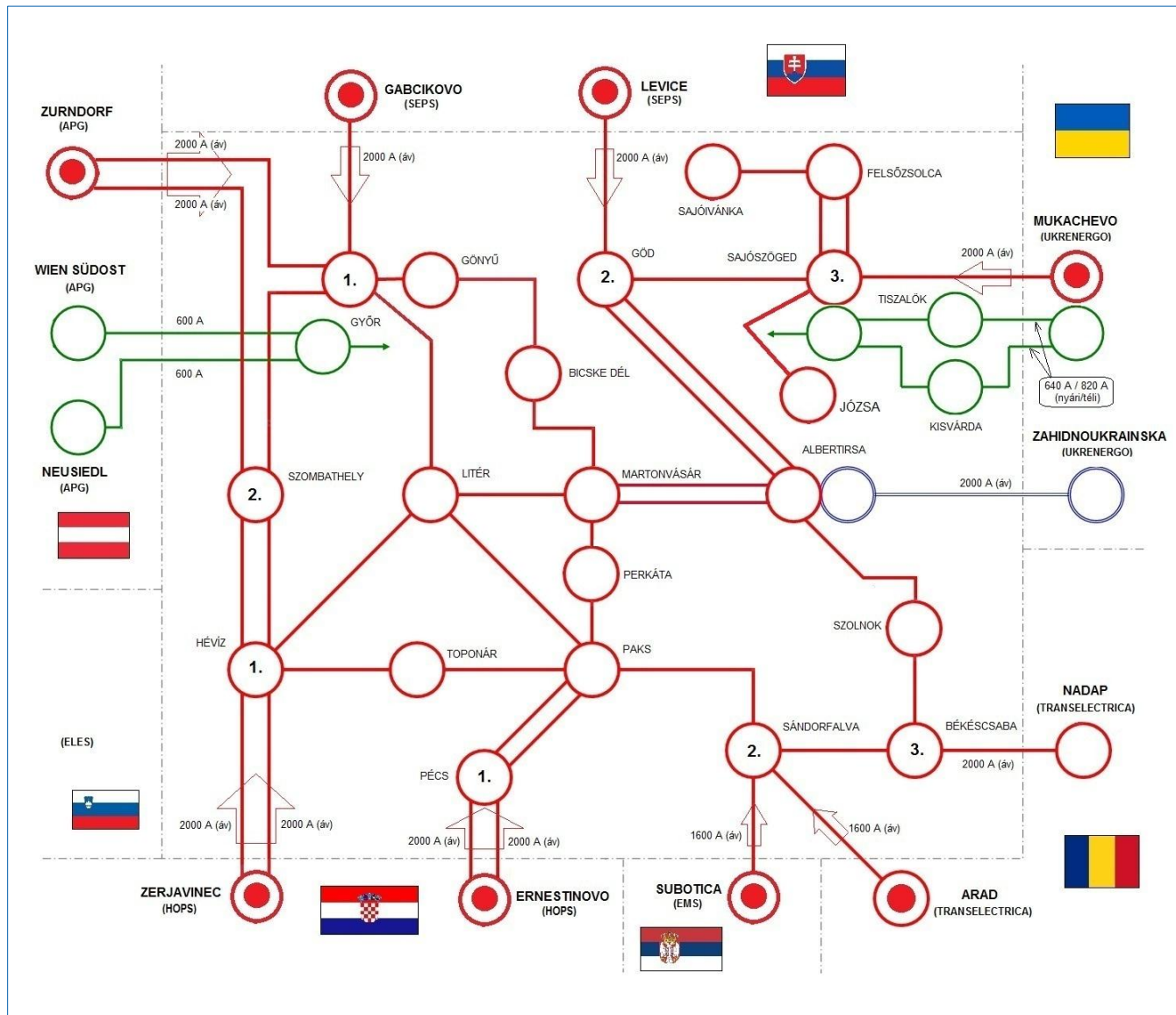
Német szabványelőírás (VDE-AR-N 4105)



RfG előírás

# Rendszerüzemzavarok

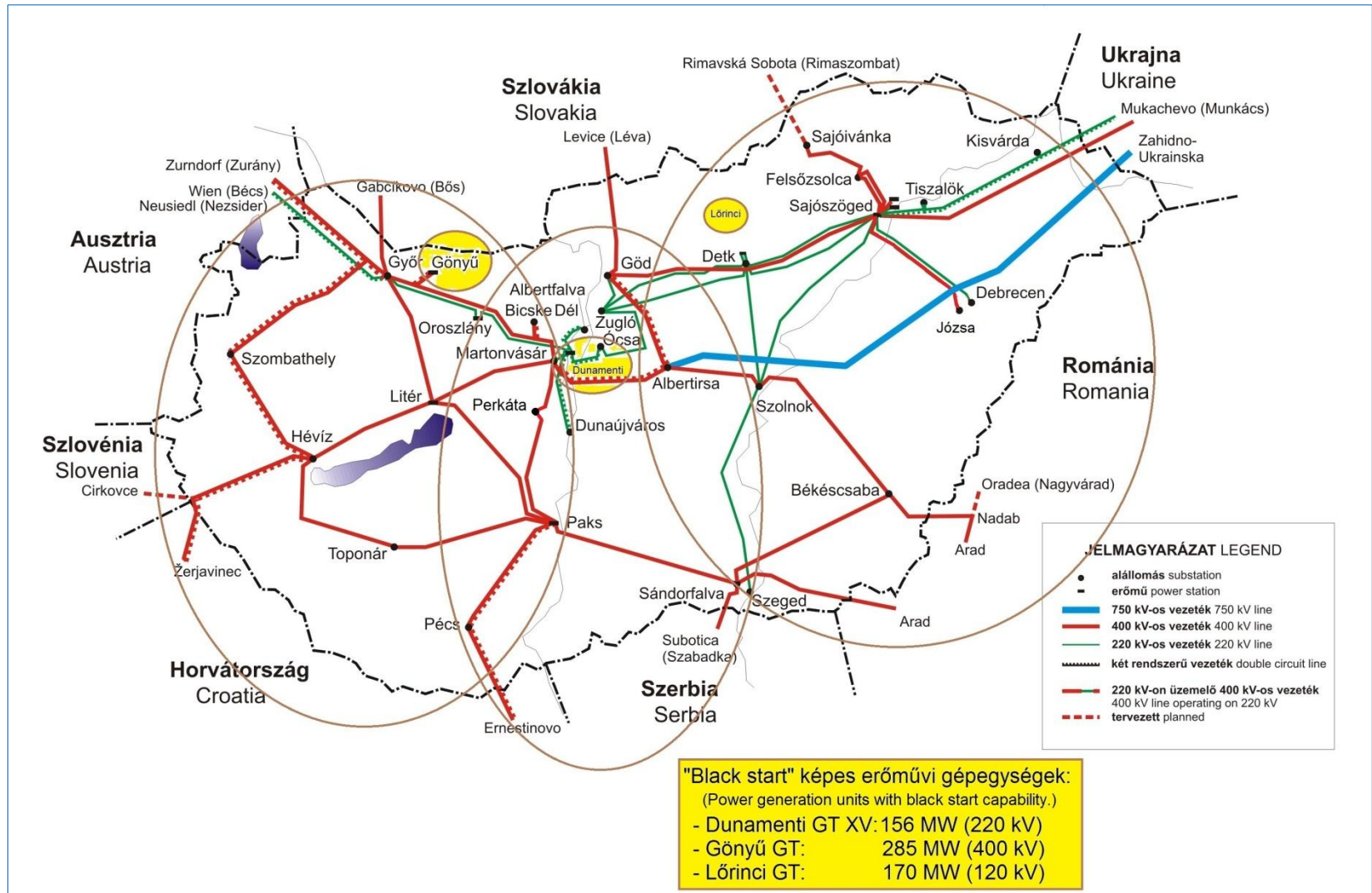
X



## Top-down rendszer helyreállítás

(külső segítség, kapcsolókészülékek távműködtetése – 30,5 alállomás Mo.-on)

# Rendszerüzemzavarok



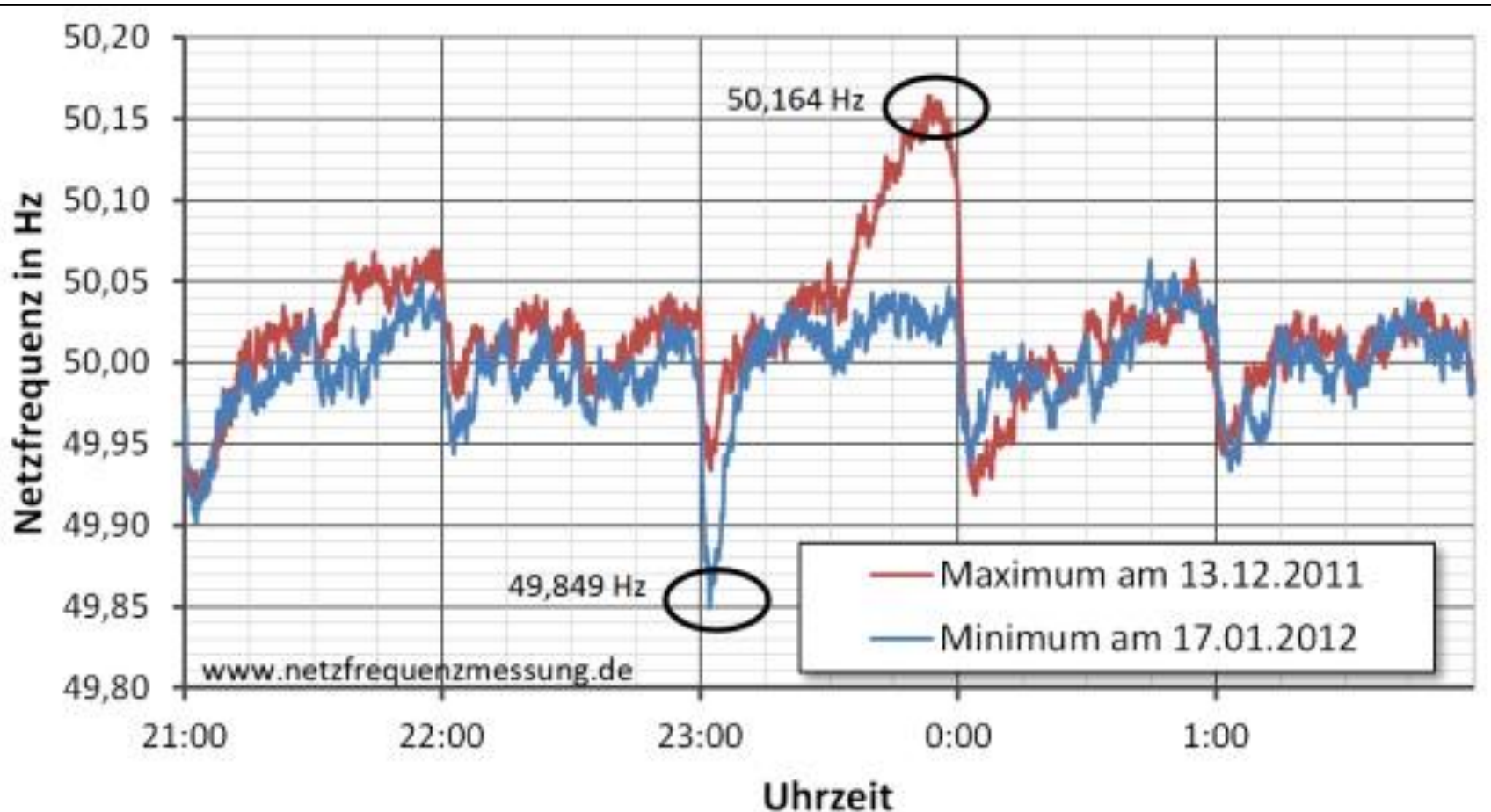
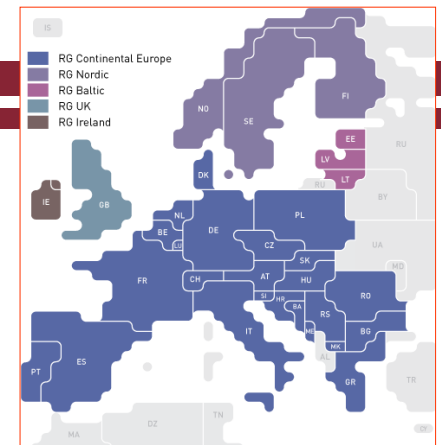
## Bottom-up rendszer helyreállítás

(black start képesség, önfogyasztásra automatikusan átkapcsolt termelő egységek, szigetüzemi szabályozási képesség –  $f$  és  $P$ ,  $U/Q$ )

## 50,2 Hz probléma – megújulók (RES, dispersed, embedded generation) integrálása

Frekvenciamenet anomáliái – szabályozási problémák,

Normál üzemi frekvencia sáv: 50 Hz +/- 200 mHz



# Rendszerüzemzavarok

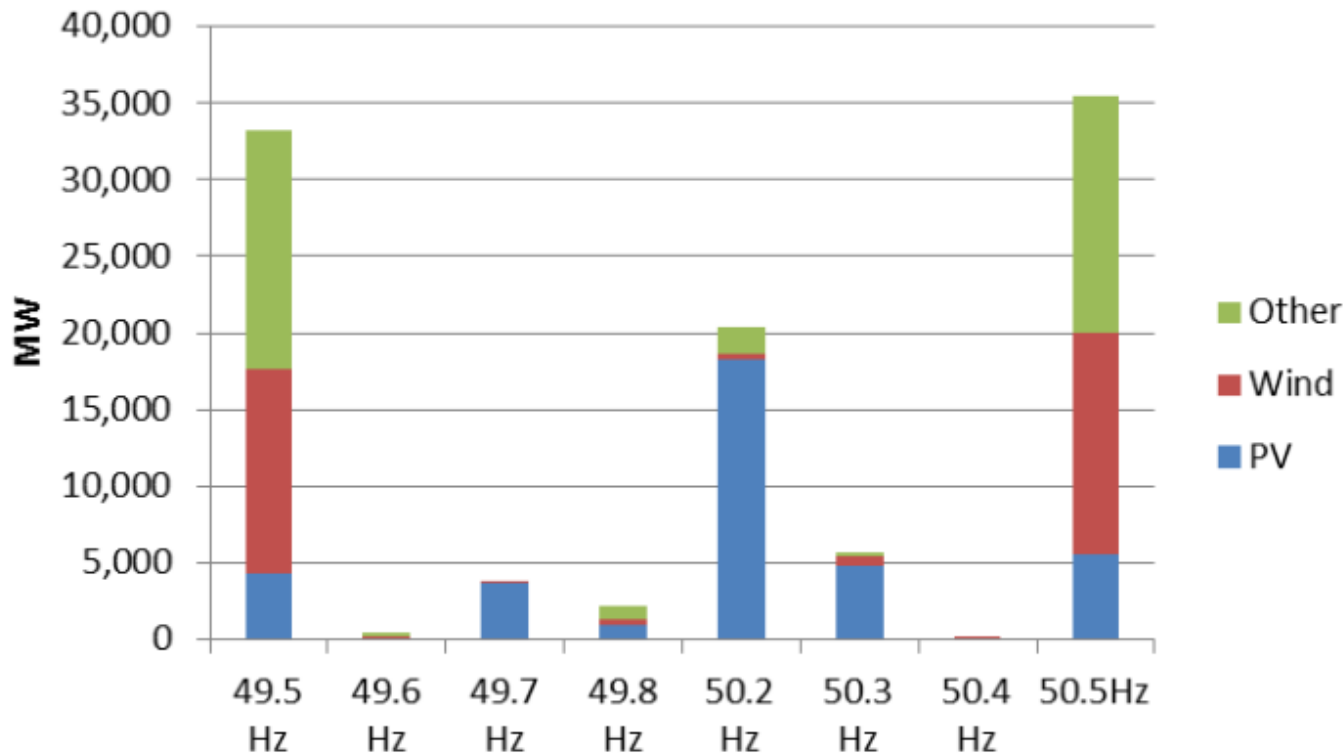
X



## Megállapítások:

- A termelő egységek leválás nélkül kell, hogy üzemeljenek 47,5 - 51,5 Hz sávban (RfG NC).
- Jelenleg az aktuális leválasztási frekvenciák 49,5 - 50,5 Hz között szórnak.

Capacity at risk per technology



**Leválasztásban résztvevő DG kapacitások 2014-ben**  
(ENTSO-E SPD SG tanulmány alapján)

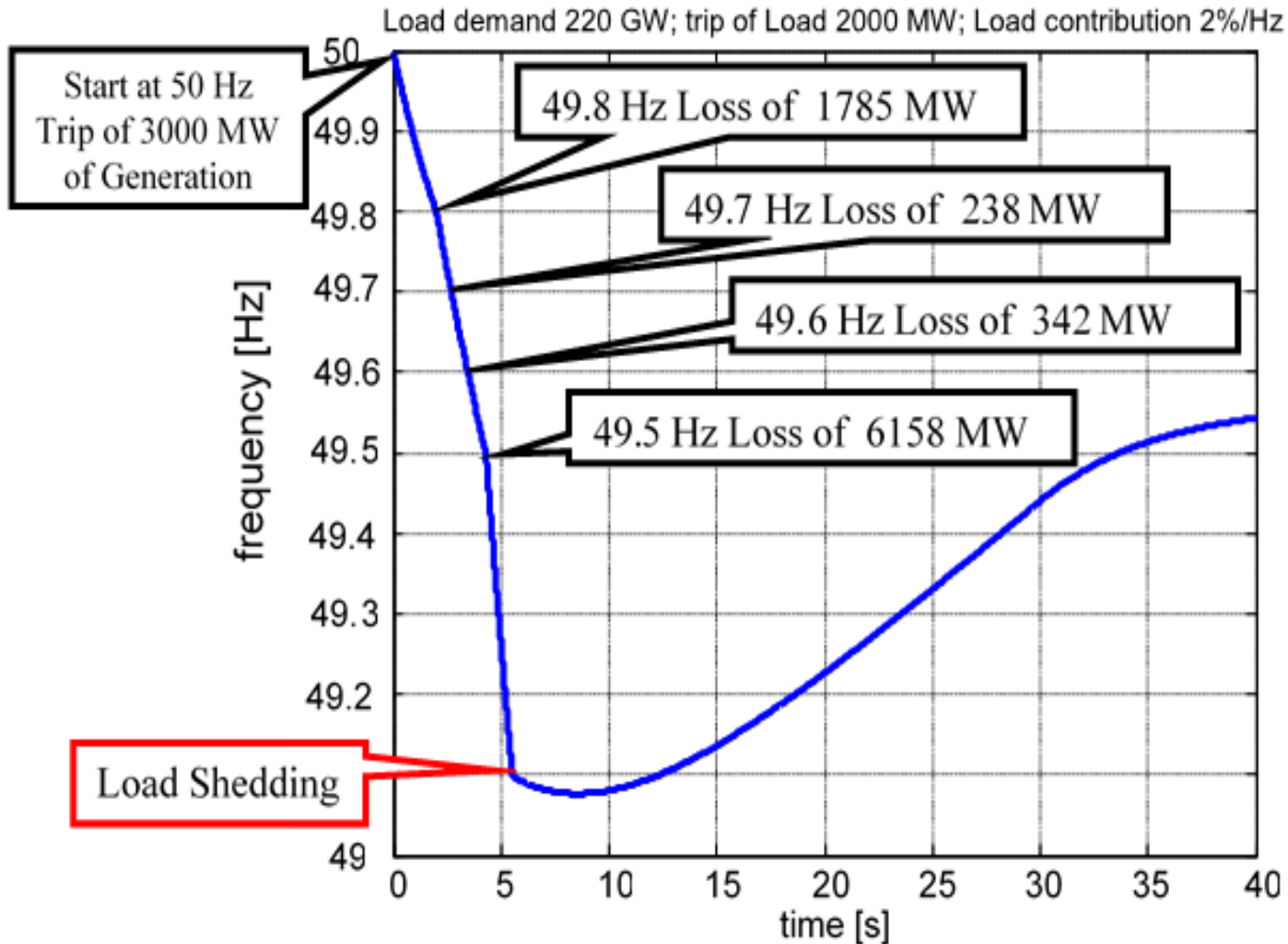
\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

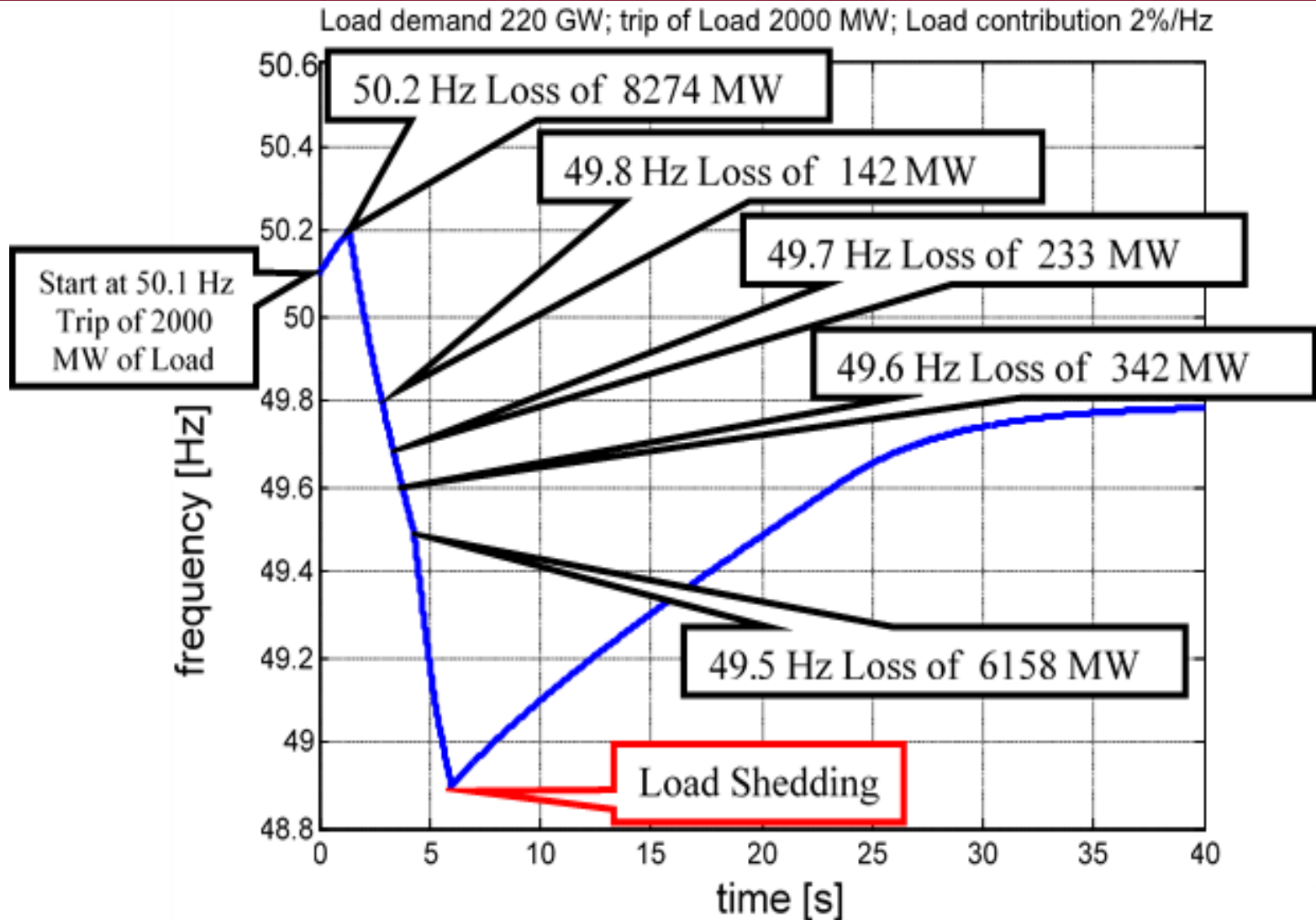


\_\_\_\_\_

[illegible]



## **Frekvenciacsökkenés, 3 GW forráskiesés (olasz és német PV retrofit után)**



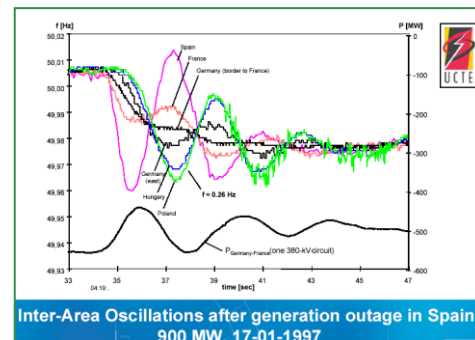
**Frekvencia növekedés, 2 GW fogyasztói kiesés (olasz és német PV retrofit után)**

Az együttműködő VER-ekben, rendszer egyesülésekben fellépő **tranziens folyamatok** következtében:

- frekvencialengések (generátorok forgórész szöglengések),
- kapocsfeszültség-, hatásos- és meddőteljesítmény-lengések lépnek fel.

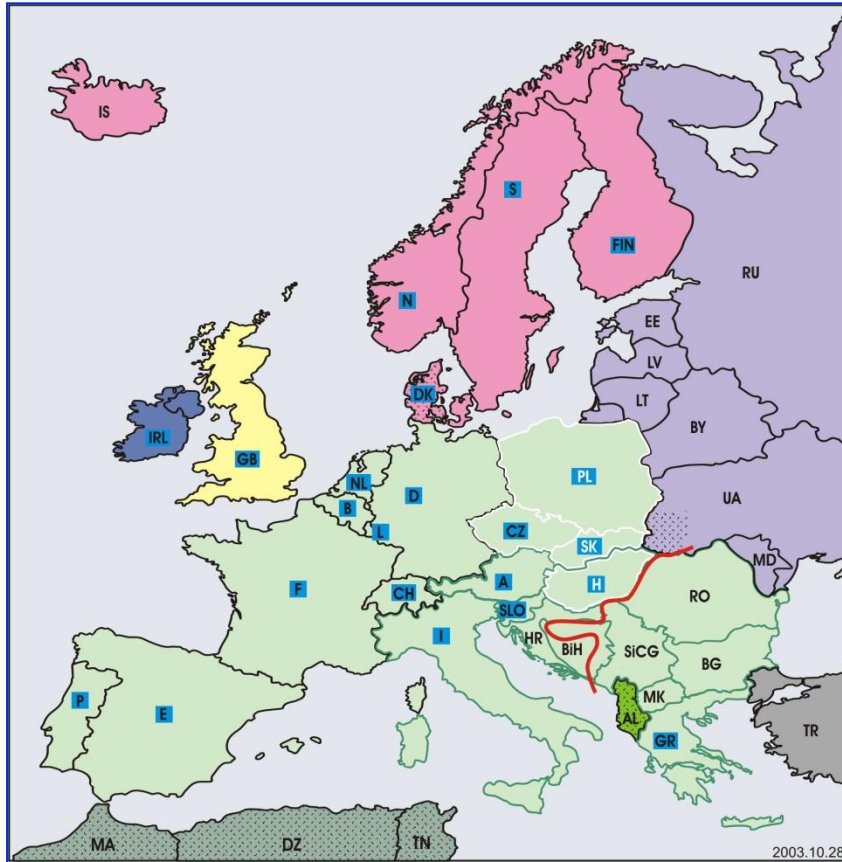
Kiváltó okok lehetnek:

- erőművi forráskiesések,
- nagy fogyasztói területek kikapcsolódása,
- (gyújtósín)zárlatok,
- feszültségszabályozók alapjelének hirtelen megváltoz(tat)ása,
- erőművek közelében végzett hálózati kapcsolások (transzformátorok és távvezetékek ki- és/vagy bekapcsolása),
- állandósult állapotban az együttműködő generátorokon bekövetkező kismértékű beavatkozások (szabályozó üzemállapot változtatások), a háziüzemi terhelések megváltozása, valamint a kapcsolódó átviteli hálózaton állandóan jelenlévő kismértékű, ám igen nagyszámú esemény szintén a vizsgált egység állapotváltozóinak lengéseit idézi elő.

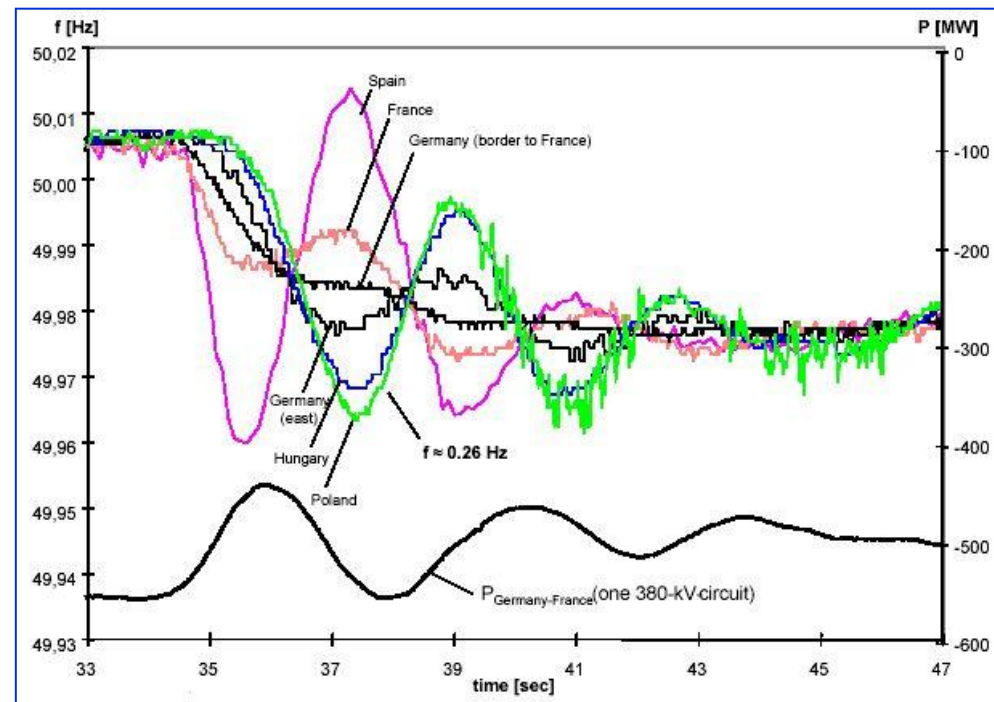
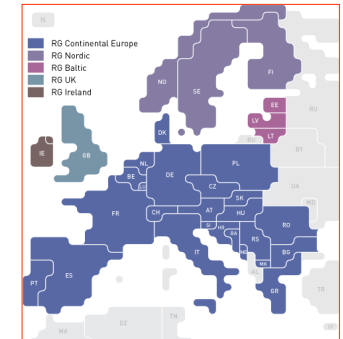
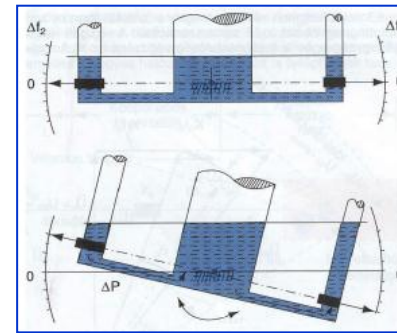




# Erőművi lengéscsillapítás fontossága (Rendszerközi lengések)

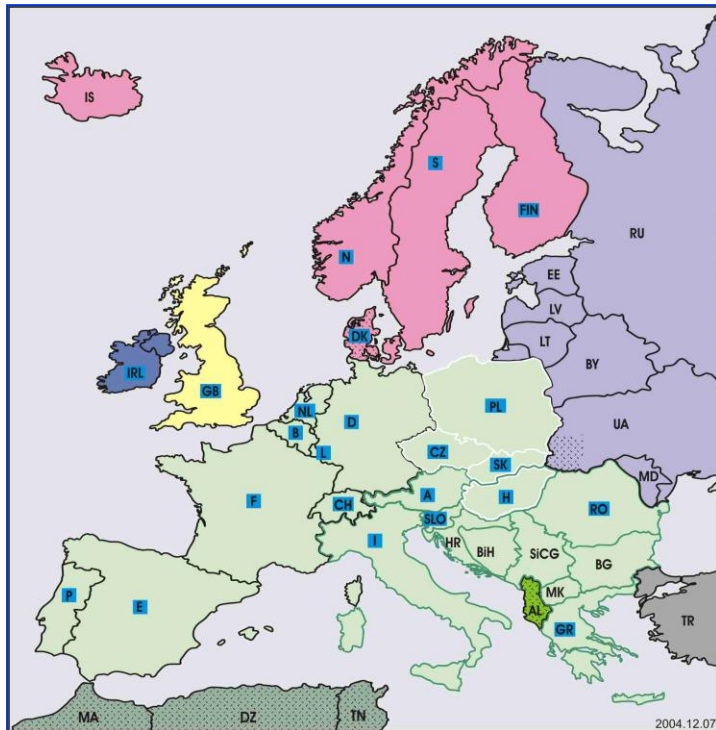


**Balkáni reszinkronizáció  
(2004. október 10.) előtt**

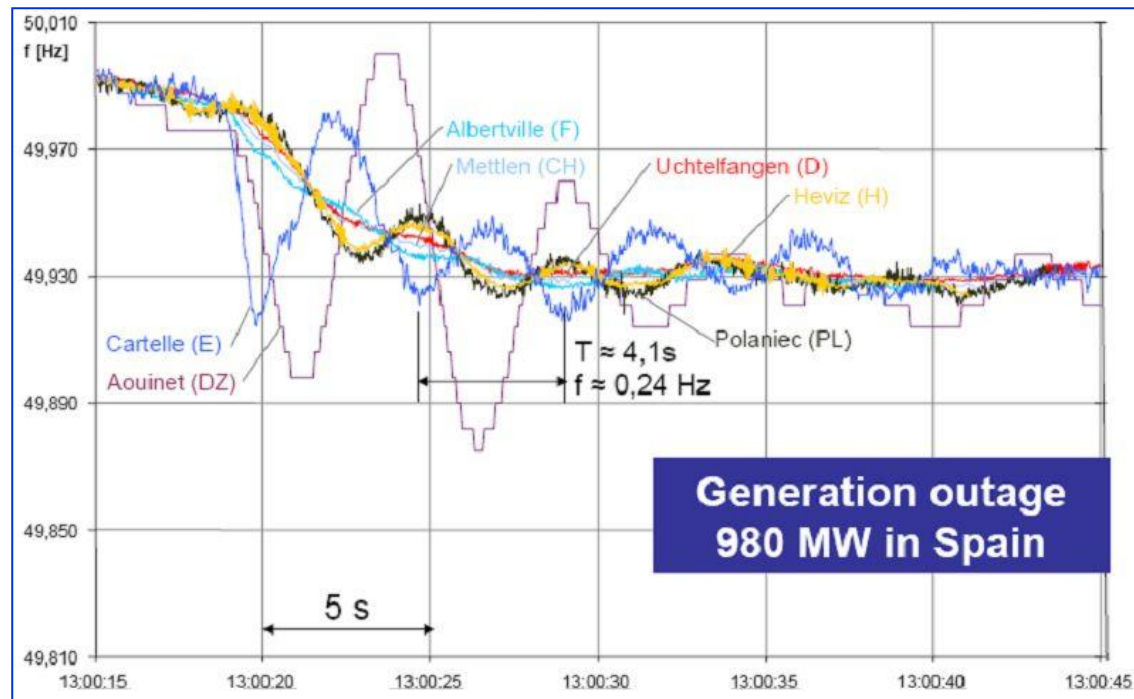
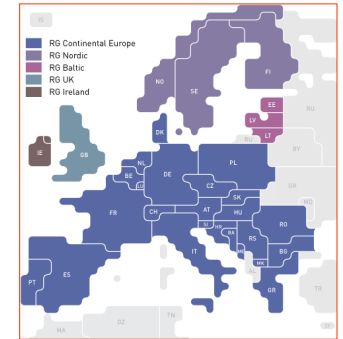
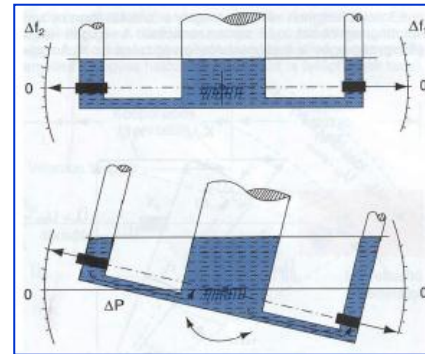


**Spanyol erőművi kiesés (900 MW) 1997. január 17-én,  
csillapodó rendszerközi lengések (libikóka effektus)**

# Erőművi lengéscsillapítás fontossága (Rendszerközi lengések)



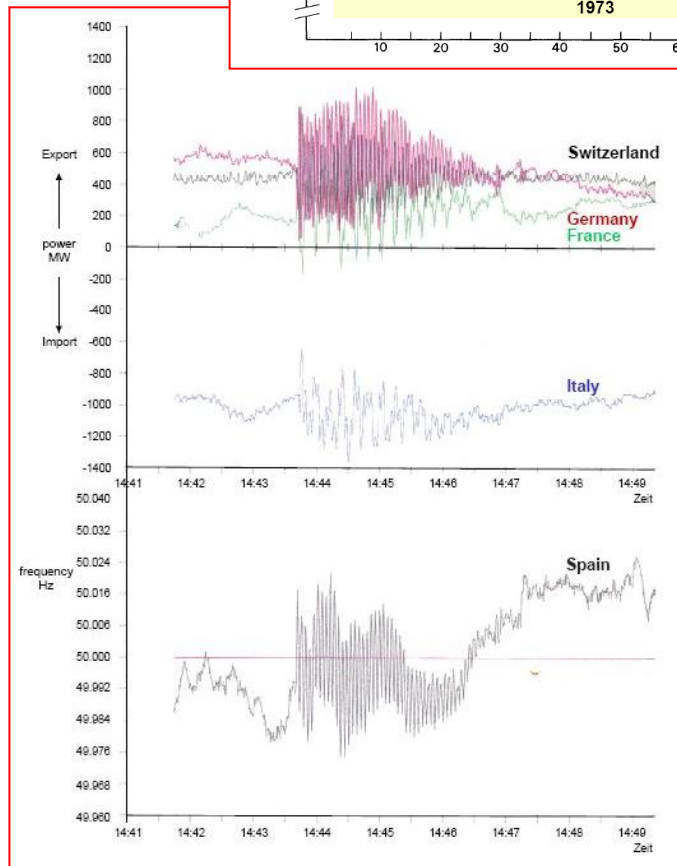
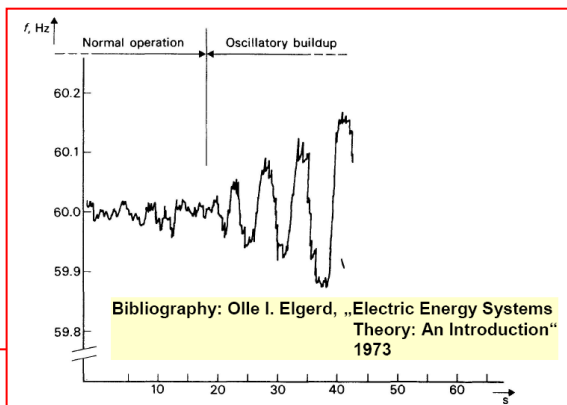
**Balkáni reszinkronizáció  
(2004. október 10.) után**



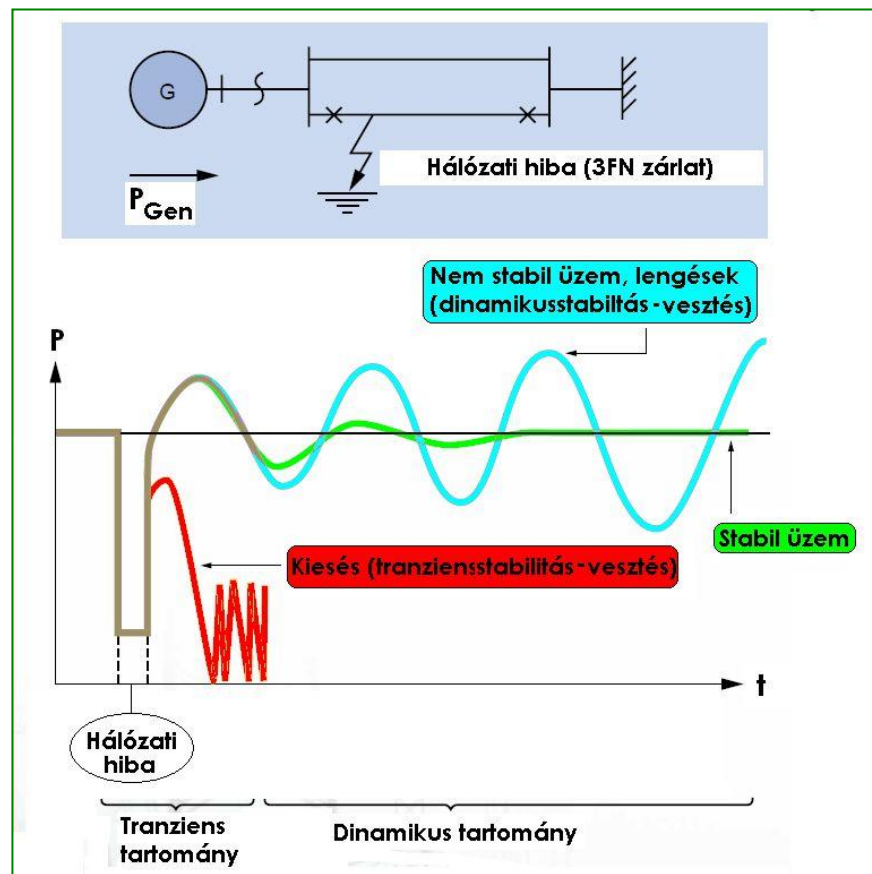
**Spanyol erőművi kiesés,  
a libikóka hatás és a magyar VER helyzetének megváltozása**

# Erőművi lengéscsillapítás fontossága

X



UCTE – 1981. december 30.



Erőművi gépegység üzemé hálózati hiba esetén

Az önmagától felgerjedő lengések veszélyeztetik a VER stabil üzemét.

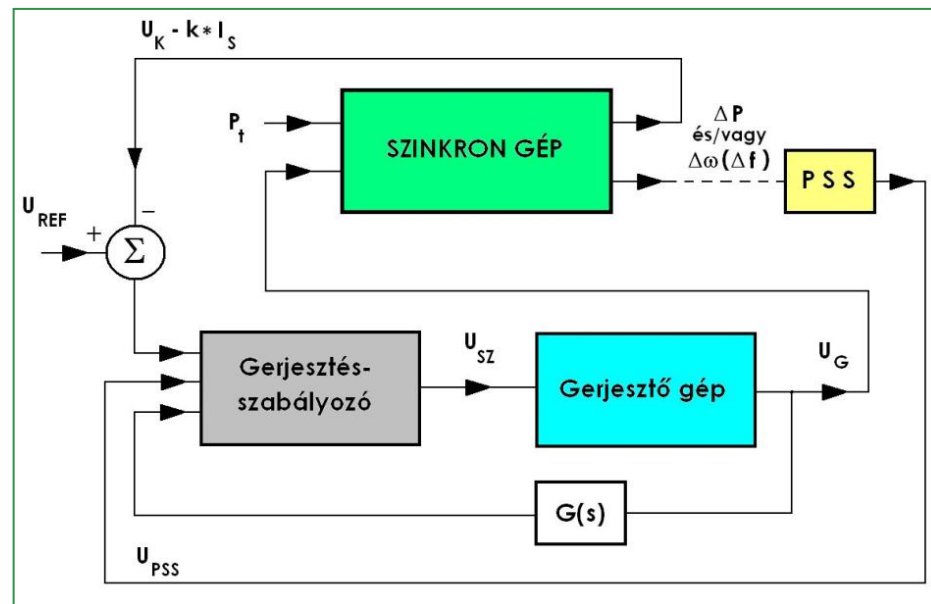
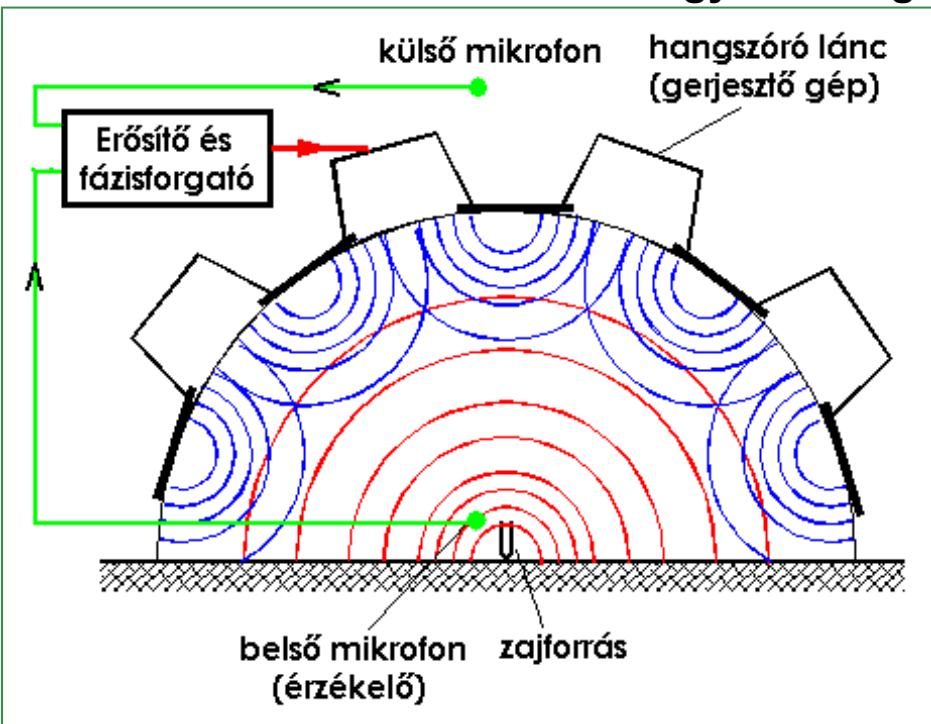
A lengéscsillapítás hatékonyságának folyamatos vizsgálata ↔ WAMS (Wide-Area Monitoring System).

# A PSS funkció működésének alapjai



**PSS - Power System Stabilizer (erőművi lengéscsillapítás) feladata, működési alapjai:**

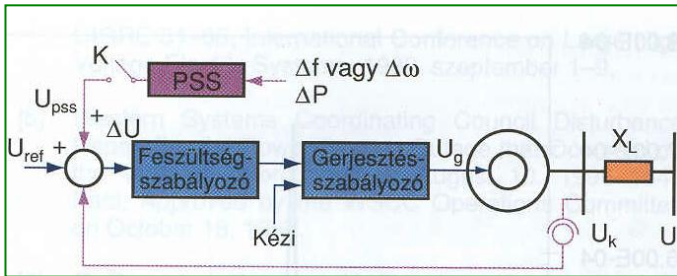
A PSS működését egy (nem kitalált!) hasonló feladat megoldásával világítjuk meg: fel kell bontani az úttestet a Buckingham palota előtt légkalapáccsal és a zaj- és porszenyeződést a minimálisra kell csökkenteni. Egy lehetséges megoldást mutat az ábra:



A zajforrás a légkalapács, ennek erőművi gép esetén a hálózathoz, valamint a kooperáló egységek felől érkező feszültség és/vagy frekvencia változások felelnek meg. A belső mikrofon megfelelője egy érzékelő, amely annak a jelnek a változását méri, amelyet a {PSS+gerjesztés-szabályozó} rendszerrel csillapítani akarunk. Az erősítőnek a {PSS+gerjesztésszabályozó} rendszer felel meg, míg a hangszóró lánc megfelelője a gerjesztő gép.

# A PSS funkció működésének alapjai

X



A mechanikai rendszer a következőképpen működik:  
a belső mikrofon veszi a légkalapács által kibocsátott zajt.  
Az erősítő ennek teljesítményszintjét nagyságrendekkel  
megemeli és a beérkező jelet **közel 180°-kal** elfordítja.

(Ebben az esetben az erősítő kimenő jelét siettetni kell, mert a hanghullámoknak időre van szükségük ahhoz, hogy a belső mikrofonhoz elérjenek. Ezt pedig ki kell kompenzálni valahogyan.)

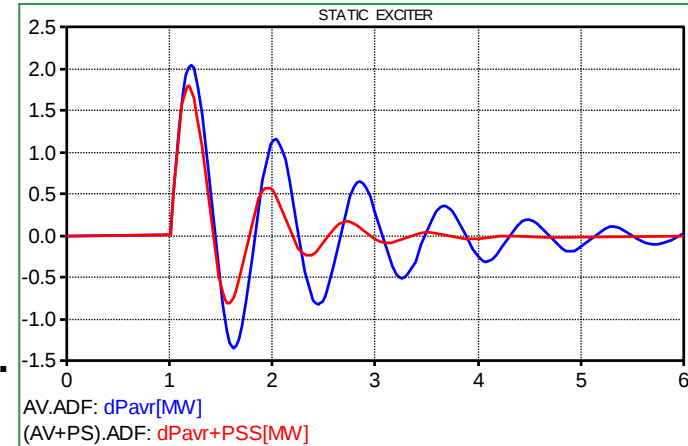
A légkalapács és a hangszóró lánc által keltett hanghullámok egymást kioltó hatása miatt a vázolt módszerrel a sátoron kívüli zaj nagy mértékben csökkenthető.

A gerjesztésszabályozóba történő beavatkozásnál ugyanezt az elvet követjük.

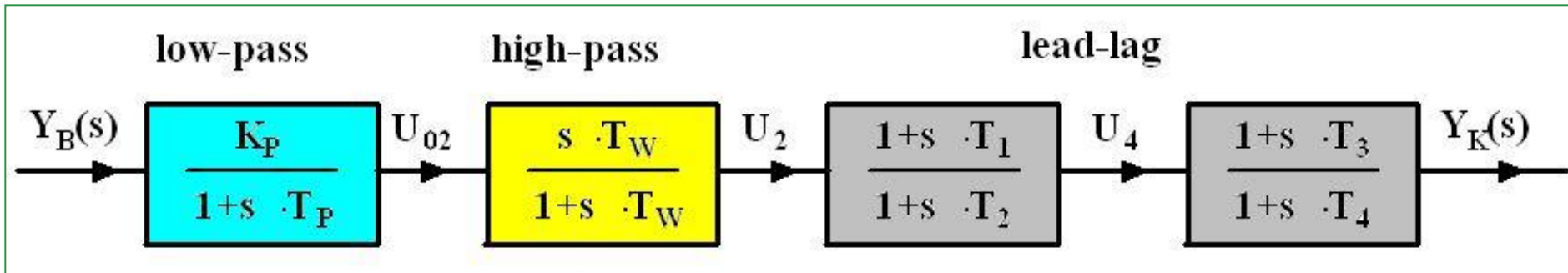
Ha a PSS-t az elektromechanikai sajátfrekvenciás lengések csillapítására hangoljuk, akkor a csillapítani kívánt állapotváltozó 180°-os elforgatása jó közelítéssel megfelelő.

(Ugyanis, ha egy erőművi gépegységet állandó amplitúdójú szinusz függvény szerinti zavaró jel ér ezen a frekvencián (cc. 1,2 Hz), akkor a tranziensek lecsillapodása után az összes állapotváltozó és a zavaró jel közel azonos fázisban fog lengeni az adott frekvencián.)

A mechanikai analóg rendszernél a külső mikrofon által felvett jel szabályozza a jelformáló egység (erősítő és fázisforgató) erősítési tényezőjét. Ezt a funkciót azonban a PSS-ek ilyen módon nem teljesítik.



## A „hagyományos” PSS szabályozástechnikai modellje

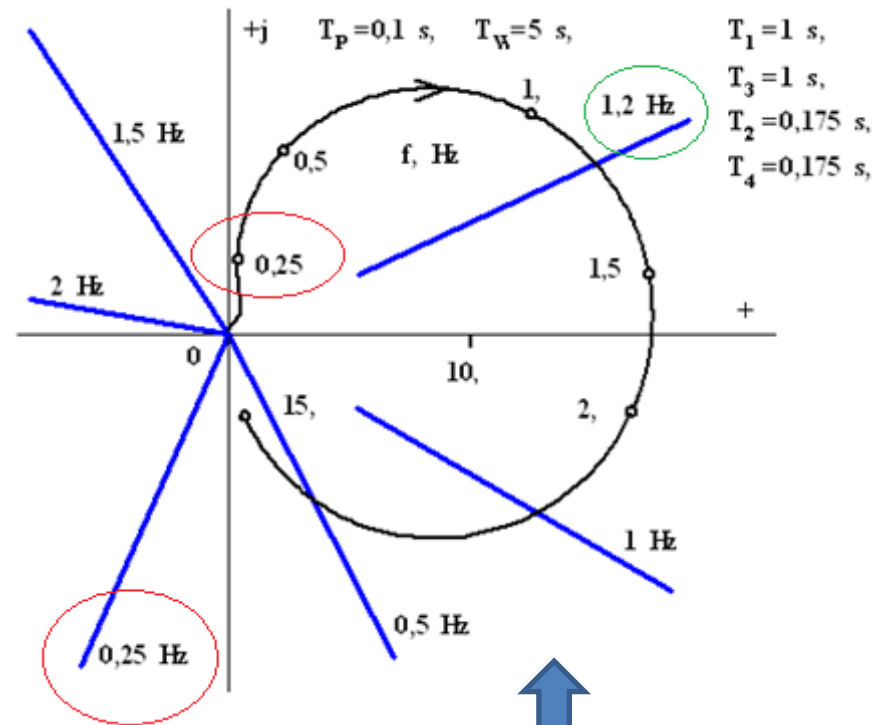


Az alkalmazott PSS struktúrák az elmúlt fél évszázadban alakultak ki.

Elemeiknek jól körülhatárolt funkciója van:

- **Aluláteresztő szűrő** (low pass filter): szerepe, hogy a nagyfrekvenciás zavaró jeleket ne engedje át (megfelelően csillapítsa a 2 Hz feletti frekvenciájú jeleket, ne engedje át a turbina-generátor tengely első torziós sajátfrekvenciájú lengéseinek a tartományába eső – kb. 15 Hz frekvenciájú – lengéseket).
- **Felüláteresztő szűrő** (high pass filter): szerepe, hogy a DC jeleket ne engedje át (azonban az u.n. „global-mode” frekvenciájú jeleket át kell engednie, ha ezeknek a hatását is csillapítani kívánjuk – kb. 0,025 Hz).
- **Fázisforgató egység(ek)** (lead-lag unit): ezekkel érhető el, hogy a PSS kimenőjele a megfelelő fázisszögben kerüljön a ( $\Sigma$ ) "mixing-point"-ra.

# A PSS funkció működésének alapjai

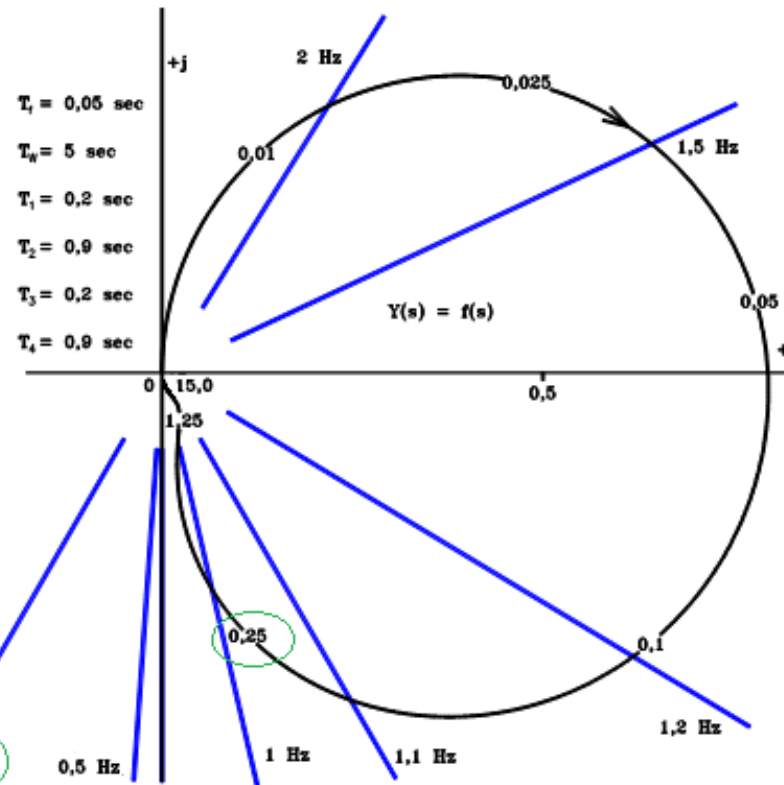


Az elektromechanikai önfrekvenciára hangolt PSS Nyquist diagramja a PSS-től megkívánt fázisforgatás értékek feltüntetésével.

Nem engedhető meg, hogy a PSS-től megkívánt és a ténylegesen megvalósított fázisforgatás ellenfázisban legyen a 0,5 Hz alatti frekvencia tartományban! → Ezért a PSS időállandóit meg kell változtatni.

A hangolási frekvencia a rendszerközi lengések legmeghatározóbb sajátfrekvenciája (cc. 0,25 Hz).

- A  **$f < 0,5$  Hz**: a PSS-től megkívánt, és ténylegesen megvalósított fázisforgatás **közel ellenfázisban** van! (A PSS – ezeken a frekvenciákon – nem csillapítja a hatásos villamos teljesítménylengéseket.)
- Az első torziós sajátfrekvencia környezetében (15 Hz): a PSS kimenőjele a maximális érték kb. 18 %-a. (Megengedhetetlenül nagy lenne, ha a szabályozó statikus lenne. A forgó gépes gerjesztő azonban integráló elem lévén az ilyen frekvenciájú zavaró jeleket – gyakorlatilag – nem engedi át.)



# A PSS funkció működésének alapjai



## A megkívánt fázisforgatás megállapítása (p-bemenetű PSS esetén)

Egy adott struktúrájú PSS hangolására számos módszer ismeretes az irodalomból. Mint a jelen esetre legkézenfekvőbb megoldást az ABB filozófiáját fogadjuk el.

Egy erőművi blokk állapotváltozói valamely zavaró jel hatására lengéseket végeznek. A zavaró jelet mesterségesen is előállíthatjuk. Például az alábbi egyenlet által definiált harmonikus függvény szerint választva a zavaró jelet a tranzien্স folyamatok lecsillapodása után az összes befolyásolt állapotváltozó ezzel a frekvenciával fog lengeni.

$$U_z(t) = U_{z\max} \cdot \sin(\Omega \cdot t + \varphi_z) \quad [\text{v.e.}]$$

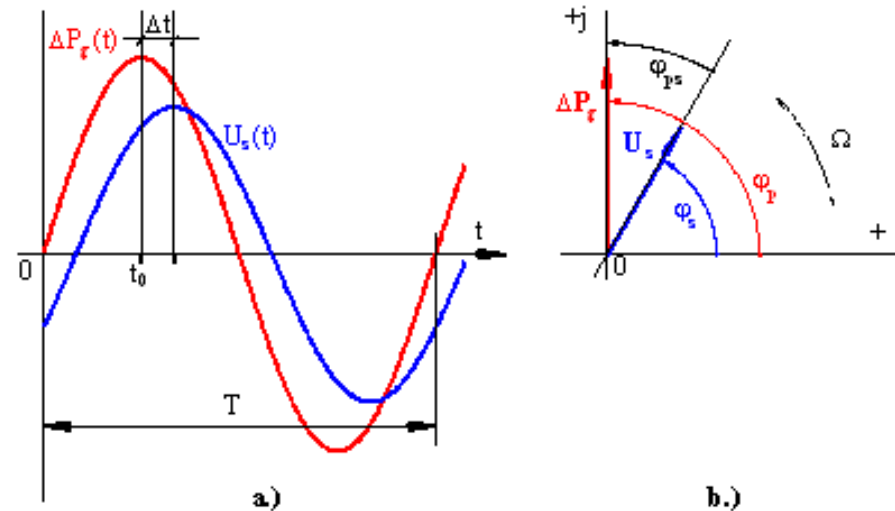
$$\Delta P_g(t) = \Delta P_{g\max} \cdot \sin(\Omega \cdot t + \varphi_p) \quad [\text{v.e.}]$$

$U_z(t)$  ill.  $U_{z\max}$ : a zavaró jel időfüggvénye ill. annak maximális értéke [v.e.],  
 $\Delta P_g(t)$  ill.  $\Delta P_{g\max}$ : a generátor wattos teljesítménye megváltozásának időfüggvénye ill. annak maximális értéke [v.e.],  
 $t$ : a független változó, az idő [sec],  
 $\Omega$ : a zavaró jel körfrekvenciája [sec<sup>-1</sup>],

$$\Omega = 2 \cdot \pi \cdot F \quad [\text{v.e.}]$$

$F$ : a zavaró jel frekvenciája [Hz],  $0,02 \leq F \leq \text{cc.}15$ ,

$\varphi_z$ : az  $U_z$ -nek a  $t = 0$  pillanathoz tartozó szöge [fok],  
 $\varphi_p$ : a  $\Delta P_g$ -nek a  $t = 0$  pillanathoz tartozó szöge [fok],



Mivel a PSS p-bemenetű, vagyis a bemenő jele a  $P_g$  időfüggvény, elég csak az  $U_z$  és a  $\Delta P_g$  jel közötti fázisszöget vizsgálni.

$$\varphi_{pz} = \varphi_p - \varphi_z \quad [\text{rad}]$$

# A PSS funkció működésének alapjai



Az  $U_z(t)$  zavaró jelet a gerjesztésszabályozó összegző ( $\Sigma$ ) pontjára („mixing point”) vezetjük.

Meghatározzuk a  $\varphi_{pz}$  értékét.

A PSS működésének elve a következő:

Az  $U_z(t)$  hatására fellépő  $\Delta P_g(t)$  lengések a két állapotváltozó között egyértelmű kapcsolatot teremtenek. Ennek alapján feltételezzük, hogy ez a kapcsolat akkor is fennáll, ha a  $\Delta P_g(t)$  lengéseket valamely külső zavaró jel hozza létre. Így tehát, ha a  $\Delta P_g(t)$  jelet  $-\varphi_{pz}$  fáziseltolással, és megfelelő amplitúdóval, az  $U_z(t)$  zavaró jel helyére vezetjük, akkor a  $\Delta P_g(t)$  lengések amplitúdóját hatékonyan csökkenthetjük.

**A  $\varphi_{pz}$  tényleges meghatározása:** A két függvény közötti fáziseltolást a maximumaik közötti időkülönbség alapján határozzuk meg, amely a gyakorlati tapasztalatunk szerint sokkal inkább állandó, mint a nulla-átmenetek közötti időkülönbség.

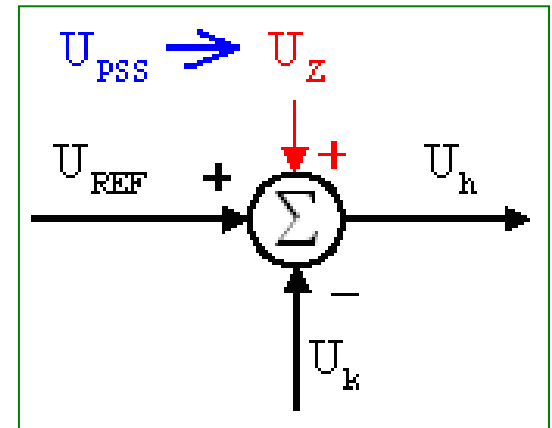
A szinusz függvény akkor éri el maximumát, ha a függvény argumentuma  $(\pi/2 \pm 2\pi)$ .

$$\Omega \cdot t_0 + \varphi_p = \frac{\pi}{2} \text{ [rad]}$$

$$\varphi_{pz} = 2 \cdot \pi \cdot F \cdot \Delta t \text{ [rad]}$$

$$\Omega \cdot (t_0 + \Delta t) + \varphi_z = \frac{\pi}{2} \text{ [rad]}$$

$$\varphi_{PSS} = -\varphi_{pz} \text{ [rad]}$$



A gerjesztés szabályozó „mixing point” ( $\Sigma$ ) pontja a PSS hangolásának szemléltetéséhez.

( $U_{PSS}$ : a PSS kimenő jele [v.e.],  
 $U_h$ : a gerjesztés szabályozó bemenő jele [v.e.]

**Az adott frekvenciához tartozó, a PSS-től megkívánt fázisforgatás számértéke független attól, hogy milyen struktúrájú PSS-t alkalmazunk.**

# A PSS funkció működésének alapjai (PSS típusok)



As mentioned before, a PSS detects the changing of generator output power and controls the excitation value.

The type of PSS is identified by the detecting signal. The most simple and typical type is  $\Delta P$  input type.

And, recently  $\Delta\omega$  input type and/or  $\Delta f$  input type PSS also adopted in order to improve a stability of inter-area mode due to the recent increase in power system and power re-routing. Each features are as follows;

## Local Mode Power Oscillation

- Individual generator oscillates against the system.
- Frequency is approx. 1 Hz.

- PSS of single input, such as  $\Delta P$ ,  $\Delta\omega$  and  $\Delta f$ , etc.
- $\Delta P$  type of PSS is more effective.

## Inter-area (Long Cycle) Mode Power Oscillation

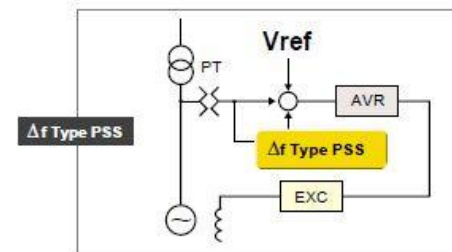
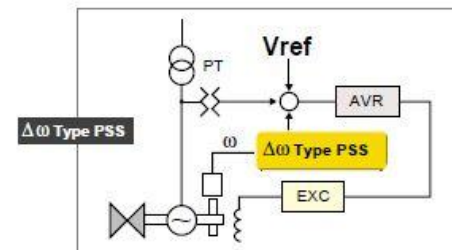
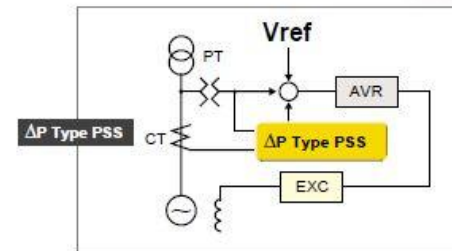
- The whole system oscillates with long-distance and large power transportation system connection.
- Frequency is 0.2 to 0.5 Hz

- PSS of single input, such as  $\Delta P$ ,  $\Delta\omega$  and  $\Delta f$ , etc.
- $\Delta\omega$  or  $\Delta f$  type of PSS is more effective.

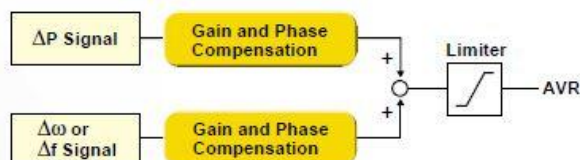
## Complex Power Oscillation

- Complex power oscillation mode, such as local mode + inter-area mode

- Multiple input PSS is more effective.
- $\Delta P + \Delta\omega$  type or  $\Delta P + \Delta f$  type of PSS.



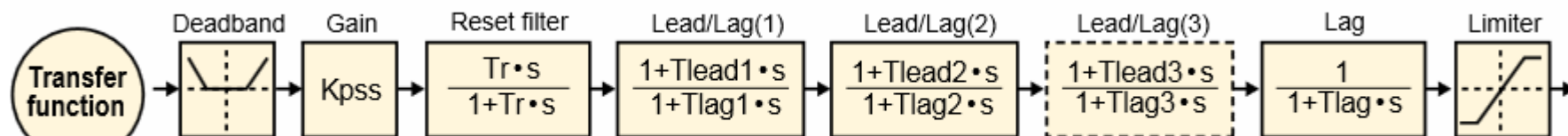
## Multiple Input Type PSS



# A PSS funkció működésének alapjai (PSS típusok)

X

## Incase of Analogue type

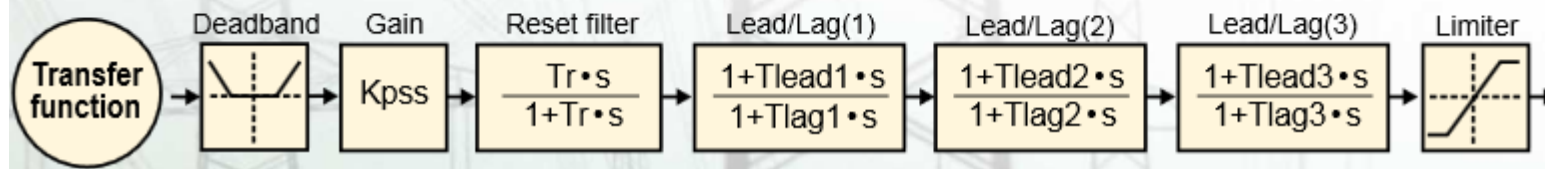


Remarks) In case that Lead/Lag(3) is necessary, two PSS auxiliary cards(SPST) are used.

## Incase of Digital type

The PSS of digital type is realized its functions by the software. Generally, it is computed in same CPU of D-AVR. The basic functions are as same as analogue type. Minor differences are as follows;

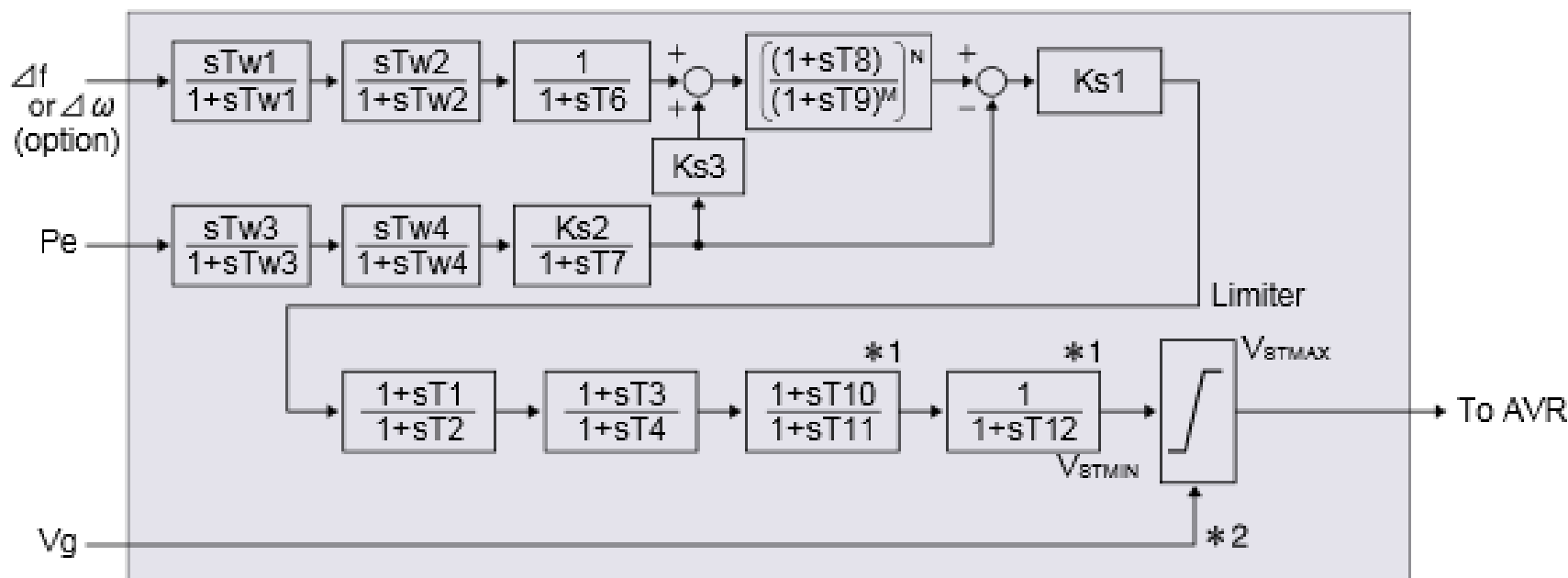
- (1) Fault detection : It is detected by self diagnostic function of Digital equipment.
- (2) Lag : In case of analogue type, there is a Lag function in order to cut the noise due to each circuits.  
However, in case of digital type, it is not necessary, because the noise is cut on input-signal-detector.



## Egybemenetű PSS

# A PSS funkció működésének alapjai (PSS típusok)

X



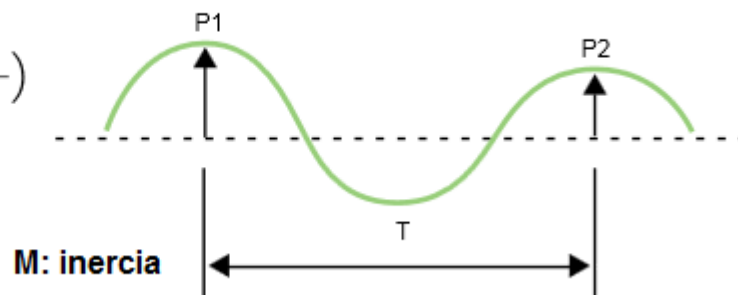
\* 1 : Added to PSS2A model

\* 2 : If generator voltage is continuously kept higher than 105% or lower than 95% of rated voltage, generator voltage is automatically reduced within 95 to 105% by changing limit value after time delay.

## Két-bemenetű PSS

Csillapító nyomaték meghatározása (mérési eredményekből számítható):

$$D = -\frac{2M}{T} \cdot \ln\left(\frac{P2}{P1}\right)$$

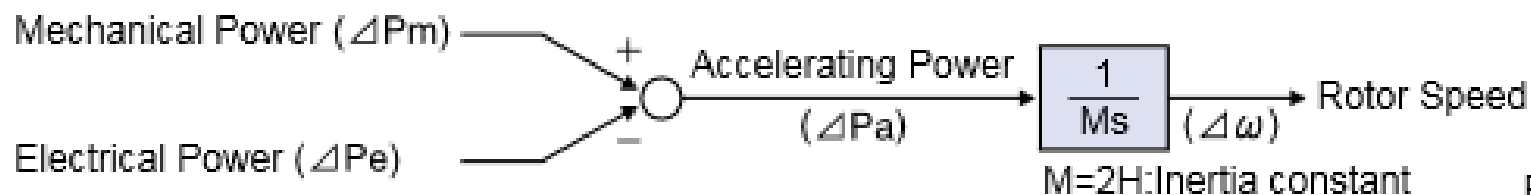


**Működési  
hatékonyság  
meghatározása  
(10, vagy annál  
nagyobb  
növekedés  
megfelelő)**

# A PSS funkció működésének alapjai (PSS típusok)

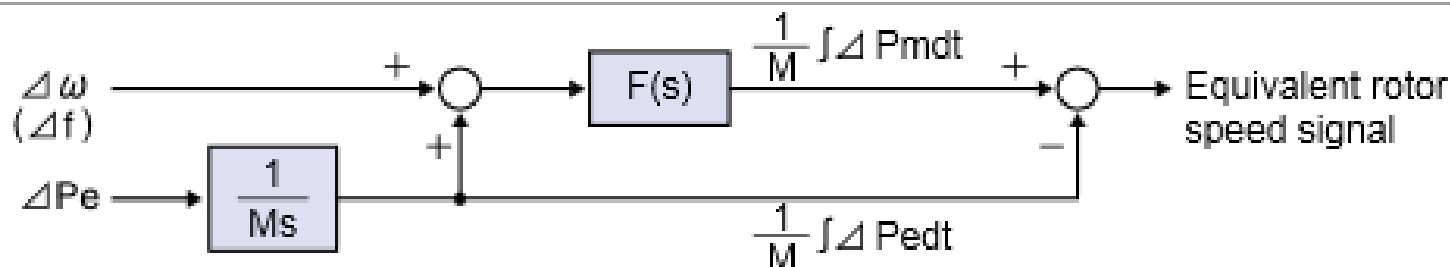
X

The relation of change among mechanical power, electrical power, accelerating power and rotor speed can be illustrated as Fig.1 from the swing equation where the integral of accelerating power is equal to rotor speed.



Thus, Integral of mechanical power is derived as the following equation from measured electrical power and rotor speed (or frequency).  $\int \Delta P_m dt = \int \Delta P_e dt + M \Delta \omega$

The resultant block diagram of sensing input signal can be illustrated as Fig.2. Thus, the input signal of "Integral of Accelerating Power Type PSS" is equivalent to rotor speed.



Where,  $F(s)$  is transfer function of the filter for attenuating the torsional oscillation.



**MITSUBISHI**

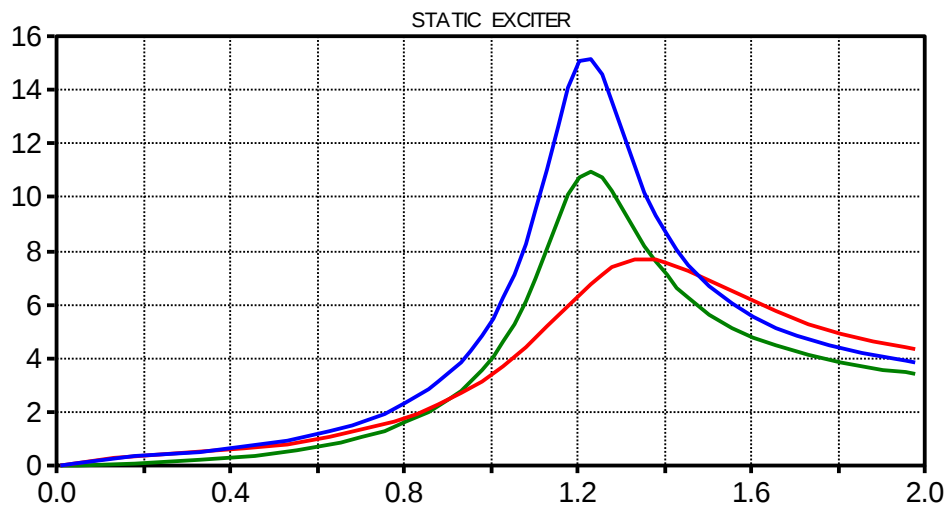
Power System  
Stabilizer (PSS)

A gyorsító nyomaték és a forgórész szögsebesség előállítása



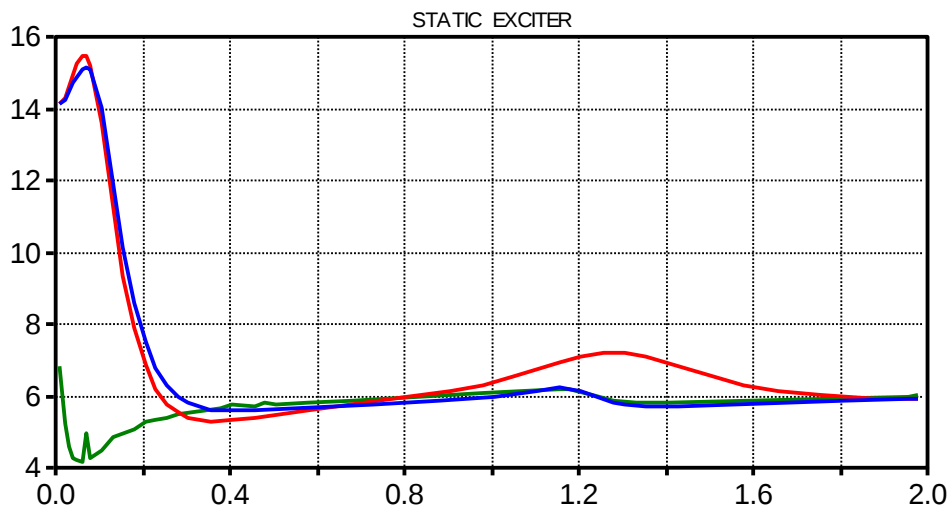
# Ellenőrző mérési lehetőségek

X



**A PSS működése a hatásos teljesítménylengéseket csillapítja, ugyanakkor meddőteljesítmény többletlengésekkel jár.**

**Ez korlátozza a lengéscsillapítás hatékonyságát.**

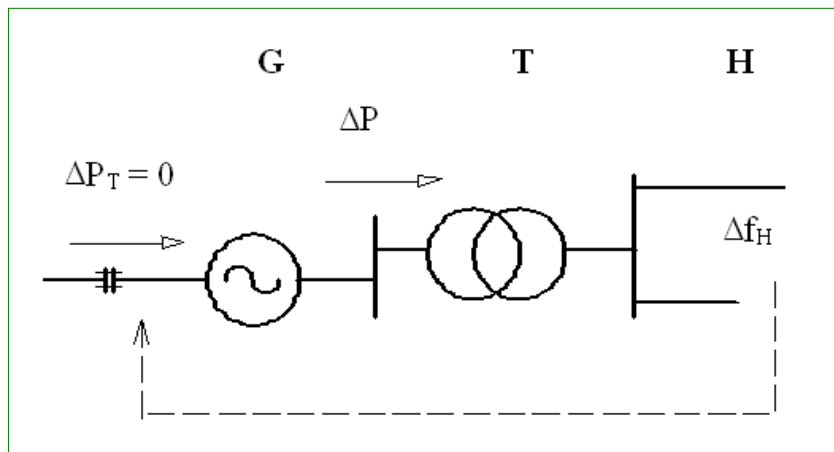


MAN.ADF:  $dQ_{man}[Mvar]$   
AVR+PSS.ADF:  $dQ_{avr+PSS}[Mvar]$   
AVR.ADF:  $dQ_{avr}[Mvar]$

# Ellenőrző mérési lehetőségek (helyszíni, üzem alatti mérések)



## Helyszíni, üzem alatti mérések - Fourier transzformáció módszerének használata



Tekintsük az {egy erőművi gépegység (G, T) - nagy hálózat (H)} esetét állandósult üzemállapotban ( $\Delta P_T = 0$ ).

A hálózatról érkező zavaró jel:

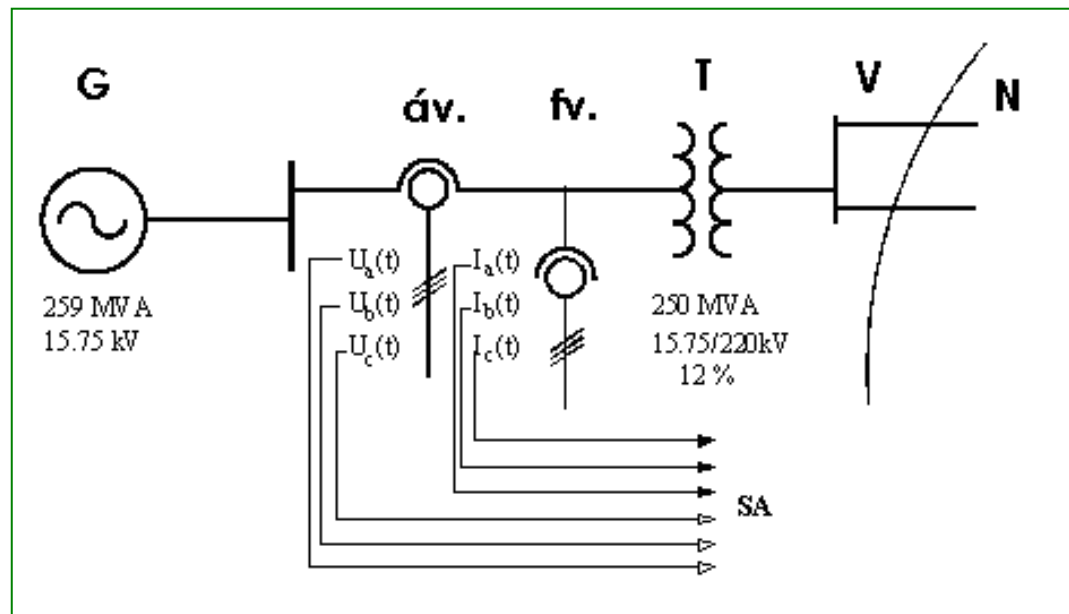
- a környezeti frekvencia (~85%)
- feszültség megváltozása (~15%)

Helyszíni mérés keretében rögzítésre kerülő mennyiségek:

- fázisfeszültségek,
- fázisáramok,
- frekvencia.

Származtatott mennyiségek:

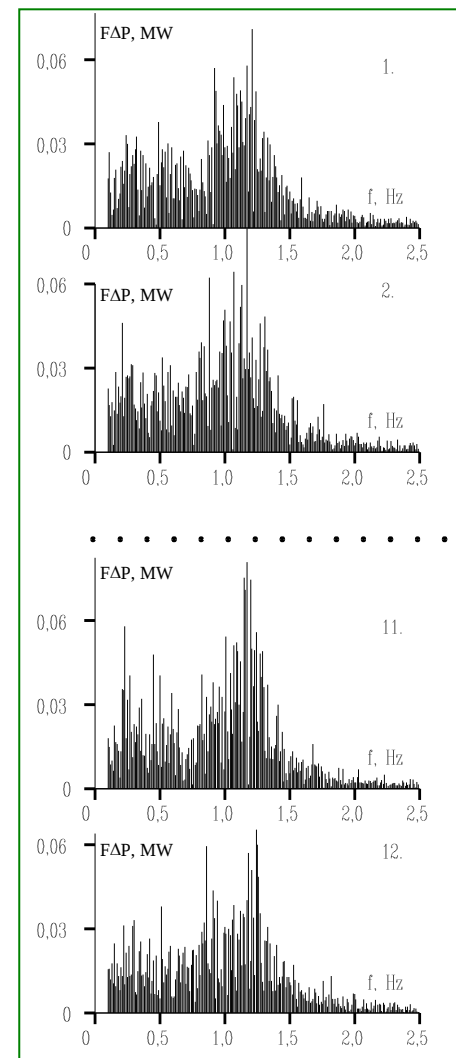
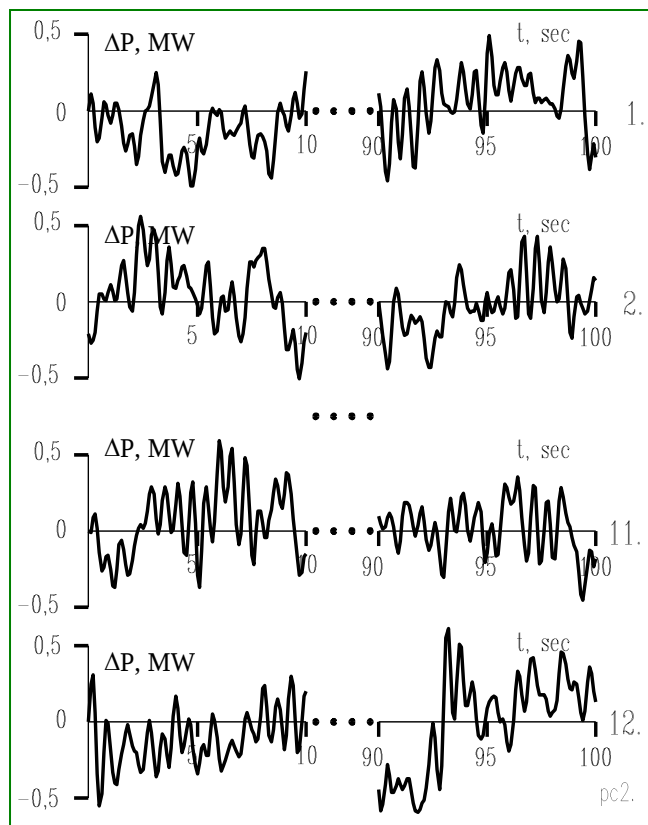
- hatásos villamos teljesítmény,
- meddőteljesítmény.



# Ellenőrző mérési lehetőségek (helyszíni, üzem alatti mérések)



Zavarójelnek tekintve a környezeti frekvencia megváltozást a generátor kapcsain  $\Delta P(t)$  mérhető, amelyet 100 s-os intervallumokra osztunk (ezt tekintjük a Fourier transzformáció periódusidejének) és FFT-t (Fast Fourier) végzünk.



**Erőművi blokk hatásos villamos teljesítményének időfüggvénye 12 egymást követő időintervallumban. A mintavétel frekvenciája: 10 Hz. A mérések időintervalluma: 100 másodperc.**

**Az időfüggvények Fourier spektruma. (Az egyes időfüggvényeket és a hozzájuk tartozó Fourier spektrumokat sorszámaik azonosítják.)**

# Ellenőrző mérési lehetőségek (helyszíni, üzem alatti mérések)



**Definiáljuk a következő mennyiségeket:**

$$SF = \sqrt{\sum_{i=11}^N P_i^2} \text{ [MW]}$$

**P<sub>i</sub>:** az *i*. spektrum vonal nagysága [MW],

**SF:** a *k*. időintervallumban mért és a 0,1-2,5 Hz frekvenciasávba eső hatásos villamos teljesítmény [MW],

**N:** a spektrumvonalak száma (= 250).

(A mérési frekvencia 10 Hz. Képezzük 10 minta átlagát és ezt tekintjük egy mérési eredménynek, mp-enként 10 minta áll rendelkezésre.)

**Fast Fourier Transform of a Complex Valued Sequence**  
digitális számítógépi program lefuttatása után 0,01 Hz-enként kapunk egy teljesítmény spektrum vonalat. A frekvencia határ 2,5 Hz, így N = 250 adódik.

$$S\Delta F = \sqrt{\sum_{i=12}^N \left( P_i^2 - P_{i-1}^2 \right)} \text{ [MW]}$$

**SΔF** mennyiség jellemző arra, hogy az egyes intervallumok időfüggvényeinek Fourier spektrumi mennyire térnek el egymástól.

A táblázat adatai mutatják, hogy elegendően nagy számú intervallum P<sub>i</sub> mennyiségeinek figyelembevételével stabil Fourier spektrum állítható elő.

$$P_i = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k P_j \text{ [MW]} \quad k = 1, \dots, 12$$

|    | SF<br>[MW] ↓ <sub>j</sub> | SΔF<br>[MW] ↓ <sub>j</sub> | SF <sub>átl</sub><br>[MW] ↓ <sub>k</sub> | SΔF <sub>átl</sub><br>[MW] ↓ <sub>k</sub> |
|----|---------------------------|----------------------------|------------------------------------------|-------------------------------------------|
| 1  | 0,197                     | 0,113                      | 0,197                                    | 0,113                                     |
| 2  | 0,130                     | 0,089                      | 0,154                                    | 0,074                                     |
| 3  | 0,129                     | 0,085                      | 0,139                                    | 0,059                                     |
| 4  | 0,142                     | 0,079                      | 0,136                                    | 0,048                                     |
| 5  | 0,190                     | 0,116                      | 0,143                                    | 0,045                                     |
| 6  | 0,131                     | 0,090                      | 0,138                                    | 0,039                                     |
| 7  | 0,138                     | 0,091                      | 0,136                                    | 0,037                                     |
| 8  | 0,197                     | 0,139                      | 0,141                                    | 0,037                                     |
| 9  | 0,147                     | 0,093                      | 0,140                                    | 0,034                                     |
| 10 | 0,133                     | 0,101                      | 0,137                                    | 0,032                                     |
| 11 | 0,122                     | 0,077                      | 0,134                                    | 0,031                                     |
| 12 | 0,125                     | 0,073                      | 0,132                                    | 0,029                                     |

Minden eredő spektrum vonalat *k* számú vonal átlagaként állítunk elő.

**A helyszíni mérések alapvető célja volt: bemutatni és összehasonlítani a vizsgált erőmű egy meglévő és egy újonnan létesített gerjesztő rendszerének állandósult működését.**

## A mért mennyiségek voltak:

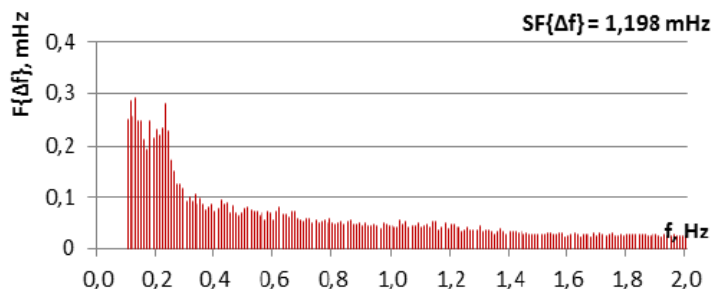
- **$\Delta f$  [mHz]:** a vizsgált gép kapocsfeszültsége frekvenciájának 50 Hz-től való eltérése.
- **$\Delta U_r$ ,  $\Delta U_s$ ,  $\Delta U_t$  [V]:** a vizsgált gép kapocsfeszültségeinek a mérés során felvett átlagos értéktől való eltérése. (A számértékek fázis- feszültséget jelentenek.)
- **$\Delta P$  [MW]:** a vizsgált gép kapcsán mért hatásos teljesítményének a mérés során felvett átlagos értéktől való eltérése. (A számértékek háromfázisú teljesítményt jelentenek.)
- **$\Delta Q$  [MVar]:** a vizsgált gép kapcsán mért meddő teljesítményének a mérés során felvett átlagos értéktől való eltérése. (A számértékek háromfázisú teljesítményt jelentenek.)
- **$SF\{\Delta x\}$  értékek számítása:** az adott időfüggvény Fourier transzformáltjának az egyenlet szerinti értéke (x helyére értelemszerűen f, U, P vagy Q helyettesítendő).

$$SF\{\Delta x\} = \sqrt{\sum_{i=1}^N \Delta x^2}$$

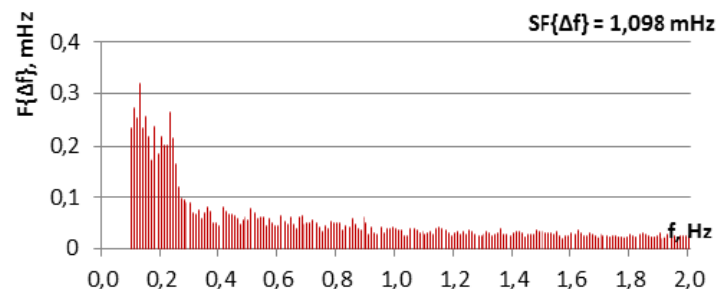
A helyszíni mérést az alábbi üzemállapotokban végeztük el:

- (A.) *MANUAL* → kézi üzemmód,
- (B.) *AVR* → automatikus feszültségszabályozás üzemmód (AVR-Automatic Voltage Regulation),
- (C.) (*AVR+PSS*) → automatikus feszültségszabályozás és a PSS funkció bekapcsolva,
- (D.) (*AVR+U/Q*) → automatikus feszültségszabályozás és a központi erőművi feszültség-meddőteljesítmény szabályozó bekapcsolva,
- (E.) (*AVR+PSS+U/Q*) → automatikus feszültségszabályozás, a központi erőművi feszültség-meddőteljesítmény szabályozó és a PSS funkció bekapcsolva.

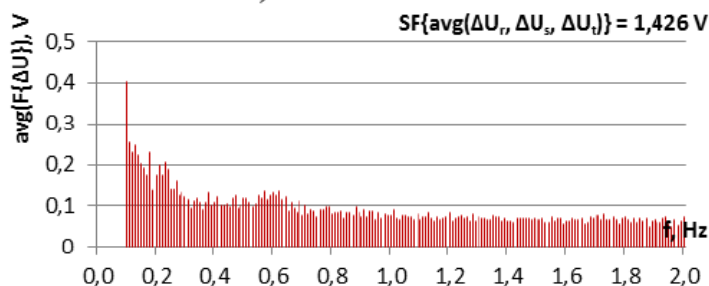
# Ellenőrző mérési lehetőségek (helyszíni, üzem alatti mérések)



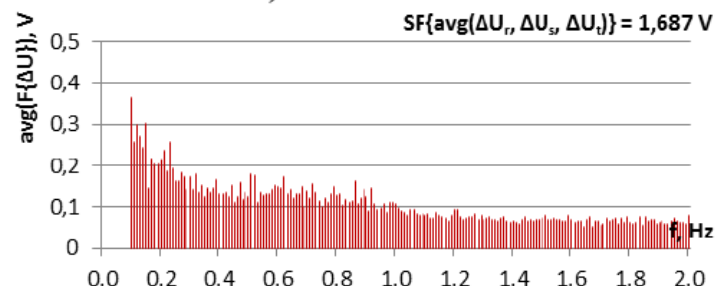
a) frekvenciaváltozás



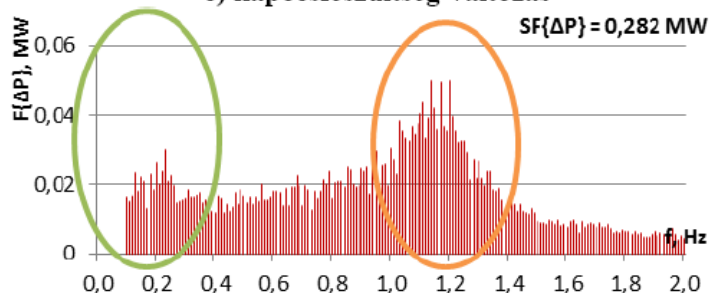
b.) frekvenciaváltozás



c) kapocsfeszültség-változás



d.) kapocsfeszültség-változás



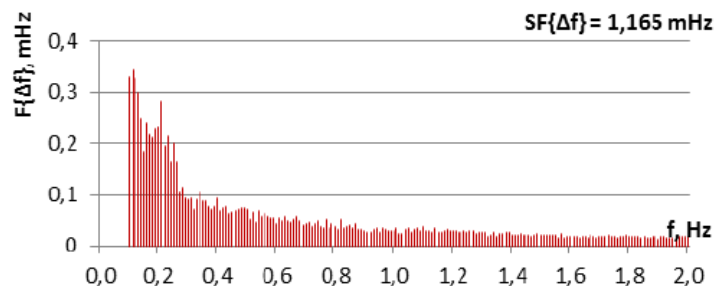
e.) hatásosteljesítmény-változás  
IEEE ST5B gerjesztésszabályozó



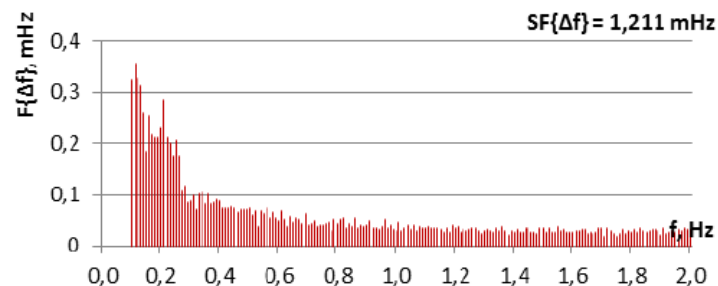
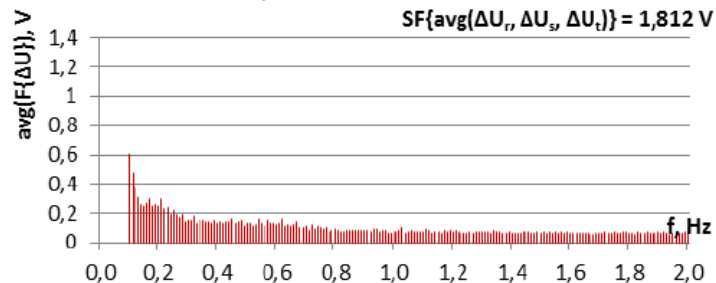
f.) hatásosteljesítmény-változás  
SG-413 gerjesztésszabályozó

**TVV-221 típusú (259 MVA, 15,75 kV) turbógenerátorok kapcsain állandósult állapotban mért állapotváltozók megváltozás időfüggvényeiből képzett Fourier transzformált függvények a gerjesztésszabályozók {AVR+U/Q} üzemállapotában.**

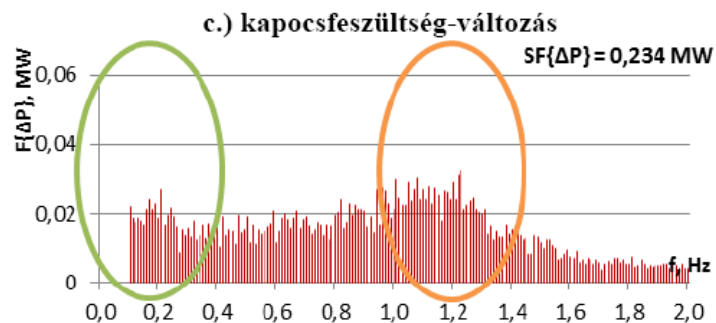
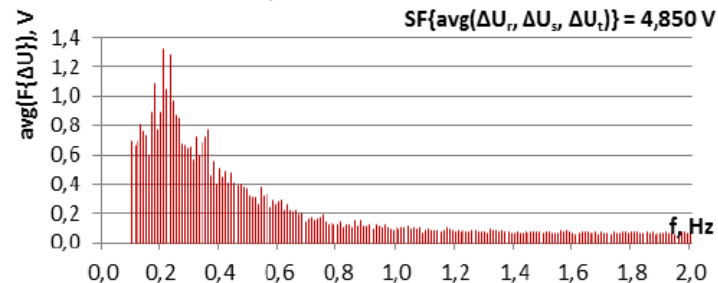
# Ellenőrző mérési lehetőségek (helyszíni, üzem alatti mérések)



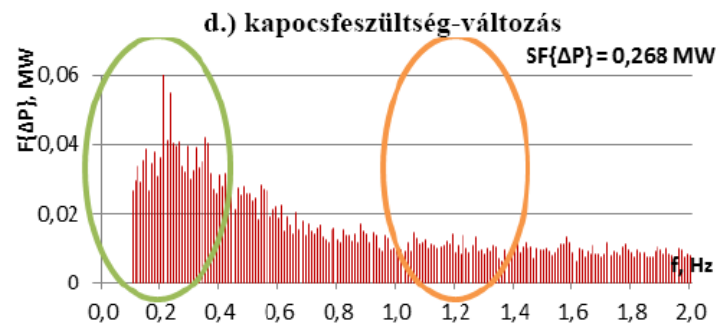
a.) frekvenciaváltozás



b.) frekvenciaváltozás



e.) hatásosteljesítmény-változás  
IEEE ST5B gerjesztésszabályozó



f.) hatásosteljesítmény-változás  
SG-413 gerjesztésszabályozó

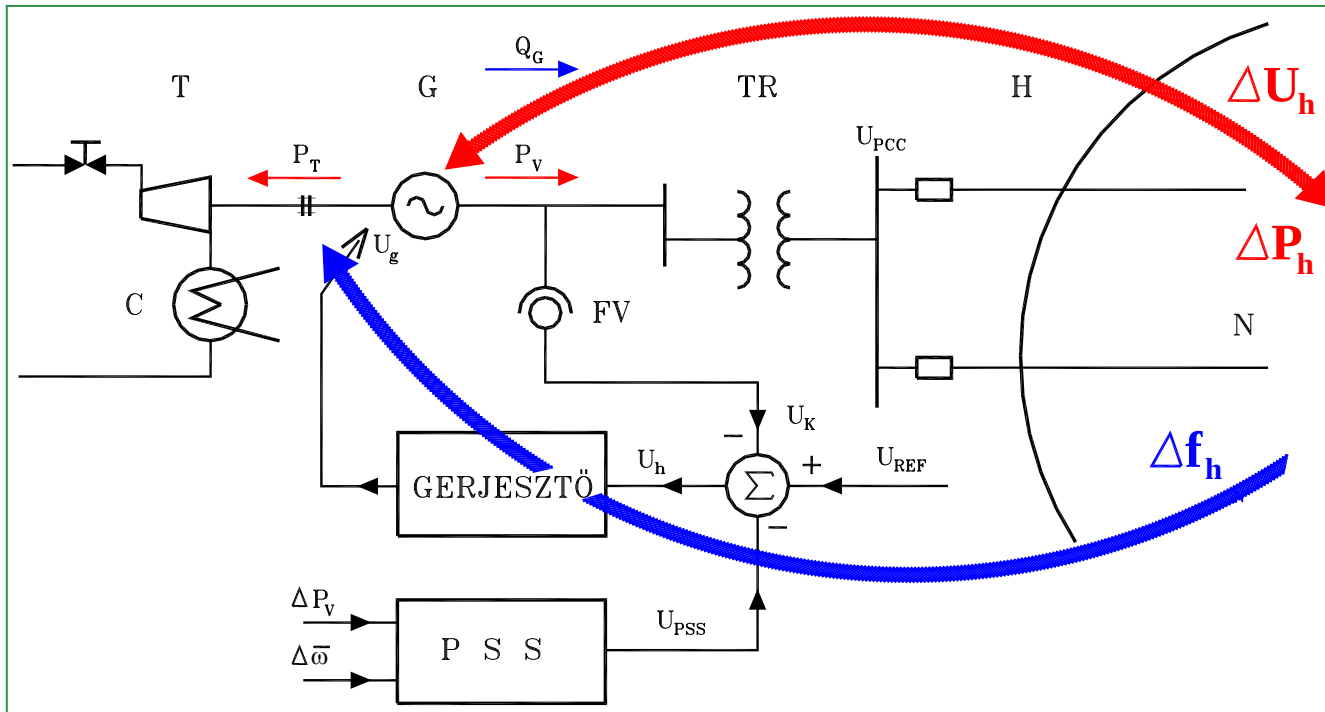
**TVV-221 típusú (259 MVA, 15,75 kV) turbógenerátorok kapcsain állandósult állapotban mért állapotváltozók megváltozás időfüggvényeiből képzett Fourier transzformált függvények a gerjesztésszabályozók {AVR+PSS+U/Q} üzemállapotában.**

# Összefoglalás, az állapotváltozók lengéseinek rendszerszintű vizsgálata



Egy generátor kapocsfeszültségének megváltozása a kapcsolódó hálózat összes csomópontjának a feszültségét **befolyásolja**, amely változások **visszahatnak** a vizsgált generátor kapocsfeszültségére, és ez pedig a szabályozó rendszer szempontjából **pozitív visszacsatolást** jelent. Az állapotváltozók harmonikus lengéseket végeznek és az eredő lengések az összetevők hatására alakulnak ki, tehát erősíthetik vagy gyengíthetik egymás hatását. Ez az interferencia jelenség figyelhető meg állandósult állapotban pl. a ( $\Delta f$ ) időfüggvényben.

A rendszerirányító számára az a kedvező, ha az erőműnek a rendszerhez való kapcsolódási pontján a feszültséglengések ( $\Delta U_{PCC}$ ) amplitúdója **minimális**.



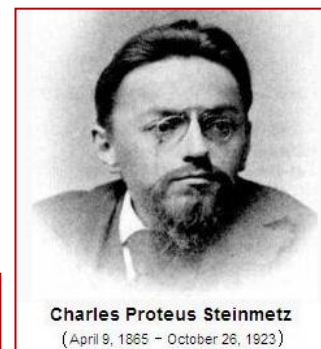
A lengéscsillapítás növelése (a  $\Delta P_G$  csökkentése) a meddőteljesítmény-lengés ( $\Delta Q_G$ ) növekedésével jár.

$\Delta P_v$  és a  $\Delta U_{PCC}$  minimális értéken tartása csak kompromisszummal lehetséges.

# WAMS – Wide-Area Monitoring System (szinkronizált fázor-mérés)



A villamosenergia-rendszer üzemének irányításában és a fellépett üzemzavarok kiértékelésében, előre jelzésében segítséget nyújtó mérési technológia.



Charles Proteus Steinmetz  
(April 9, 1865 – October 26, 1923)

Charles Proteus Steinmetz (1865-1923)  
[Complex Quantities and their use in Electrical Engineering](#); Charles Proteus Steinmetz; Proceedings of the International Electrical Congress, Chicago, IL; AIEE Proceedings, 1893; pp.33-74.

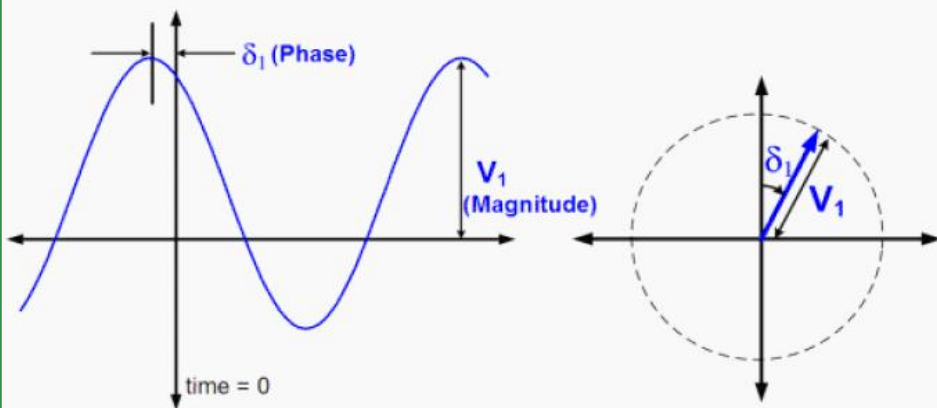
A fázor egy komplex szám, amely reprezentálja a szinuszos feszültség és áram nagyságát és fázisszögét egy adott időpontban a hálózat különböző csomópontjain.

A mérés GPS idő szinkronizálással történik az alállomásokon elhelyezett PMU-k (Phasor Measurement Unit) segítségével. Az adatokat egy központi adatkoncentrátor (PDC - phasor data concentrator) tárolja, amelyhez a kiértékelő program kapcsolódik.

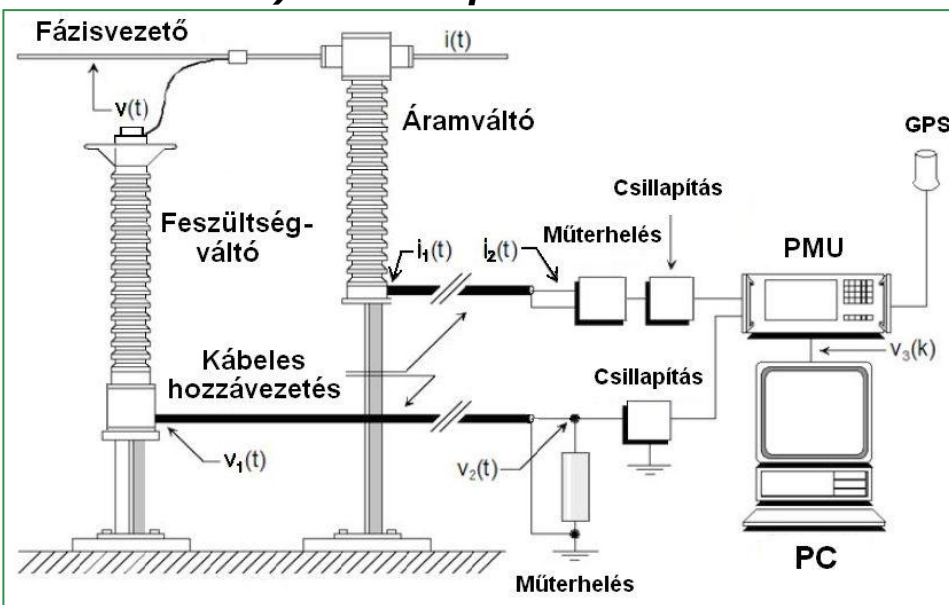


Sinusoidal Waveform

Phasor Representation



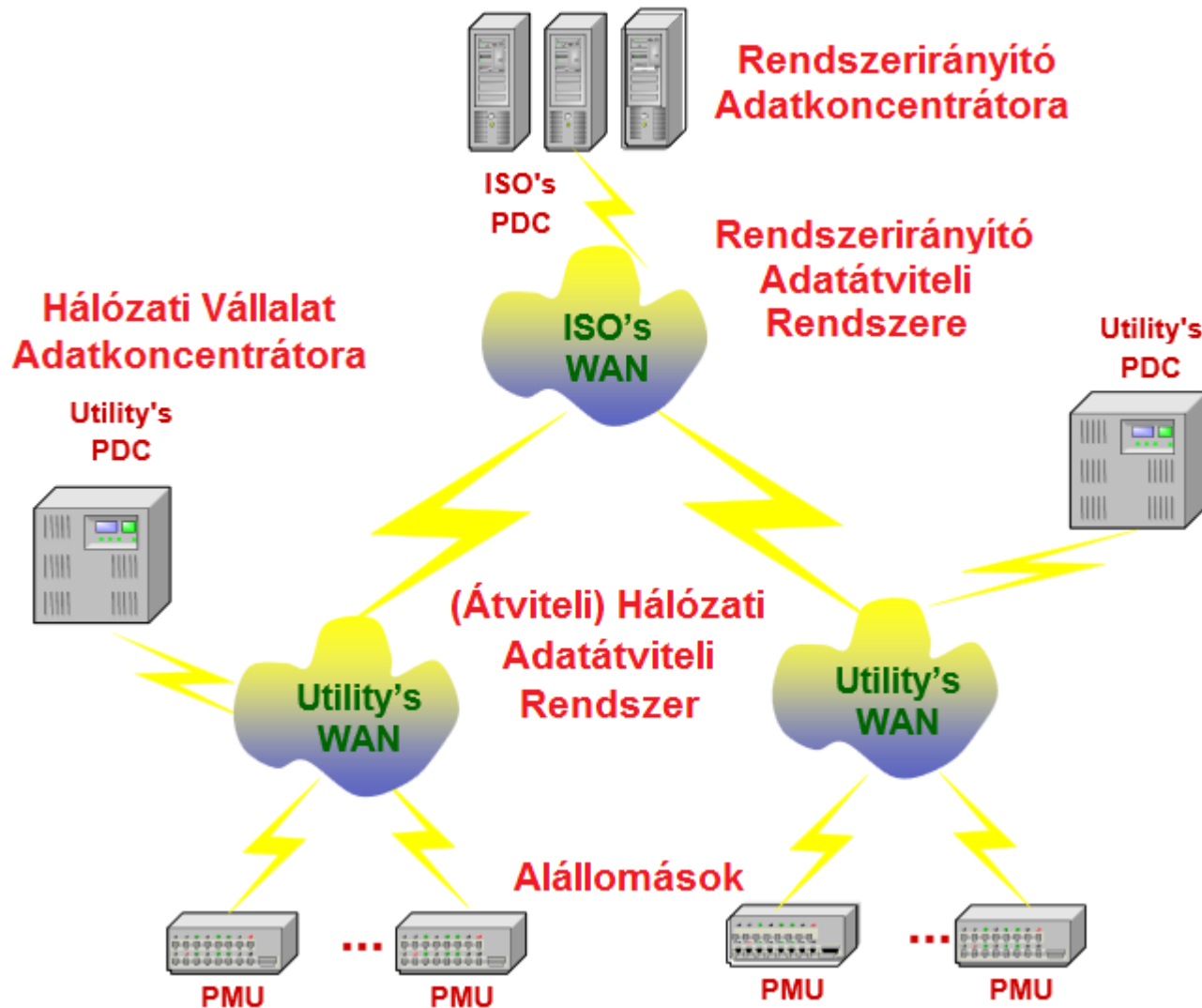
a) Fázor reprezentáció



b) Alállomási PMU csatlakoztatás

# WAMS – Wide-Area Monitoring System (szinkronizált fázor-mérés)

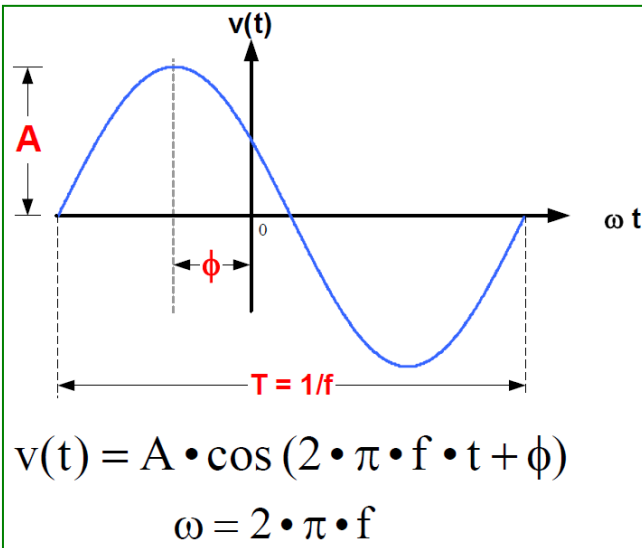
X



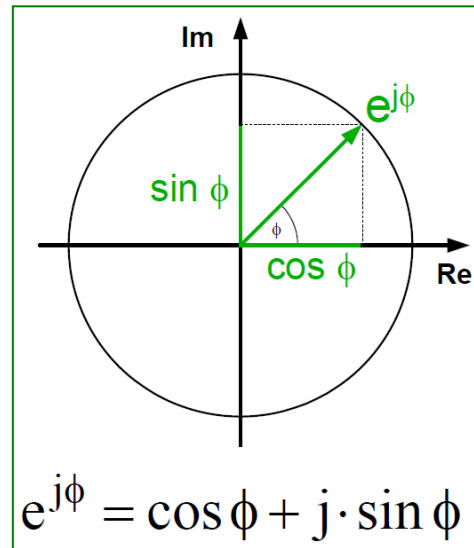
WAMS rendszer adatátvitelle

# WAMS – Wide-Area Monitoring System (szinkronizált fázor-mérés)

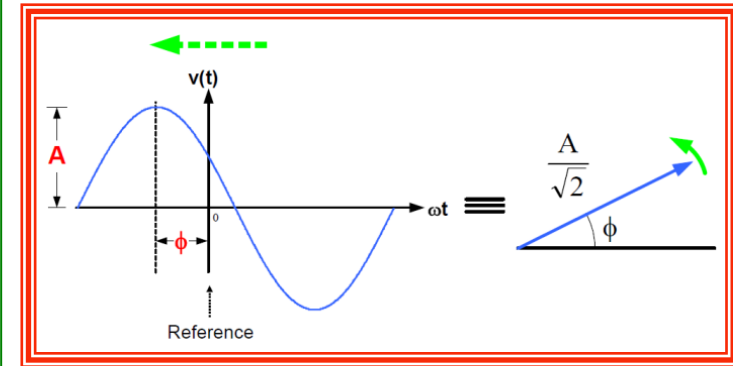
X



1.) Hullámalak



2.) Euler formula



$$\cos \phi = \text{Re}\{e^{j\phi}\}$$

$$v(t) = A \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f \cdot t + \phi)$$

$$v(t) = A \cdot \text{Re}\{e^{j(2 \cdot \pi \cdot f \cdot t + \phi)}\}$$

3.) Komplex exponenciális függvény

$$v(t) = A \cdot \text{Re}\{e^{j(2 \cdot \pi \cdot f \cdot t + \phi)}\}$$

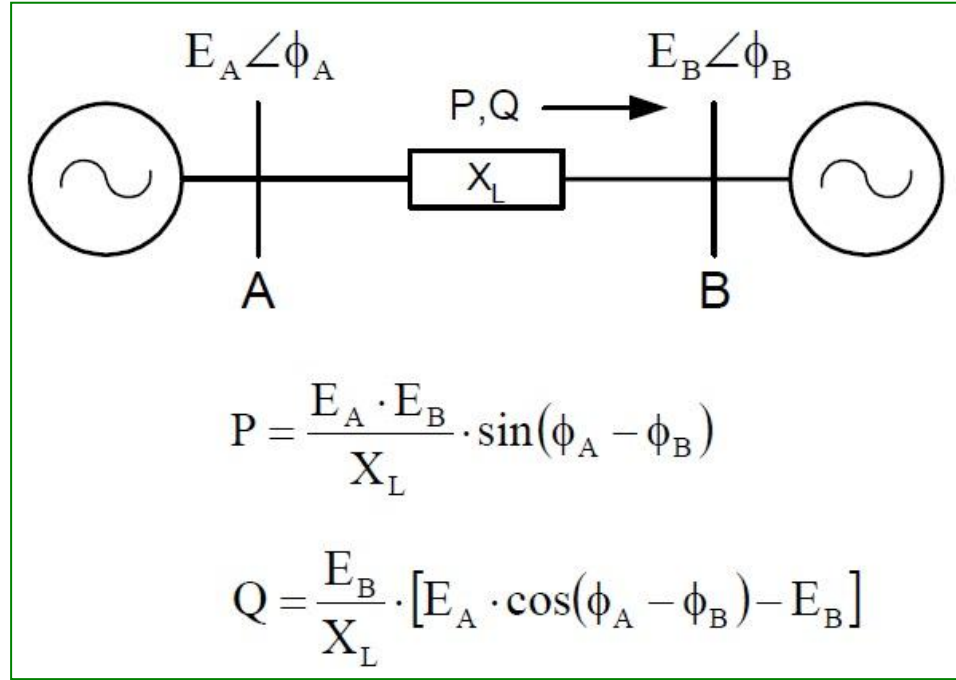
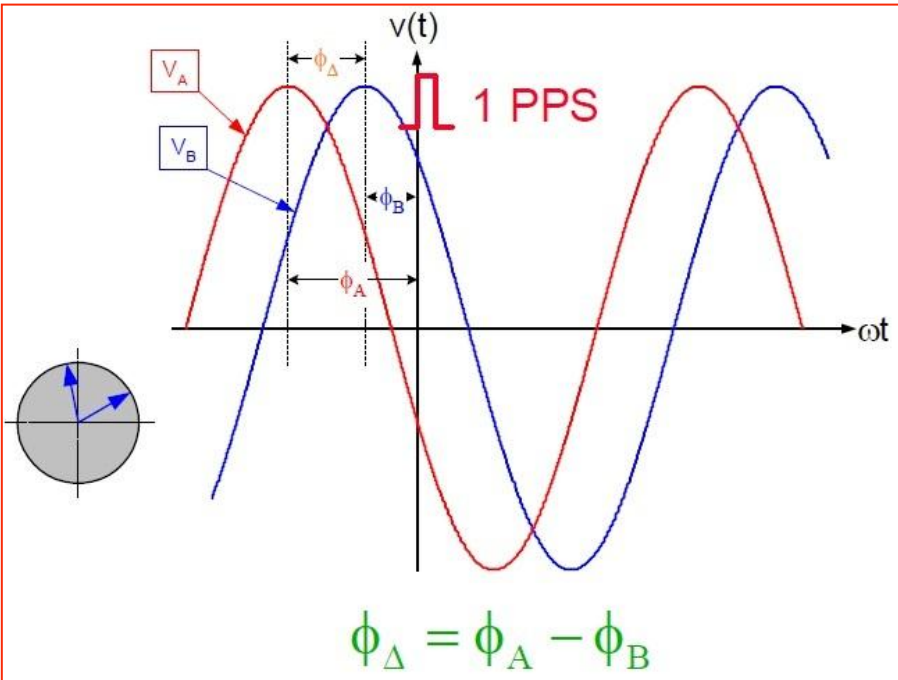
$$= \text{Re}\{e^{j(2 \cdot \pi \cdot f \cdot t)} \cdot A \cdot e^{j\phi}\}$$

$$\Rightarrow \vec{V} = \frac{A}{\sqrt{2}} \angle \phi$$

4.) Fázor definíció ( $f=\text{áll}$ ,  $t=0$ )

# WAMS – Wide-Area Monitoring System (szinkronizált fázor-mérés)

X



$$\begin{aligned} v(t) &= A \cdot \operatorname{Re}\{e^{j(2\pi \cdot f \cdot t + \phi)}\} \\ &= A \cdot \operatorname{Re}\{e^{j(2\pi \cdot f_0 \cdot t + 2\pi \cdot \Delta f \cdot t + \phi)}\} \\ &= \operatorname{Re}\{e^{j(2\pi \cdot f_0 \cdot t)} \cdot A \cdot e^{j(2\pi \cdot \Delta f \cdot t + \phi)}\} \end{aligned}$$

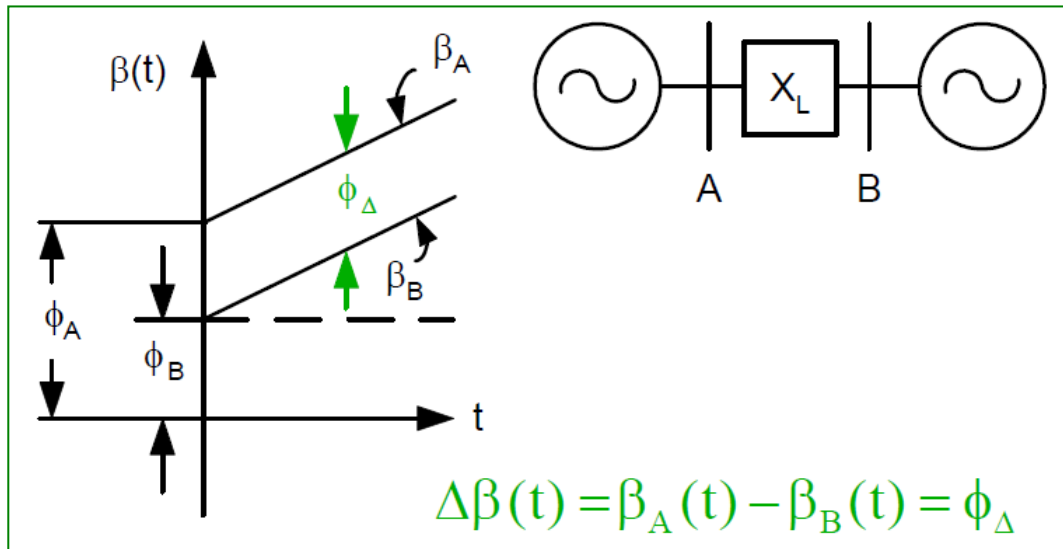
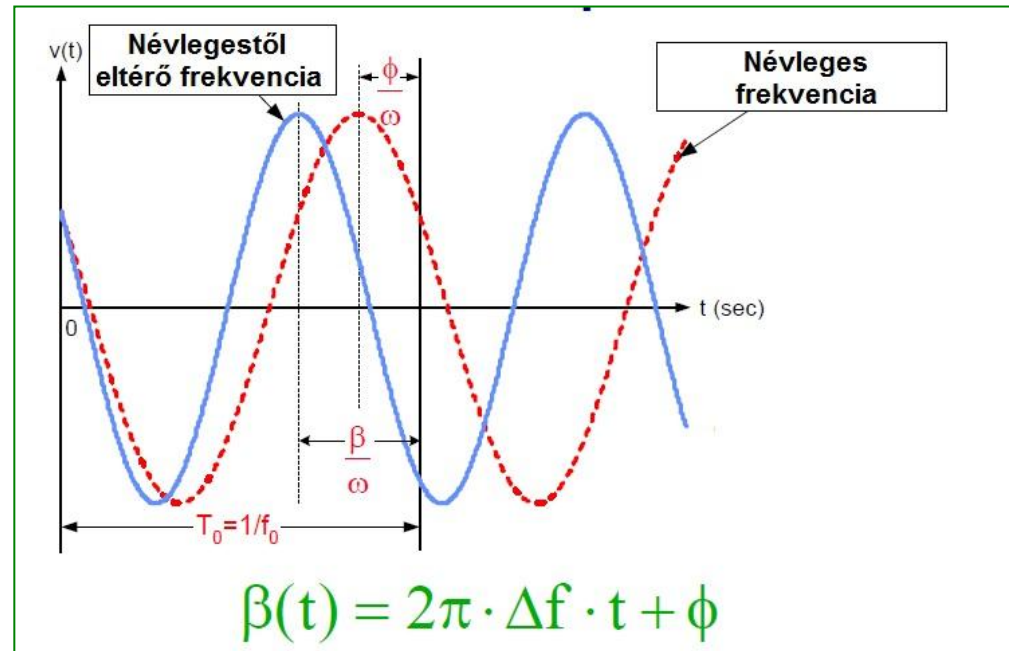
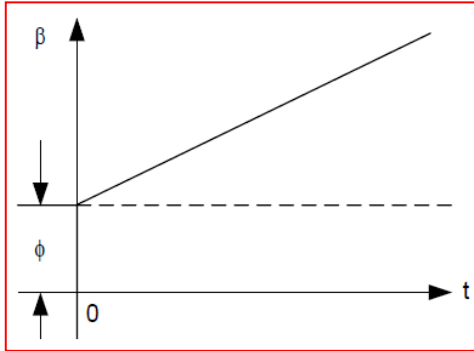
$$\beta(t) = 2\pi \cdot \Delta f \cdot t + \phi \Rightarrow \frac{A}{\sqrt{2}} \angle \beta(t)$$

**$f_0$ -tól eltérő  
frekvencia esetén**

(a névleges frekvencián:  $\Delta f = 0$ ,  $\beta(t) = \Phi$ )

Névlegestől eltérő frekvencián:

$$\beta(t) = 2 \cdot \pi \cdot \Delta f \cdot t + \phi$$



**Fázisszög mérés két földrajzilag különböző helyen, de azonos időben:**

$$\Delta\beta = \Phi_\Delta$$

# WAMS – Wide-Area Monitoring System (szinkronizált fázor-mérés)

X

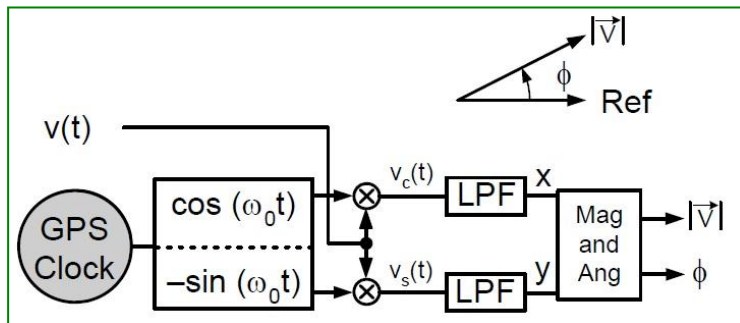
$$v_e(t) = \underbrace{A \cdot \cos(\omega t + \phi)}_{\text{Bemenő jel}} \cdot \underbrace{e^{-j\omega_0 t}}_{\text{Időszinkronizált jel}}$$

$$v_e(t) = A \cdot \left[ \frac{e^{j(\omega t + \phi)} + e^{-j(\omega t + \phi)}}{2} \right] \cdot e^{-j\omega_0 t}$$

$$v_e(t) = \frac{A}{2} \cdot \left\{ e^{j[(\omega - \omega_0)t + \phi]} + e^{-j[(\omega + \omega_0)t + \phi]} \right\}$$

$(\omega - \omega_0) \rightarrow$  alacsony frekvenciás jel  
 $(\omega + \omega_0) \rightarrow$  kettős frekvenciájú jel

$$v_{e\_LF}(t) = \frac{A}{2} \cdot e^{j[(\omega - \omega_0)t + \phi]}$$



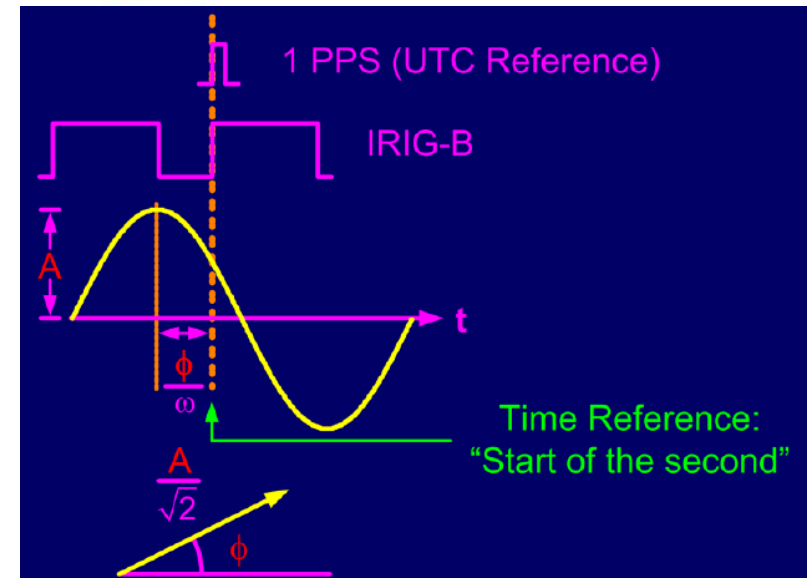
LPF: low pass filter

$\omega = \omega_0$  esetén

$$v_e(t) = \frac{A}{2} \cdot \left\{ e^{j\phi} + e^{-j[(2 \cdot \omega_0)t + \phi]} \right\}$$

Alacsony frekvenciás  
összetevő  
(DC)

Kétszeres frekvenciás  
összetevő



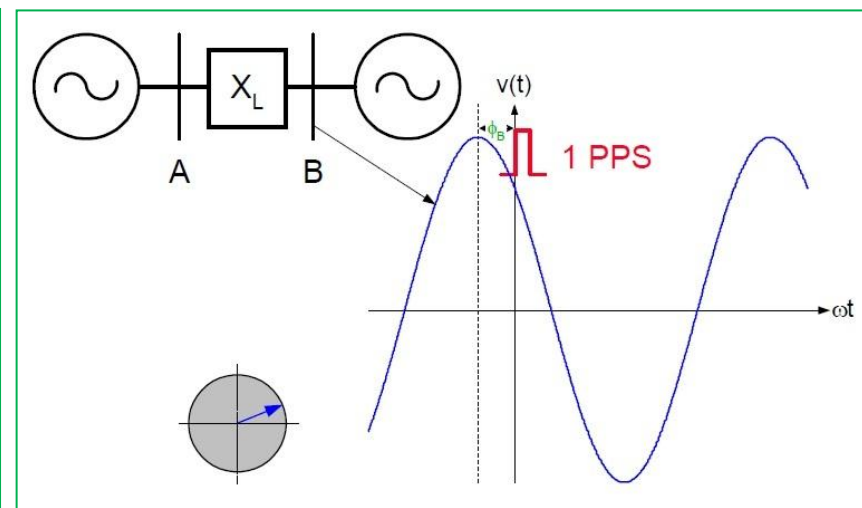
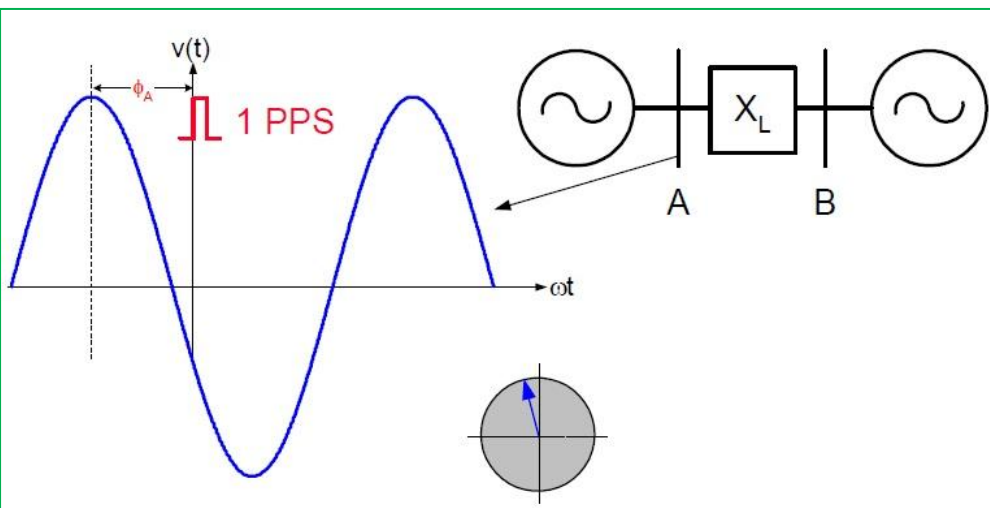
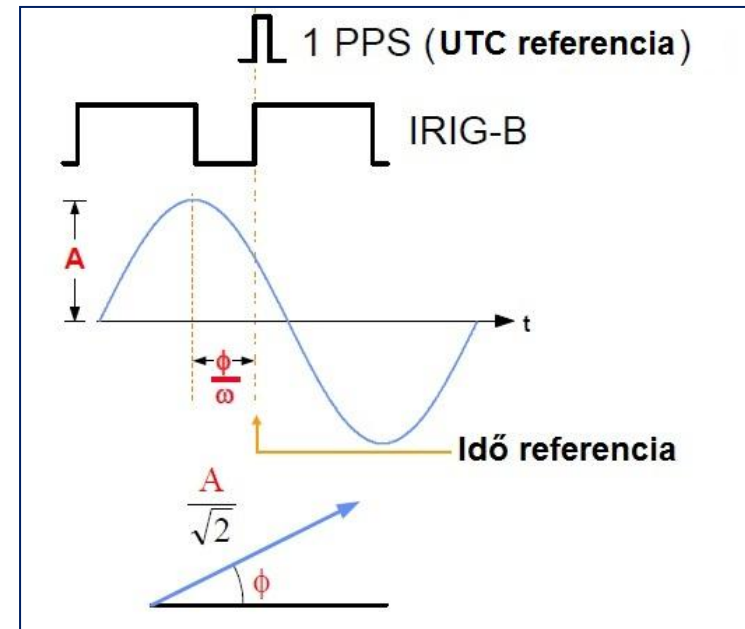
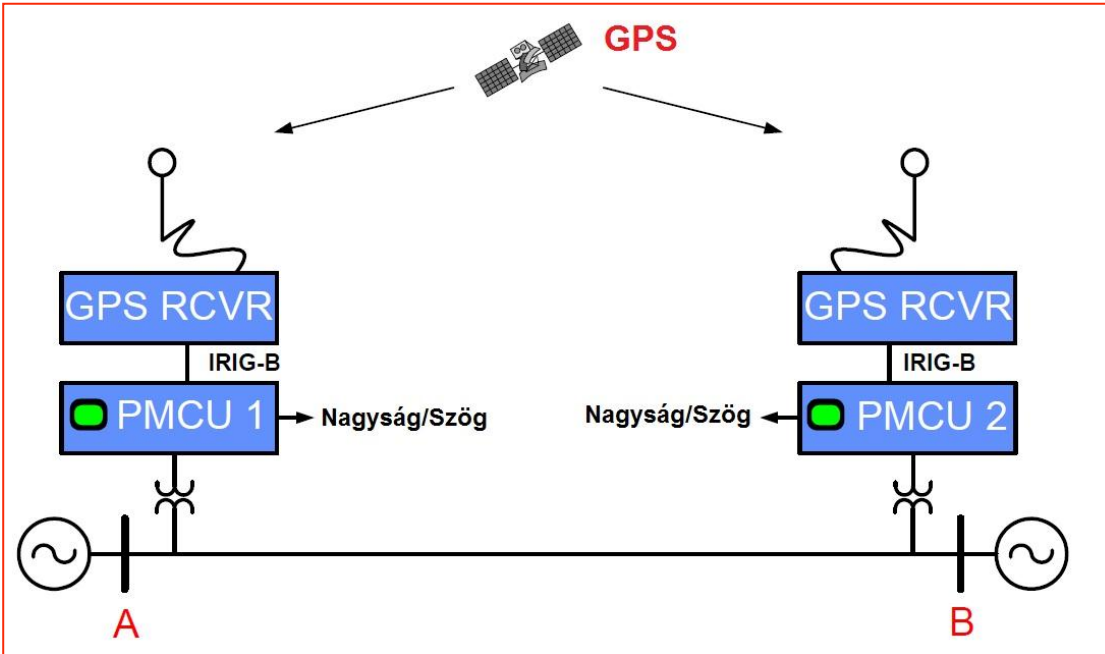
## Szinkrofázor előállítása

(IEEE 1344-1995 és IEEE Std.C.37.118-2005 szabványok szerint)

Referencia: A. Guzmán, S. Samineni, M. Bryson: Protective Relay Synchrophasor Measurements During Fault Conditions; SEL, 2009

# WAMS – Wide-Area Monitoring System (szinkronizált fázor-mérés)

X



# WAMS – Wide-Area Monitoring System az ENTSO-E CE-ben



## WAMS-devices within ENTSO-E RG CE + Turkey

Denmark (DK)  
1 Vester Hassing  
2 Tjele  
3 Kassø  
4 Aurdorf  
5 Hovegard

Germany (DE)  
1 Ensckorf \*  
2 Wehrensdorf \*  
3 Weisenthurm \*  
4 Tiengen \*  
5 Dollern \*\*  
6 Diele \*\*  
7 Owerstätt \*\*  
8 Helmstedt \*\*  
9 Borken \*\*  
10 Redwitz \*\*  
11 Oberbachheim \*\*  
12 Hagenwender \*\*\*  
13 Röhrsdorf \*\*\*

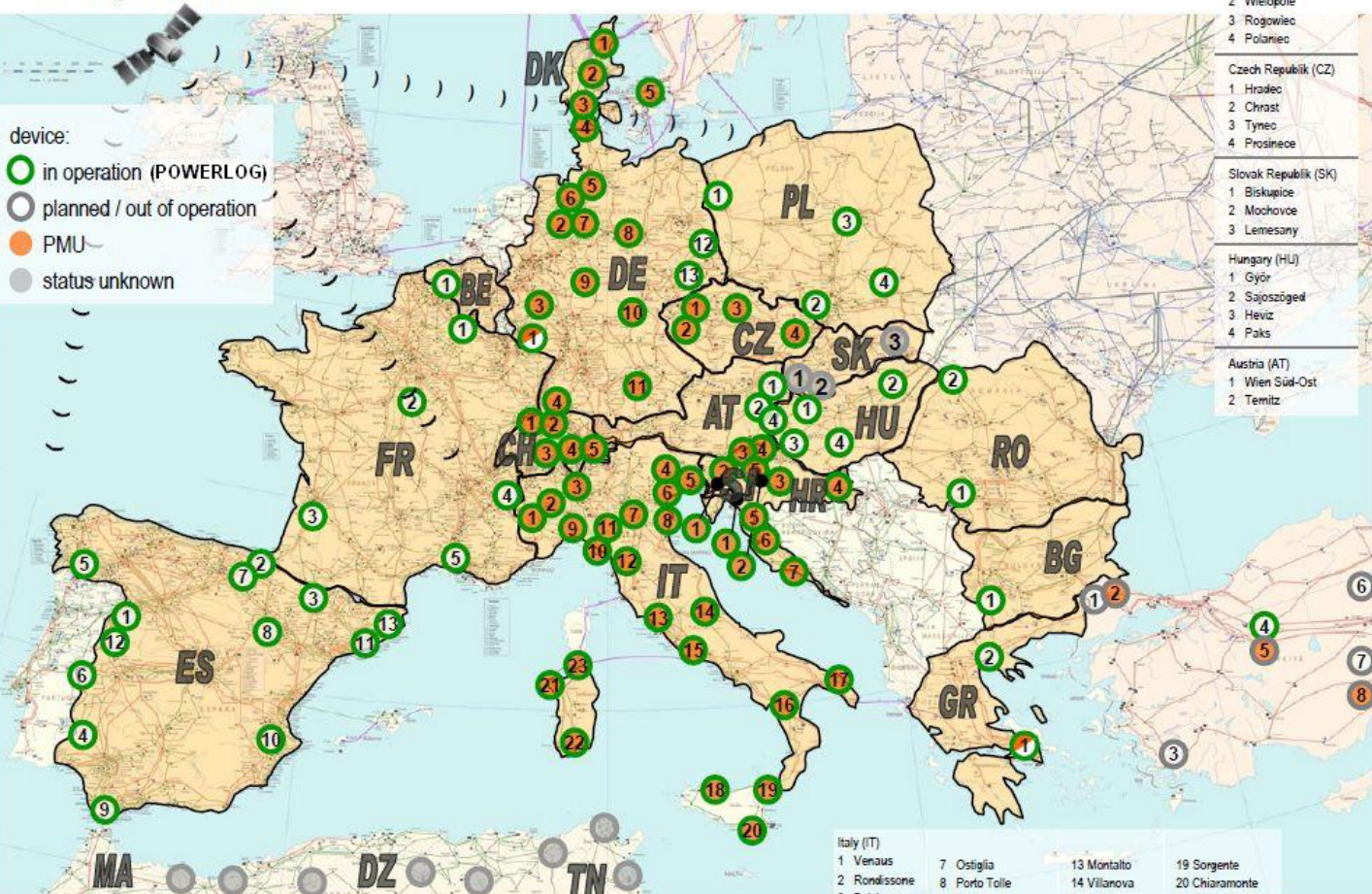
Switzerland (CH)  
1 Bassecourt  
2 Mettlen  
3 Lavorgo  
4 Soazza  
5 Rokbia

Belgium (BE)  
1 Avelgem

France (FR)  
1 Lonny  
2 Tabarderie  
3 Saucot  
4 Alleville  
5 Tavel

Spain (ES)  
1 Aldeavilla  
2 Arkale  
3 Biescas  
4 Brovales  
5 Cartelle  
6 Cedillo  
7 Hernani  
8 Magallon  
9 Puerte de la Cruz  
10 Romica  
11 Rubi  
12 Saucele  
13 Vic

### GPS-synchronisation



Poland (PL)  
1 Krajnik  
2 Wielopole  
3 Rogowicz  
4 Polaniec

Czech Republic (CZ)  
1 Hradec  
2 Chrast  
3 Tynec  
4 Proseec

Slovak Republic (SK)  
1 Biskupice  
2 Mochovce  
3 Lemesany

Hungary (HU)  
1 Győr  
2 Sajószécs  
3 Heviz  
4 Paks

Austria (AT)  
1 Wien Süd-Ost  
2 Temitz

Slovenia (SI)  
1 Divaca  
2 Beriovo  
3 Podlog  
4 Maribor  
5 Krsko

Croatia (HR)  
1 Melina  
2 Tumbri  
3 Zerbavinec  
4 Ernestinovo  
5 Brinje  
6 Velebit  
7 Konjsko

Romania (RO)  
1 Portile de Fier  
2 Rosiori

Bulgaria (BG)  
1 Blagoevgrad

Greece (GR)  
1 Ag Stefanos  
2 Thessaloniki

Turkey (TR)  
1 Bakieski  
2 Hamitabat  
3 Yatagan  
4 Sincan  
5 Temelli  
6 Borcan  
7 Keban  
8 Ataturk

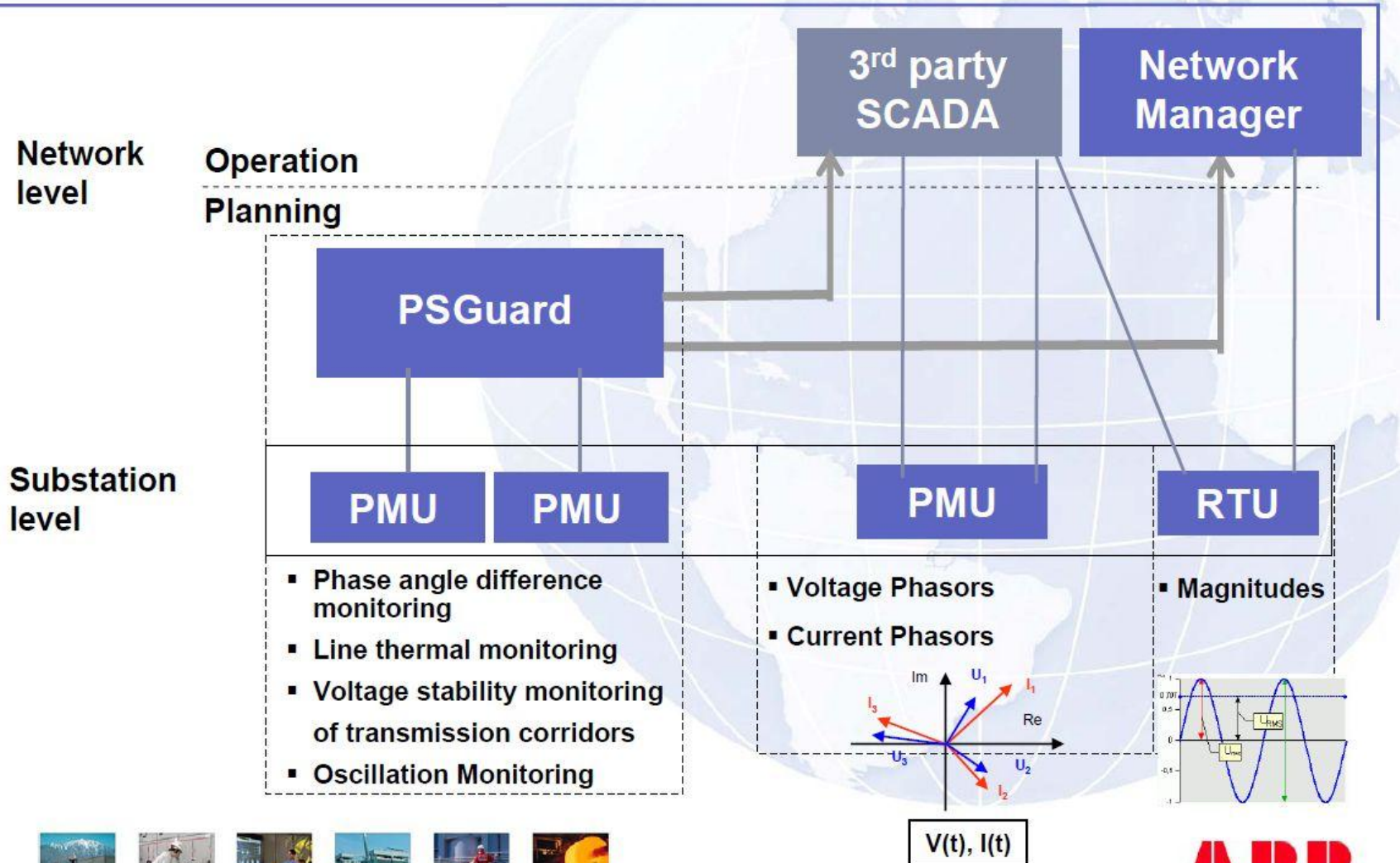
Italy (IT)  
1 Venuss  
2 Rondissone  
3 Bulciago  
4 Soverzene  
5 Redipuglia  
6 Planais  
7 Ostiglia  
8 Porto Tolle  
9 Vignole  
10 La Spezia  
11 Parma Vigheffio  
12 Poggio a Caiano

13 Montalto  
14 Villanova  
15 Latina  
16 Laino  
17 Brindisi  
18 Caracoli  
19 Sorgente  
20 Chiamaromonte  
21 Fumesanto  
22 Cagliari  
23 Bonifacio

\* Amprion  
\*\* transpower  
\*\*\* 50 Hz-T

May 20, 2010 | RG CE SG SPD

## Overview of ABB WAMS Portfolio

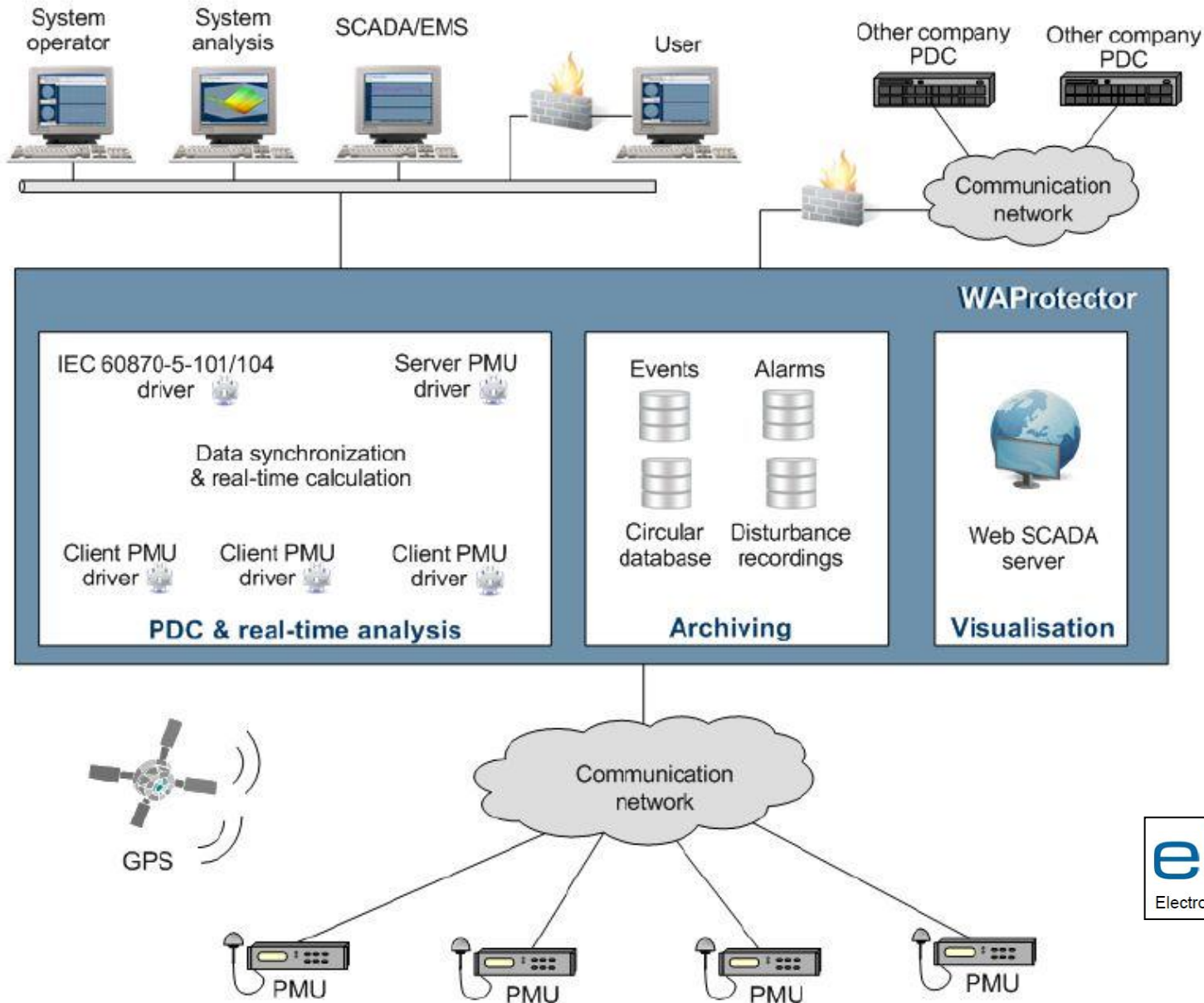


Experience the Power

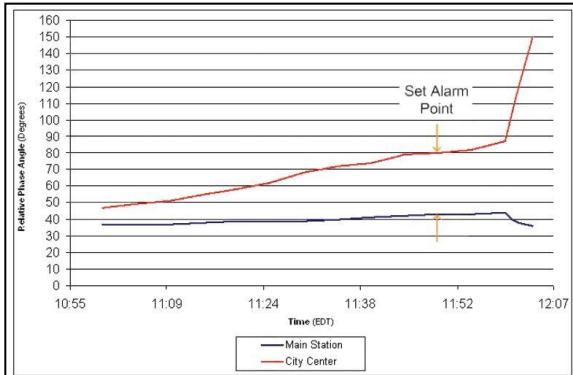


# WAMS – Wide-Area Monitoring System (szinkronizált fázor-mérés)

X



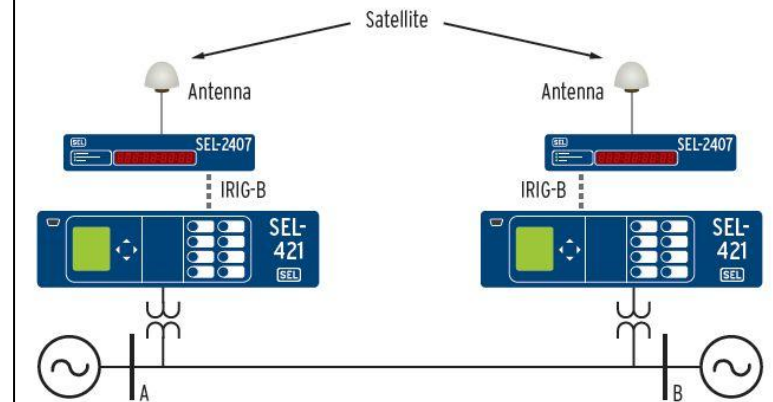
# WAMS – Wide-Area Monitoring System (szinkronizált fázor-mérés)



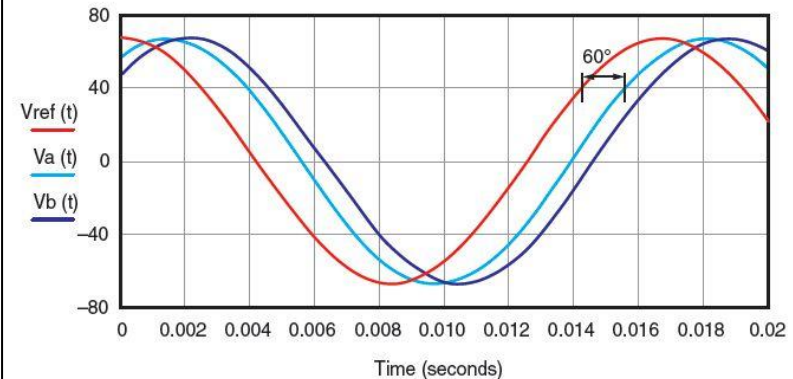
Phase angle measurement between critical locations on a power system provides operators with an early warning of potential system collapse.



**Üzemzavar  
előjelzés  
fázisszög  
differencia  
érzékeléssel**



SEL relays receive a time signal from an SEL-2407®, SEL-2404, SEL-2401, or other highly accurate Satellite-Synchronized Clocks.



In order to make measurements concerning the phase angle of a voltage or current, you must compare it to a reference. That reference is now defined everywhere synchrophasors are enabled.

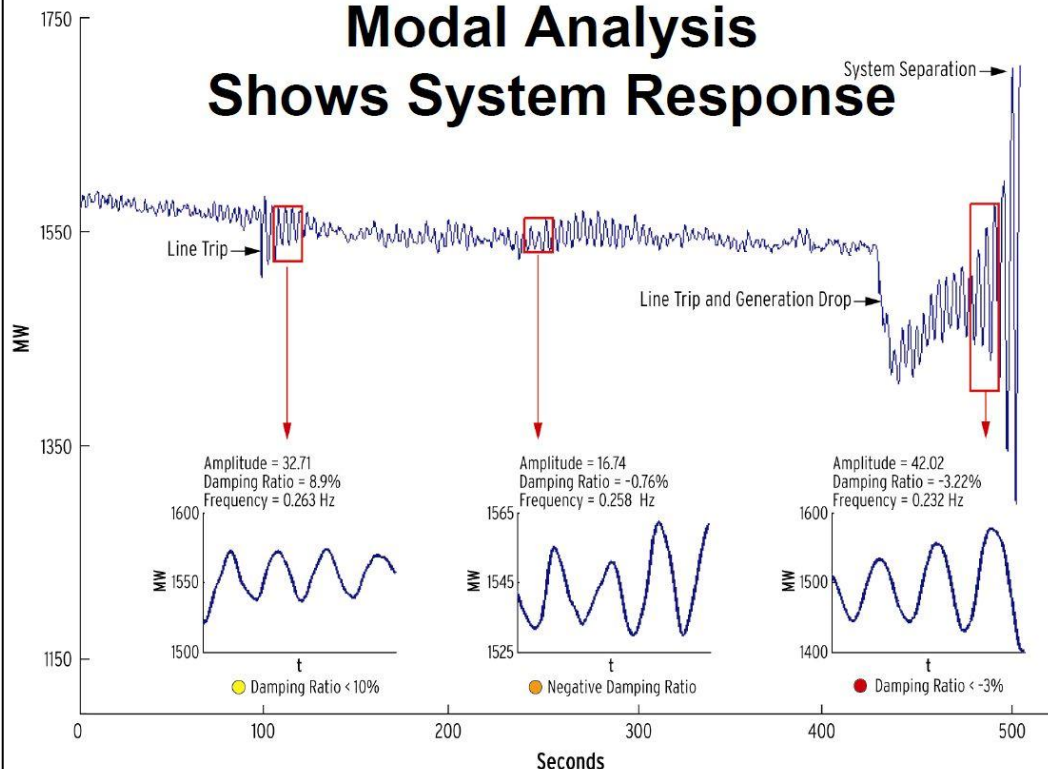
$$\lambda = \sigma \pm j\omega_d$$

$$\zeta = -\frac{\sigma_i}{\sqrt{\sigma^2 + \omega_i^2}}$$

$$f_{osc} = \frac{\omega_d}{2\pi}$$

Sajátérték és csillapítás 59

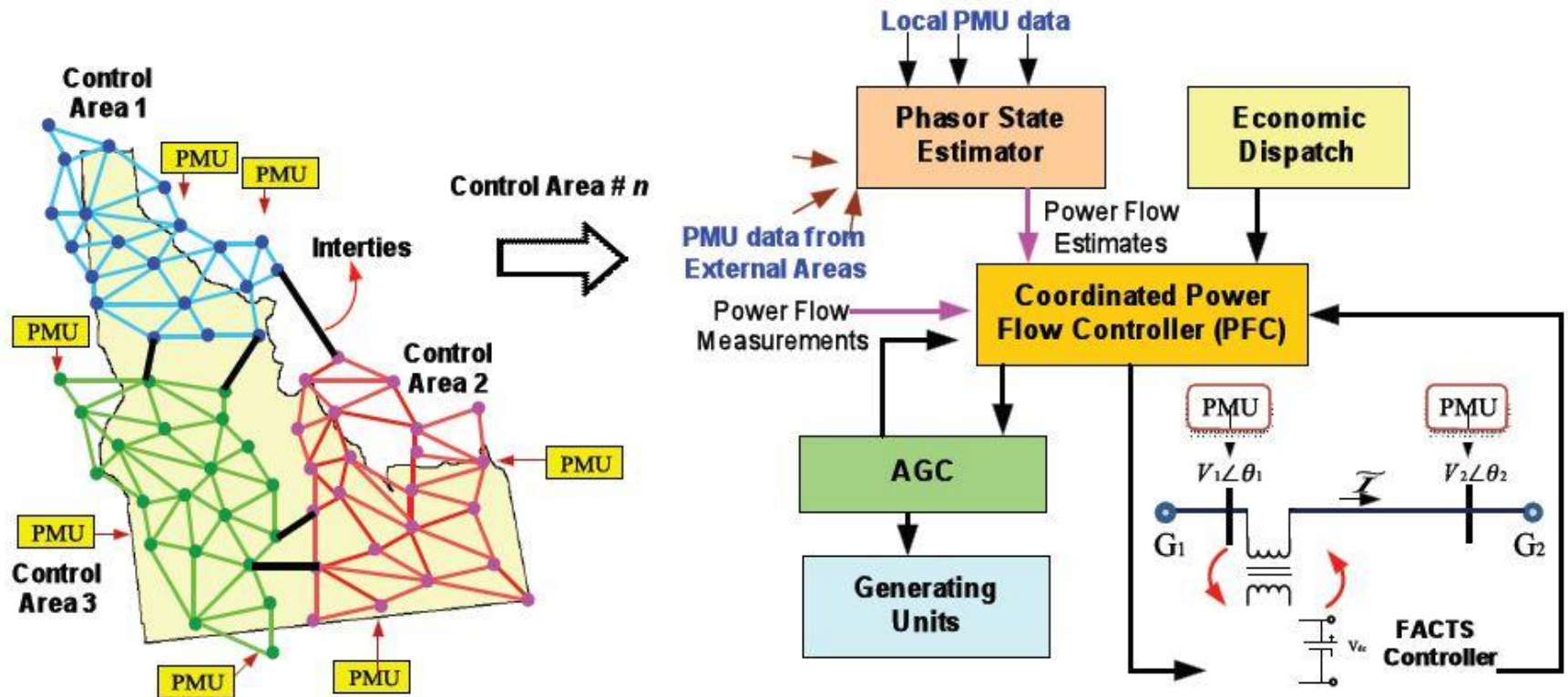
## Modal Analysis Shows System Response



# WAMS – Wide-Area Monitoring System (szinkronizált fázor-mérés)

X

**Wide-area power flow control** using distributed FACTS controllers such as Unified Power Flow Controller (UPFC) and back-to-back STATCOM, in coordination with adaptive Automatic Generation Control (AGC) using a Phasor State Estimator



Wide-Area Monitoring & Control of Large  
Power Grids Using Synchrophasors

Aranya Chakraborty

Electrical & Computer Engineering Department

North Carolina State University, Raleigh, NC

SAMSI Smart Grid Workshop

October 3, 2011

Referencia:

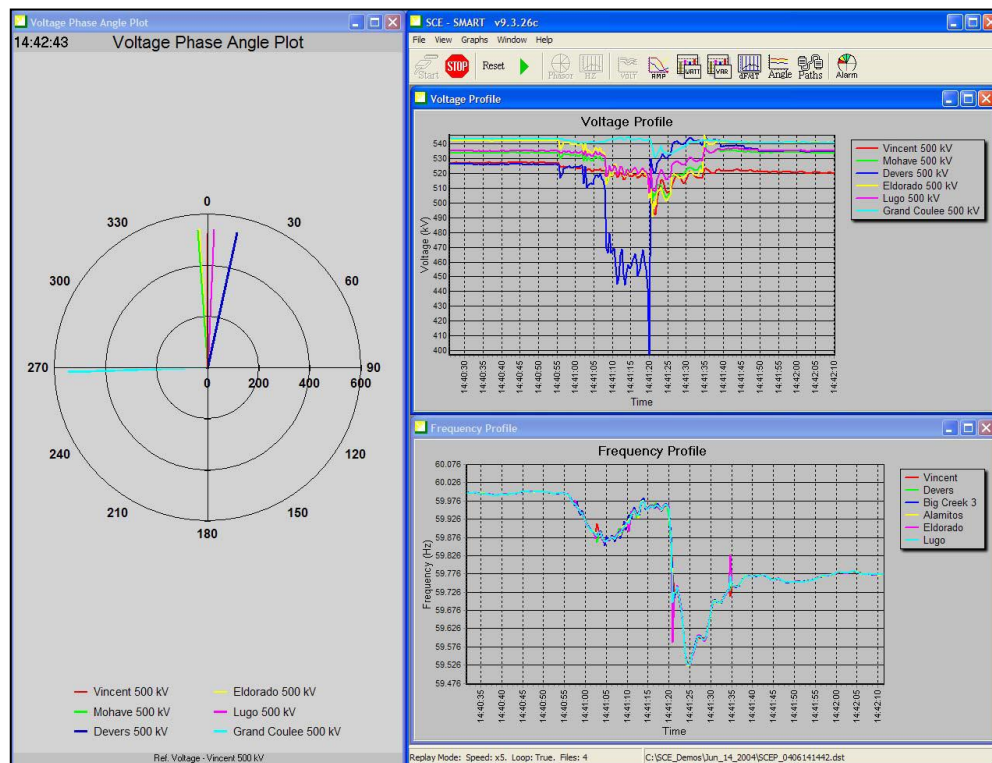


***Továbblépés: Coordinated,  
Adaptive and Secure Control  
Architecture (CASCA)***



## A rendszerirányításban felhasználható lehetséges megfigyelő és riasztási funkciók:

- Grid stress – phase angular separation (rendszerbomlás)
- Grid robustness – damping status and trend (csillapítás)
- Dangerous oscillations – low damping and high mode energy (veszélyes lengések)
- Frequency instability – frequency variation across interconnection (frekvencia instabilitás, határkeresztezések figyelése)
- Voltage instability – low voltage zones and voltage sensitivities (feszültség stabilitás)
- Reliability margin – “How far are we from the edge?” (megbízhatósági határ figyelés)



*Southern California Edison (SCE) Co,  
display of June 14 2004 major disturbance*

### Referencia:

*Real-Time Application of Synchrophasors for  
Improving Reliability, 10/18/2010,  
[www.nerc.com](http://www.nerc.com)*



## Off-Line and Real-Time Applications

- Post-Disturbance Analysis and Compliance Reporting
- System Oscillation Analysis and Control
- Benchmarking, Model Validation and Fine Tuning
- On-line Models
- Real-Time Monitoring and Control
- System Restoration
- Real-Time Congestion Management

### Forrás:

### **Wide Area Monitoring, Protection, and Control (WAMPAC): Needs, Application Benefits, and Deployment**

*Dr. Damir Novosel*

*President, Quanta Technology LLC*

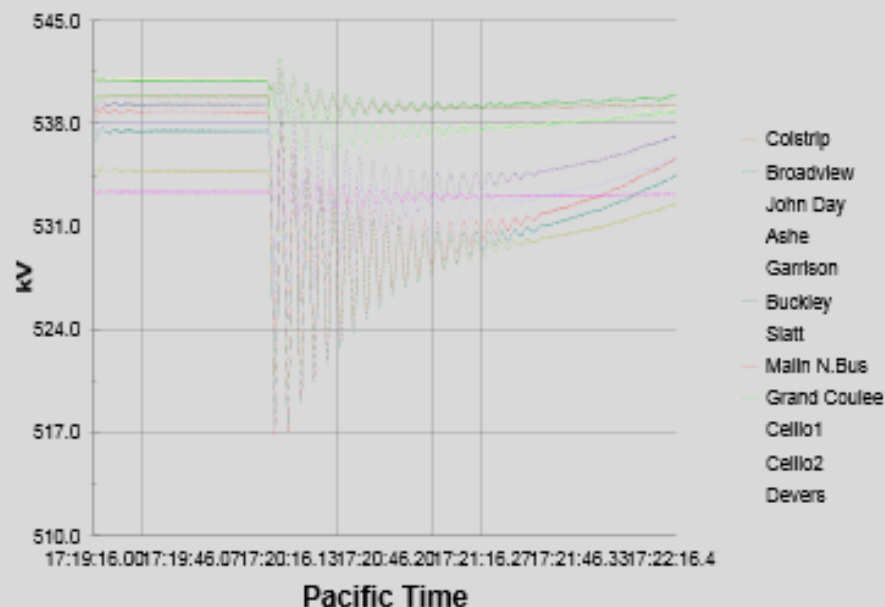
## Lehetséges alkalmazások:

- Üzemzavar kiértékelés, megfelelőség elemzés,
- Rendszerközi lengések elemzése, felismerése,
- Modell hitelesítés, paraméterek finombeállítása,
- On-line modellek,
- Valós idejű megjelenítés és szabályozás (EMS-SCADA),
- Rendszer helyreállítás,
- Valós idejű túlterhelés kezelés.

## System Oscillations Example, WECC

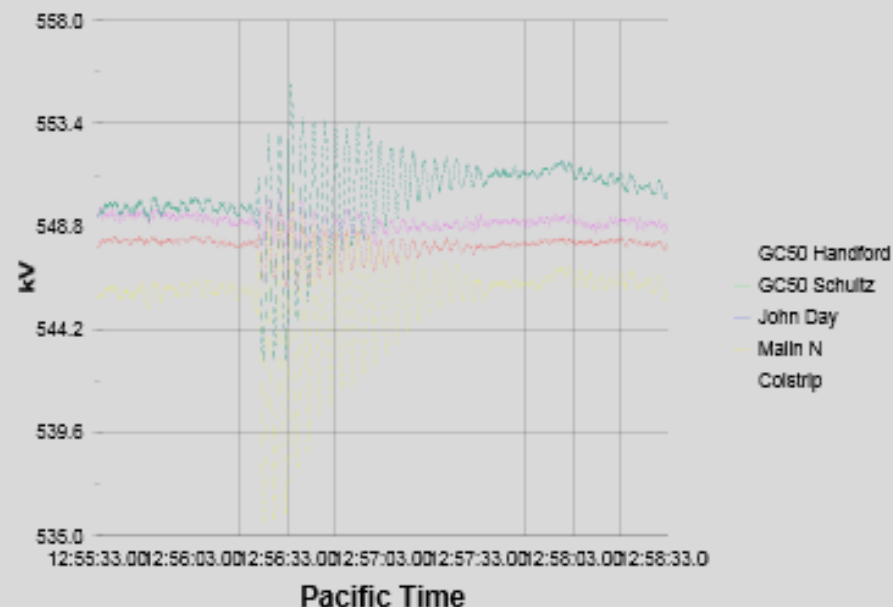
August 4, 2000 - 500 kV Plots comparison

0 Event at 12:55 Pacific Time (08/04/00 at 19:55)



**Simulation**

0 Event at 12:55 Pacific Time (08/04/00 at 19:55)



**Real Event**

Source: SCE

**Példa modell validálásra**

Előzetesen egyeztetett program szerint (összesen 12 db 400, 220, 120 kV-os távvezeték részvételével):

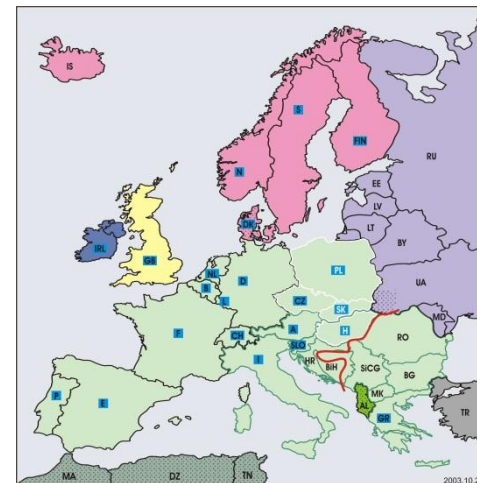
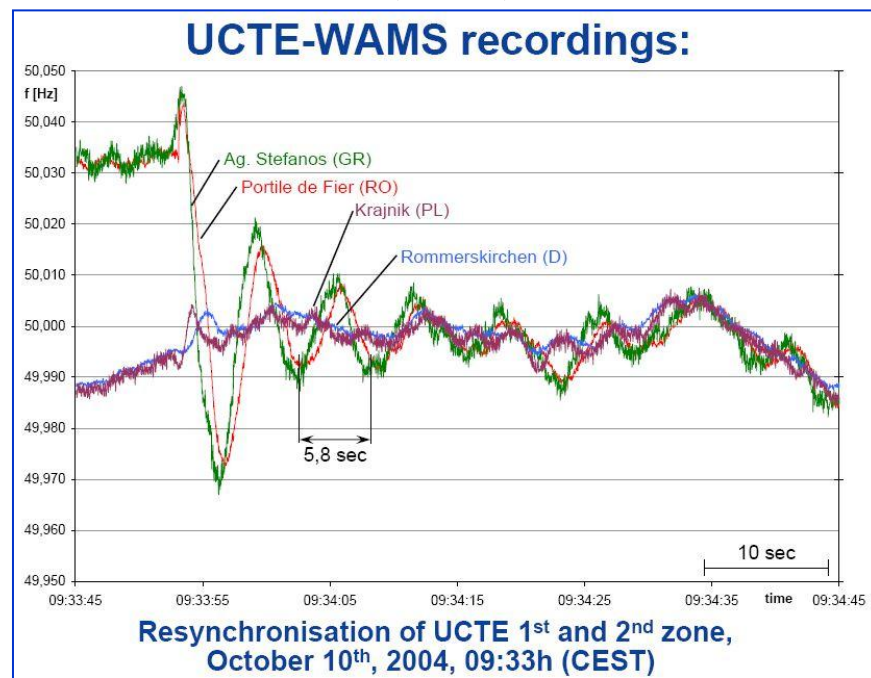
❑ **Előzetes távvezeték kapcsolások sorozata:**

- Sándorfalva – Arad tv. Sándorfalva felől,
- Szabadka – Sándorfalva tv. Szabadka felől,
- Podgorica (Montenegro) – Trebinje (BiH) tv. Podgorica felől,
- Munkács – Rosiori tv. Munkács felől,
- Mladost (Szerbia) – Ernestinovo (Ho) tv. Mladost felől került feszültség alá.

❑ **Szabályozással:  $f(2. \text{ zóna}) > f(1. \text{ zóna})$  30-50 mHz**

- 09:34: Aradon (aut. szinkronell.) bekapcsolódik a Sándorfalva távvezeték
- 09:41: Sándorfalván bekapcsolják a Szabadka távvezetékét
- 09:58: Trebinjén bekapcsolják a Podgorica távvezetékét
- 10:07: Rosioriban bekapcsolják a Munkács távvezetékét
- 10:20: Ernestinovóban bekapcsolják a Mladost távvezetékét
- 10:58-ig: bekapcsolják az összes többi 220, és 110 kV-os távvezetékét

*Balkán reszinkronizációja*





## Példa modell validálásra: UCTE 1. és 2. zóna reszinkronizációjának RWE által végzett modellezése

### UCTE-WAMS recordings:

Resynchronisation of UCTE 1<sup>st</sup> and 2<sup>nd</sup> zone,  
October 10<sup>th</sup>, 2004, 09:33h (CEST)

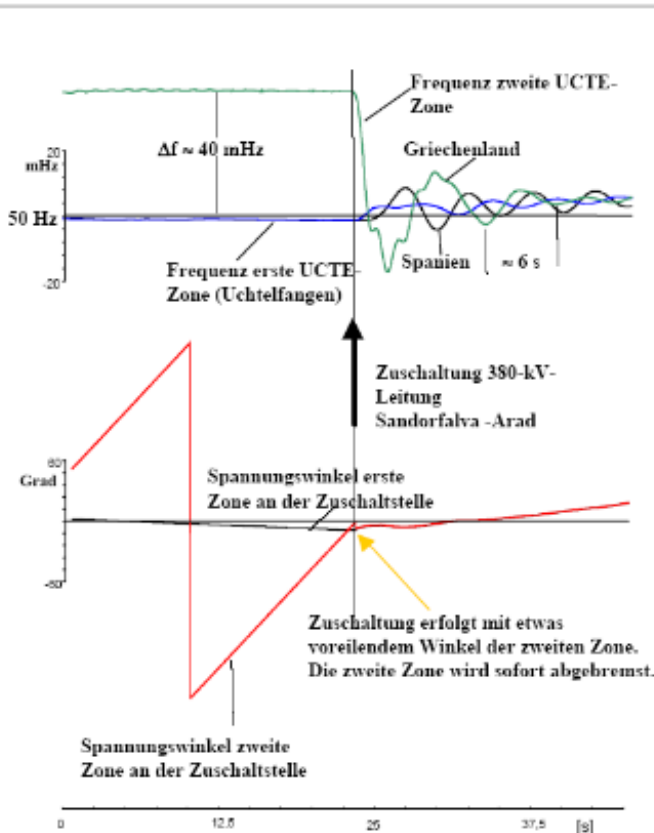
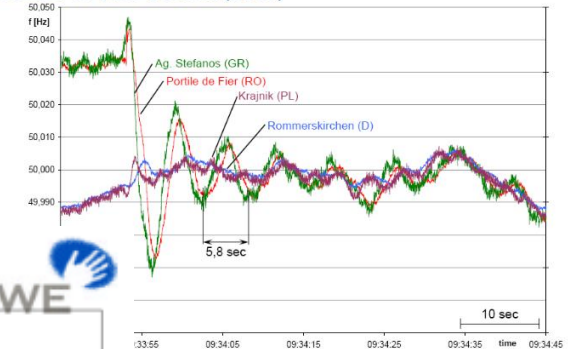
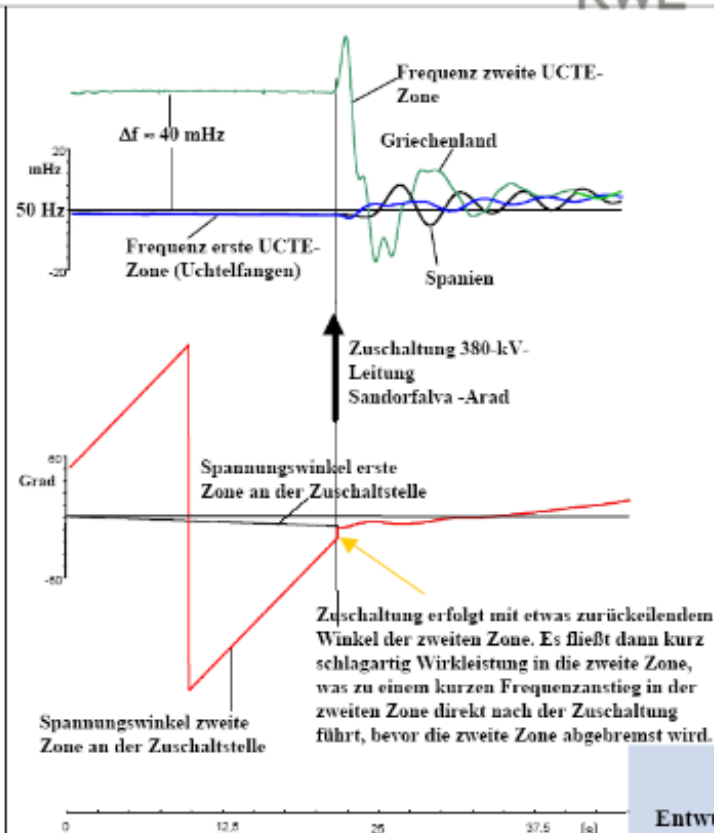


Bild 2



Entwurf

Bild 3

## Conventional Impedance Methodology

### Lengészár megvalósítás

- Measuring impedance rate-of-change

#### Mért impedancia változása

1. Fault Zárlat
2. Stable swing Stábil lengés
3. Stable swing Stábil lengés
4. Unstable swing Instábil lengés

- Measurements from one or multiple lines

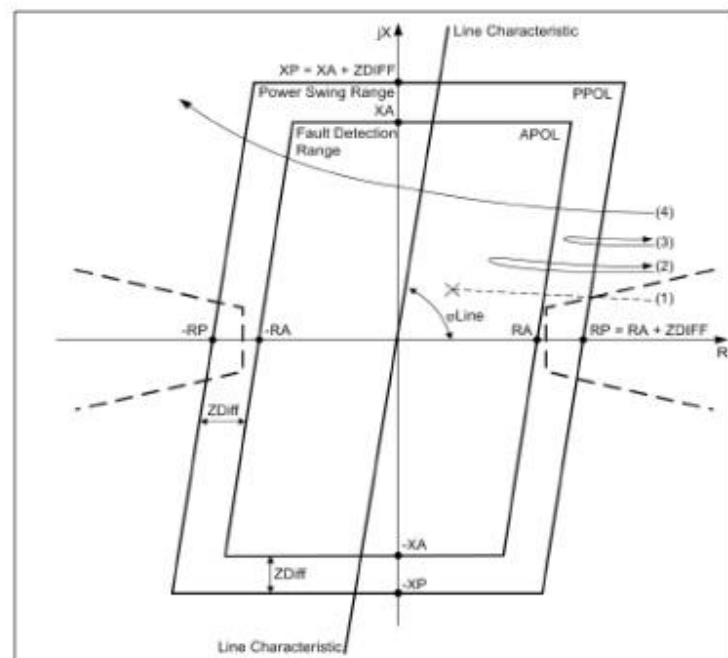
Egy- és többrendszerű távvezetékek esetén is helyesen kell működni

- Sensitivity to system changes

Topológia változáshoz alkalmazkodni kell

Difficulties with setting parameters blinders (R, X); time delays

Paraméter beállítási nehézségek: impedanciák, időkésleltetések

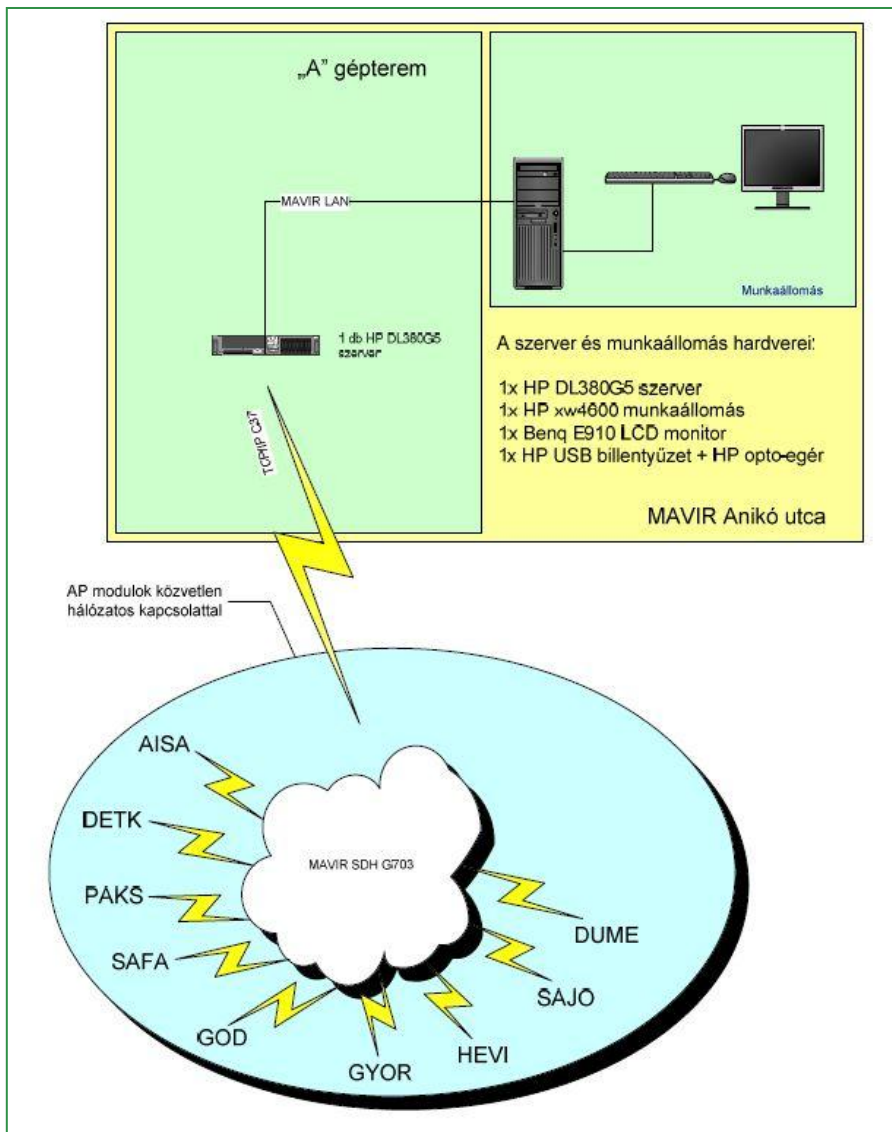


**Trajectory continuity:** the calculated R and X values must create a constant line. There must be no "jump" from one measured value to the next.

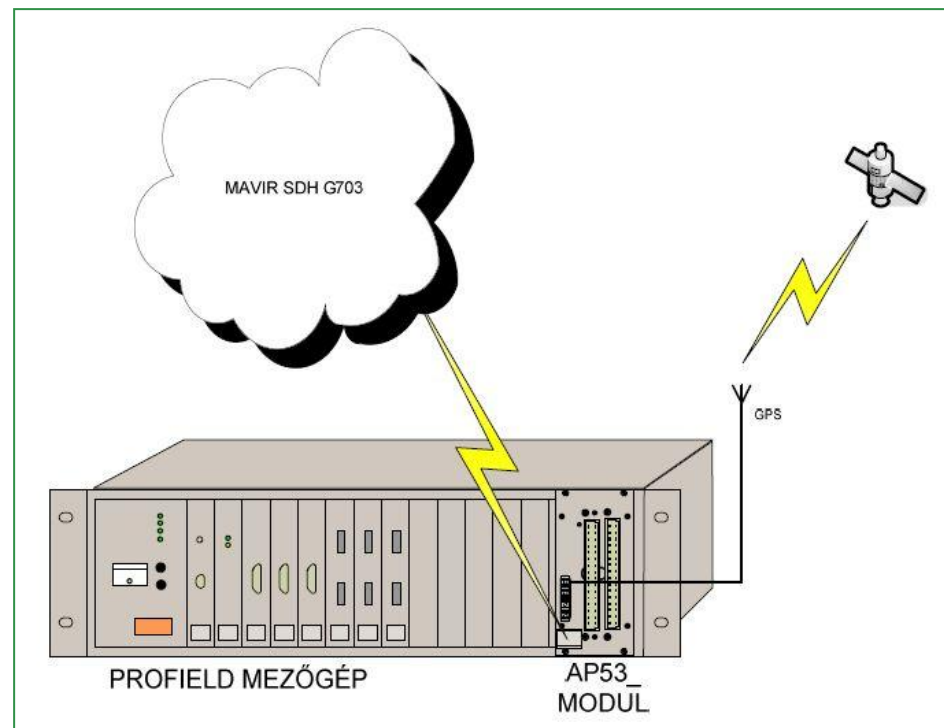
**Trajectory monotony:** the impedance trajectory must initially not change R direction

# MAVIR WAMS megvalósítás – PROLAN rendszer

X



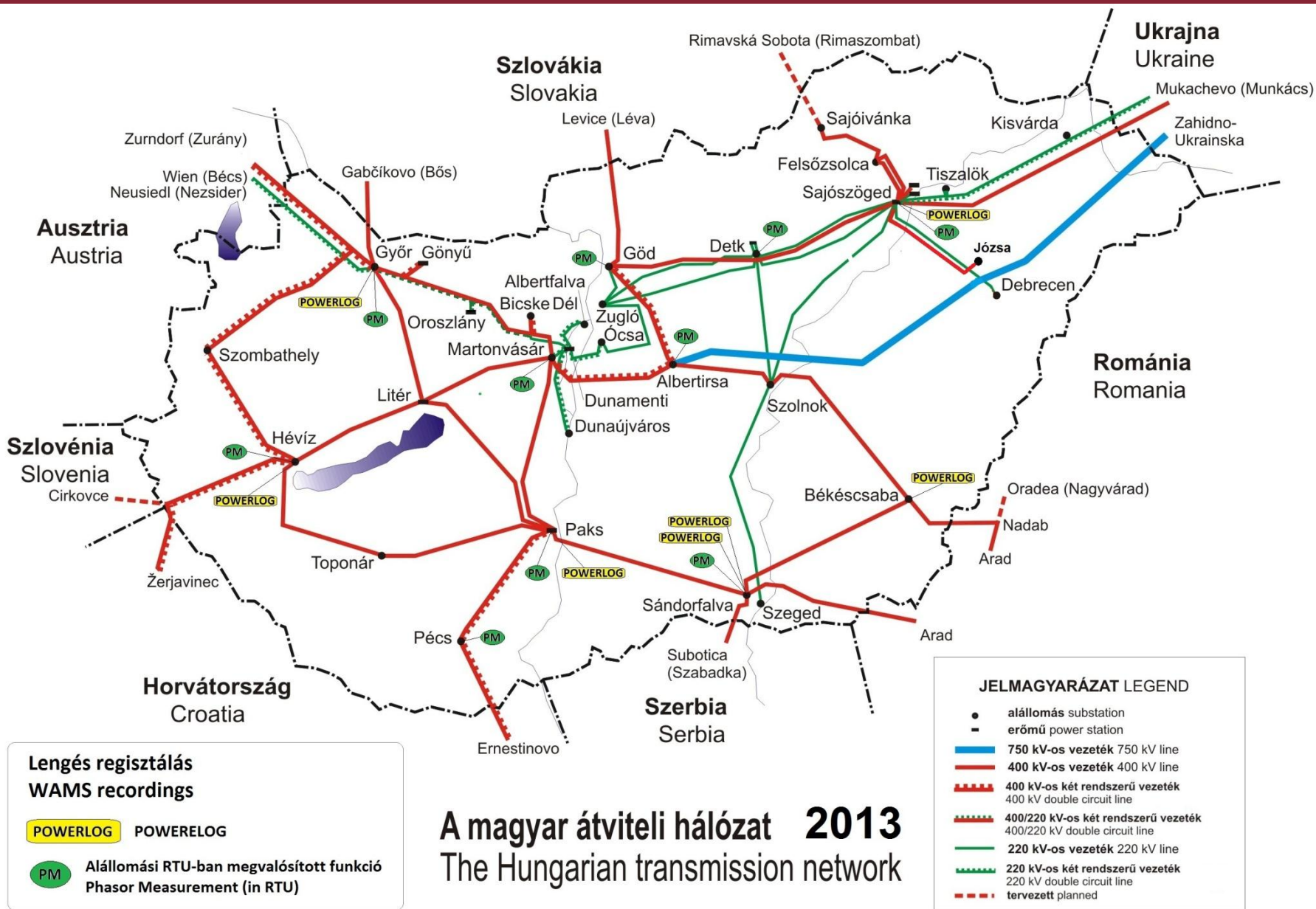
**PDC adatszerver és központi kiértékelés, megjelenítés**



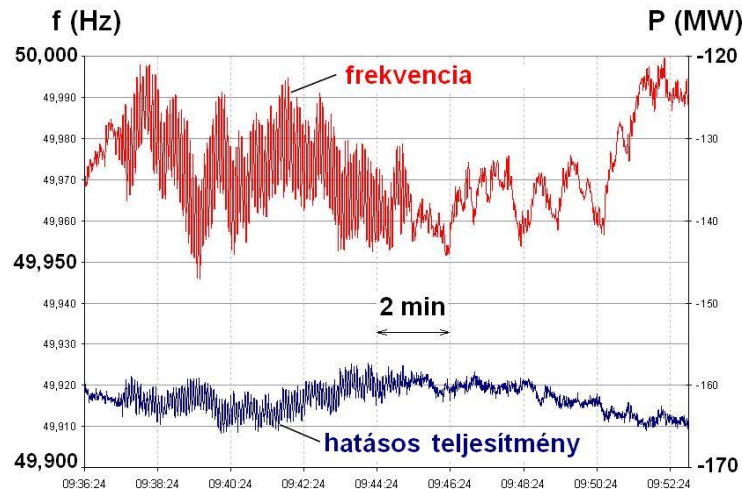
**Alállomási megvalósítás: PMU-k helyett PROLAN PROFIELD mezőgépekben (RTU) elhelyezett speciális mérőkártyákkal.**



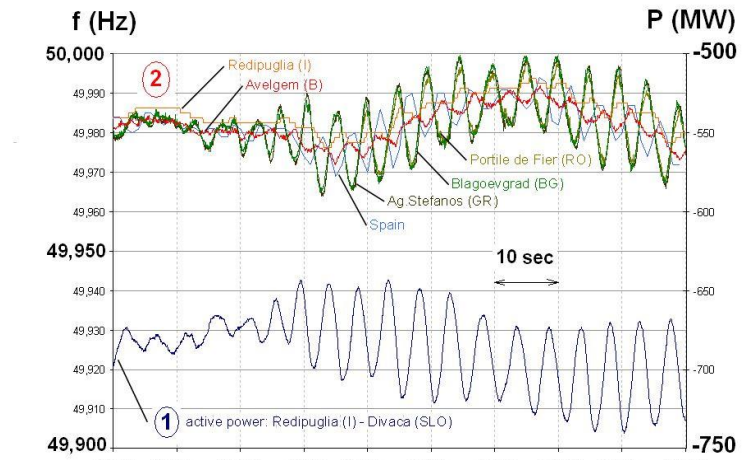
# MAVIR WAMS megvalósítás – mérési helyek a magyar VER-ben



# WAMS felvételek (önmagától felgerjedő rendszerközi lengések)



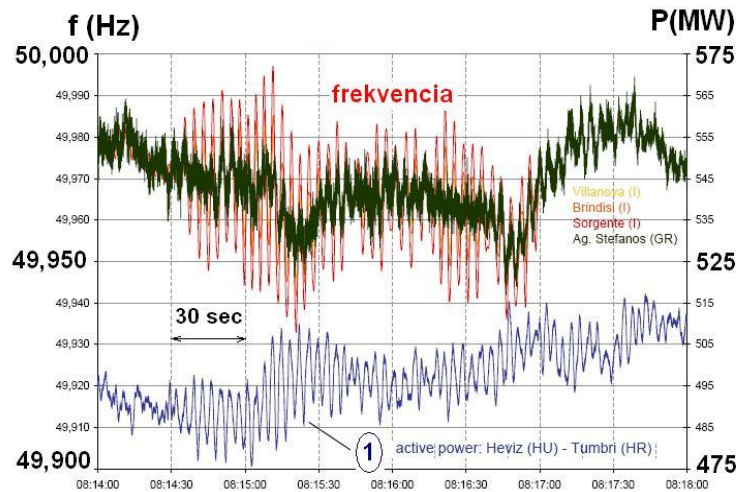
Regisztrálás helye: Ag. Stefanos (GR)



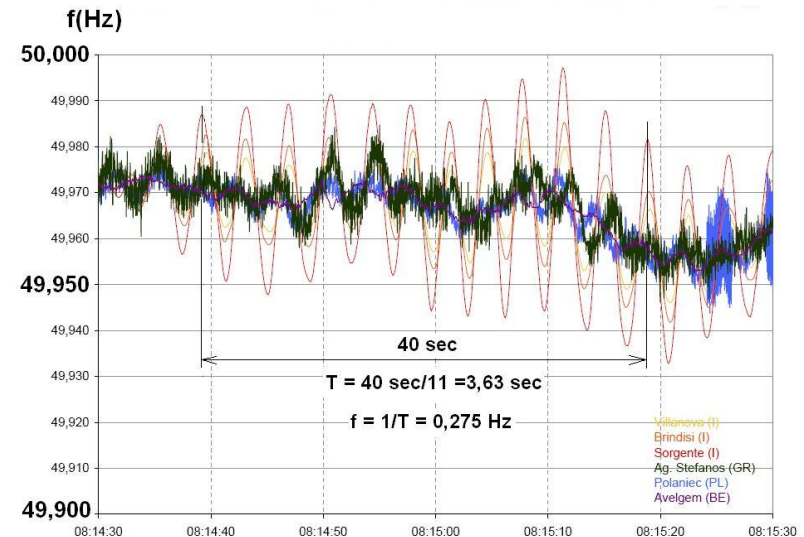
1 Hatásos teljesítmény a Redipuglia (I) - Divaca (SLO) távvezetéken

2 Frekvencia különböző alállomásokon

**2005. május 1.: A lengések frekvenciája 0,21 Hz.**



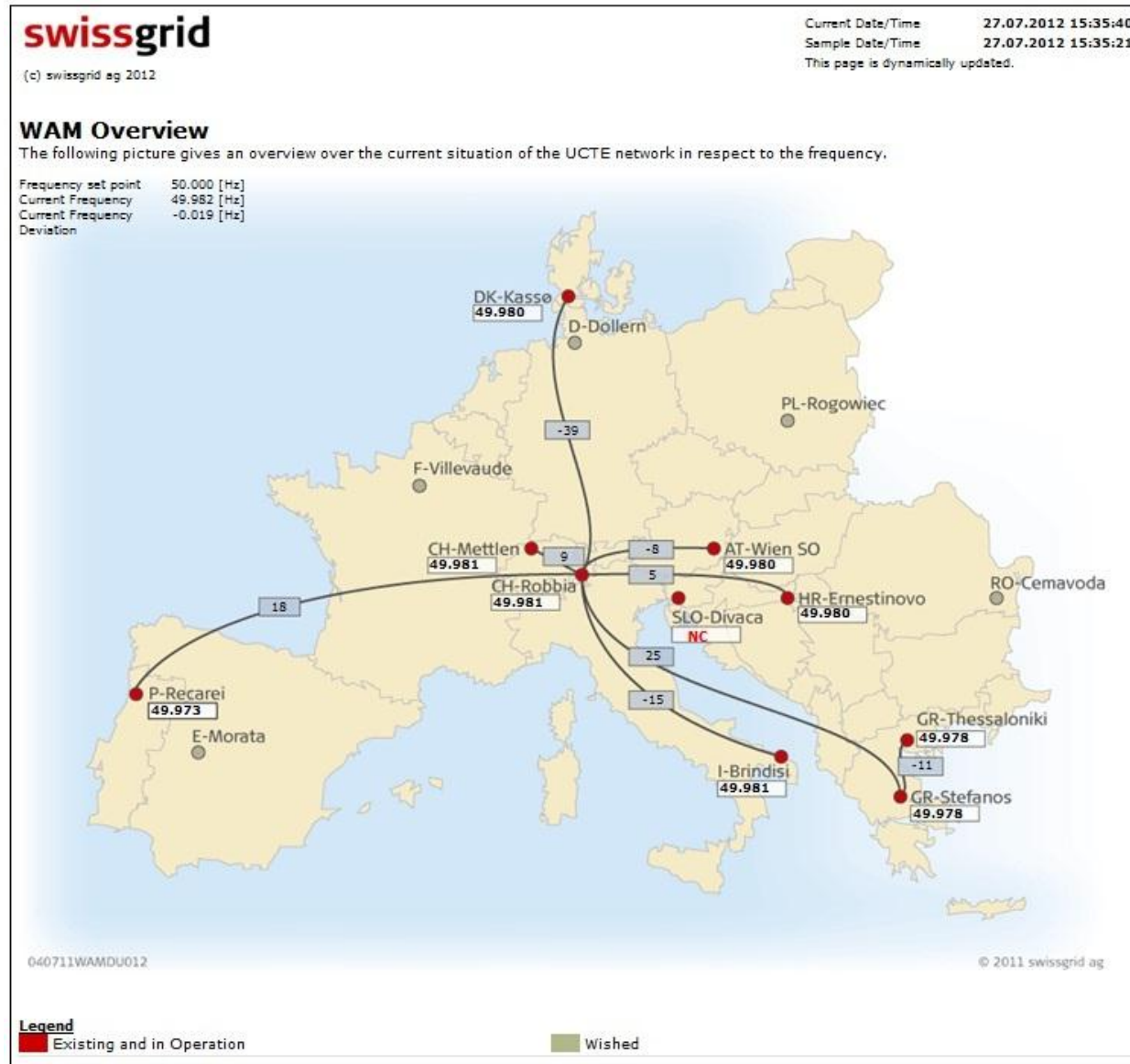
1 Héviz-Tumbri 400 kV-os távvezeték



**2007. április 1.: A lengések frekvenciája 0,275 Hz.**

# WAMS felvételek (önmagától felgerjedő rendszerközi lengések)

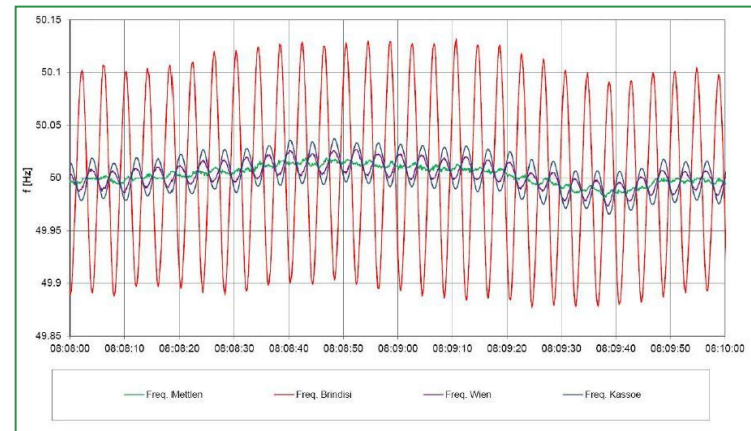
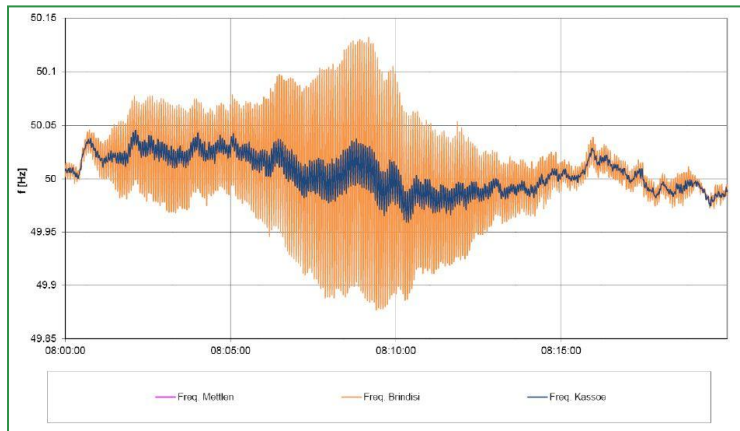
X



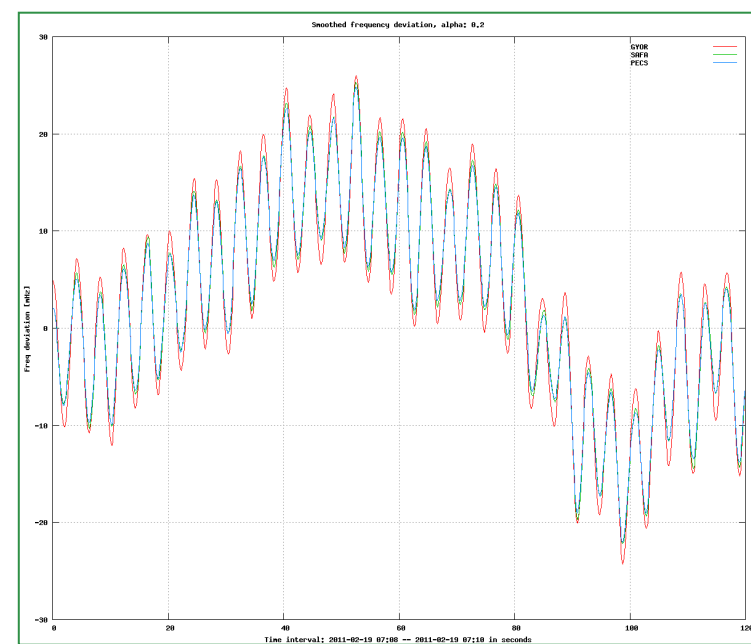
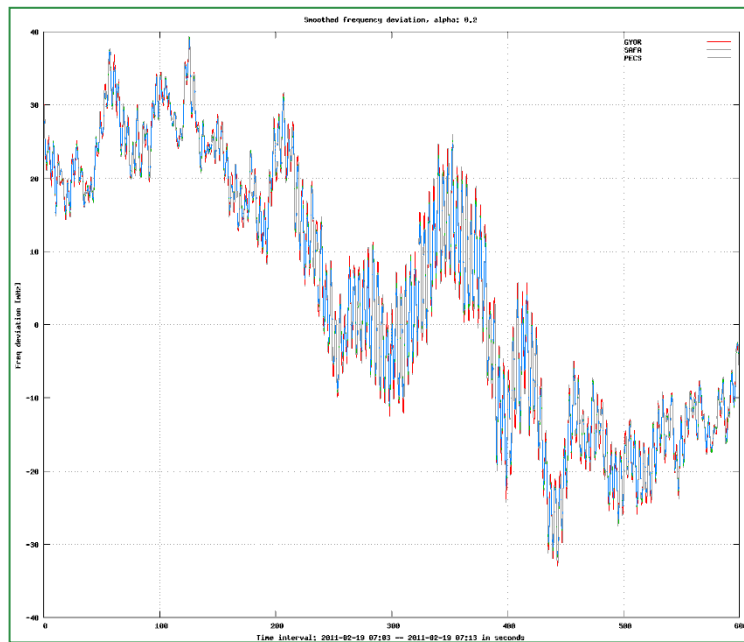
A svájci rendszerirányító WAMS rendszere

# WAMS felvételek

(Önmagától felgerjedő rendszerközi lengések 2011. február 19-én, 8:00-8:20 között.)

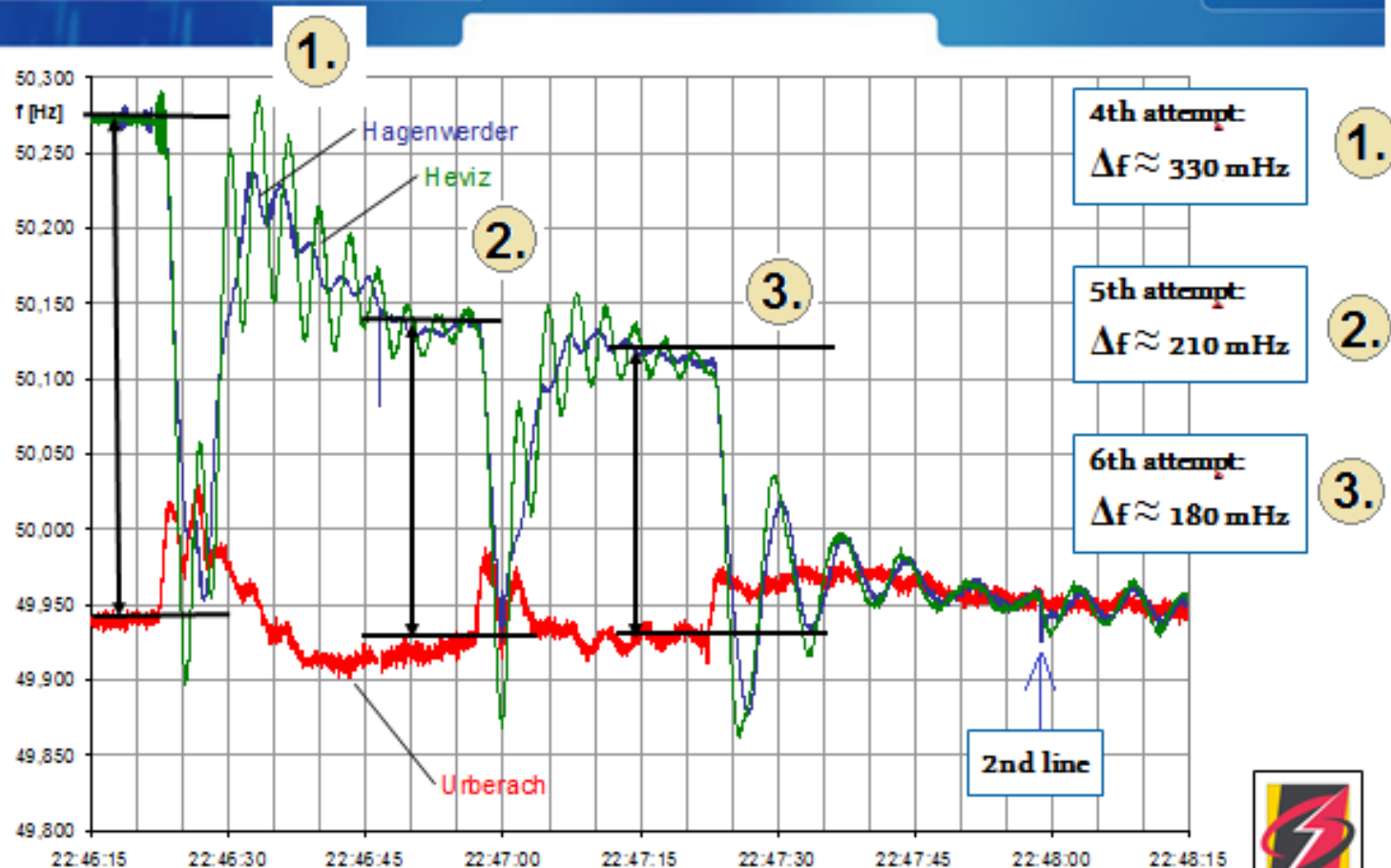


## a) ENTSO-E CE felvételek



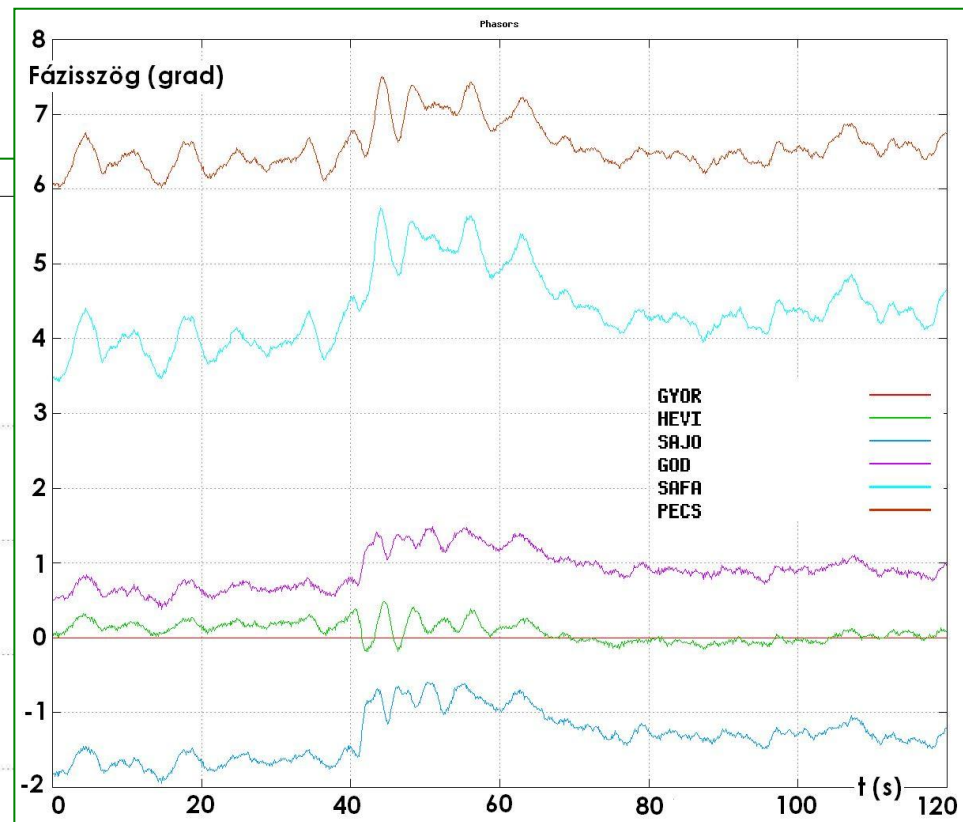
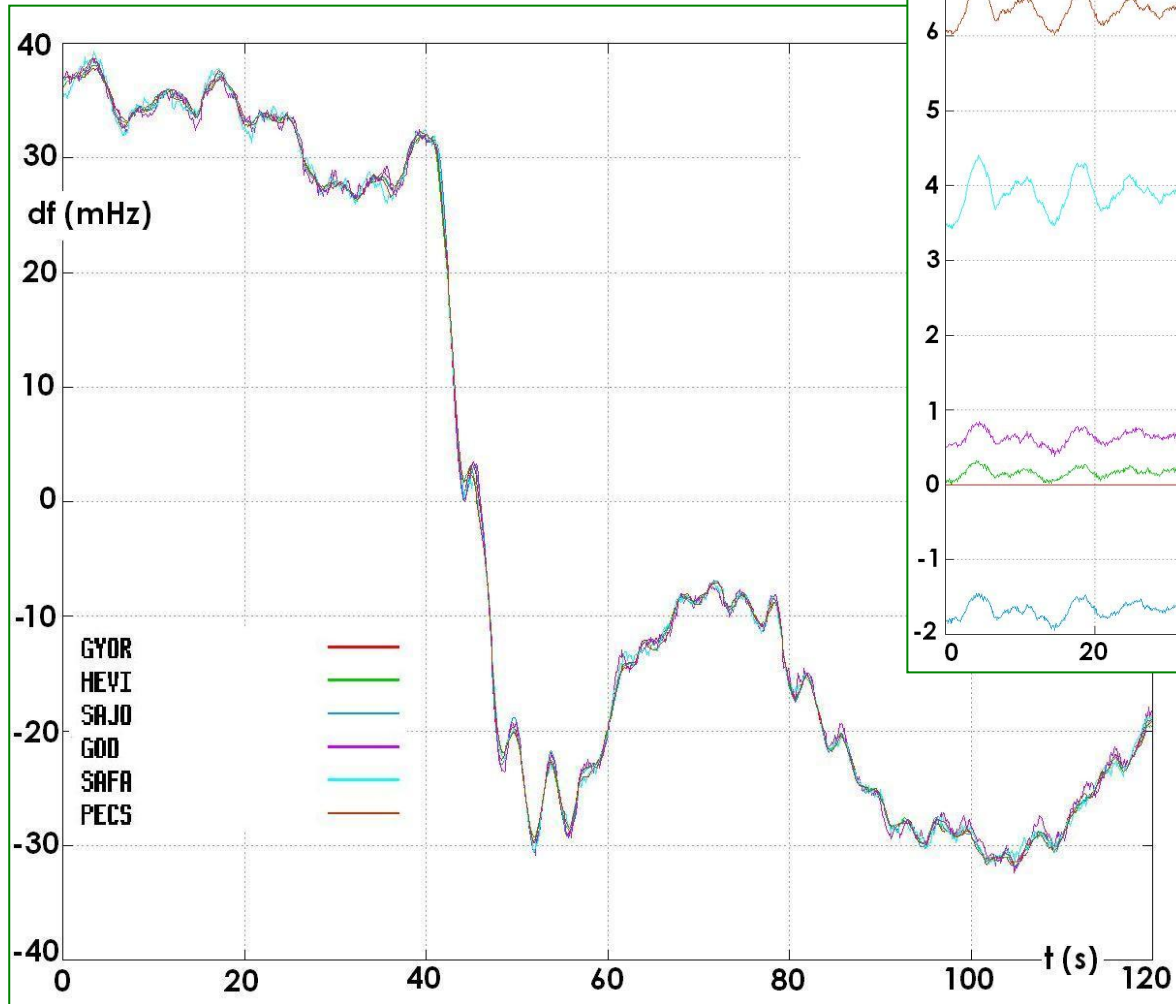
## b) MAVIR felvételek

## Re-Synchronisation attempts on 04-11-06



# WAMS felvételek (érdekes események felvételei)

X



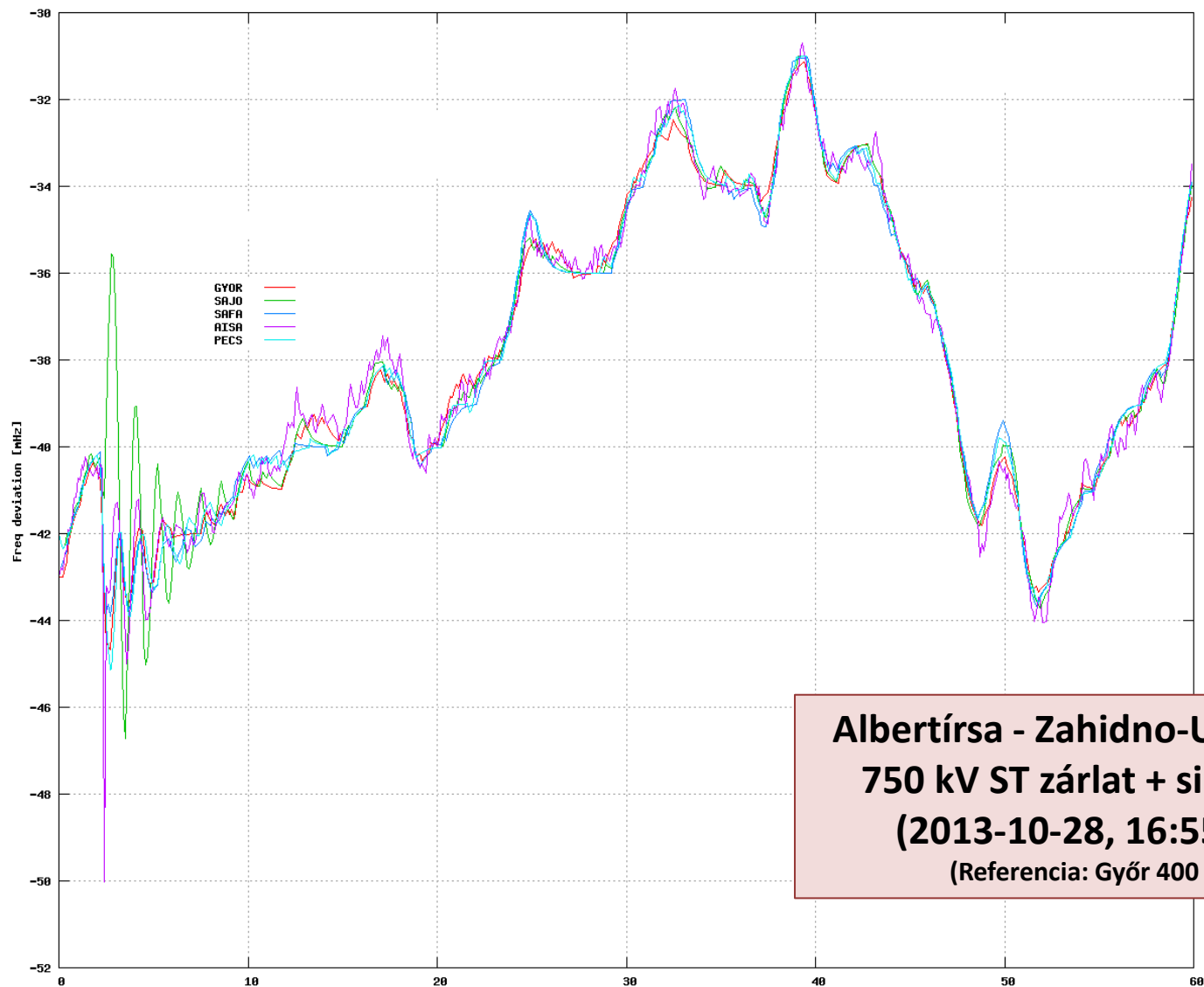
**Erőművi forráskiesés  
az ENTSO-E CE  
régiójában**

**Aurelia (I), 2250 MW kiesés, 2011-01-18, 17:05**

# WAMS felvételek (érdekes események felvételei)

X

Smoothed frequency deviation, alpha: 0.2



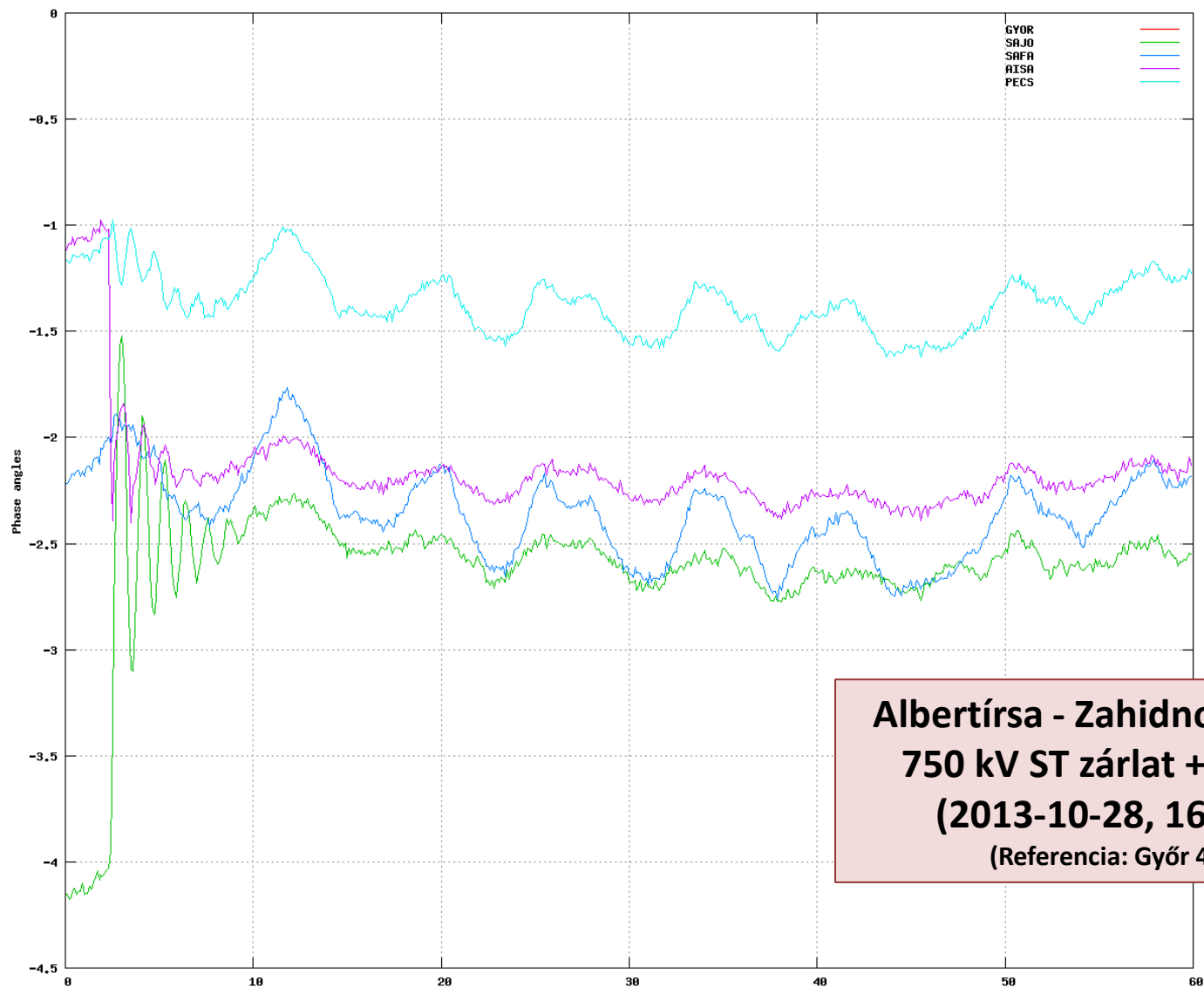
**Albertírsa - Zahidno-Ukrainska**  
**750 kV ST zárlat + sikt. HVA**  
**(2013-10-28, 16:55 CET)**  
(Referencia: Győr 400 kV)

Time interval: 2013-10-28 15:55 -- 2013-10-28 15:56 in seconds (UTC)

# WAMS felvételek (érdekes események felvételei)

X

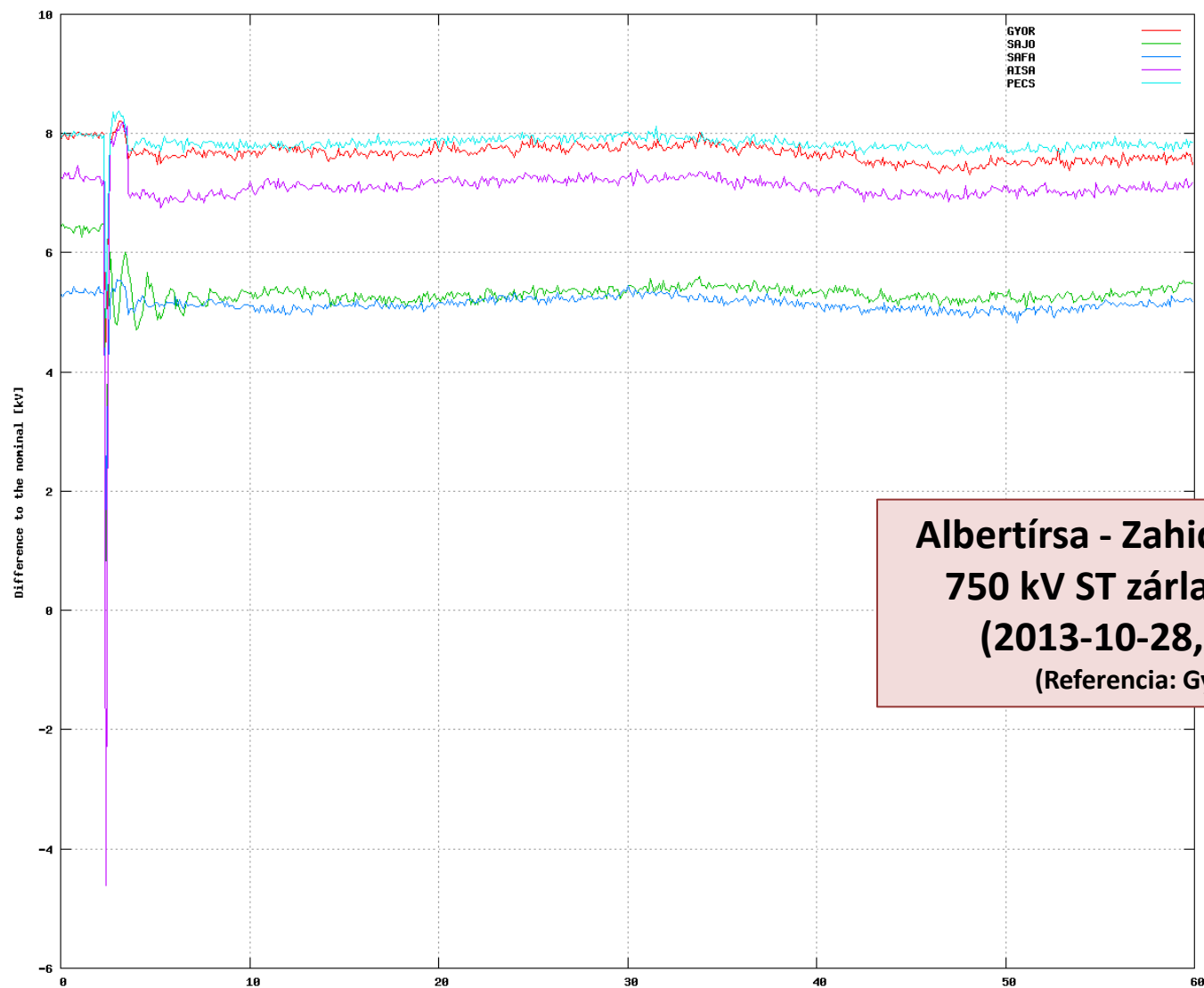
## Phasors



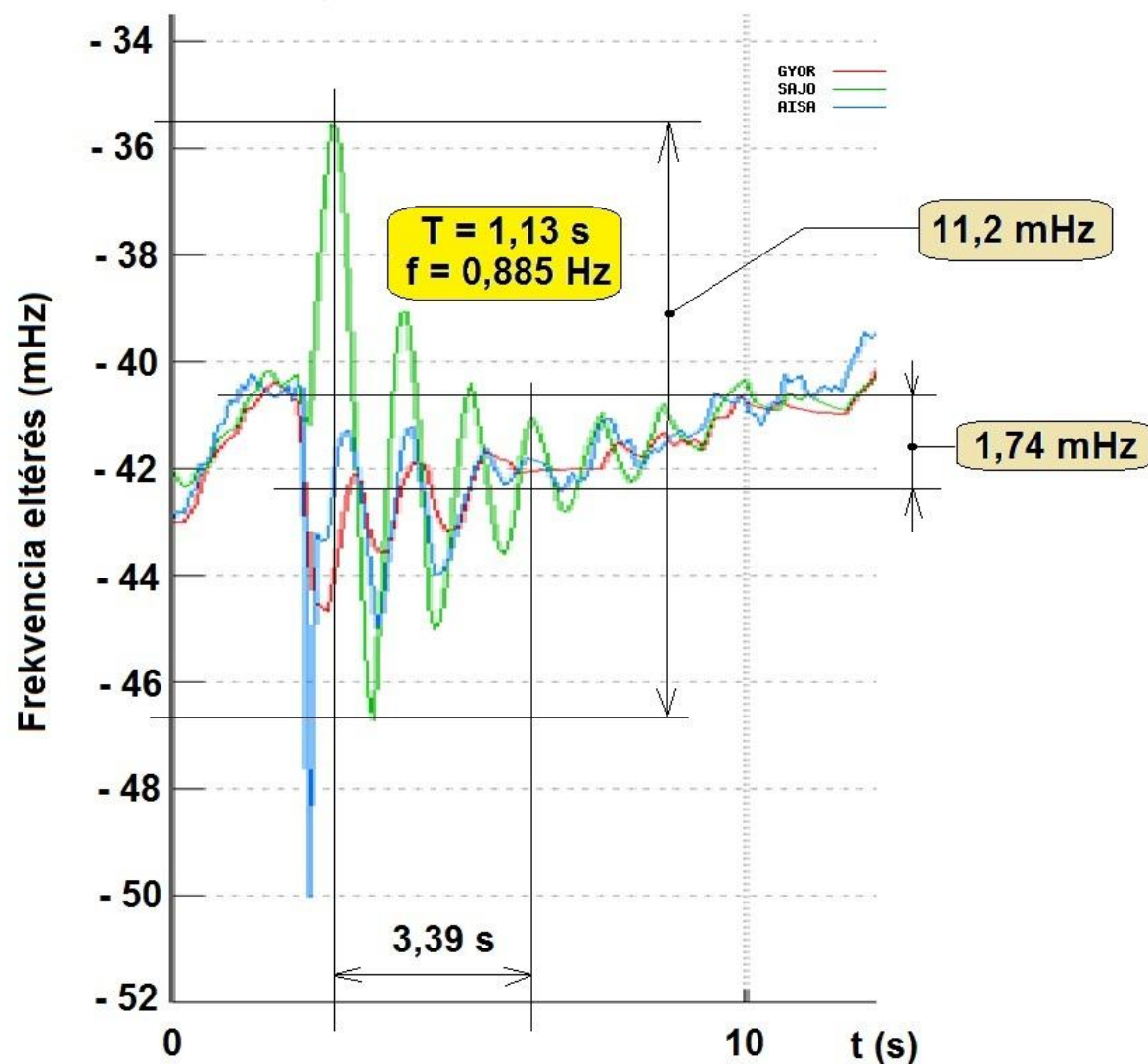
**Albertírsa - Zahidno-Ukrainska**  
**750 kV ST zárlat + sikt. HVA**  
**(2013-10-28, 16:55 CET)**  
(Referencia: Győr 400 kV)

Time interval: 2013-10-28 15:55 -- 2013-10-28 15:56 in seconds (UTC)

## Positive sequence voltage



**Albertírsa - Zahidno-Ukrainska**  
**750 kV ST zárlat + sikt. HVA**  
**(2013-10-28, 16:55 CET)**  
(Referencia: Győr 400 kV)



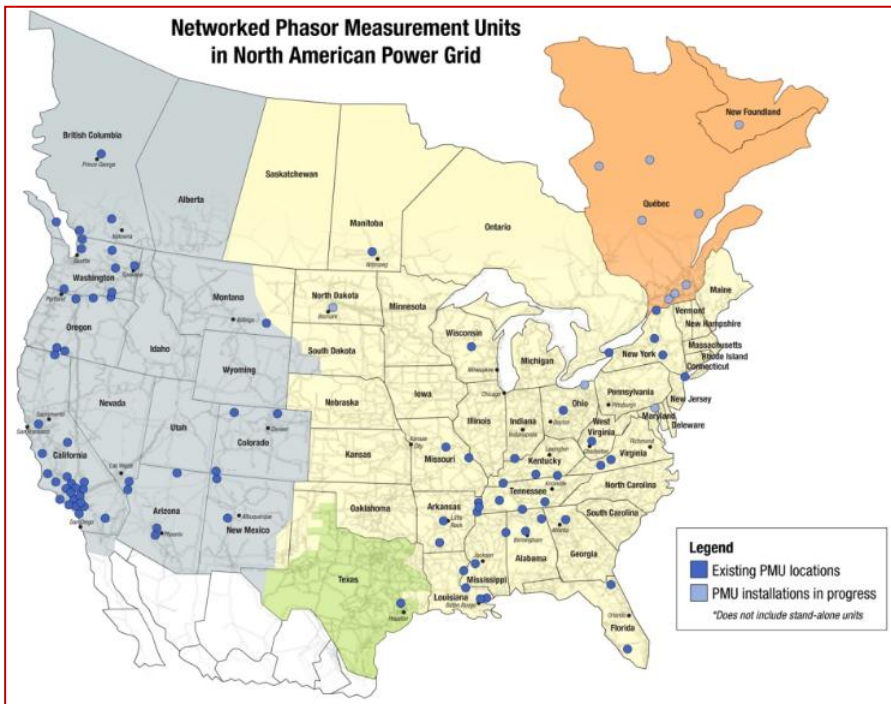
Albertírsa - Zahidno-Ukrainska 750 kV  
ST zárlat + sikt. HVA

2013. 10. 28., 16:55

# WAMS – Wide-Area Monitoring System az USA-ban

X

Networked Phasor Measurement Units  
in North American Power Grid

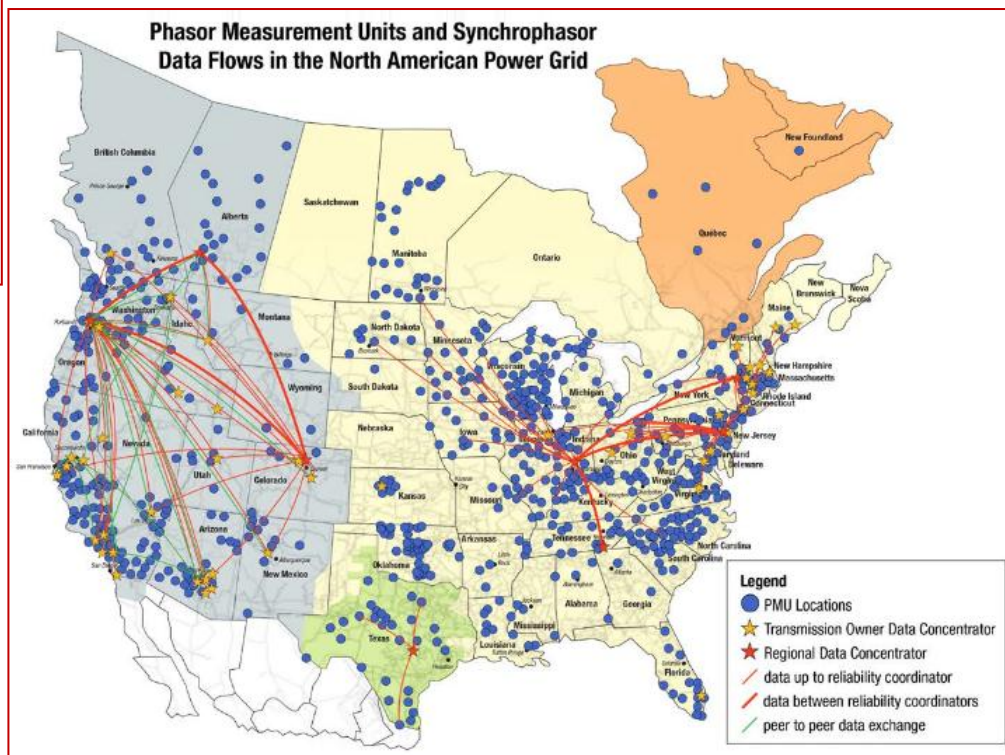


2007

**PMU elátottság az Egyesült  
Államokban.**

*(Az elmúlt évek nagymértékű telepítése az  
U.S. Department of Energy Smart Grid  
Investment Grant (SGIG) program  
segítségével zajlott le.)*

Phasor Measurement Units and Synchrophasor  
Data Flows in the North American Power Grid



2014

# A WAMS jövőbeli fejlődési iránya (WAP, WAMPAC, stb.)

X



## Applications / Alkalmazások

Wide-area Monitoring

- \* Visualization  
**Megjelenítés**
- \* Frequency and voltage monitoring  
**Frekvencia és feszültség figyelés**
- \* Oscillation detection  
**Lengés felismerés**

- \* Alarming  
**Riasztás**

- \* Event detection  
**Üzemzavar felismerés**

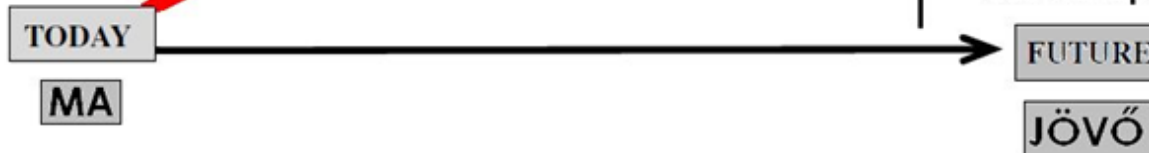
- \* Operator decision support  
**Diszpécseri döntéstámogatás**

- \* Reliability Action Schemes  
**Megbízható üzemállapot-kialakítás**

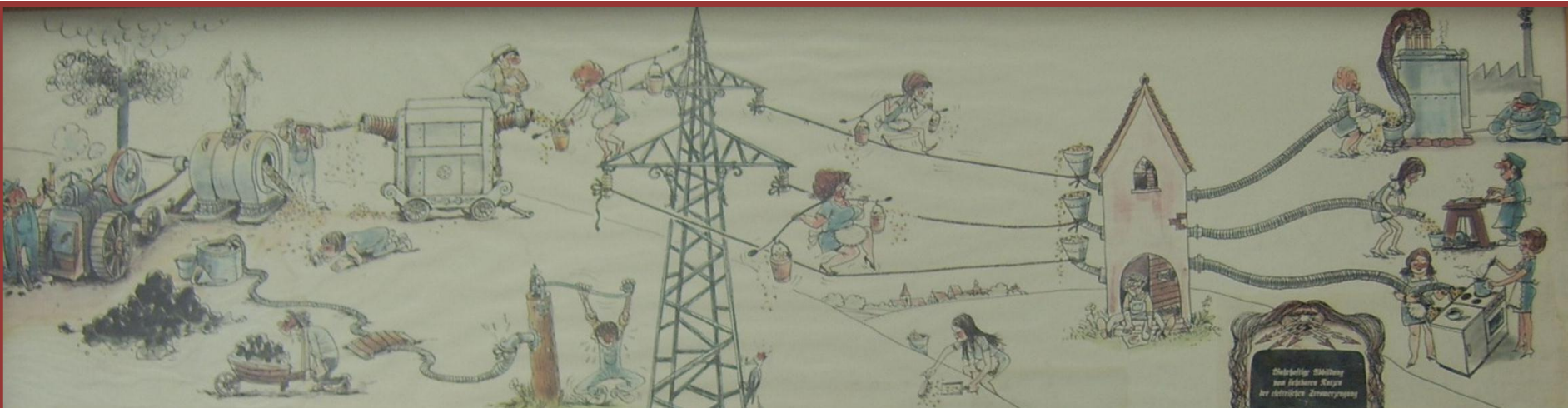
- \* Automated wide-area controls  
**Automatikus rendszerirányítás**

## Functions / Funkciók

- ☐ System protection  
**Rendszerautomatika/védelem (WAP)**
- ☐ Increase in operating transfer capacity  
**Átviteli képesség növelése**
- ☐ Renewable integration  
**Megújuló termelés integrálása**
- ☐ Congestion management  
**Szűk keresztmetszet kezelés**
- ☐ Outage avoidance  
**Kiesés megelőzés**
- ☐ Situational awareness  
**Üzemállapot riasztás**



**Real-time synchrophasor applications**  
**Valós idejű szinkronfázor alkalmazások**



**KÖSZÖNÖM A MEGTISZTELŐ FIGYELMET!**

