

# Stabilita ES

## Sít'ový simulátor

### MODES

Ing. Karel Máslo, CSc.



odd. Analýz PS

Přednáška ZČU Plzeň

27.11.2015

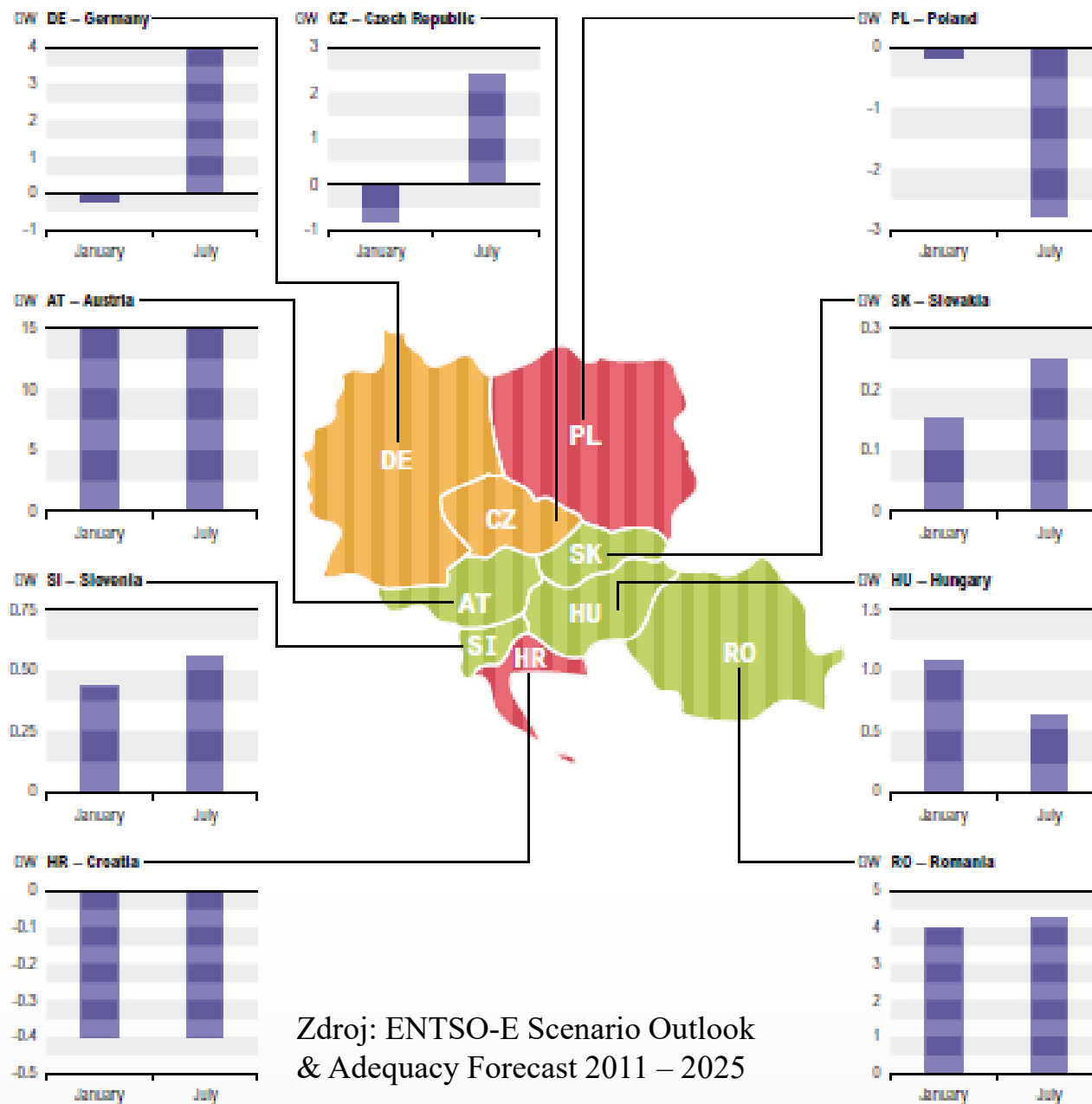
# Obsah přednášky: Dynamická stabilita

1. Definice spolehlivosti provozu ES
  1. Adekvátnost
  2. Bezpečnost provozu
2. Dynamická stabilita
  1. Úhlová stabilita
  2. Frekvenční stabilita
  3. Napěťová stabilita
3. Příklady systémových poruch
4. Obranný plán proti šíření poruch
5. Popis síťového simulátoru MODES

# Spolehlivost provozu ES

- ❖ Adekvátnost – výkonová přiměřenost
  - ❖ Bezpečnost provozu
    - kritérium N-1 (přetížení, napětí)
    - **stabilita** (napěťová, úhlová..), zkratová odolnost ...
  - V Kodexu PS je definována stabilita provozu jako schopnost soustavy udržet rovnovážný stav během normálního provozu i po **přechodných dějích** způsobených vnějšími vlivy, dispečerským řízením i poruchovými výpadky zařízení
- Kodex PS – část I. Základní podmínky pro užívání přenosové soustavy, dostupný na <http://www.ceps.cz>
- Společná pracovní skupina IEEE a CIGRE definovala stabilitu ES zhruba takto: jestliže dojde v soustavě k **rozruchu**, musí se soustava vrátit do rovnovážného stavu s veličinami v dovolených mezích a soustava jako celek zůstane nedotčena

# Adekvátnost provozu

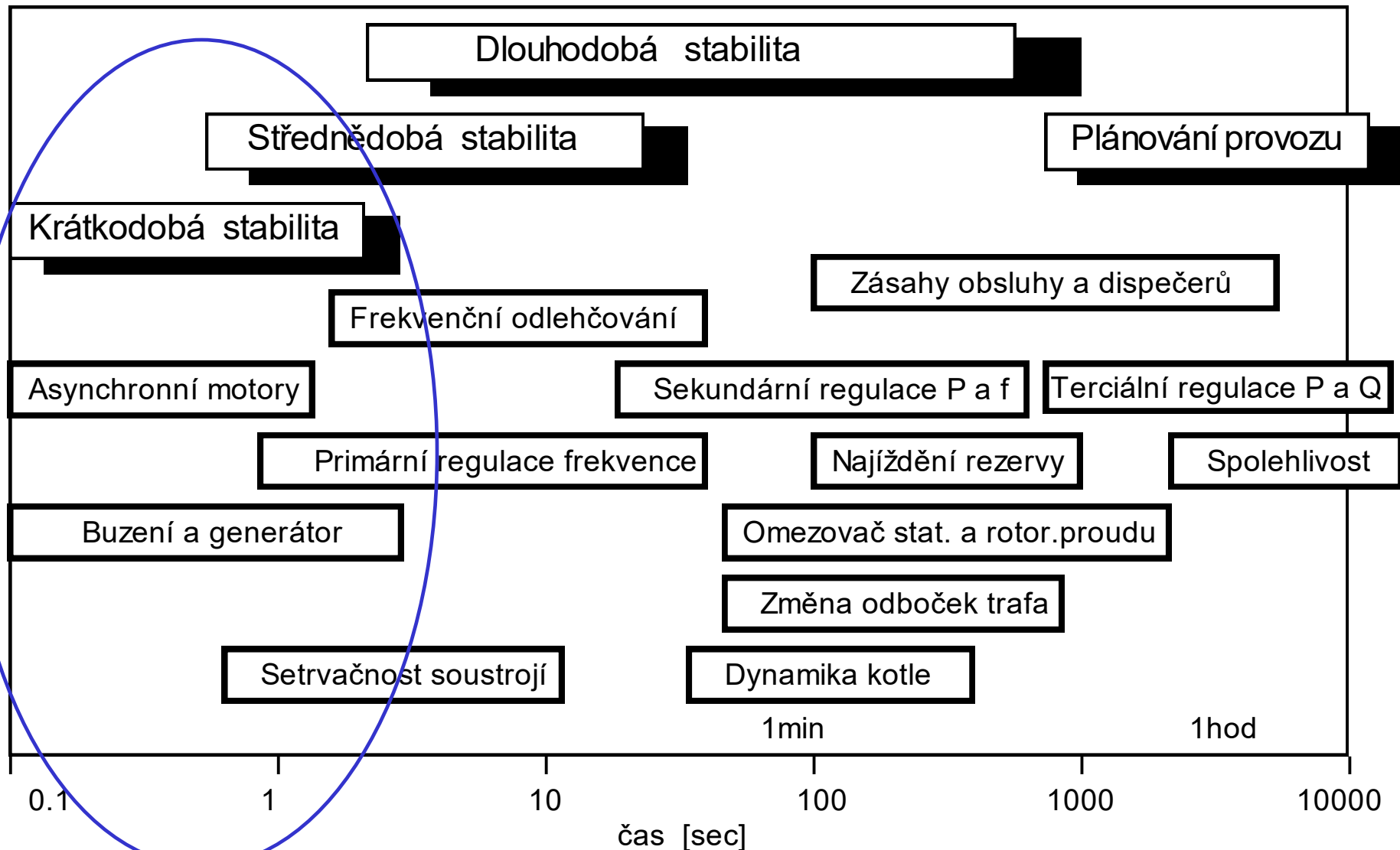


Zdroj: ENTSO-E Scenario Outlook  
& Adequacy Forecast 2011 – 2025

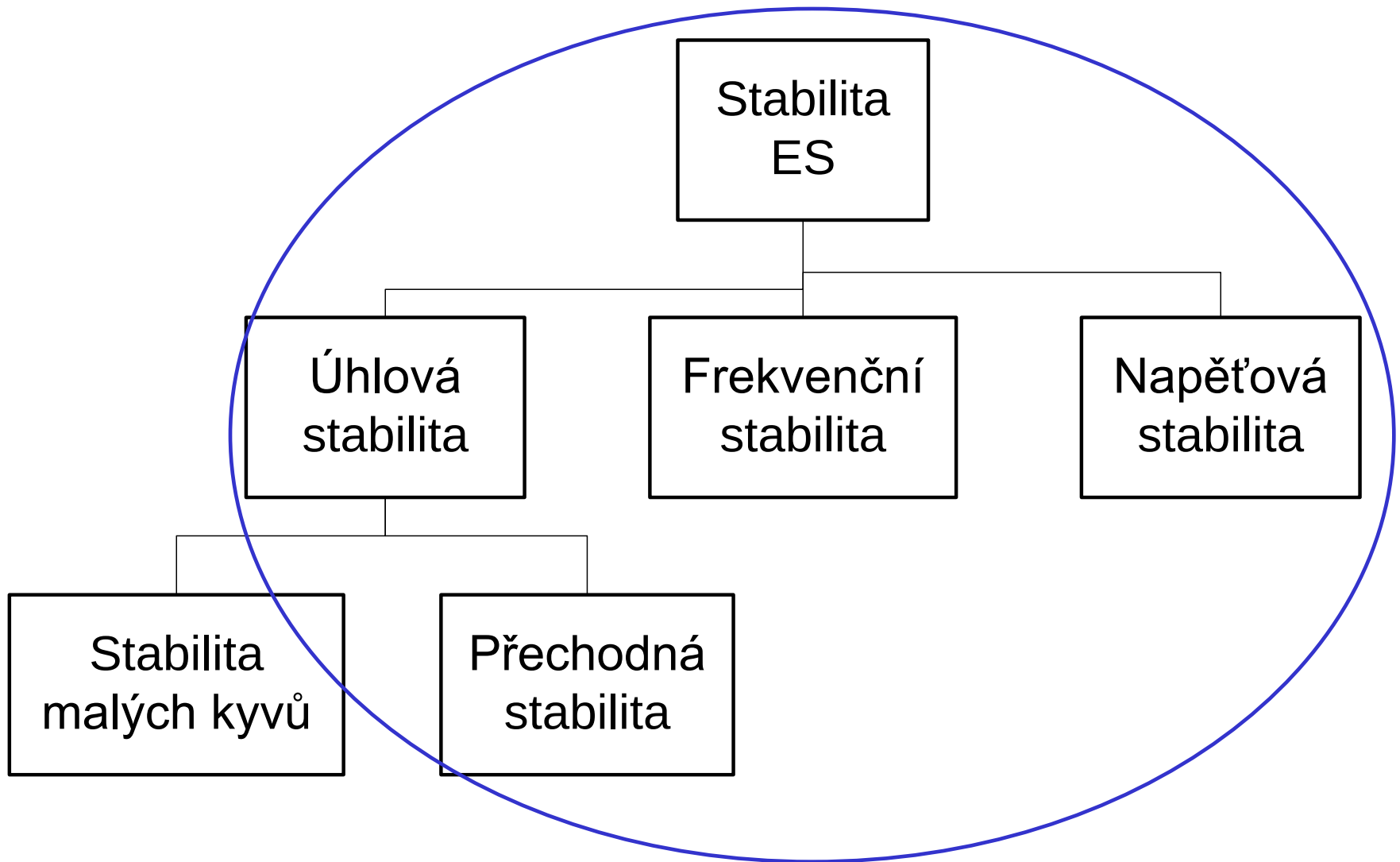
# Rozruchy

- provozního charakteru - **změny odebíraného** nebo **dodávaného výkonu**, plánované změny topologie sítě (např. vypínáním nebo zapínáním vedení),
- poruchy zařízení působených skrytými vadami nebo zrychleným stárnutím (**výpadky el. bloků a vedení**)
- poruchy způsobených klimatickými vlivy jako údery blesku, silným větrem, vysokou teplotou (**zkraty**)
- vlivy fungování trhu s elektřinou
- poruchy způsobené lidskou neúmyslnou chybou
- sociální vlivy –např. stávky v elektrárnách
- geomagnetické bouře
- teroristická a kybernetické útoky.

# Časový rozsah přechodných dějů v ES

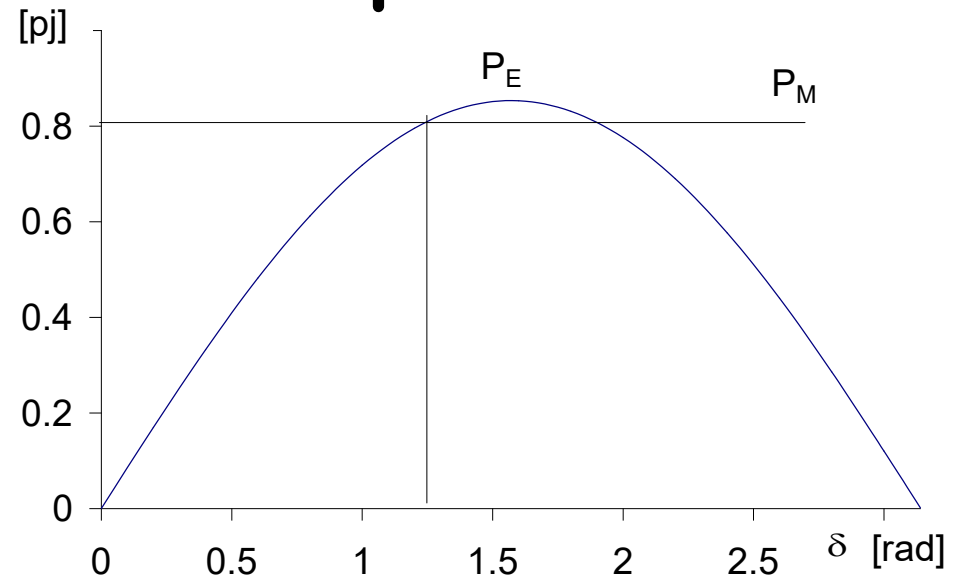
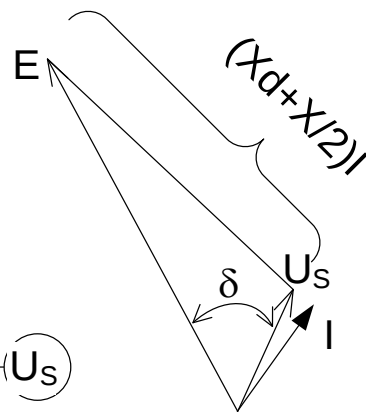
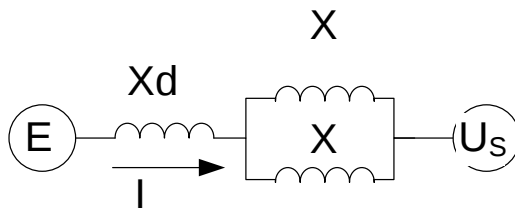
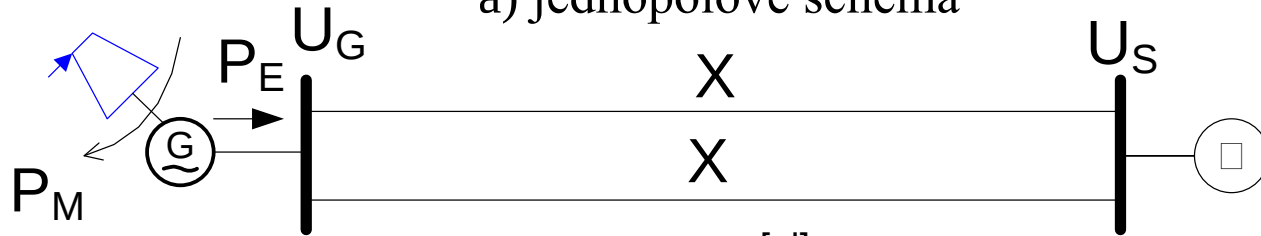


# Stabilita ES



# Úhlová stabilita

a) jednopólové schéma



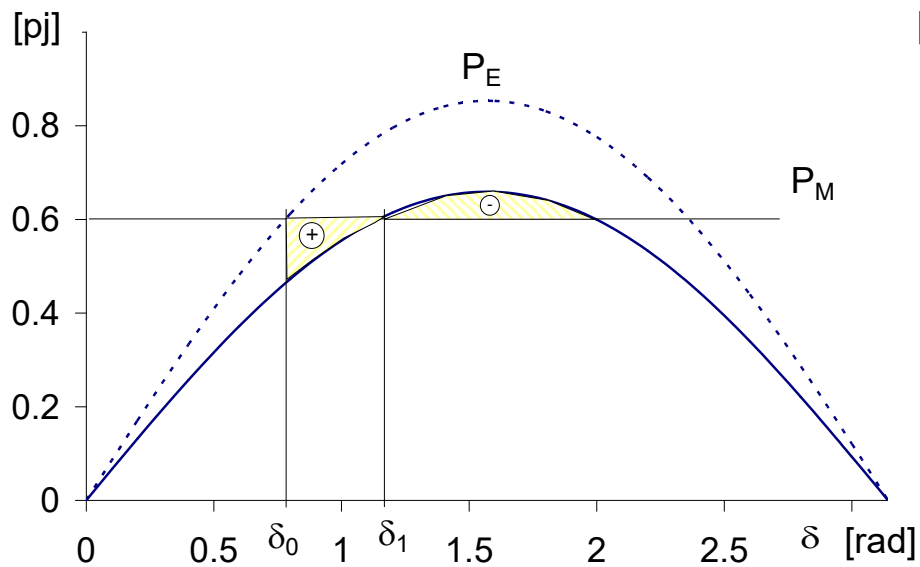
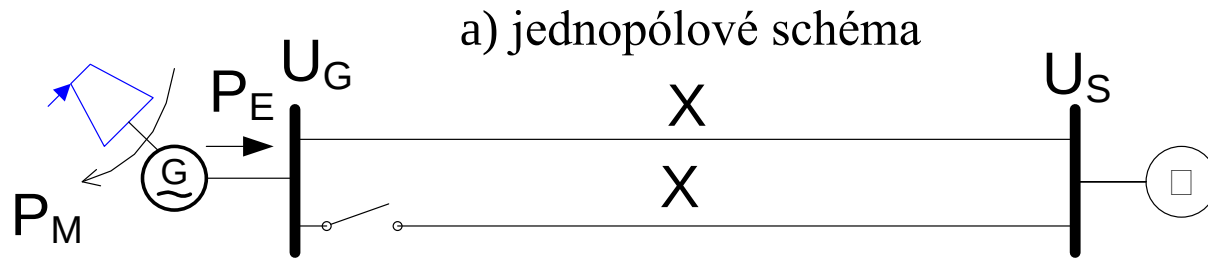
b) náhradní schéma

c) vektorový diagram

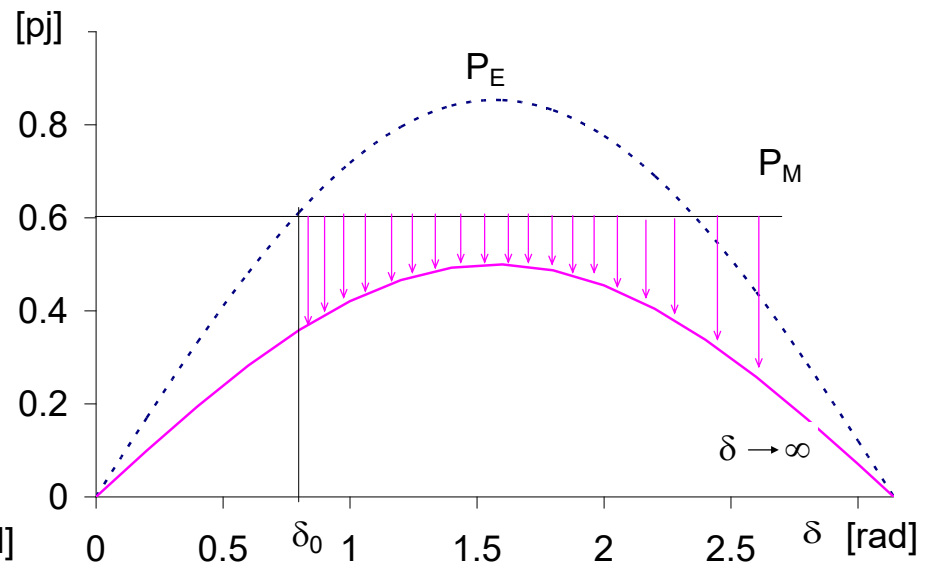
d) výkonová charakteristika

$$P_E = \frac{E^* U_s}{X_\Sigma} \sin(\delta)$$

# Úhlová stabilita – oslabení sítě

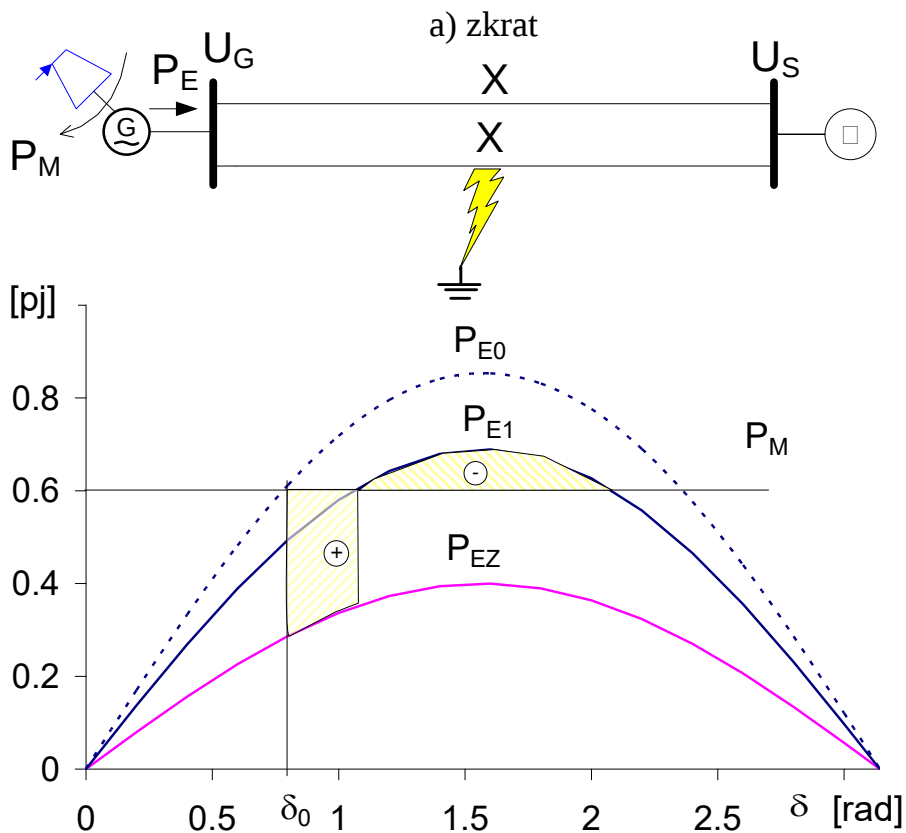


b) stabilní přechod

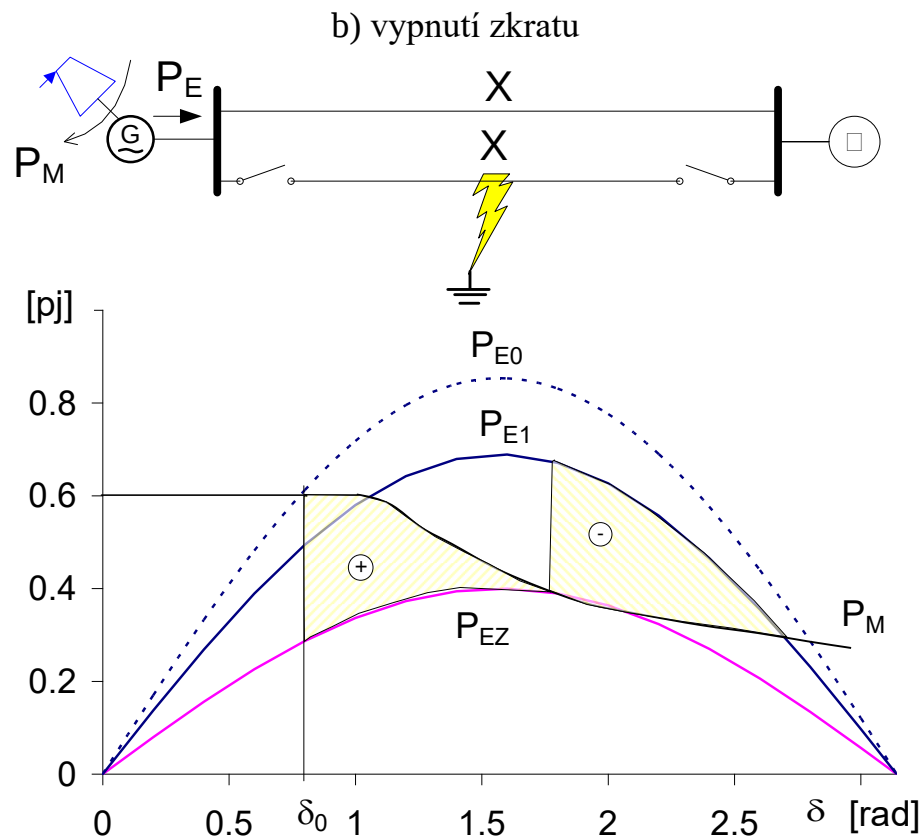


c) nestabilní přechod

# Úhlová stabilita - zkrat

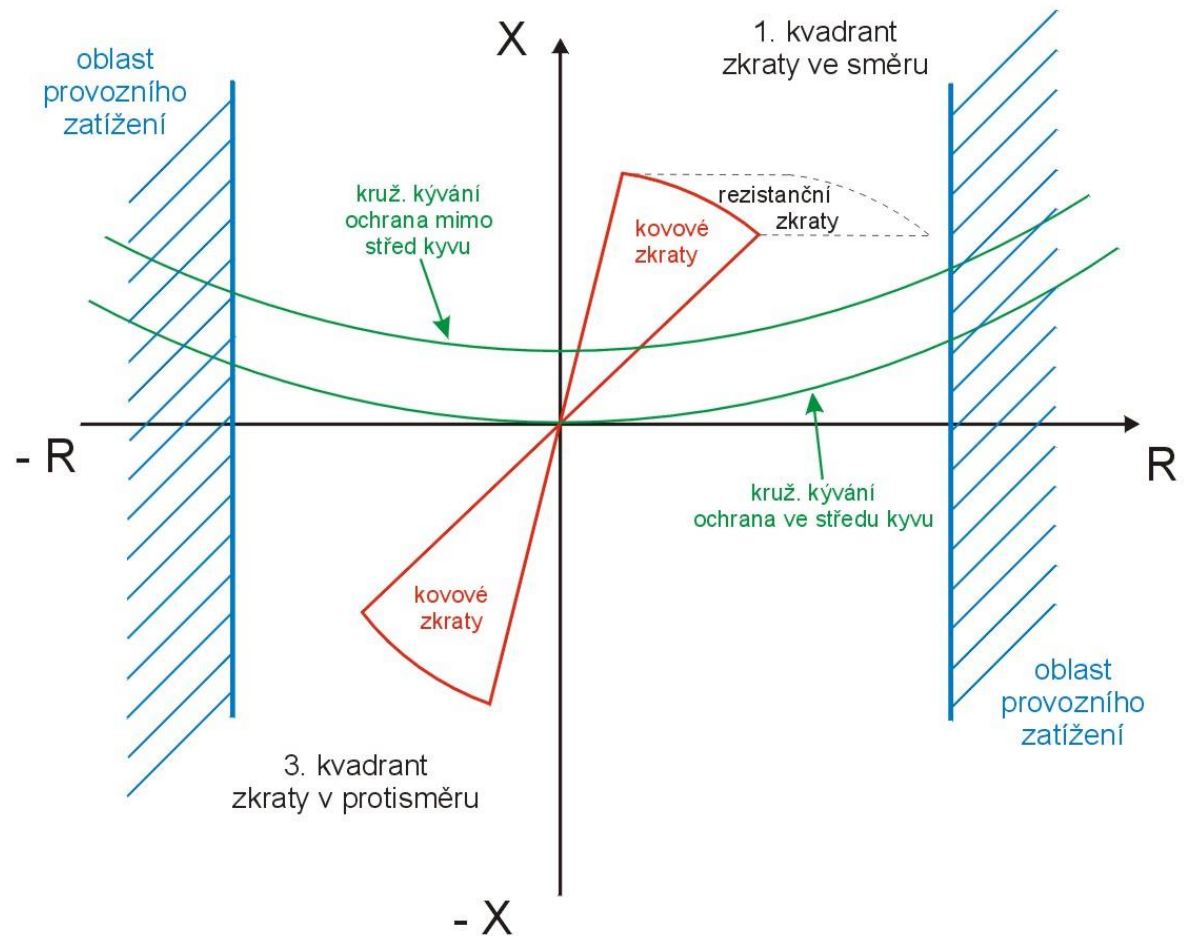
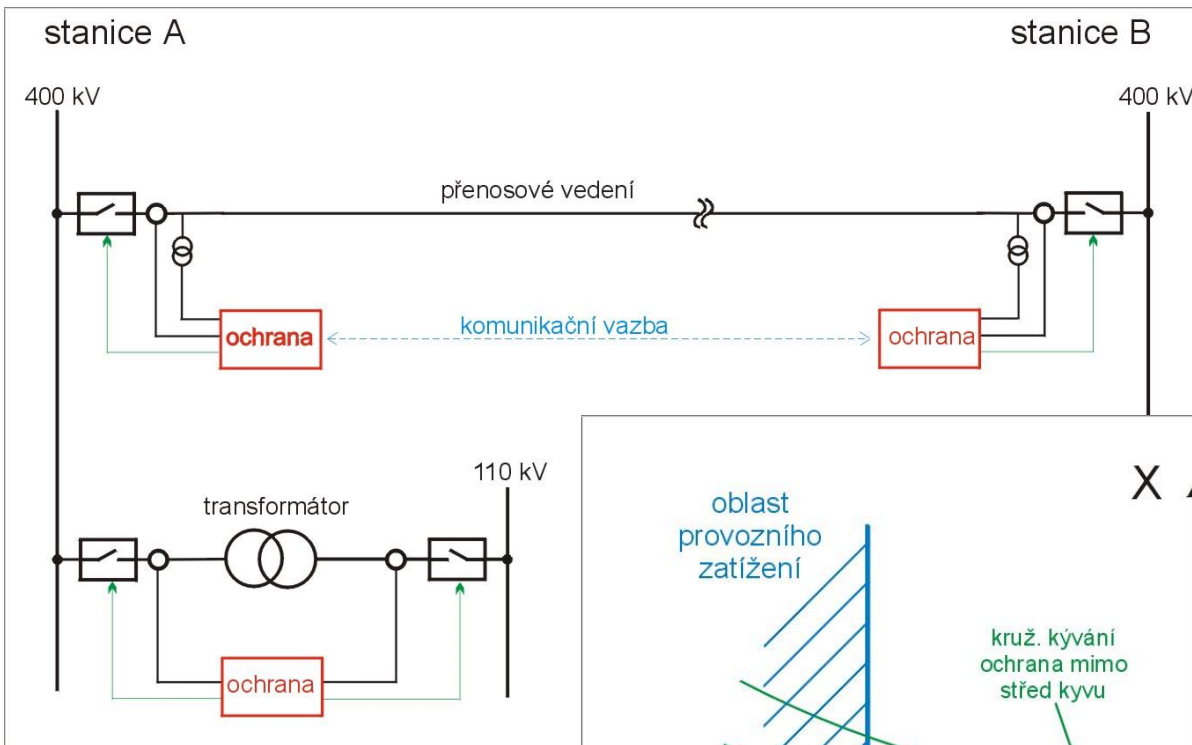


c) stabilní přechod

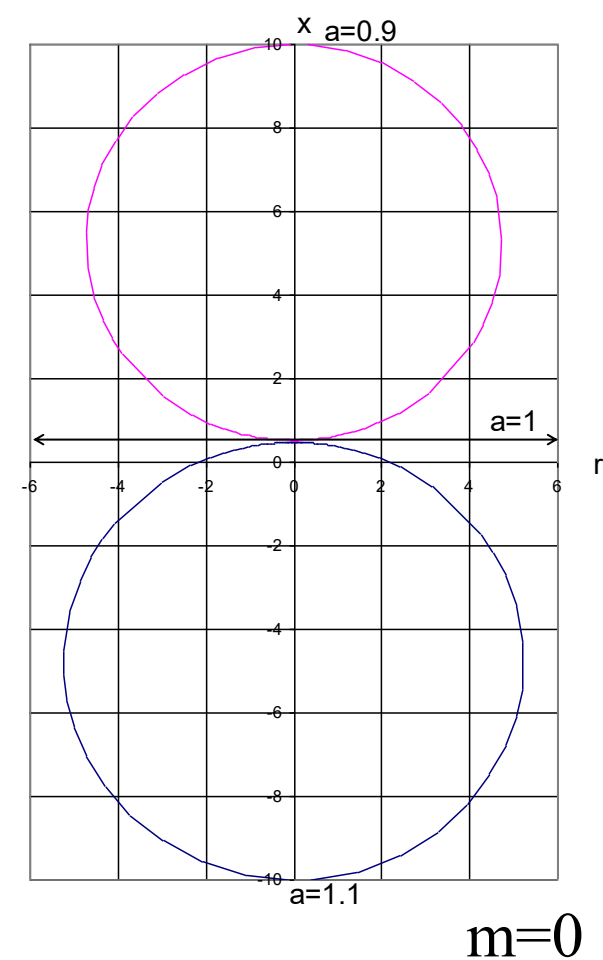
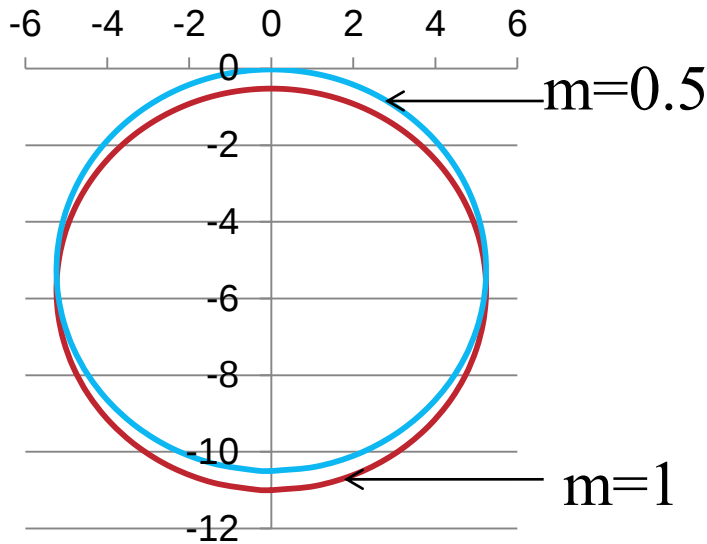
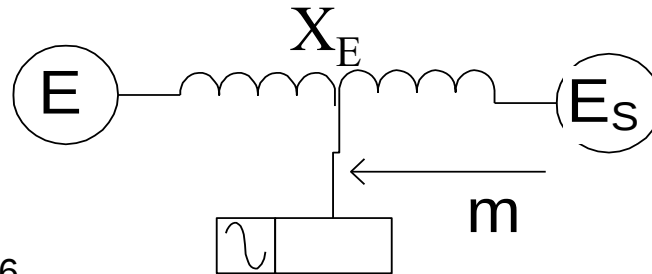


d) stabilní přechod s rychlým řízením ventilů

# Distanční ochrana

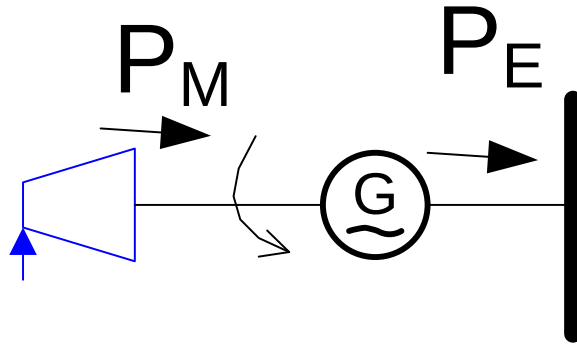


# Střed kývání



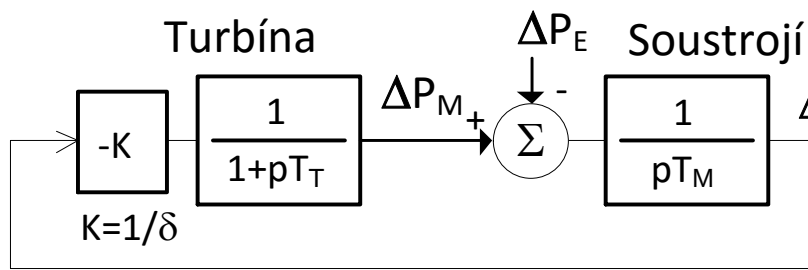
$$\underline{Z} = \cdot \frac{\underline{U}}{\underline{I}} = X_E \left\{ \left[ \frac{j}{1 - a * e^{j\delta}} \right] - jm \right\}; a = \frac{E}{E_S}$$

# Frekvenční stabilita

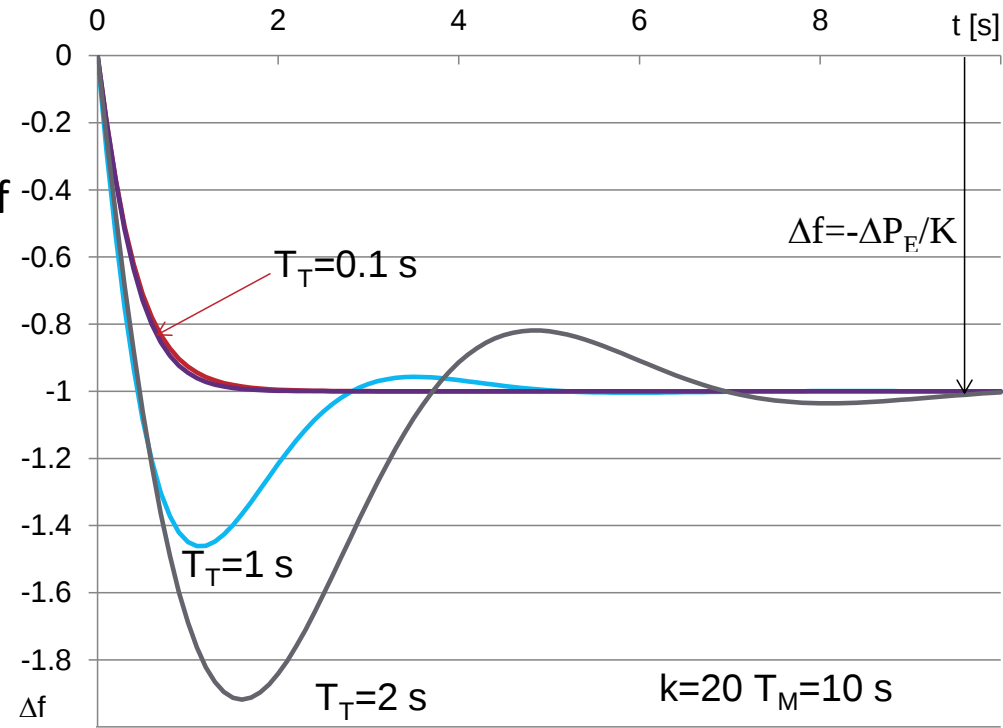
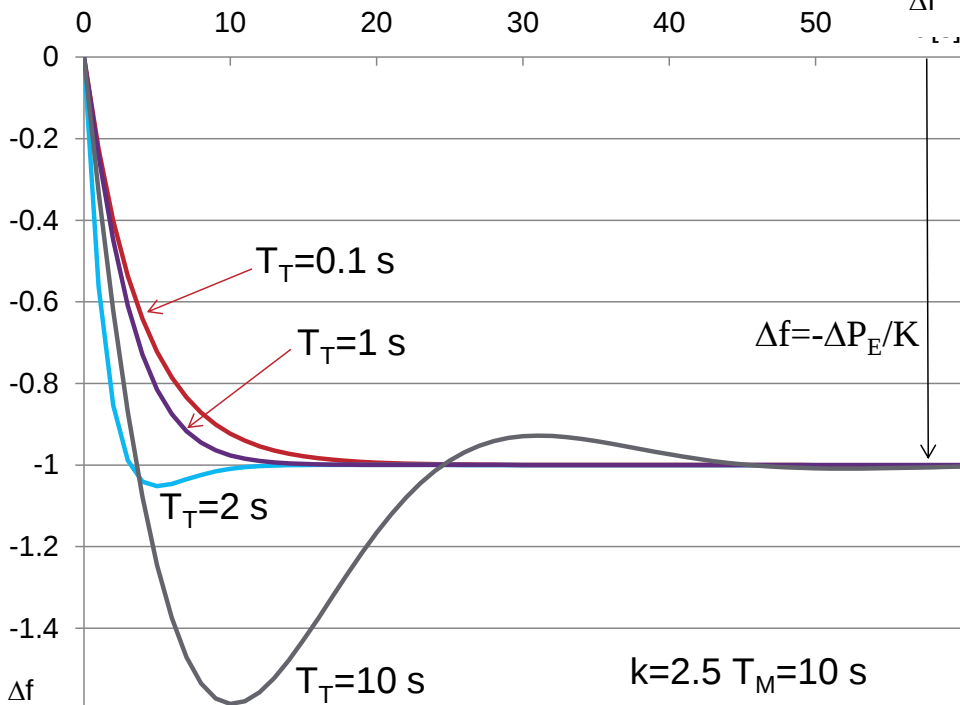


$$J \cdot \frac{dn}{dt} = M_{\text{mech}} - M_{\text{el}}$$

$$T_M \cdot \frac{df}{dt} = \Sigma(P_M - P_E)$$



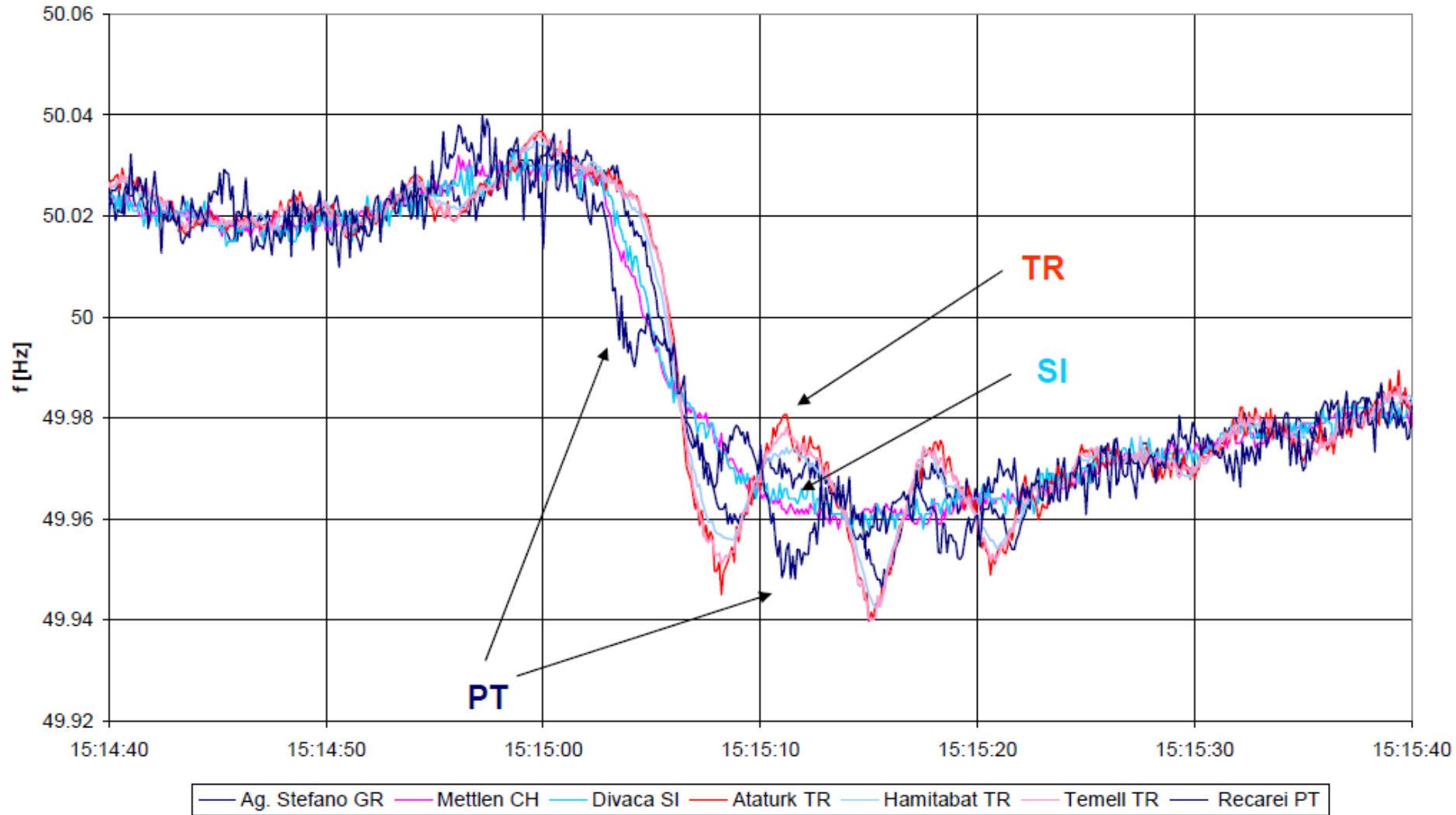
## Synchronní propojení Primární regulace $f$



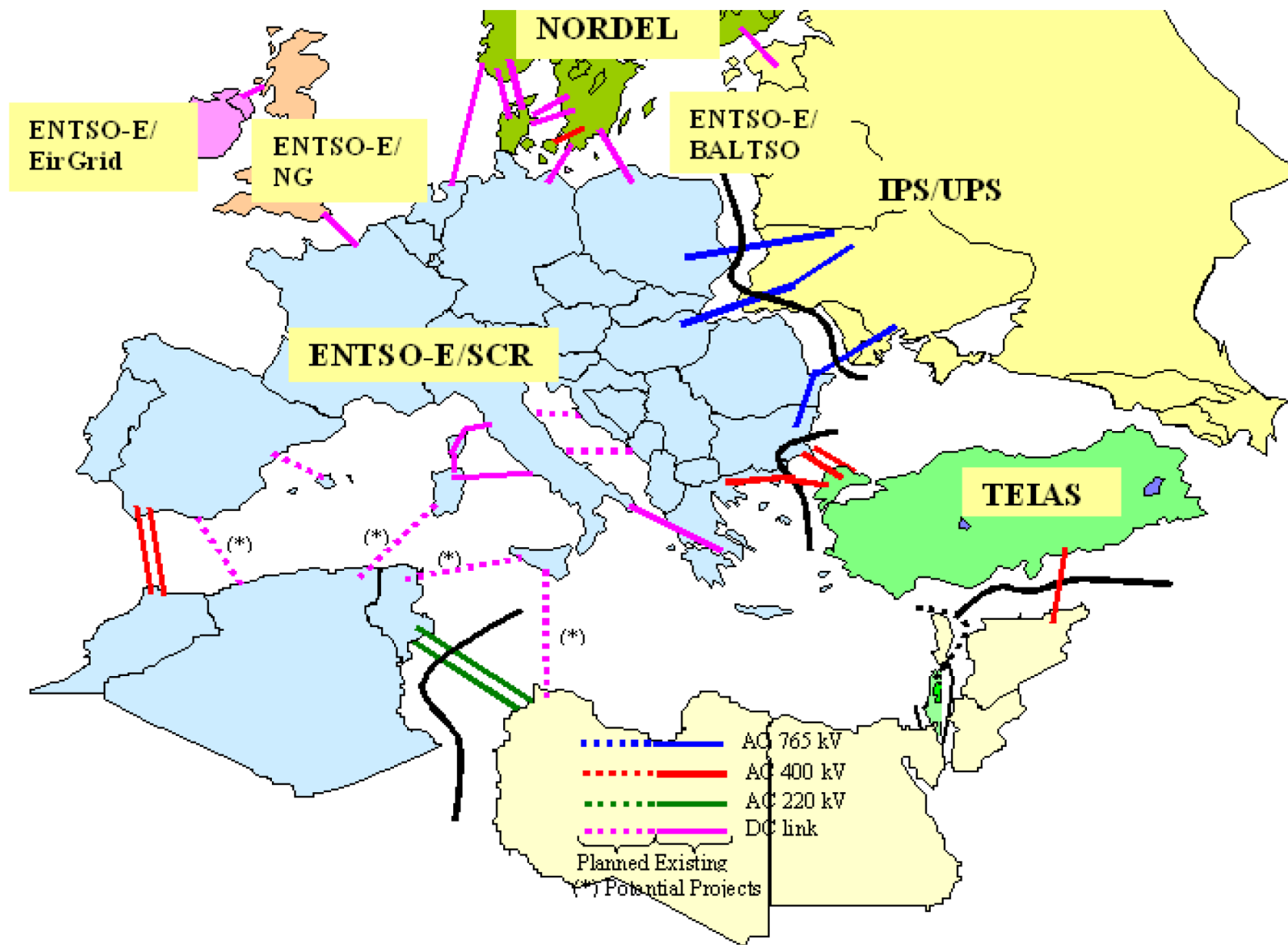
Ostrovní provoz  
Regulace otáček

Průběh frekvence  $\Delta f$   
při deficitu  $\Delta P_E$

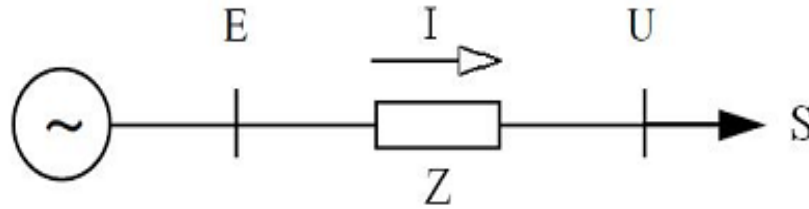
# Výpadek 1500 MW s připojeným Tureckem



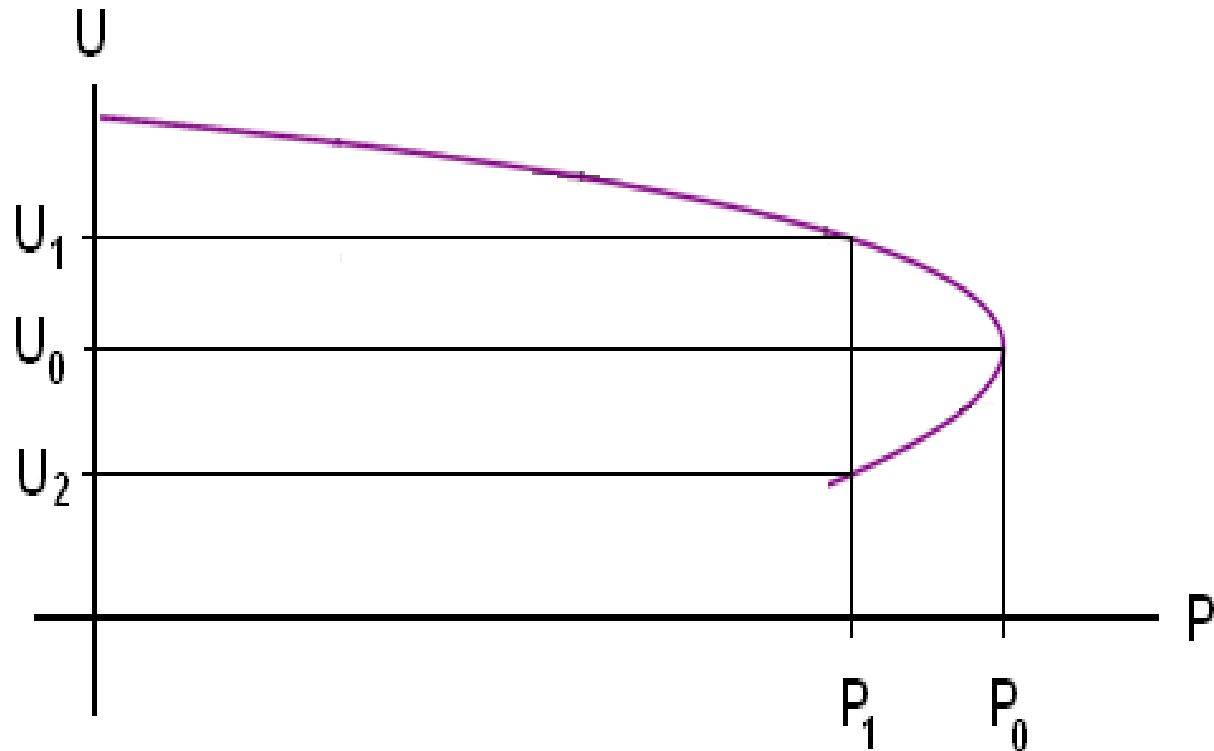
# Rozšiřování kontinentálního propojení



# Napět'ová stabilita - zjednodušený pohled



$$\hat{E} - \hat{U} = \sqrt{3} \hat{Z} \hat{I}$$



C  
E  
E

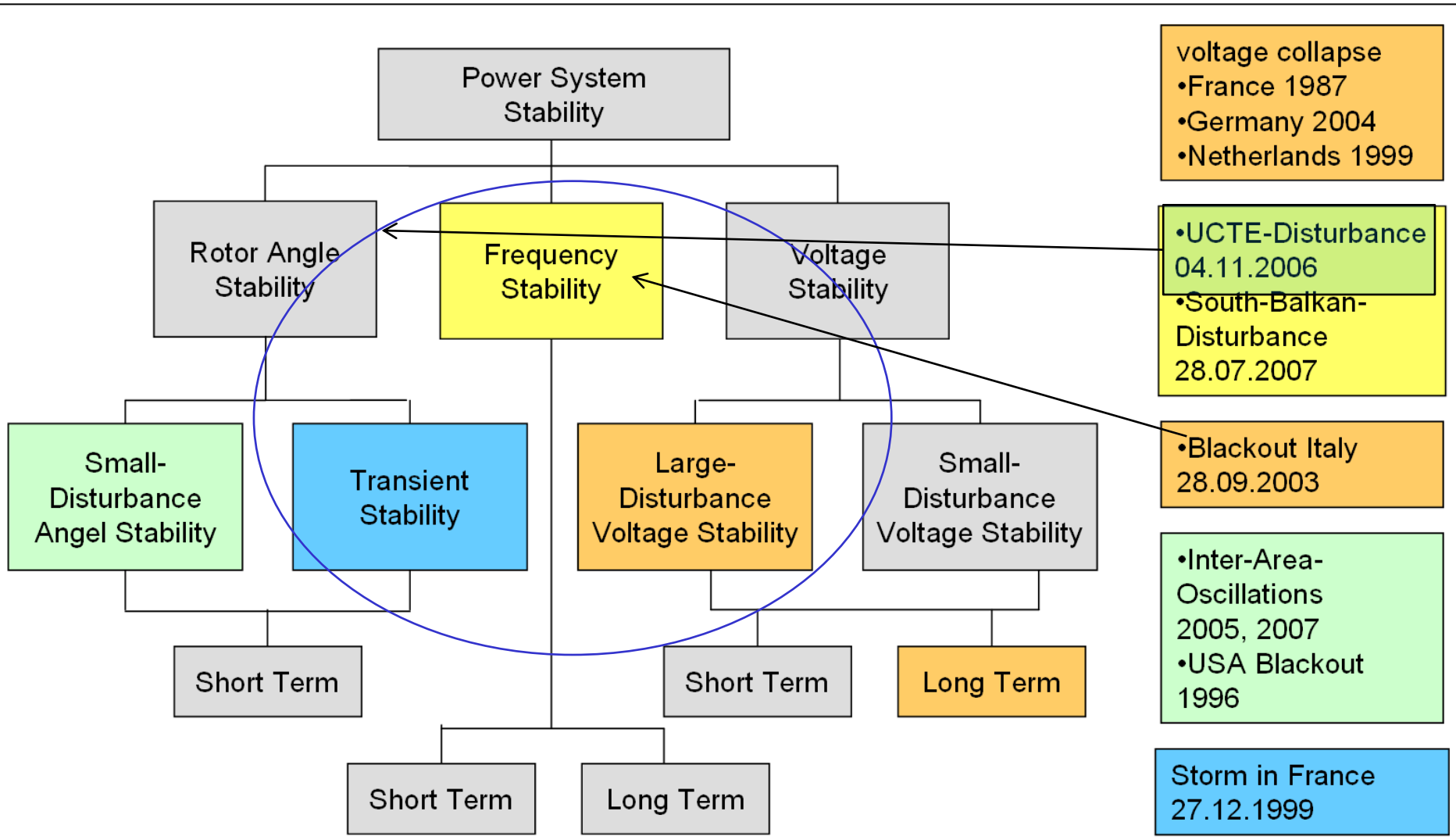


# Napět'ová stabilita – reálné faktory

- zatížení asynchronní motory –lavina napětí,
- činnost hladinových regulátorů napětí (HRT)
- činnost podpět'ových ochran (na vlastní spotřebě)
- činnost omezovačů rotorového proudu v regulátorech  
buzení
-

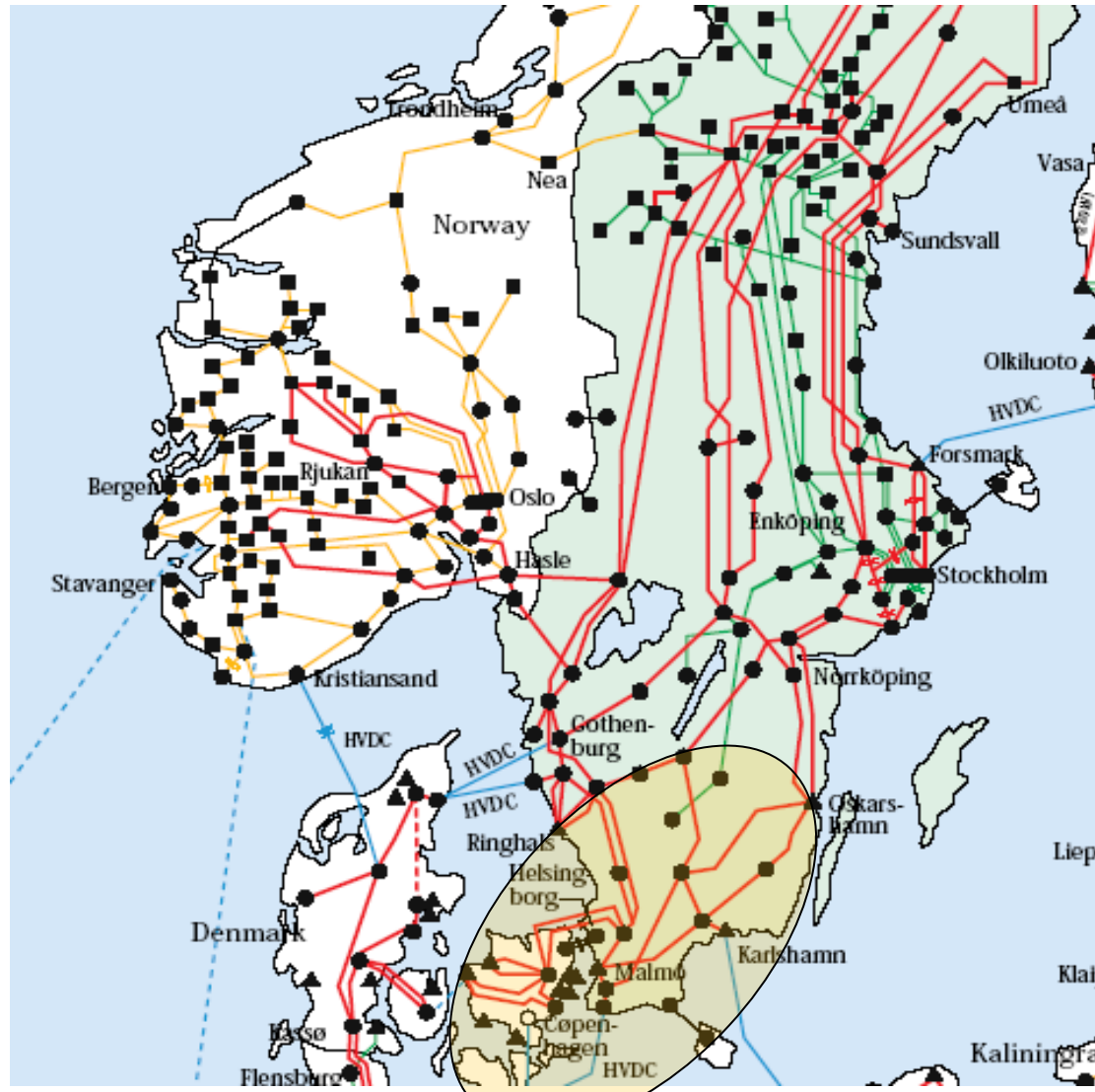
# Stabilita ES

## příklady reálných poruch



# Blackout již. Švédsko a vých. Dánsko

## 23.9. 2003

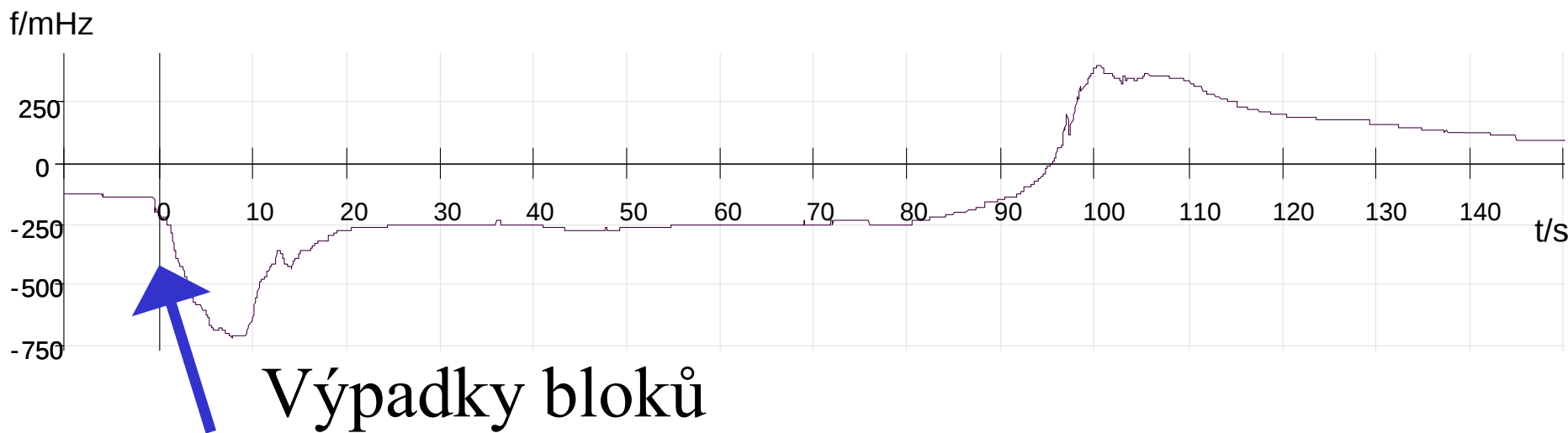
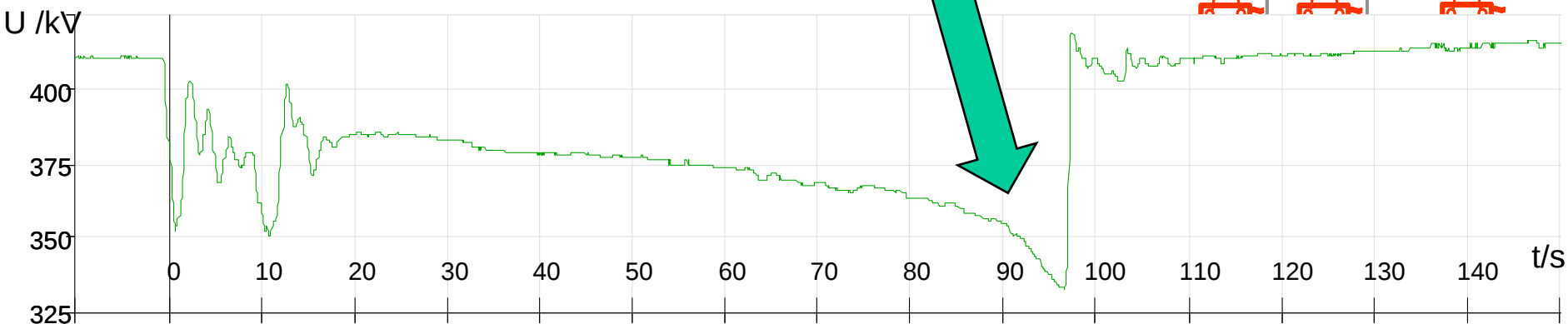
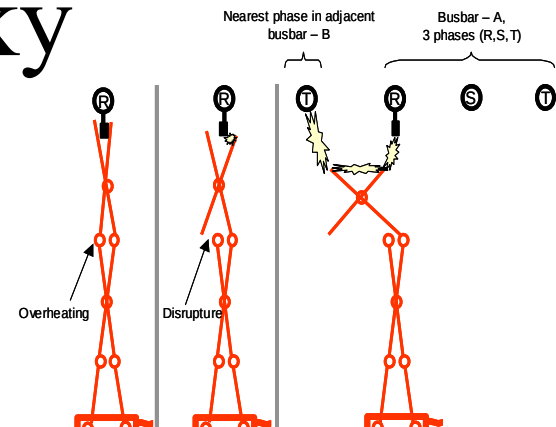


**Zdroj:** The black-out in southern Sweden and eastern Denmark, 23 September, 2003

# Iniciační porucha – důsledky

Napět'ový kolaps

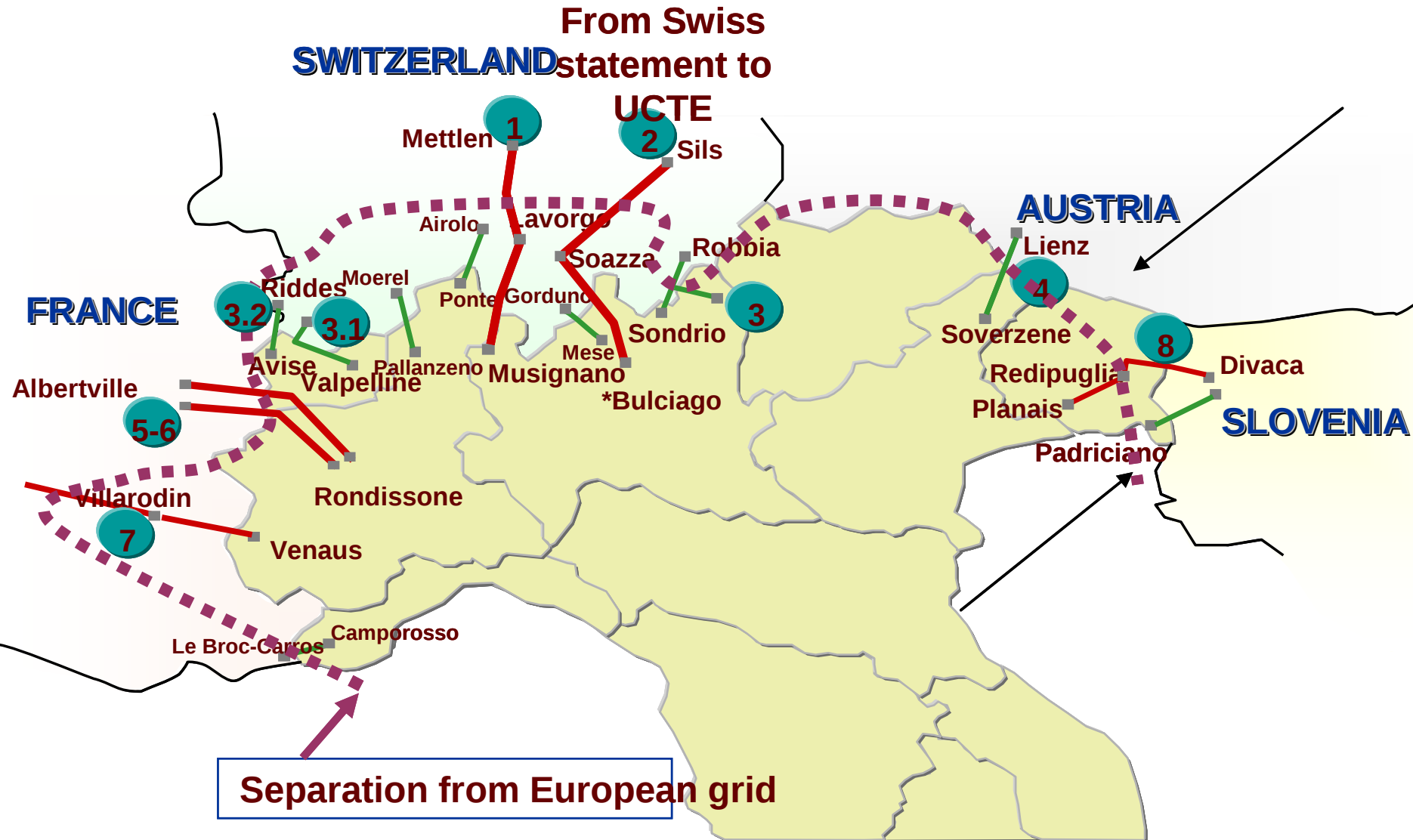
přepínání odboček traf



Výpadky bloků

# Blackout Itálie

28.9. 2003

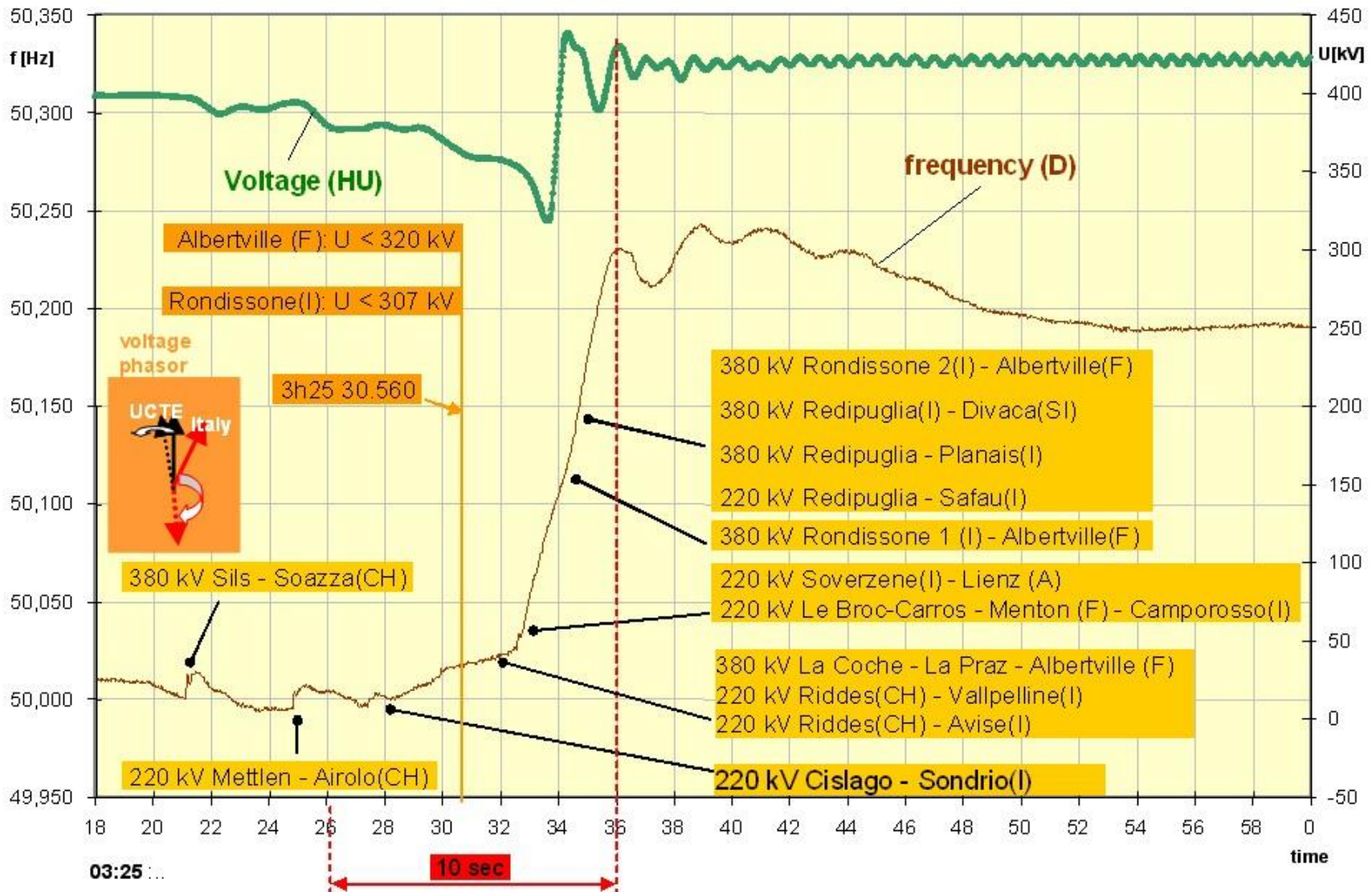


# Blackout Itálie

f, U – Uchtelfangen (D) / Heviz (HU)

28.09.2003; 03:25 (UTC)

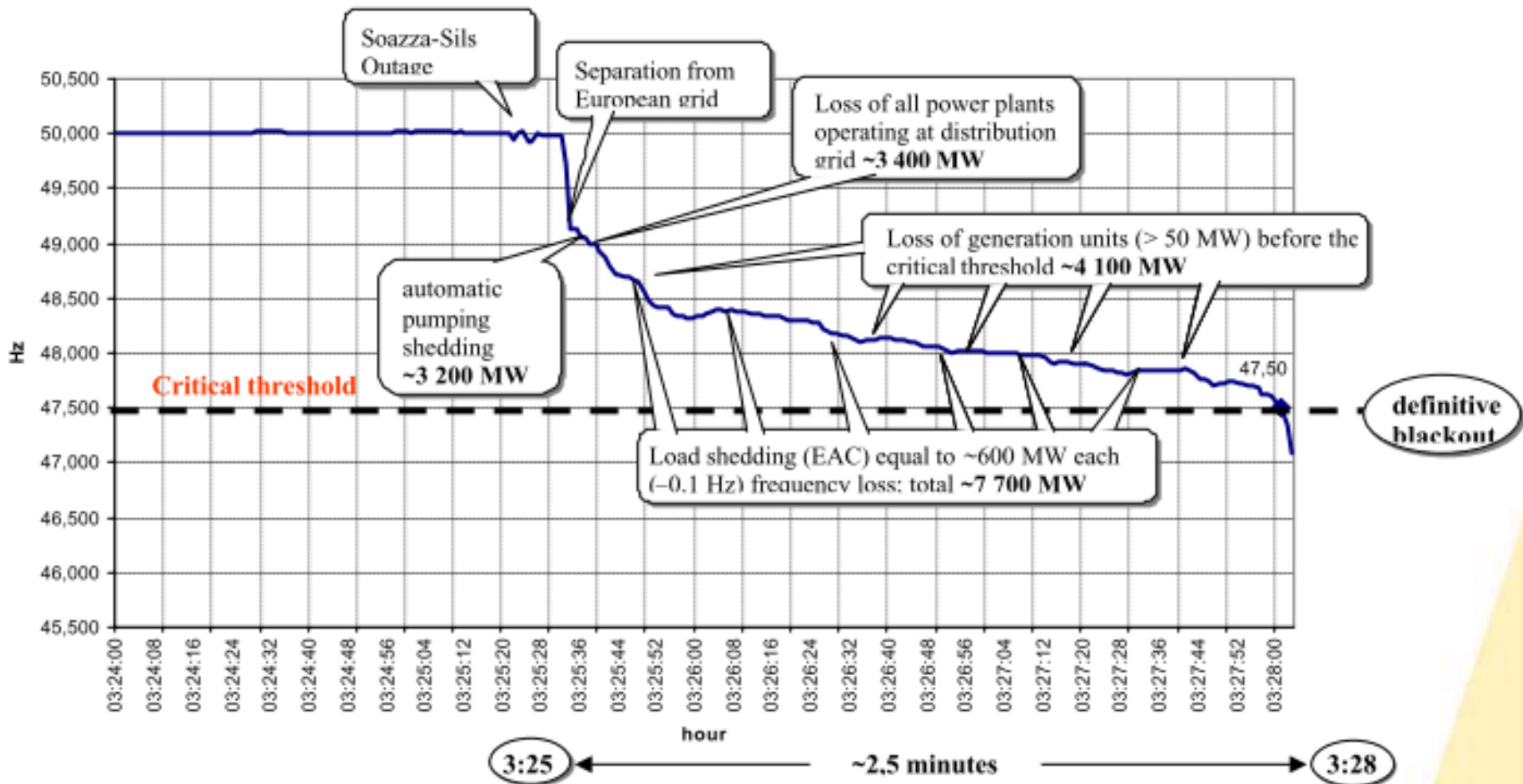
Indication of line trippings



# Blackout Itálie

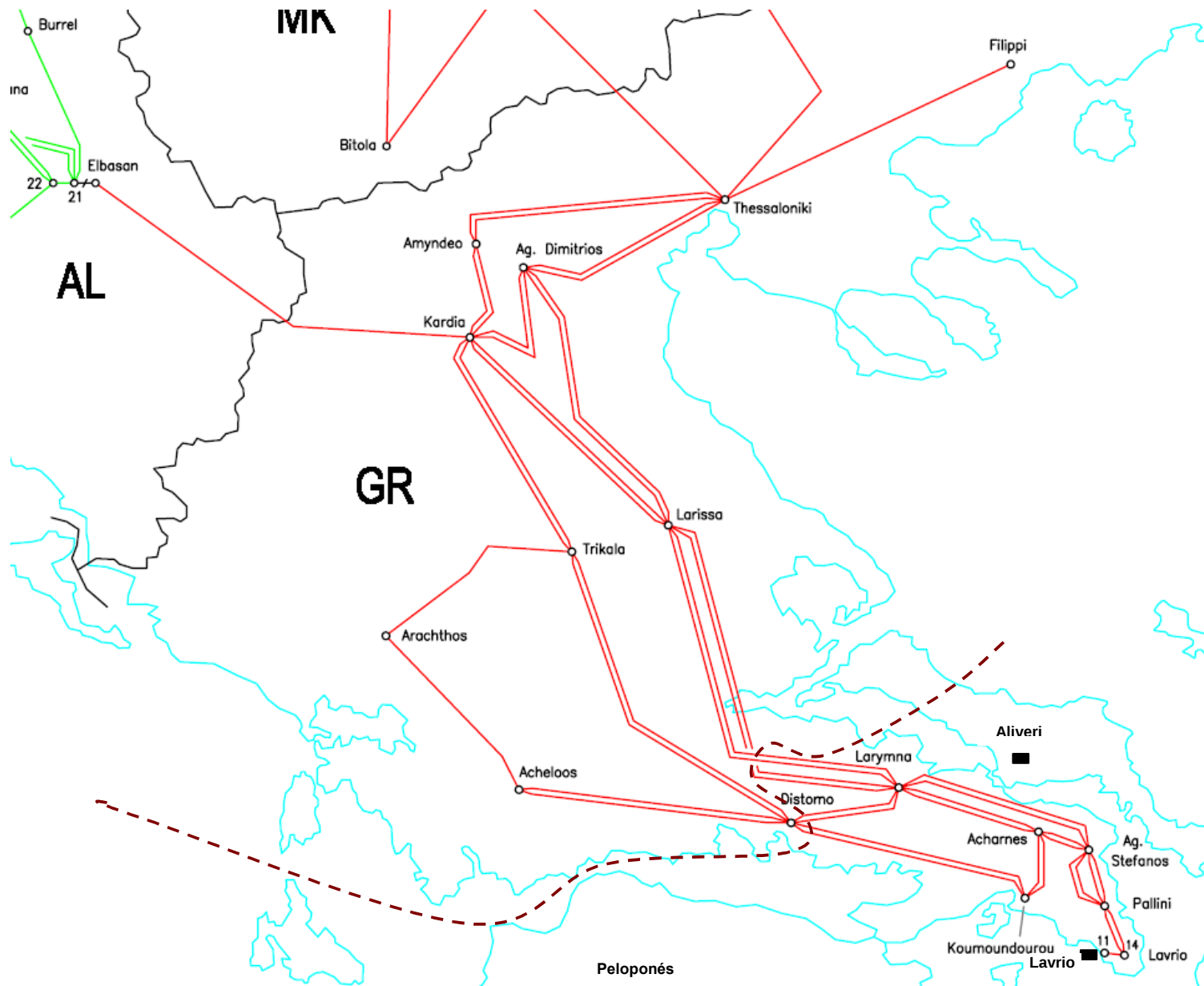
## frekvenční kolaps

Frequency behaviour in Italy in the transitory period



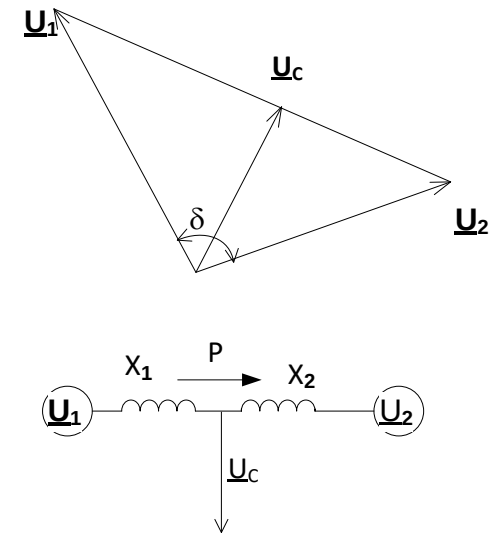
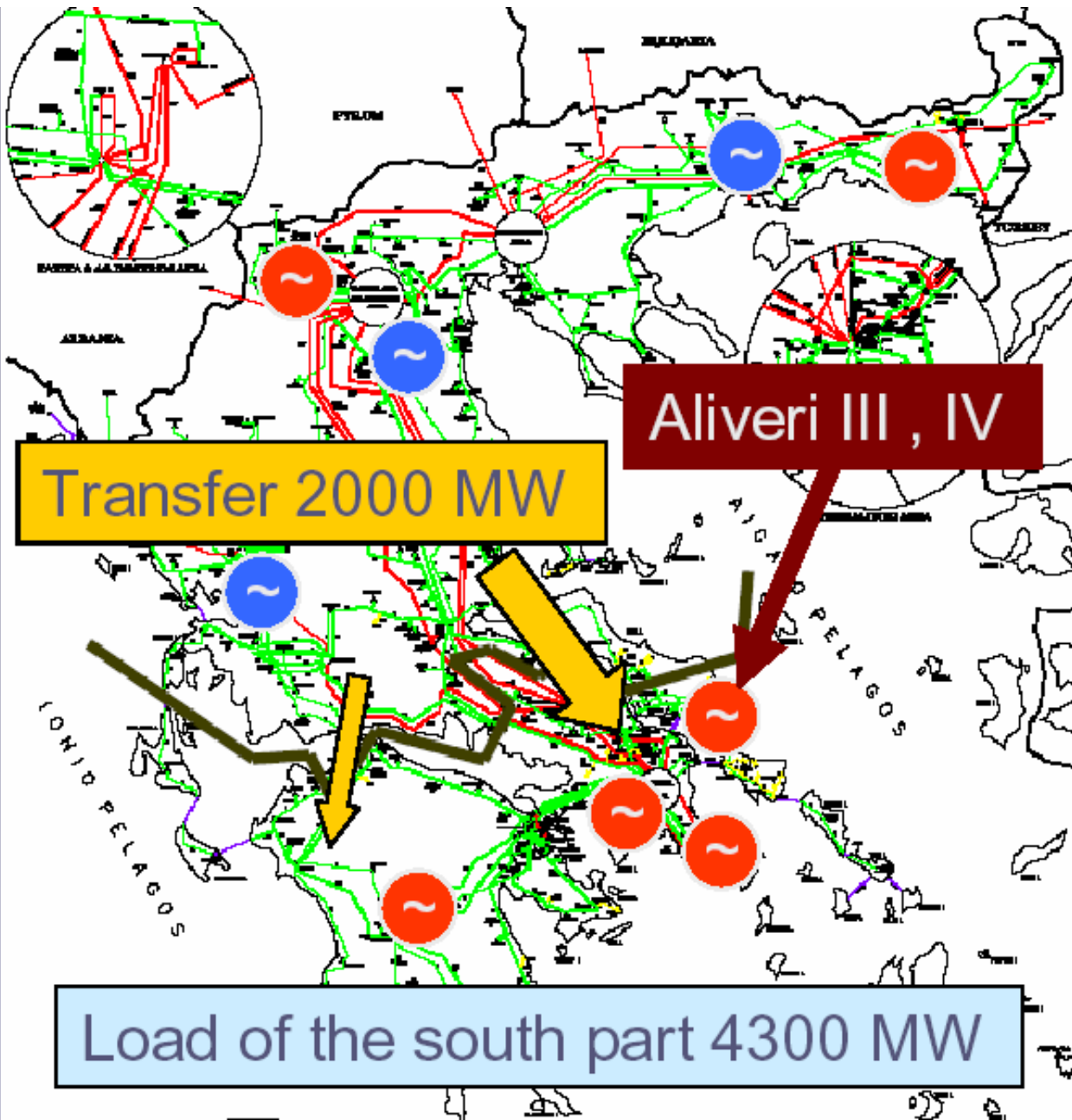
# Blackout jižního Řecka

(poloostrov Pelopones+Attika vč. Atén) 12.7.2004



# Iniciační porucha – důsledky

Napět'ový kolaps +  
Ztráta uhlové stability



1. Výpadek Lavrio II  
300 MW
2. Odlehčení Atén 80  
MW
3. Výpadek Aliveri III  
150 MW
4. Výpadek Aliveri IV  
150 MW

.....

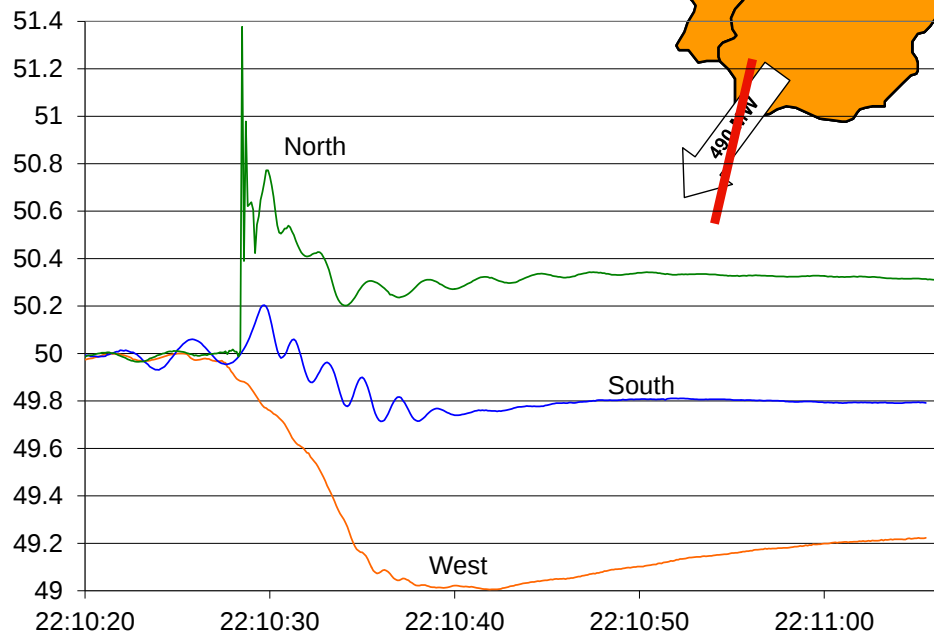
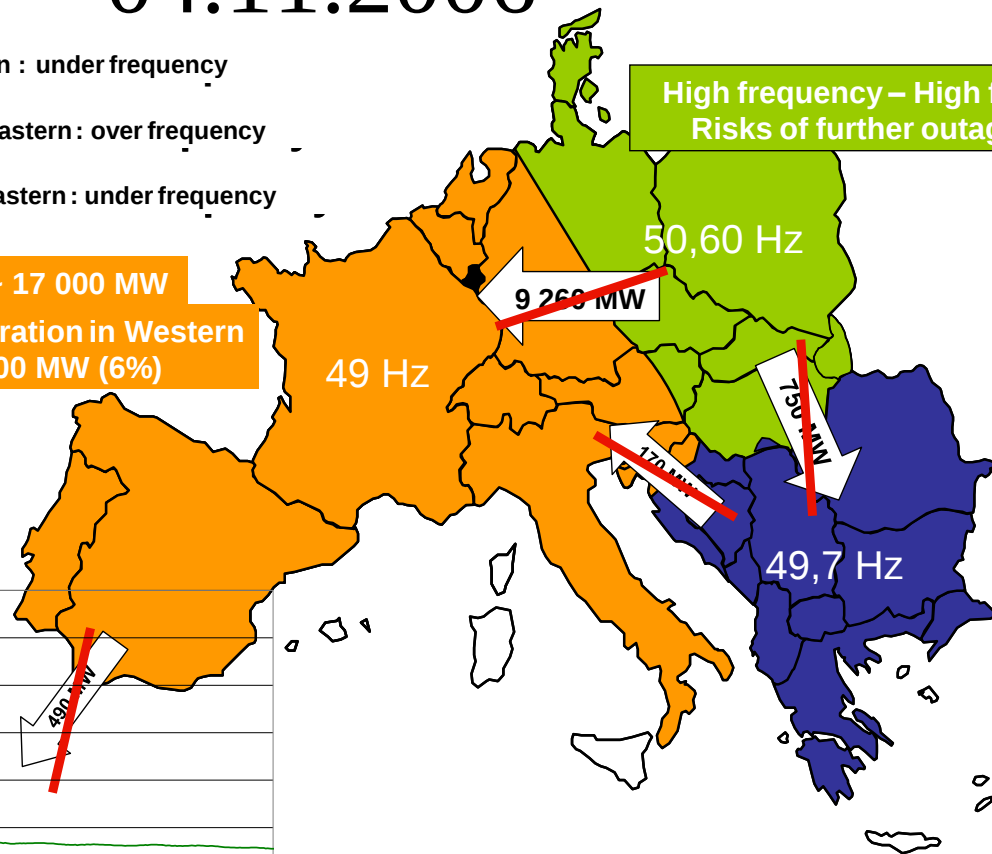
# Rozpad propojení UCTE

04.11.2006

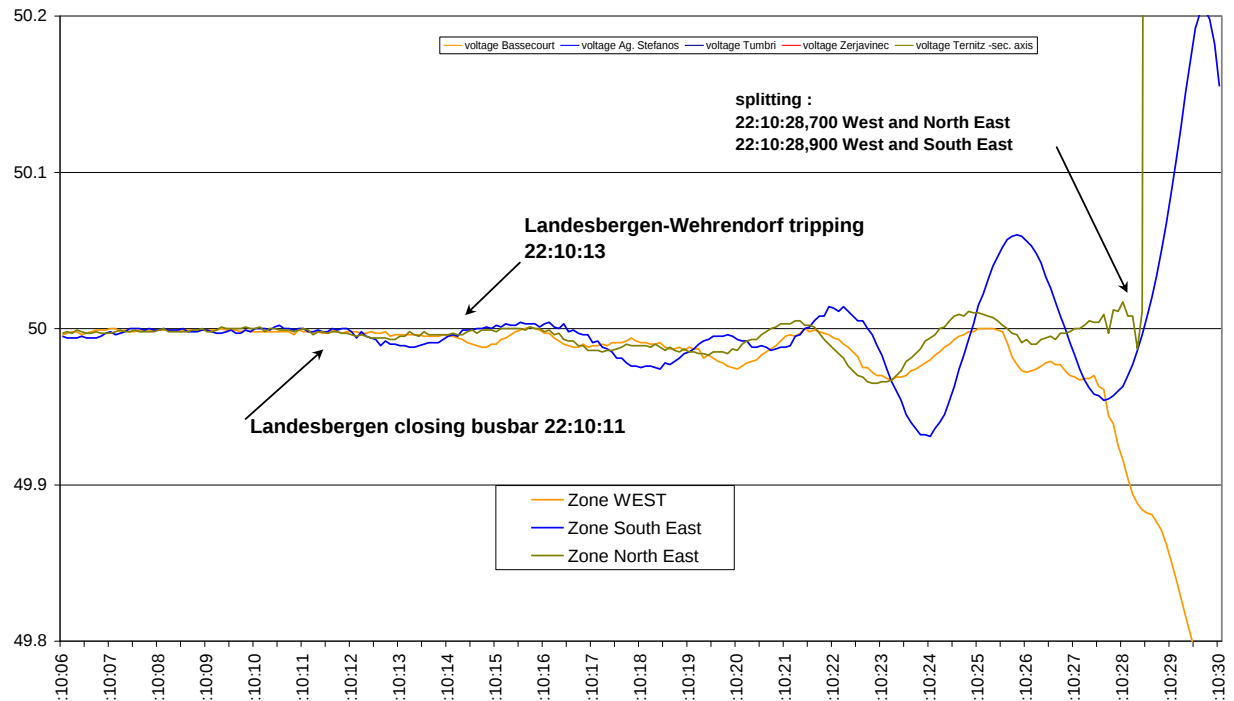
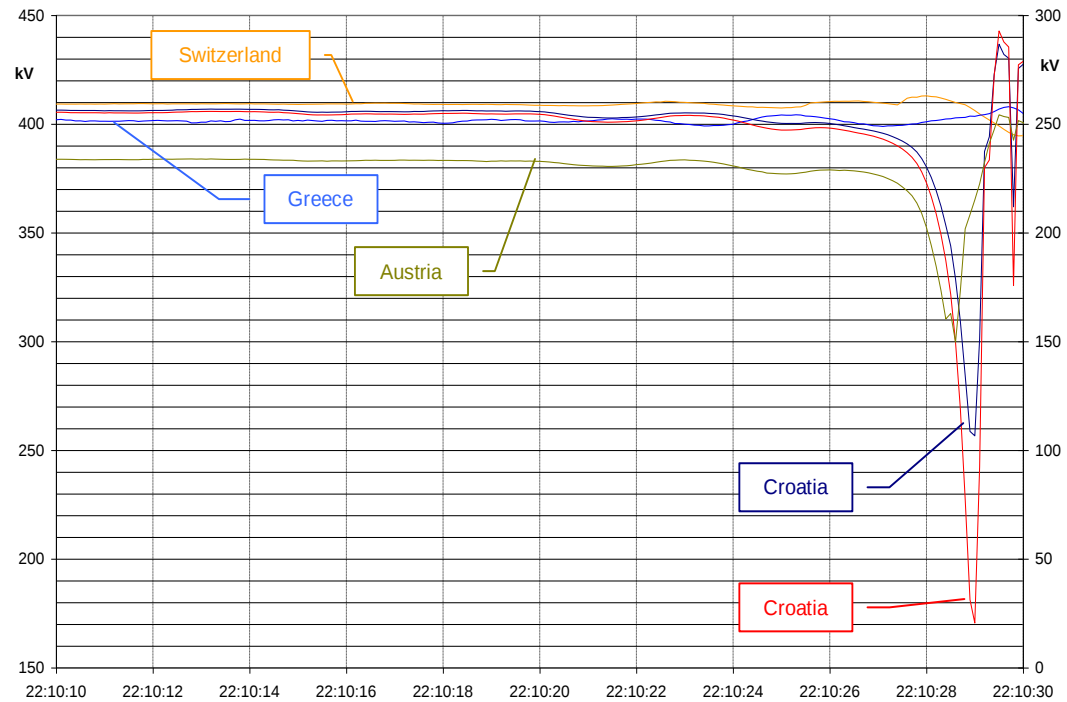
- Western : under frequency
- North Eastern : over frequency
- South Eastern : under frequency

High frequency – High flows  
Risks of further outages

Total load shed :~ 17 000 MW  
Total tripped generation in Western  
area :~ 10 900 MW (6%)



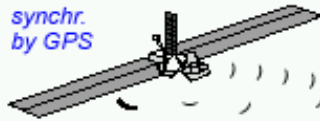
# Rozpad propojení UCTE



# WAMS

- 1 Cartelle
- 2 Montearenas
- 3 Aldeadavila
- 4 Cedillo
- 5 Pinar del Rey
- 6 San Sebastian de las Reyes
- 7 Hernani
- 8 Arkale
- 9 Biescas
- 10 Vic
- 11 Rubi
- 12 Benejama
- 13 Cantegrit
- 14 Tabarderie
- 15 Barnabas
- 16 Albertville
- 17 Uchtelfangen
- 18 Rommerskirchen
- 19 Remptendorf
- 20 Krajnik (power plant)
- 21 Wielopole
- 22 Rogowiec
- 23 Polaniec
- 24 Győr
- 25 Gőd
- 26 Sajoszögéd
- 27 Heviz
- 28 Paks
- 29 Fier
- 30 Tantaraeni
- 31 Blagoevgrad
- 32 Ag. Stefanos

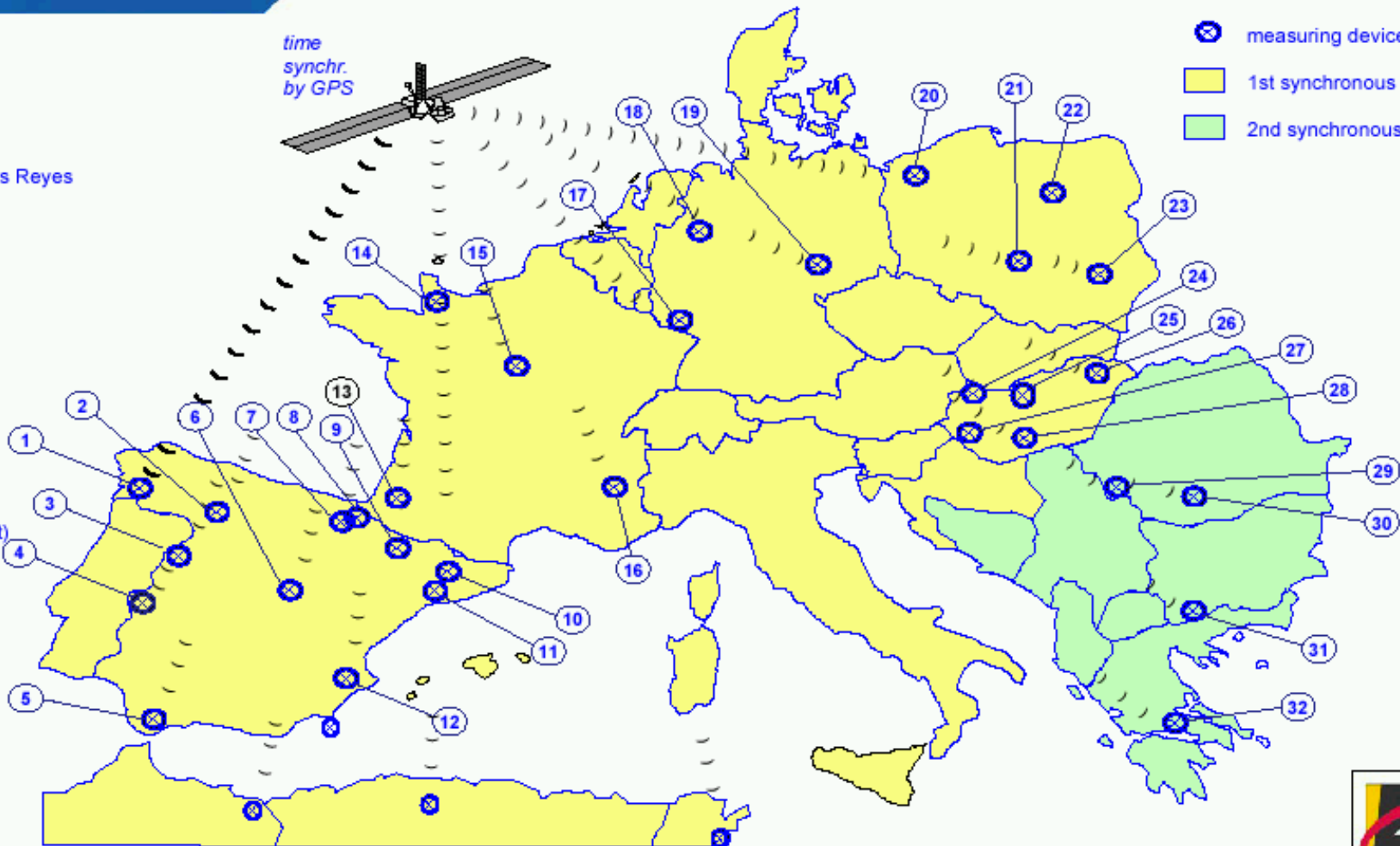
time  
synchr.  
by GPS

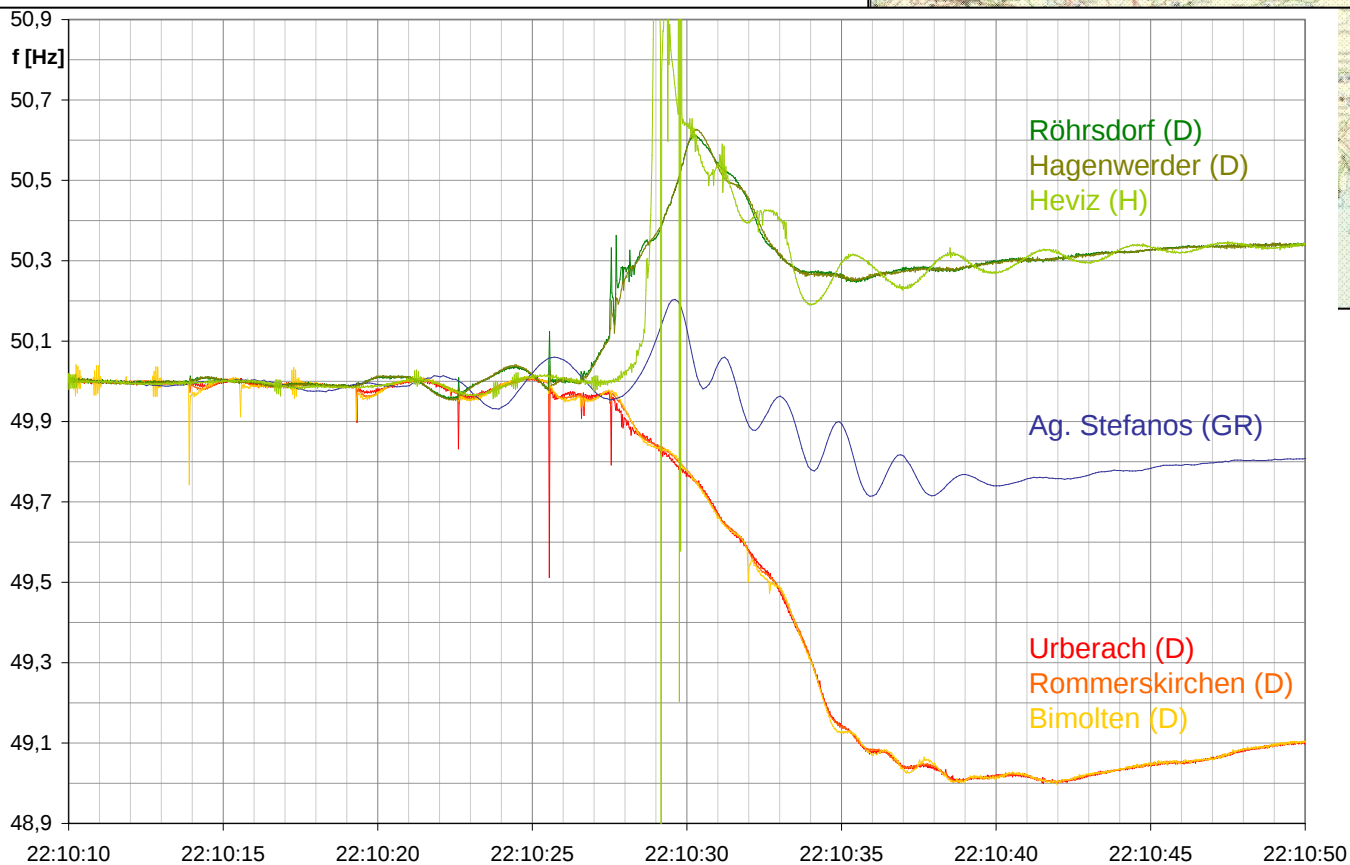
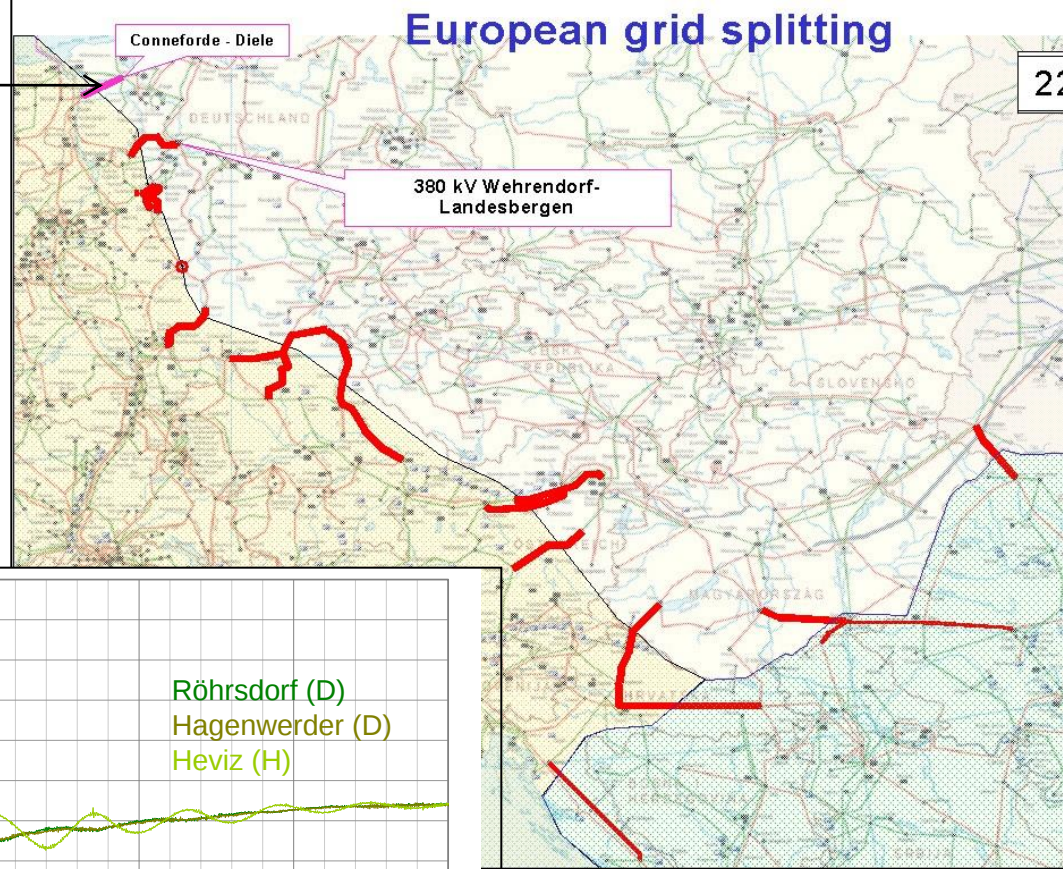


⊗ measuring device

1st synchronous zone

2nd synchronous zone





# Měření WAMS

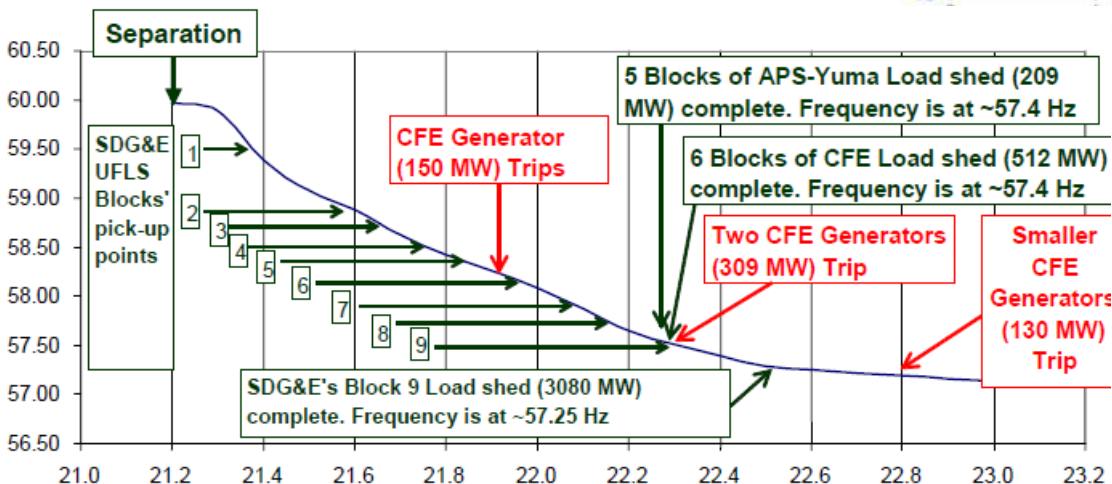
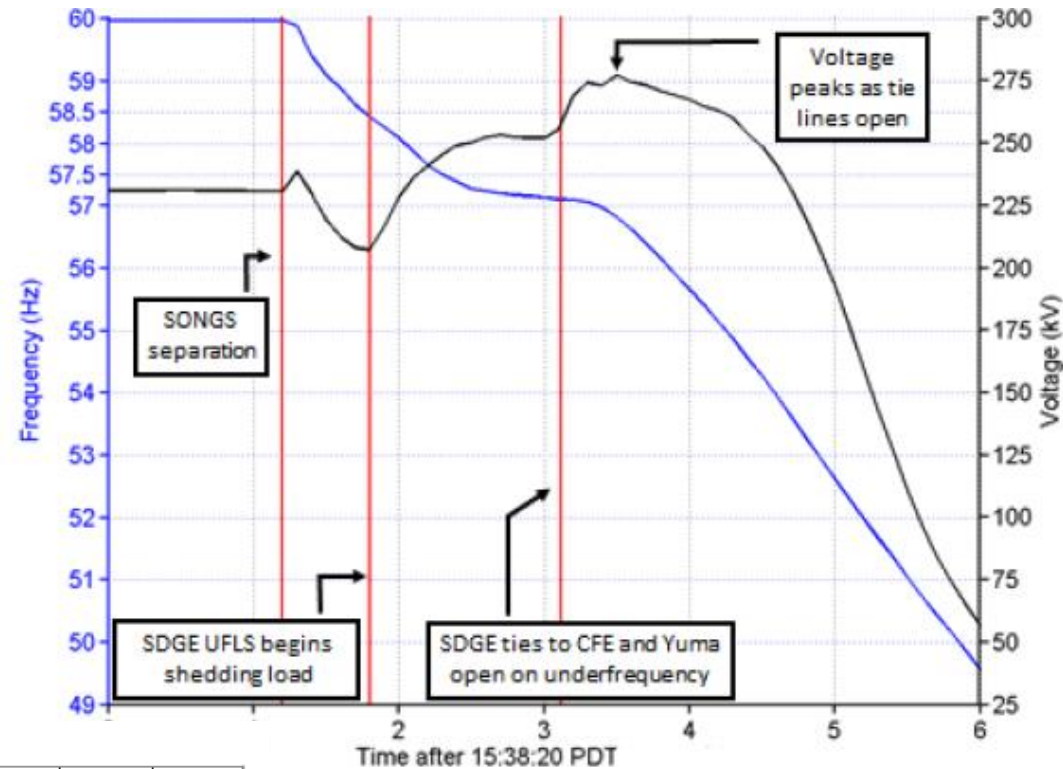
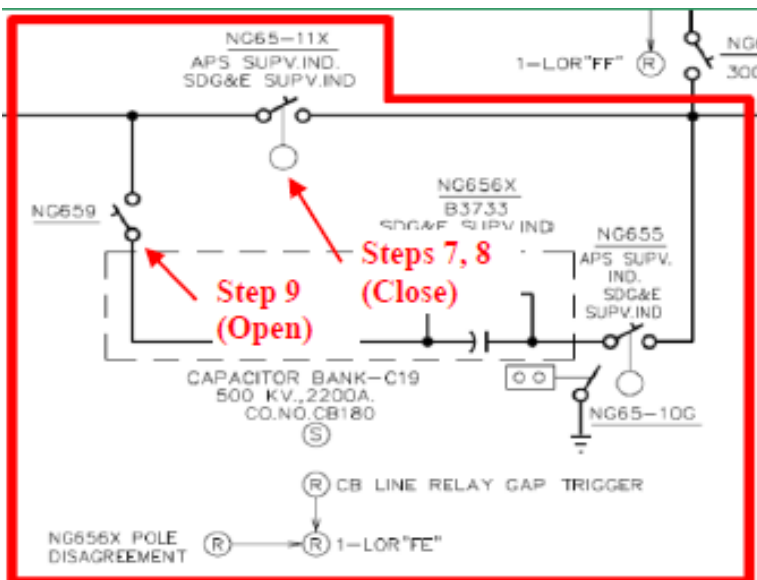
# Blackout USA (Ar, Ca)+Mexiko

8.9. 2011



Zdroj: Arizona-Southern California Outages on September 8, 2011, FERC/NAERC report, April 201

# Iniciační porucha – důsledky

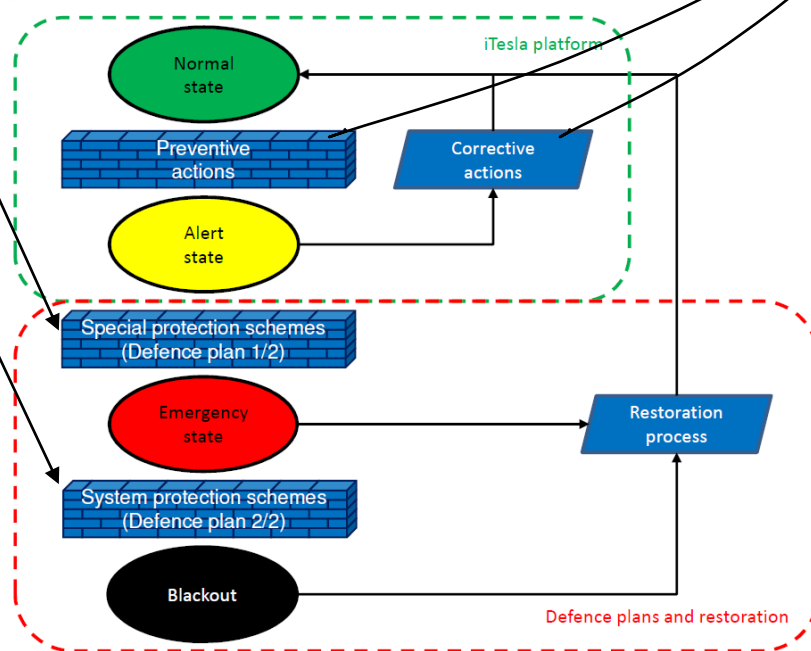


# Blackouty – shrnutí

| Blackout                    | Iniciační porucha                      | Příčina                               | Následek                                                                                       | Pozn.                             |
|-----------------------------|----------------------------------------|---------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|
| Dánsko Švédsko<br>23.9.2003 | Výpadek rozvodny                       | Technická závada                      | Ztráta <b>uhlové stability</b><br>Kaskáda výpadků vedení<br>Ztráta <b>frekvenční stability</b> | Částečný BO                       |
| Itálie<br>28.9.2003         | Výpadek vedení                         | Vysoké přetoky                        | Ztráta <b>uhlové stability</b><br>Kaskáda výpadků vedení<br>Ztráta <b>frekvenční stability</b> | Úplný BO                          |
| Řecko<br>12.7.2004          | Výpadek bloku                          | Technická závada                      | Ztráta <b>uhlové stability</b><br>Kaskáda výpadků vedení<br>Ztráta <b>frekvenční stability</b> | Částečný BO                       |
| Rozpad UCTE<br>04.11.2006   | Rozpojení spínače přípojníc            | Neproveden kontrolní výpočet důsledků | Ztráta <b>uhlové stability</b><br>Kaskáda výpadků vedení<br>Rozdělení synchron. propojení      | Působení frekvenčního odlehčování |
| USA a Mexiko<br>8.9. 2011   | Vypínání odpojovačem<br>Výpadek vedení | Chyba obsluhy                         | Ztráta <b>uhlové stability</b><br>Kaskáda výpadků vedení<br>Ztráta <b>frekvenční stability</b> | Částečný BO                       |
| Holandsko<br>27.3.2015      | Vypínání odpojovačem                   | Technická závada + chyba obsluhy      | Výpadek rozvodny<br>Ztráta <b>frekvenční stability</b>                                         | Částečný BO                       |
| Turecko<br>31.3.2015        | Výpadek vedení                         | Vysoké přetoky                        | Ztráta <b>uhlové stability</b><br>Kaskáda výpadků vedení<br>Ztráta <b>frekvenční stability</b> | Úplný BO                          |

# Závěry

- Přes plánování a dodržování standardů bezpečnosti provozu (kritérium N-1) může dojít k systémové poruše spojené se ztrátou stability, napětovým a frekvenčním kolapsem
- Je nutné mít vypracované Plány obrany proti šíření poruch:
  - nastavení distančních ochran
  - rychlé budicí soupravy
  - blokování HRT při podpětí
  - frekvenční odlehčování zátěže
  - přepínání regulací turbíny ....



Zdroj: Defence plans and restoration, Final iTesla Workshop Network Security Assessment 4-5.12.2015, (<http://www.itesla-project.eu/key-project-events>)

- Vyšetřování poruch zjednodušují systémy **WAMS**
- Analýzu rovněž usnadňují **sít'ové simulátory**