



MAVIR



Nagy rendszerüzemzavarok a villamosenergia- rendszerben, rendszerhelyreállítás és „black-start”



**Almási Kristóf osztályvezető,
MAVIR Zrt. RIG-HOSZ, almasi@mavir.hu
Zerényi József főmunkatárs,
MAVIR Zrt. RIG, zerenyi@mavir.hu**

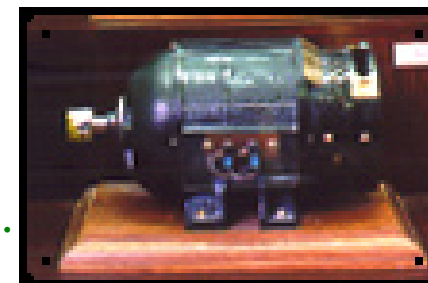
BME ESZK, 2010. március 18.

Kis magyar technika történet - 1

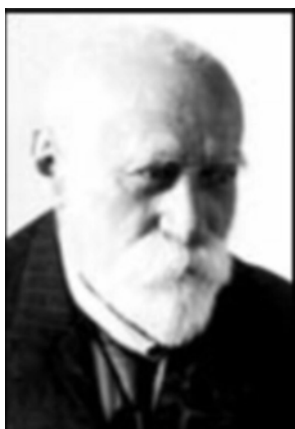
Déri Miksa (Bécs, 1854. okt. 27., Merano, 1938. márc. 3.)



A budapesti József Műegyetem mérnöki osztályán (karán) szerzett vízépítőmérnöki oklevelet 1877-ben. 1882-ben Zipernowsky hívására belépett a Ganz-gyár villamos osztályára. Zipernowskyval közösen öngerjesztésű váltakozó áramú generátort dolgozott ki és szabadalmaztatott. Zipernowsky és Bláthy munkatársaként részt vett a zárt vasmagú transzformátorok párhuzamos kapcsolásán alapuló villamos erőátviteli és elosztó rendszer kidolgozásában. Megszerkesztette a Déri-rendszerű repulziós motort.

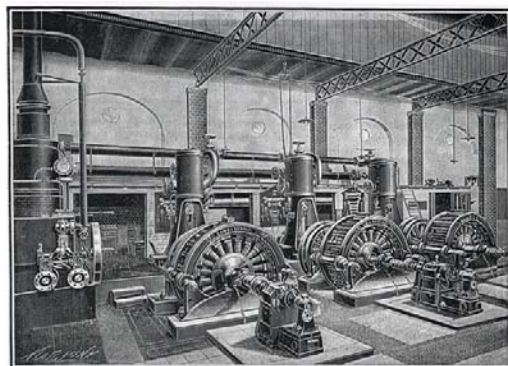


Bláthy Ottó Titusz (Tata, 1860. aug. 11. - Budapest, 1939. szept. 26.)



Gépészmérnök, az MTA tiszteletbeli tagja. Zipernowsky Károllyal és Déri Miksával együtt megalkotta a transzformátort. 1889-ben szerkesztette meg a róla elnevezett váltakozó áramú fogyasztásmérérőt. Úttörő szerepe volt különféle erőművi berendezések, többek között kapcsoló-berendezések, önműködő turbina- és feszültség szabályozók, turbógenerátorok és a nagy transzformátorok tervezésében.





Kis magyar technika történet - 2



Korai váltakozóáramú Ganz erőmű rajza, gőzgéppel hajtott generátorokkal, delta típusú gerjesztőgépekkel (Velence, 1892).

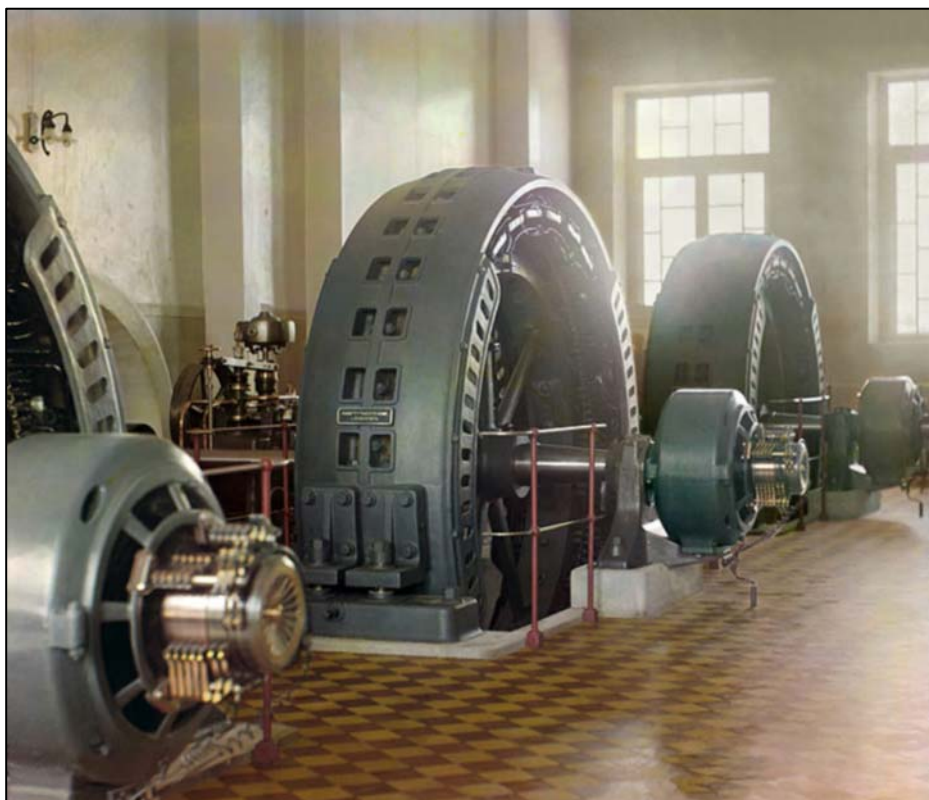
Zipernowsky Károly (Bécs, 1853. ápr. 4. - Budapest, 1942. nov. 29.)

Gépészmérnök, az MTA levelező tagja. Már tanulmányi évei alatt elektrotechnikai tárgyú előadásai révén vált ismertté. Mechwart András a Ganz-gyár akkori vezérigazgatója 1878-ban a gyár villamos osztályának megszervezésével bízta meg. Figyelme a váltakozó áram alkalmazása felé fordult és vezetése alatt a gyár a váltakozó áramú elektrotechnika úttörőjévé vált. Hat év alatt több mint 150 váltakozó áramú villanytelepet, illetve világítóberendezést helyezett üzembe a Ganz-gyár. Déri Miksával és Bláthy Ottó Titusszal közös érdemük, hogy a transzformátor alkalmazásán alapuló új áramelosztási rendszerükkel megoldották a villamos energia nagyobb távolságra történő gazdaságos szállítását és elosztását.



Mechwart András (Schweinfurt, 1834. dec. 6. - Budapest, 1907. jún. 14.)

1855-ben szerzett mérnöki oklevelet. 1859-ben lépett a Ganz-gyár szolgálatába, ahol 1874-től 1899-ig a gyár vezérigazgatója volt. 1878-ban megalapította a gyár villamossági osztályát, ezzel létrehozva a magyar erősáramú villamosipart.



Kis magyar technika történet - 3

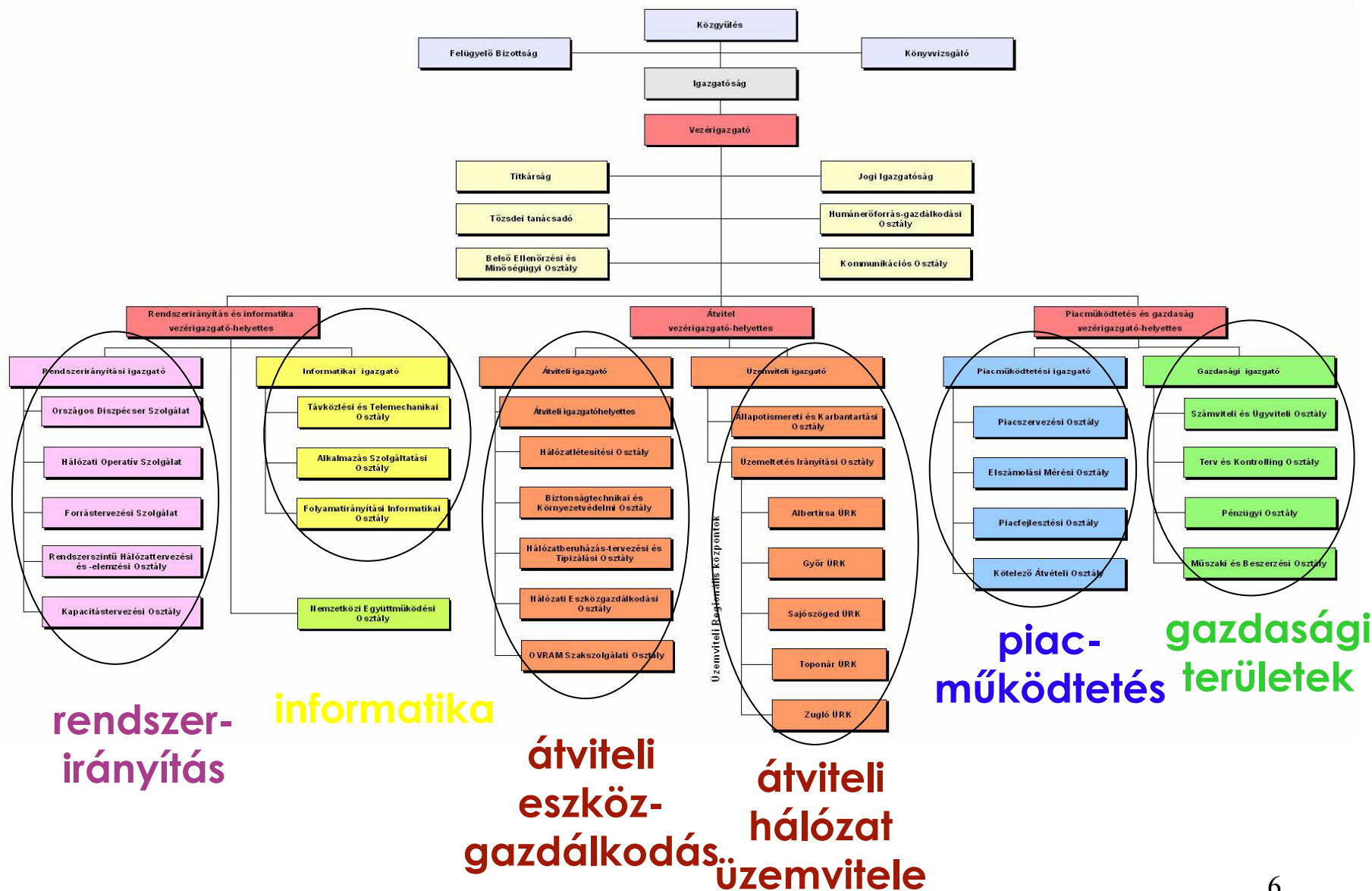
Mikor kezdődött a közcélú áramszolgáltatás Magyarországon?

- 1884:** *Temesvárott városi villamos mű létesül utcai közvilágítás számára*
- 1887:** *Budapesten elindul az első villamos*
- 1888:** *(Megkezdődik Párizs közvilágítása)*
Mátészalkán közcélú áramszolgáltatás létesül

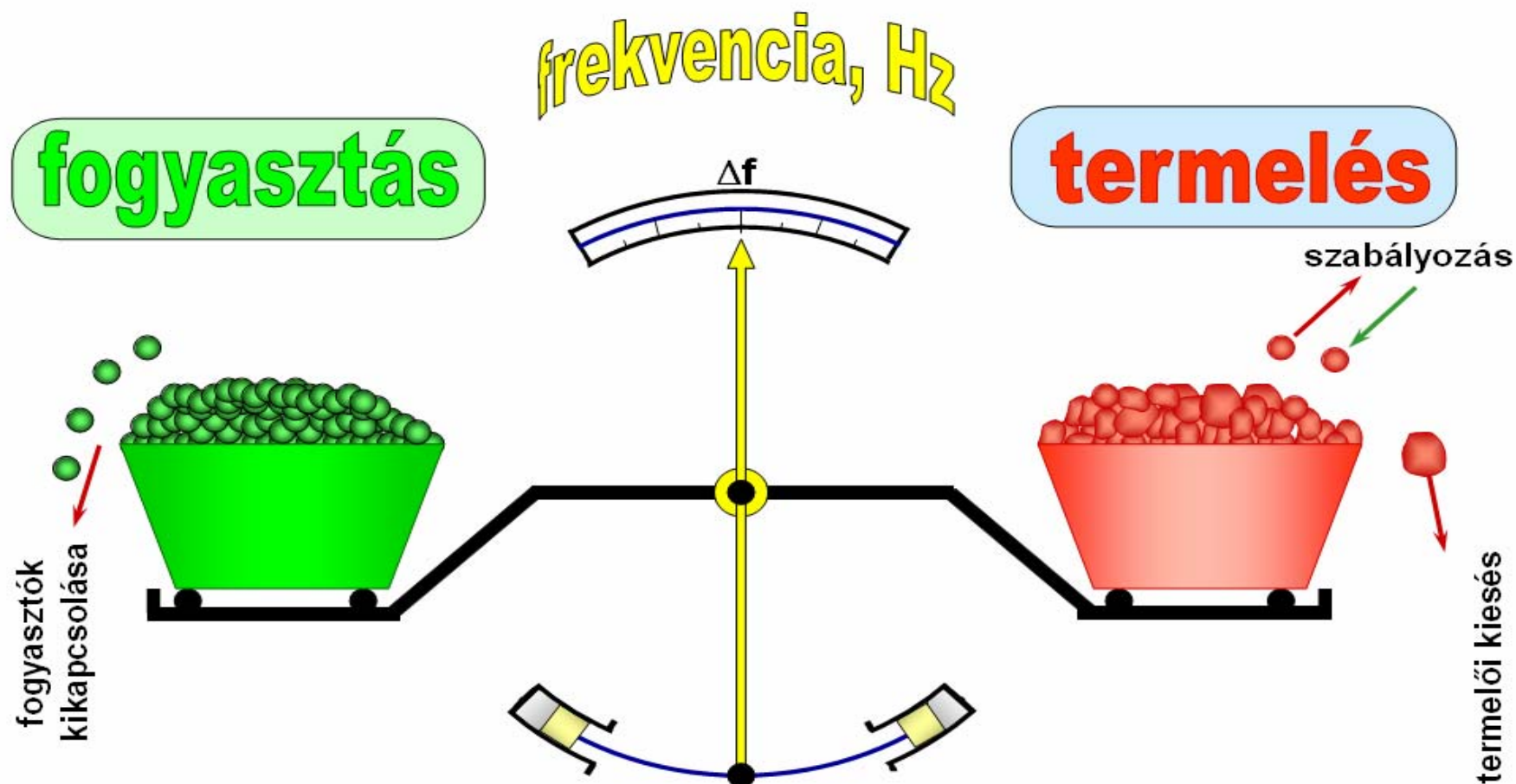
Felkészülési stratégia

- A villamosenergia-rendszer összeomlásának megelőzése:
Védelmi terv (Defence Plan)
- A villamosenergia-rendszer összeomlás utáni helyreállítása (Black-start):
Rendszerhelyreállítási terv (Restoration Plan)

A MAVIR szervezeti felépítése

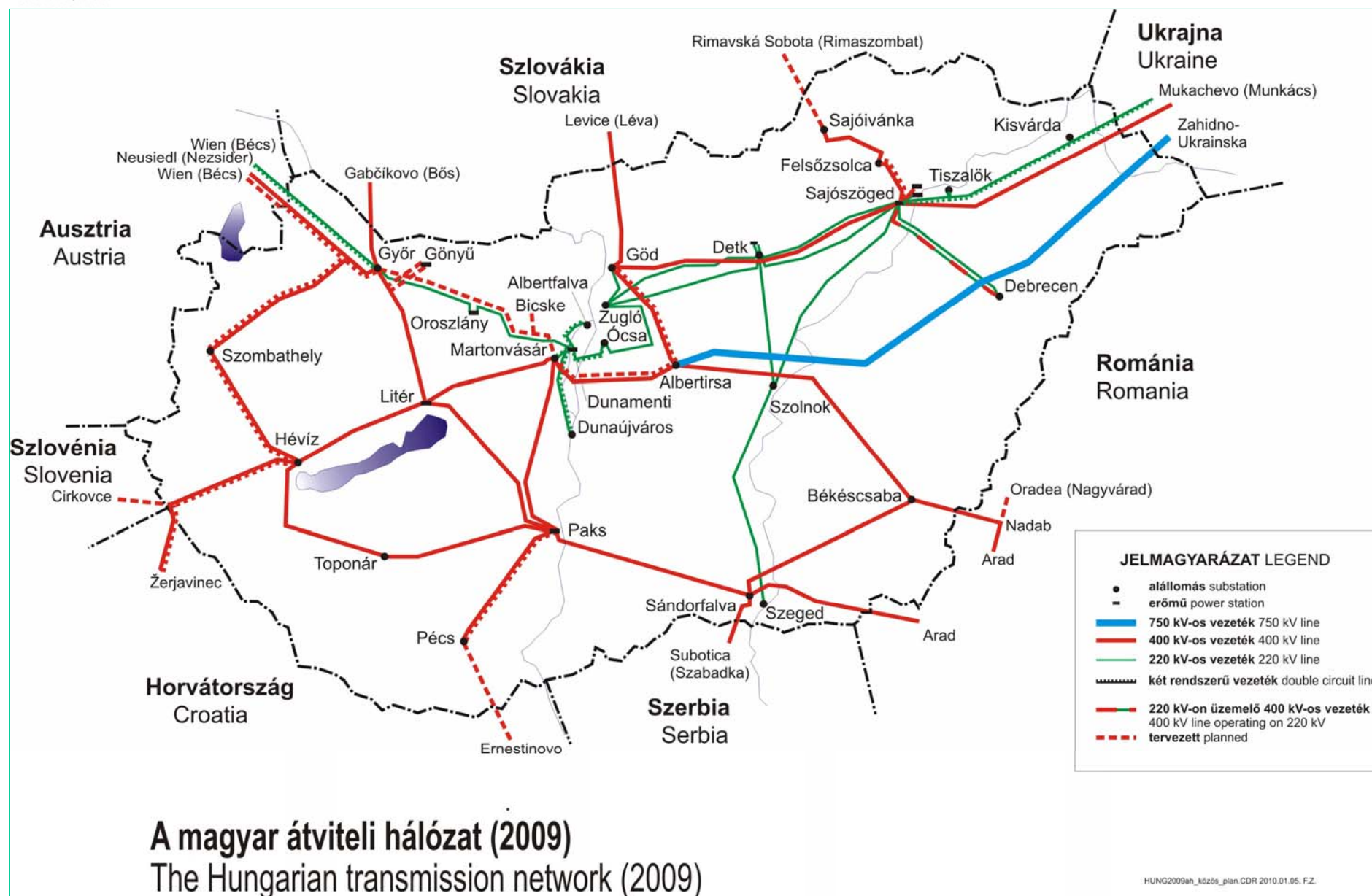


A rendszerirányítás feladatai



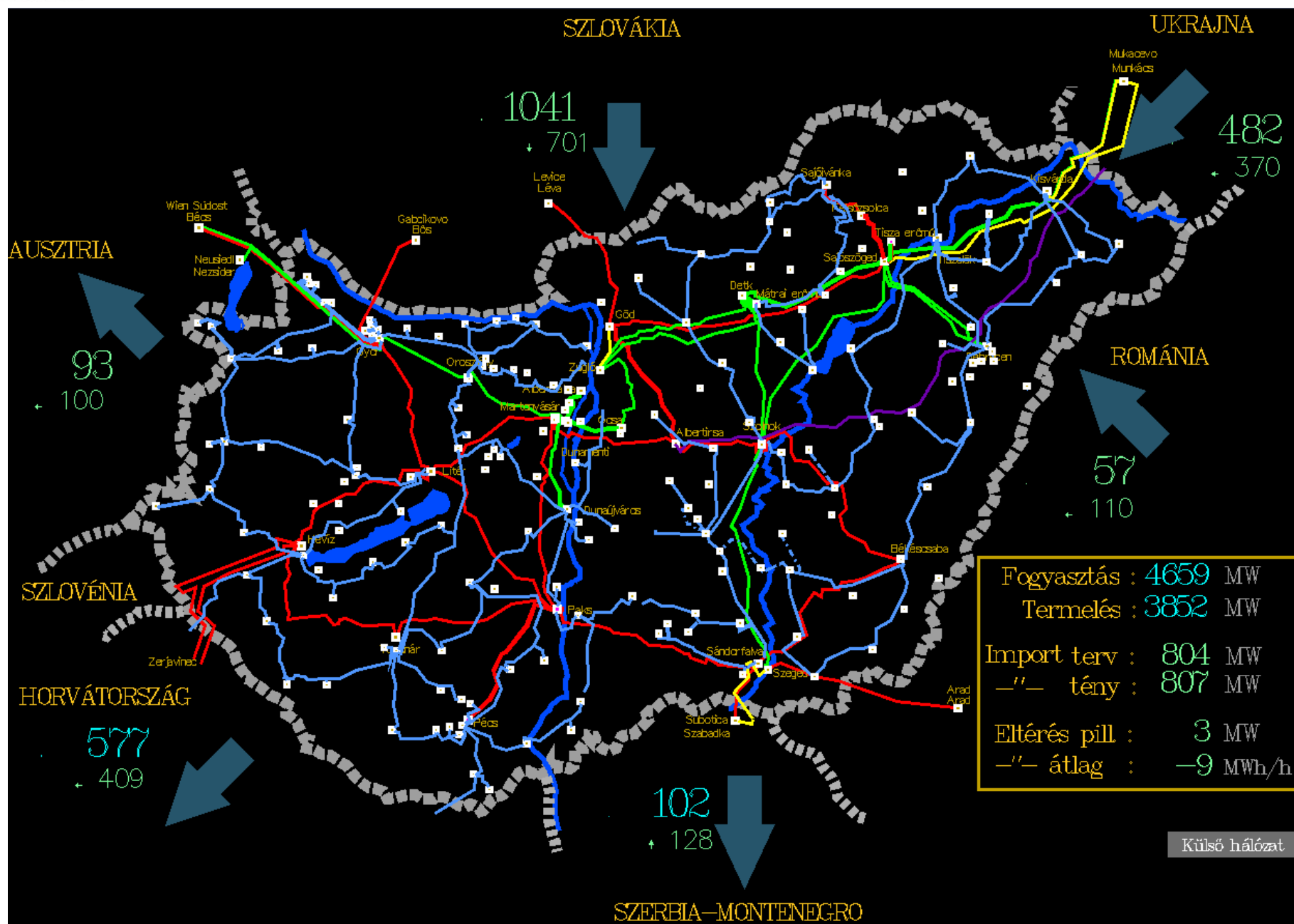
Teljesítmény-egyensúly tartása

A rendszerirányítás feladatai

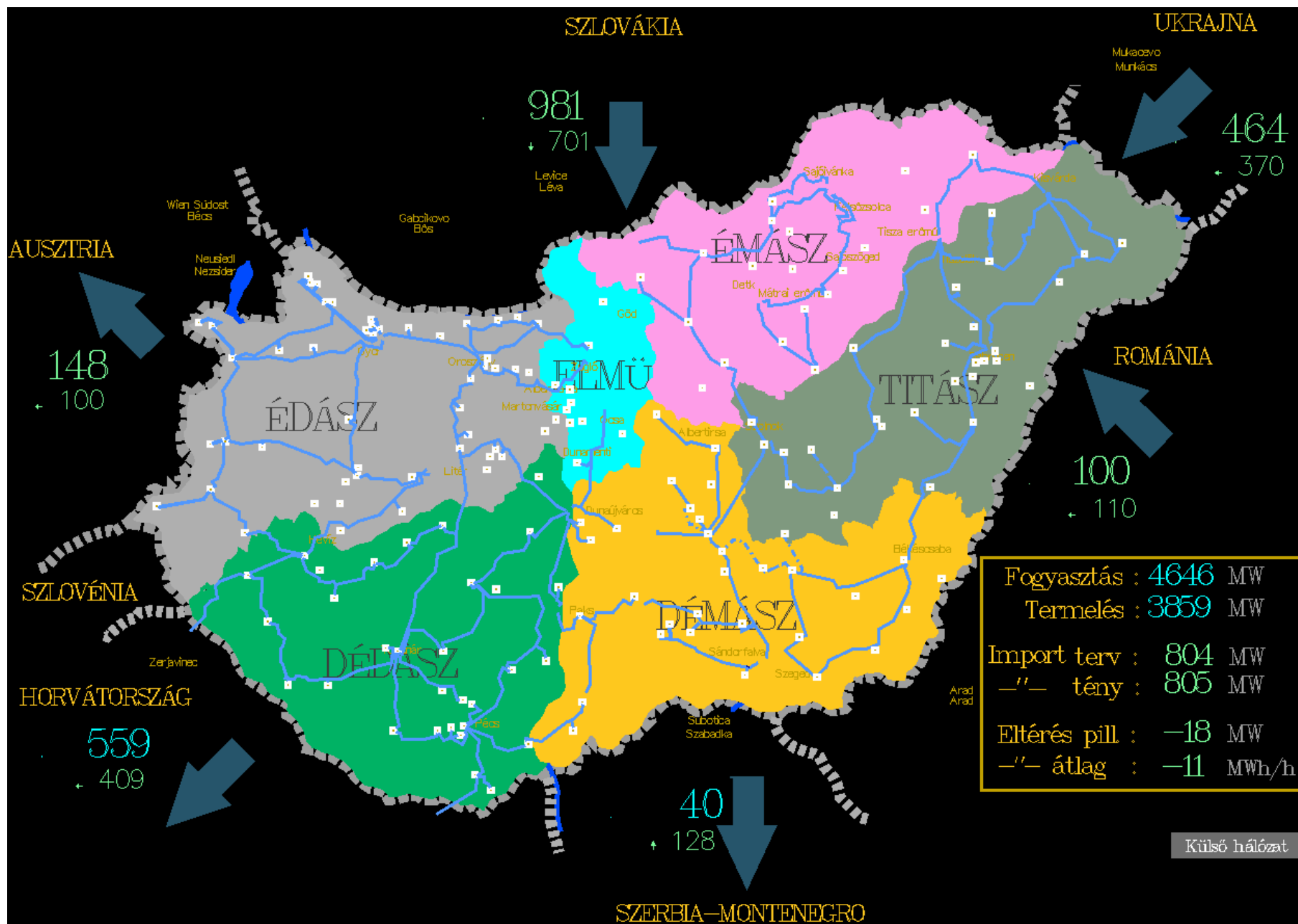


A hálózat biztonságos üzemének fenntartása

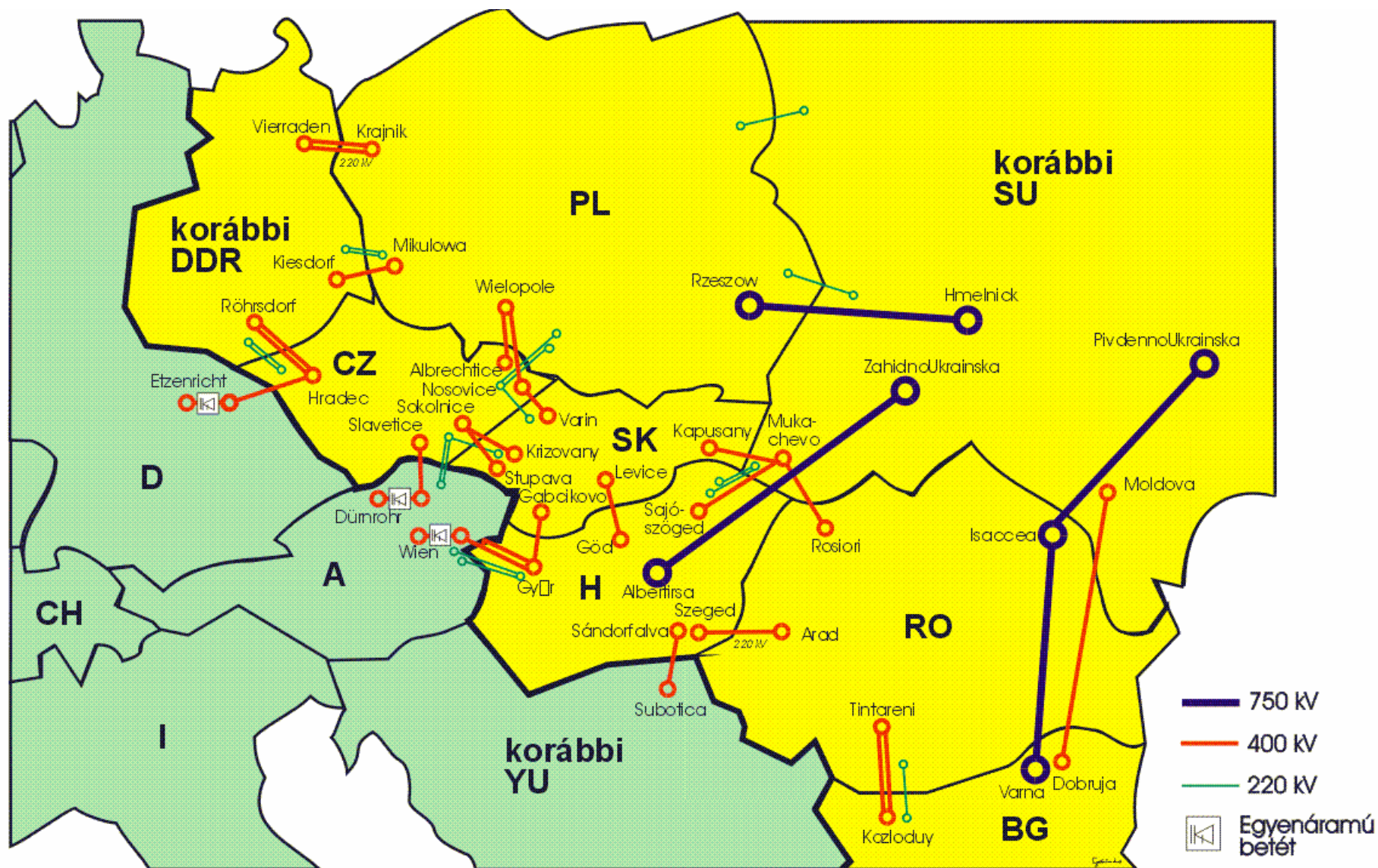
Hálózati üzemirányítás – kapcsolat az elosztókkal



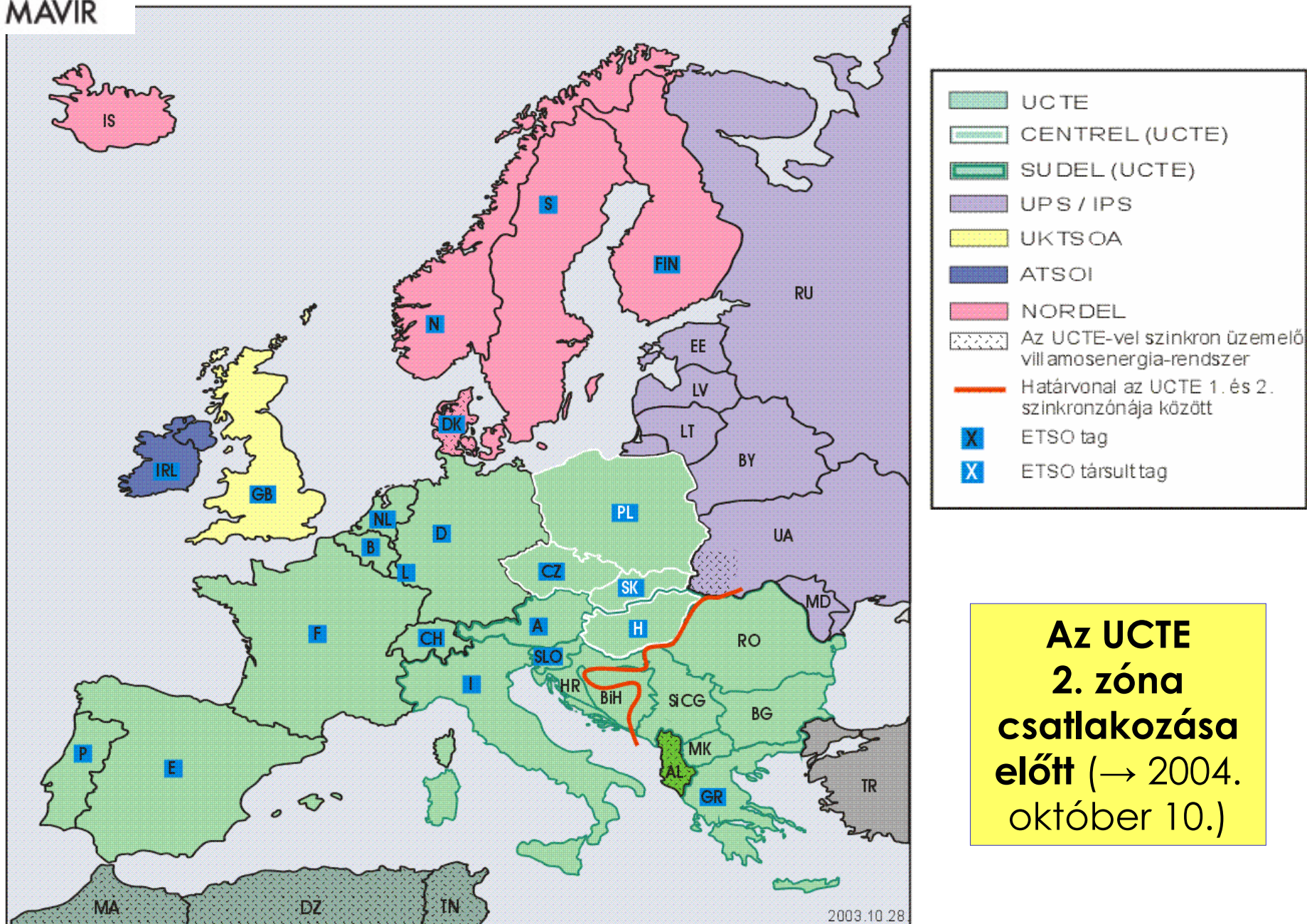
Hálózati üzemirányítás – kapcsolat az elosztókkal



Kelet-Közép-Európa villamosenergia-rendszerei 1993-ig



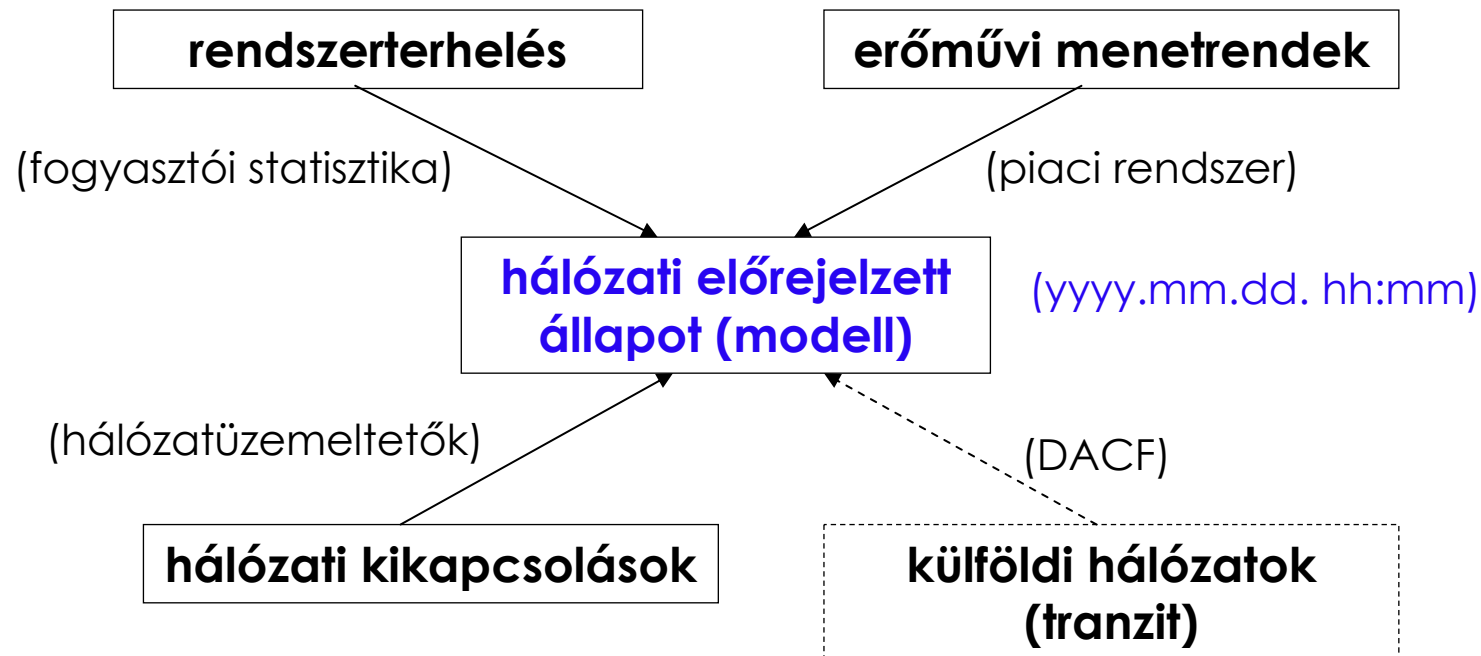
Villamosenergia-rendszerek Európában



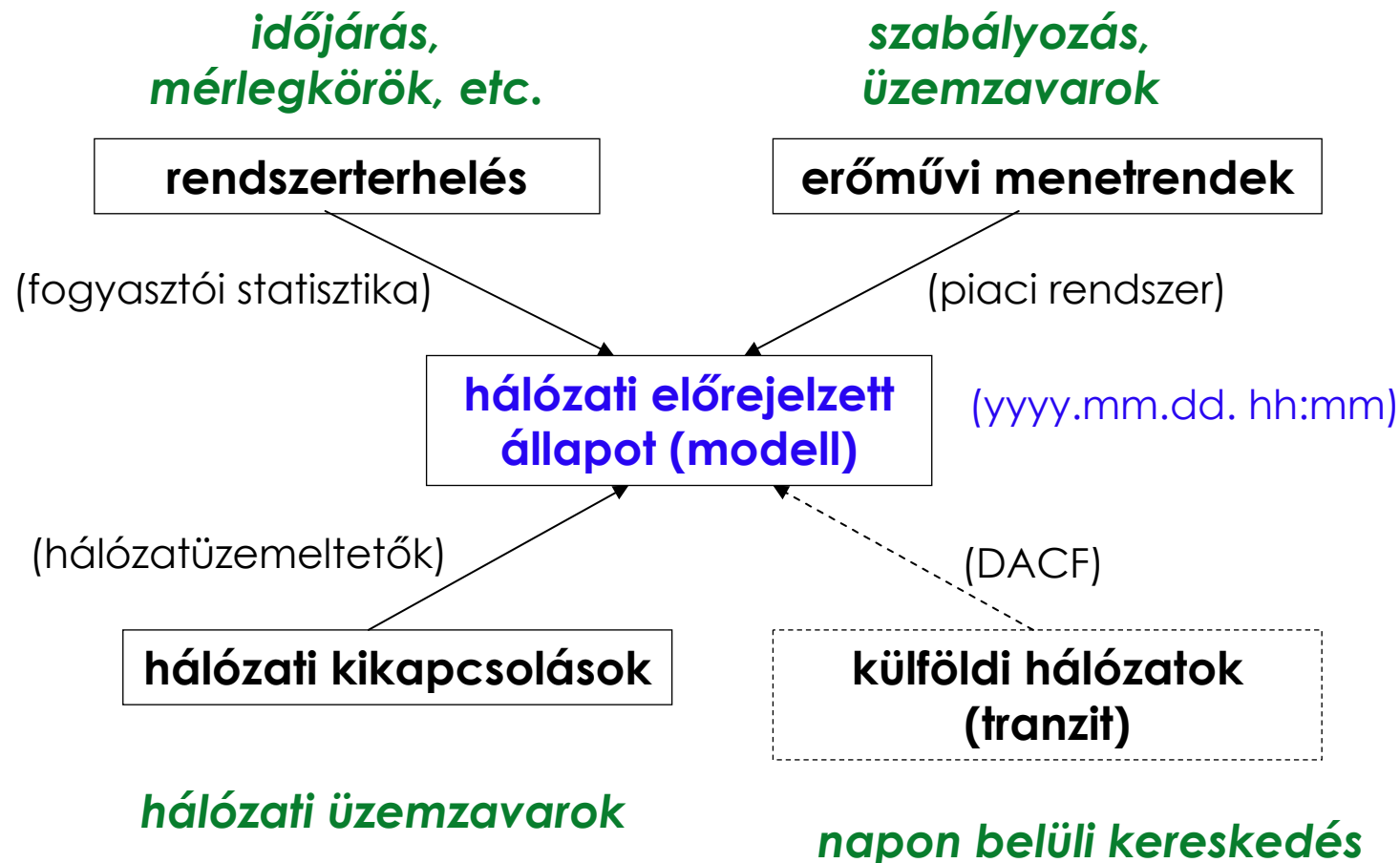
**Az UCTE
2. zóna
csatlakozása
előtt (→ 2004.
október 10.)**

Hálózati előrejelzések (modellek)

- időtávok:
 - éves - havi - heti - napi



Az előrejelzések pontatlanságai



4 November 2006 Final Report

UCTE

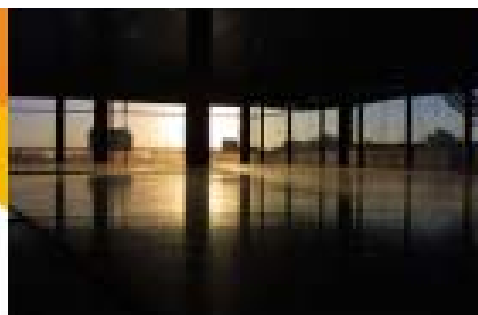


Final Report
System Disturbance on 4 November 2006
union for the co-ordination of transmission of electricity

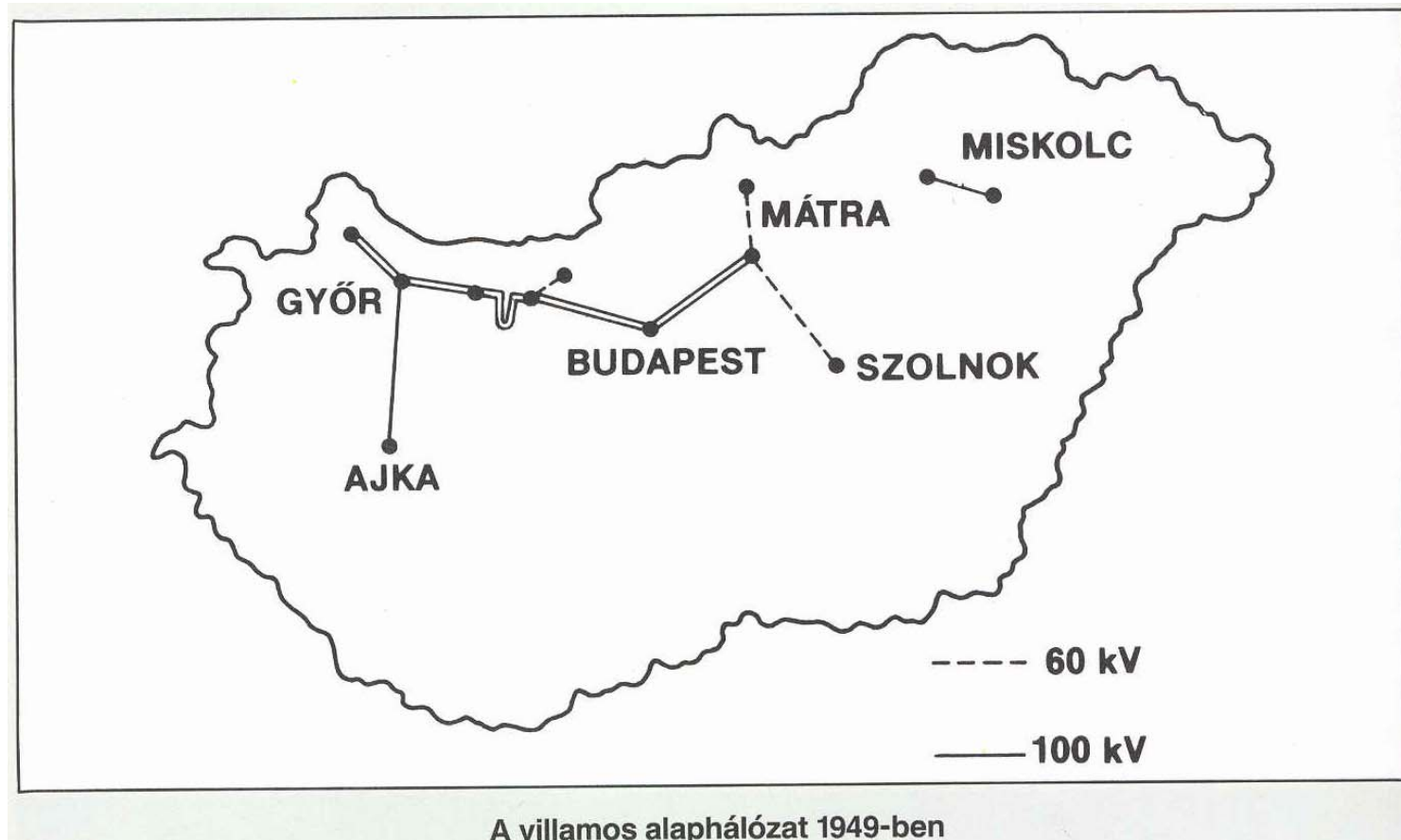
MAIN CAUSE 1: Non fulfillment of the « N-1 » criterion

The N-1 criterion is a basic operation principle in UCTE; it is of major importance to prevent disturbances. This rule requires that any single loss of transmission or generation element should not jeopardize the secure operation of the interconnected network, that is, trigger a cascade of line trippings or the loss of a significant amount of consumption.

On November 4, after switching-off the 380 kV double circuit line Conneforde-Diele, the E.ON Netz grid (including some of its tie-lines) was not in "N-1" secure conditions.



<http://entsoe.eu>



1949: Győr-Ajka, Budapest (Népliget)-Mátra 100 kV (K↔NY a BSZEM 30 kV-os kábelén)

1950: Angyalföld-Kőbánya 120 kV

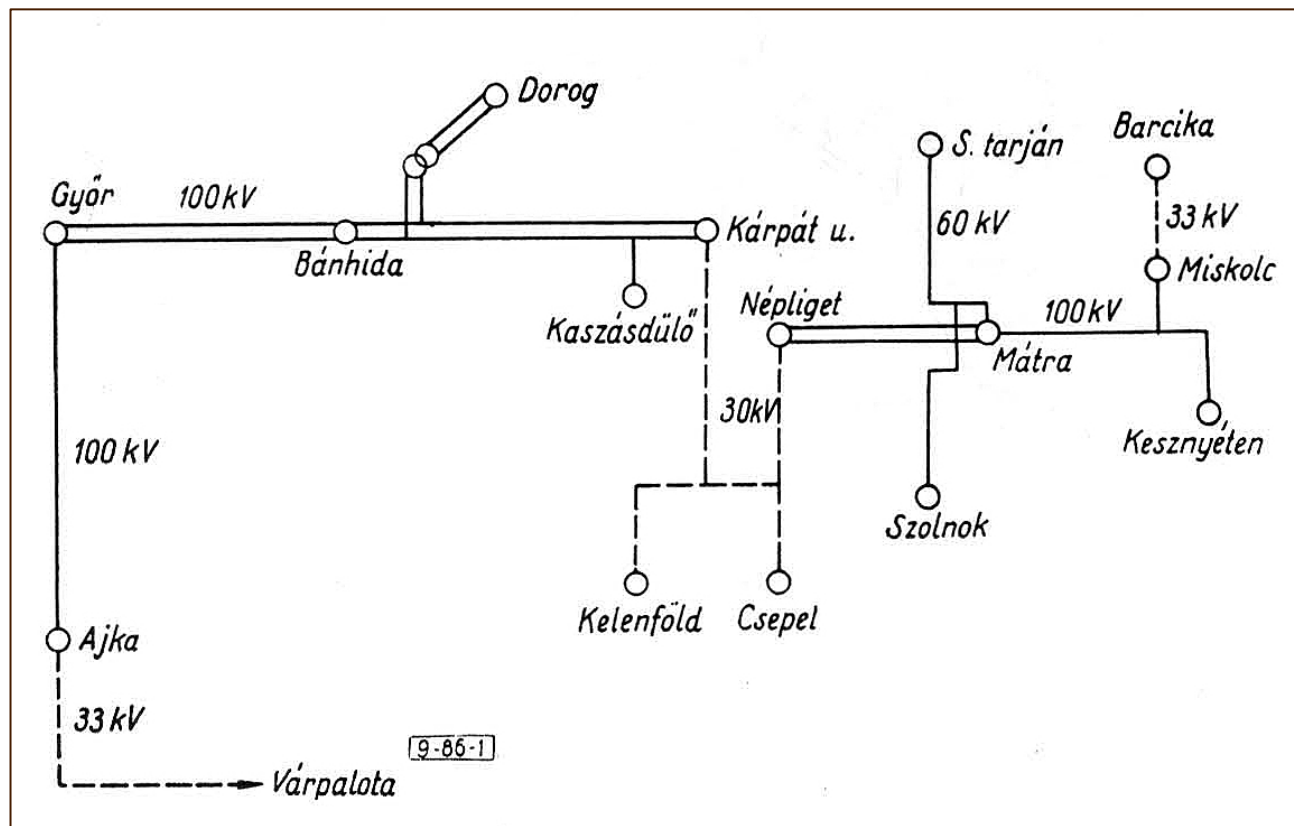
1950-1954: 100 kV → 120 kV, kiépül egy országos kooperációs 120 kV-os hálózat

A magyar VER kiépülése

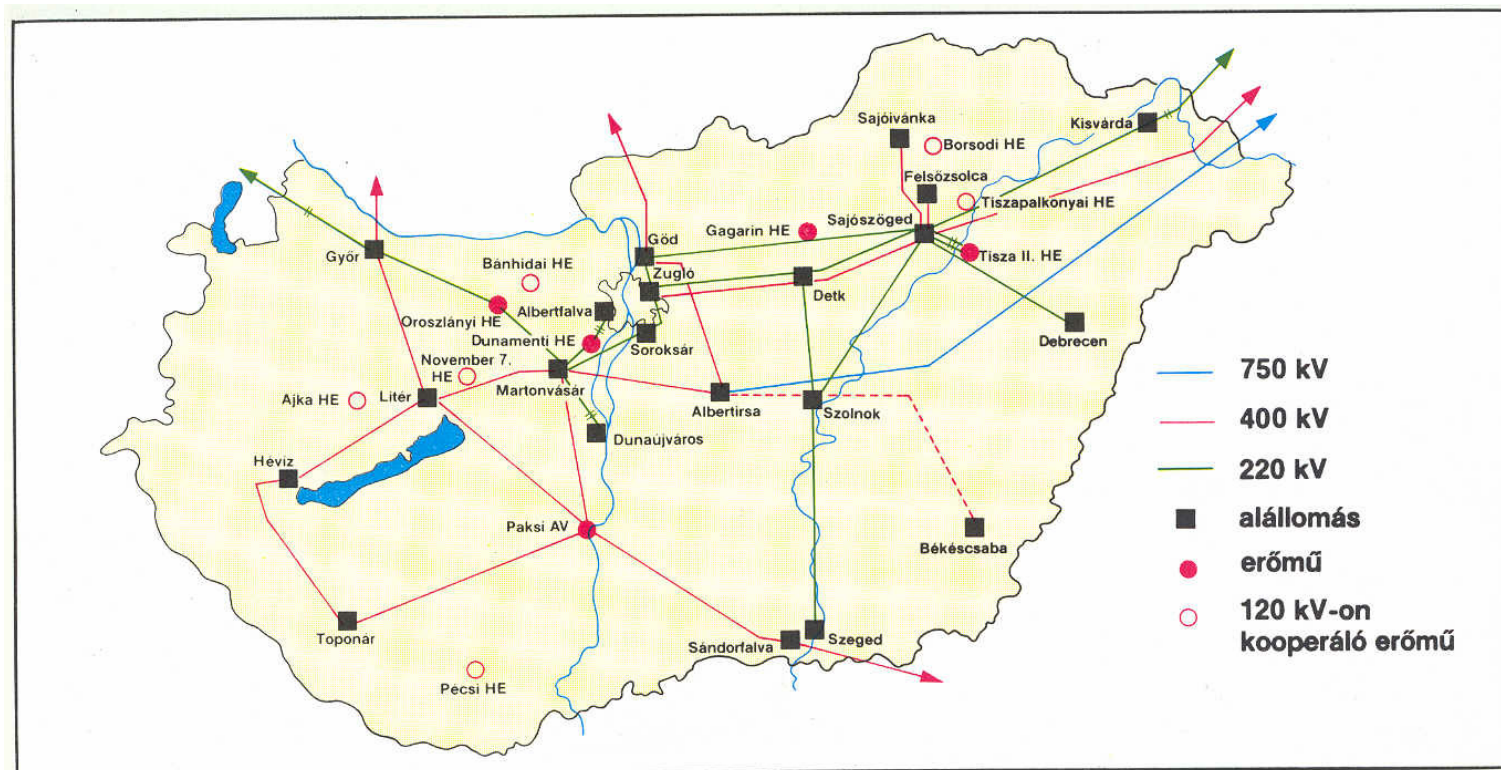
Egységes rendszerirányítás kialakulása (1949-1953)

Az 1949-ben kidolgozott ötéves terv rendelkezett egy Budapesten létrehozandó központi teherelosztóról.

- **1949. október 24.:** az első menetrend kiadása
- **1949. november 23.:** az első írásos bejegyzés az Országos Villamos Teherelosztó üzemi naplójába



A hálózatok összekapcsolása 1949-ben



A villamos alaphálózat 1987-ben

- 1952: Kisigmánd-Érsekújvár (Nove-Zamky), 1953: Vác-Beszterce (Bistricany) 120 kV
- 1958: Söjtör-Varasd (Nedeljanec), 1959: Szeged-Szabadka (Subotica) 120 kV
- 1962: Sajószöged-Munkács (Munkacevo) 220 kV
- 1968: Győr-Neusiedl 220 kV
- 1972: Szeged-Arad 220 kV (400 kV),
- 1959: Göd-Bistricany 220 kV
- 1969: Göd-Munkács 400 kV
- 1978: Albertirsa-Zapadnoukrainskaja 750 kV

A magyar VER nemzetközi kooperációjának kiépülése

- ✓ 14db/28 (megvalósult)
- ✓ 9db/28 (megvalósulás alatt, még tervezett)
- X 5db/28 (elmaradt)

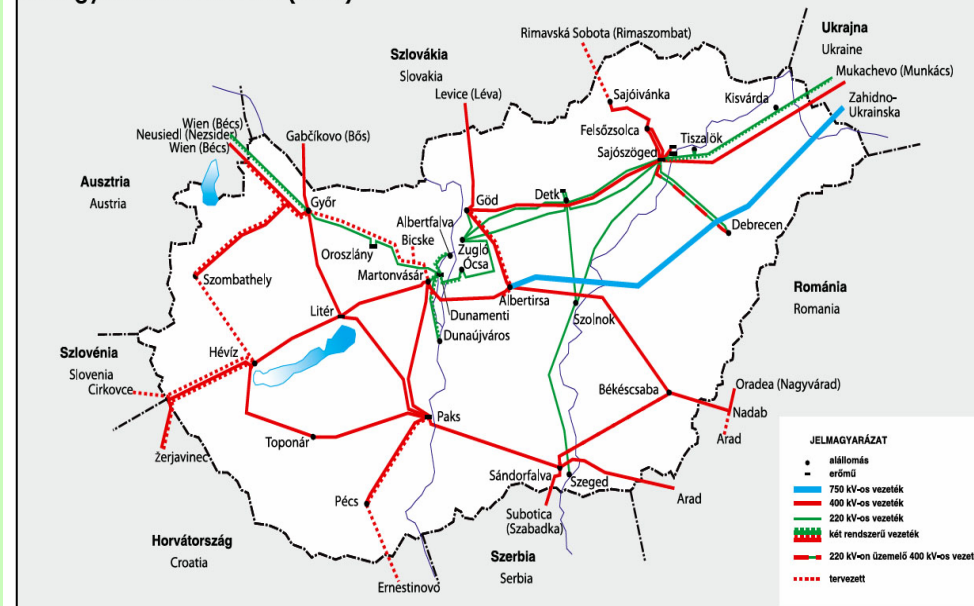
Az 1993-ban elfogadott alaphálózati stratégia megvalósulása



- ✓ Soroksár 220 kV-os behurkolás helyett Ócsa (2000)
- ✓ Sándorfalva-Békéscsaba 400 kV (2003)
- ✓ Debrecen-Sajószöged (400) 220 kV (1995)
- ✓ Soroksár 220/120 kV II. trf. helyett Ócsa (2000)
- ✓ Toponár 400/120 kV II. trf. + új alállomás (1999)
- ✓ Hévíz 400/120 kV II. trf. + „új” alállomás (1999)
- ✓ Békéscsaba 400/120 kV II. trf. (2001)
- ✓ Tiszalök 220/120 kV II. trf. (2003)
- ✓ Felsőzsolca 400 kV-os behurkolás (1999)
- ✓ Győr-Szombathely 400 kV (2006)
- ✓ Szombathely 400/120 kV-os alállomás (2006)
- ✓ Paks-Pécs 400 kV
- ✓ Pécs 400/120 kV-os alállomás (2004)
- ✓ Göd IV. 400/120 kV tr. helyett 1 db 220/120 kV-os tr. (2007)

- ✓ Szombathely-Graz 400 kV helyett Szombathely-Hévíz (2009)
- ✓ Szolnok 400/120 kV-os alállomás (2012)
- ✓ Sajóivánka-Rimaszombat 400 kV (2012)
- ✓ Pécs - Ernestinovo 400 kV (2010)
- ✓ Göd-Győr 400 kV helyett Martonvásár-Bicske-Győr 400 kV (2012)
- ✓ Mátra (Detk) 400 kV (2012)

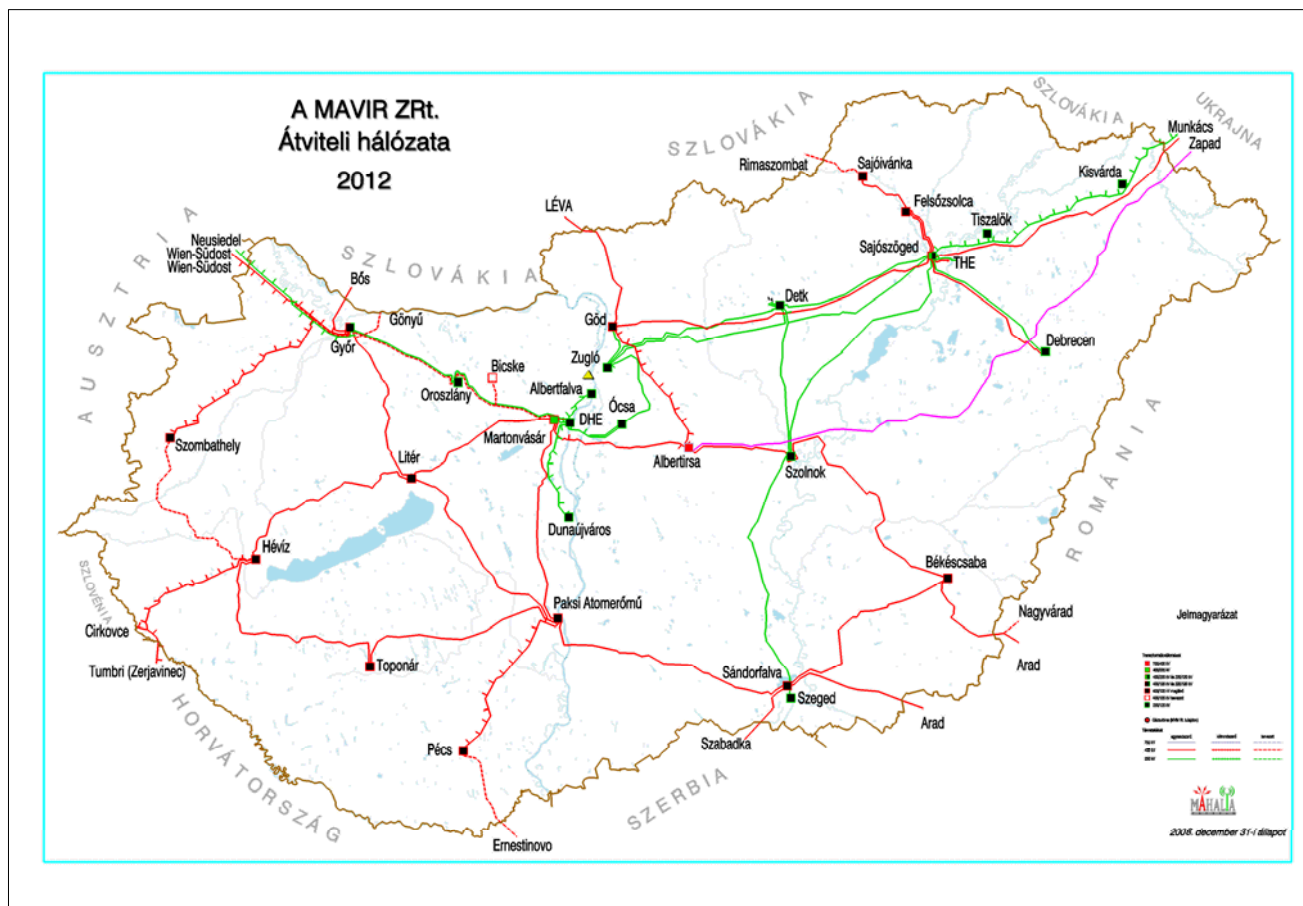
A magyar átviteli hálózat (2008)



- ✓ Debrecen 400 kV-os alállomás (2014)
- ✓ 750 kV áttérítés 400 kV-ra (2014)
- ✓ Martonvásár-Albertfirtsa 400 kV II. rendszer (2012)

- X Sajószöged II. 400/220 kV tr.
- X Sajóivánka 400/120 kV II. trf.
- X Paks 400/120 kV III. trf.
- X Kisvárdai 220 kV-os behurkolás
- X Albertfalva III. 220/120 kV-os tr.

Hálózatfejlesztés - Átviteli hálózat 2014



Szombathely – Hévíz 400 kV	2009
Martonvásár – Bicske 400 kV	2010
Gönyű 400 kV	2010
Martonvásár – (Oroszlány) – Győr 220 → 400 kV	2010-12
Albertirsa – Martonvásár II. 400 kV	2012
Debrecen 400 (750/400) kV	2012
Szolnok 400/120 kV	2012
Debrecen 400/120 kV	2012
Dunaújváros 400/120 kV	2012

Székesfehérvár 400/120 kV 2014

Nemzetközi összeköttetések:

Pécs – Ernestinovo (HR) 400 kV	2010
Sajóvénka – Rimaszombat (SK)	>2012
Szombathely – Bécs II. rendszer	2010

1993. november előtt:

A magyar VER a KGST országok IPS-CDO (CDU) rendszerének integráns tagja

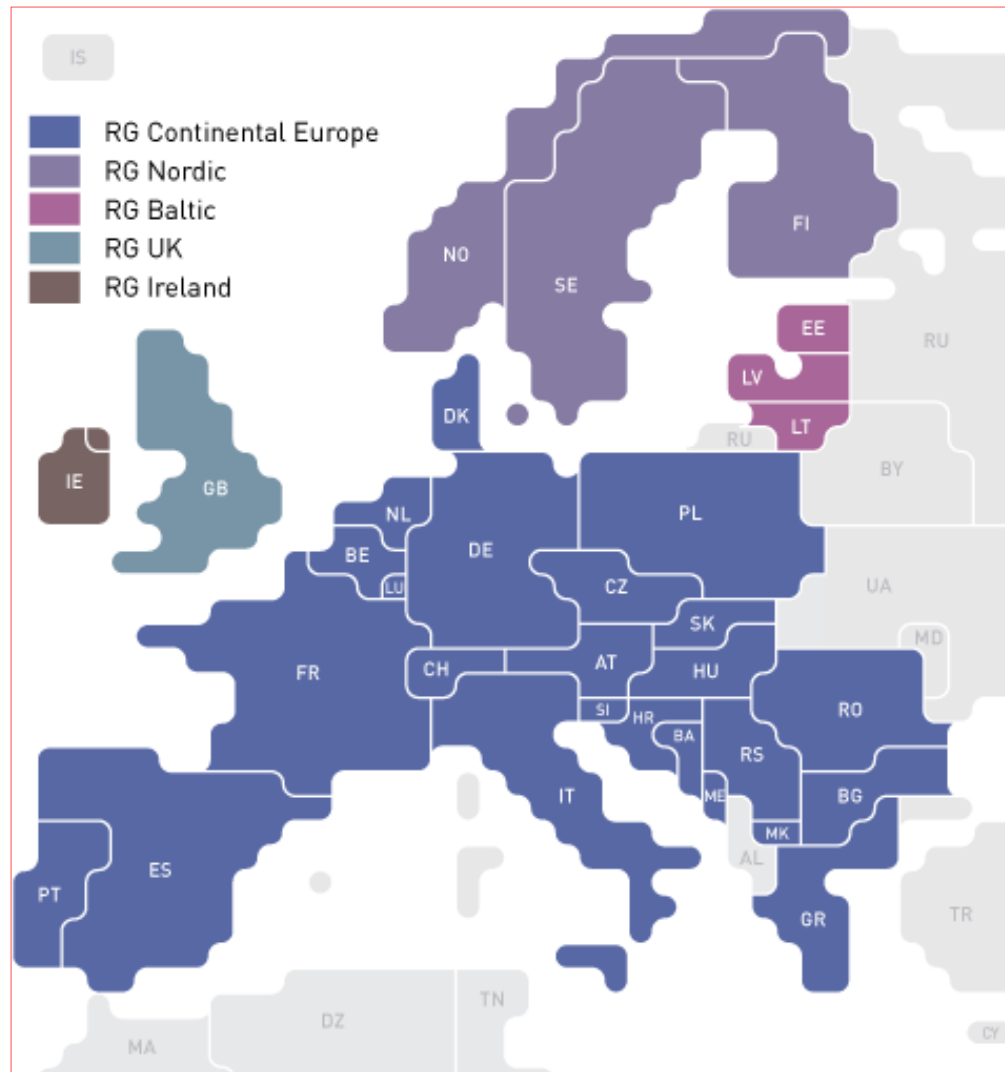
- egyoldalúan erős hálózati kapcsolat az IPS-CDO-val, szállítás orientált rendszeregyesülés
- nagy importhányad, kelet-nyugati szállítások, áteresztőképesség, rendszerautomatikák
- a minőségi jellemzők nem feleltek meg az Európában előírtaknak (pl. frekvencia, a primér szabályozást a SZU végezte)
- a szomszédos UCPTÉ-tag VER-ekkel irány- és szigetüzem (pszeudó-szinkron átkapcsolás, Dr. Bendes Tibor)

MASSNAHMENKATALOG

Az UC(P)TE által megadott, a csatlakozás műszaki követelményeit és az azok megvalósítását szolgáló intézkedéseket tartalmazó dokumentum.

- **Hálózati összeköttetések erősítése**
- **Primér szabályozás (minden nagy erőművi gép részt vesz benne), tartaléktartás (GT-k)**
- **Nagy erőművi blokkok automatikusan házi-szigetüzemre való kapcsolásának képessége**
- **Védelmi terv (FTK, zárlathárítási idő, redundáns relévédelmi rendszer)**
- **Rendszerhelyreállítási terv**
- **Paksi blokklekapcsolás (tranziens stabilitás megőrzése megszakítóberagadás esetén – STVA automatika)**
- **Lengéscsillapító berendezések (PSS) telepítése**

European Network of Transmission System Operators for Electricity



Regional Group

Participating Countries

Continental Europe

Austria, Belgium, Bosnia-Herzegovina, Bulgaria, Czech Republic, Croatia, Denmark (West), France, FYROM, Germany, Greece, Hungary, Italy, Luxembourg, Montenegro, Nederland, Poland, Portugal, Romania, Serbia, Slovakia, Slovenia, Spain and Switzerland

Nordic

Denmark (East), Finland, Norway and Sweden

Baltic

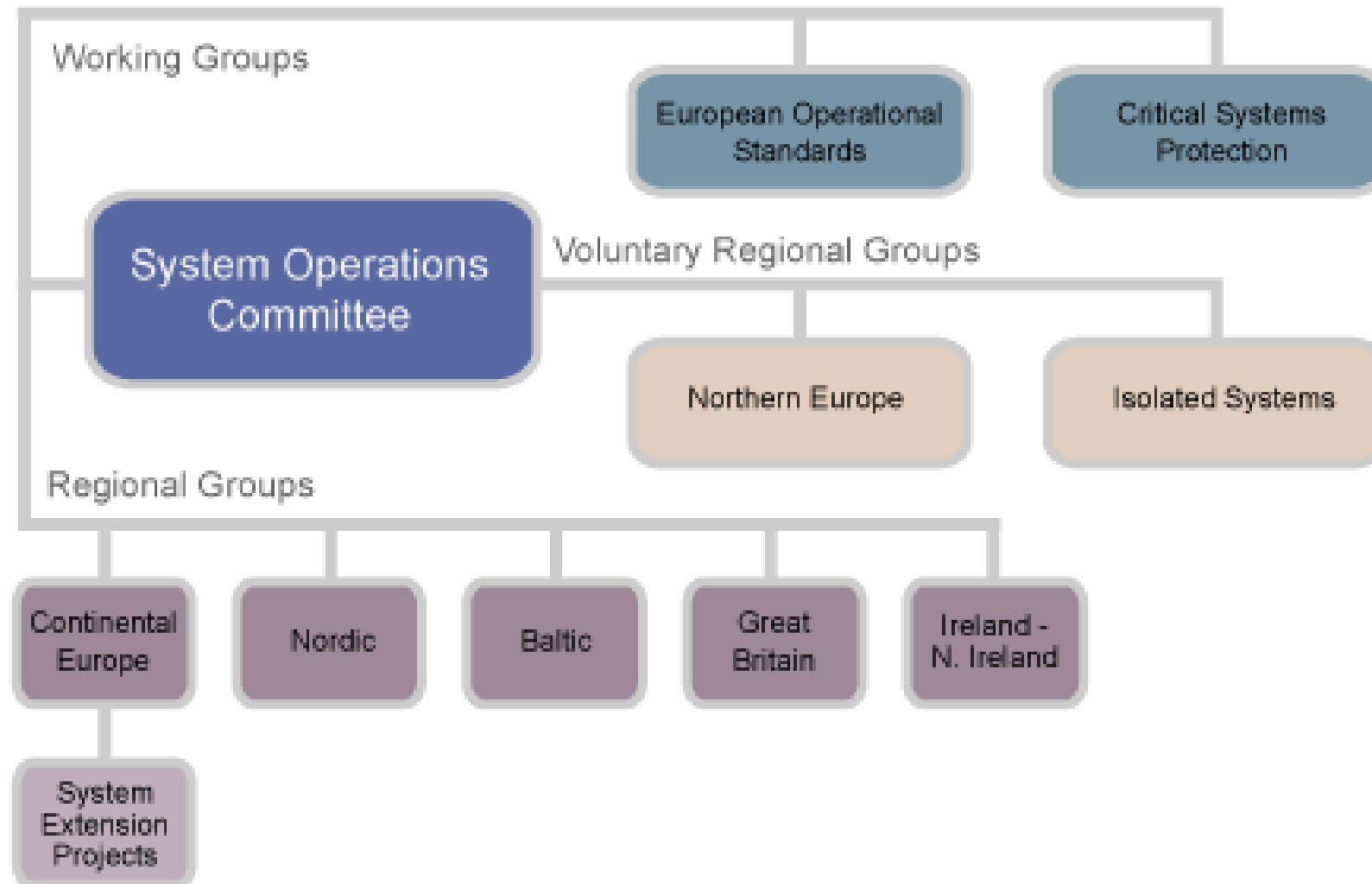
Estonia, Latvia, Lithuania

UK

Great Britain

Ireland

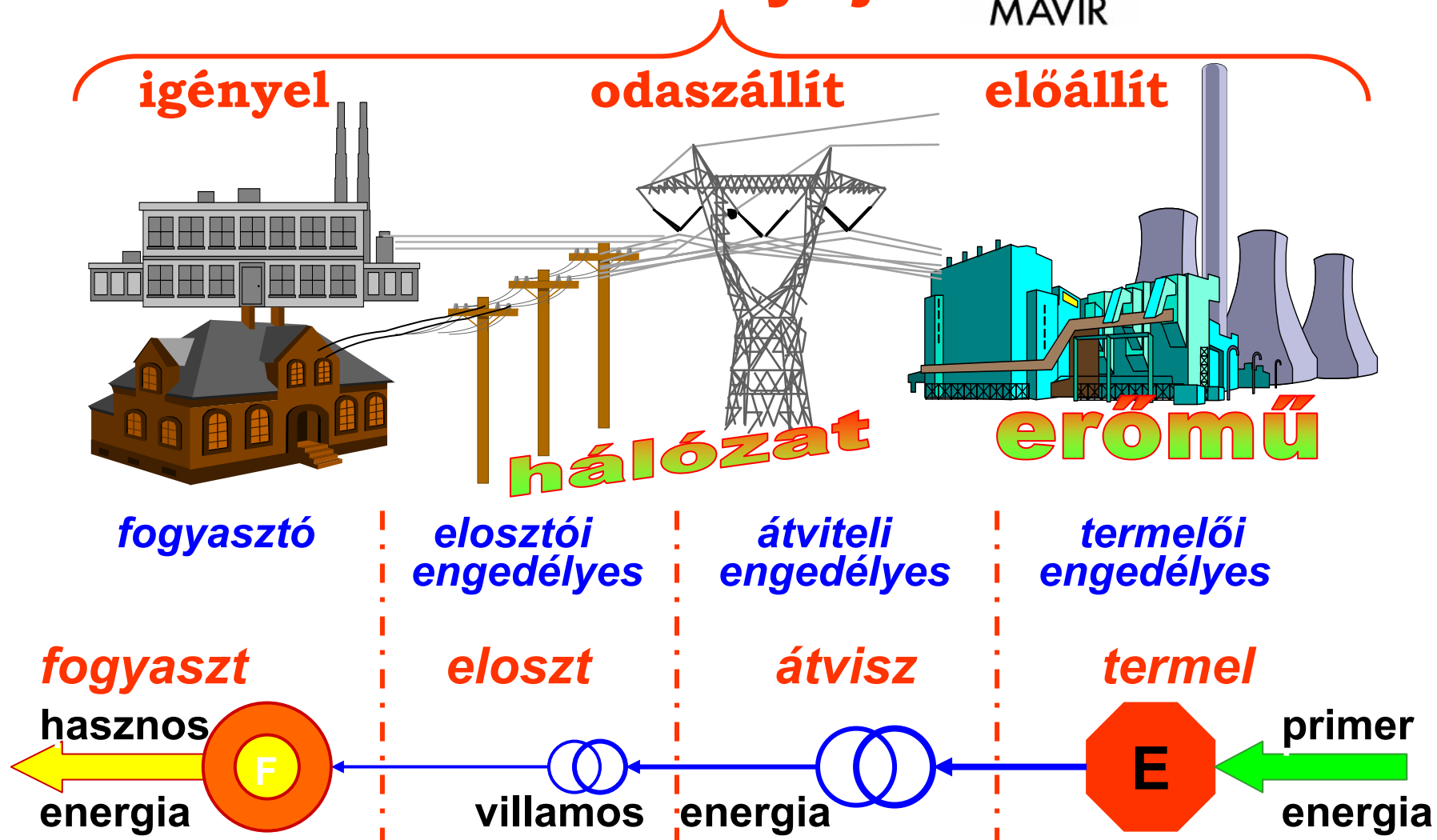
Ireland, Great Britain



System Operations Committee Structure

Villamosenergia-rendszer

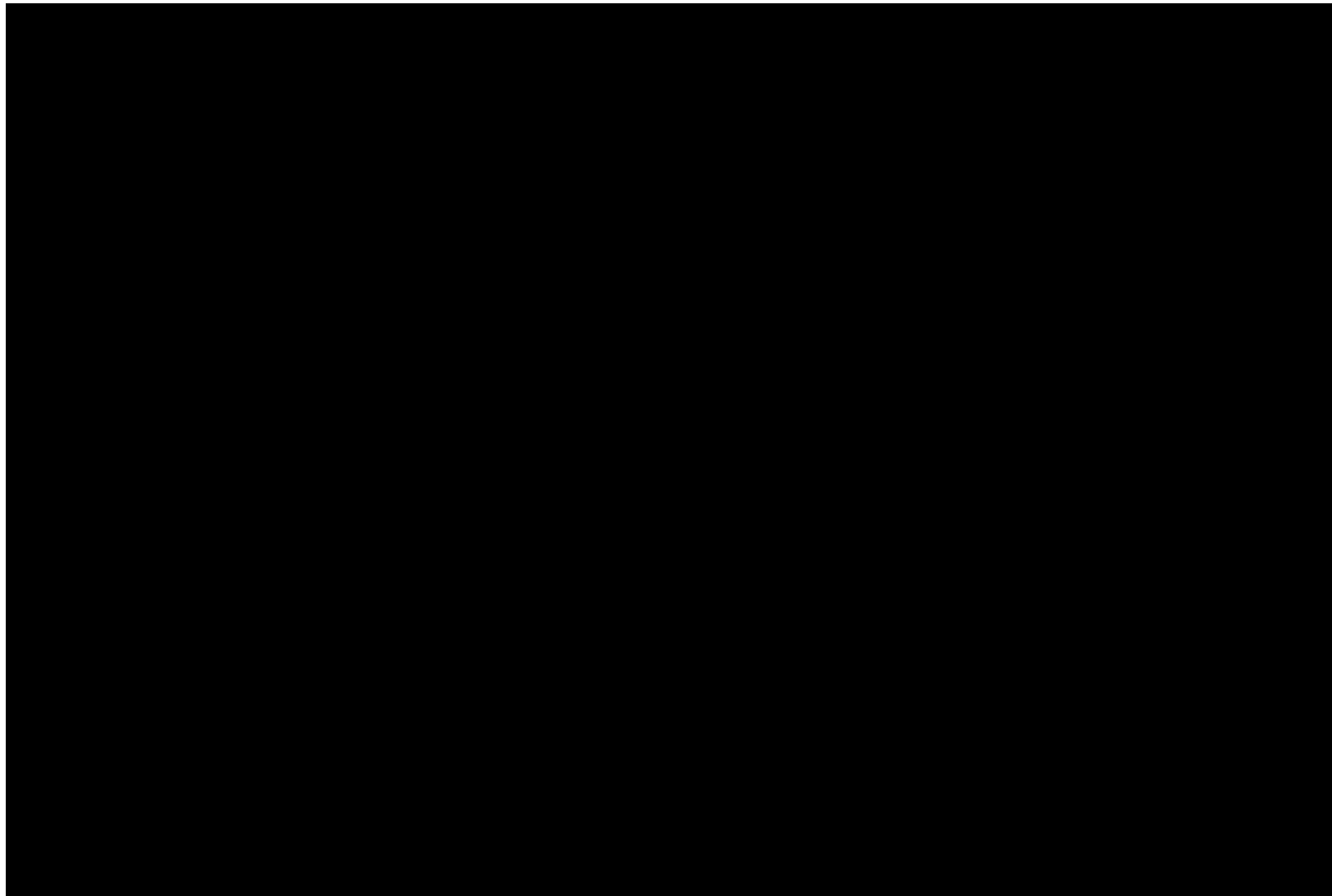
A rendszert irányítja:  **Rendszerirányító**





Mottó: Ha villany nincs – semmi sincs!

A villamosenergia szolgáltatás megszűnése nem csak a mesterséges fény kialvását jelenti.



(Kis magyar
technika történet:



Bródy Imre (Gyula,
1891. dec.23. -
Mühldorf, 1944. dec.20.)

Az Egyesült Izzó
kutatólaboratóriu-
mában dolgozott. 1930-
ban szabadalmaztatta
leghíresebb
találmányát, a
kriptonlámpát.)

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



A stabilitás – a VER üzemének alapvető jellemzője

Egy tanulságos történelmi példa



A „Vasa” svéd hadi galeon

A kora legnagyobbjának szánt hadihajó 1628. augusztus 10-én vasárnap 1300 méter megtétele után a stockholmi kikötőben stabilitási okok miatt elsüllyedt.

Okok:

- a svéd király (II. Gusztáv Adolf) *nagyravágása*
- *szélsőséges fejlesztési elképzelések, műszaki követelmények*
- *műszaki alázat hiánya*

Eredmény: a stabilitás súlyos megbomlása, rendszerösszeomlás

Rendszer-összeomlás (blackout): az energiaszolgáltatás réme.



(Pl.: 2003. szeptember 28., Olaszország)

Üzemzavarok a VER-ben

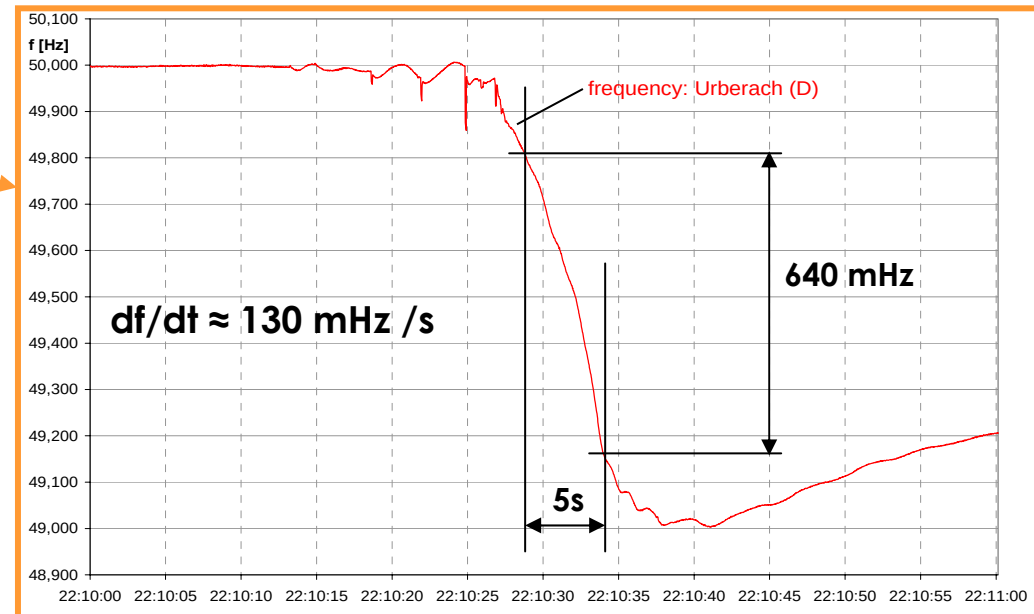
Általában csak lokális problémákat okoznak és automatikus intézkedések eredményeképpen elhárulnak, de kedvezőtlen esetekben térben és időben kiterjedhetnek → rendszerüzemzavar léphet fel.

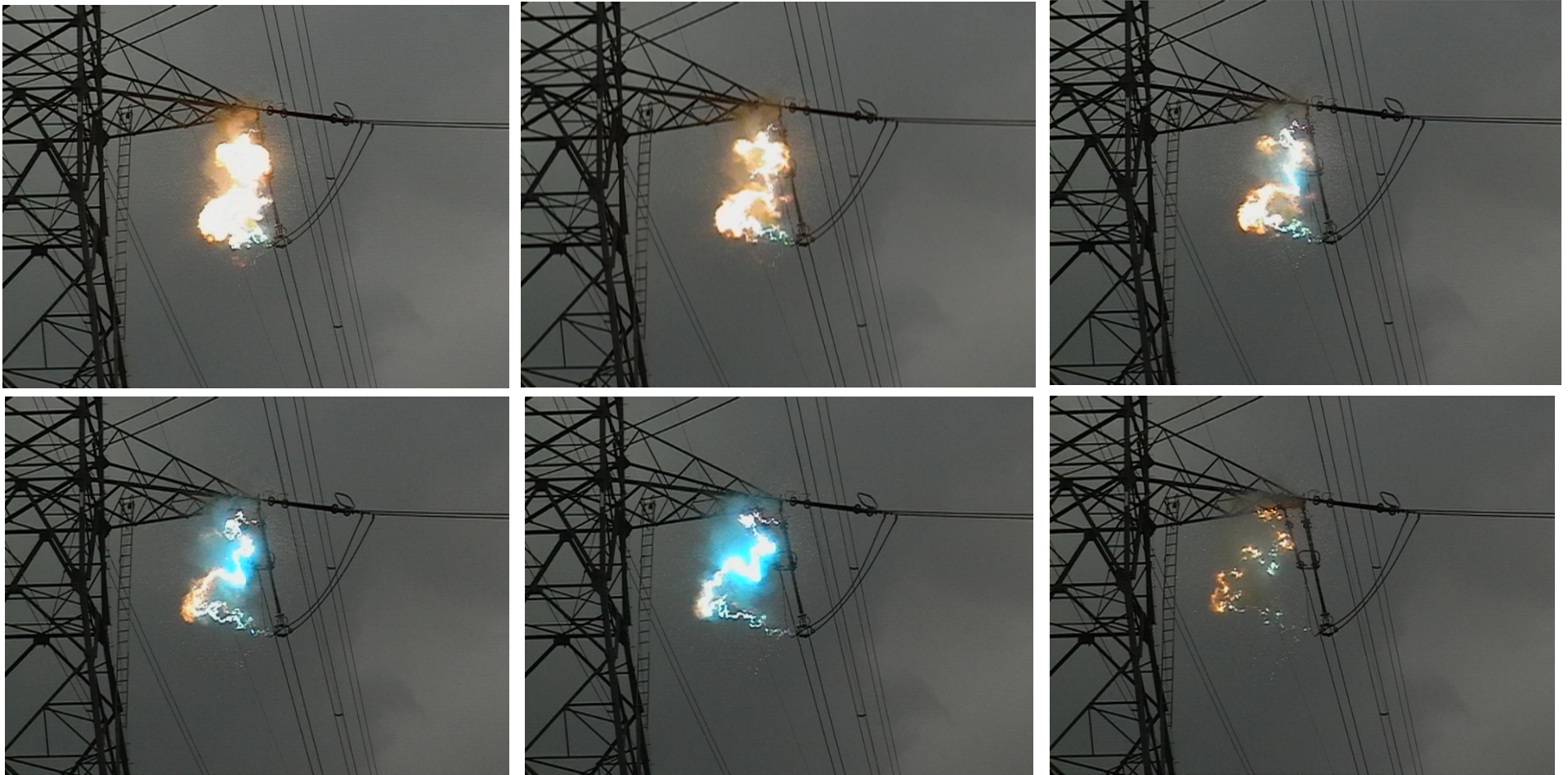
• **Erőművi forráskiesések** → **frekvencia-csökkenés** → a szabályozók aktivizálják a teljesítménytartalékokat, súlyosabb esetben automatikus fogyasztói korlátozás (FTK) → az egyensúly újra helyreáll

• **Zárlatok** → **villamos ív + nagy áramok** → készülék sérülések, tűz, robbanás, távvezeték leszakadása esetén személyi sérülés, lépésfeszültség (a gyors zárlathárítás alapvető)

• **Stabilitási problémák** → **lengések (f, P, U)** → együttműködő hálózat részekre bomlása → eltérő frekvenciájú részrendszerek jöhetnek létre → reszinkronizáció

• **Feszültségproblémák** → erősen gyengített hálózati üzemállapotokban és nagy terhelések esetén → feszültség összeomlás





**One-phase (S0) short circuit on the 400 kV transmission line Heviz-Zerjavinec I.
(At the first tower of the line in front of Heviz SS)
6th of June 2004**



2008. március 1. : Martonvásár-Litér 400 kV (HU)

Nagy rendszerüzemzavarok

- **1965. november 9., 5:16 – USA, blackout** (New York, Boston, Toronto, 30 millió embert érintett, max. 13,5 óra kiesés, közvetlen kiváltó ok: hibás távvezetési védelmi működés)
- **1977. július 13., 20:37 – USA, blackout** (nagy vihar + két egymás utáni villámcsapás, szigetüzem, közvetlen kiváltó ok: villámcsapás, kiterjedés reléhibák, VKA működés elmaradás)
- **1996. július 2., 2:24 – USA (WSCC), blackout** (túlterhelt vezetékhezfa ért + hibás védelmi működés párhuzamos vezetéken, négy részre szakadás)
- **2003. augusztus 14., 13:31 – USA, blackout** (termikus kaszkád, túlterhelődések, meggyújt vezetékhezfa ért, hibás védelmi működés)
- **2003. szeptember 23., 12:30 – Svédország, blackout** (nagy erőművi kiesések + gyújtósínzárlat)
- **2003. szeptember 28., 3:01 – Olaszország (UCTE) blackout** (55 millió ember érintett, 24 óránál tovább tartó ellátatlanság, túlterhelt távvezetékhezfa ért, kaszkád kikapcsolódások)
- **2006. november 4., 22:10 – Németország (E.ON, UCTE) nagy rendszerüzemzavar** (távvezeték kikapcsolás után túlterhelődés és távvezetési túláramvédelmi működés, 3 részre szakadás)



Okok:

- **Erősen gyengített hálózat (karbantartás)**
- **Igen nagy erőművi, hálózati kiesések** (800-1000 MW kiesés az ENTSO-E RGCE-ban napi esemény)
- **Nagymértékű túlterhelődések (nem egyeztetett tranzit)**
- **Távvezetési túlterhelődések és a nyiladéktisztítás elmaradása**
- **Hibás és kaszkád védelmi működések** (nem egységes relévédelmi koncepció, helytelen beállítás és koordináció, túláramvédelmek túlterhelés elleni szerepkörben)
- **Távvezetési automatikus visszakapcsolás elmaradása** (nagy terhelési szögek, szinkron ellenőrzött HVA)
- **Üzemirányítás nem kellő áttekintőképessége**
- **Szabad villamos energiapiac** (Amerika, Itália)

Tanulságok:

(teendők a nagy üzemzavarok elkerülése érdekében)



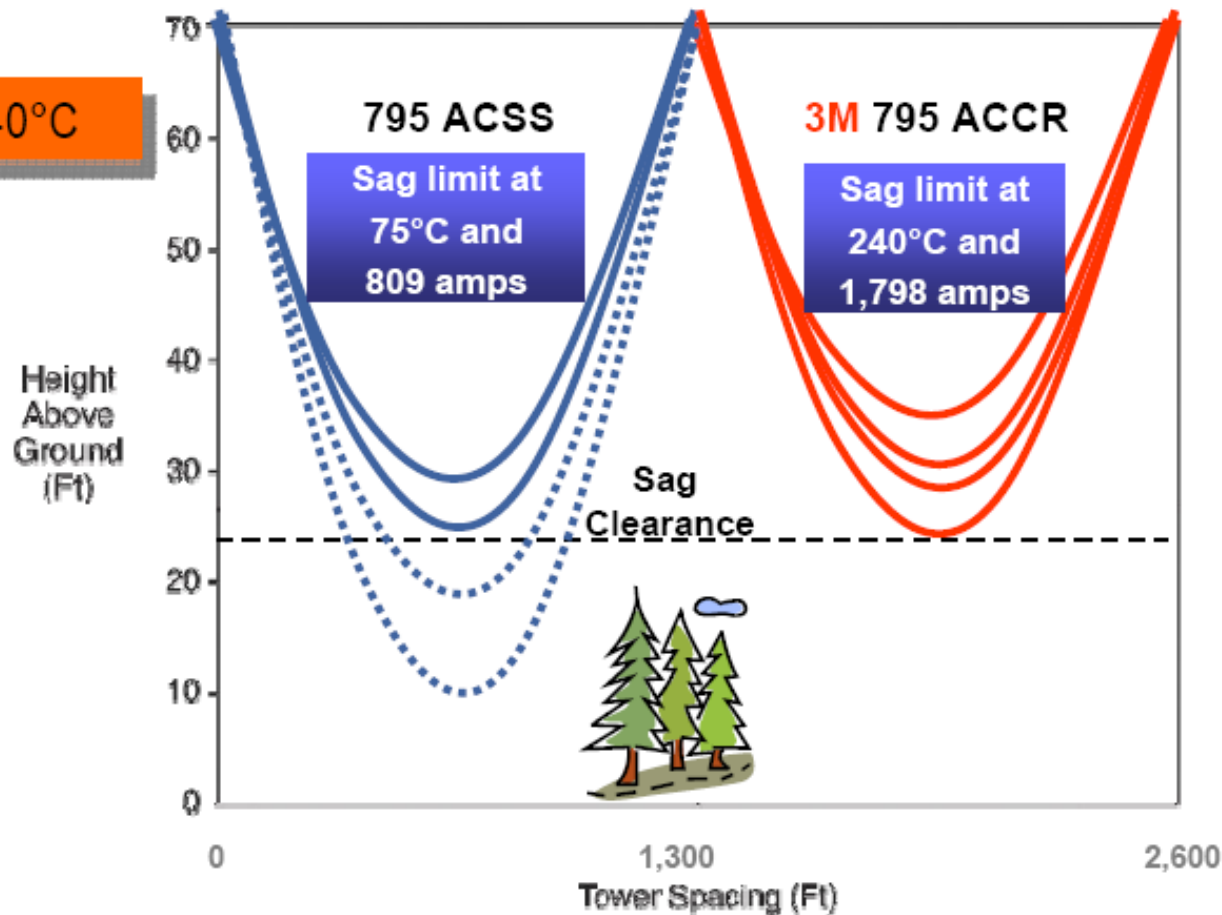
- Gondos üzemelőképzés (TSO adatcsere, modellezés)
- Üzemirányítók, TSO-k helyzetfelismerő képességének növelése
- Állandó rendszer felügyelet és elemző üzemzavar kiértékelés (WAMS)
- Megbízható és biztonságos relévédelmi és automatika rendszer
- Relévédelmi és automatika rendszerek és beállítások (nemzetközi) koordinációja
- Feszültség- és gerjesztésszabályozók (+PSS) paraméter beállításának optimalizása
- FTK rendszer (nemzetközi) koordinációja
- Rendszerautomatikák (WAP)
- Egyeztetett szállítások
- Szakmai hozzáértés, alázat, tréning

Távvezetékek – belógás növekedés nagy terhelőáram miatt

3M ACCR – More Amps



240°C



Assumes ACSS and 3M ACCR at 1,300 ruling span, initial tension 6,557 lbs @ 15° C, max. loading @ 30° F, no ice, 12 lbs wind; ambient conditions: 2f/s wind, 35° C, perpendicular wind direction, 0.5 emissivity and solar absorption.

Kompozit sodrony összehasonlítása acélalumíniummal

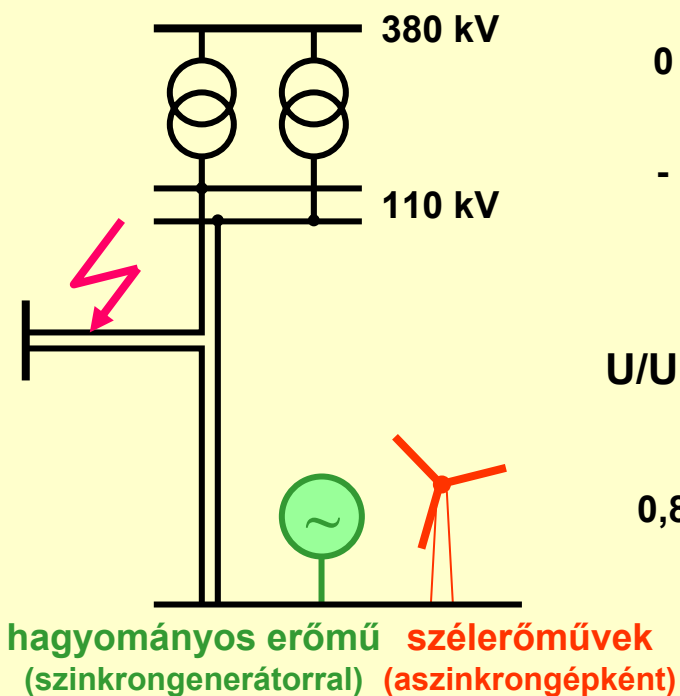


**Göd – Léva 400 kV-os
távvezeték**



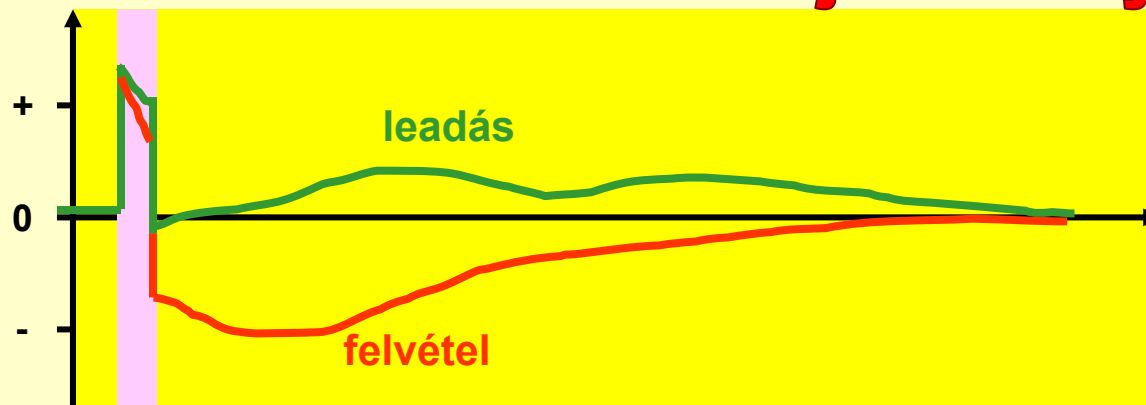
Feszültségváltozás rövidzárlatnál

modell



Érzékenyebb folyamatoknál
zavar keletkezhet!

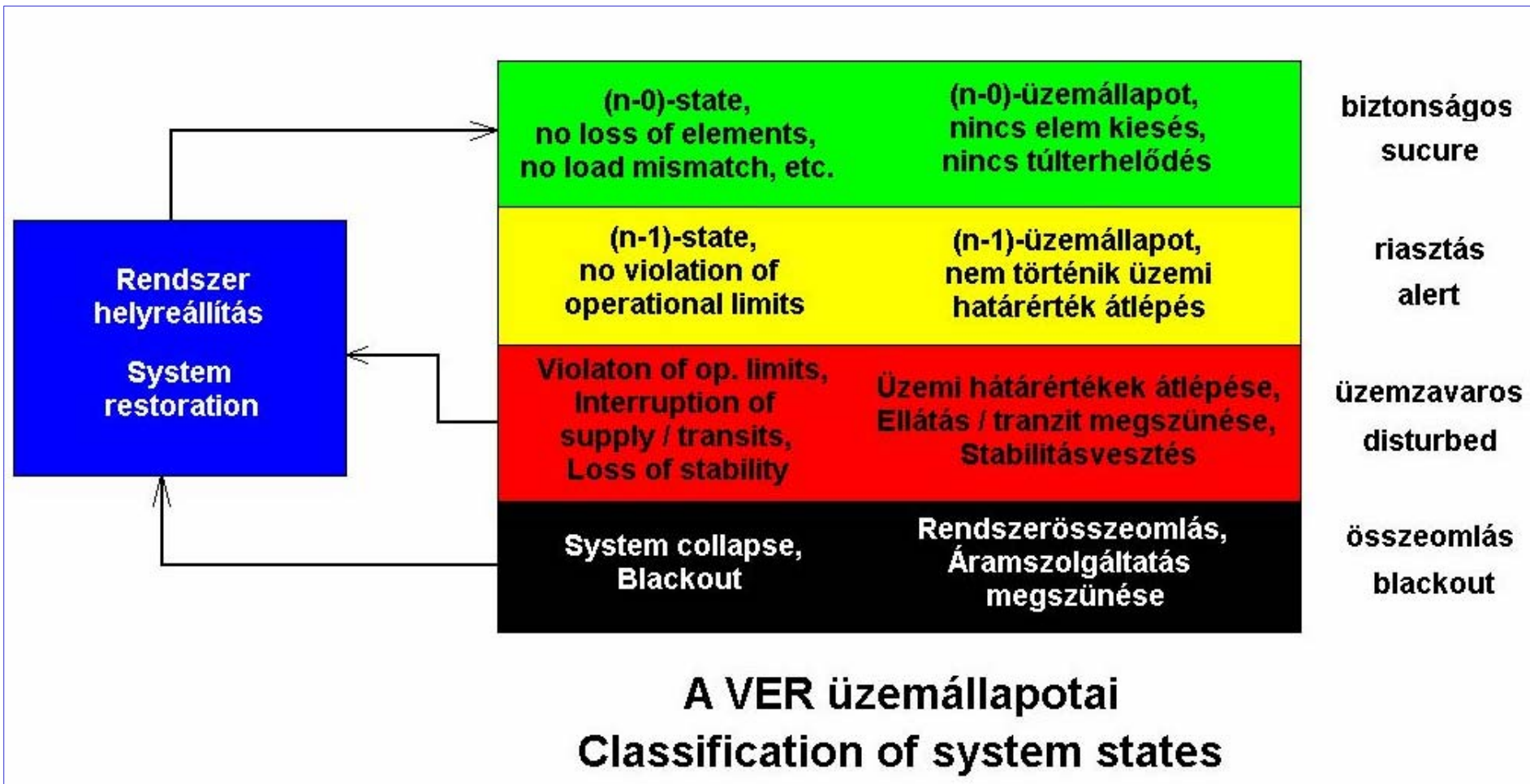
induktív meddő teljesítmény



110 kV-os feszültség

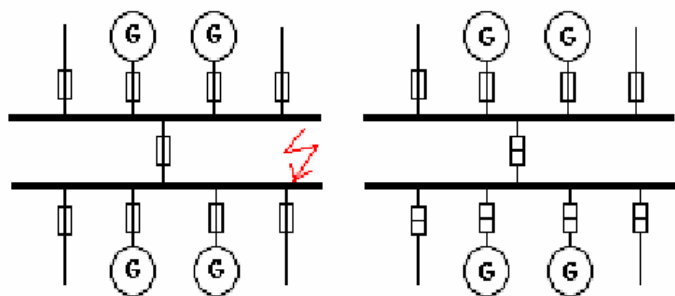


Nagy rendszerüzemzavarok

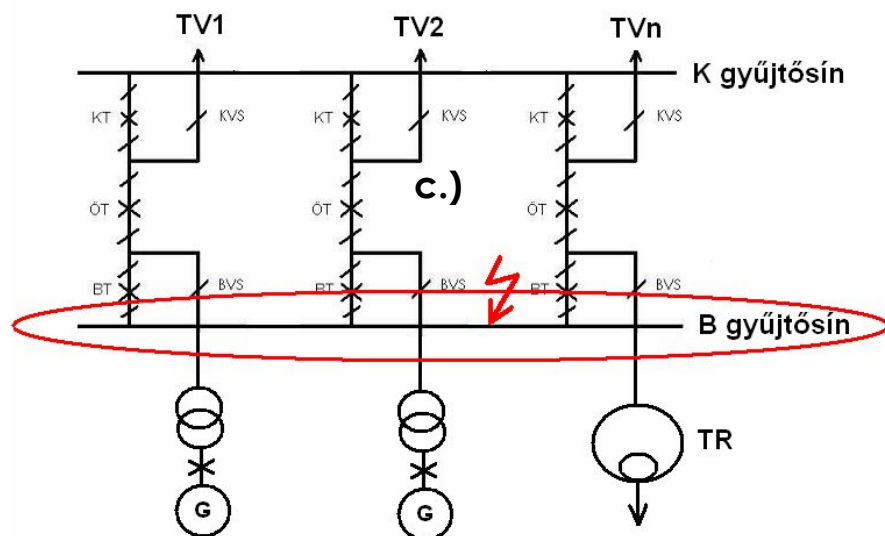


Primer kapcsolási séma:

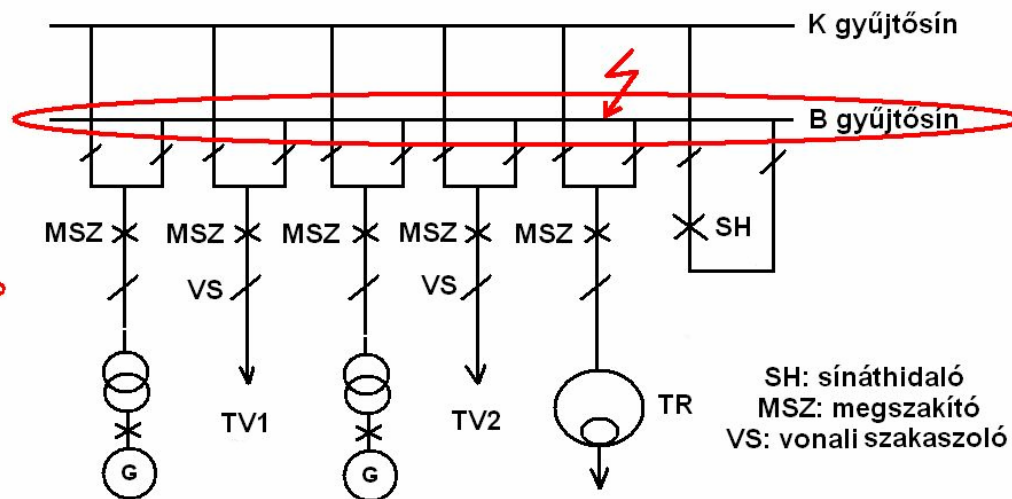
- Feszültség szintenként eltérő kialakítás
- 750, 400 kV – másfél-megszakítós elrendezés (a) sínzárlat nem okoz kiesést (c) (Magyarországon a legnagyobb kiesés: 1 db paksi reaktorblokk = 500 MW, ennyit kell legalább állandóan tartalékban tartani)
- 220 kV – részben másfél-megszakítós, részben két-sínes hagyományos (b) elrendezés



c.)



a.)

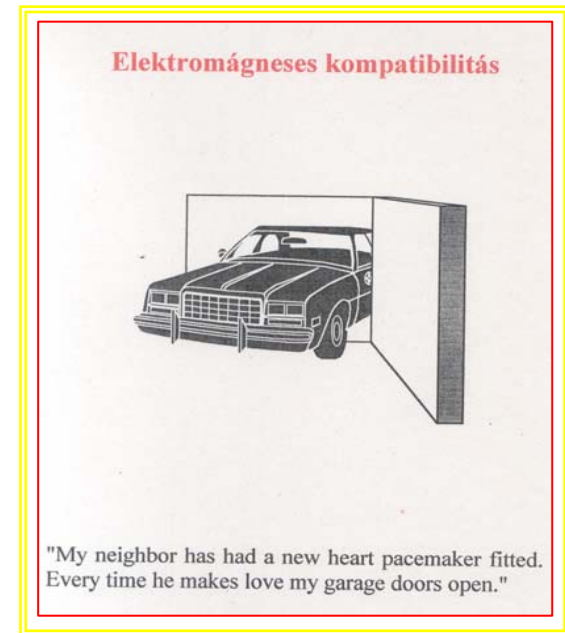


b.)

SH: sínáthidaló
MSZ: megszakító
VS: vonali szakaszoló

- **ENTSO-E RGCE (UCTE) ajánlások alapján kialakított rendszer (Operational Handbook, Policy-k, Üzemi Szabályzat - Irányelvek)**
- **Kettős alapvédelmi rendszer** (redundancia és hézagmentes tartalékolás)
- **(Zérussorrendű) autonom tartalékvédelemek** (AZT, AZT0)
- **Relévédelmi célú jelátvitel, kettőzve** (OP vonalak)
- **Megszakítóberagadási védelem** (150-350 ms)
- **Gyűjtőszínvédelem** (egyperiódusú működés)
- **Távvezetékeken túlterhelés elleni védelem általánosan nincs** (diszpécseri felügyelet kell!)
- **Automatikus visszakapcsolási rendszer a távvezetékeken** (EVA, HVA szükség esetén szinkronellenőrzéssel)

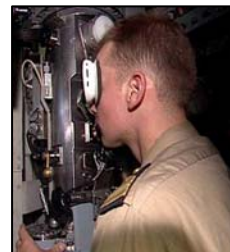
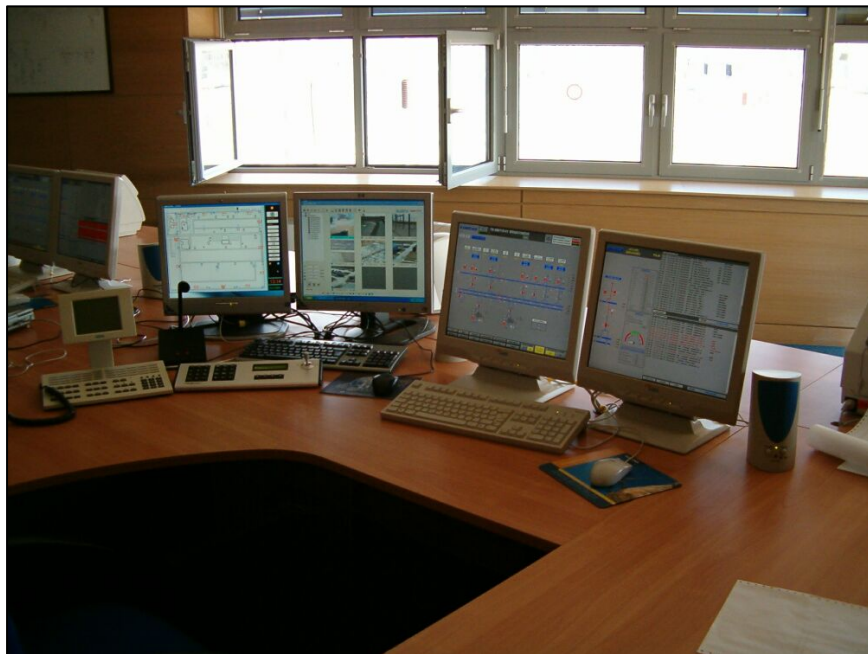
Alállomások kialakítása szekunder berendezések (védelmek)



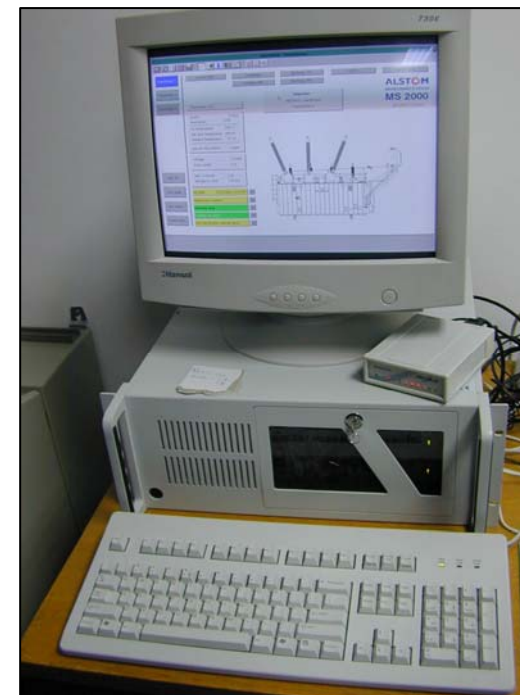
EMC !



Alállomások kialakítása szekunder berendezések (segédüzem, irányítástechnika)



Irányítástechnika:
Készülék működ-
tetés, üzem-
felügyelet, mérés-
adatgyűjtés, RTU
(SCADA)



AC és DC segédüzem:

AC

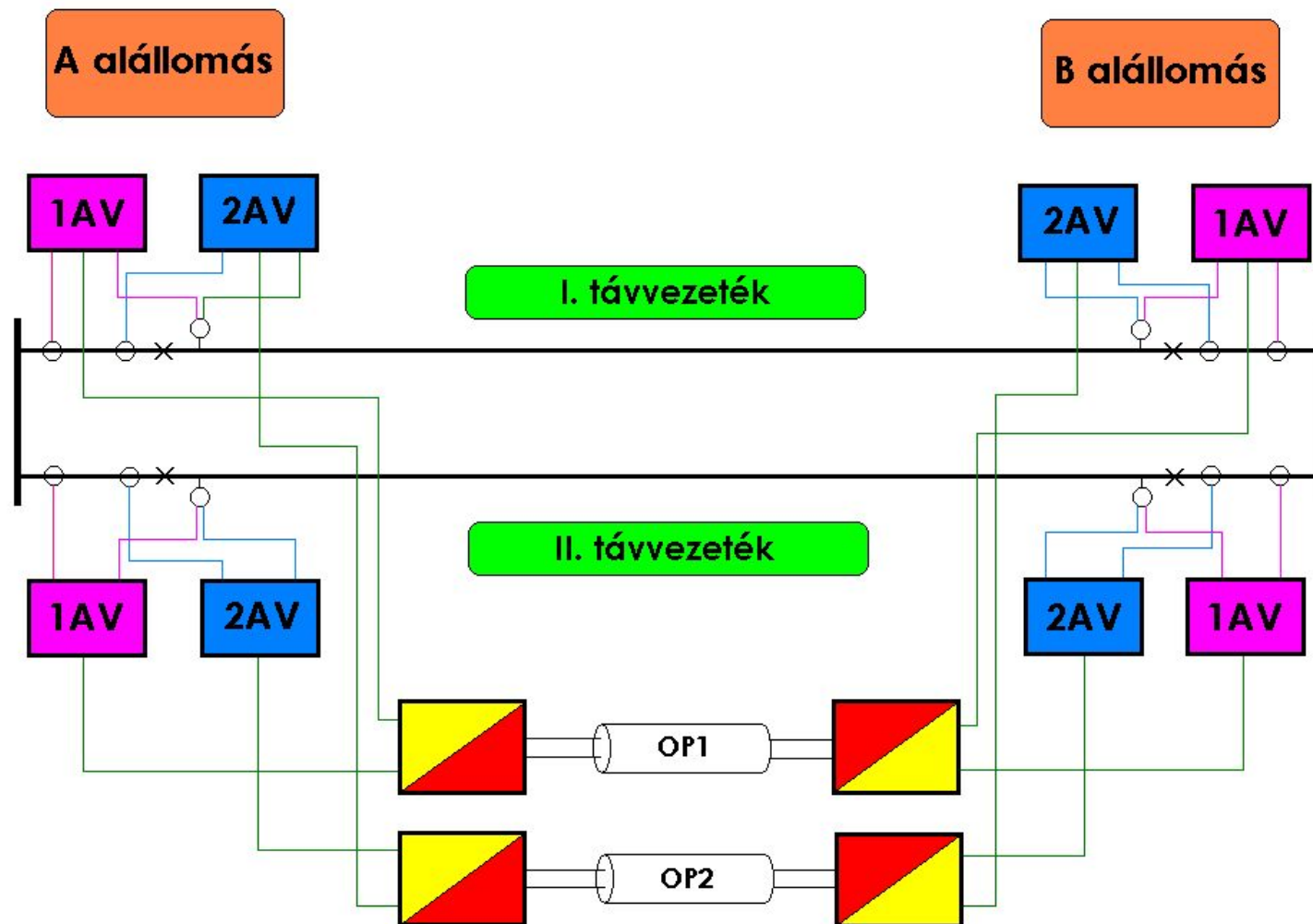
- Több betáplálás (traszf. + kf.)
- Szünetmentes ellátás
- Teljes kiesésre Diesel-egység

DC

- Két akkumulátor telep
- Külön biztosított leágazások
- Megszakító két KI-tekerccsel



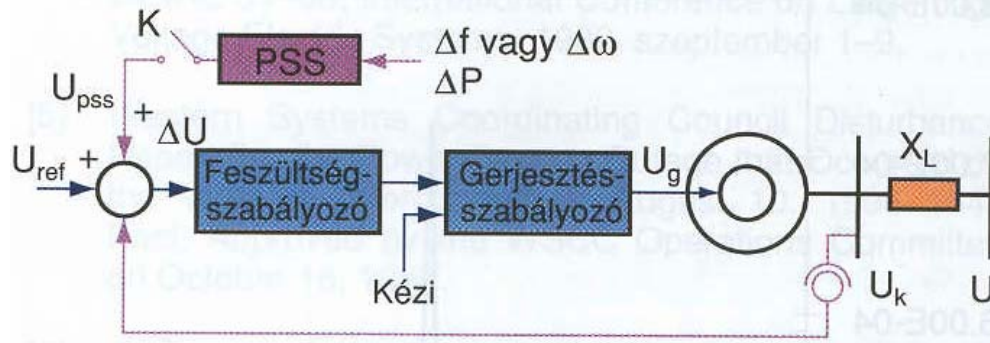
Relévédelmi, automatika rendszerek



Relévédelmi célú jelátvitel (védelem szinkronozás)

Lengések

(A gerjesztésszabályzó hatása,
lengések csillapítása: PSS (Power
System Stabilizer)



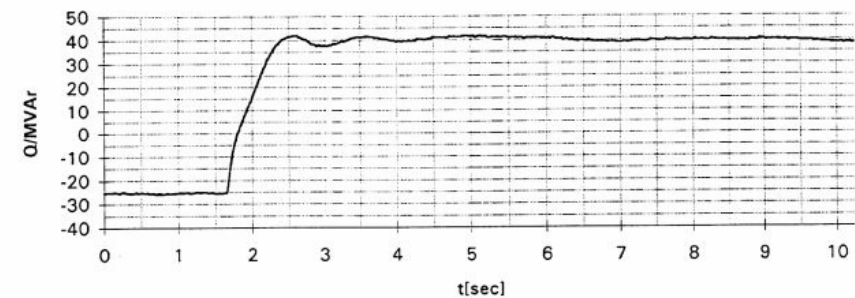
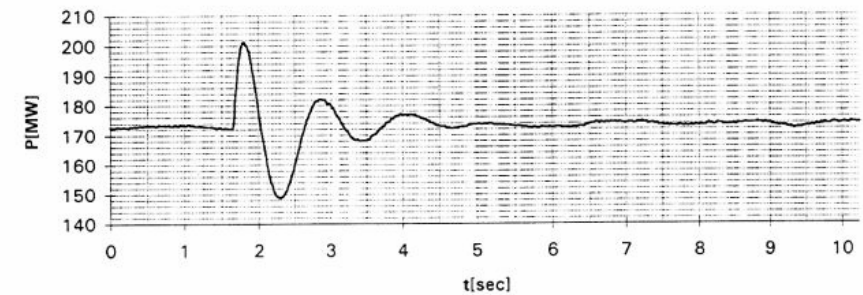
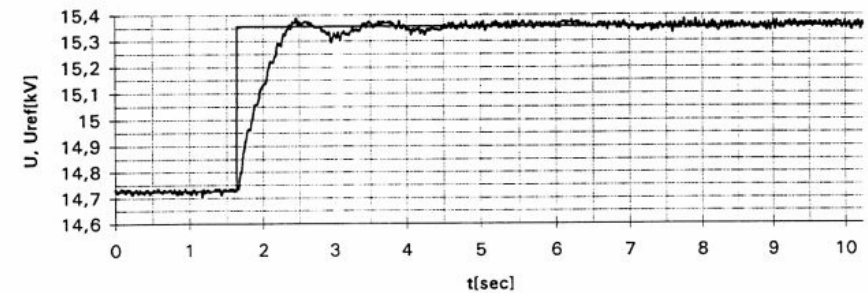
GANZ ANSALDO

4BUKFOFS.XLS

Drwg. No.: 3100853 Sheet 01

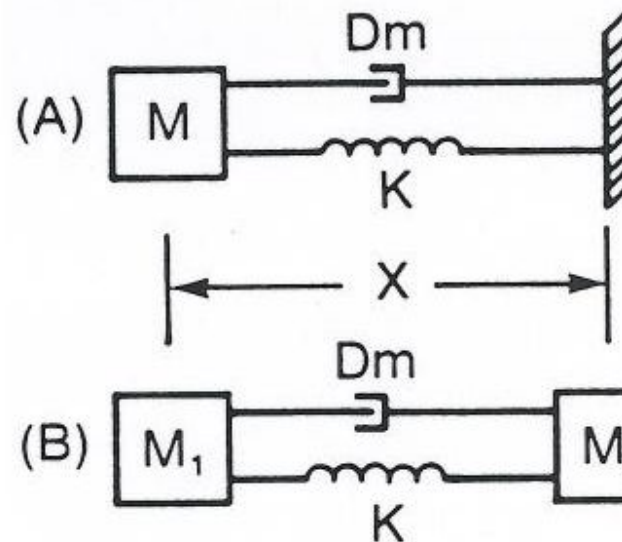
Step response of the generator with voltage regulator

DATE: 21/10/96 TIME: 15:14 MÁTRA IV UNIT PSS "OFF"
Voltage regulator mode Step up of voltage reference



Feszültség alapjel ugratás

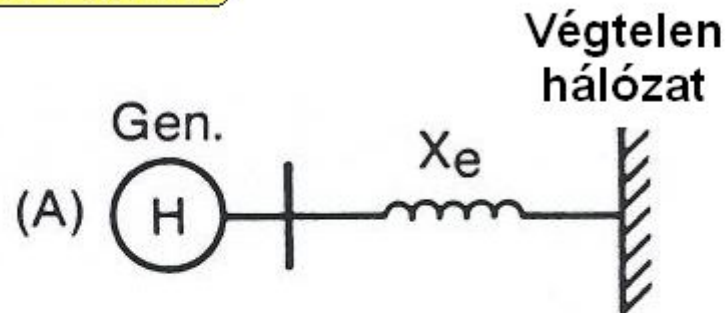
Mechanikai modell:



D_m : csillapítási állandó
 K : rugóállandó
 M : tömegek

$$M = M_{eq} = \frac{M_1 M_2}{M_1 + M_2}$$

Villamos modell:



H : Inercia állandó (s)
 X_e : Átviteli reaktancia

1. rendszer

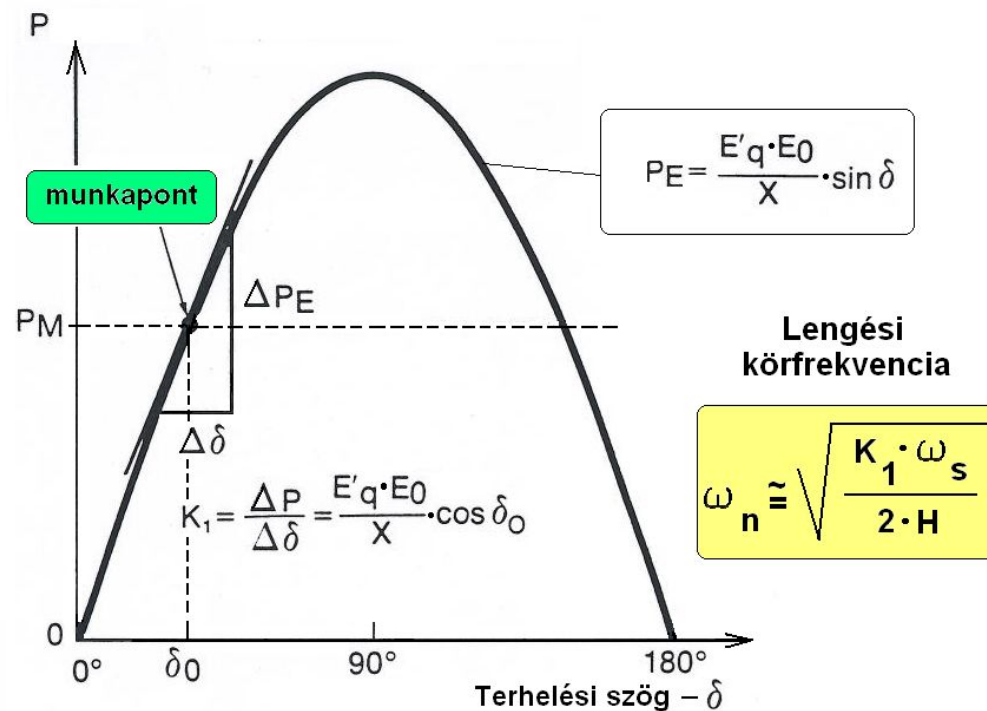
2. rendszer



$$H = \frac{H_1 H_2}{H_1 + H_2}$$

Lengések

Lengések



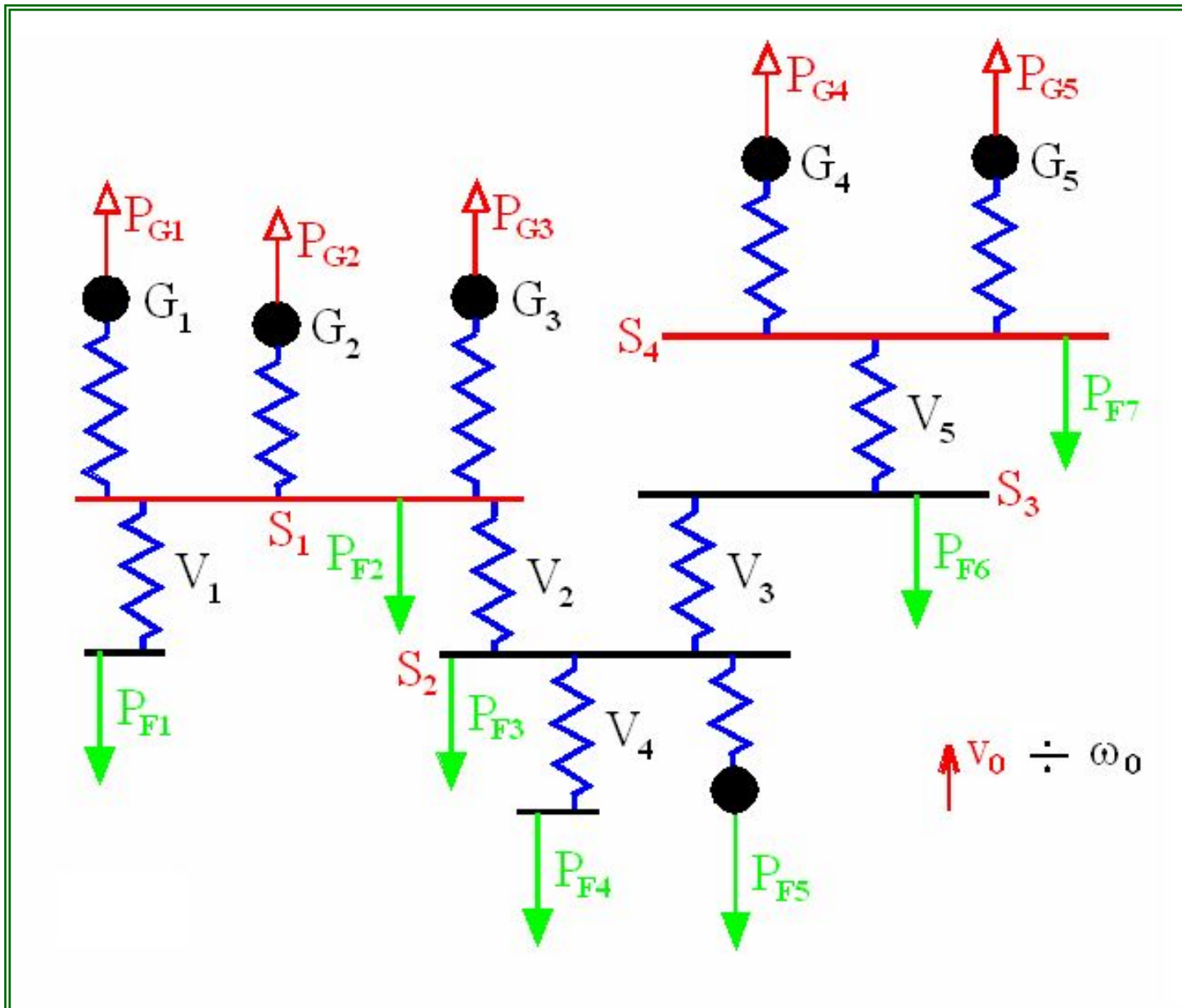
Lengési egyenlet:

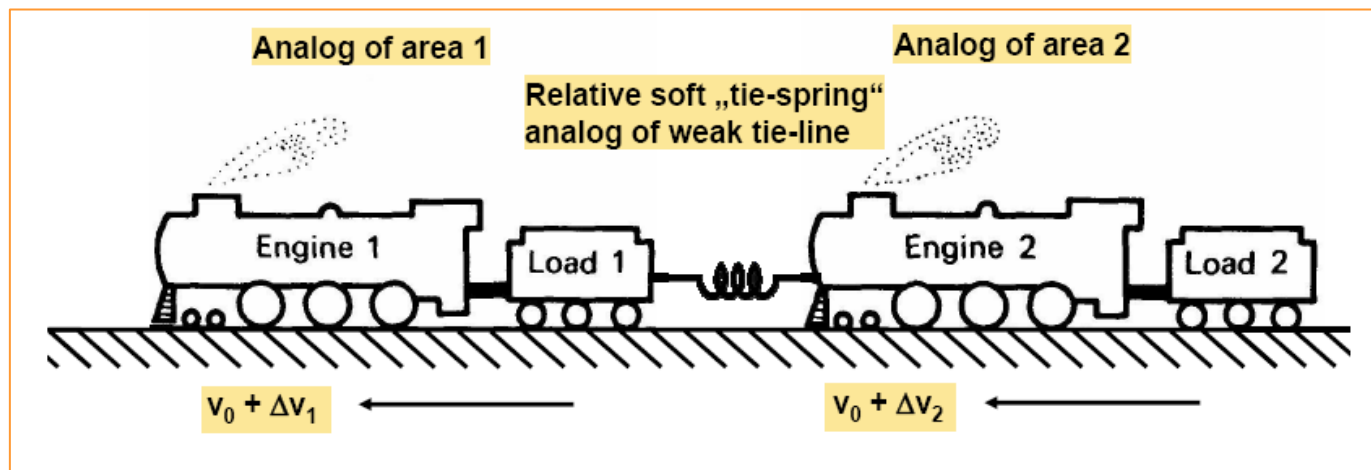
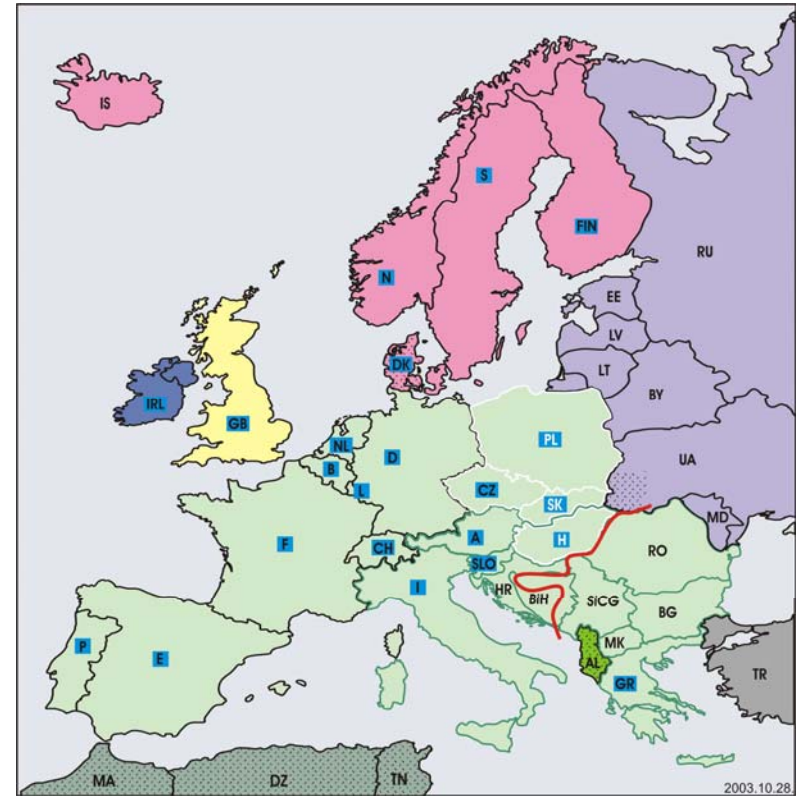
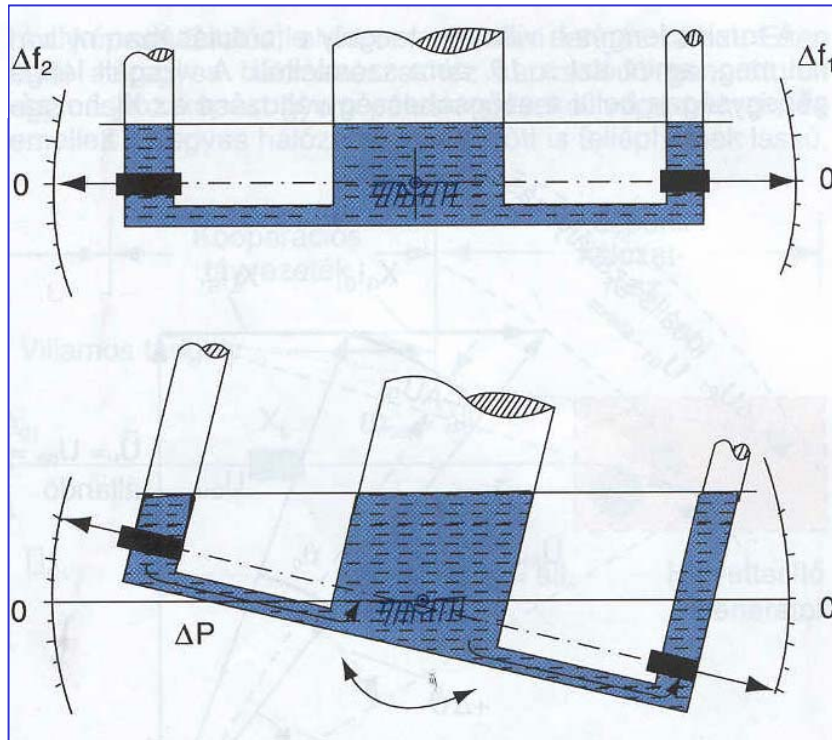
$$\frac{2H}{\omega_s} \cdot \frac{d^2 \delta}{dt^2} + \frac{D}{\omega_s} \cdot \frac{d \delta}{dt} + K_1 \cdot \Delta \delta = 0$$

Lengési egyenlet kiegészítve a gerjesztésszabályozó (AVR) hatásával:

$$\frac{2H}{\omega_s} \cdot \frac{d^2 \delta}{dt^2} + \frac{D}{\omega_s} \cdot \frac{d \delta}{dt} + K_1 \cdot \Delta \delta + K_2 \cdot \Delta E'_q = 0$$

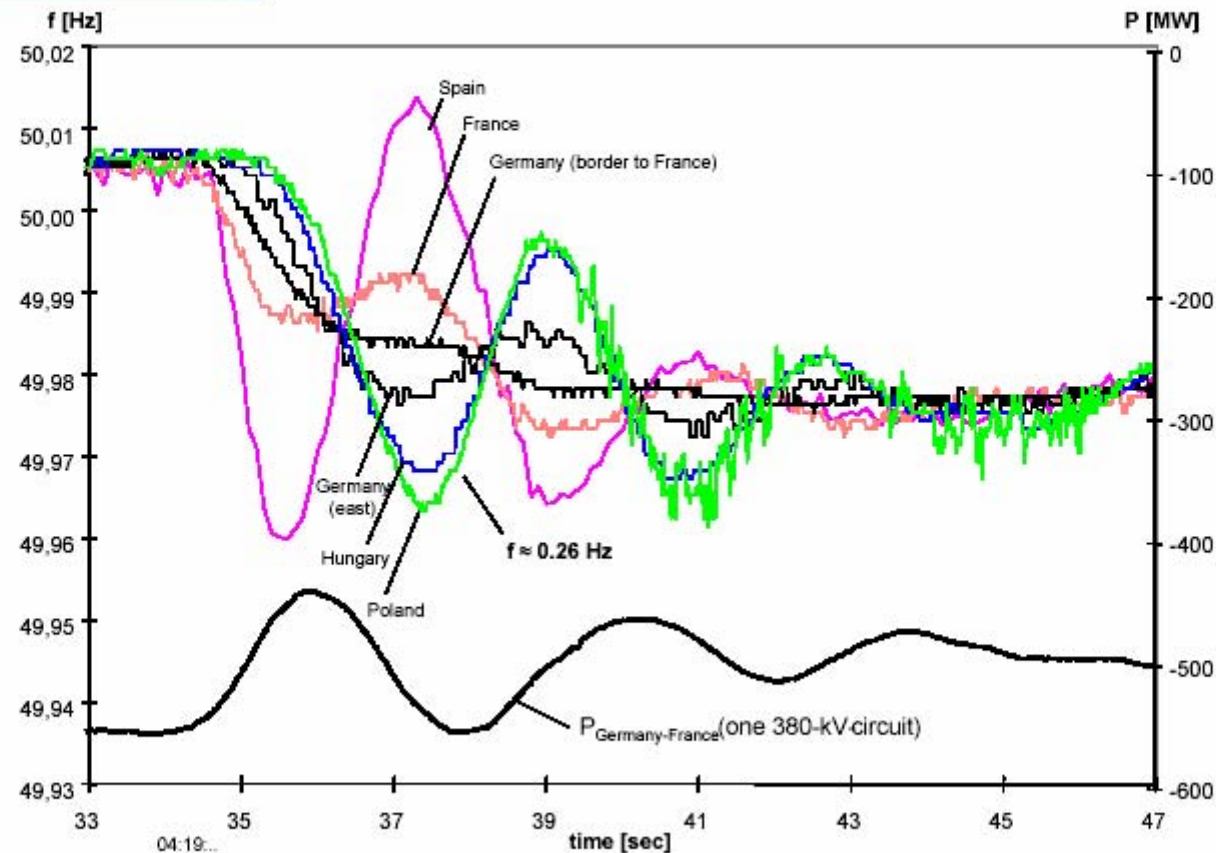
A RENDSZERKÖZI LENGÉSEK SZEMLÉLTETÉSE TÖMEG – RUGÓ MODELLEL



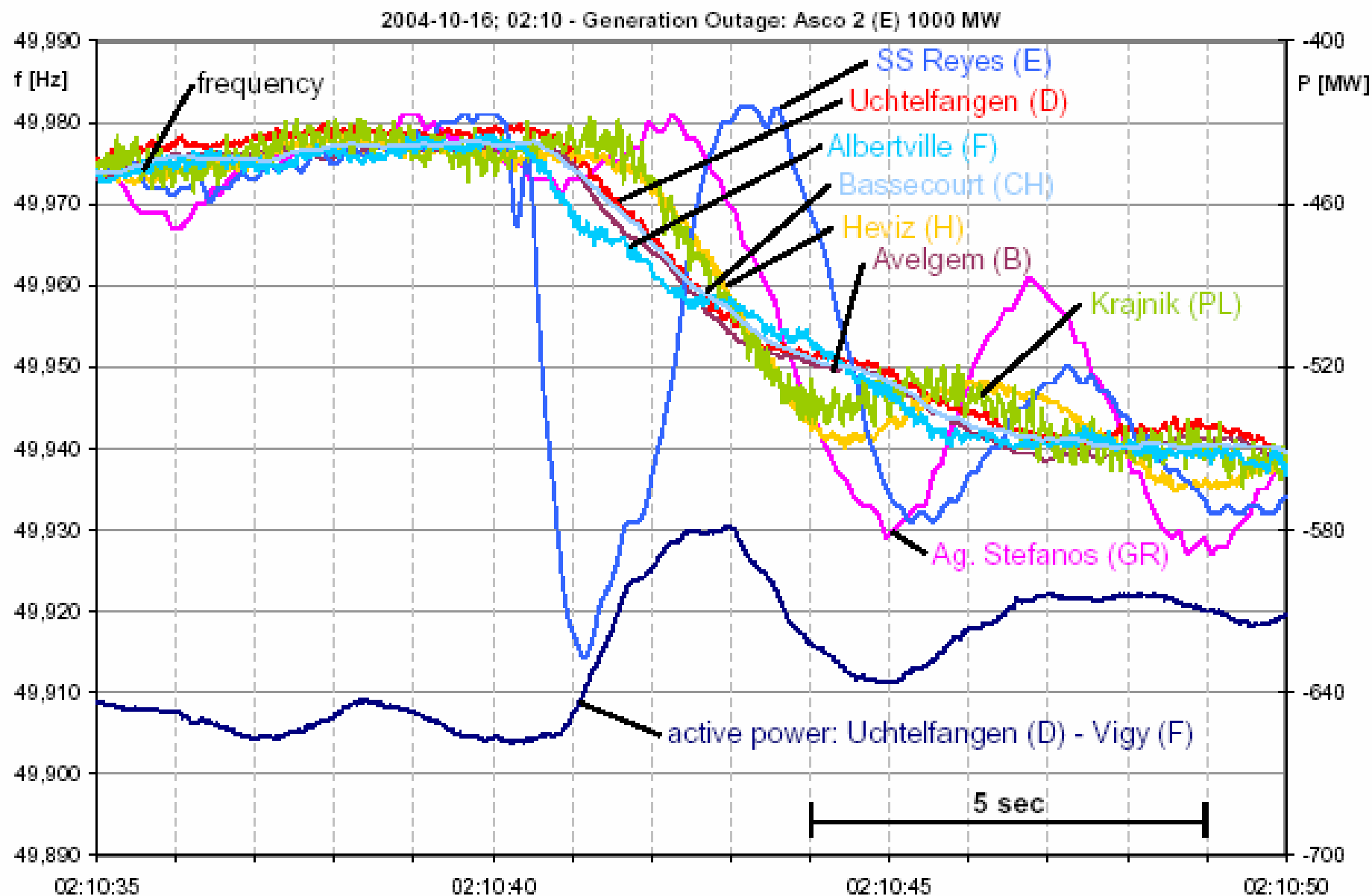


Rendszereközi lengések – egyszerű fizikai kép
(ok: rendszeresen történnek erőművi kiesések az UCTE-ben – 800-1200 MW)

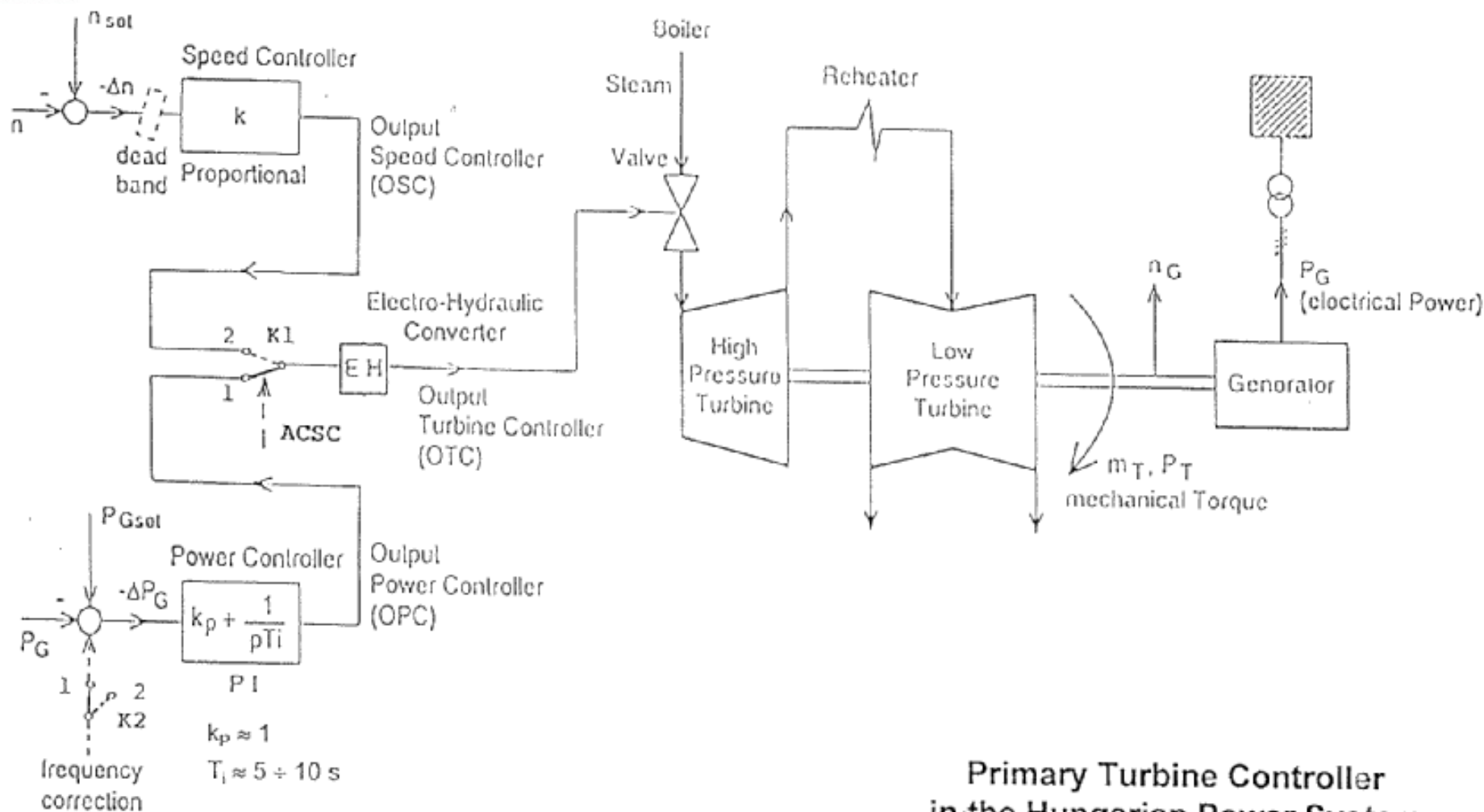
Inter-Area Oscillations after generation outage in Spain, 900 MW, 17-01-1997



Lengések



16. 10. 2004., 2¹⁰: 1000 MW outage (Asco 2 (E))



ACSC: Automatic Controller-Structure Changer

K_1 switch in position 1: normal parallel operation

K_1 switch in position 2: island operation (disconnection)

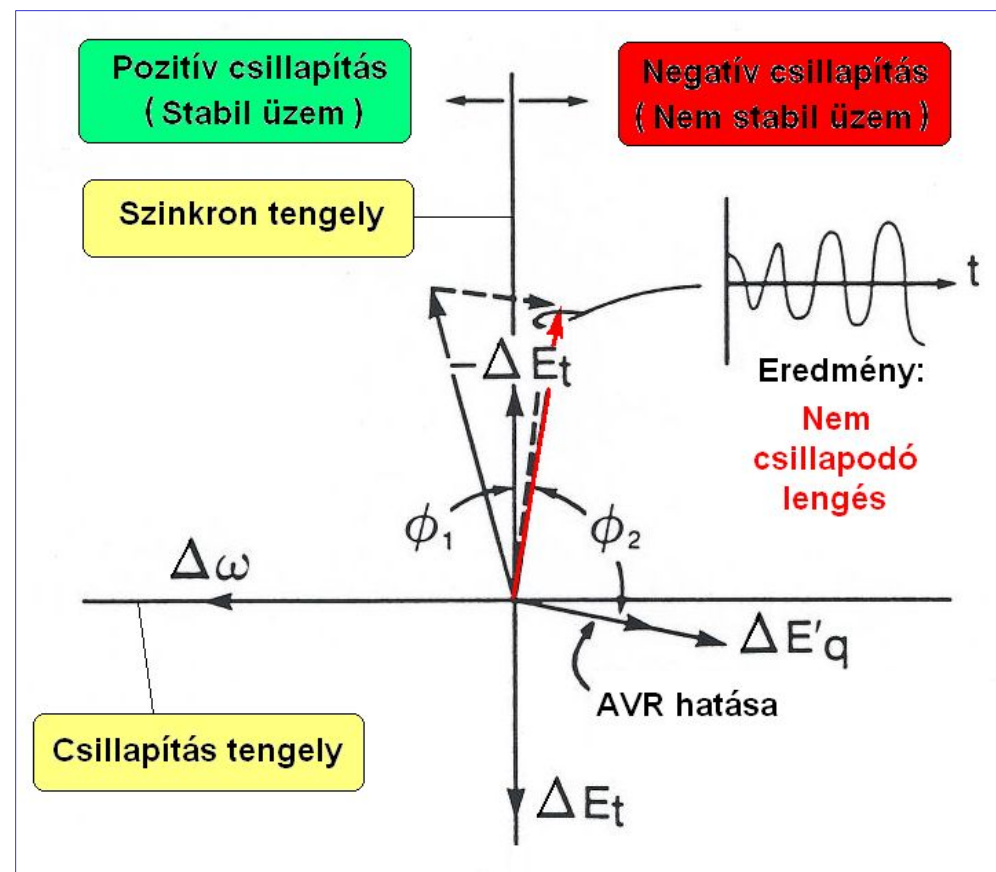
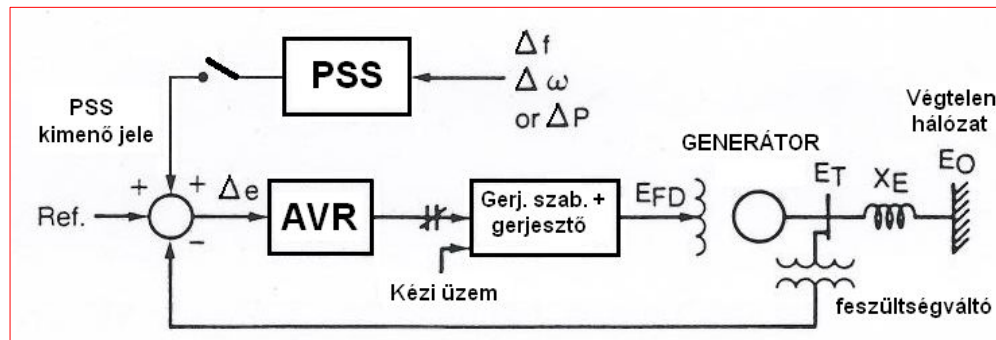
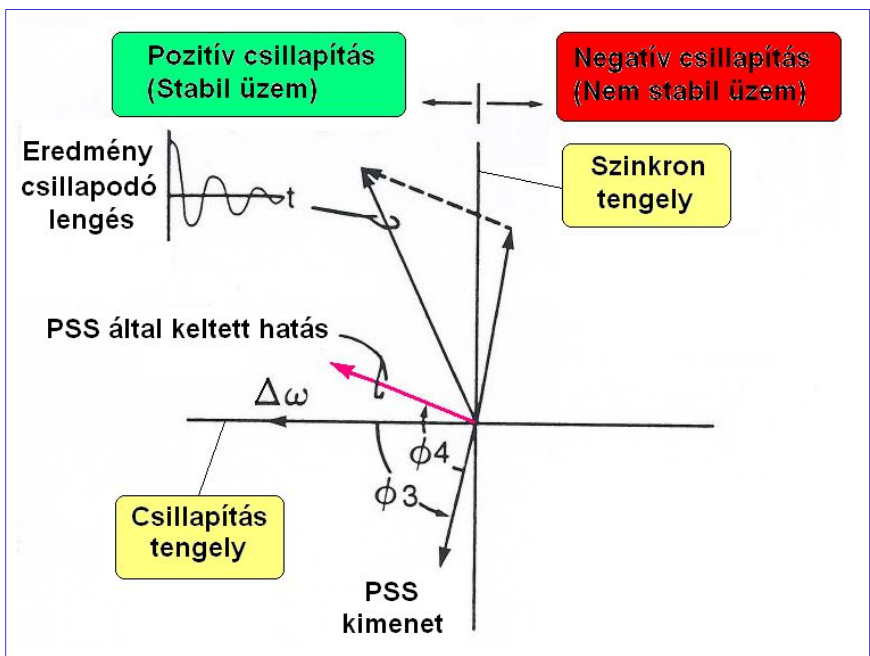
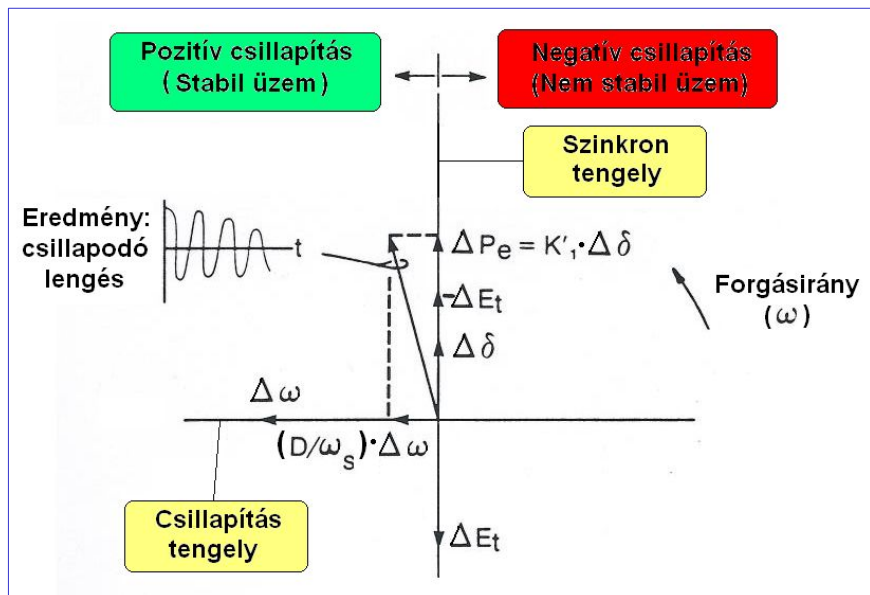
K_2 switch in position 1: frequency correction on

K_2 switch in position 2: frequency correction off

Primary Turbine Controller
in the Hungarian Power System

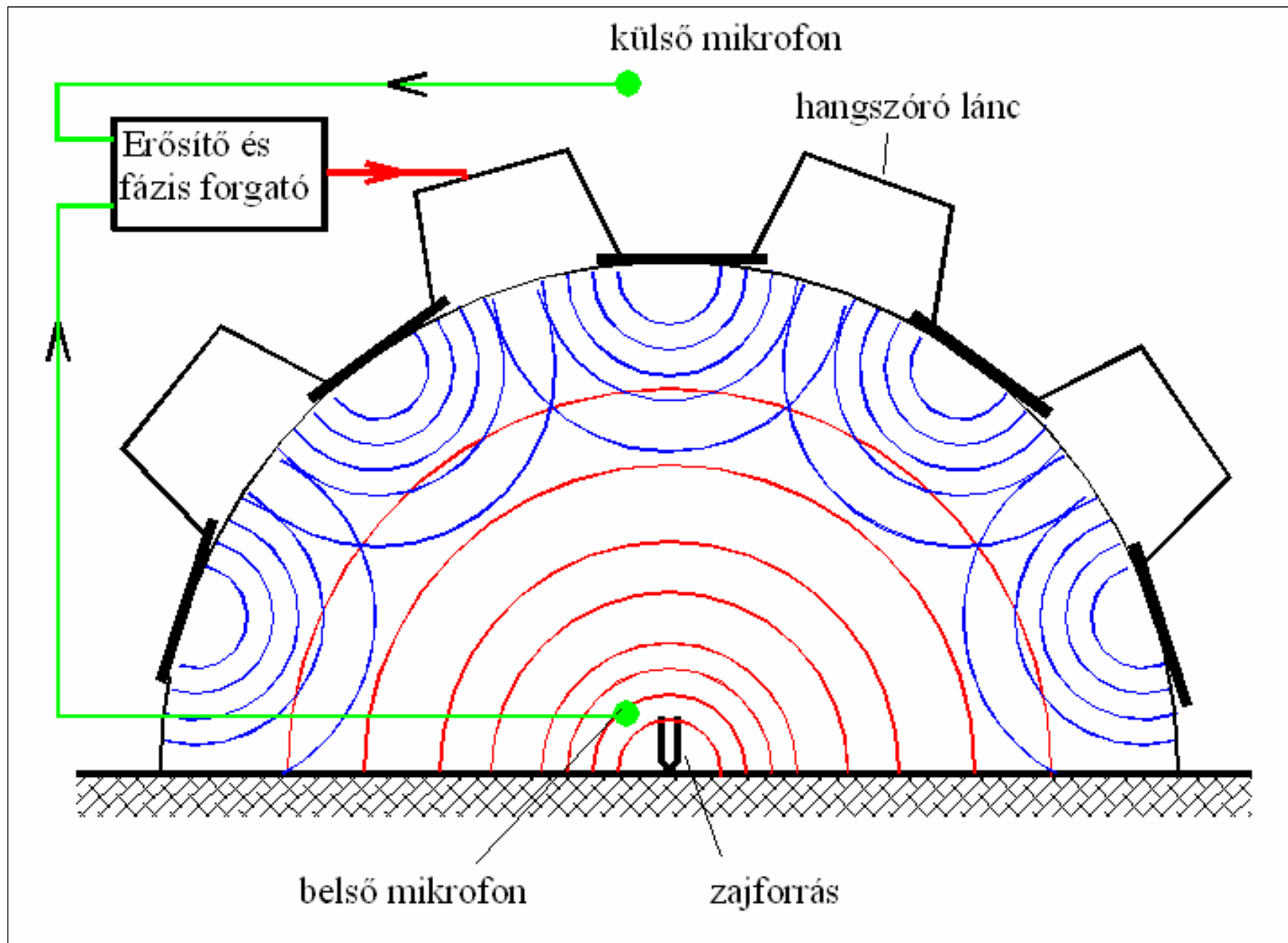
Primér szabályozás
a magyar VER-ben

Lengések



Feszültség- és gerjesztésszabályozó hatása

PSS (Power System Stabilizer) erőművi lengéscsillapítás működési elve – igaz történet



Rendszerközi lengések erősödésének okai

- large extension of power systems
- weakly coupled system
- long distance power transits
- unsuitable parameter settings of turbine and excitation control



- ♣ **Energiarendszerek kiterjedésének növekedése** – (UCTE 2. zóna csatlakozása - megtörtént, MEDRING, IPS-UPS csatlakozása, Törökország, UA/MD csatlakozása ?)
- ♣ **Gyengén csatolt rendszerek – kevés és relatíve kis áteresztőképességű összekötő vezetékek**
- ♣ **Nagy távolságú energiaszállítások**
- ♣ **Turbina- és feszültségszabályozók paramétereinek nem megfelelő beállítása** (pl. nagy erősítési tényező)

Rendszerbeli alacsony csillapítás rizikói

- tripping of generation units due to inadmissible voltage deviations
 - in the network
 - in the auxiliary supply of generation units
- tripping of lines
- cascading effects

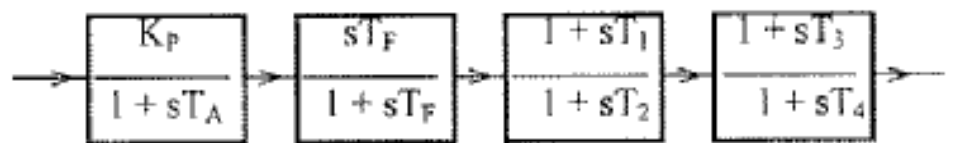


- ♣ Termelő egységek kiesése nem megengedhető feszültségeltérések miatt
 - a hálózaton,
 - erőművi generátorok segédüzemében
- ♣ Távvezeték kiesések
- ♣ Kaszkád események

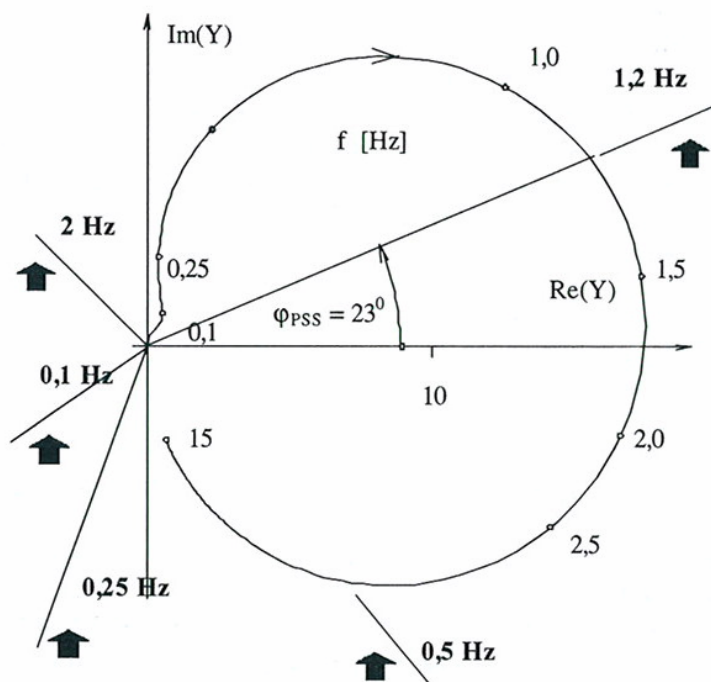


MAVIR

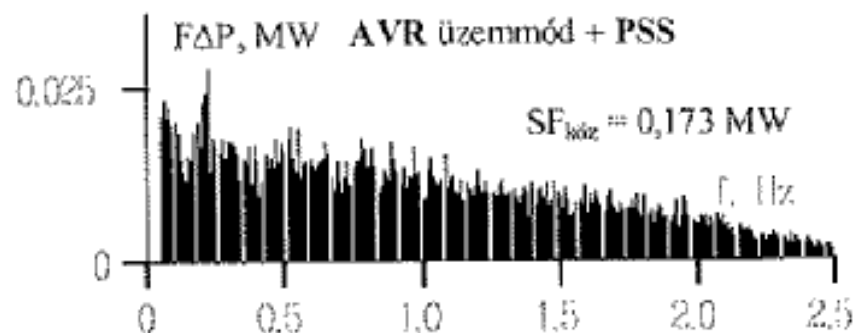
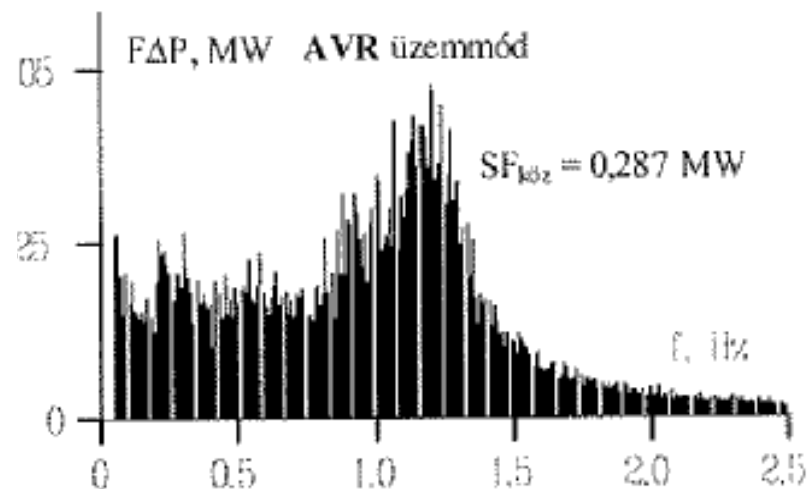
IN_p



Az 1,2 Hz-re hangolt p bemenetű PSS csatorna szabályozástechnikai modellje

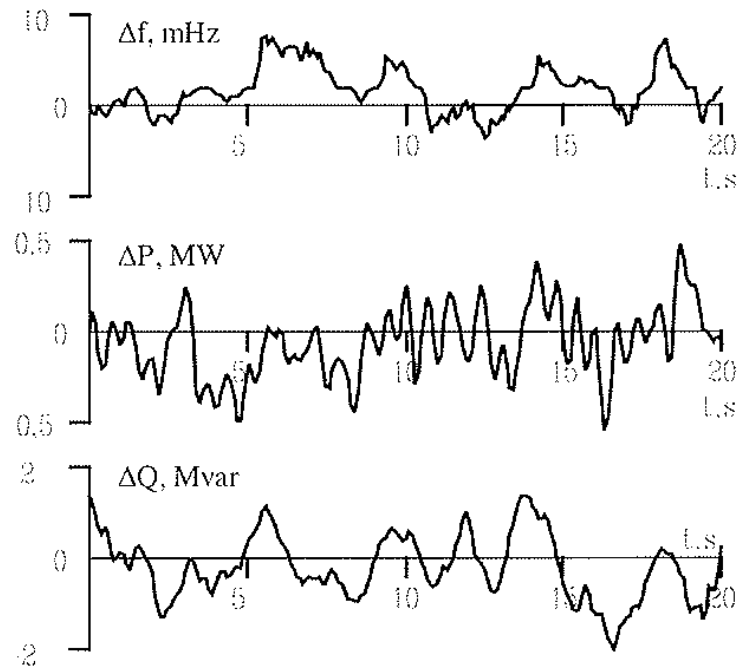


Az 1,2 Hz-re hangolt p bemenetű PSS csatorna Nyquist diagramja. A függőleges irányú nyilak azokhoz a vastag vonalakhoz mutatnak, amelyek a PSS-től kívánt fázisforogatást jelölik, az adott frekvenciájú jelek maximális mértékű csillapításához

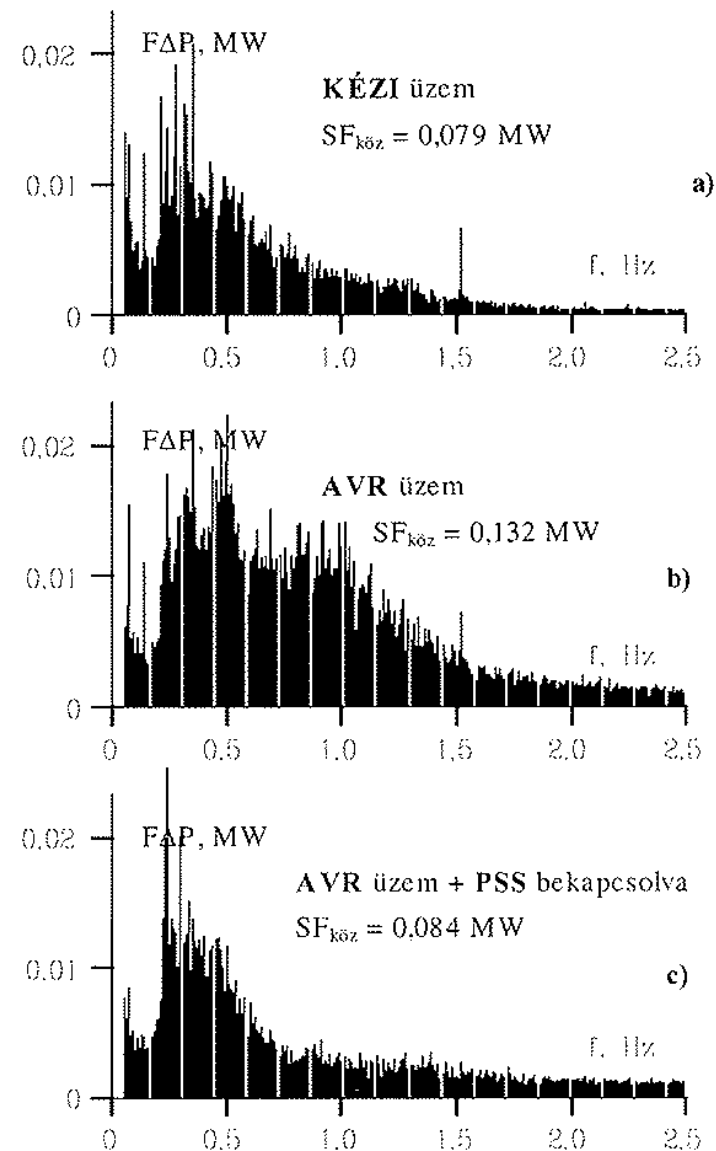


PSS megvalósítása

PSS működésének vizsgálata

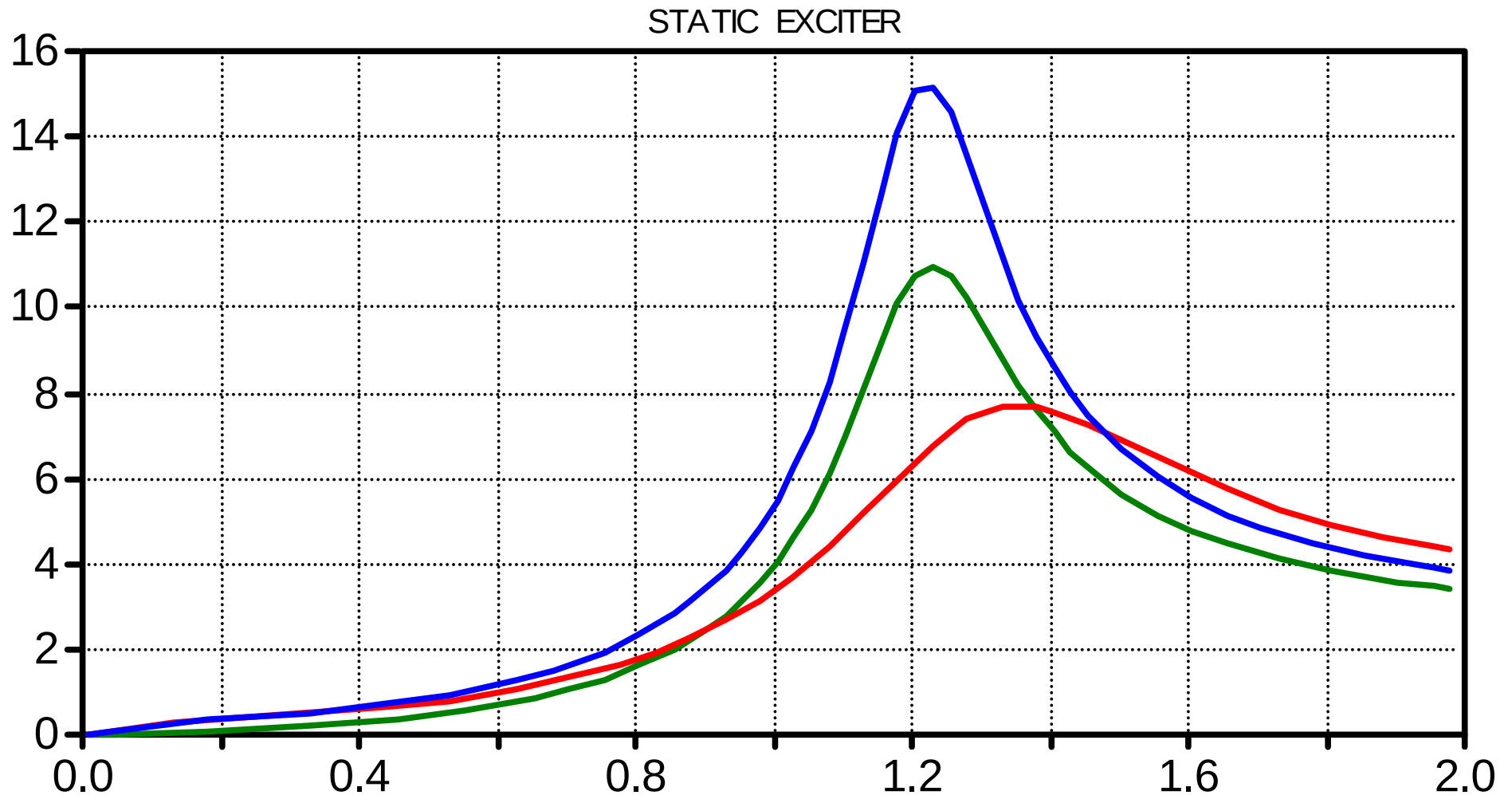


Egy 200 MW-os blokk frekvencia-, határos és meddőteljesítmény megváltozás időfüggvénye stacioner állapotban. A statikus gerjesztésszabályozó automatikus (feszültségtartó) üzemmódban, PSS: OFF



Egy 200 MW-os blokk határos villamos teljesítmény-megváltozás időfüggvényének Fourier transzformáltja; a) a statikus gerjesztésszabályozó kézi üzemben, b) a gerjesztésszabályozó automatikus (feszültségtartó) üzemmódban AVR (Automatic Voltage Regulation) PSS: OFF, c) AVR + PSS

Lengéscsillapítás hatékonysága – PSS I. (WATTOS TELJESÍTMÉNY LENGÉSEK) {„HARANG-GÖRBE”}



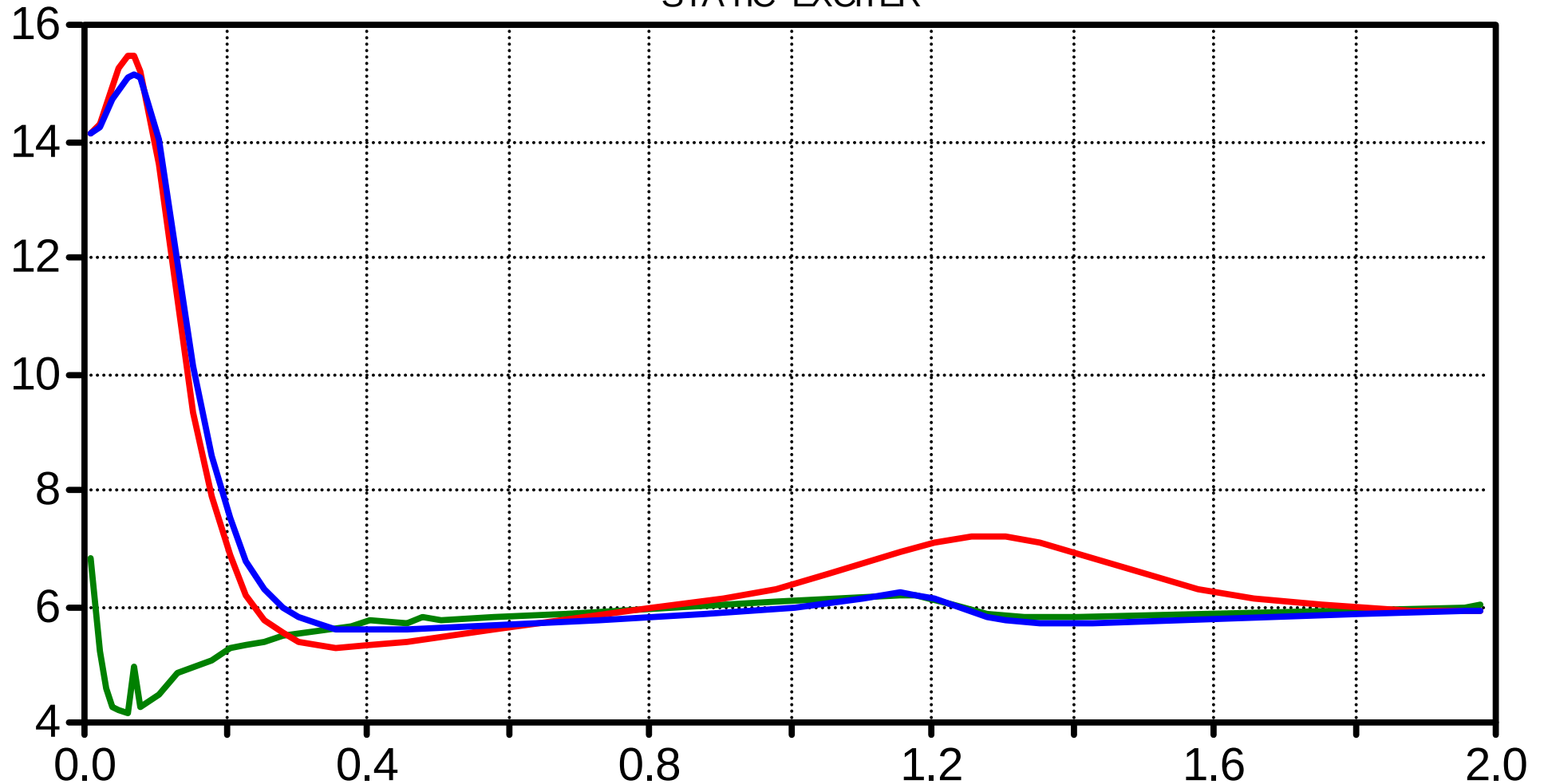
MAN.ADF: dP_{man}[MW]

AVR+PSS.ADF: dP_{avr+PSS}[MW]

AVR.ADF: dP_{avr}[MW]

Lengéscsillapítás hatékonysága – PSS II. MEDDŐTELJESÍTMÉNY LENGÉSEK) {„HARANG-GÖRBE”}

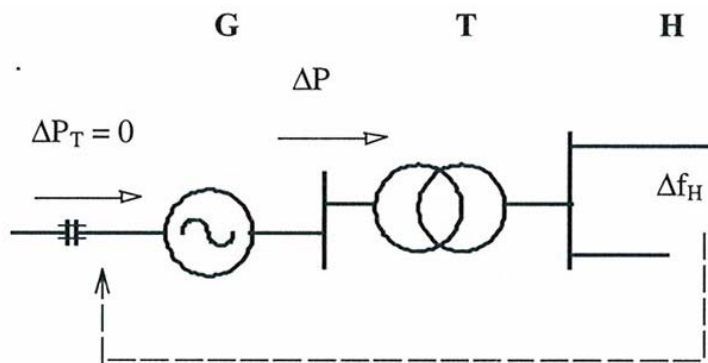
STATIC EXCITER



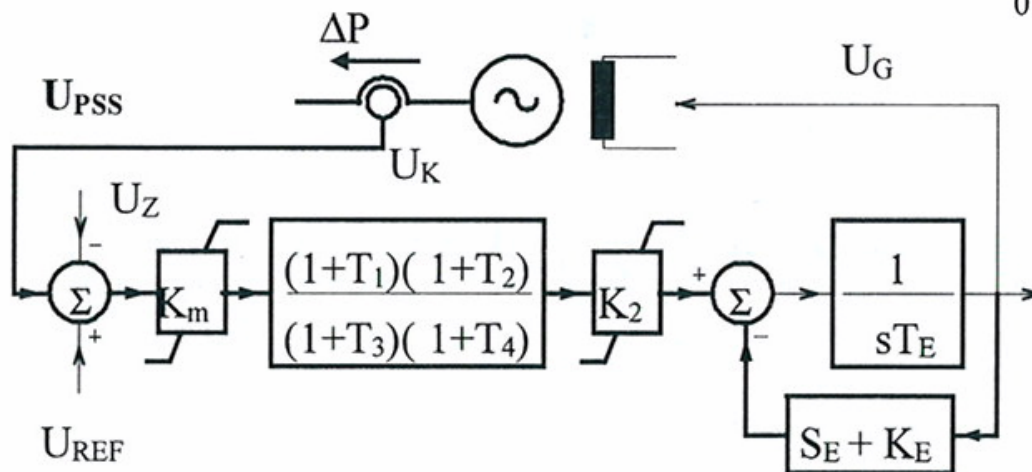
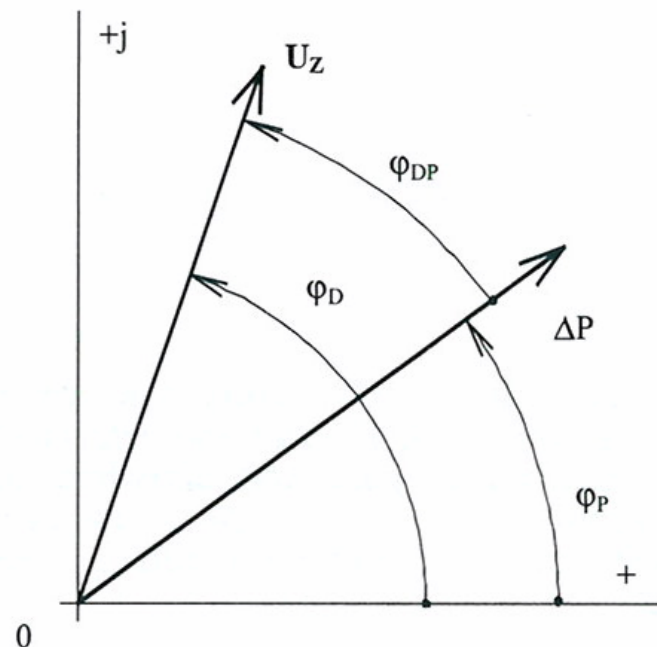
MAN.ADF: $dQ_{man}[Mvar]$

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

AVR.ADF: $dQ_{avr}[Mvar]$



Egy gép nagyterjedésű hálózat eset elvi sémája. G-T-H: generátor-transzformátor-hálózat. Δf_H : a nagyterjedésű hálózat „súlypontjában” mért frekvenciának a $t = 0$ pillanatban mért értéktől való eltérése (mHz)



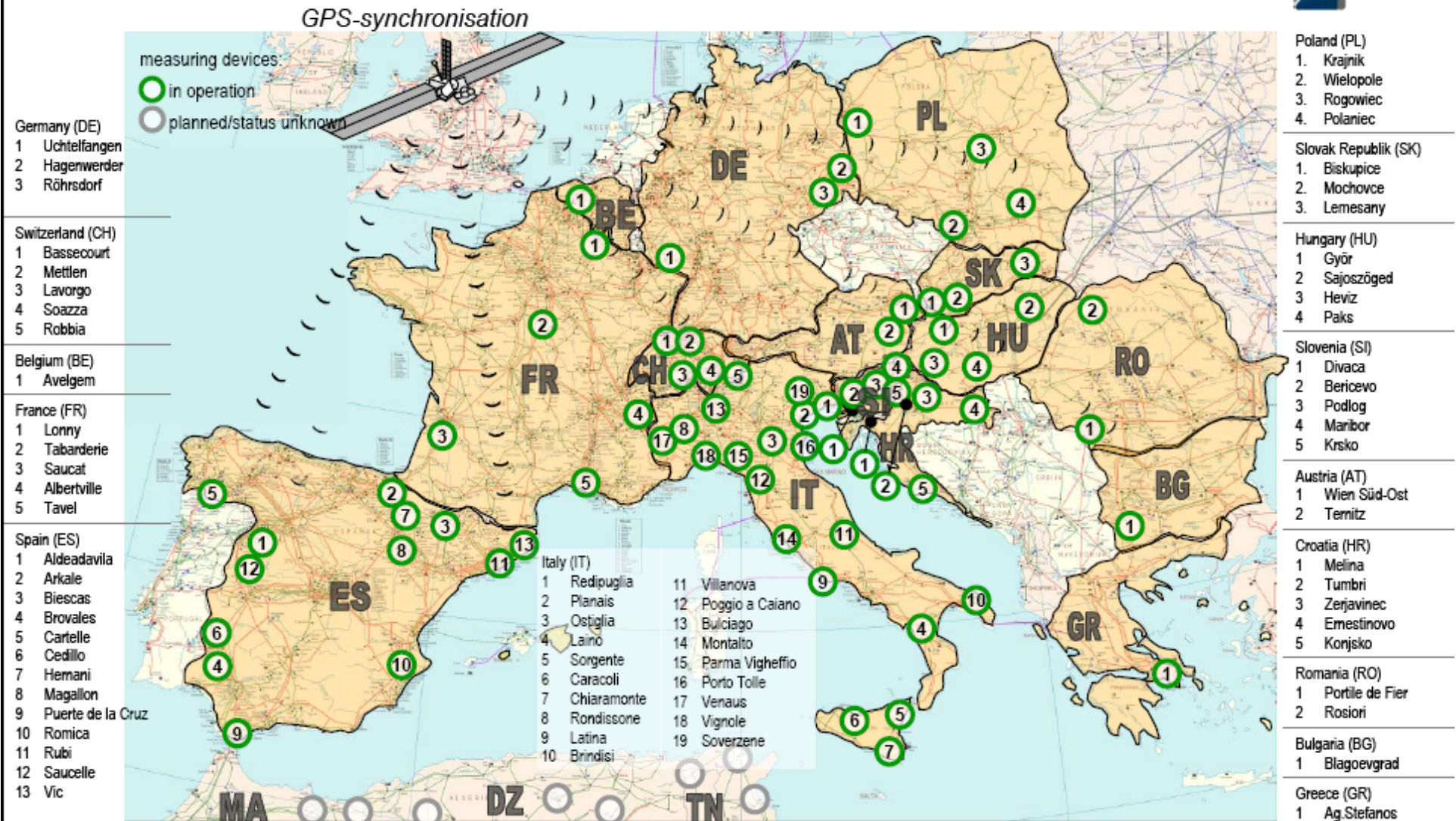
$$\varphi_{PSS} = \varphi_{DP0}, (\text{rad})$$

$$U_Z = K_P \cdot \Delta P$$

A p bemenetű PSS beállítását (hangolását) szemléltető ábra az U_Z és az U_{PSS} jel feltüntetésével

PSS megvalósítása

Status Report about UCTE-WAMS and latest incidents



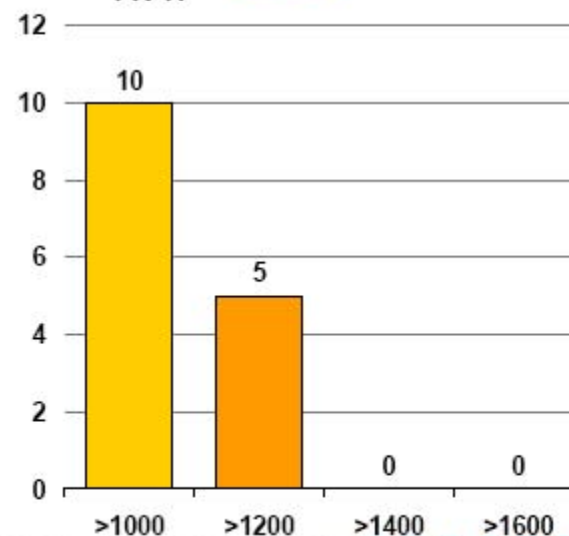
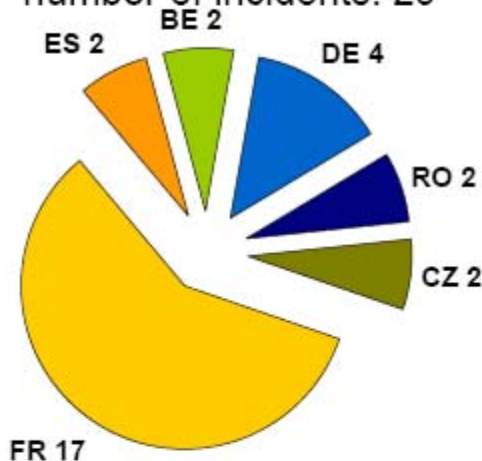
Status Report about UCTE-WAMS and latest incidents

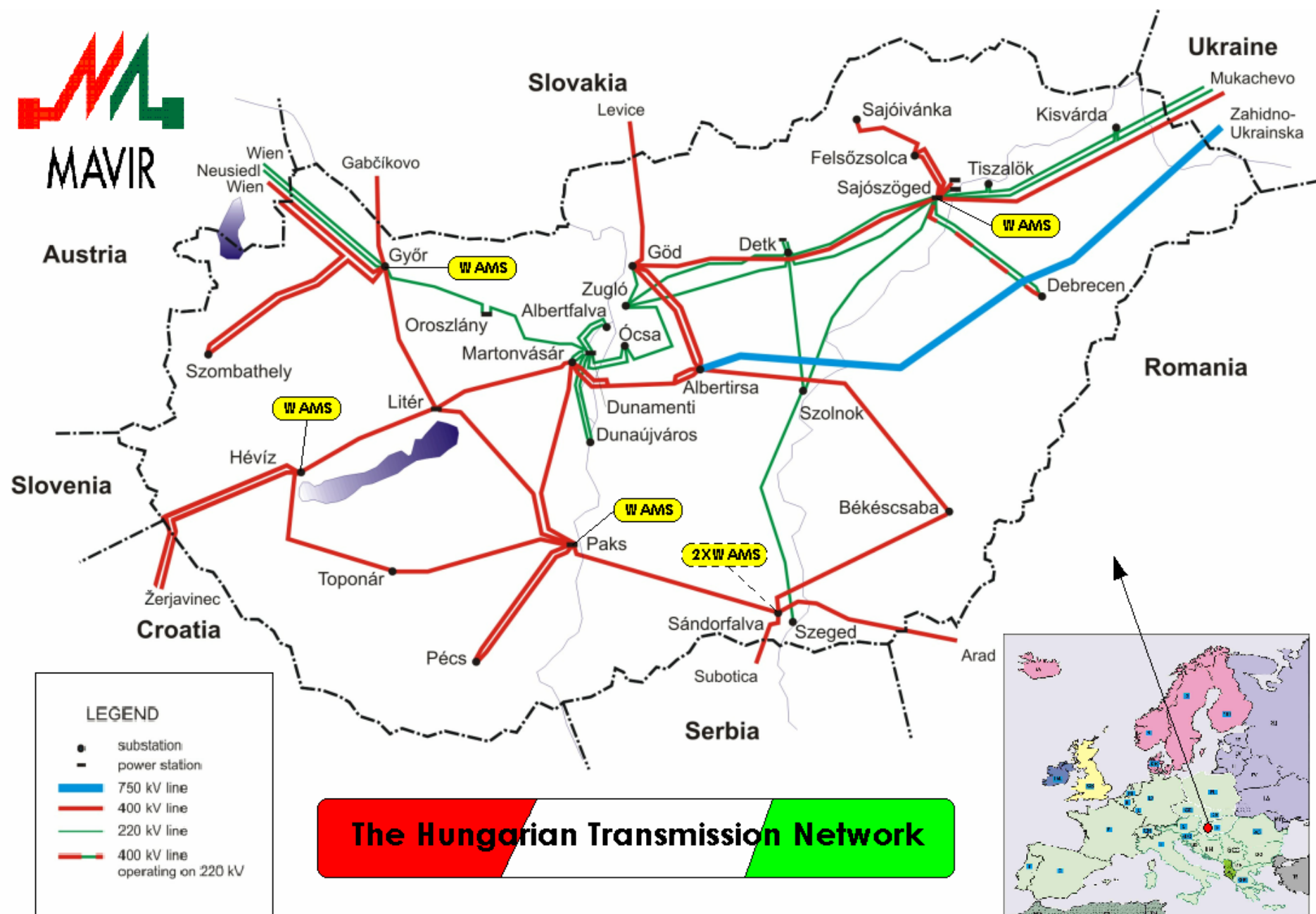


UCTE Incidents February 2008 - June 2008

Date	Time	Location	Disturbance in country	Delta Pa	Lambda u
07/02/2008	14:39:00	Avoisne	FR	-900	30000
07/02/2008	22:17:00	Belleville 1	FR	-1156	38533
07/02/2008	22:17:00	Belleville 1	FR	1156	38533
10/02/2008	01:59:00	Braud	FR	-940	15600
15/02/2008	07:54:00	Dampierre 1	FR	-895	22375
22/02/2008	10:29:00	Penly	FR	-1300	32500
22/02/2008	15:37:00	Cruas	FR	-909	22700
27/02/2008	00:45:00	St ALBAN 1	FR	-1335	33375
01/03/2008	01:34:00	PUENTES	ES	-843	38645
01/03/2008	10:26:00	Temelin 2	CZ	-997	34383
09/03/2008	18:40:00	Niederaussem Block K	DE	-800	
20/03/2008	12:40:00	Nogent 1	FR	-1027	51350
22/03/2008	18:43:00	bugey3	FR	-886	22150
28/03/2008	15:48:00	Doel 4	BE	-960	41575
06/04/2008	03:10:00	Niederaussem	DE	-920	30667
20/04/2008	03:01:00	Paluel 3	FR	-1300	26000
22/04/2008	19:26:00	Cernavoda	RO	-680	25514
22/04/2008	19:32:00	Cernavoda	RO	-625	37325
01/05/2008	03:03:00	Tihange 1 (N&S)	BE	-980	
07/05/2008	20:47:00	Temelin 2	CZ	-843	33720
08/05/2008	14:20:00	ESCOMBRERAS	ES	-1280	26667
11/05/2008	17:52:00	Bugey 5	FR	-818	20450
16/05/2008	18:30:00	Paluel 2	FR	-1292	25840
26/05/2008	14:14:00	Weisweiler Bl. G	DE	-600	
01/06/2008	23:26:00	Neurath Unit D	DE		
05/06/2008	12:19:00	Saint Alban 1	FR	-1200	40000
07/06/2008	14:04:00	St Laurent 2	FR	887	22200
07/06/2008	14:04:00	St Laurent 2	FR	-887	22200
10/06/2008	10:37:00	Cattenom 1	FR	-1150	23000

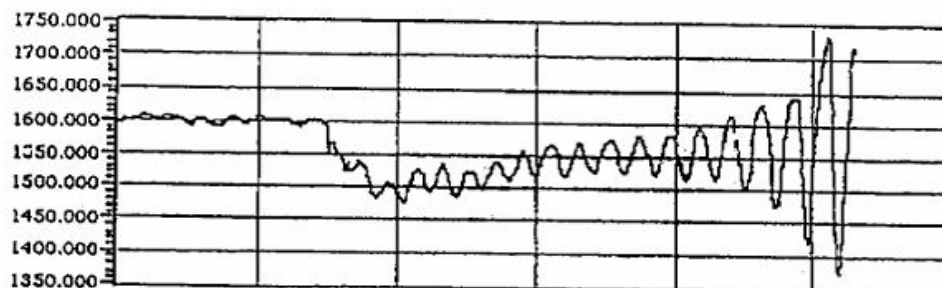
number of incidents: 29



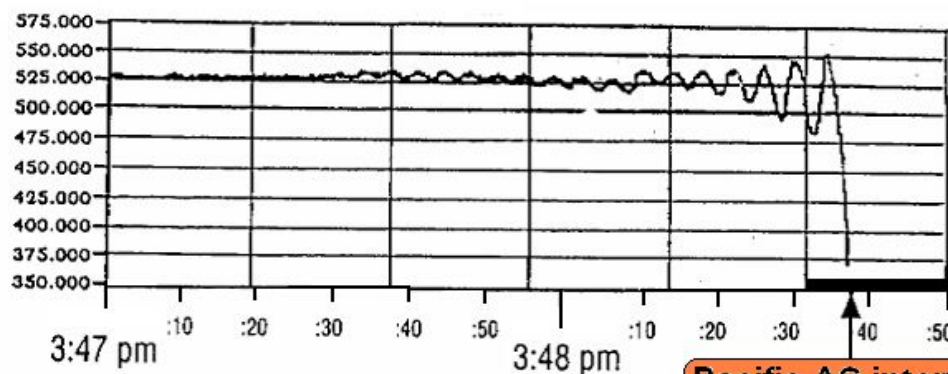


Lengések

Power flow - PG&E Olinda MW

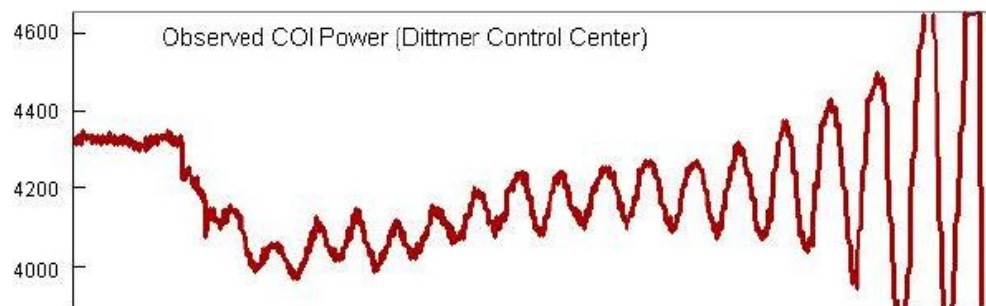


Voltage - Malin-Round Mountain #1kV



Pacific AC intertie completely opens
Pacific DC intertie opens

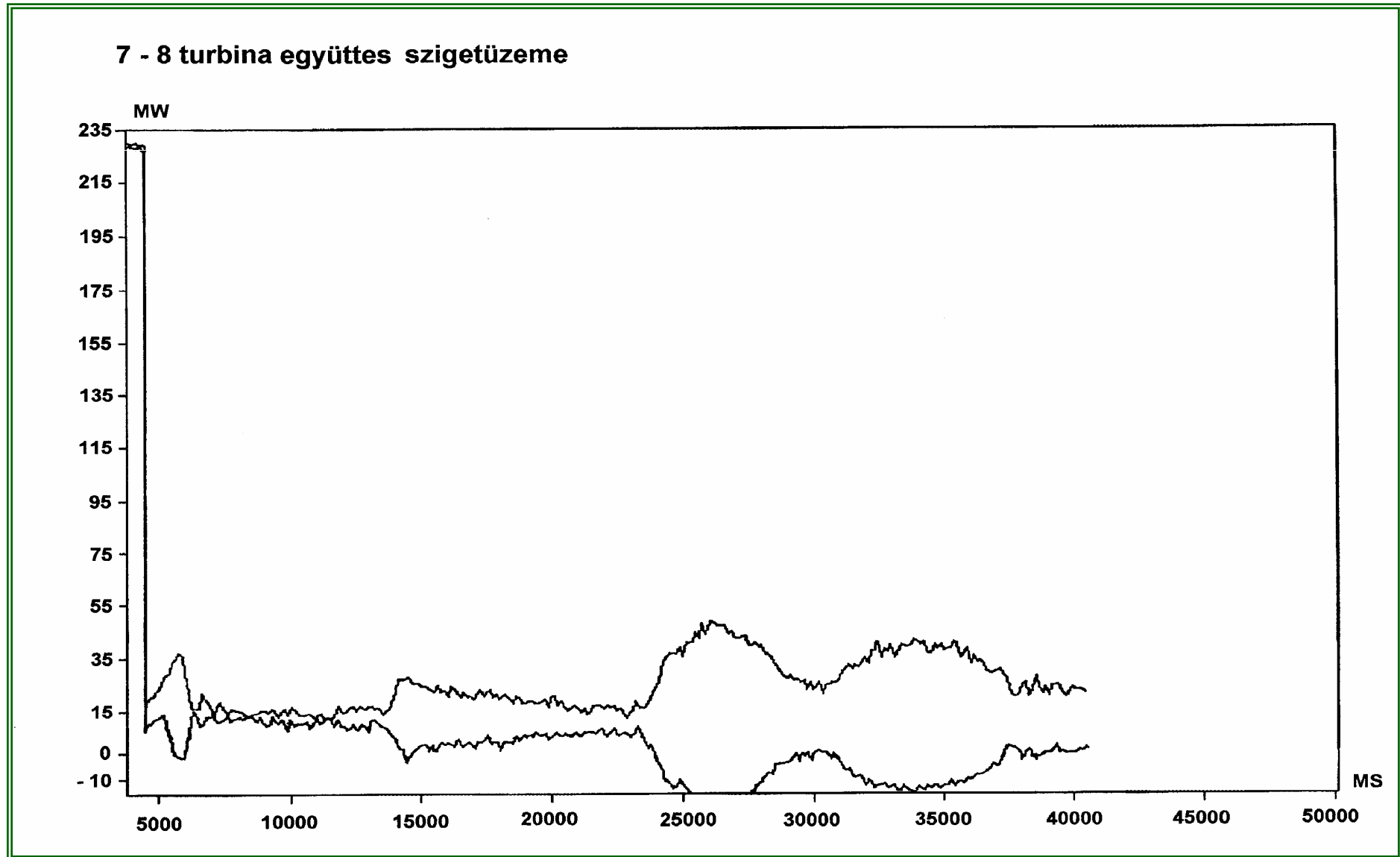
Oscillation
was a likely
contributor to
the severity of
the problem
A lengés egy
valószínű
közreműködő
volt.
a probléma
komolyságának
kialakulásában.



COI: California - Oregon Intertie

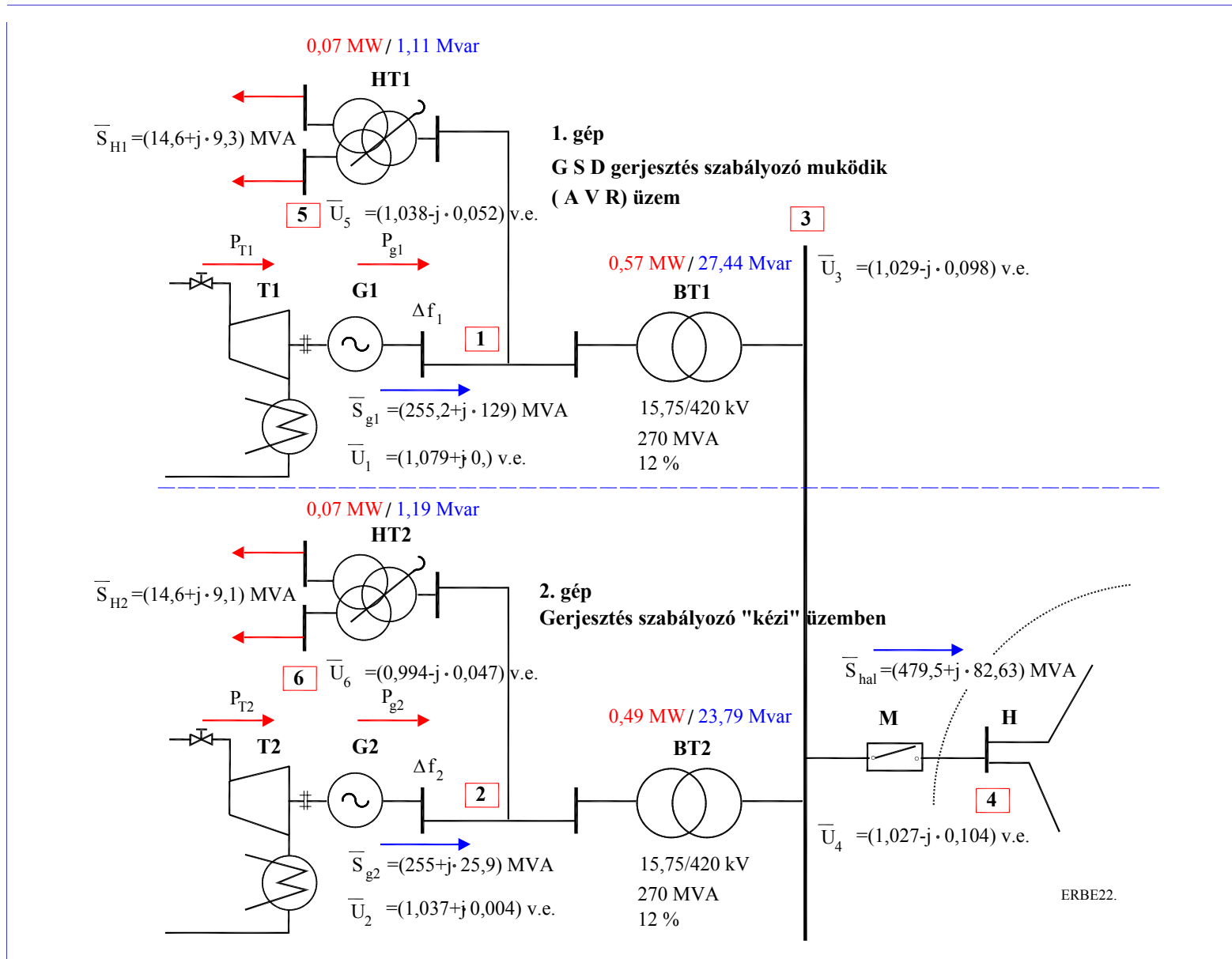
Western System Breakup
August 10, 1996

Rendszerközi lengések – fizikai kép



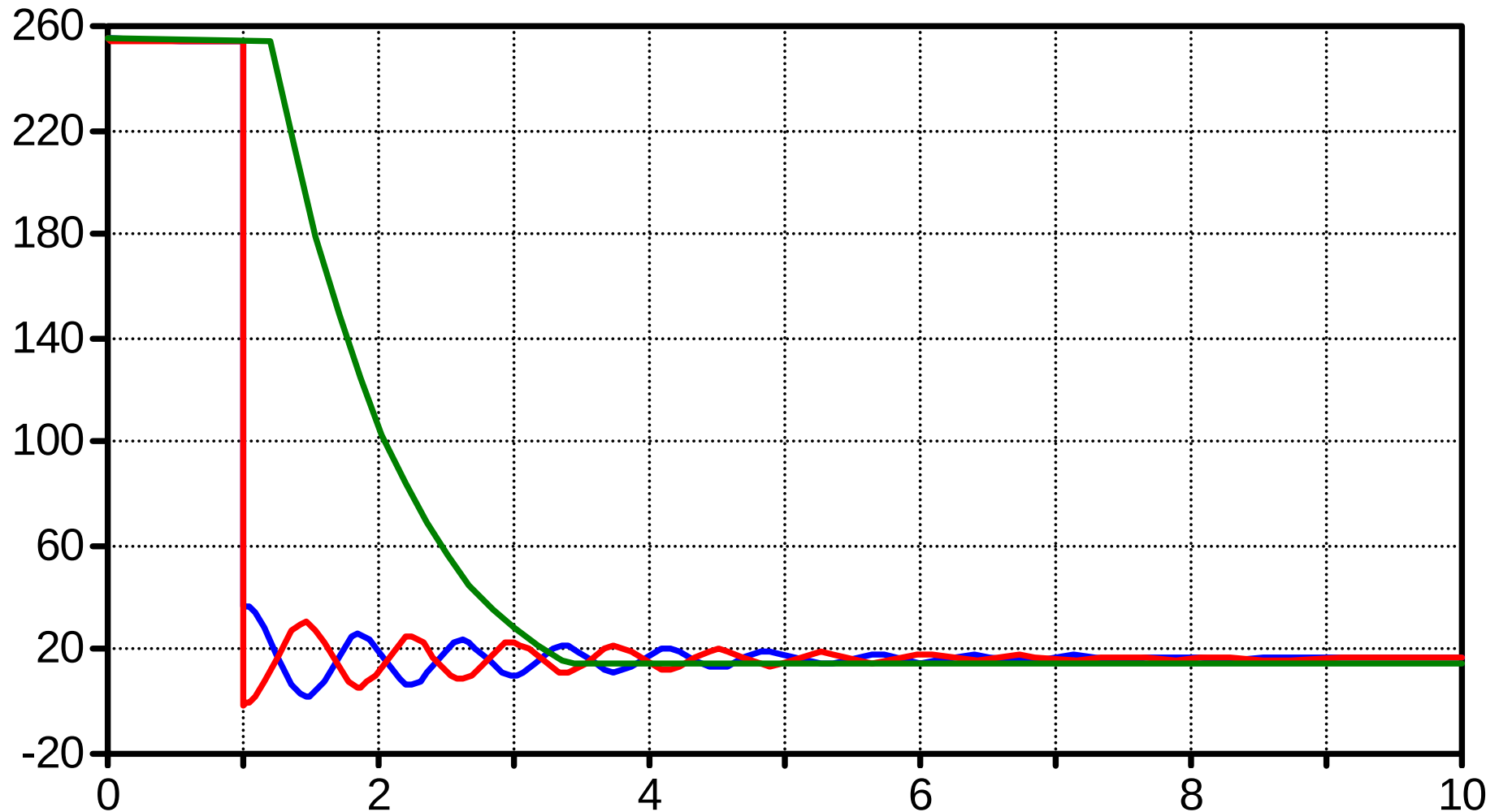
Paksi Atomerőműben elvégzett blokk szigetüzemre kapcsolási mérés
(Jól látható a két generátor ellen-lengése.)

Rendszerközi lengések – fizikai kép



Paksi Atomerőműben elvégzett blokk szigetüzemre kapcsolás modellezése

Rendszerközi lengések – fizikai kép



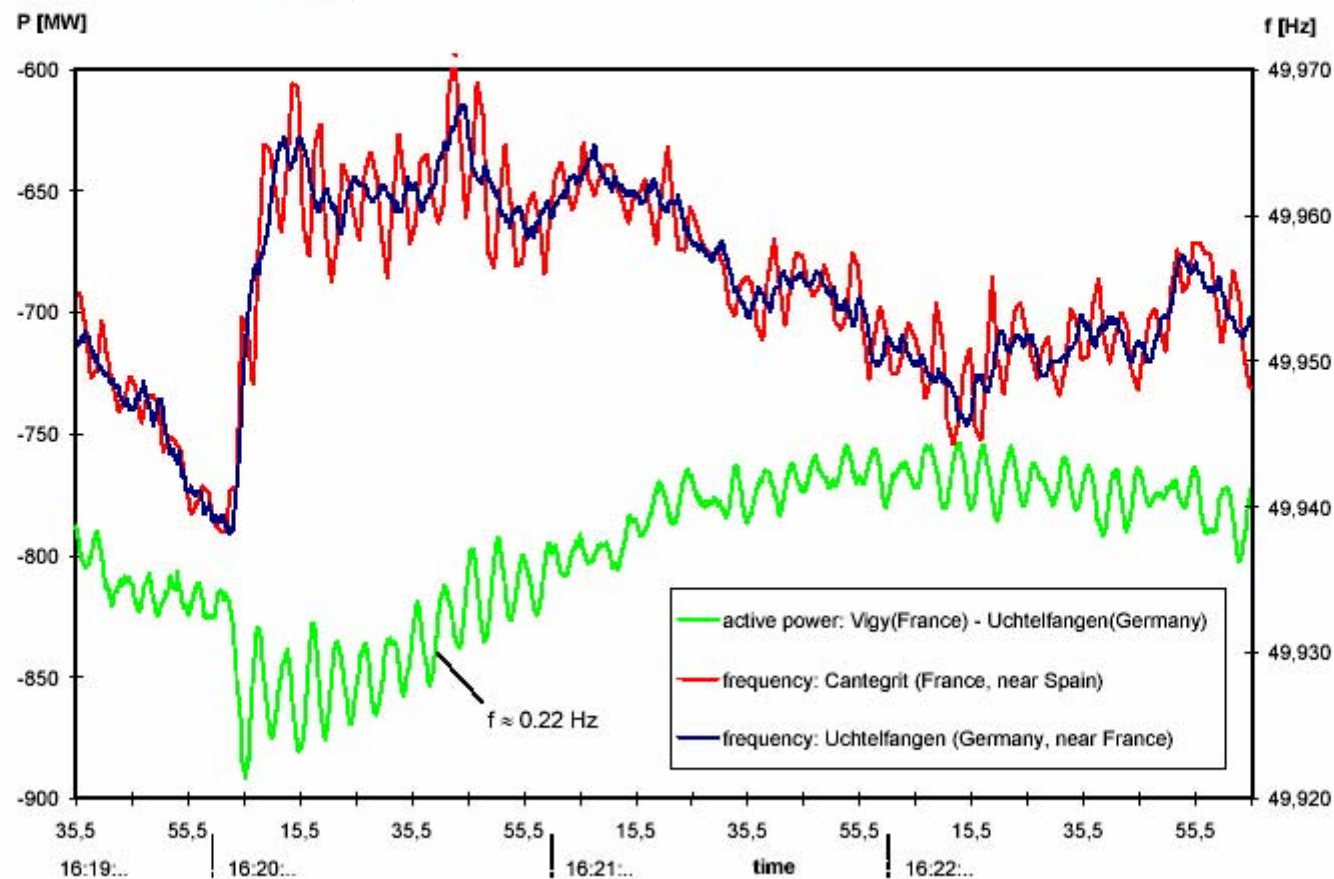
AD61.ADF: Pv2[MW]

AD51.ADF: Pv1[MW] Pt1[MW]

Paksi Atomerőműben elvégzett blokk szigetüzemre kapcsolási modellezése

Undamped oscillations after load rejection in Spain (487 MW)

(short circuit on 220 kV line, 16-12-97)

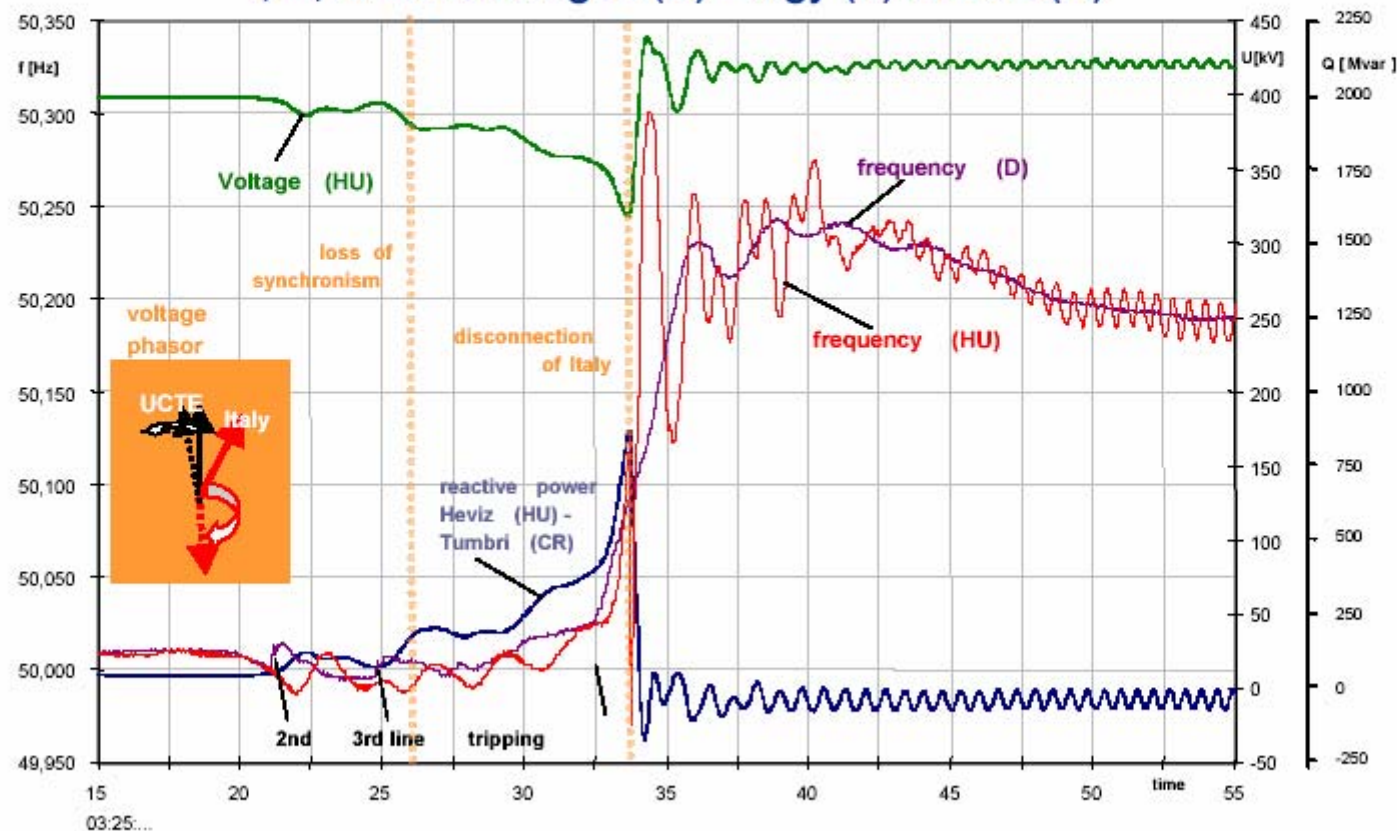


WAMS felvétel az olasz üzemzavarról

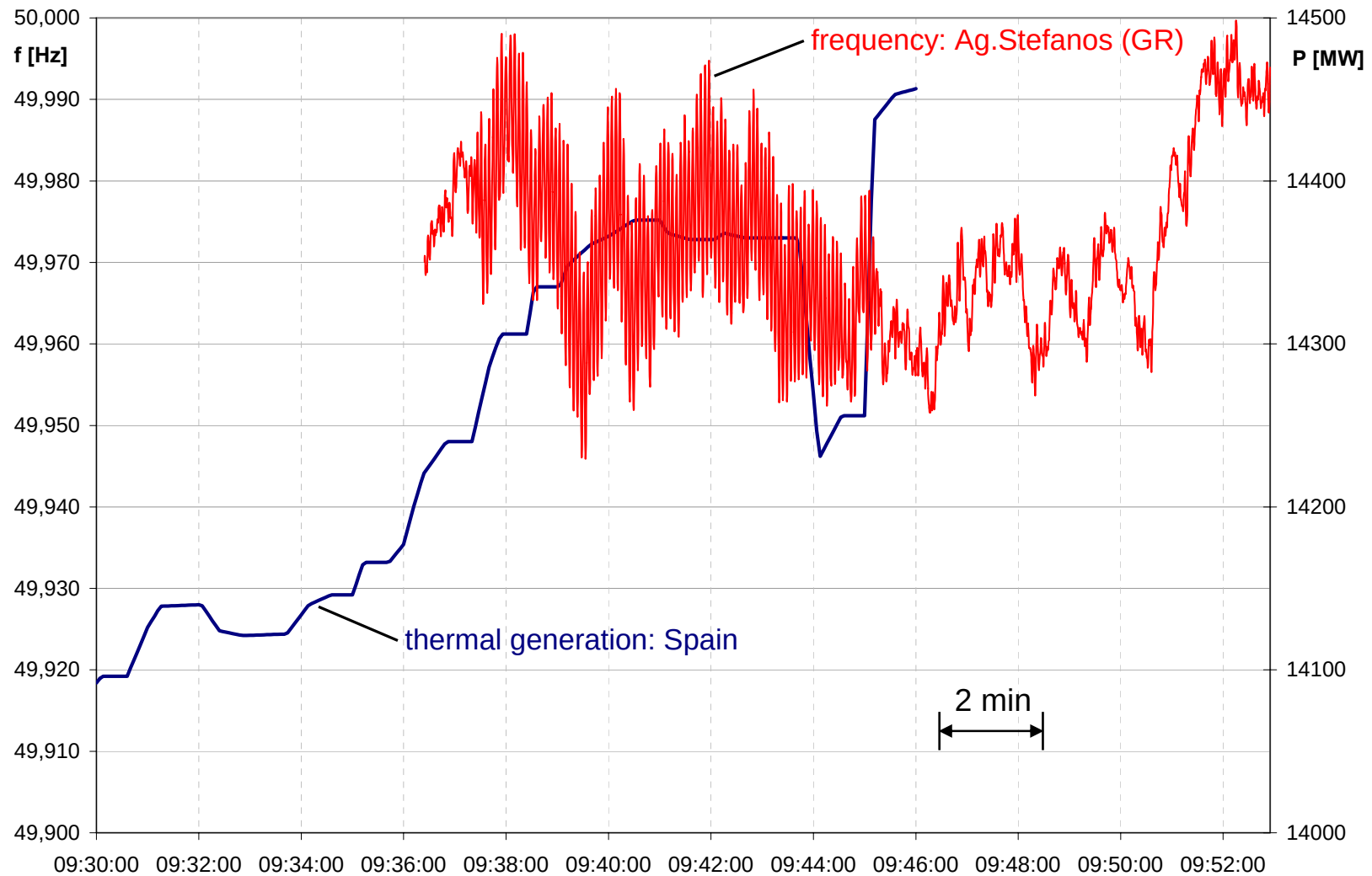
Recording and evaluation of wide area disturbances

Blackout in Italy on 28-09-03

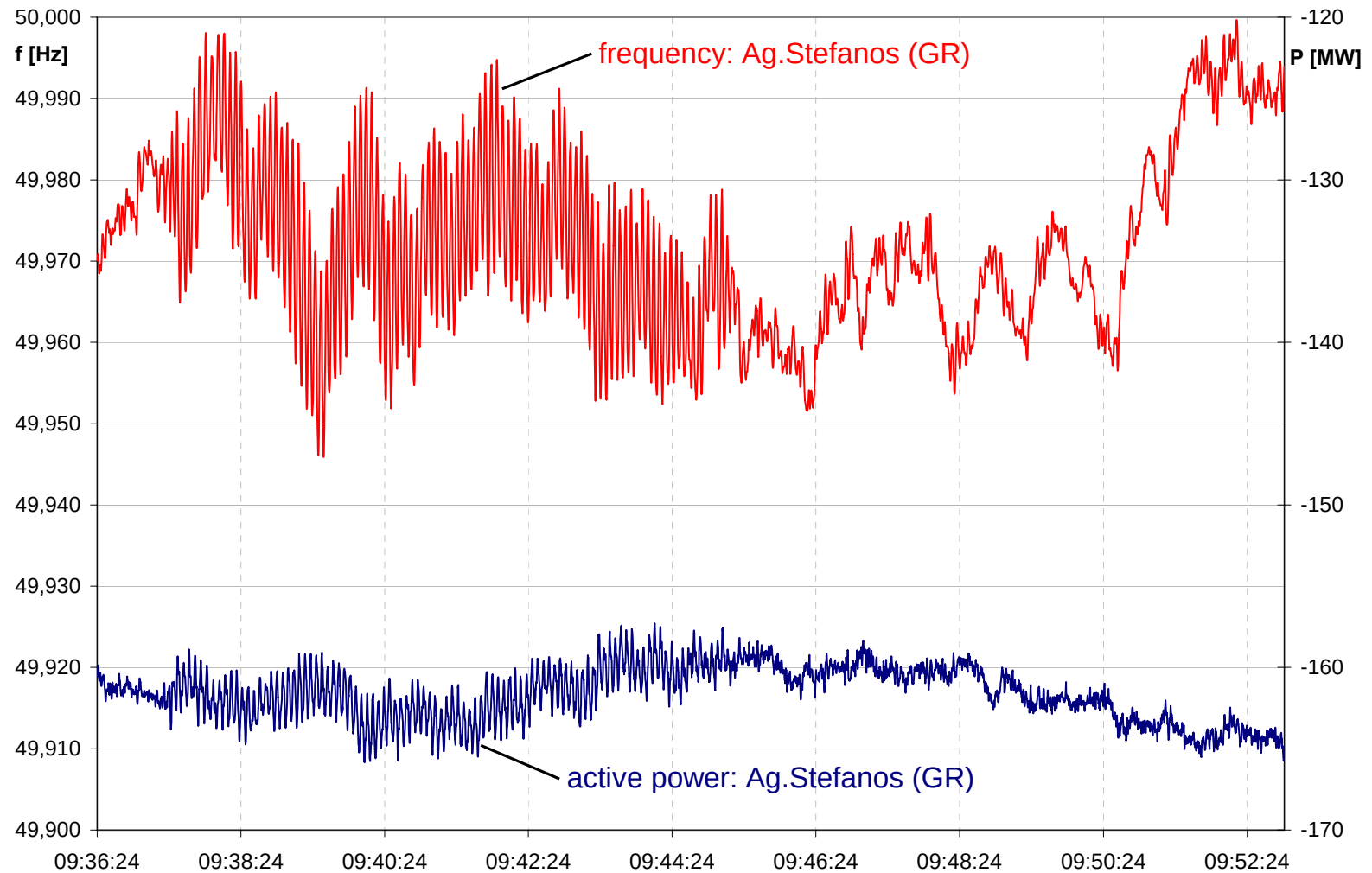
f, U, Q Uchtelfangen (D) - Vigy (F) / Heviz (H)



Inter-Area-Oscillations in the UCTE-system on Sunday, May 1st, 2005



Rendszerközi lengések



Inter-Area-Oscillations in the UCTE-system on Sunday, May 1st, 2005

MEDRING

TAM: Tunisia, Algeria and Morocco

LEJS: Libya, Egypt, Jordan, Syria.

UCTE-TAM-LEJS

3-napos próbaüzem:

2005. november 21-24.

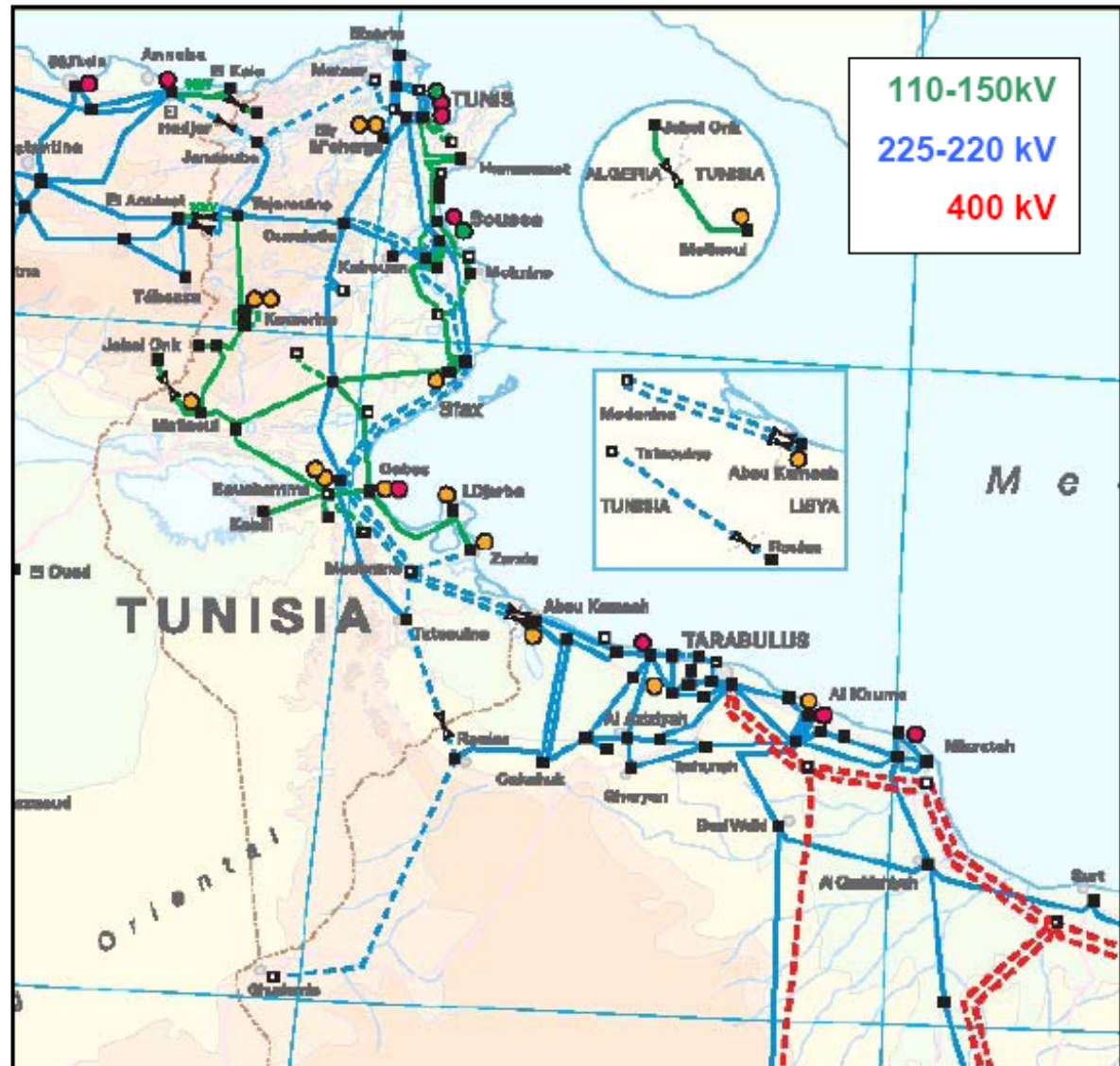


Figure 1.- Tunisia-Libya electrical interconnections.

UCTE-TAM-LEJS regisztrálás

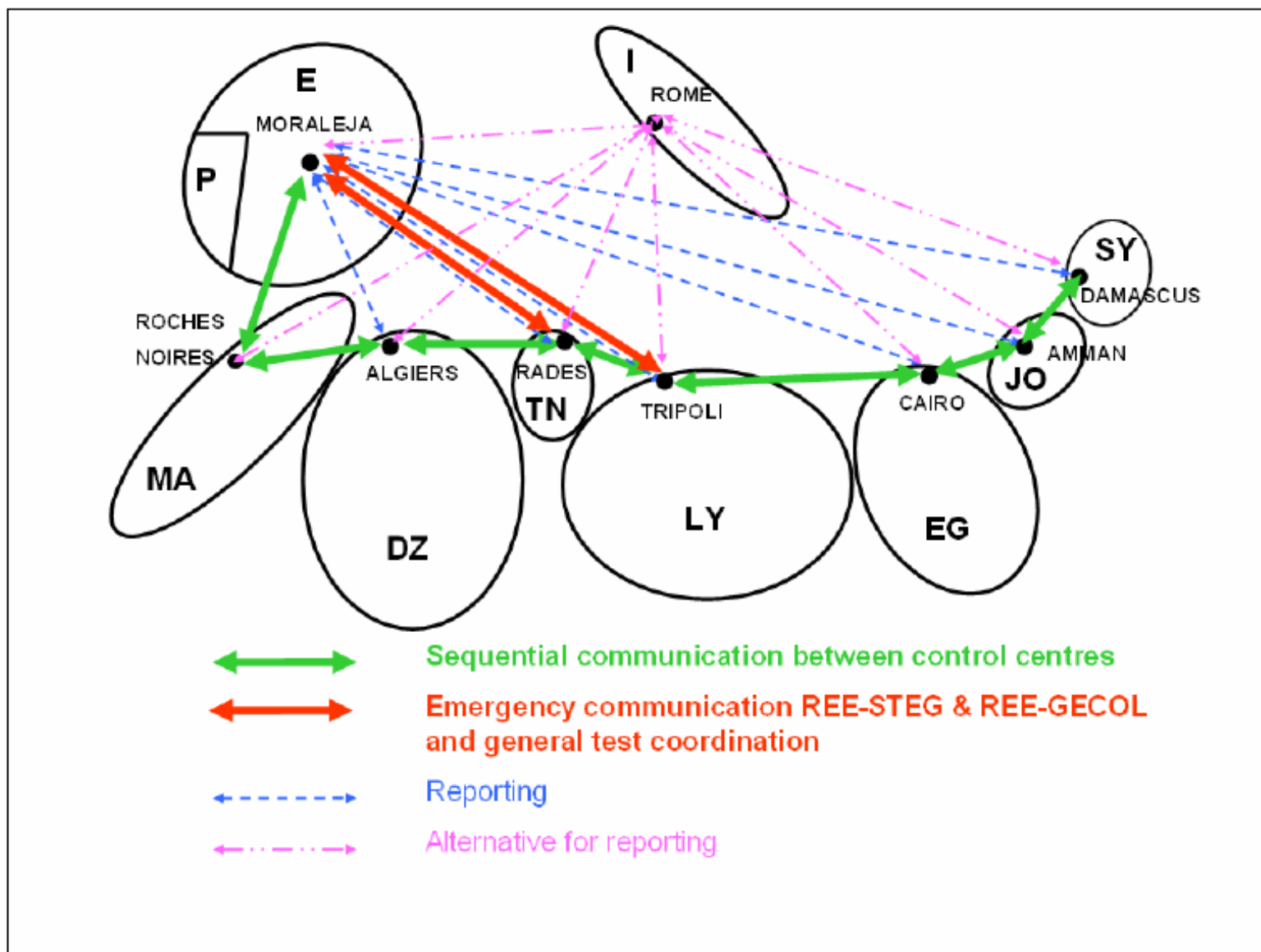
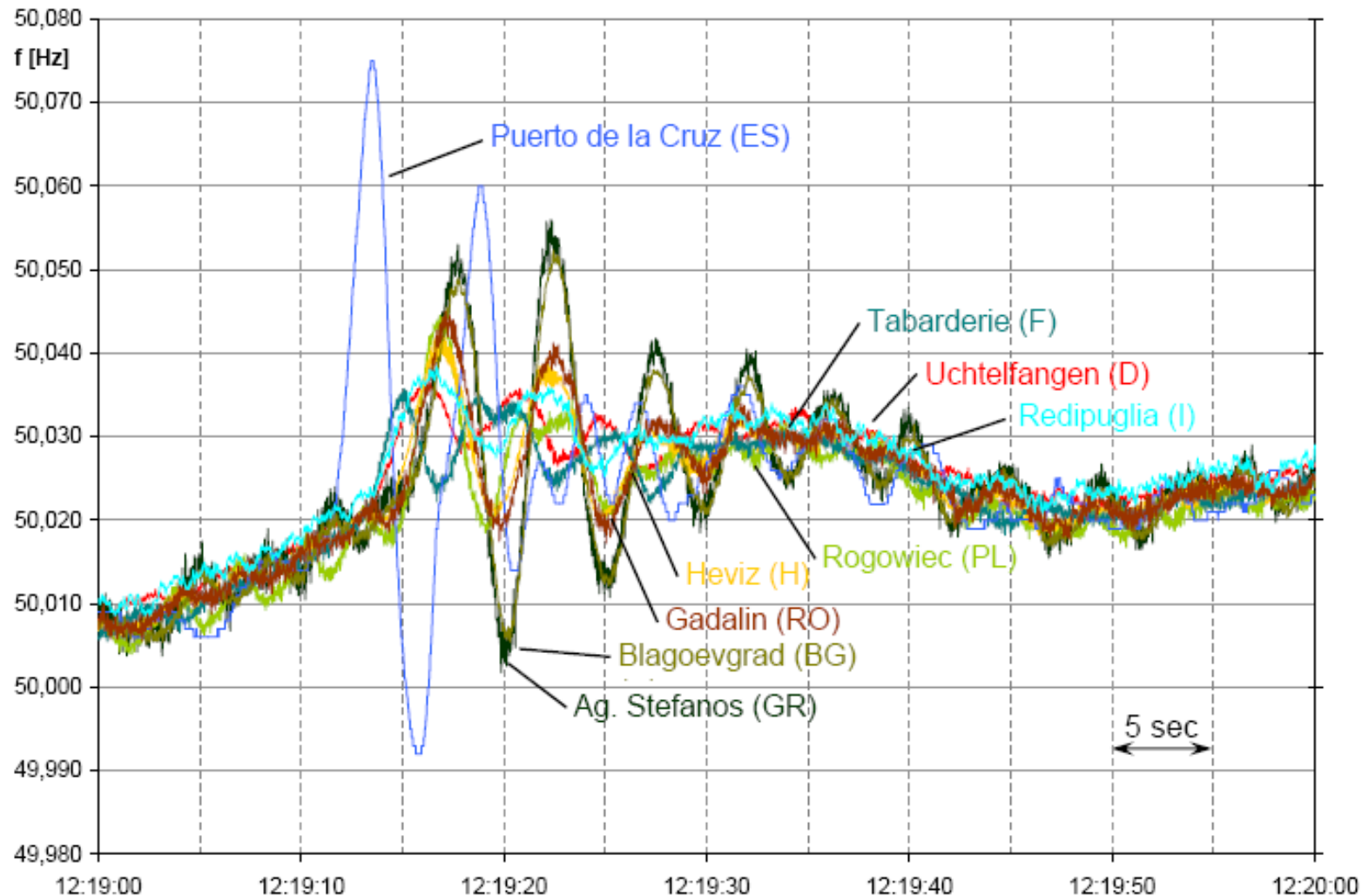
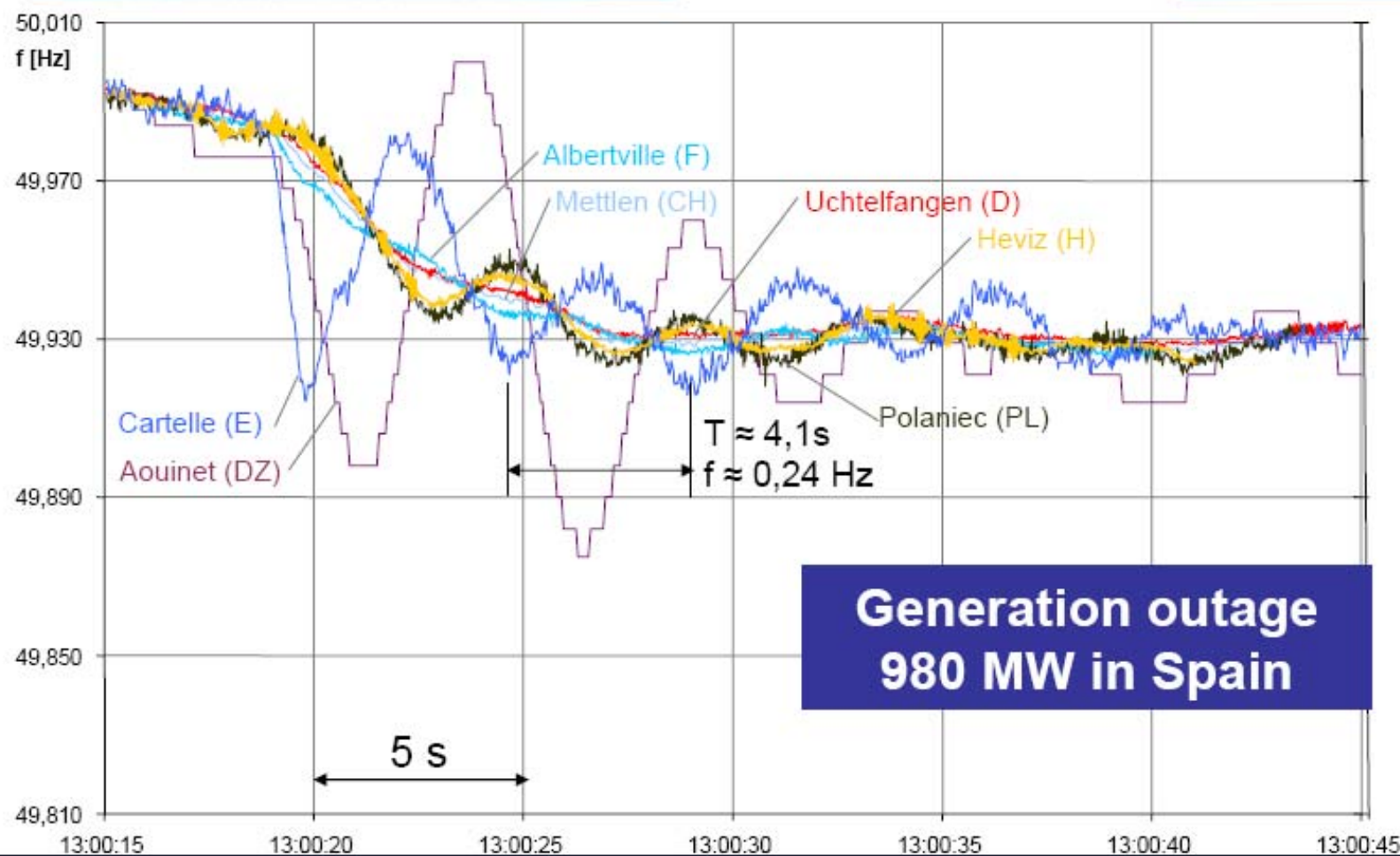


Figure 2.- Communications among control centres for the three days test and reporting.

Disconnection of the UCTE-TAM and LEJS power systems - 2005-11-21; 12:19



Recording of Inter-Area-Oscillations



- Area 1 under-frequency
- Area 2 over-frequency
- Area 3 under-frequency

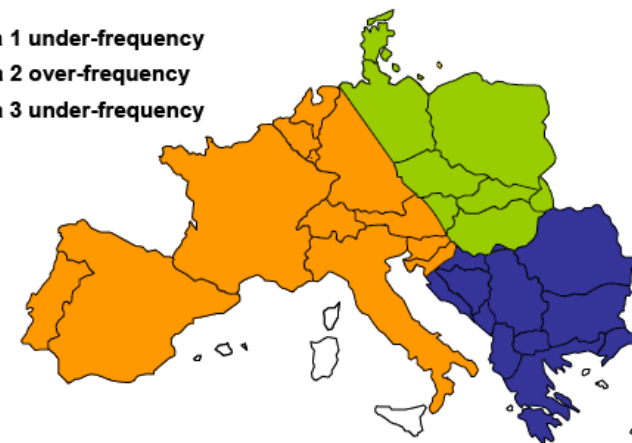


Figure 4: Schematic map of UCTE area split into three areas

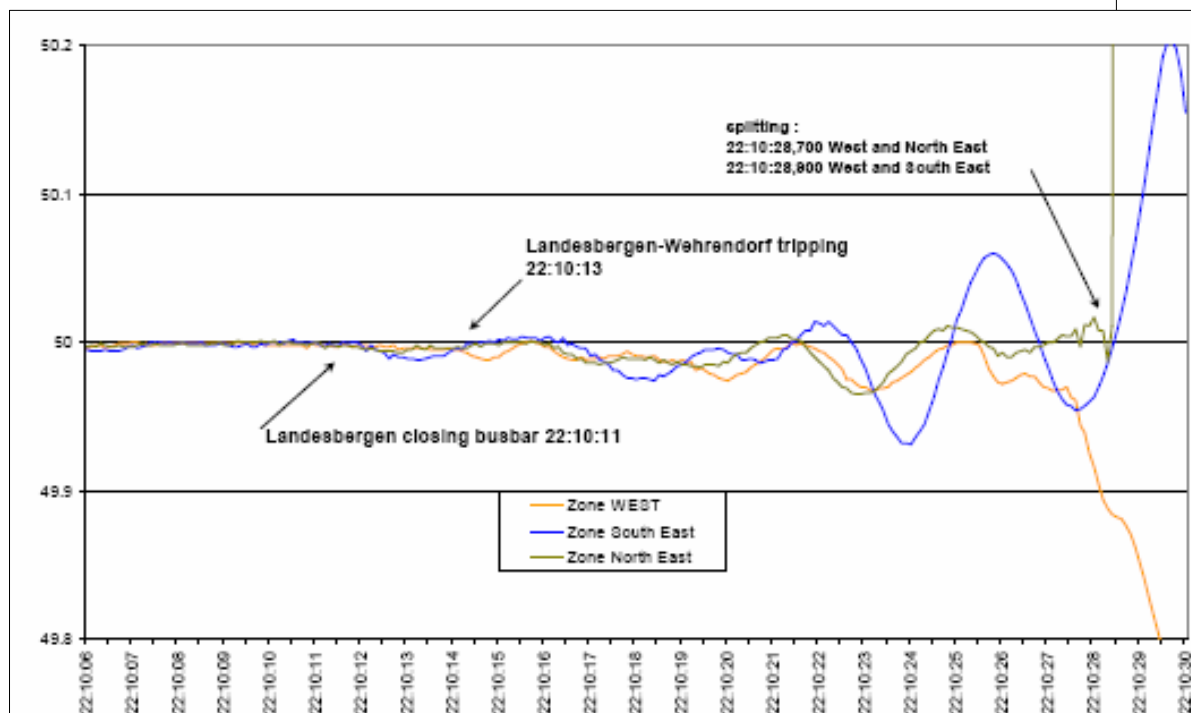
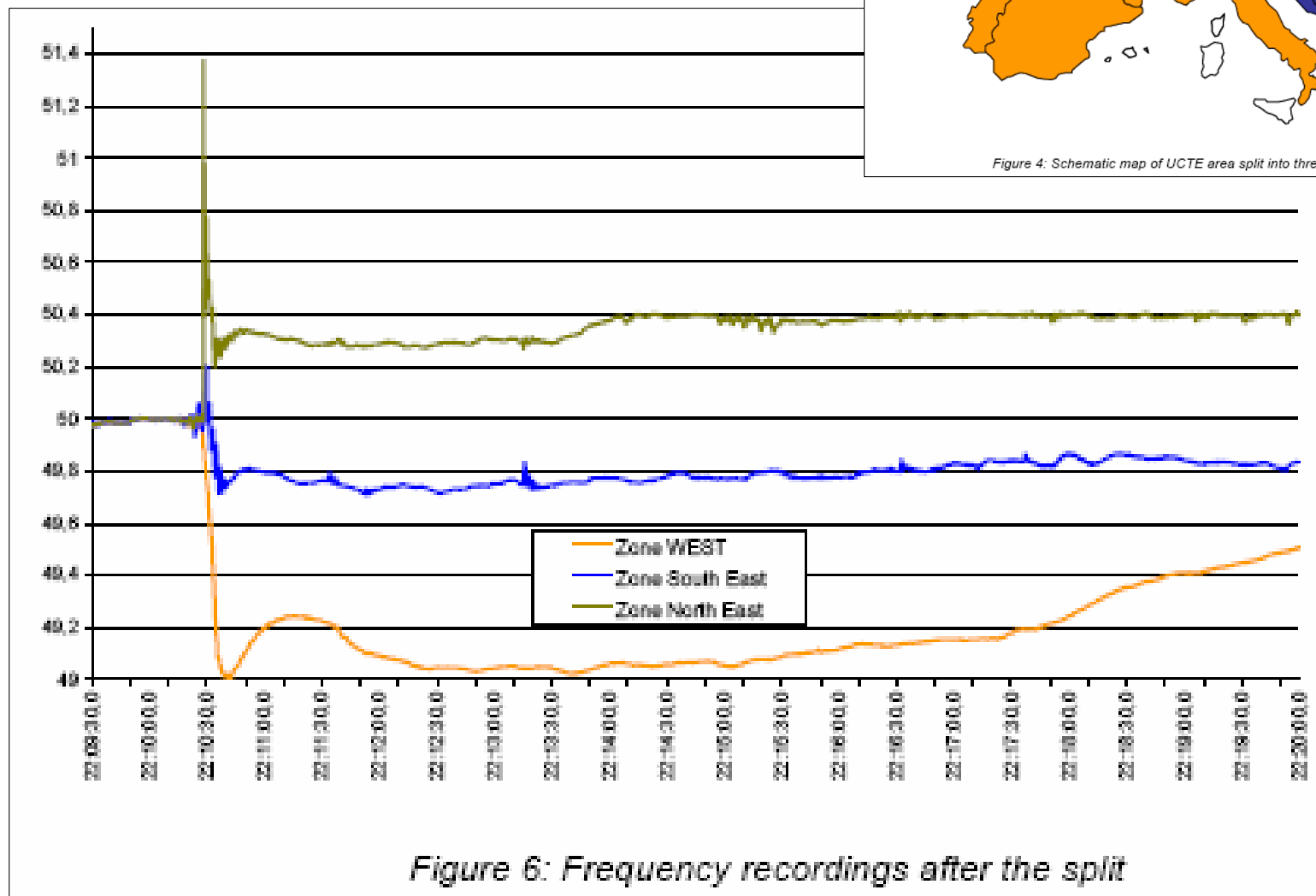
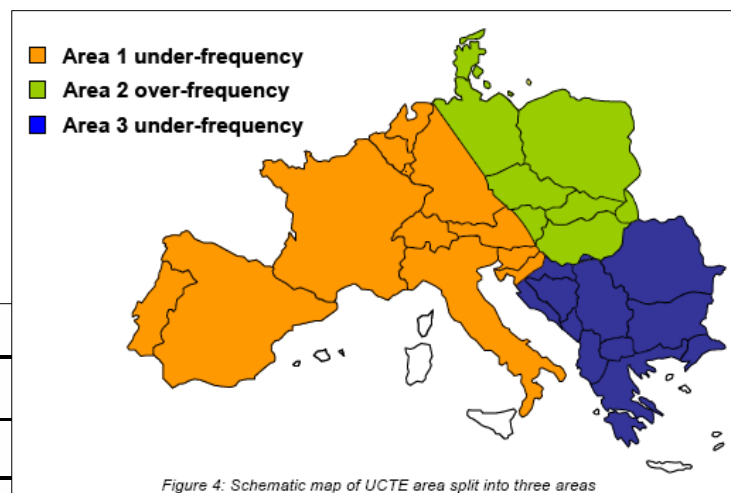


Figure 5: Frequency recordings until area splitting

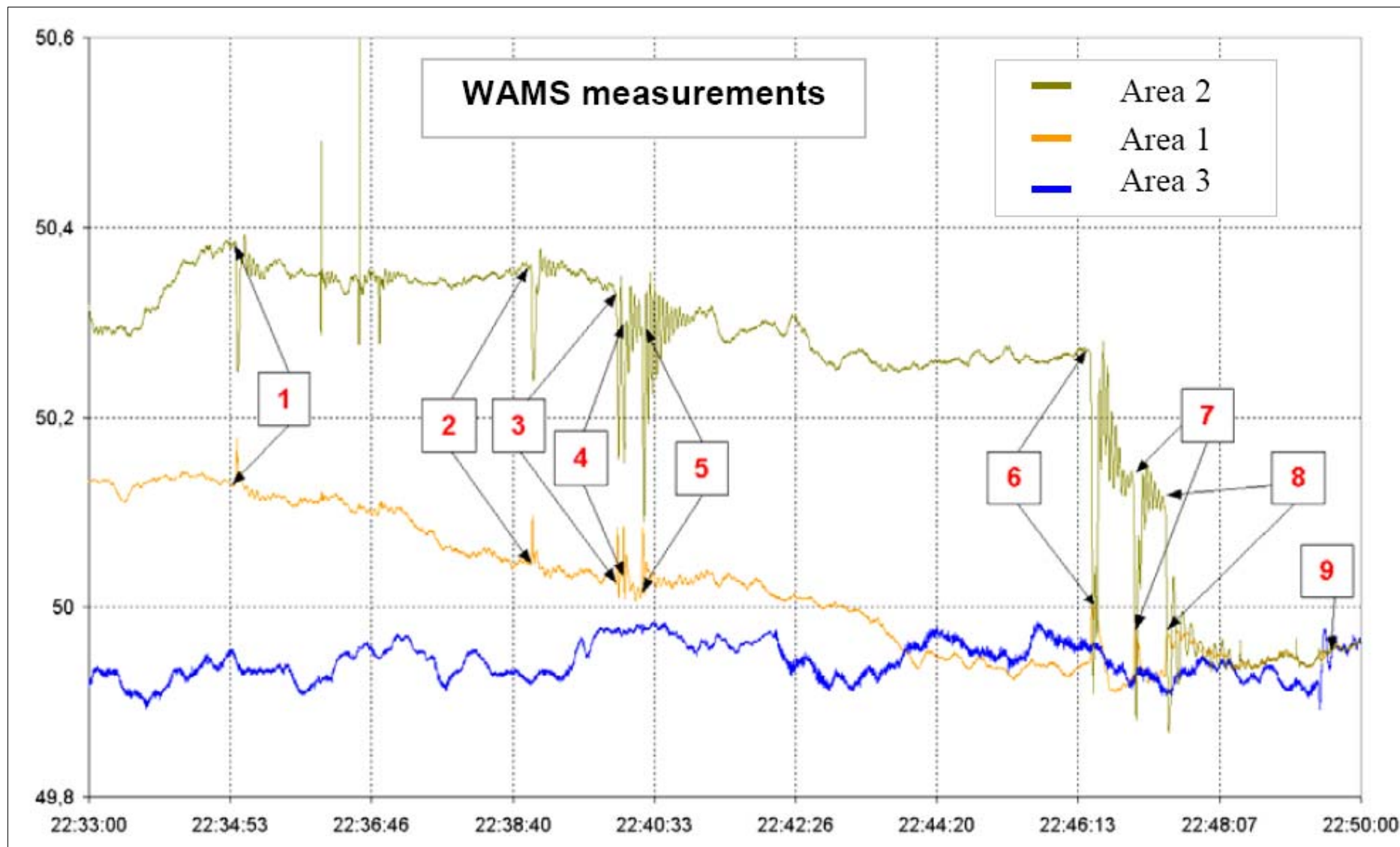
Figure 6 is presenting frequency recordings as retrieved by Wide Area Measurement Systems (WAMS) in the three areas from 22:09:30 to 22:20:00

On 18 September 2006, the shipyard (Meyerwerft) sent a request to E.ON Netz for a disconnection of the double circuit 380 kV line Conneforde-Diele for the transport of the ship "Norwegian Pearl" via the Ems River to the North Sea on 5 November at 01:00. Such a switching was done several times during the last years.

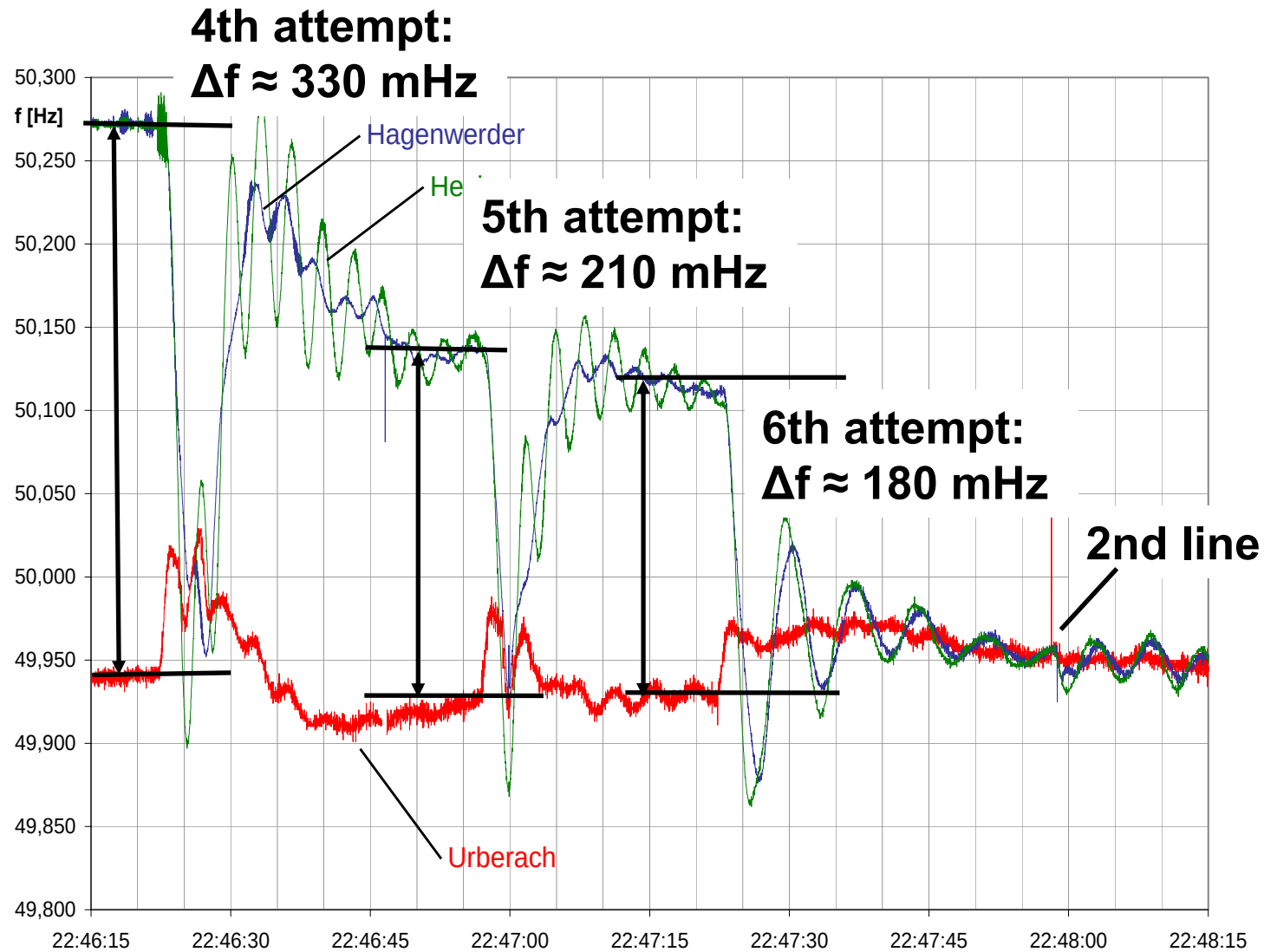
2006. november 4., 22:10



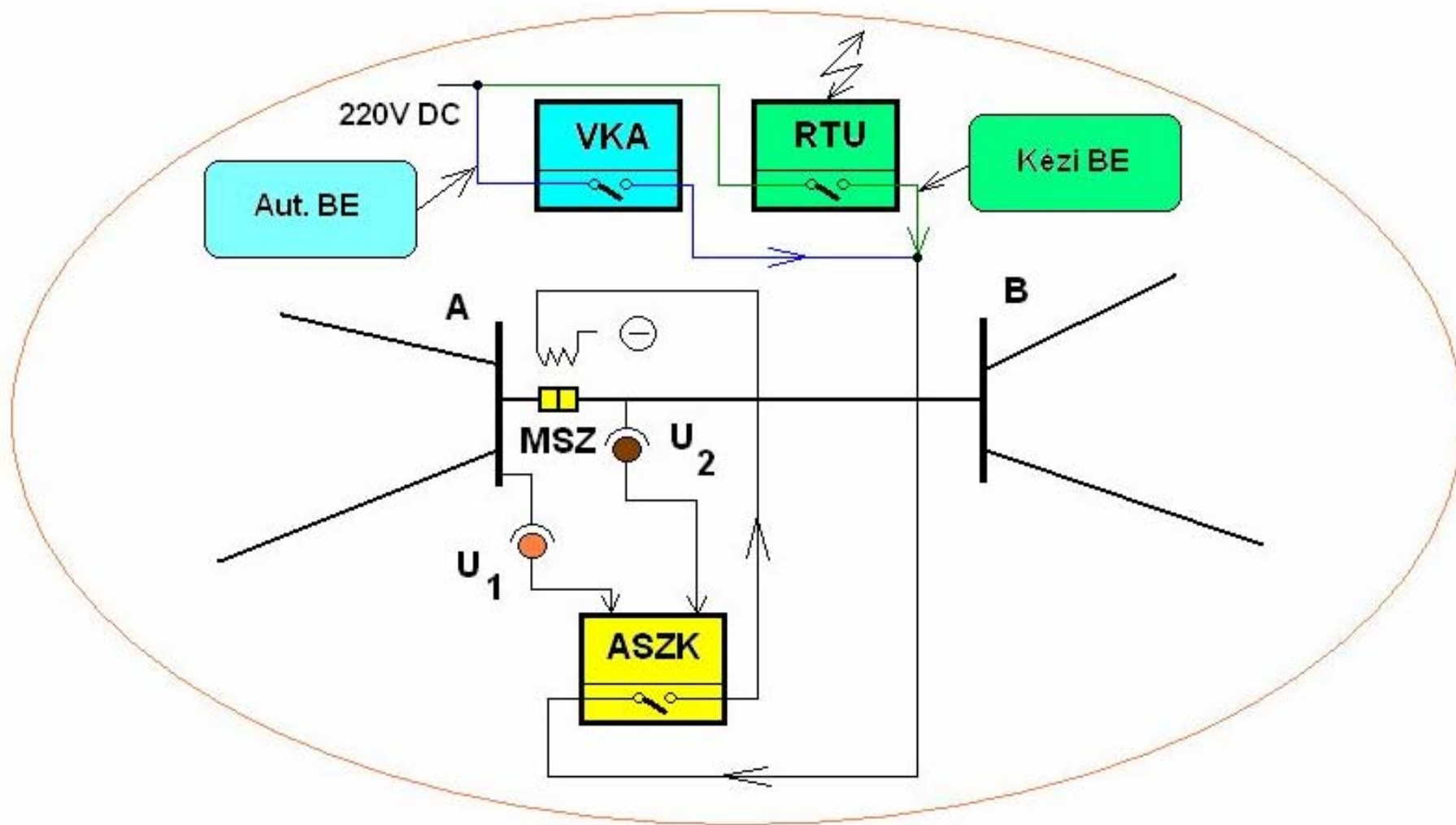
2006. november 4. - reszinkronizálás



2006. november 4. - reszinkronizálás

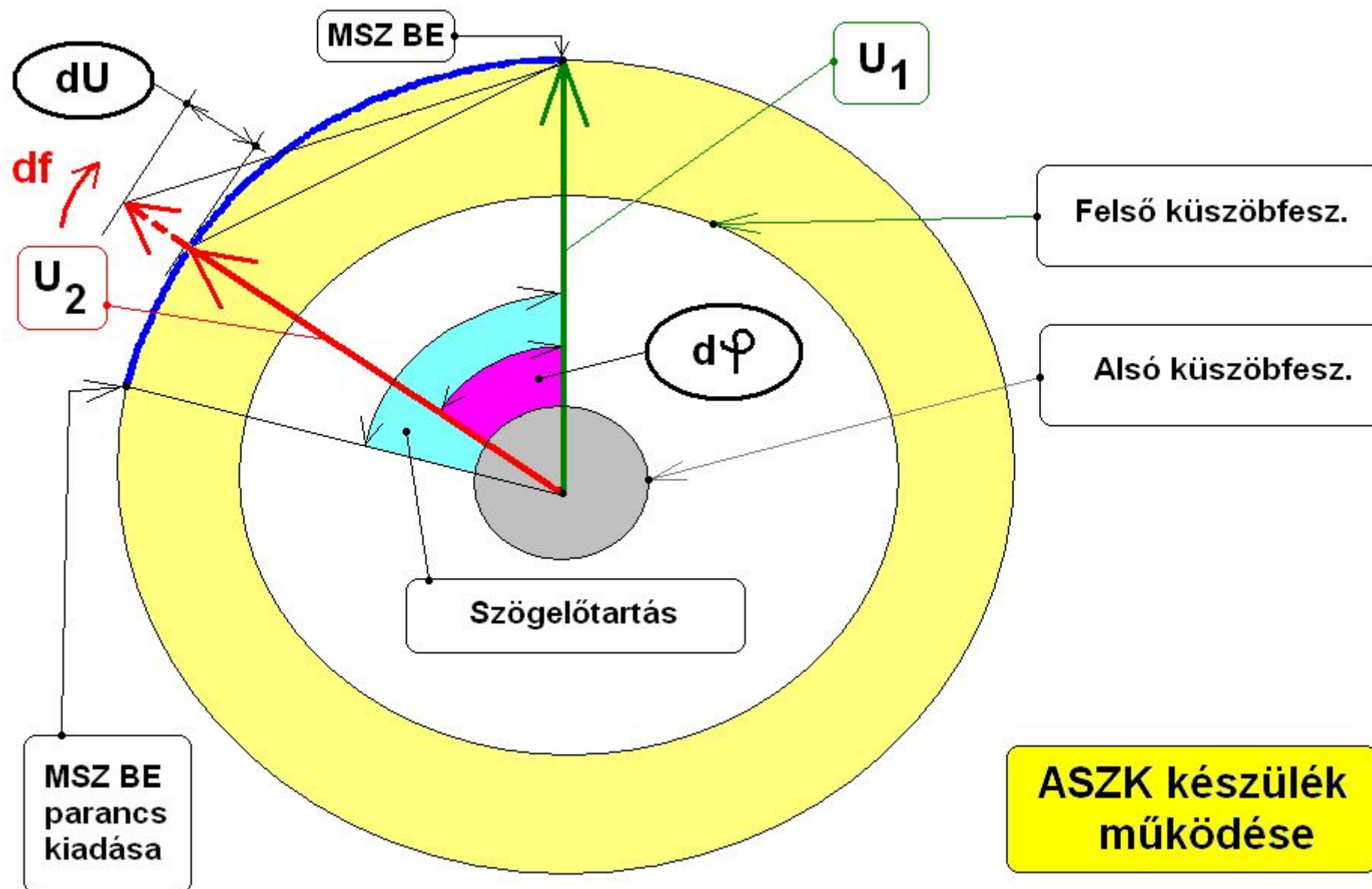


Szinkron-helyzet ellenőrzés (synchro-check) – rendszerek közötti szinkronizálás

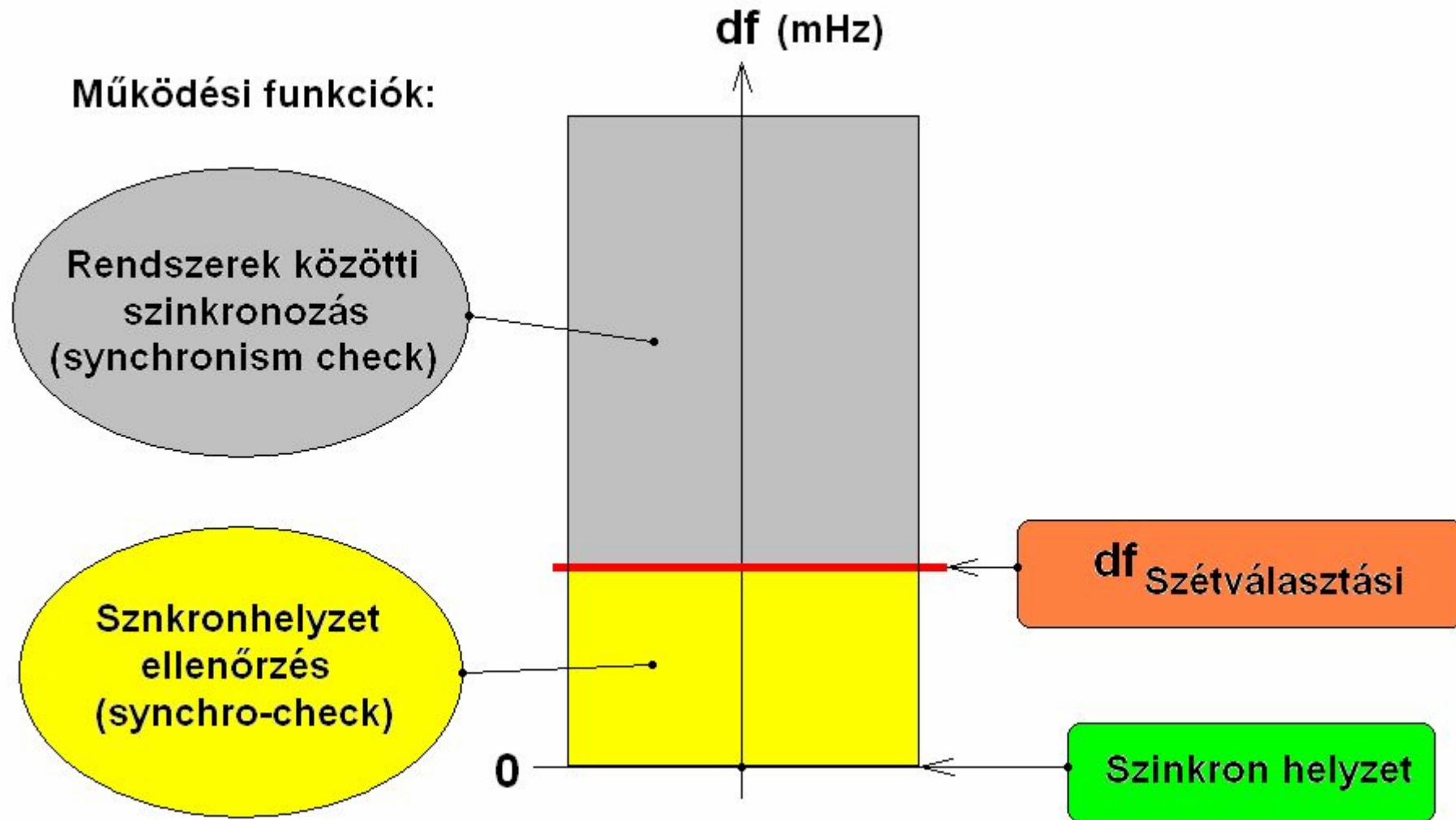


Szinkronhelyzet ellenőrzés

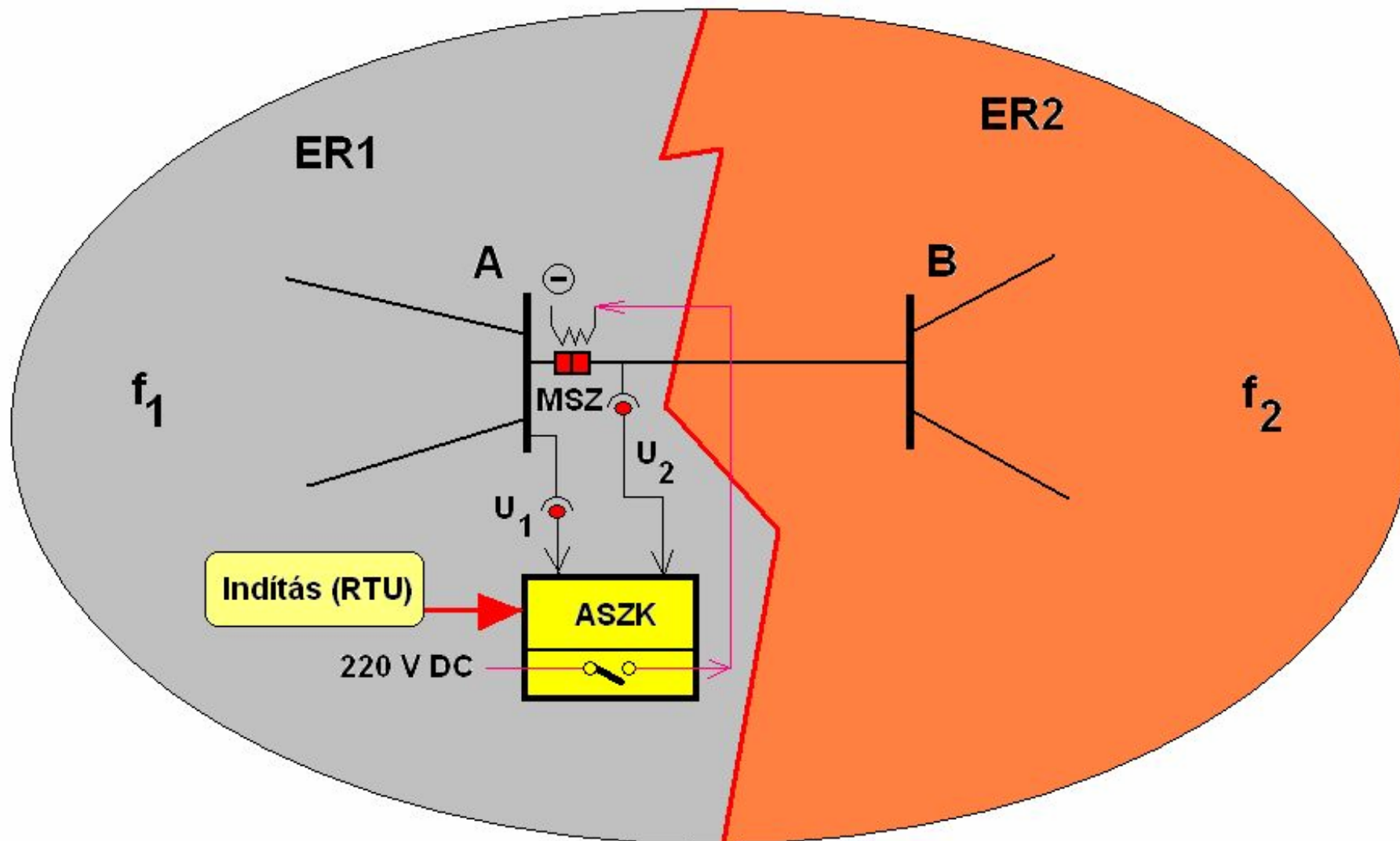
Szinkron-helyzet ellenőrzés (synchro-check) – rendszerek közötti szinkronizálás



Szinkron-helyzet ellenőrzés (synchro-check) – rendszerek közötti szinkronizálás



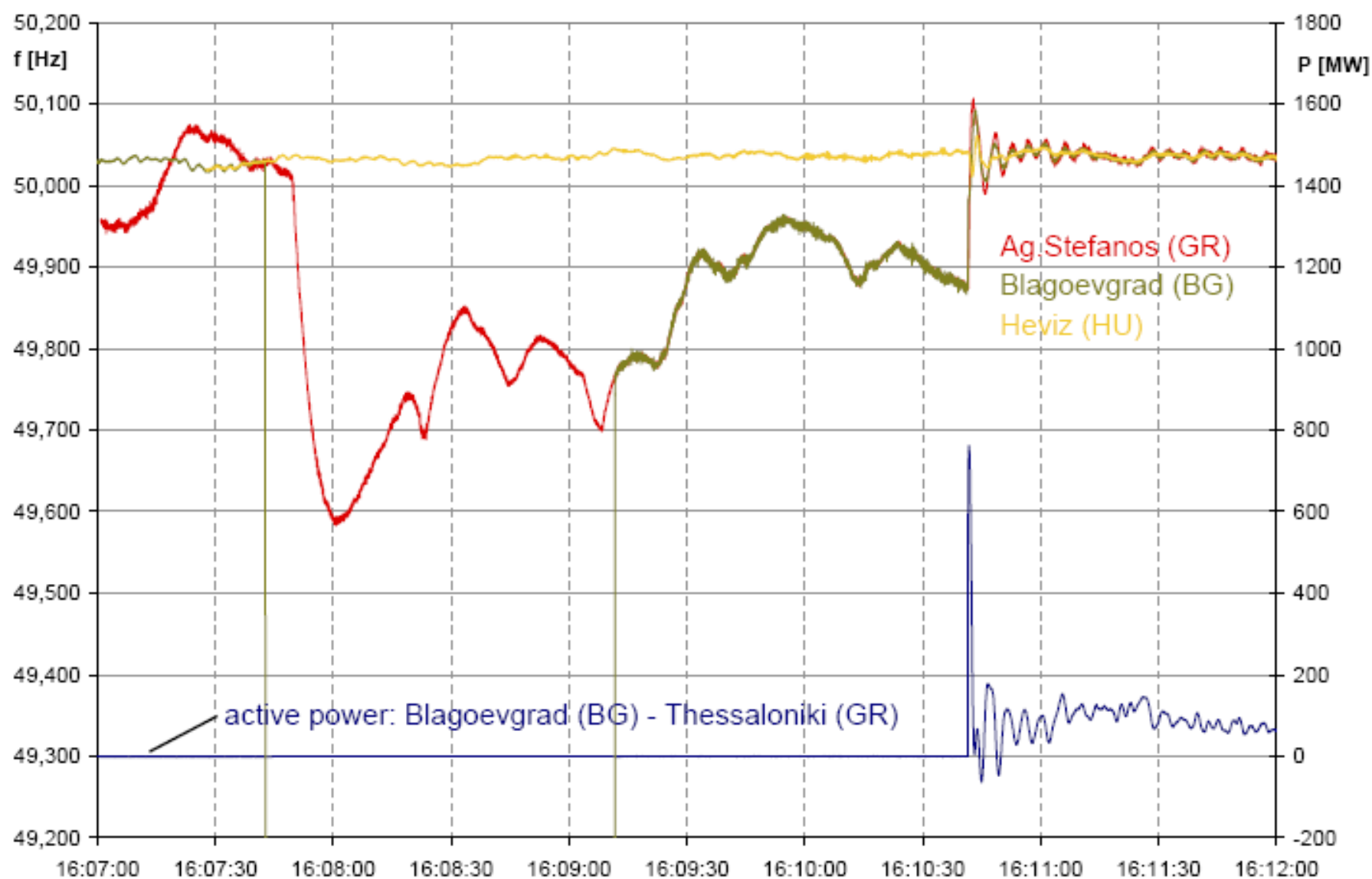
Szinkron-helyzet ellenőrzés (synchro-check) – rendszerek közötti szinkronizálás



Rendszerek közötti szinkronozás

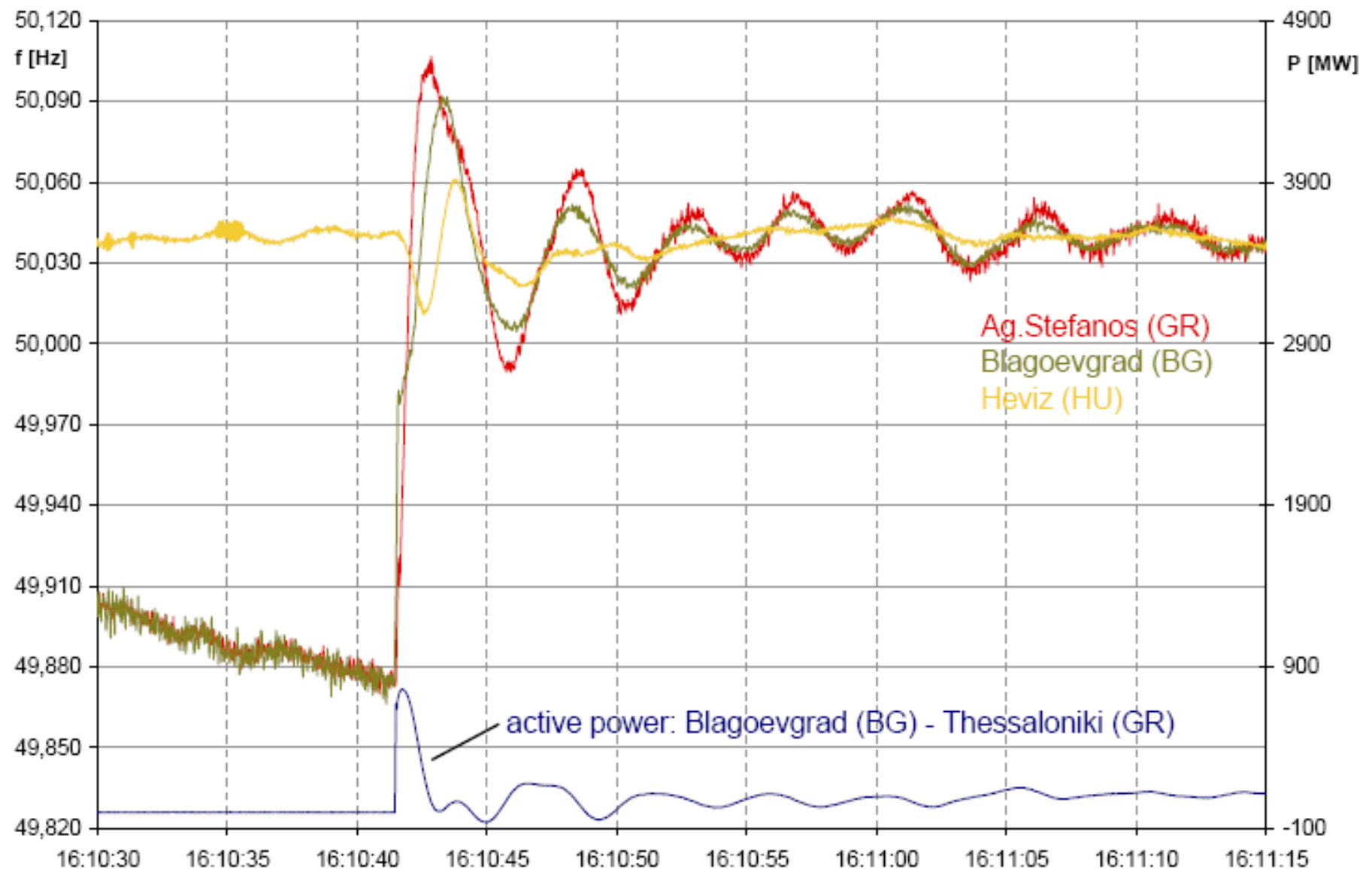
Disturbance in South-Balkan-Area – Re-Synchronisation (1)

Tuesday, 2007-07-24; 15:59



Disturbance in South-Balkan-Area – Re-Synchronisation (2)

Tuesday, 2007-07-24; 15:59



Fogyasztói korlátozó rendszerek

előre látható

Rotációs
Kikapcsolási Rend
(RKR)

üzemzavari

Frekvenciafüggő
Terheléskorlátozás
(FTK)

Frekvenciafüggetlen
Korlátozó Automatika
(FKA)

Fogyasztói korlátozó rendszerek

előre látható

**Rotációs
Kikapcsolási Rend
(RKR)**

üzemzavari

**Frekvenciafüggő
Terheléskorlátozás
(FTK)**

**Frekvenciafüggetlen
Korlátozó Automatika
(FKA)**

Rotációs Kikapcsolási Rend (RKR)

- **2001. évi CX. törvény (VET)**
2002. évi 281-es Kormányrendelet
Üzemi Szabályzat – 16. fejezet
- **Korábban: Szóbeli Korlátozási Sorrend (KS)**
– ezt váltja fel az RKR
- **Jóváhagyó határozat:**
Magyar Energia Hivatal 318/2004
2004. szeptember 30.

Rotációs Kikapcsolási Rend (RKR)

- Elsősorban előre látható forráshiány esetén
= előre tervezett módon
- 6 órán keresztül szabad keze van a MAVIR-nak
(a Rendelet alapján)
→ RKR használható üzemzavar esetén is !
- elrendelése: telefonon a 6 KDSZ-nél
→ KDSZ: - távműködtetéssel (kf. vonalak)
- telefonon (egyedi fogyasztók)

Rotációs Kikapcsolási Rend (RKR)

Védett és létfontosságú fogyasztók

A Kormány 281/2002. (XII. 21.) Korm. rendelete

a villamosenergia-rendszer jelentős zavara
és a villamosenergia-ellátási válsághelyzet esetén
szükséges intézkedésekről

...

A villamos energiáról szóló 2001. évi CX. törvény
(a továbbiakban: VET) 4. §-ának m) pontjában kapott fel-
hatalmazás alapján — figyelemmel a 107. § (2) bekezdésé-
ben foglaltakra is — a Kormány a következőket rendeli el:

Értelmező rendelkezések

1. §

...

8. *védett fogyasztó*: villamos energia krízis esetén a tár-
sadalom működéséhez szükséges alapvető fontosságú
fogyasztók — ideértve a létfontosságú fogyasztókat is —
e tevékenységi körük tekintetében, melyeknek villamos-
energia-ellátását a krízis esetén lehetőség szerint leg-
tovább kell biztosítani, így különösen

a) a nagyobb térség ellátása szempontjából jelentős ka-
pacitású, alapvető élelmiszer- és ivóvíz-előállítók és -táro-
lók, valamint hulladékkezelő létesítmények,

b) a honvédelmi szempontból kijelölt fogyasztók;

9. *létfontosságú fogyasztó*: a védett fogyasztók kategó-
riáján belül az 1. számú mellékletben felsorolt fogyasztók
az ott meghatározott tevékenységi körük tekintetében.

Rotációs Kikapcsolási Rend (RKR)

I. számú melléklet

a 281/2002. (XII. 21.) Korm. rendelethez

Létfontosságú fogyasztók

Létfontosságú fogyasztók

- Szénbányák a nem nélkülözhető teljesítmény mértékéig
- Közforgalmi repülőterek valamint repülésirányító és repülésbiztonsági berendezések
- Vasúti vontatás
- Országos és térségi gázfogadó állomások, fontosabb gáztárolók, nyomásfokozók, kompresszorok
- A VET hatálya alá tartozó termelők, elosztó- és átviteli hálózati engedélyesek, valamint a rendszerirányító, a villamosenergia-ellátási tevékenységük körében és mértékéig
- Nagyobb térséget ellátó (regionális és városi) víztermelők, szállítók és szennyvíztisztítók
- Életmentő, illetőleg fekvőbeteg-ellátó egészségügyi intézmények az egészségügyi hatóságokkal, fenntartókkal történő konzultáció alapján
- Fontosabb hírközlési szolgáltatások nyújtásához szükséges berendezések, kivéve, ha rendelkeznek a hálózattól független önálló villamosenergia-ellátó berendezéssel
- Olajfinomító, létfontosságú olajszivattyú állomások
- Katasztrófavédelmi irányító központok
- Az alapvető élelmiszer előállítását biztosító fogyasztók.

Rotációs Kikapcsolási Rend (RKR)

elosztói engedélyes	mértékadó csúcsterhelés – védett és létf. fogyasztók	RKR igény	RKR-ben szükséges védett fogyasztó
ÉDÁSZ Rt.	725 MW	1019 MW	294 MW
DÉDÁSZ Rt.	328 MW	514 MW	186 MW
ÉMÁSZ Rt.	639 MW	603 MW	–
DÉMÁSZ Rt.	402 MW	487 MW	85 MW
TITÁSZ Rt.	486 MW	523 MW	37 MW
ELMŰ Rt.	1140 MW	1339 MW	199 MW
összesen	3720 MW	4485 MW	801 MW

Rotációs Kikapcsolási Rend (RKR)

**Védett vagy létfontosságú
fogyasztók
középfeszültségű
leágazásokon**

2. számú melléklet

a 281/2002. (XII. 21.) Korm. rendelethez

A Rotációs Kikapcsolási Rend készítésének rendje

...

— kikapcsolásra felvett középfeszültségű leágazásokon védett fogyasztó nem lehet megfelelő hálózatfejlesztés eredményeképpen 2015. év után.

Rotációs Kikapcsolási Rend (RKR)

- összesen 4500 MW fogyasztás
- 2700 MW kék tábla + 1800 MW piros tábla
= nem tartalmaz védett/létfontosságú fogyasztót
= tartalmaz védett vagy létfontosságú fogyasztót (is)
- Piros tábla csak akkor használható, ha a kék nem elég !
- 18 - 18 fogyasztói csoport: (nem fokozat!)
 $18 \times 150 \text{ MW} + 18 \times 100 \text{ MW}$

Rotációs Kikapcsolási Rend (RKR)

Védett és létfontosságú fogyasztókat nem tartalmazó RKR:																			
elosztói engedélyes	összesen	korlátozási teljesítményérték (MW)																	
		korlátozási csoport																	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
ÉDÁSZ Rt.	645,4	25,5	36,3	44,7	27,8	45,5	39,1	32,4	30,3	30,7	42,1	33,2	26,4	35,5	33,5	42,7	37,1	30,2	52,6
DÉDÁSZ Rt.	308,3	17,0	17,1	17,2	17,1	17,2	17,1	17,1	17,2	17,1	17,1	17,2	17,1	17,1	17,2	17,1	17,1	17,2	17,1
ÉMÁSZ Rt.	364,8	20,4	19,9	19,8	20,2	20,1	19,6	20,1	20,0	20,8	20,0	19,8	20,4	20,0	20,1	20,8	20,1	19,5	23,2
DÉMÁSZ Rt.	292,0	16,2	16,2	16,4	16,2	16,2	16,3	16,2	16,2	16,2	16,2	16,2	16,2	16,2	16,2	16,2	16,2	16,4	16,3
TITÁSZ Rt.	310,3	17,5	17,5	17,6	17,5	17,5	17,3	17,4	17,0	17,5	17,4	17,7	17,9	17,4	17,4	17,4	15,5	16,1	16,7
ELMŰ Rt.	809,8	45,4	45,6	45,3	45,4	40,8	41,0	45,6	45,2	47,1	46,4	46,0	46,5	44,0	44,8	44,3	44,8	45,9	45,9
összesen:	2 730,6	142,0	152,7	161,0	144,1	157,3	150,4	148,7	145,9	149,4	159,1	150,0	144,5	150,2	149,2	158,4	150,8	145,3	171,8
Védett vagy létfontosságú fogyasztókat is tartalmazó kiegészítő RKR:																			
elosztói engedélyes	összesen	korlátozási teljesítményérték (MW)																	
		korlátozási csoport																	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
ÉDÁSZ Rt.	369,4	14,4	27,8	37,9	20,4	16,4	17,6	15,8	10,0	15,9	13,3	16,0	19,7	19,4	7,5	11,6	30,4	24,9	50,3
DÉDÁSZ Rt.	205,7	11,5	11,4	11,5	11,4	11,4	11,5	11,5	11,2	11,5	11,5	11,3	11,5	11,3	11,8	11,3	11,3	11,4	11,4
ÉMÁSZ Rt.	301,3	13,2	12,9	14,0	14,1	13,0	13,6	13,9	7,8	57,5	10,2	33,5	14,0	17,5	14,0	14,0	14,0	10,1	14,0
DÉMÁSZ Rt.	194,8	11,3	11,6	11,6	11,9	11,9	11,6	11,4	10,4	10,4	10,5	10,3	10,5	10,4	10,3	10,2	10,2	10,2	10,1
TITÁSZ Rt.	214,2	11,6	11,7	11,5	11,9	11,4	11,6	11,6	11,9	11,7	11,7	11,9	11,8	11,8	11,8	11,6	13,3	13,2	12,3
ELMŰ Rt.	528,1	29,0	30,8	31,8	32,4	29,2	28,0	32,1	28,9	35,1	30,1	31,5	30,9	30,5	32,7	29,3	18,7	25,4	21,9
összesen:	1 813,5	91,0	106,1	118,3	102,2	93,3	93,8	96,3	80,3	142,1	87,3	114,5	98,4	100,9	88,1	88,0	97,9	95,2	119,9

Rotációs Kikapcsolási Rend (RKR)

Védett fogyasztókat is tartalmazó fogyasztói csoportok a kiegészítő RKR-ben:																			
elosztói engedélyes	összesen	korlátozási teljesítményérték (MW)																	
		korlátozási csoport																	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
ÉDÁSZ Rt.	33,5		3,7	2,3	1,3	4,3	0,4	3,3			1,6	5,1			1,6		3,5	4,0	2,5
DÉDÁSZ Rt.	102,8							8,9	11,2	11,5	11,5	11,3	11,5	11,3	7,4	11,3	6,9		
ÉMÁSZ Rt.	102,5	13,2	12,9	14,0	14,1	13,0	13,6	13,9	7,8										
DÉMÁSZ Rt.	70,0		11,6	11,6	11,9	11,9	11,6	11,4											
TITÁSZ Rt.	10,9		3,6	0,3				1,3		1,5							1,4	1,2	1,6
ELMŰ Rt.	161,5	7,4	4,9	23,7	30,6	5,2	3,6	5,0	1,2	4,8	11,1	11,2	5,7	11,4	4,6	8,8	16,9	3,3	2,0
összesen:	481,2	20,6	36,7	51,9	57,9	34,4	29,2	43,8	20,2	17,8	24,2	27,5	17,2	22,7	13,6	20,1	28,7	8,5	6,0
Létfontosságú fogyasztókat is tartalmazó fogyasztói csoportok a kiegészítő RKR-ben:																			
elosztói engedélyes	összesen	korlátozási teljesítményérték (MW)																	
		korlátozási csoport																	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
ÉDÁSZ Rt.	335,9	14,4	24,1	35,6	19,1	12,1	17,2	12,5	10,0	15,9	11,7	11,0	19,7	19,4	6,0	11,6	26,9	20,9	47,9
DÉDÁSZ Rt.	31,6														4,4		4,4	11,4	11,4
ÉMÁSZ Rt.	0,0																		
DÉMÁSZ Rt.	113,5								10,4	10,4	10,5	10,3	10,5	10,4	10,3	10,2	10,2	10,2	10,1
TITÁSZ Rt.	191,7	11,6	8,1	11,2	11,9	11,4	11,6	10,3	11,7	10,2	11,7	11,9	11,8	11,8	11,8	11,6	8,7	8,3	6,2
ELMŰ Rt.	253,3		23,0	8,1		23,2	17,8	16,0	20,2	30,3	8,7	20,3	23,4	8,8		13,0		22,1	18,3
összesen:	925,9	26,0	55,1	54,8	31,0	46,7	46,6	38,8	52,3	66,8	42,6	53,5	65,4	50,5	32,5	46,4	50,2	72,8	93,9

Rotációs Kikapcsolási Rend (RKR)

- Rotáció:
= a kikapcsolt fogyasztók cseréje 3 óránként
- névleges értékek:
= csúcsterhelés idejére vonatkoznak !
→ arányosan növelni kell a korlátozott teljesítményt
- korlátozás $< 1350 \text{ MW}$ → **csak kék tábla !**
(nagyobb teljesítménynél nem lehetne rotáció piros tábla nélkül)
- korlátozás $> 1350 \text{ MW}$
→ **kék tábla 1-9 / 10-18 + piros tábla n db csoportja**

Formális kérdések:

- **Eljárásrend + összefoglaló táblázatok
+ részletes táblázatok engedélyesenként**
- **A részletes táblázatok bizalmas
kezelésűek („piaci információk”)**

Rotációs Kikapcsolási Rend (RKR)

- **Lokális üzemzavar:**
(pl. 2002. július 2. – Paks K-B gyűjtősin)
Használható csak egy (néhány) KDSZ-re is.
- **Előre látható korlátozás:**
~ „krízishelyzet”
A Gazdasági Miniszter elrendeli az RKR
használatát
→ előre tervezett módon,
„RKR-menetrend”

Fogyasztói korlátozó rendszerek

előre látható

**Rotációs
Kikapcsolási Rend
(RKR)**

üzemzavari

**Frekvenciafüggő
Terheléskorlátozás
(FTK)**

**Frekvenciafüggetlen
Korlátozó Automatika
(FKA)**

Frekvenciafüggő Terheléskorlátozás (FTK)

- **UCTE Operation Handbook (Üzemviteli Kézikönyv)**
 - kezdő frekvenciaérték: 49 Hz
 - 3 fokozat (49 – 48,7 – 48,4 Hz)
 - összesen cc. 50 %
- **Eltérések:**
 - Centrel: 4 fokozat (49 – 48,7 – 48,4 – 48,1 Hz)
 - Franciaország (frekvenciaértékek)
 - Lengyelország (6 fokozat Y2k után)

UCTE OH – Appendix 1: Load-Frequency Control ... (final 1.9 E, 16.06.2004), A1–26

2. Recommendations for Load-Shedding

Frequency thresholds must be defined for LOAD-SHEDDING. The UCTE recommends that its members should initiate the first stage of automatic load-shedding in response to a frequency threshold not lower than 49 Hz.

- Sudden failure of 3000 MW of the generating capacity in normal operation without other disruptions have to be corrected solely by the action of the PRIMARY CONTROLLER without frequency sensitive action triggering of LOAD-SHEDDING.
- In case of a frequency drop of 49 Hz the automatic LOAD-SHEDDING begins with a minimum of 10 to 20% of the load. Each TSO determines shedding plans on his own. In case of lower SYSTEM FREQUENCIES, the synchronously interconnected network may be divided into partial networks. In this case, far more difficult conditions will arise in those partial networks affected by a shortfall in capacity. For this reason, the staggered operation of relays for LOAD-SHEDDING in response to a frequency criterion will allow the system load to be reduced to a sufficient extent for the restoration of balanced conditions in these partial networks, before the threshold for the isolation of plants for the supply of auxiliaries or the tripping of generators is reached.

LOAD-SHEDDING should be performed at trigger frequencies of 48.7 Hz and 48.4 Hz (or as in France at 48.5 Hz and 48.0 Hz) to the amount of about 10 to 15% of the load. The partners accept LOAD-SHEDDING also if the failure occurs outside the CONTROL AREA of the respective TSO. Triggering frequencies should be modified by the competent TSO - slight dissipation of the triggers will cause gradual increasing of the load.

- LOAD-SHEDDING in each stage shall be established to minimize the risk of further uncontrolled separation, loss of generation, or system shutdown.

Frekvencia csökkenés esetén:

$f \leq 49,8$ Hz: „Frekvenciacsökkenés” jelzés, diszpécseri intézkedések (GT indítás, frekvencia csökkenési területének leválasztása, stb.)

49,0 Hz: 1. fokozat (740,7 MW – 13,5%)

48,7 Hz: 2. fokozat (717,3 MW – 13,2 %)

48,4 Hz: 3. fokozat (745,6 MW – 13,7 %)

48,1 Hz: 4. fokozat (754,6 MW – 13,8 %)

(Összesen: 2958,2 MW – 54,2 % (5454 MW = 100%), 312 db relé)

**$47,8 < f < 46,0$ Hz: Erőművi blokkok automatikus (5,0 s)
leválasztása – házi-szigetüzem**

Frekvencia növekedés esetén:

**$f > 50,2$ Hz: „Frekvencianövekedés” jelzés, diszpécseri
intézkedések** (GT leállítás, frekvencia növekedési területek
leválasztása, stb.)

**$f > 51,0$ Hz: Erőművi blokkok automatikus (5,0 s)
leválasztása – házi-szigetüzem**

Frekvenciafüggő terheléskorlátozás (FTK – UFLS)

FTK – frekvenciafüggő terheléskorlátozás

FINAL REPORT - SYSTEM DISTURBANCE ON 4 NOVEMBER 2006

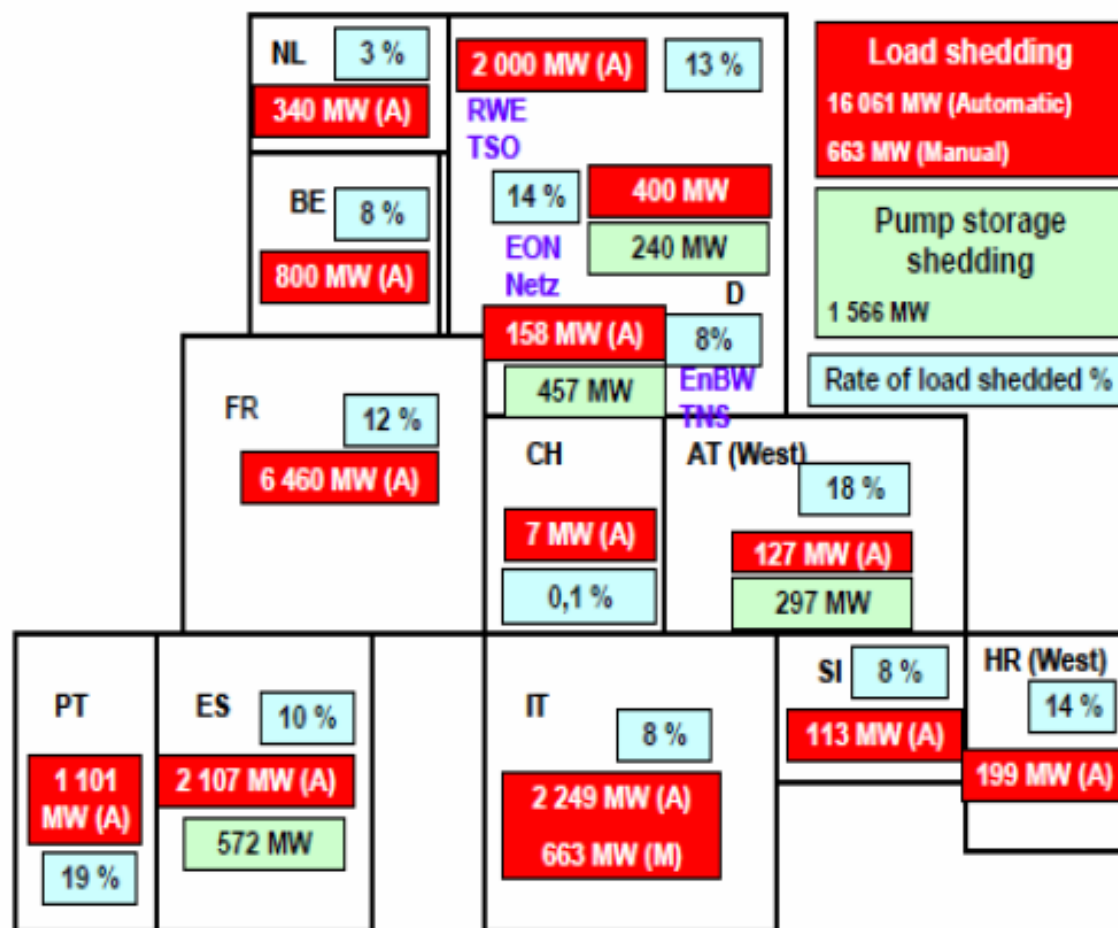


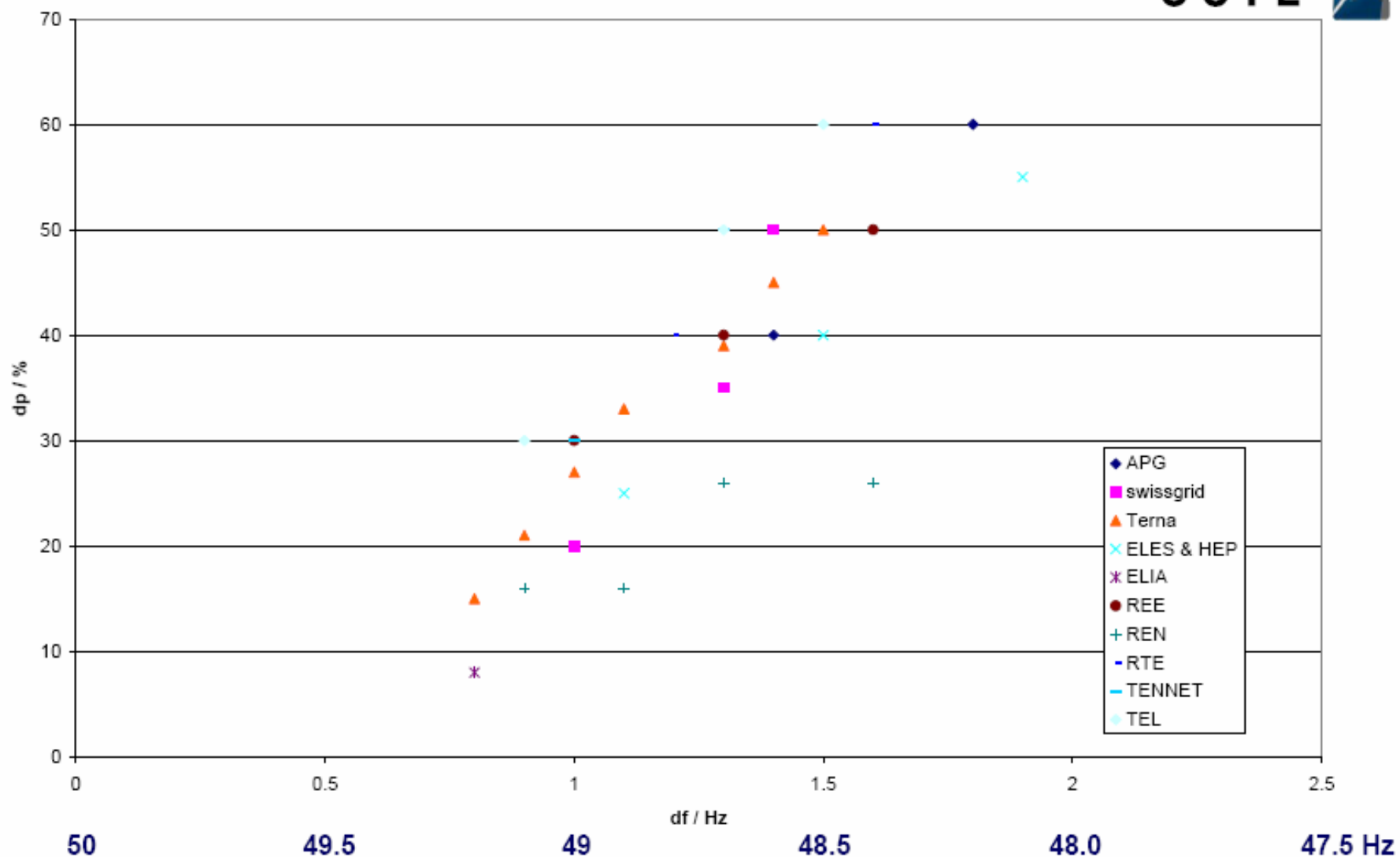
Figure 7: Map of load and pumps shedding by TSOs

Source: UCTE Final Report: System Disturbance on 4 November 2006

2006. november 4-i UCTE üzemzavarkor megvalósult korlátozás

Present UFLS Settings Overview

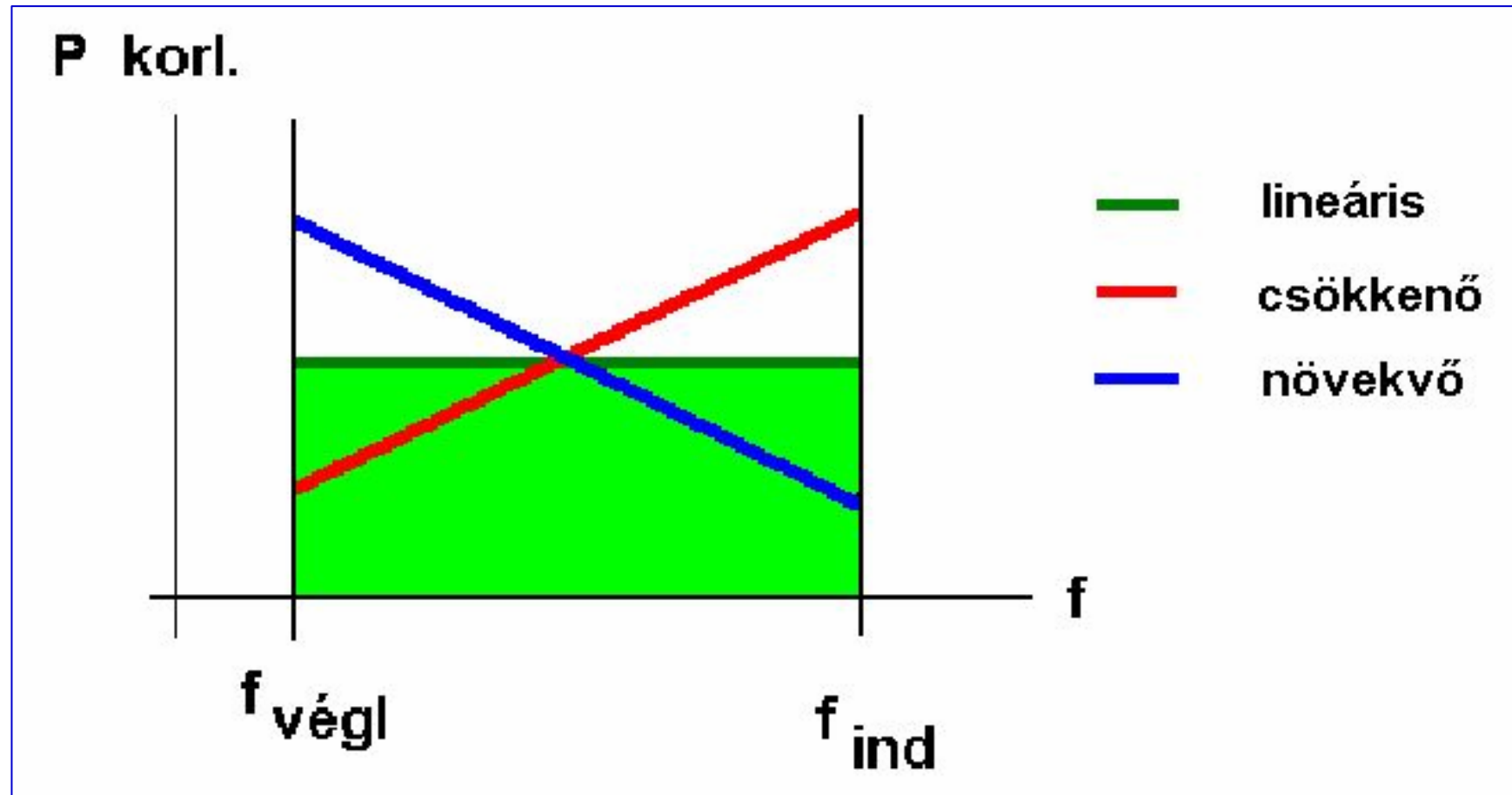
UCTE 



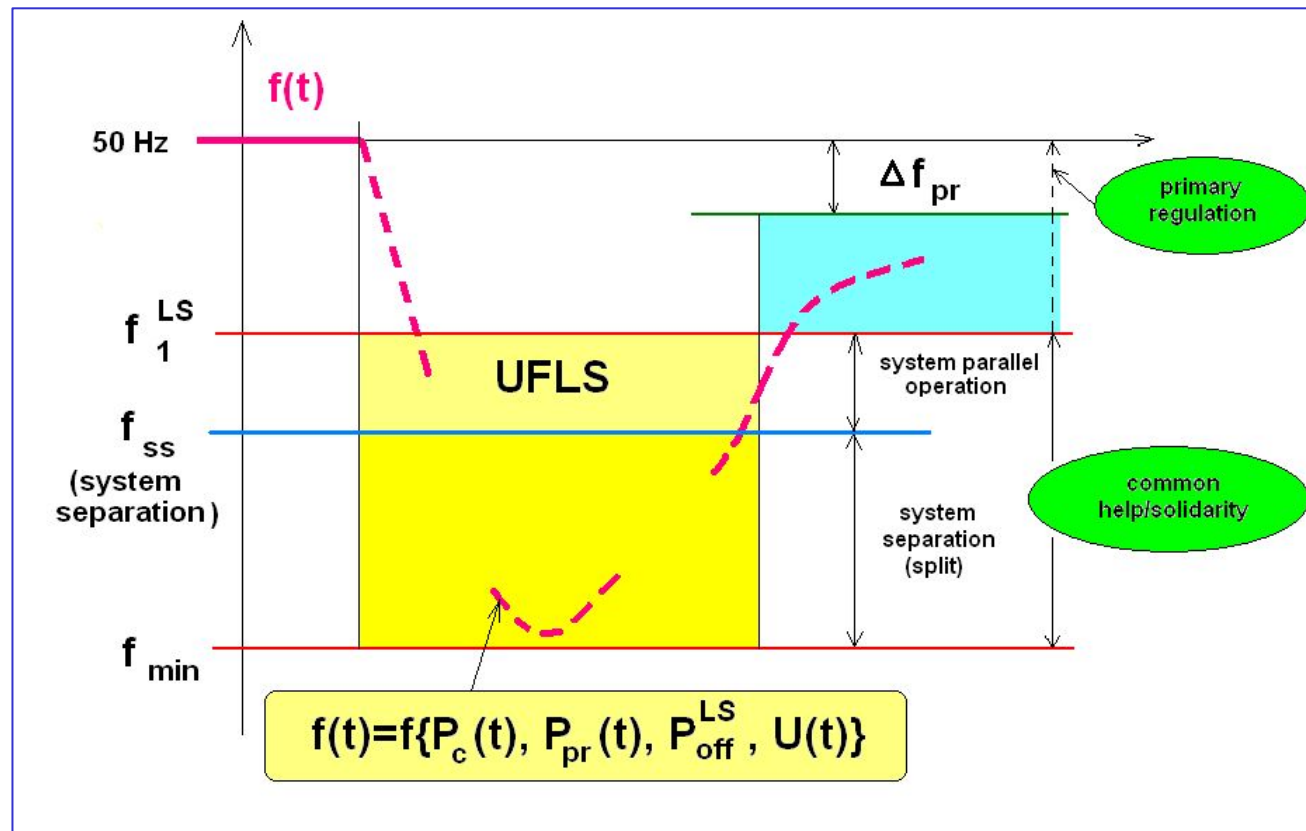
FTK rendszer jellemzői

- **df/dt funkció (Rate of Change of Frequency - ROCOF) nincs** (elméletileg három rendszer van alkalmazásban nemzetközileg: hagyományos rendszer, semi-adaptive rendszer - ROCOF alkalmazása és a full adaptíve rendszer - System Frequency Response (SFR) model alkalmazása),
- **tényleges működési idő > 300 ms** (nem késleltetés nélküli kialakítás),
- **on-line monitoring rendszer** (a korlátozható teljesítmény aktuális visszajelzése) **nincs üzemben** → **hatékonyság 60-80%**,
- **decentralizált kialakítás** szórt egyedi frekvenciarelékkel (ma már döntő mértékben digitális készülékek) → **áramszolgáltatói üzemeltetésben, Magyarországon a rendszerirányító által koordinált beállításokkal.**

FTK rendszer jellemzői



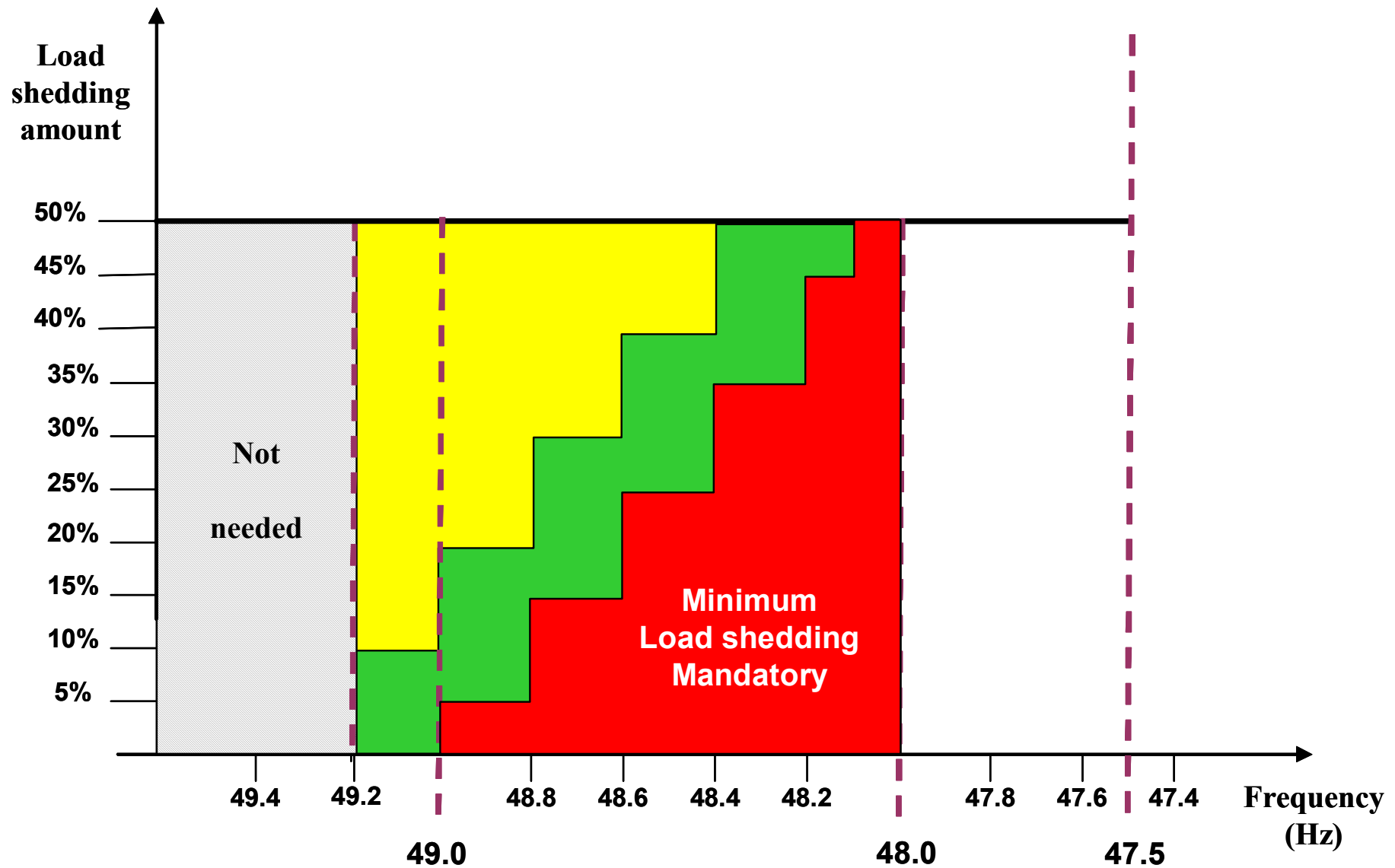
FTK rendszer dinamikája



Az FTK rendszer működésének dinamikájával kapcsolatban néhány „mérőöldkő” kitűzése volna fontos:

- f_1^{LS} : első (indulási) fokozat
- f_{min} : minimális működési frekvencia
- **korlátozás utáni állandósuló frekvencia** ($f_1^{LS} < f < 50 \text{ Hz}$, ez után a primer és szekunder szabályozók lépnek működésbe)
- f_{ss} : **rendszerbomlási frekvencia az ENTSO-E RGCE (UCTE)-ben** (két, vagy több sziget alakul ki)

Tervezett FTK rendszer az ENTSO-E RGCE-ben



Tervezett FTK rendszer az ENTSO-E RGCE-ben

- **50%-os** korlátozás a maximális rendszerterhelésre (fogyasztás) vonatkoztatva **48,0 – 49,0 Hz tartományban**.
- A **frekvencialépcsők** kisebbek vagy egyenlőek legyenek, mint **200 mHz** (függően a lépcsők számától és a frekvenciarelek jellemzőitől).
- **Lépcsőnként 10%**, vagy annál kisebb korlátozás történjen (függően a lépcsők számától és a frekvenciarelek jellemzőitől).
- A terhelés korlátozás mesterséges **késleltetés nélkül** történjen, maximum 350 ms lekapcsolási idővel. (100...150 ms a 10/20 kV-os megszakítók működési ideje, 100 ms a frekvenciarelek működési ideje.)
- A terhelés korlátozás **területileg elosztott és kiegyensúlyozott** legyen.
- A frekvenciacsökkenésre történő kiserőművi (dispersed generation) kiesések
 - pótlólagos korlátozással legyenek kompenzálva,
 - illetve elkerülve (csatlakozási követelmények).
- Ne legyen kiserőmű (>1 MW) a korlátozandó leágazásokban.
- A korlátozás során kikapcsolt leágazások csak a rendszerirányító utasítására kerüljenek bekapcsolásra. (Nincs automatikus visszakapcsolás.)
- df/dt funkciót csak $f > 49,2$ Hz esetén használjunk – ez szabadon választott (alatta a nagyobb mérési idő és a helyi lengésekre való érzékenység miatt nem szabad használni.)

$$\frac{df}{dt} = \frac{f_n \Delta P / P_n}{2 H}$$

System Inertia $H = 5 s$

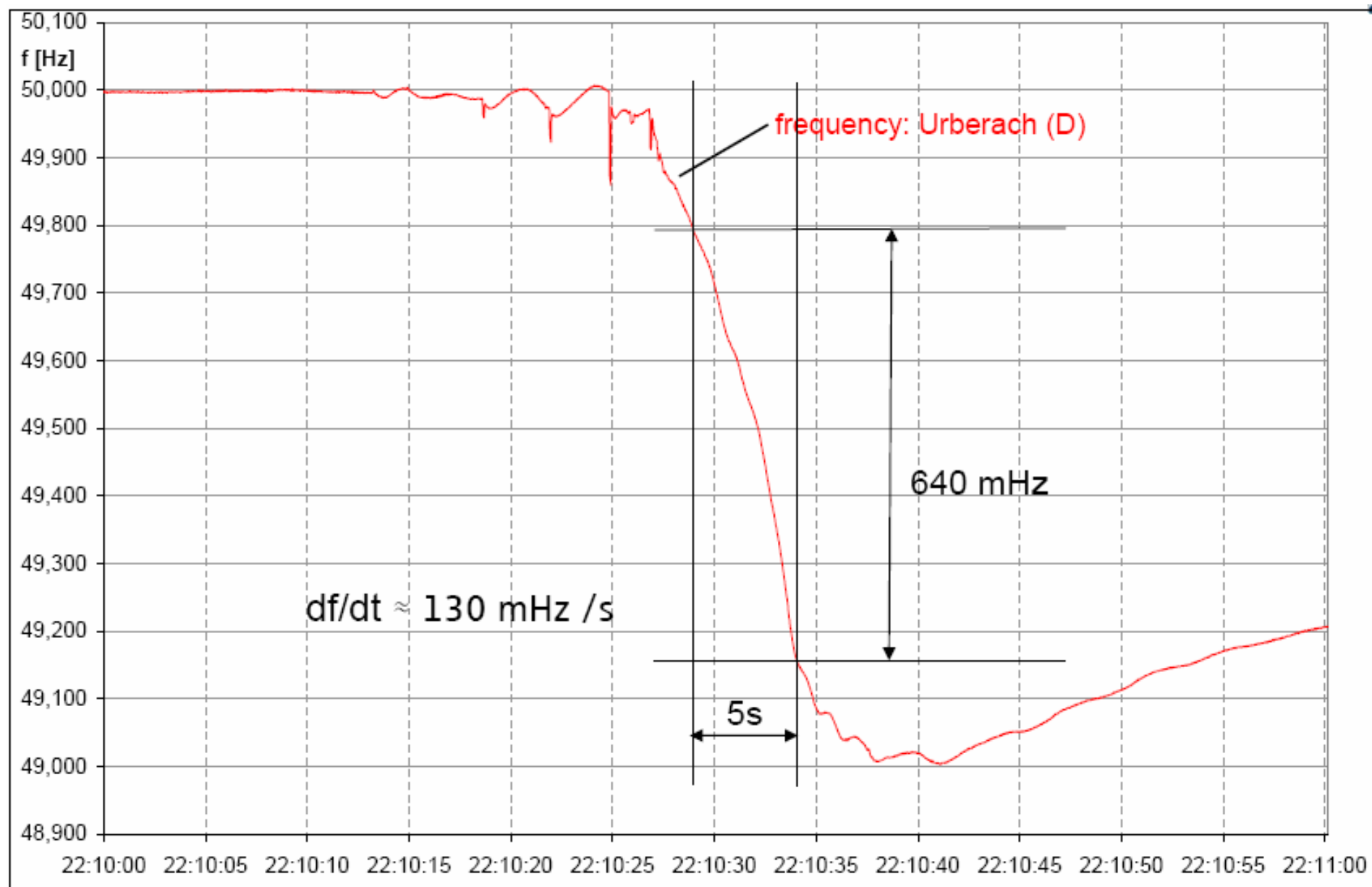
$\Delta P = 20 \%$

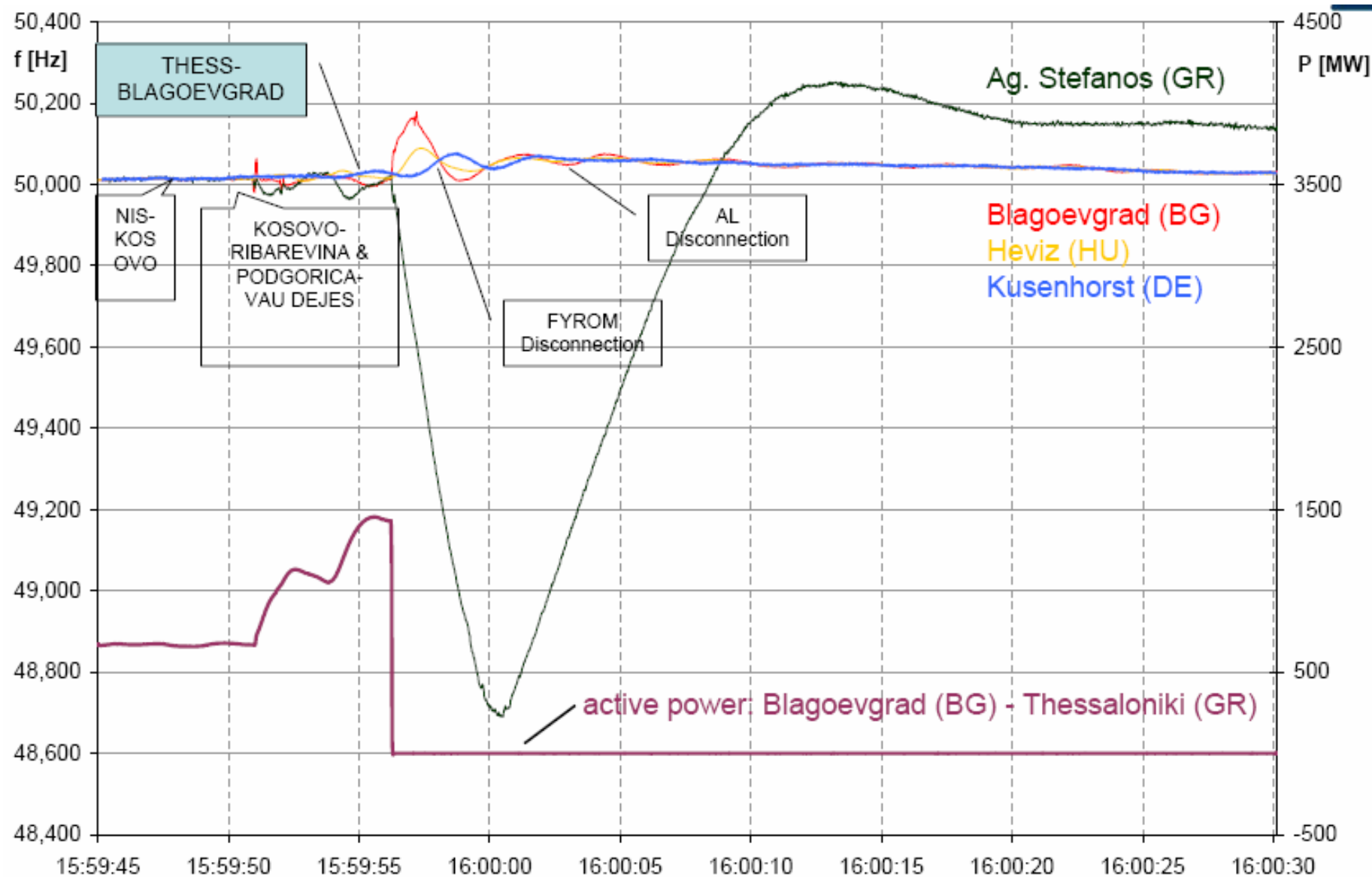
$$\frac{df}{dt} = \frac{50 \text{ Hz} \cdot 0,2}{10 s} = 1 \text{ Hz} / s$$

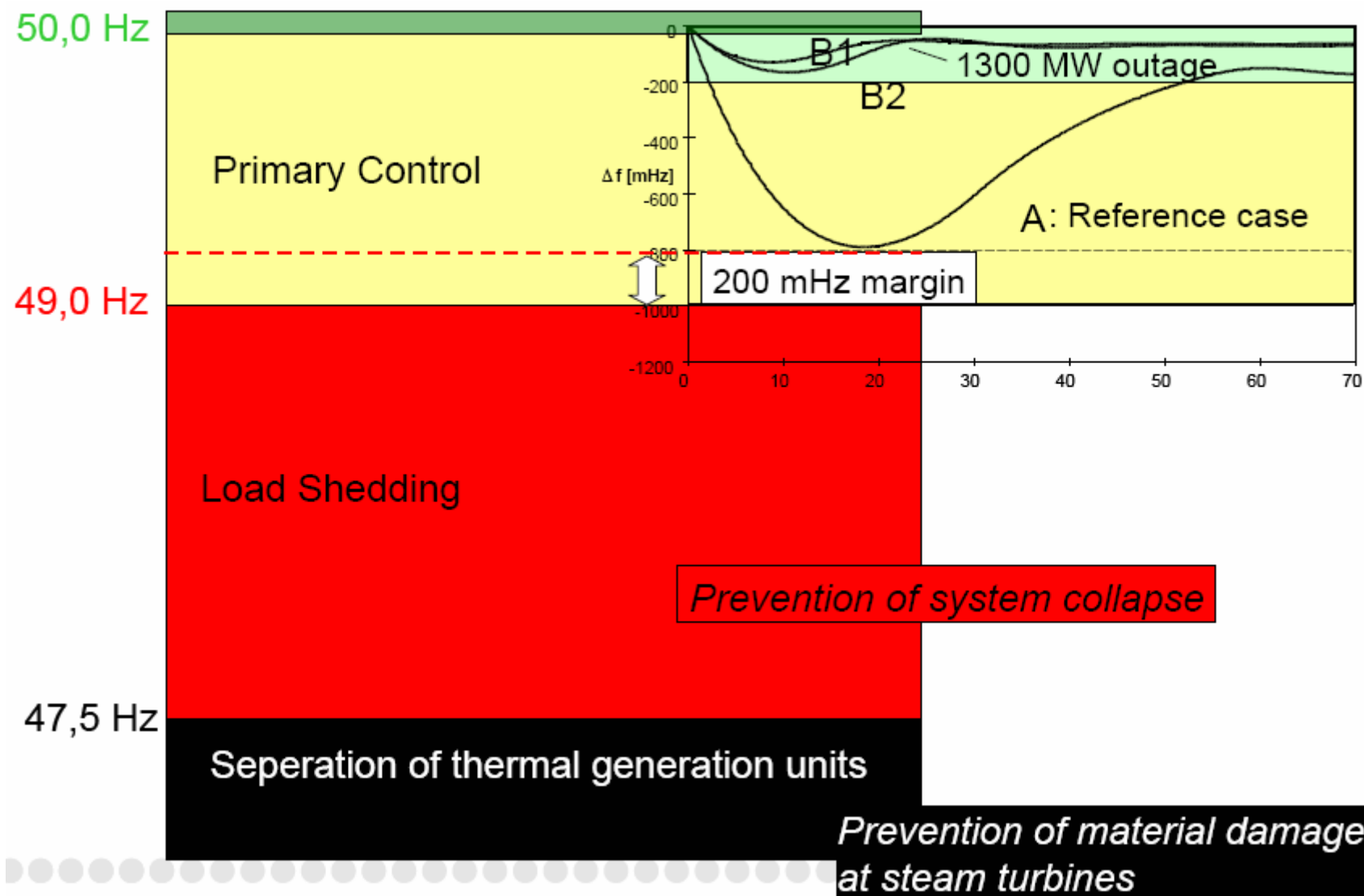
- the frequency reaches
49 Hz after 1 s
48 Hz after 2 s (without load shedding)

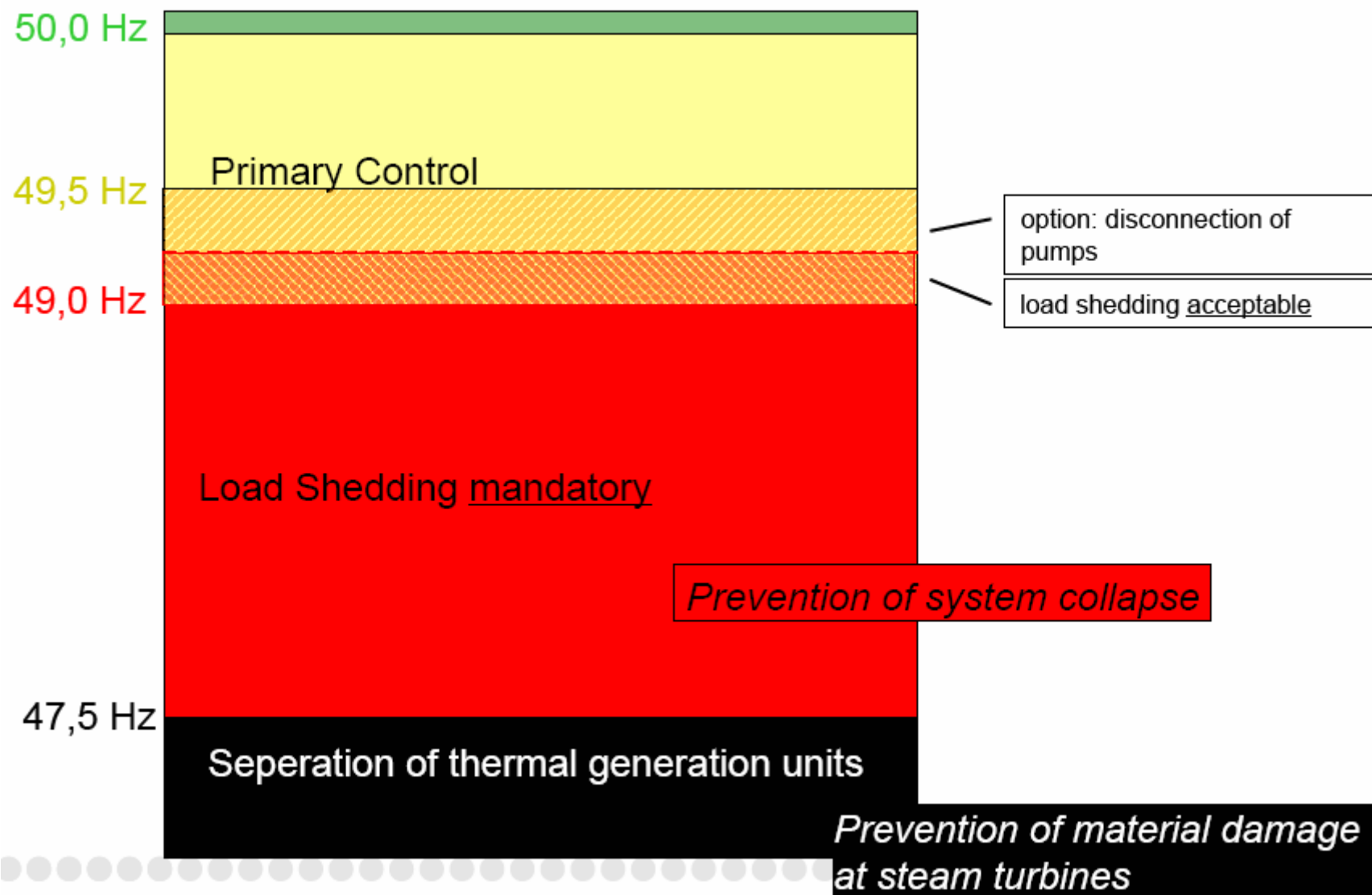
Successful prevention of system collapse by load shedding

- 4N event 2006 -> 130 mHz/s
- Kosovo, 24th July 2007 -> 300 mHz/s









	old type relays	modern type relays
<u>measuring accuracy</u> load shedding in proportion to frequency achievable by	$\cong 100 \text{ mHz}$ natural spreading	$\cong 10 \text{ mHz}$ spreading of set points
<u>time delays</u> measuring switch gear total	200 ... 600 ms $\cong 100 \text{ ms}$ 300 ... 700 ms	80 ... 100 ms $\cong 100 \text{ ms}$ $\cong 200 \text{ ms}$
<u>risk of load shedding overshoot</u>	positive: natural spreading negative: measuring time	can be minimised by spreading of set points

$$\frac{df}{dt} = \frac{f_n \Delta P / P_n}{2 H}$$

System Inertia $H = 5 s$

$\Delta P = 20 \%$

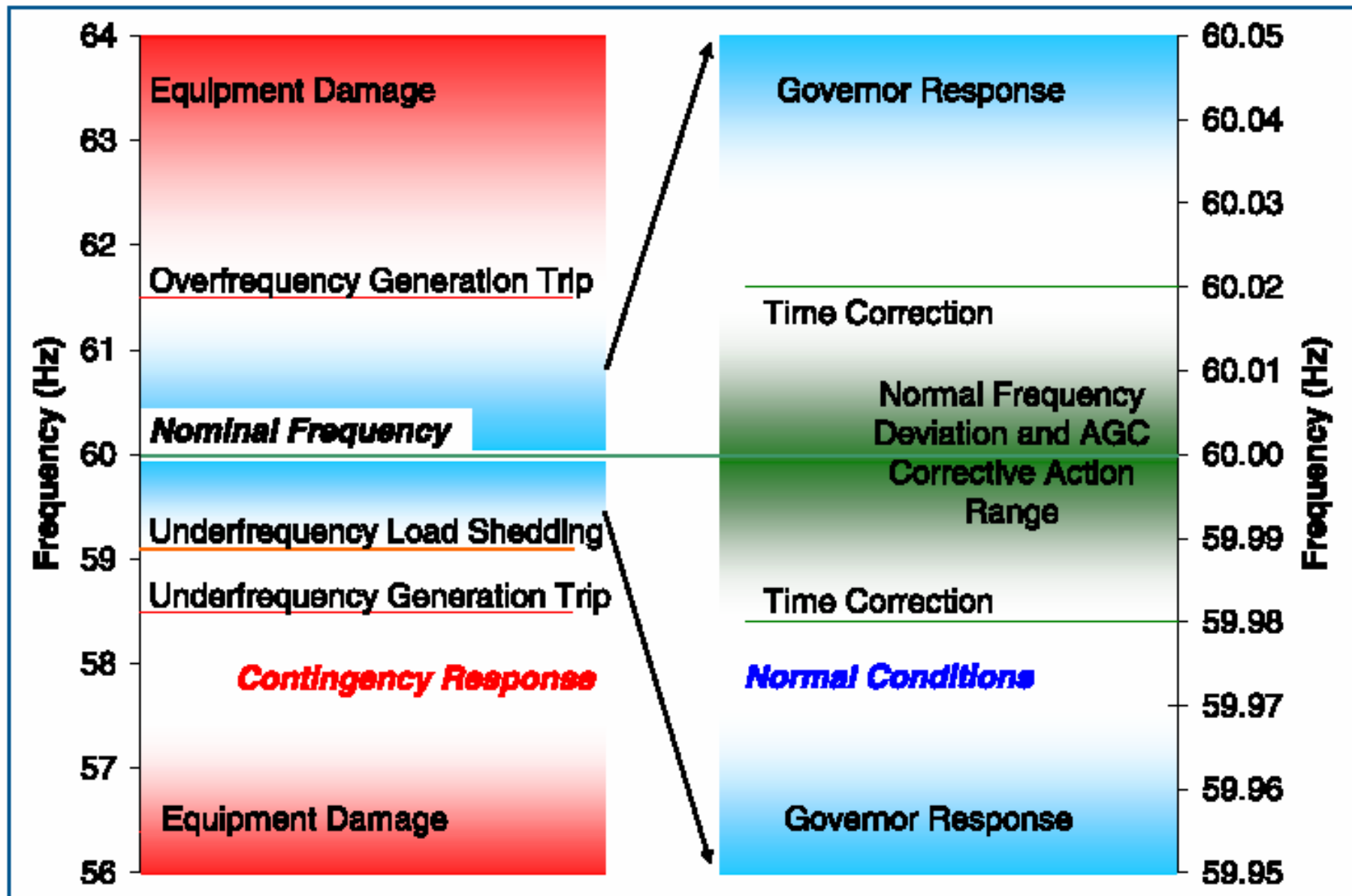
$$\frac{df}{dt} = \frac{50Hz \cdot 0,2}{10 s} = 1 Hz / s$$

The frequency decreases 0,5 Hz during the delay time for measuring and switch gear

- triggering of further load shedding stages
- risk of overcompensating the power deficit

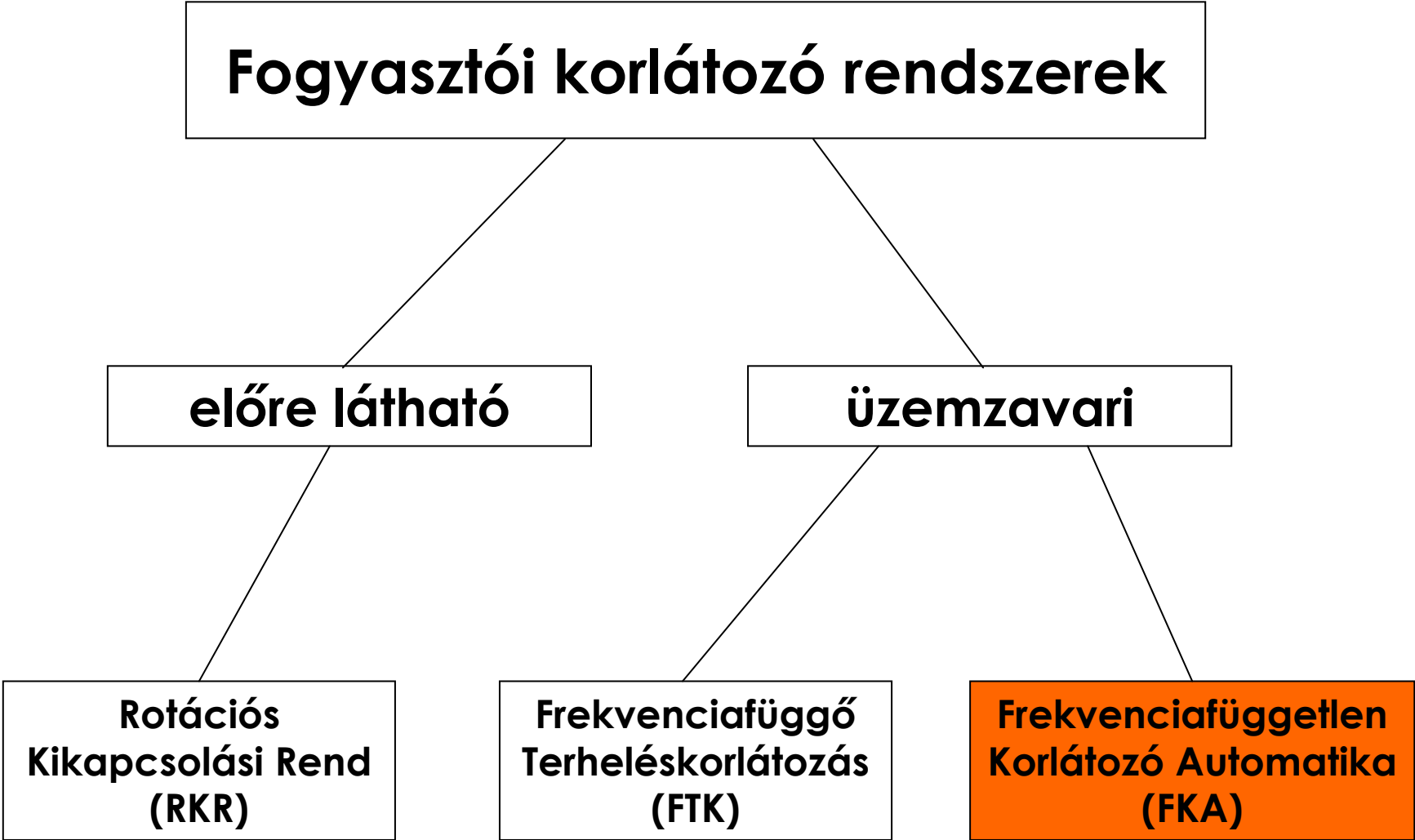
The theoretical optimal solution requires

- implementation of modern relay type
- frequency steps as much as possible each triggering small amount of load shedding



Normal and Abnormal Frequency Ranges (USA)

Fogyasztói korlátozó rendszerek



```
graph TD; A[Fogyasztói korlátozó rendszerek] --> B[előre látható]; A --> C[üzemzavari]; B --> D["Rotációs Kikapcsolási Rend (RKR)"]; C --> E["Frekvenciafüggő Terheléskorlátozás (FTK)"]; C --> F["Frekvenciafüggetlen Korlátozó Automatika (FKA)"];
```

előre látható

**Rotációs
Kikapcsolási Rend
(RKR)**

üzemzavari

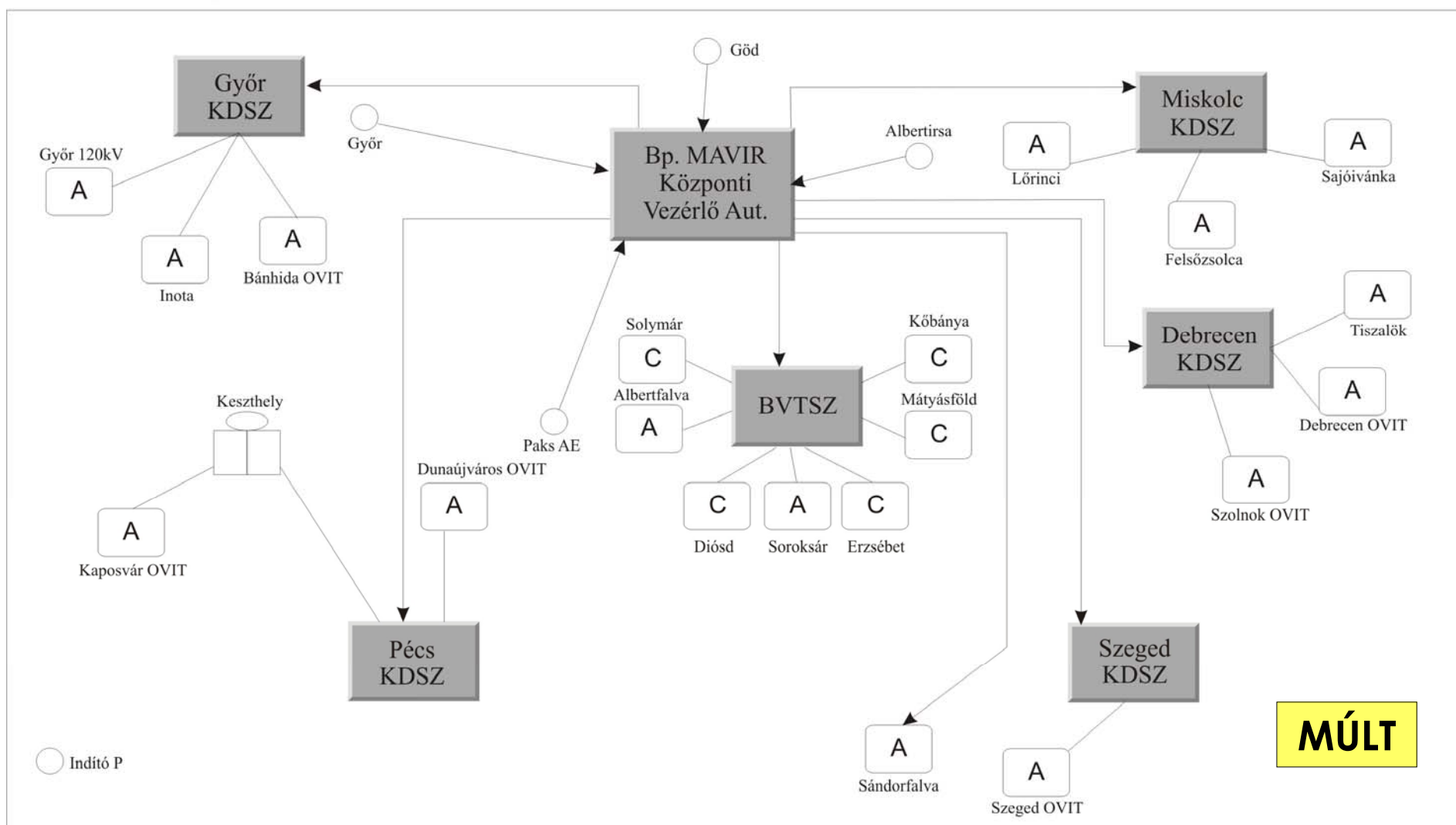
**Frekvenciafüggő
Terheléskorlátozás
(FTK)**

**Frekvenciafüggetlen
Korlátozó Automatika
(FKA)**

Frekvenciafüggetlen terheléskorlátozás

Diszpécseri indításra automatikus és gyors (reakcióidő 10-30 s) terheléskorlátozás jelentős forráshiányok, ill. üzemzavarok esetén.

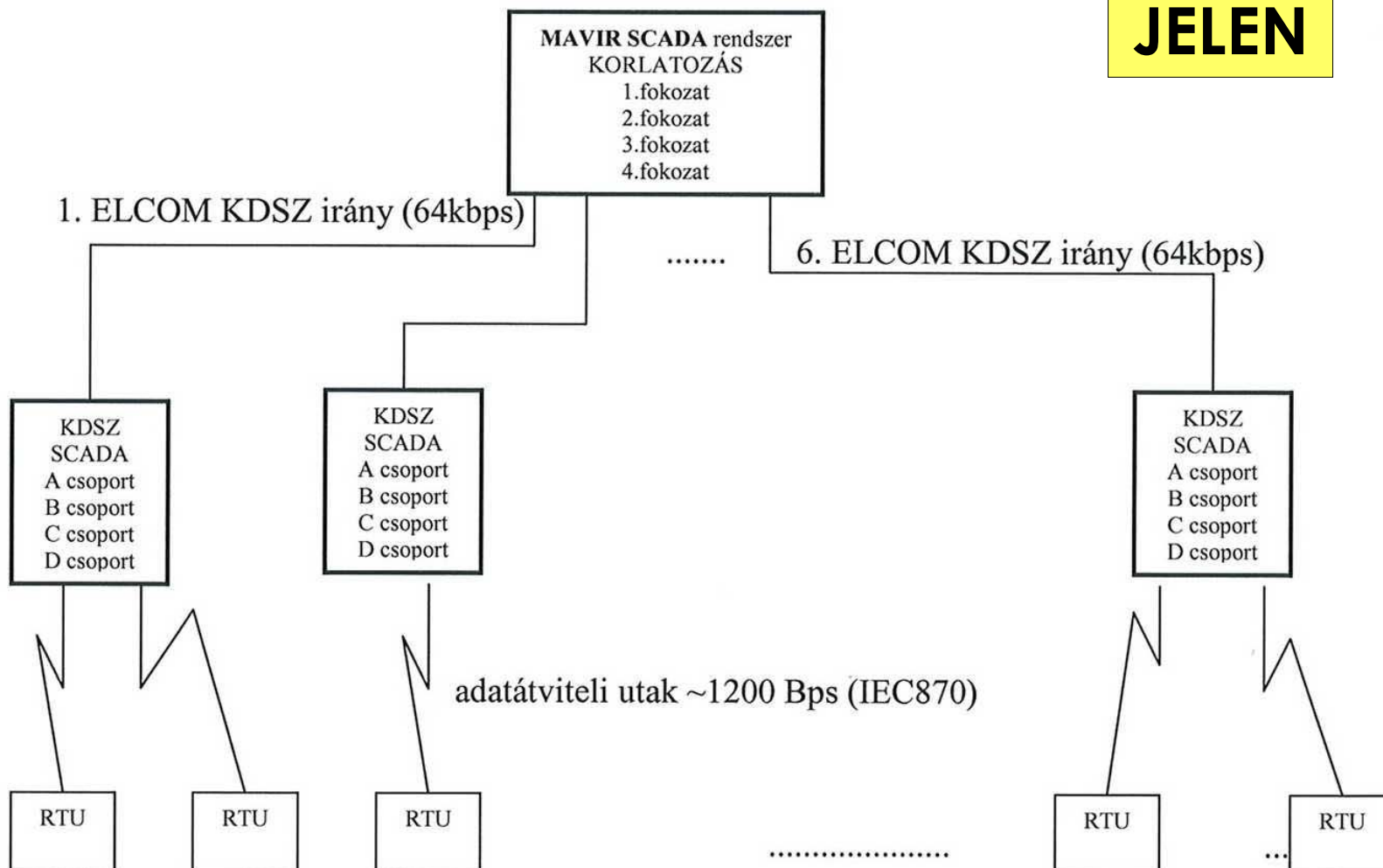
(Korlátozás mértékét a MAVIR, fogyasztói kört a KDSZ-ek határozzák meg, telemechanika lehetőségeit kihasználva működik.)





(ennek megelőzésére szolgált az FKA rendszer annak idején)

JELLEN



FKA-SCADA (frekvencia-független terheléskorlátozó automatika) – működtető panel

1: Üzemlő/Előüzem - FKAVEZMA Plane0 - szengem0

Kép Nézet Fedőkép Eszközök Help

Teszt/Normál **TESZT**

FKA VEZÉRLŐ KÉP
MAVIR

Terület	'A'		'B'		'C'		'D'		Teljesítmények (MW)			FKA fut	FKA hiba	ELDDM kapcsolat
	Fokozat MW Kivál.	Fokozat MW Kivál.	Fokozat MW Kivál.	Fokozat MW Kivál.	Összes	Kivál.	Hátralévő							
EDÁSZ	9.4 ✓	25.9 ☐	61.7 ☐	68.7 ☐	165.8	0.0	2.3	Adat ☐	Végreh. ☐					
DÉDÁSZ	0.0 ☐	0.0 ✓	0.0 ☐	0.0 ☐	0.0	0.0	0.0	Adat ☐	Végreh. ☐					
TITÁSZ	3.9 ✓	13.6 ☐	8.4 ☐	21.0 ☐	46.9	3.9	0.0	Adat ☐	Végreh. ☐					
ELMŰ	0.0 ☐	0.0 ☐	0.0 ☐	0.0 ☐	0.0	0.0	0.0	Adat ☐	Végreh. ☐					
EMÁSZ	5.7 ✓	9.0 ☐	19.1 ☐	23.1 ☐	56.9	5.7	0.0	Adat ☐	Végreh. ☐					
DÉMÁSZ	4.5 ☐	7.3 ☐	14.5 ☐	22.1 ☐	48.5	0.0	45.0	Adat ☐	Végreh. ☐					
Aktuális ÖSSZESEN	23.4 ☐	55.9 ☐	**** ☐	**** ☐	317.9	9.5	47.3							
Előírt														

Abbahagy Elrendel

FKA Ellenőrző Kép

Megszakítás Végtrábi Folytat BE KI Jegyzet Módosít HatárÉrt Műk.tilt Műk.Eng Jelz.Tilt Jelz.Eng Letilt Felenged Méréskez Kézi BE! Kézi KI! Egyedi Kép

2005-10-26 09:00:40

FKA-SCADA (frekvencia-független terheléskorlátozó automatika) – ellenőrző panel

1: Üzemelt./Elcsúszm - FKALLMA Plans9 - szengem09
Help

Kép Nézet Fedőkép Eszközök


Clear Highlight

FKA ELLENŐRZŐ KÉP
MAVIR

Jelzés forrása	'A'	'B'	'C'	'D'	Korlátozás elrendelés		Korlátozás Parancs Abbahagy		Üzem mód Teszt/Normál	Hatáskör KDSZ-nél	FKA fut	FKA hiba	ELCOM kapcsolat
	Foko -zat	Foko -zat	Foko -zat	Foko -zat	Elők.	Végr.	Elők.	Végr.					
ÉDÁSZ jelzések	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	✓	☐	☐	Adat ☐	Part-02 (ed)
(MAVIR / Tükrözött)	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	✓	☐	☐	Végreh ☐	☐
DÉDÁSZ jelzések	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	✓	☐	☐	Adat ☐	Part-03 (ded)
(MAVIR / Tükrözött)	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	✓	☐	☐	Végreh ☐	☐
TITÁSZ jelzések	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	✓	☐	☐	Adat ☐	Part-04 (tit)
(MAVIR / Tükrözött)	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	✓	☐	☐	Végreh ☐	☐
ELMD jelzések	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	✓	☐	☐	Adat ☐	Part-05 (elm)
(MAVIR / Tükrözött)	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	✓	☐	☐	Végreh ☐	☐
ÉMÁSZ jelzések	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	✓	☐	☐	Adat ☐	Part-06 (emo)
(MAVIR / Tükrözött)	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	✓	☐	☐	Végreh ☐	☐
DÉMÁSZ jelzések	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	✓	☐	☐	Adat ☐	Part-07 (dem)
(MAVIR / Tükrözött)	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	✓	☐	☐	Végreh ☐	☐

Teljesítmények

Kiválasztotthoz tartozó MW

Korlátozás indításakor kiválasztott MW

Még kikapcsolás alatti (fenti kettő különbsége) MW

	'A'	'B'	'C'	'D'	
	Foko	Foko	Foko	Foko	Összes MW
	-zat	-zat	-zat	-zat	
	MW	MW	MW	MW	
Előírt	11.4	22.0	45.0	56.0	136.3
Tényleges	2.2	2.3	0.0	0.0	4.5
Előírt	5.7	11.0	22.0	28.0	66.7
Tényleges	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Előírt	5.8	11.0	23.0	29.2	70.0
Tényleges	4.4	10.3	9.3	23.9	48.0
Előírt	14.9	29.9	59.7	74.6	179.1
Tényleges	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Előírt	6.7	13.4	26.9	33.6	80.6
Tényleges	6.0	8.5	22.3	28.7	65.5
Előírt	5.4	10.9	21.7	27.2	65.2
Tényleges	5.0	9.7	17.9	25.6	58.2

FKA Vezérlő Kép

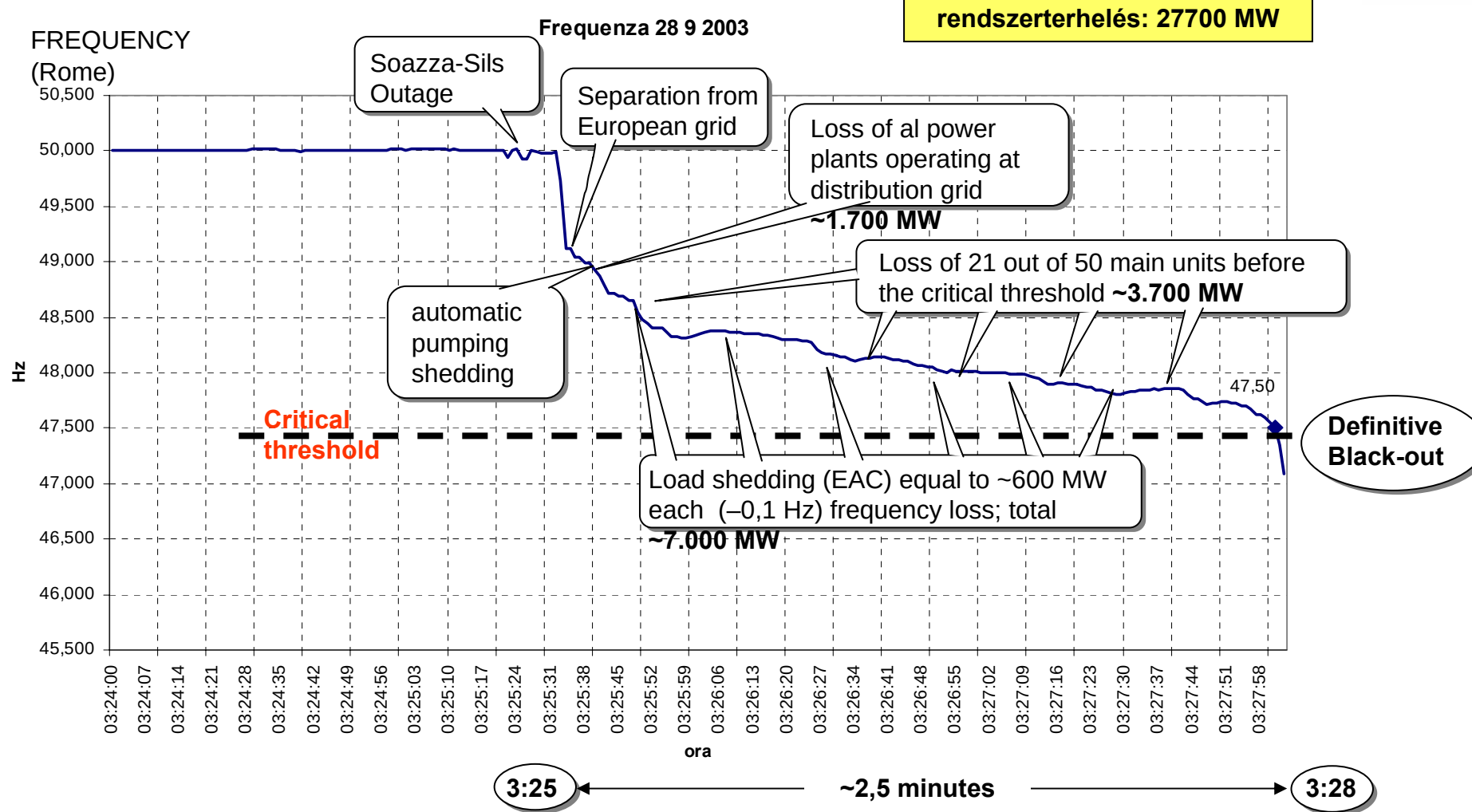
Korlátozás parancs előkészítés

Korlátozás abort

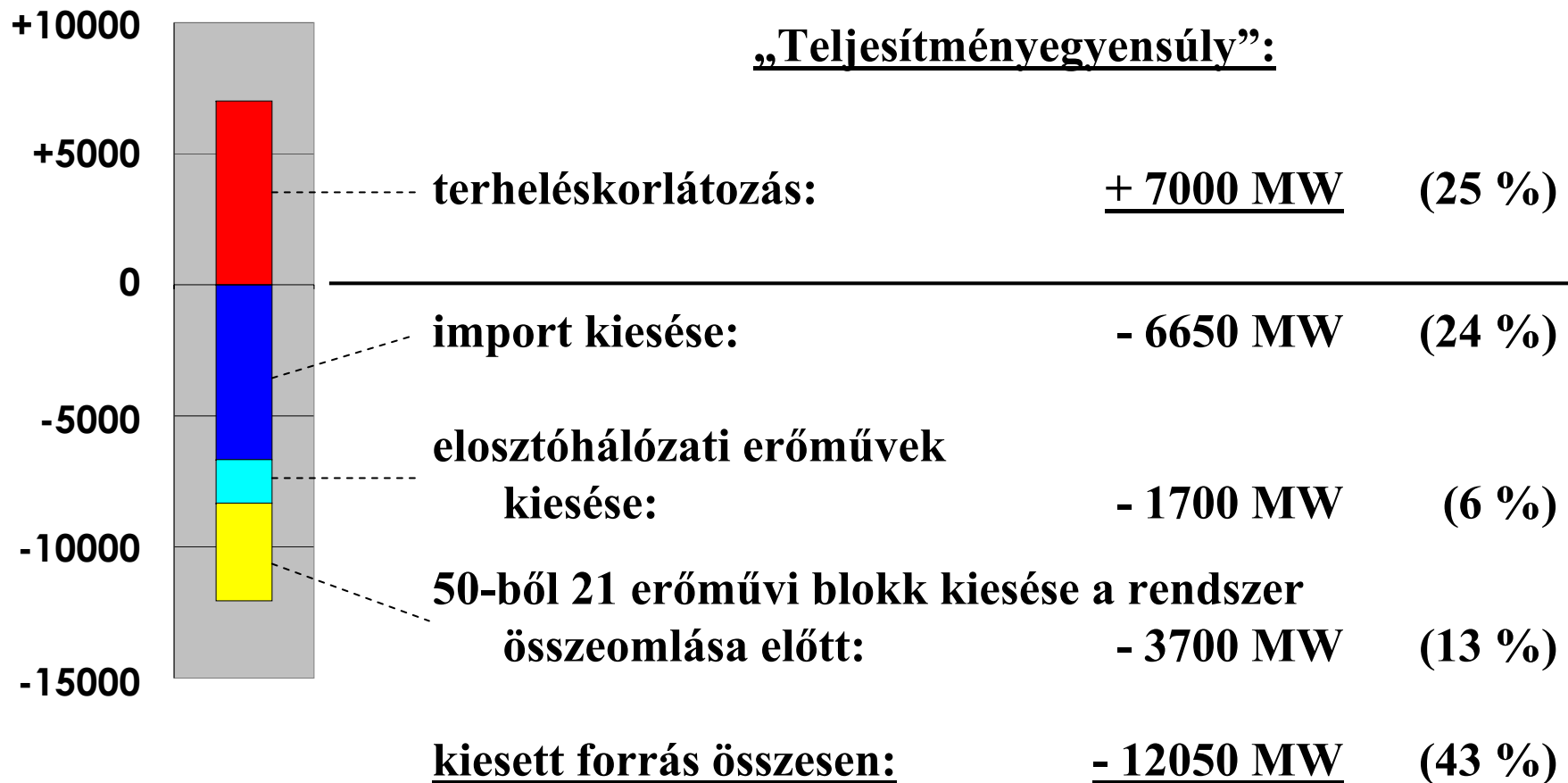
MegszakításVégrehajtFolytatBE!KI!JegyzetMódosítHatárértMűködésMűkEngJelzTiltJelzEngLetiltFelengedMéréskezKézi BE!Kézi KI!EgyediKép

2005.10.25 20:21:23

Az olaszországi üzemzavar (2003. szeptember 28.)



Az olaszországi üzemzavar (2003. szeptember 28.)



Magyarországi üzemzavar 2003. január 13-án



**„Az áramkorlátozás napja” részletes összefoglaló:
www.mavir.hu → Sajtószoba → Közlemények**

„Black-start”

1.) Lőrinci Erőmű – Mátrai Erőmű – Tiszai Erőmű

2.) Dunamenti Erőmű – Paksi Atomerőmű

Rendszer helyreállításhoz szükséges körülmények, feltételek:

- Kármentő Diesel egységek erőművenként (600-800 kW) – tengelyforgatás
- Elsősorban az átviteli hálózati gerinc létrehozása – szomszédos energiarendszerek igénybevétele
- Gyorsan kialakított hálózati útvonal az erőművek külső tápláláshoz (20-30 perc),
- Feszültség- és meddőteljesítmény viszonyok ismerete a tápláló hálózaton – modellezés, előkészítő számítások
- Fogyasztói terhelések fokozatos felvétele (10 MW-os lépcsőben)
- Alállomási teendők teljes feszültségszünet esetén
- **Rendszer Helyreállítási Terv** – szakterületi intézkedési tervek
- Diszpécseri Tréning Szimulátor – rendszeres gyakorlatok, drill
- Hálózati létesítmények, távközlés, irányítástechnika működésének biztosítása feszültségszünet esetén is – tartalék áramforrások

Stratégiai alapelvek

- **220, 400 kV-os hálózat helyreállítása**
(csatlakozás a (közel) normál üzemű hálózat-részekhez, szomszédos ER-hez – szinkronizálás?)
- **Hazai erőművek mentése** (házi szigetüzem, teljes kiesés esetén tengelyforgatás)
- **120 kV-os főelosztóhálózat helyreállítása**
(fokozatos és lépcsőzetes felterhelés)

Viselkedési szabályok

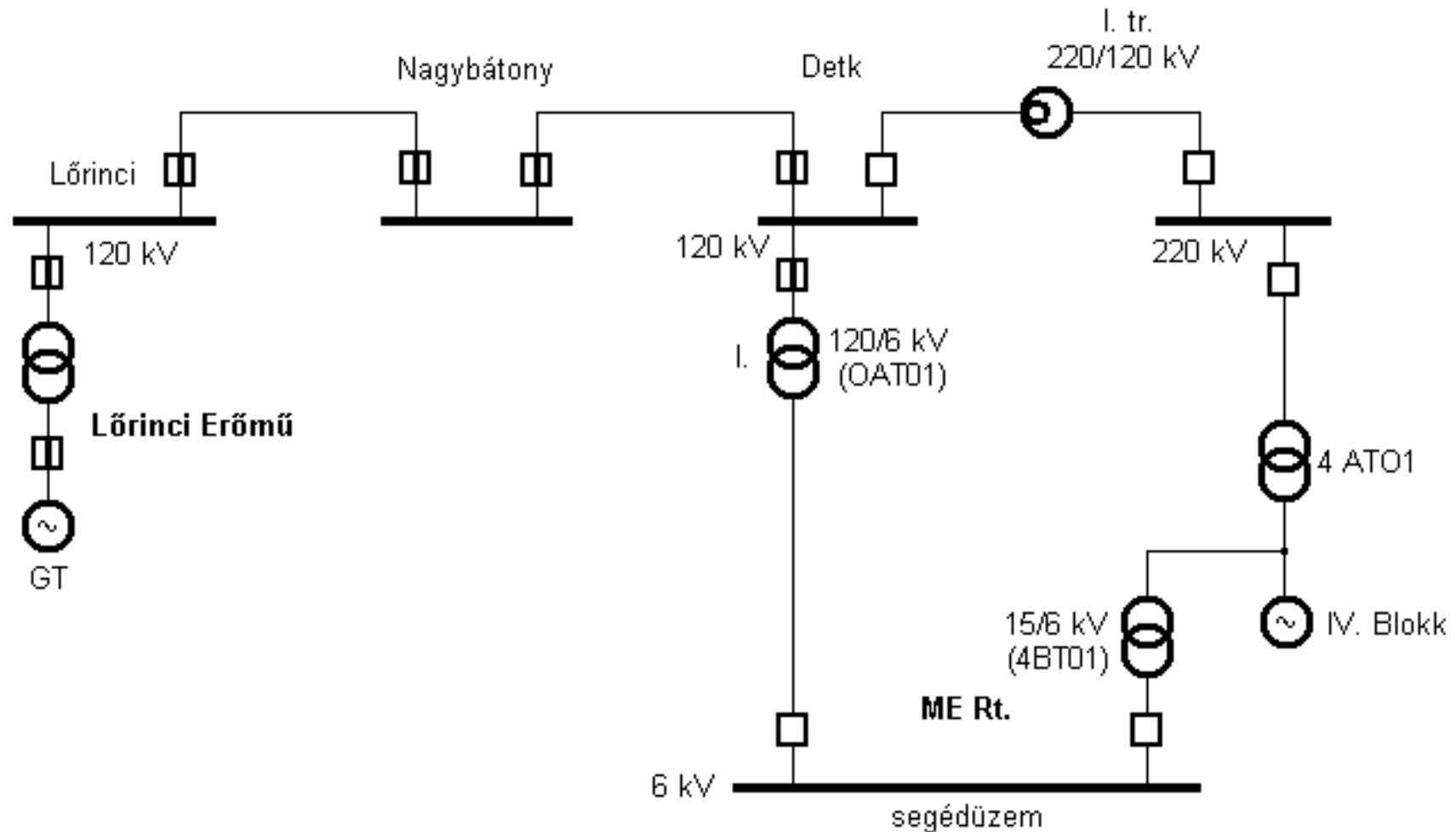
- **Teljes feszültség kimaradás**

(minden megszakító kikapcsolása, valahonnan megérkezik feszültség – transzformátort és segédüzemet rákapcsolni, várni a rendszer-irányító utasítására)

- **Feszültség-meddő viszonyok**

(távvezetékek bekapcsolása, transzformátorok nagyobb fesz.-ű oldalról legnagyobb áttétel vagy középállású fokozatkapcsoló mellett)

Rendszer helyreállítás



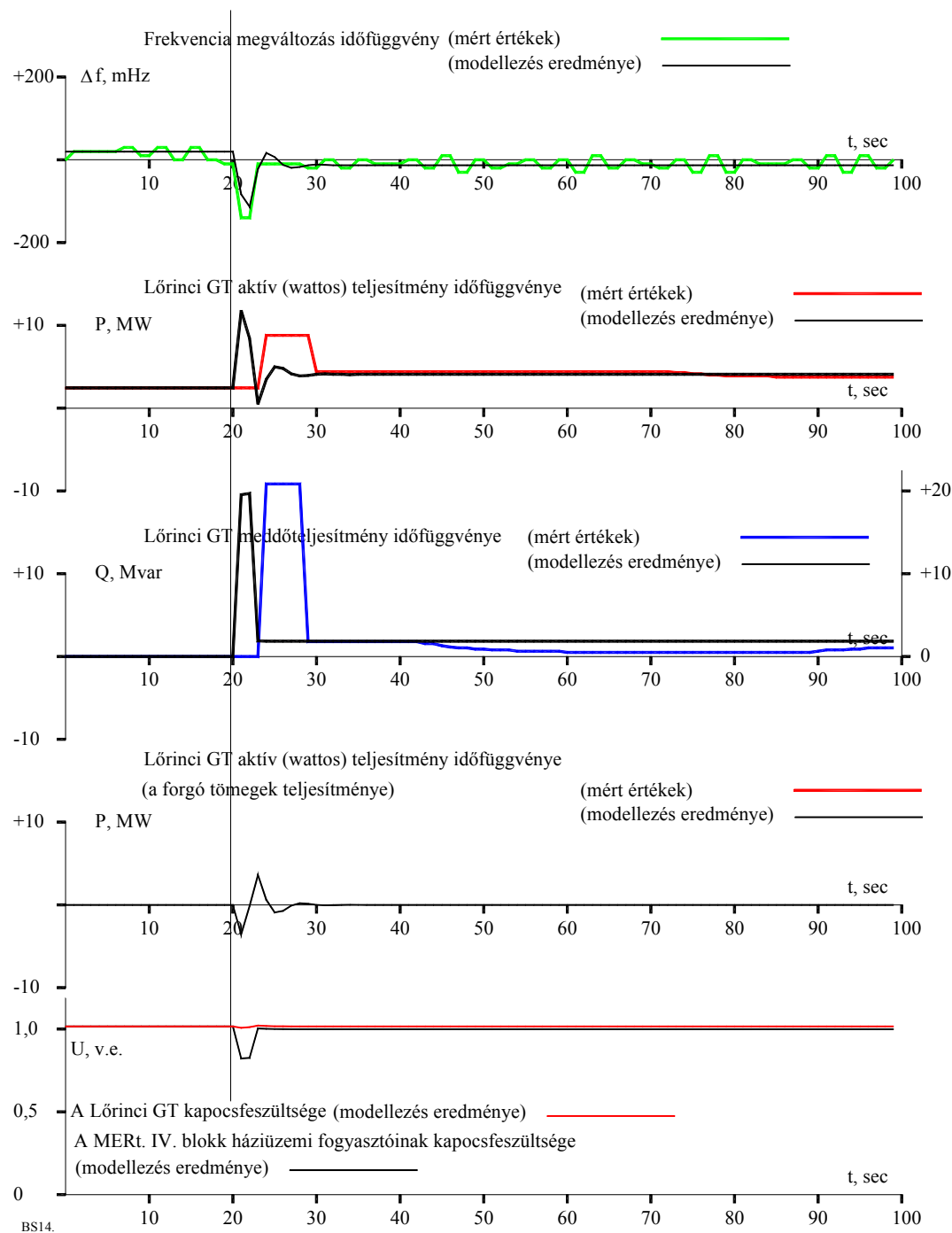
Mátrai Erőmű IV. blokkjának indítása Lőrinciből (2003. május 5.)

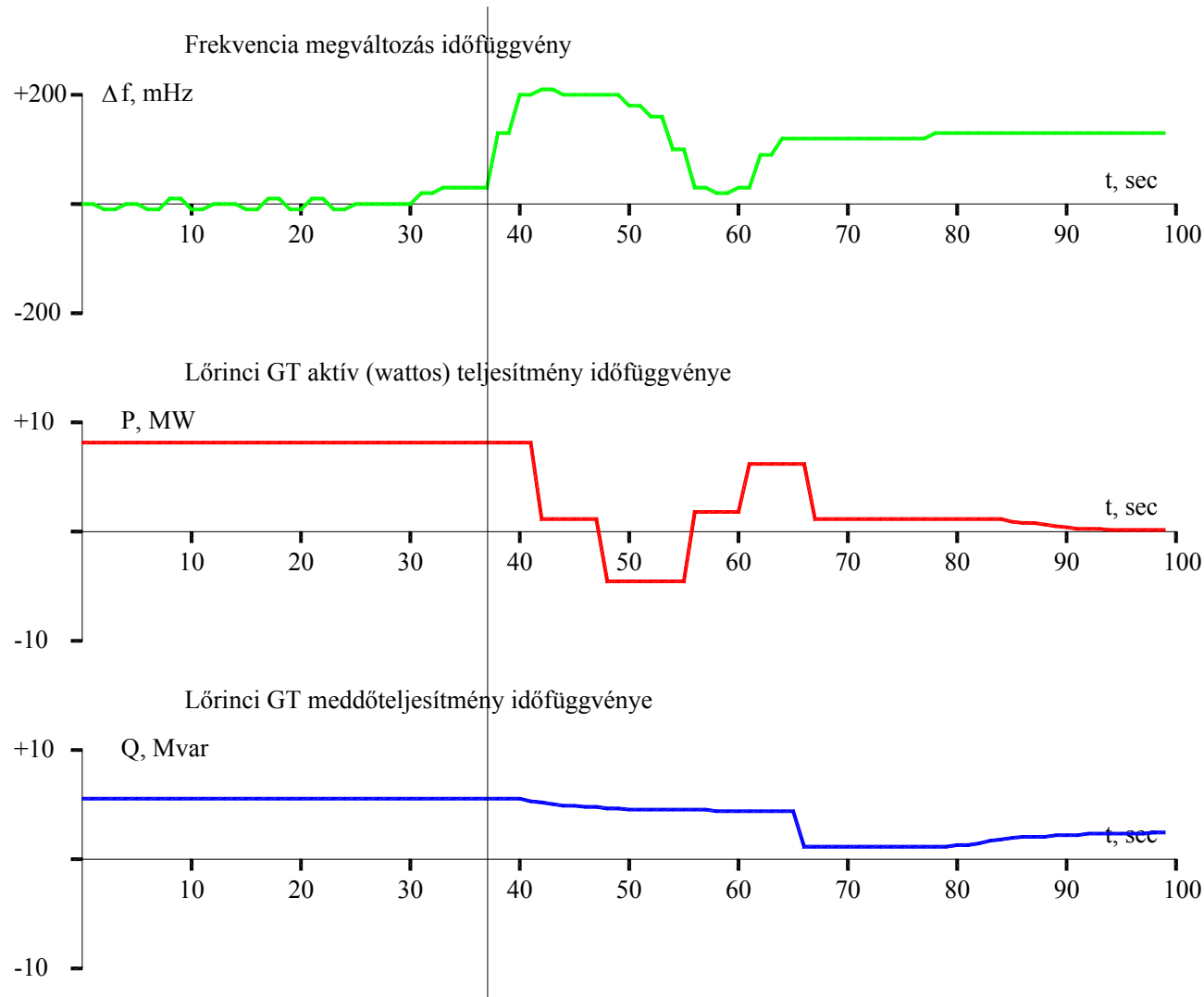
Black start vizsgálatok.

Az adatgyűjtés kezdeti időpontja a lőrinci óra szerint:
2003. 05. 05. 4 óra, 5 perc,
40 másodperc.

Az esemény megnevezése:
a mátrai IV. blokk 1. sz.
tápszivattyújának indítása.
A függvényeket a lőrinci üzemi
távadók adatgyűjtése
eredményeként adtuk meg és
felrajzoltuk a modellezés
eredményeként kapott
időfüggvényeiket.

Mintavételi frekvencia = 1 Hz.
A kurzor tápszivattyú indításának
a (feltételezett) kezdeti
pillanatát jelöli.





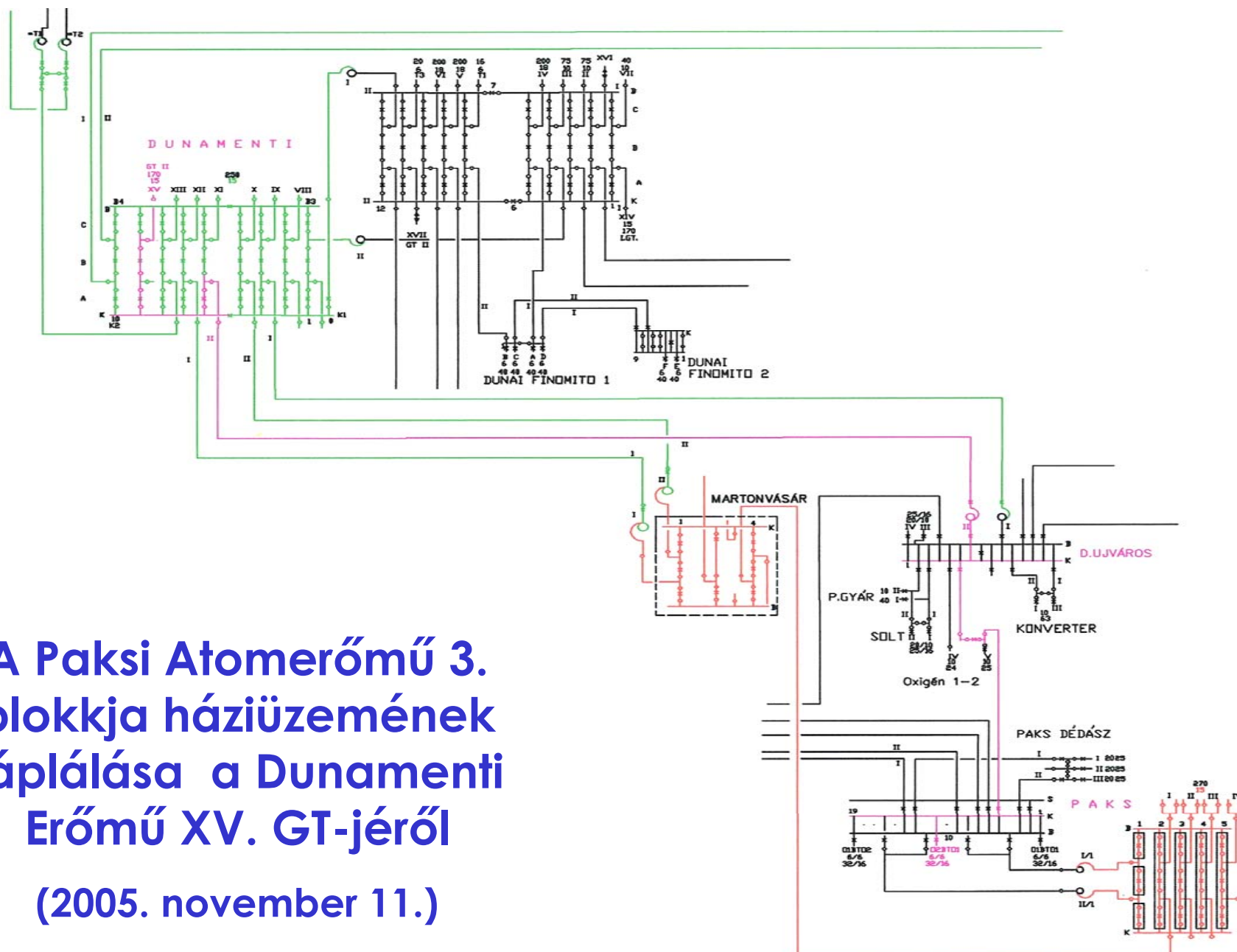
A lőrinci GT és a mátrai IV. blokk együttműködése.

A szinkronkapcsolás előtt a lőrinci GT. látta el a mátrai IV. blokk házi üzemi fogyasztóit.

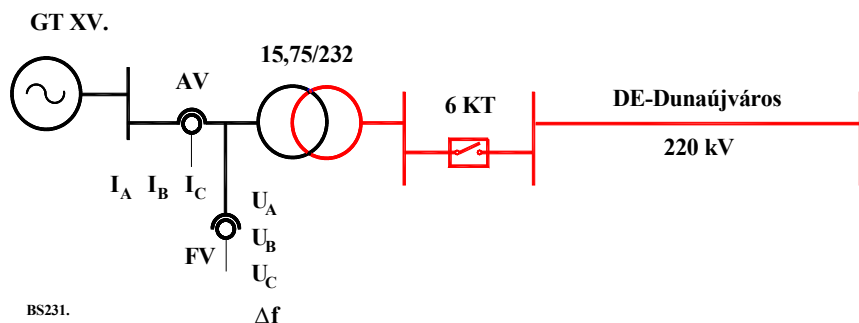
A függvényeket a lőrinci üzemi távadók adatgyűjtése eredményeként adtuk meg.

Mintavételi frekvencia = 1 Hz. A kurzor a szinkron kapcsolás feltételezett pillanatát jelöli:

2003. 05. 05. 6 óra, 21 perc, 11 másodperc.

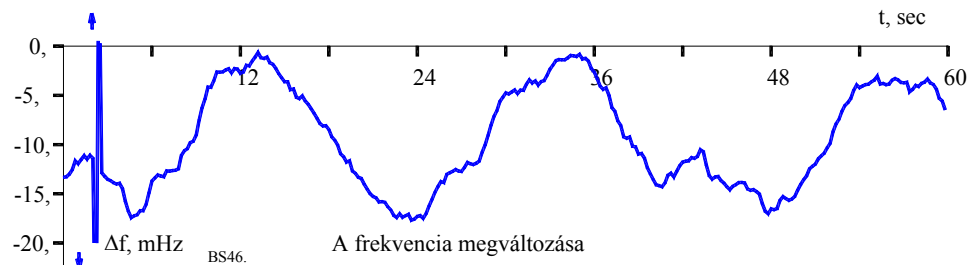
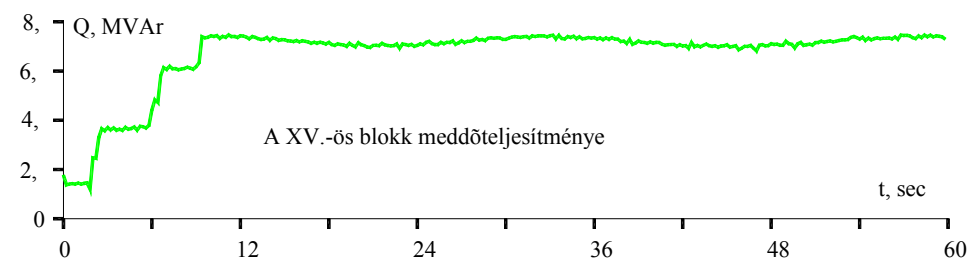
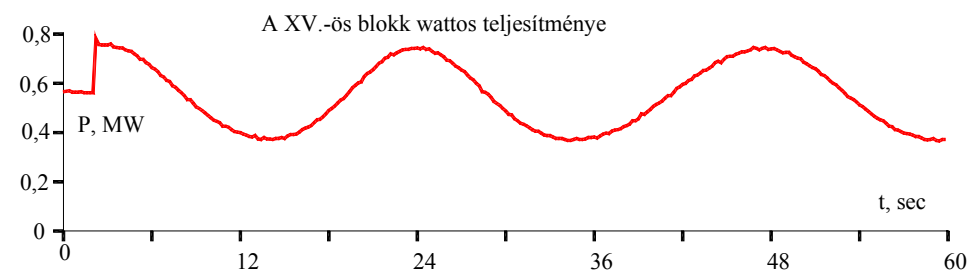
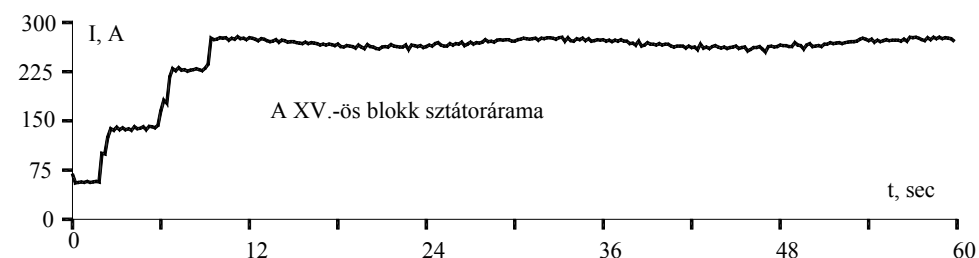
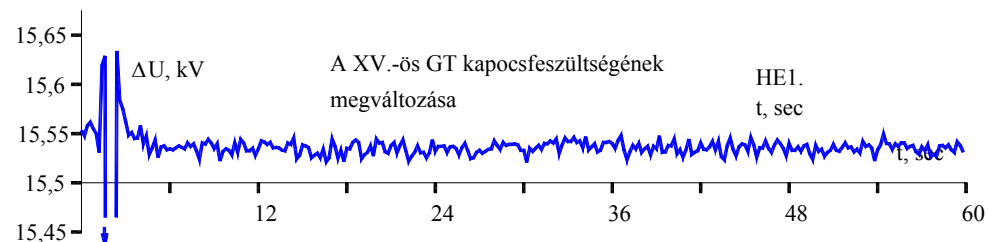


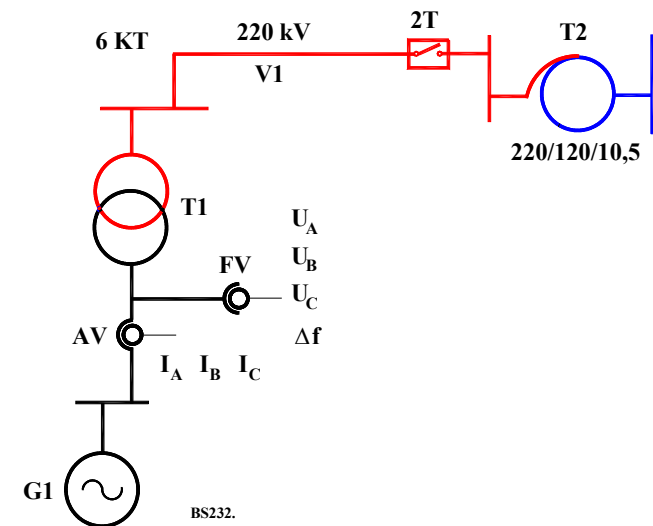
**A Paksi Atomerőmű 3.
blokkja háziüzemének
táplálása a Dunamenti
Erőmű XV. GT-jéről
(2005. november 11.)**



Dunamenti- Dunaújváros II. sz. távvezeték (220 kV) bekapcsolása (6 KT be).

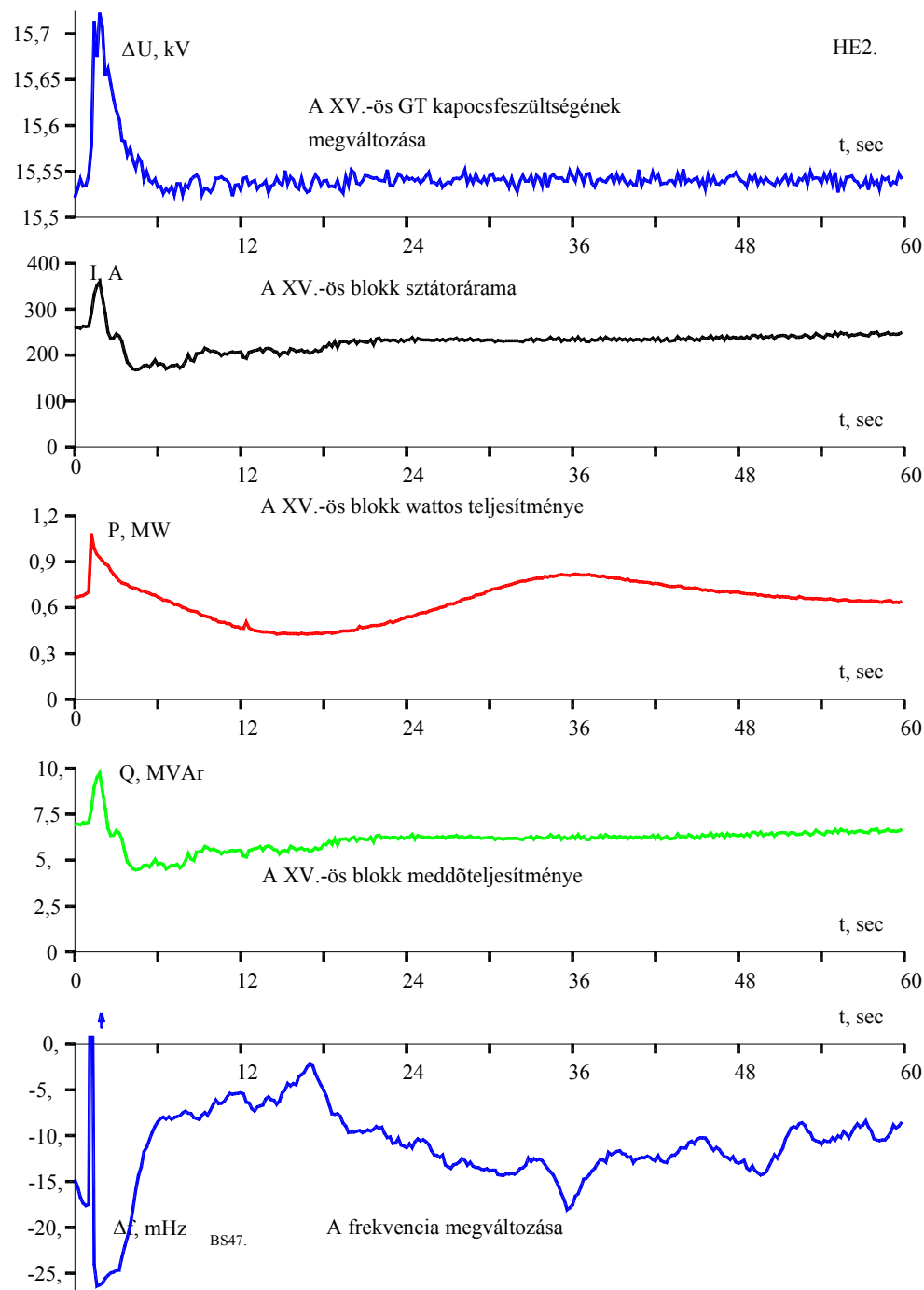
A mérés időpontja:
2005. 09. 11., 22:27

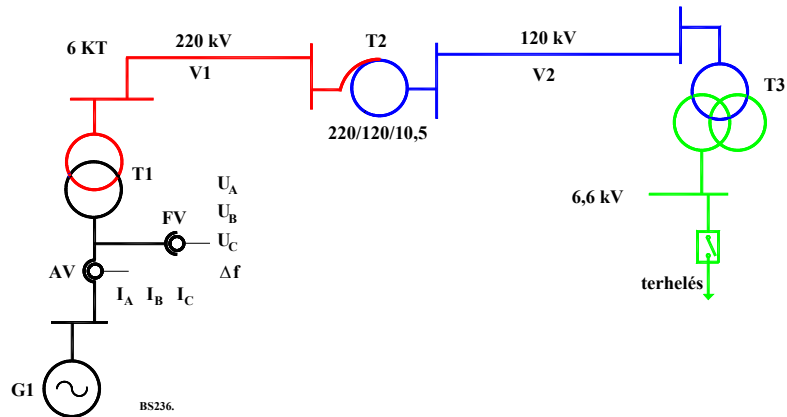




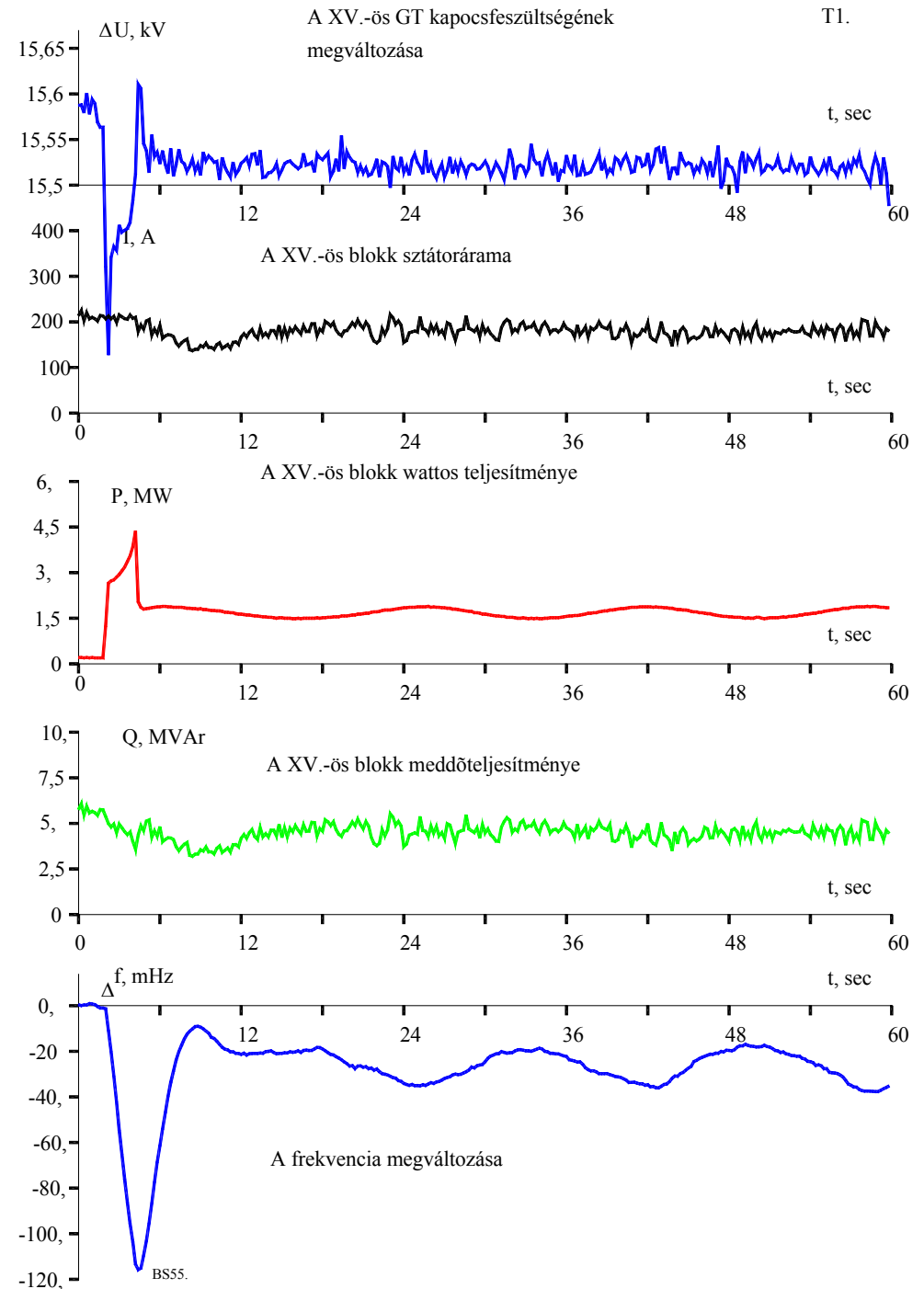
**Dunaújváros II.
(220/120/10,5 kV-os)
transzformátor
bekapcsolása (2T be).**

**A mérés időpontja:
2005. 09. 11., 22:32**

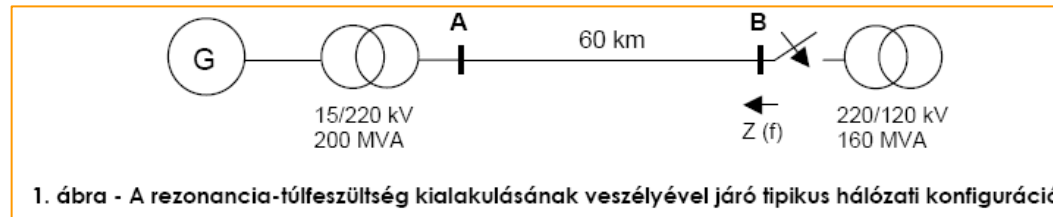




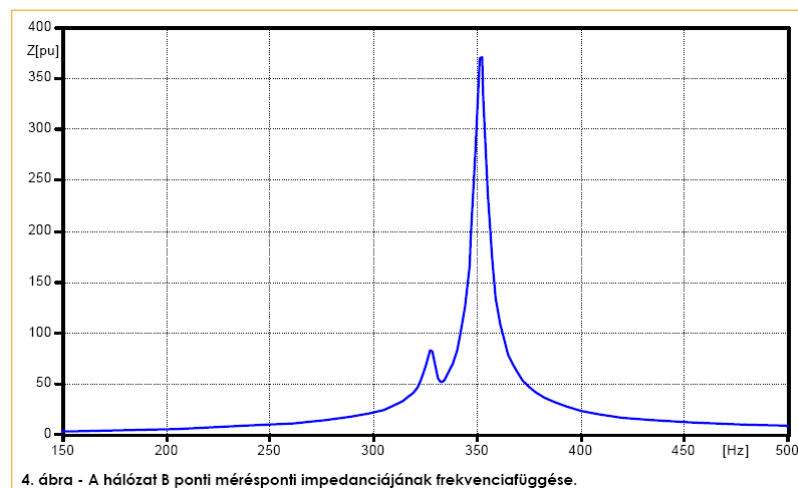
A mérés időpontja:
2005. 09. 11., 23:52



Különösen veszélyes rezonancia túlfeszültségek alakulhatnak ki, ha a rendszer valamelyik sajátfrekvenciája a névleges hálózati frekvencia egész számú többszörösének közelébe kerül és a hálózatot periódikus gerjesztés éri. Ilyen periódikus gerjesztés lehet például üresen járó vagy kis terhelésű transzformátor bekapcsolásakor fellépő áramlökés, amely -erősen csökkenő amplitúdóval-, a hálózati frekvencia egész számú többszöröseinek megfelelő karakterisztikus harmonikusokat tartalmaz.

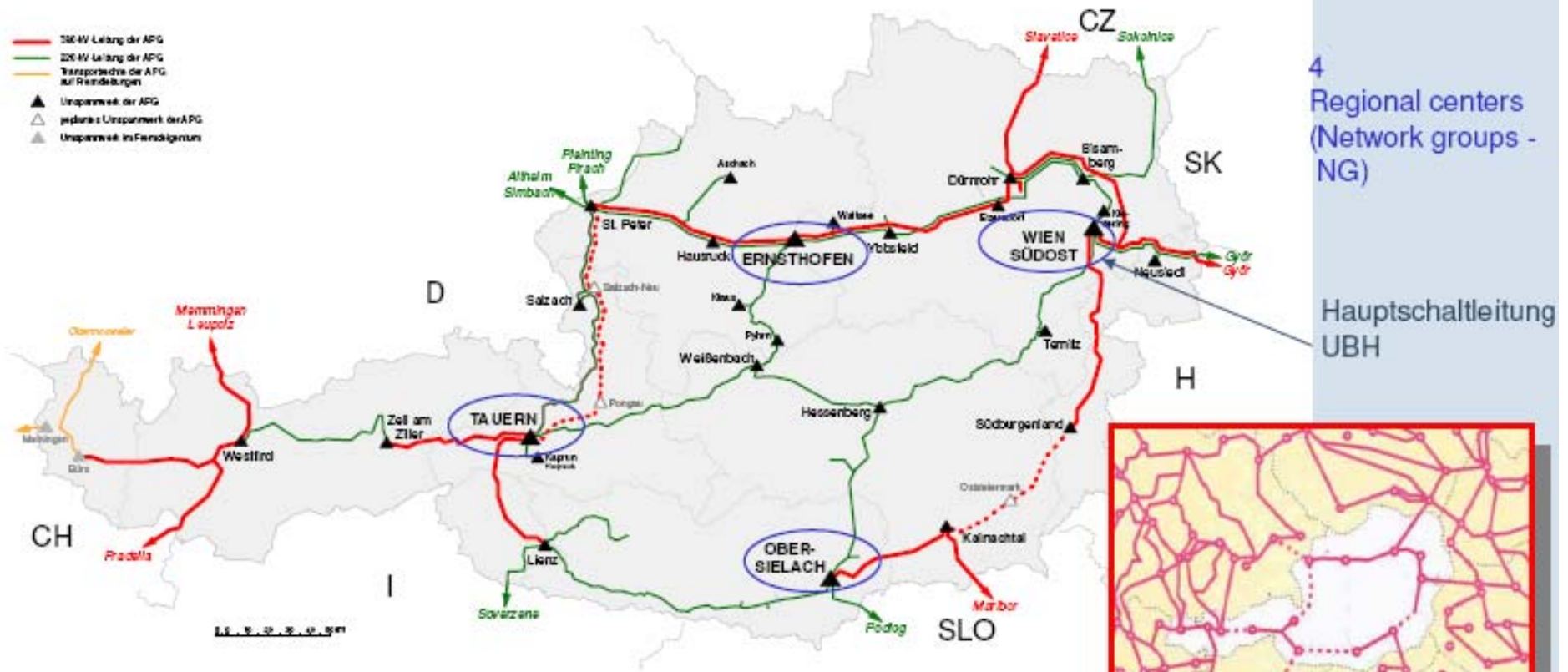


A nagy amplitúdójú oszcilláló feszültség kialakulására magyarázatot ad a "B" pont $Z(f)$ mérési ponti impedanciájának 350 Hz közelében tapasztalható megnövekedése (4. ábra). Annak ellenére, hogy a bekapcsolási áramlökésben a 350 Hz-es 7. felharmonikus amplitúdója 1%-nál is kisebb, a párhuzamos rezonancia miatt nagy amplitúdójú, periódikus feszültség-igénybevétel alakul ki a vezeték teljes hossza mentén, amely a kapcsolódó hálózati berendezések közül elsősorban a fémoxid túlfeszültség-korlátozók termikus túlterhelődésének veszélyével járhat.



**Rezonancia
túlfeszültségek a
hálózat újra
felépítése során**

High voltage grid of VERBUND-APG



4
Regional centers
(Network groups -
NG)

Hauptschaltleitung
UBH

APG/UBN/Markovic

19. September 2005

380-kV-Anbindung Österreichs an die
UCTE (Stand ca. 1999)

Austrian power grid

Restoration concepts



- High voltage (380-, 220-kV) restoration concept APG
 1. Energizing from external UCTE- voltage
 2. Interconnect regional island and control supra-regional island in high voltage network of APG
- Regional Concepts (110-kV)
 1. Regional failure with or without disturbance of APG-facilities
 2. (Regional) Blackout, Restoration from high-voltage (APG)
 3. (Regional) Blackout, Restoration with regional island
- Contract / Agreement with neighboring TSOs

Vorarlberg (Bürs), St. Peter, Westtirol



Basic Strategies



Strategie:

- External UCTE- Voltage;

Main directions:

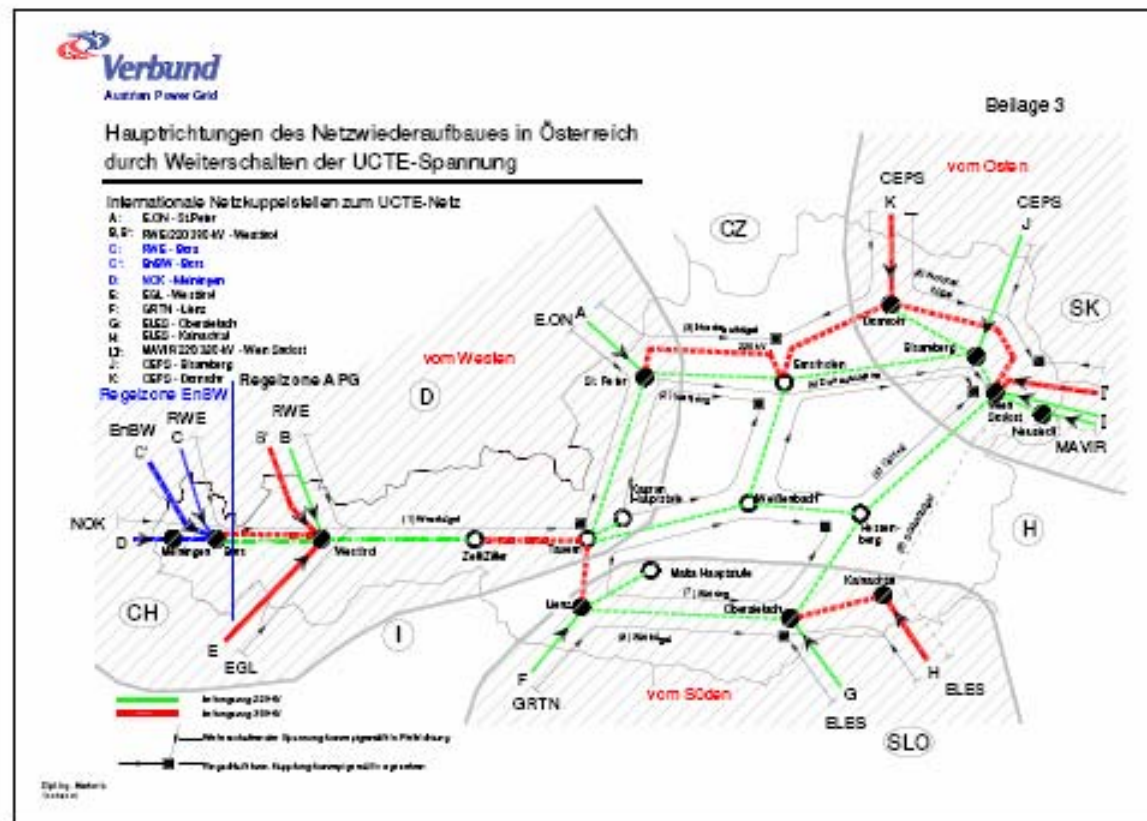
- from the West
- from the East
- from the South

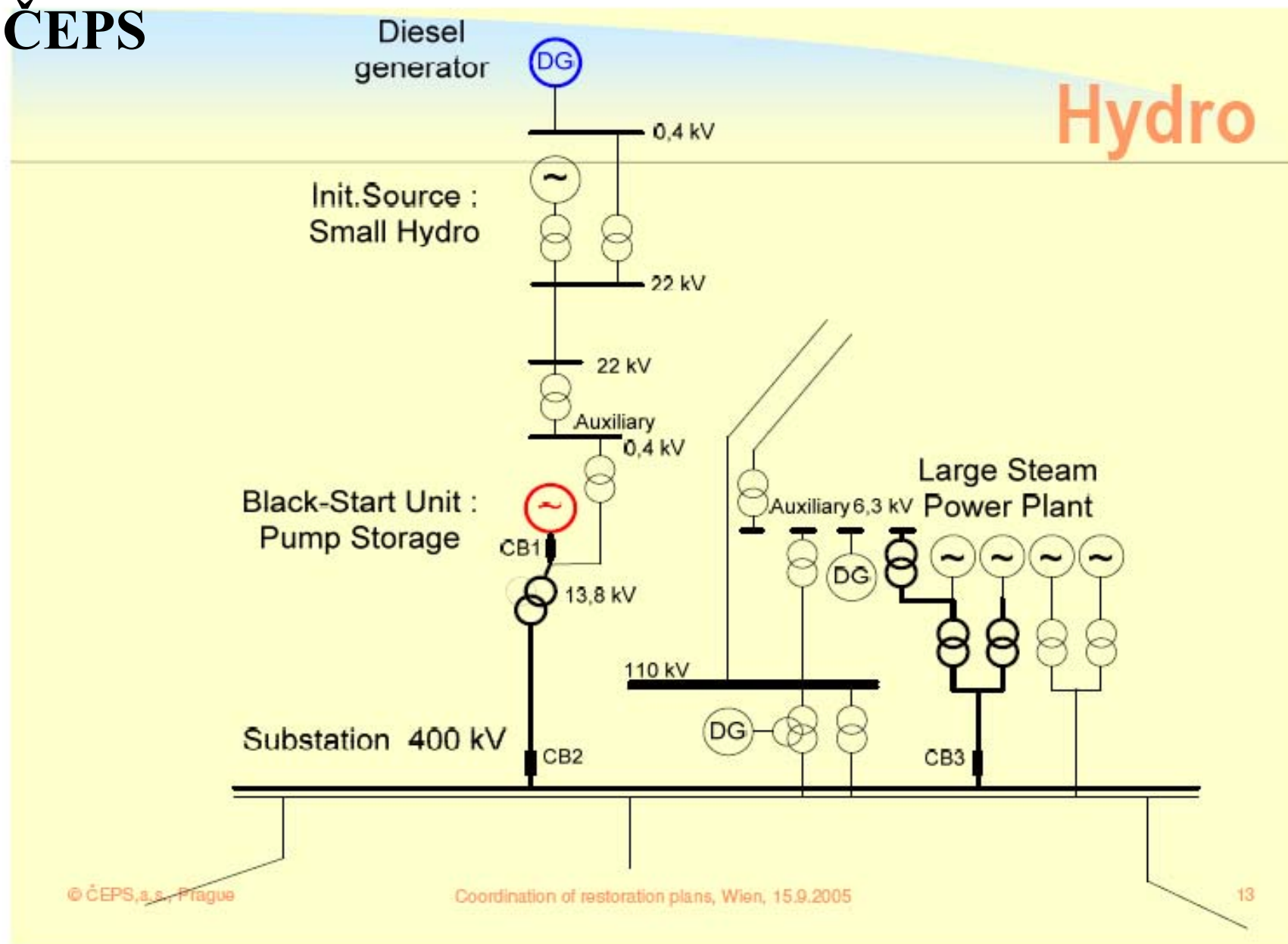
Alternative:

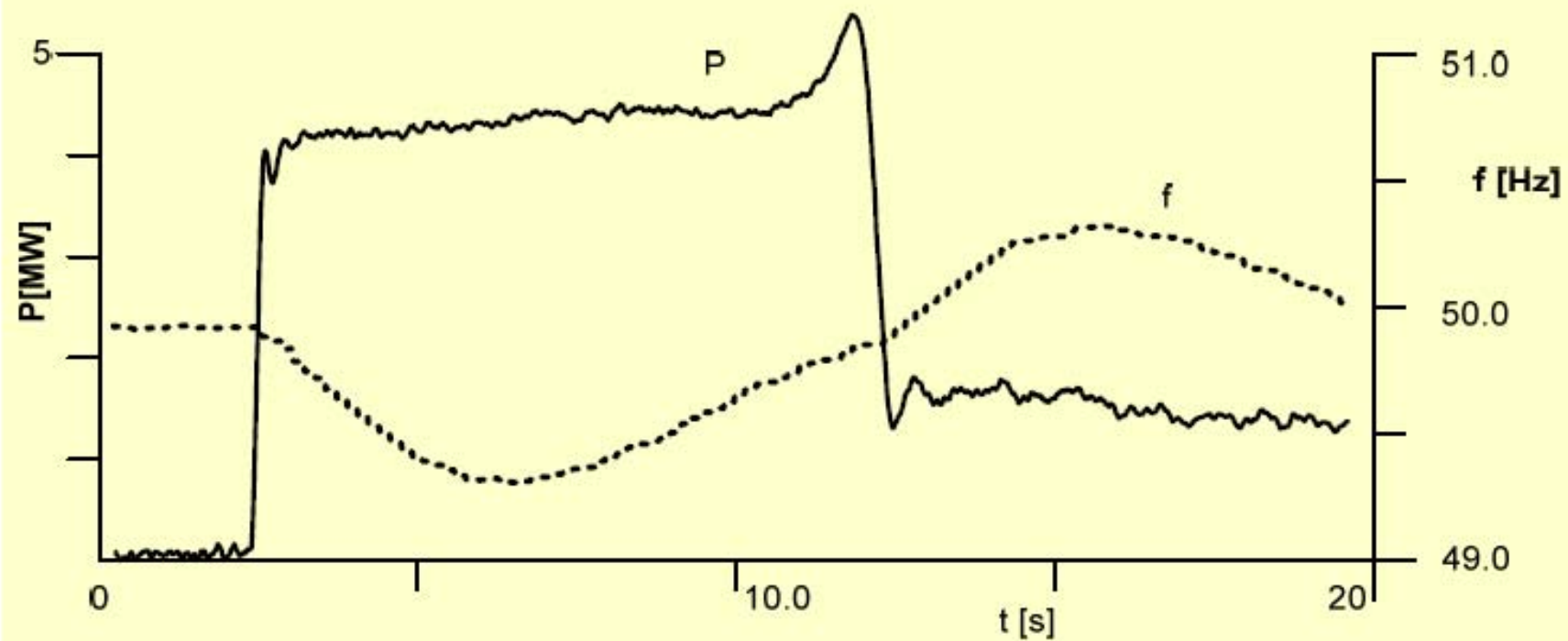
- Regional island in Carinthia and Salzburg



Energizing with that voltage to supra-regional Island in high voltage network of APG

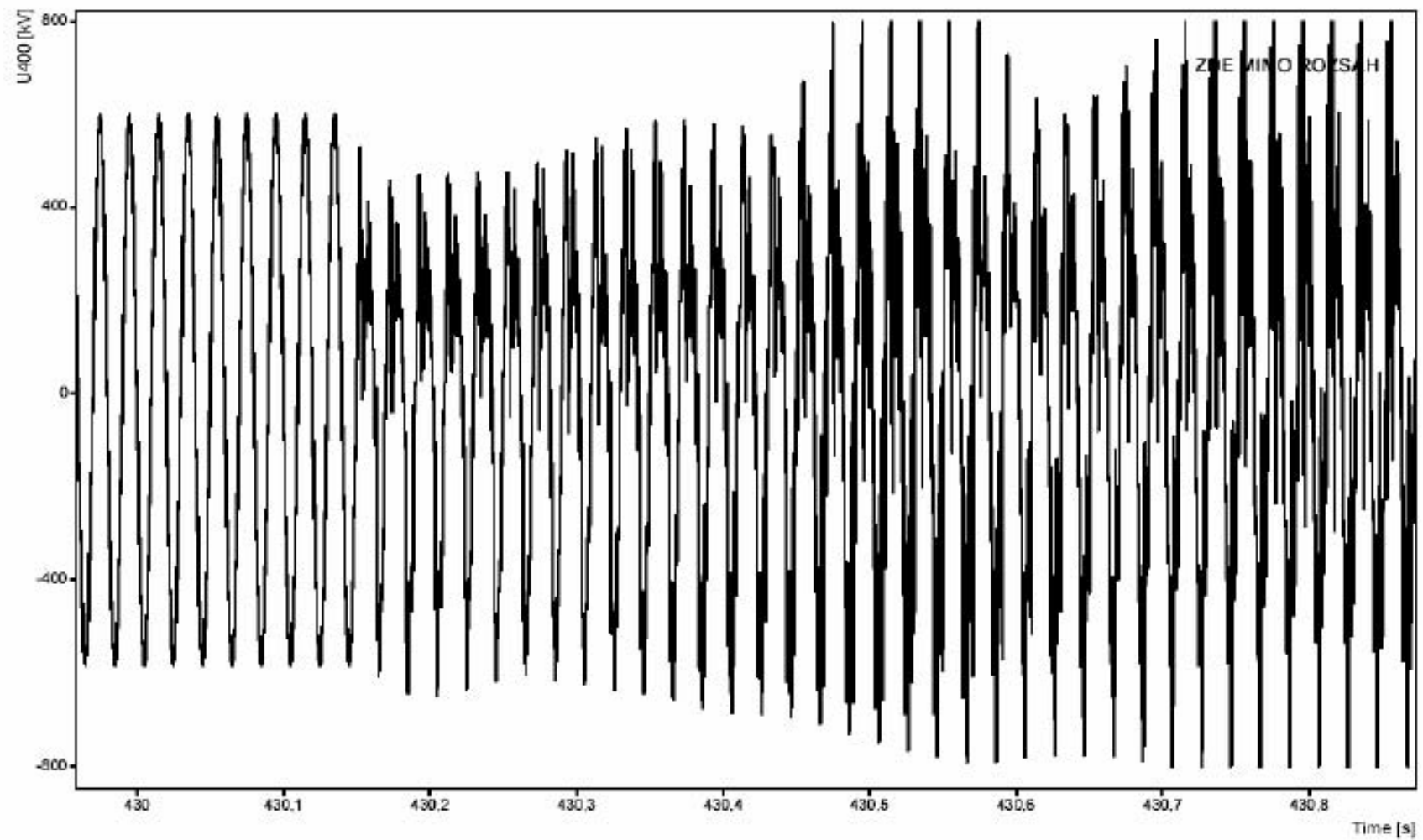






ČEPS

Test



Rendszerautomatikák

- Cél a magyar VER üzemének biztonsága
- Nem egyeztetett energiaáramlások
(Pl. Sollbruchstelle)
- (Sándorfalva → Szabadka, Arad)
- Új megközelítés ((Győr,) Hévíz)
(szoftver automatika a folyamatirányításban
(SCADA), megszakító távműködtetés helyi
feltételellenőrzés nélkül!)
- FKA (a SCADA és az áramszolgáltatói
irányítástechnika felhasználásával!)