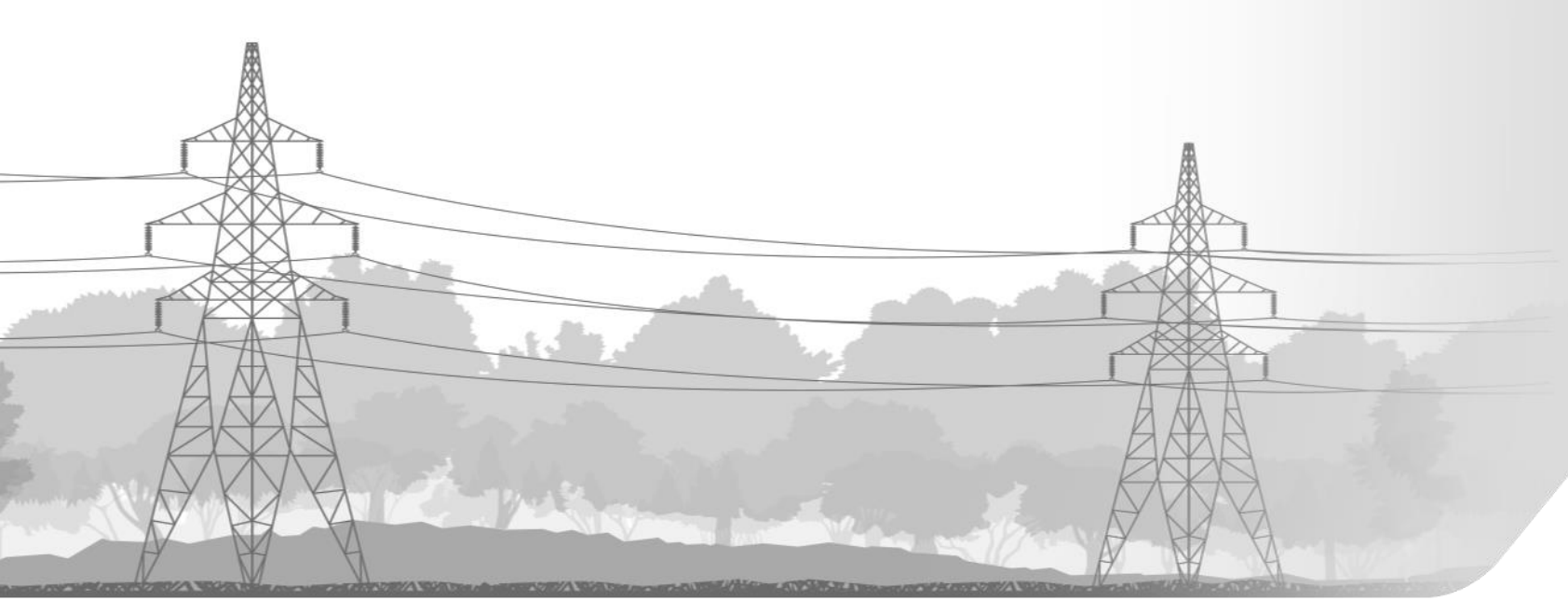


Erőművi Lengéscsillapítók
PSS-ek Szerepe a Hazai és Európai Rendszerstabilitásban

8. Védelmi és Irányítástechnikai Fórum

Gregus Zoltán

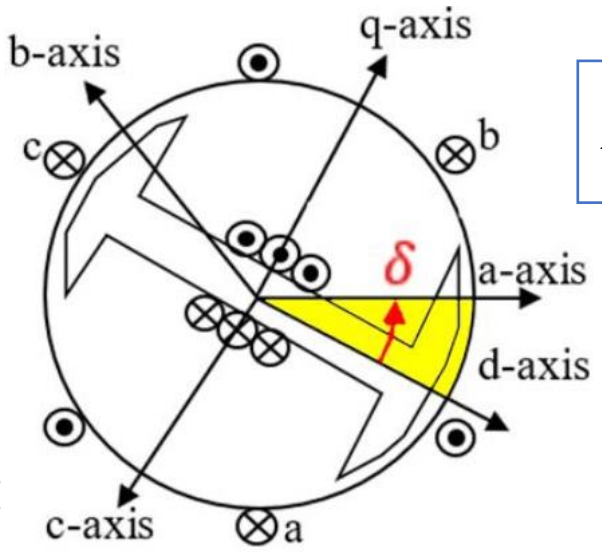
gregusz@mavir.hu

2023.05.24.

Hálózat stabilitása – rotor szögstabilitás

Stabilitás – zavarás hatására beáll-e új stabil munkapont?

- „Nagyjelű stabilitás" (transient stability, first swing stability)
  - Nagy változások – közeli zárlat hatása
  - Kritikus zárlathárítási idő
  - Gyors rágerjesztés – tirisztoros gerj.
- **„Kisjelű stabilitás" (small signal stability)**
  - Lengési hajlam – csillapító nyomaték



$$P_{vill} = \frac{|E_{gen}| \cdot |E_{hál}|}{X_{egyenérték}} \cdot \sin\delta$$

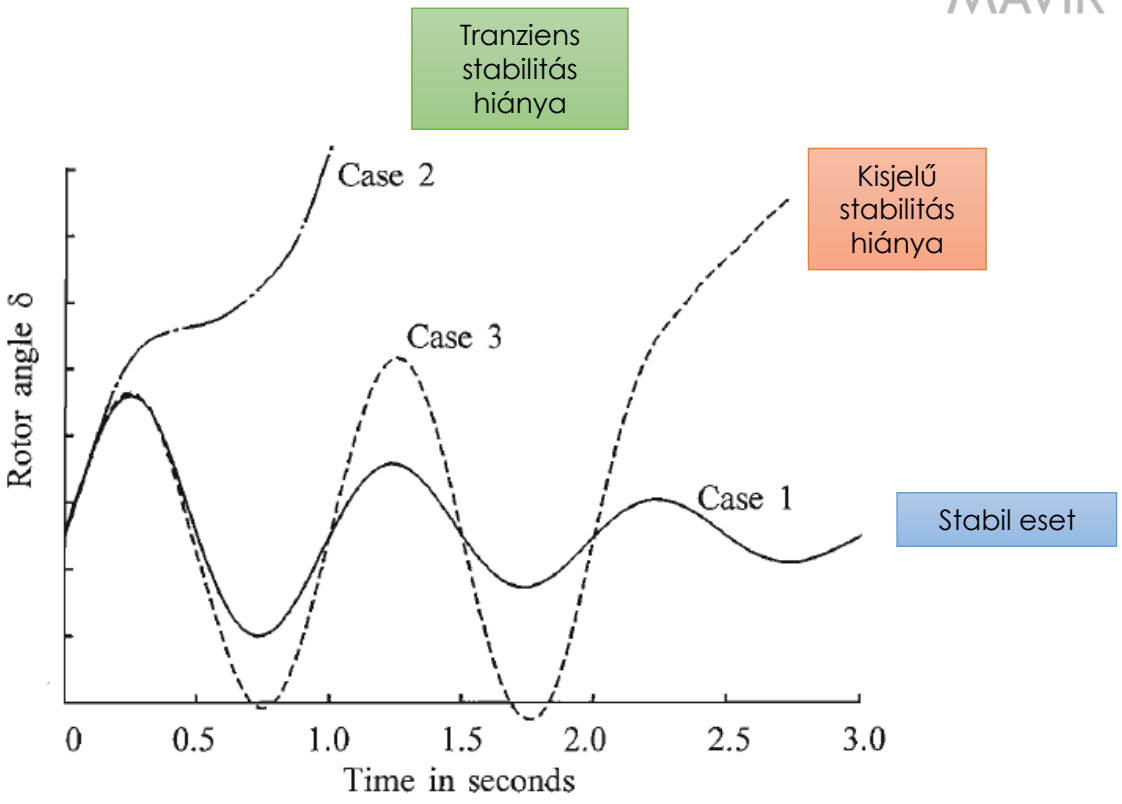


Figure 2.3 Rotor angle response to a transient disturbance

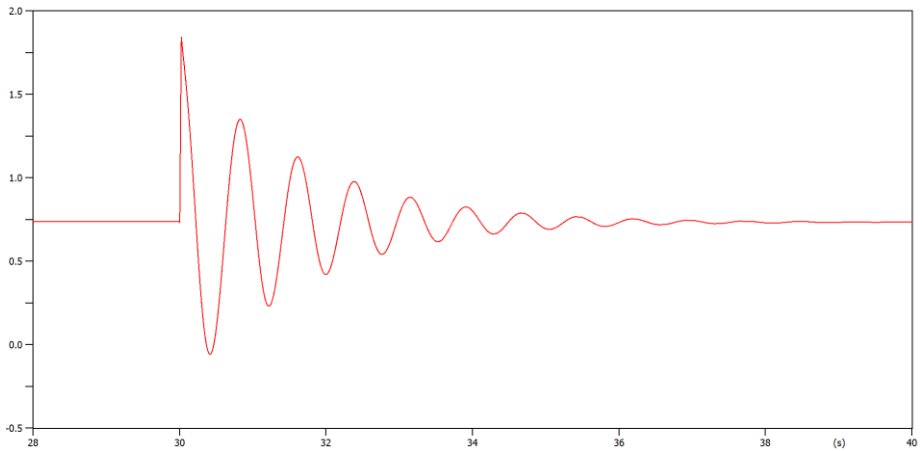
Forrás: Hidayat, Izza, Putri – Analysis of Transient Stability in Synchronous Generator Using Nyquist Method

Kisjelű stabilitás – kiemelt lengési frekvenciatartományok

Sajátfrekvenciás lengés (local mode)

- Turbógenerátor gépcsoport – külső hálózat elektromechanikus lengése
- Jellemző frekvencia: 1 – 1,3 Hz
- Generátor inercia, tranziens reaktancia, hálózati reaktancia, terhelési állapot…

Sajátfekvencia $$\omega_n = \sqrt{\frac{E' \cdot E_{sys}}{X'_d + X_{sys}} \cdot \cos\delta_0 \cdot \frac{\omega_0}{2 \cdot H}}$$



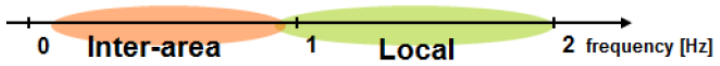
Nagy terhelés bekapcsolása, generátor Pe(t) (v.e.) – modell számítás

Rendszerközi lengések (inter-area mode)

- Alacsonyabb, 0.1 – 1 Hz közötti frekvencia
- Adott, területileg behatárolható rendszer lengése a rendszer többi részéhez képest

Egyéb lengési jelenségek:

- Erőművön belüli, gépek közötti lengések
- Torziós lengések (> 5 Hz)

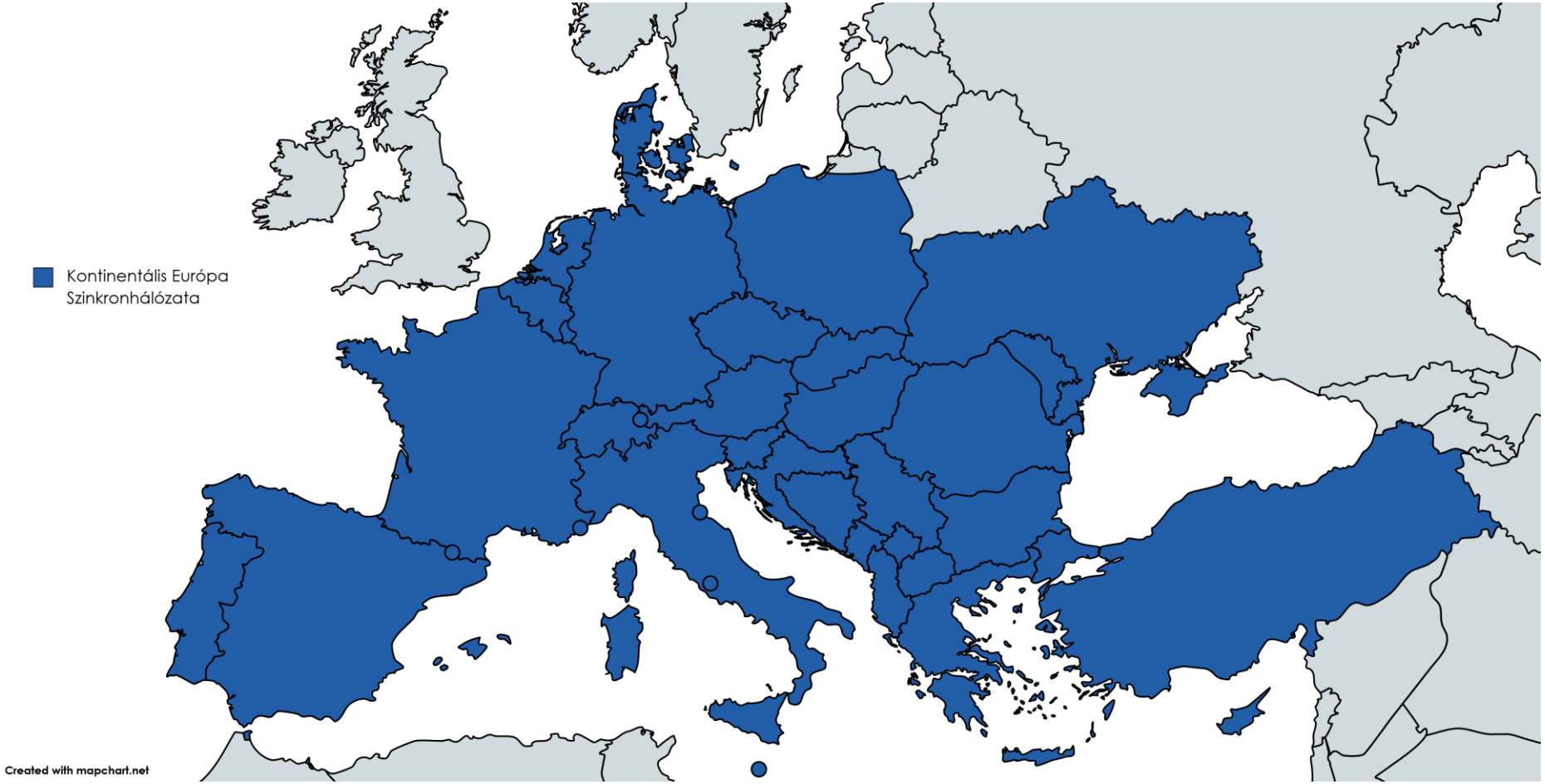


Hálózati környezet – szinkron járó terület

ENTSO-E RGCE

- Törökország
- Ukrajna
- Moldova

Jelentős K-Ny és É-D irányú kiterjedés



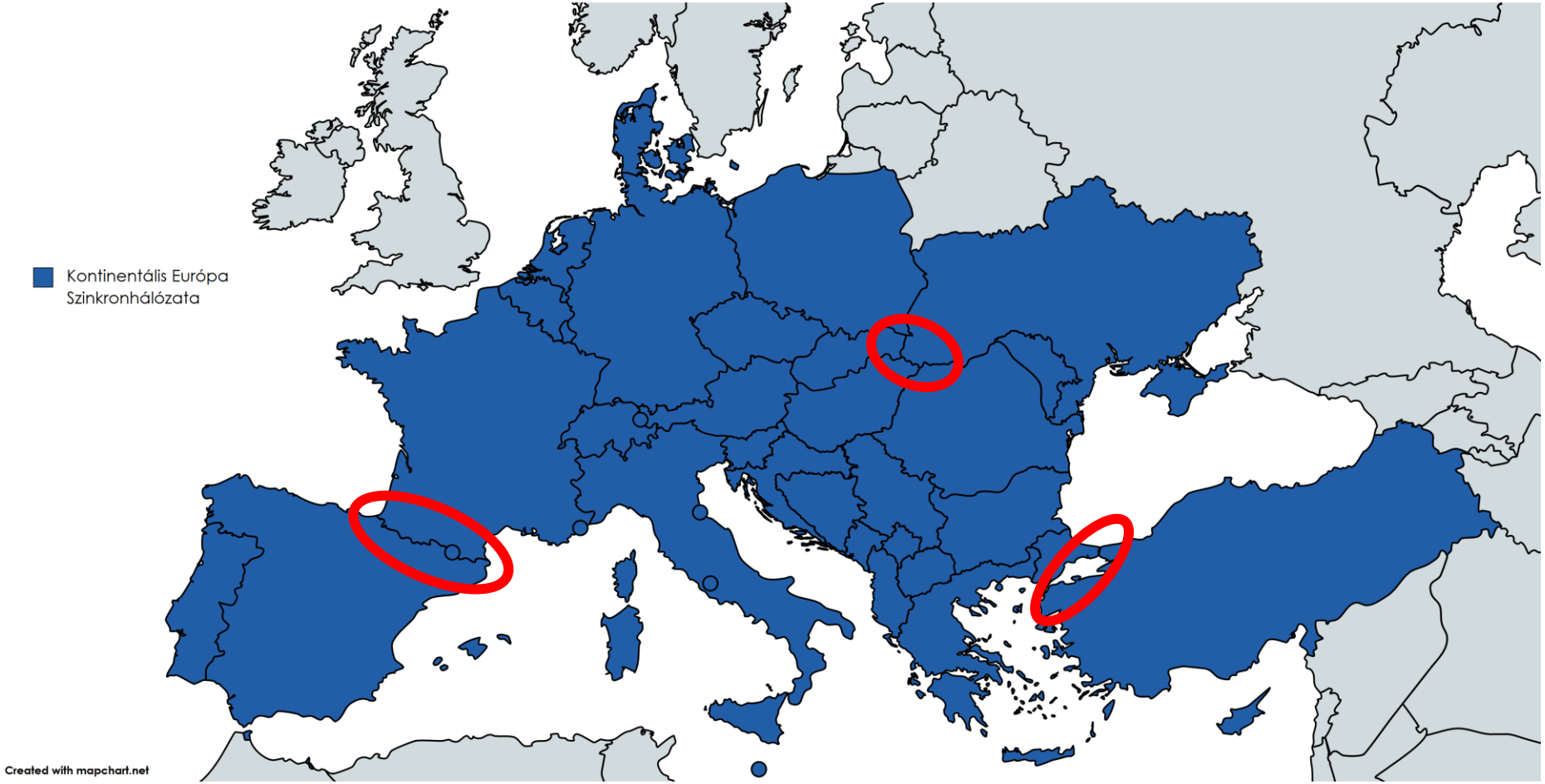
Hálózati környezet – szinkron járó terület

ENTSO-E RGCE

- Törökország
- Ukrajna
- Moldova

Jelentős K-Ny és É-D irányú kiterjedés

Átviteli hálózati szűkületek – gyenge kapcsolat



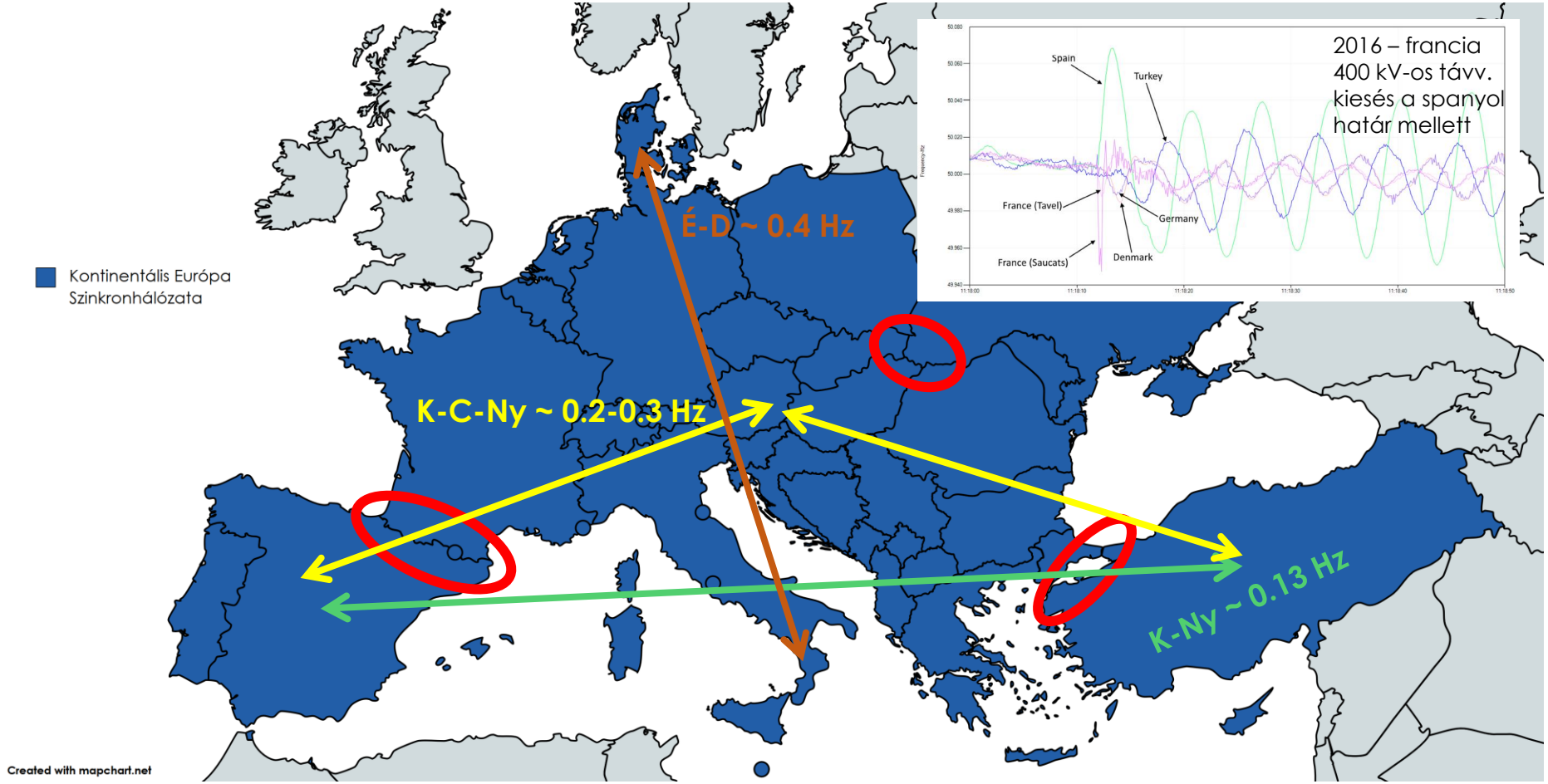
Hálózati környezet – szinkron járó terület

ENTSO-E RGCE

- Törökország
- Ukrajna
- Moldova

Jelentős K-Ny és É-D irányú kiterjedés

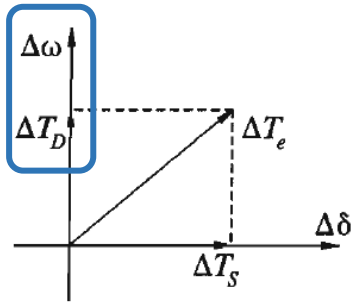
Átviteli hálózati szűkületek – gyenge kapcsolat

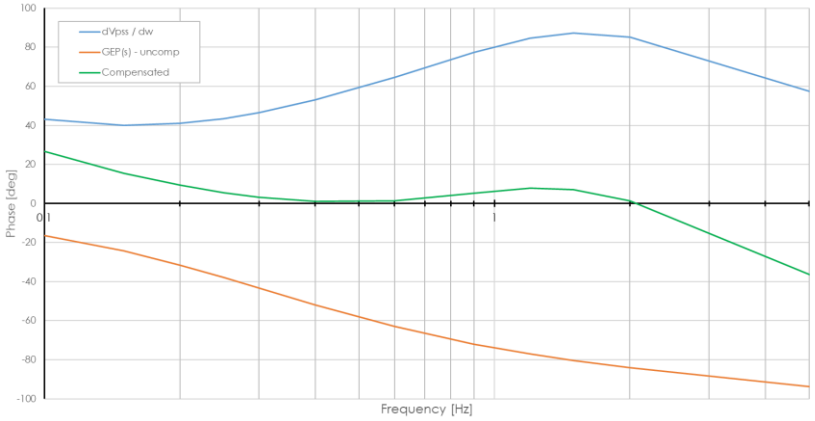


Kisjelű stabilitás – csillapítás javítása

Csillapító nyomatékkomponens növelése (T_D)

- Lengéscsillapító – Power System Stabilizer (PSS)
  - Generátor feszültségszabályozóba (AVR) épített funkció
  - **Sebességváltozással ($\Delta\omega$) fázisban lévő nyomatékkomponens létrehozása**, ehhez kompenzálnia kell:
    - Feszültségszabályozó fázistolását
    - Generátor állórész – forgórész fázistolását
    - Hálózat fázistolását





Heffron – Phillips modell

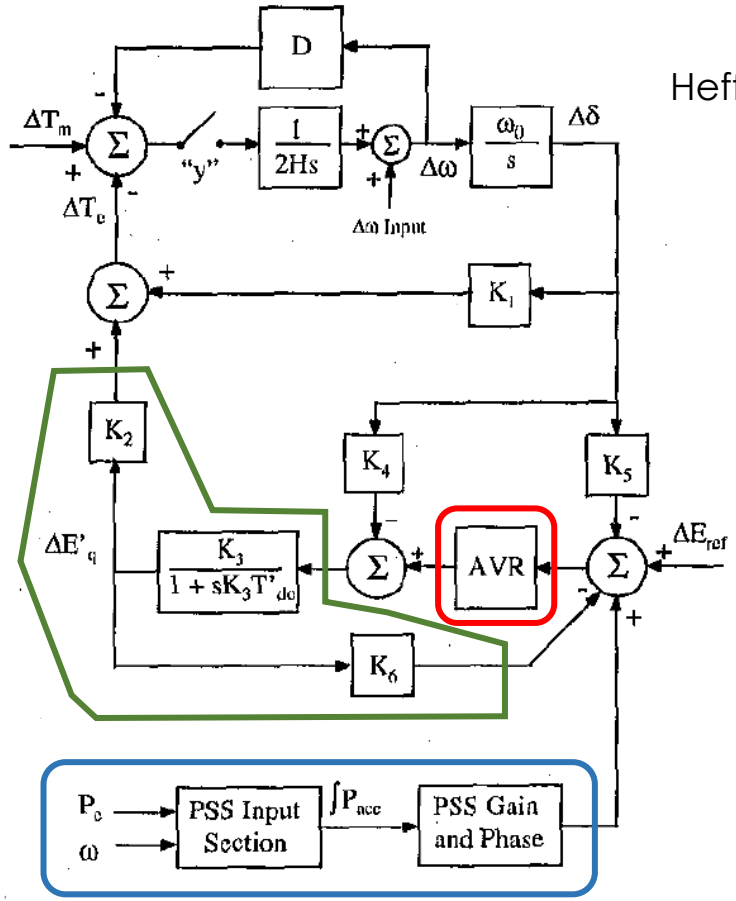


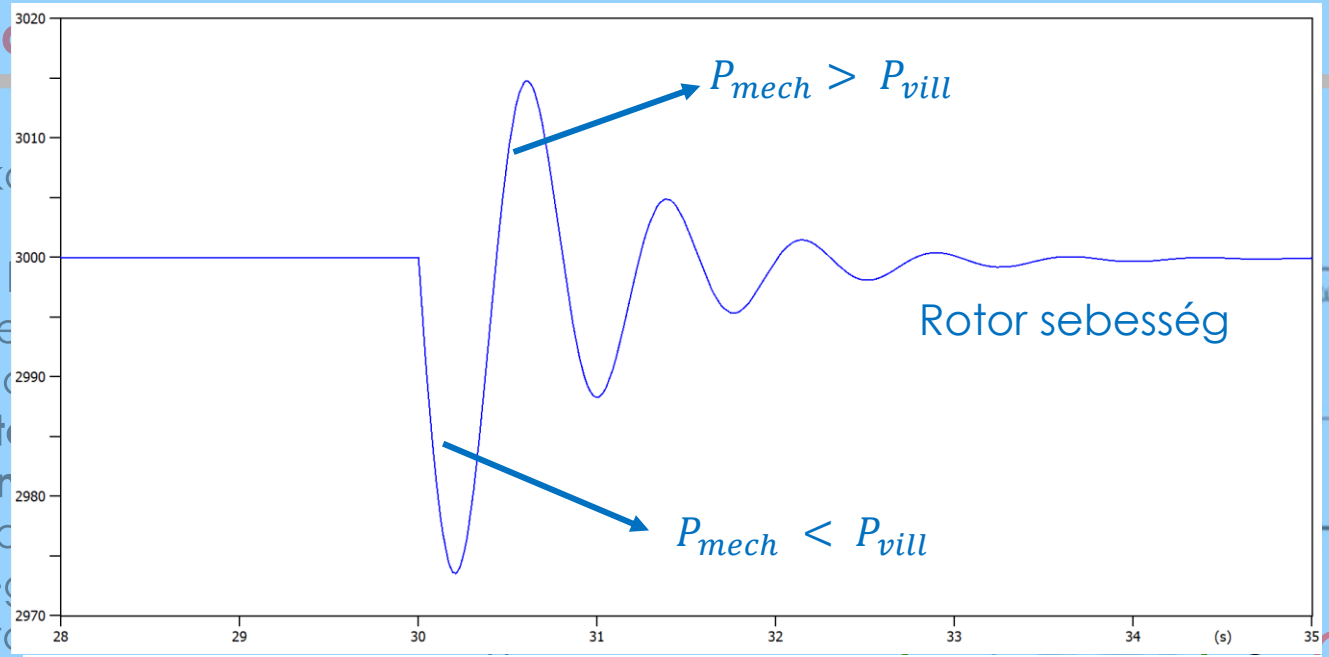
Fig. 2 - Linearized Block Diagram of a Single Machine to Infinite Bus Power System.

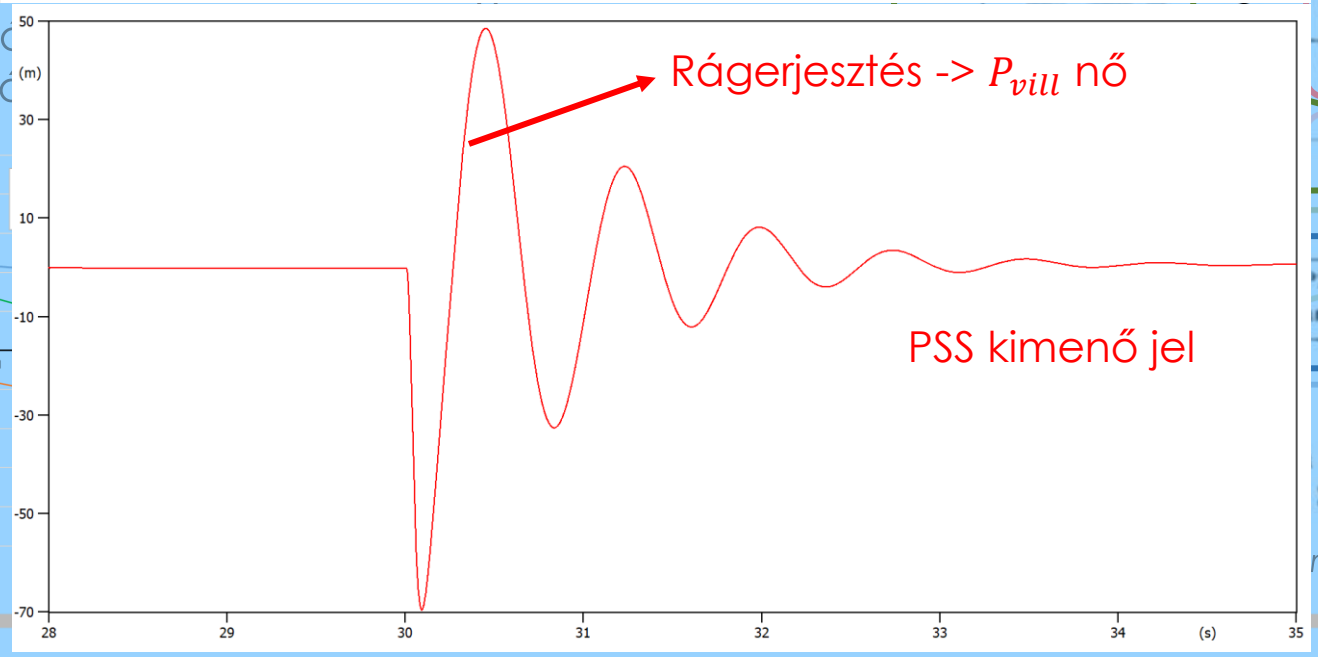
Forrás: Murdoch et al – Integral of Accelerating Power Type PSS

Kisjelű stabilit

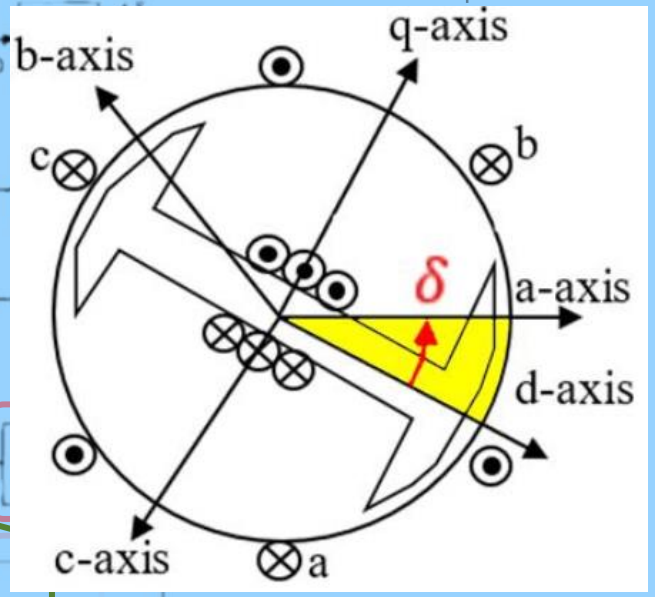
Csillapító nyomatékk

- Lengéscsillapító –
  - Generátor fe
    épített funkci
  - **Sebességvál**
    nyomatékkor
    kompenzálni
    - Feszültsé
    - Generát
      fázistolás
    - Hálózat f

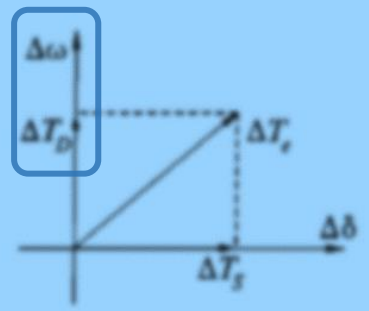




Heffron – Phillips modell



$$P_{vill} = \frac{|E_{gen}| \cdot |E_{hál}|}{X_{egyenérték}} \cdot \sin\delta$$



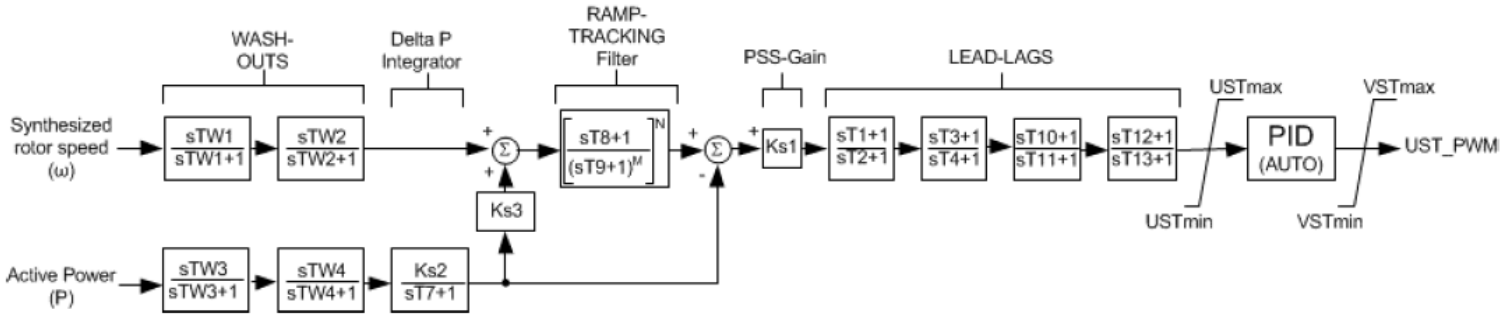
of a Single Machine to
System

ral of Accelerating Power Type PSS

Kisjelű stabilitás – PSS

Lengéscsillapító – Power System Stabilizer (PSS)

- Sokféle bemenőjel, szabályozási struktúra
  - Régen: egy bemenetelű ($\Delta\omega$, ΔP_e, f)
  - Ma: két bemenetelű ($\Delta\omega$ & ΔP_e → $\boldsymbol{P_{acc}}$)
  - **PSS2B**; PSS3B…
  - Különféle hangolási rugalmasság, torziós szűrők stb…
- Fáziskompenzálás: 0.1 – 2 Hz
- **Rossz hangolás esetén a PSS ronthatja a lengések csillapítását adott frekvenciákon!**
- **Rossz hangolás – folyamatos lengő igénybevétel, torziós zajok átengedése --> tengely fáradásos törése, repedése**

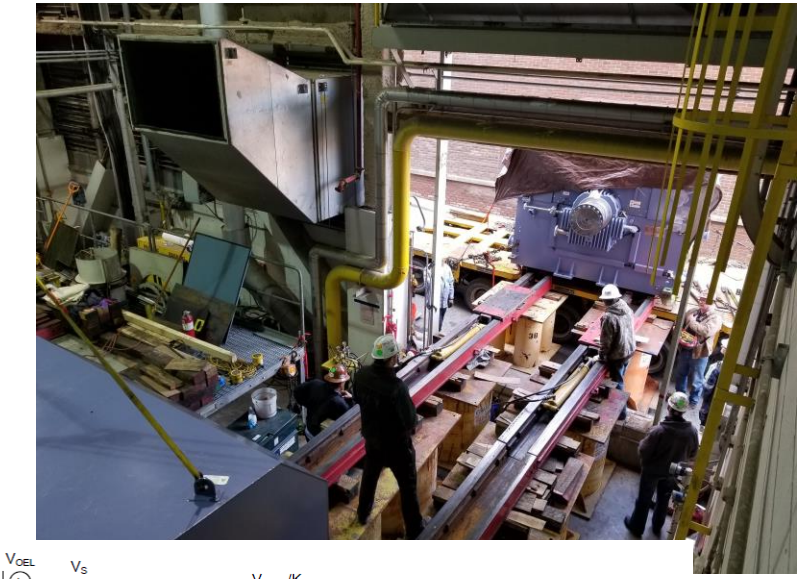


PSS2C felépítése

PSS – rendszerirányítói elvárások - adatszolgáltatás

Elvárások – üzemi szabályzatban, irányelvekben és RfG-ben rögzítve

- PSS - 100 MW beépített teljesítmény felett vagy rendszerirányító külön kérése alapján kötelező
- Adatszolgáltatás – MAVIR dinamikai modell
  - Új létesítés
  - Gerjesztő rendszer, feszültségszabályozó rekonstrukció, paraméter változások
    - Generátor villamos paraméterek: telítetlen Xd, X'd, X''d, Xq, X'q, X''q, időállandók, üresjárási jellegörbe (Vt – Ie)…
    - Gerjesztőrendszer és feszültségszabályozó IEEE egyenérték modellje és paraméterei
    - PSS egyenérték modellje és paraméterei



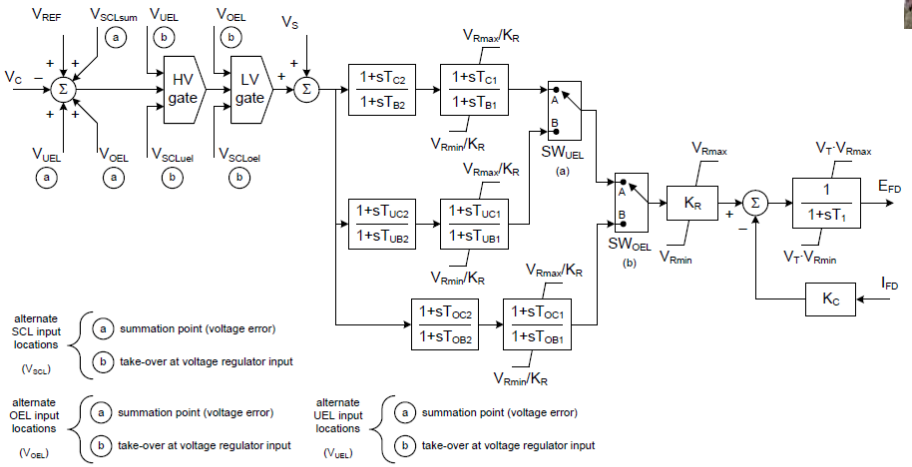
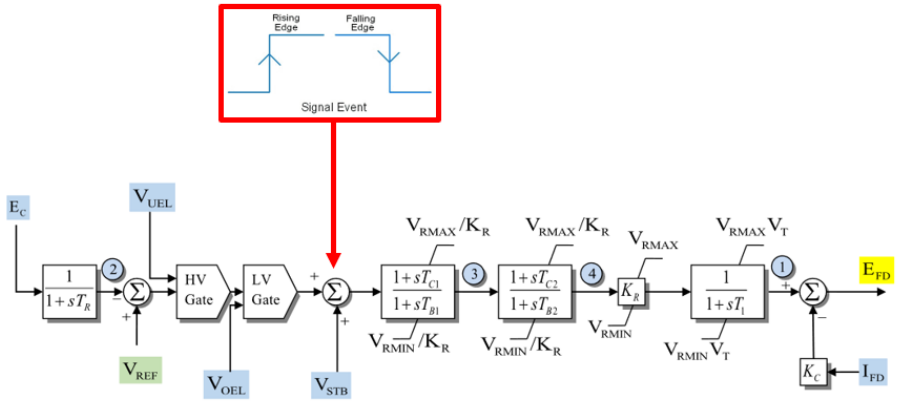


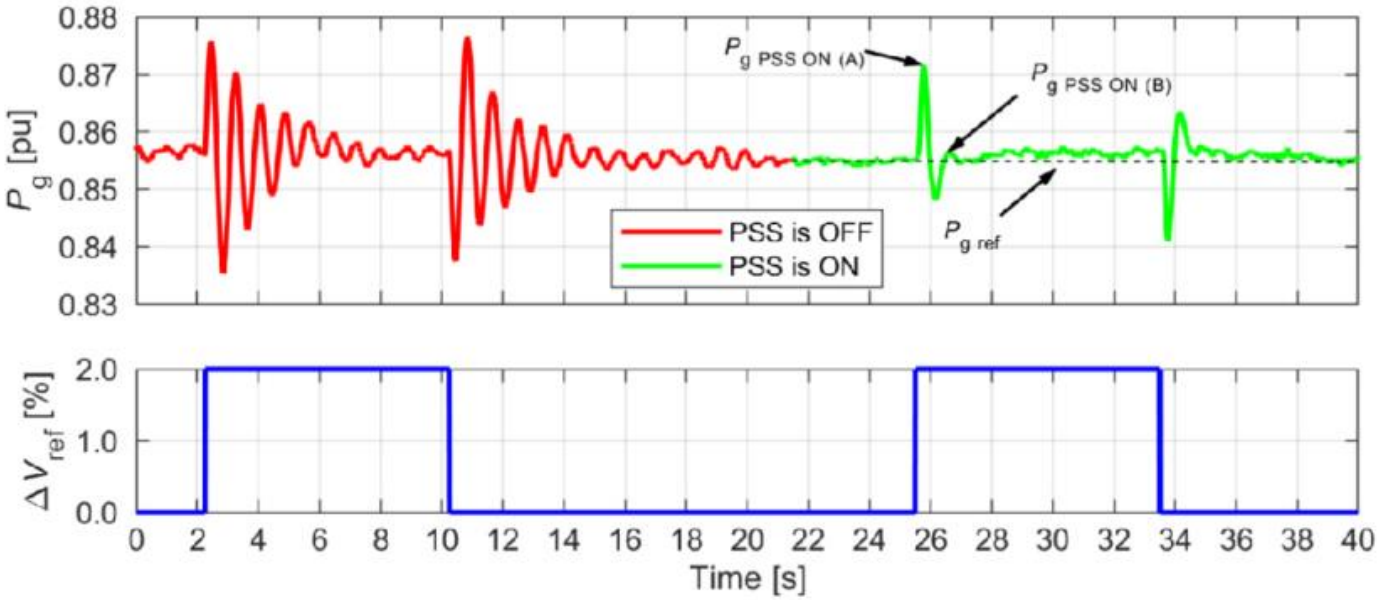
Figure 25—Type ST5C static potential source excitation system

PSS – rendszerirányítói elvárások – terepi tesztelés I.

Tesztelés üzembehelyezés során – **alapjel ugratás**

- AVR automata (fesz. szab.) üzemmód, Pgen > 0.8 Pn
- PSS ON / PSS OFF --> ± 2 – 3 % alapjel
- Egyszerűen elvégezhető
- **Csak a helyi, lokális lengési módot gerjeszti!**
- Rendszerközi lengések csillapítása – nem ad információt!

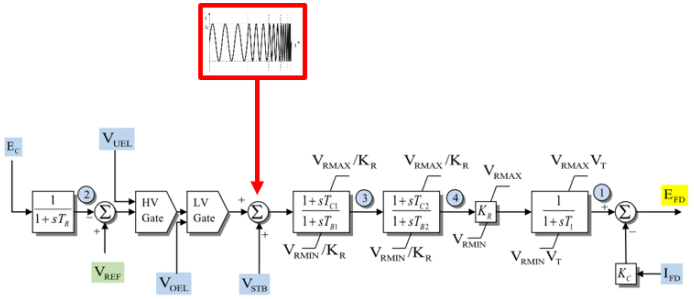


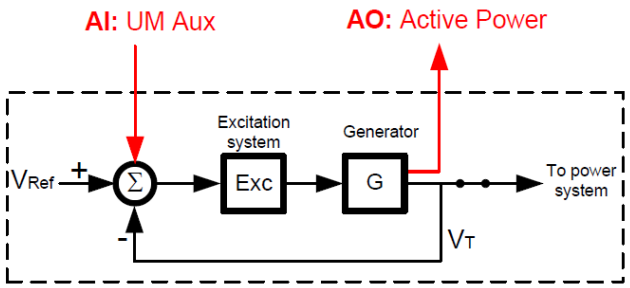


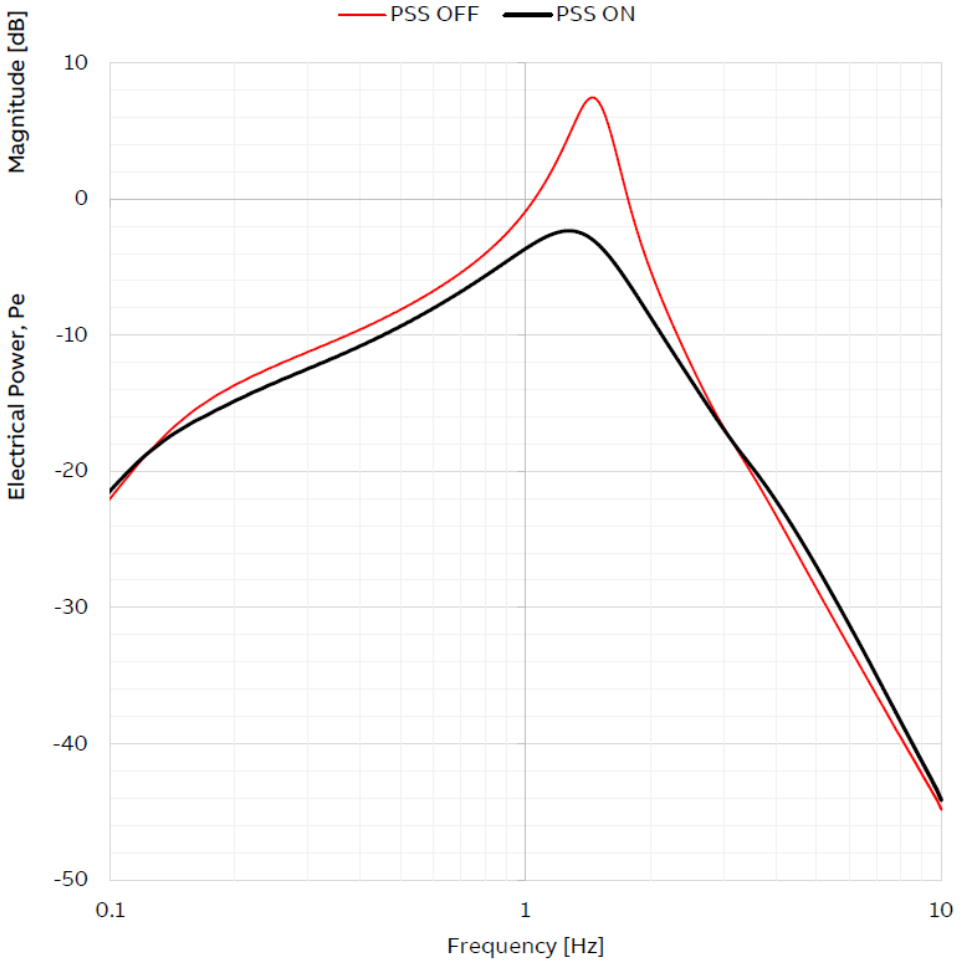
PSS – rendszerirányítói elvárások – terepi tesztelés II.

Tesztelés üzembehelyezés során – **haranggörbe felvétele**

- AVR automata (fesz. szab.) üzemmód, Pgen > 0.8 Pn
- PSS ON / PSS OFF – zavar jel befecskendezés (pl. frequency sweep)
- $\Delta P_e/\Delta V_{ref}$ --> erősítés vizsgálata
- Kapocsfeszültség ingadozás ~ 1 %
- Speciális szaktudást / teszt berendezést igényel
- Zavar jel befecskendezés 0,1 – 2 Hz frekvencia tartományban
- **Rendszerközi lengések – PSS nem erősítheti a lengéseket!**



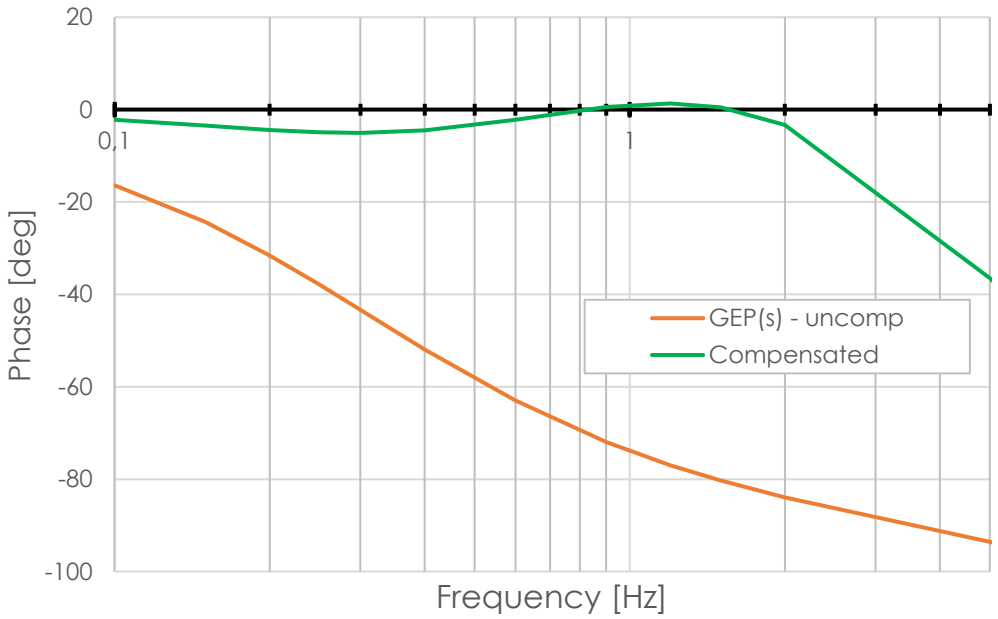


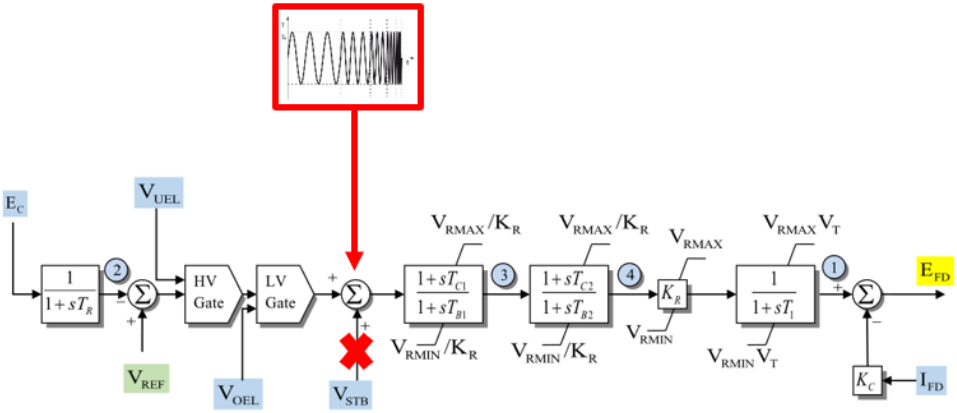


PSS – rendszerirányítói elvárások – terepi tesztelés III.

Tesztelés üzembehelyezés során – **szükséges fázisforgatás (GEP)**

- AVR automata (fesz. szab.) üzemmód, Pgen ~ minimális telj.
- PSS OFF – zavar jel befecskendezés (pl. frequency sweep)
- $\Delta V_t / \Delta V_{ref}$ --> fázisforgatás
- Kapocsfeszültség ingadozás ~ 1 %
- Speciális szaktudást / teszt berendezést igényel – haranggörbe felvételével megegyező kompetencia / berendezés
- Zavar jel befecskendezés 0,1 – 2 Hz frekvencia tartományban
- Hangolás jóságának ellenőrzése, **dinamikus modell validálása**

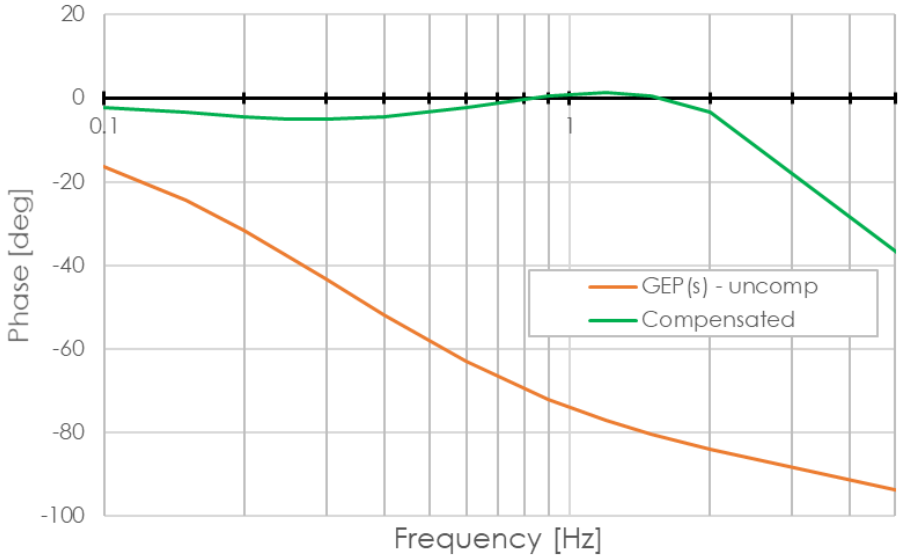


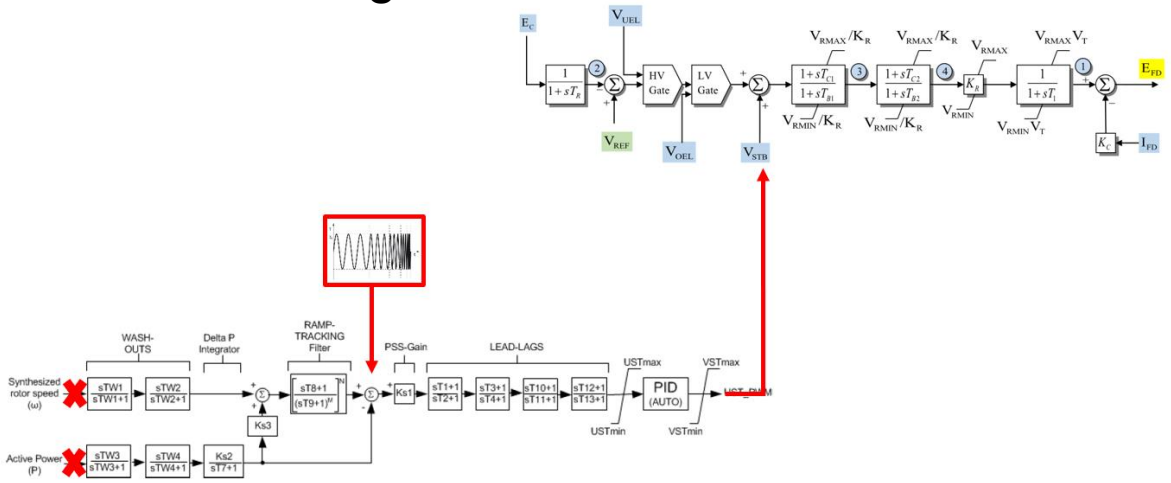


PSS – rendszerirányítói elvárások – terepi tesztelés IV.

Tesztelés üzembehelyezés során – **kompenzált fázisátmenet**

- AVR automata (fesz. szab.) üzemmód, Pgen > 0.8 Pn
- PSS ON & open loop – zavar jel befecskendezés (pl. frequency sweep)
- $\Delta V_t / \Delta V_{ref}$ --> fázisforgatás
- Kapocsfeszültség ingadozás ~ 1 %
- Speciális szaktudást / teszt berendezést igényel – haranggörbe felvételével megegyező kompetencia / berendezés
- Zavar jel befecskendezés 0,1 – 2 Hz frekvencia tartományban
- **Hangolás jóságának ellenőrzése – rendszerközi lengések**

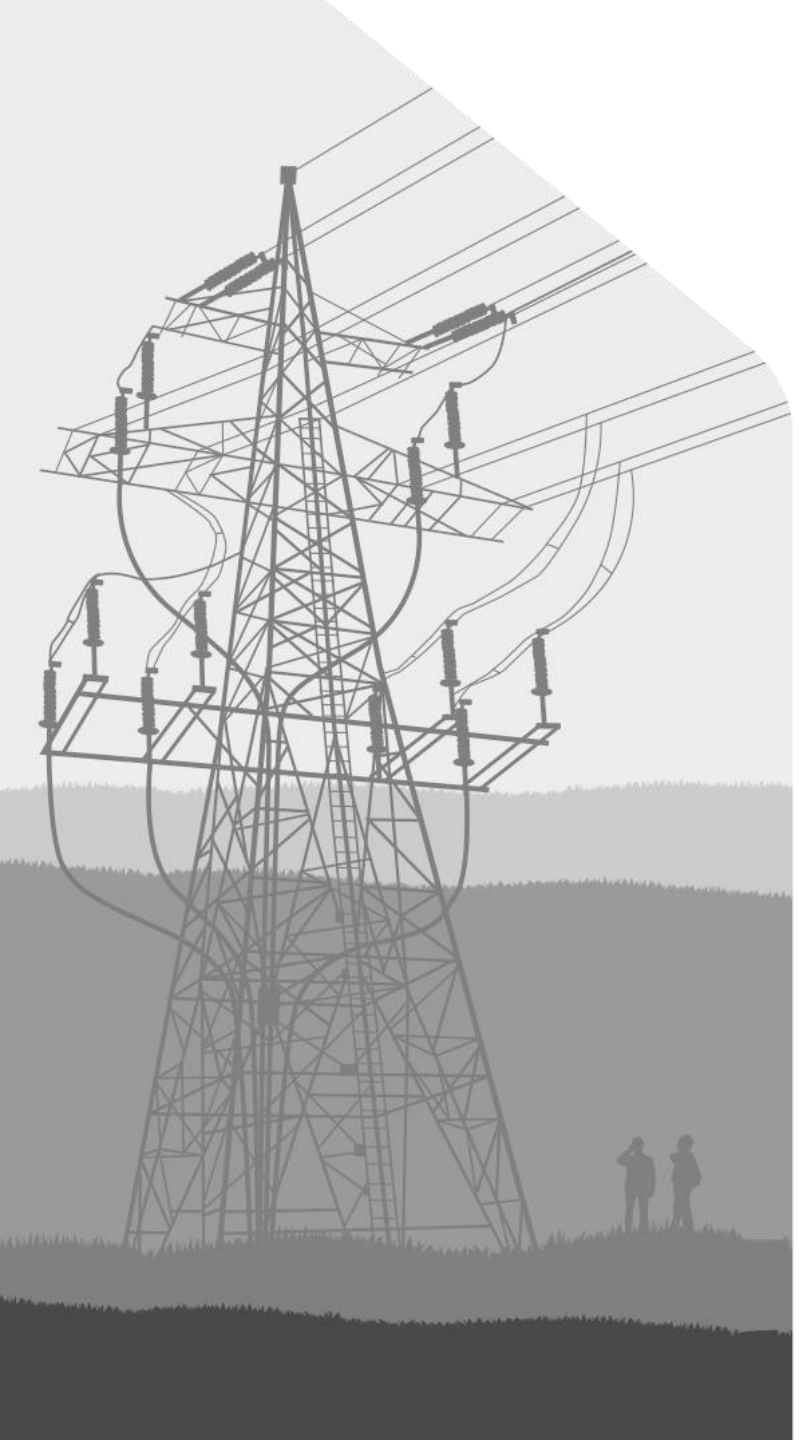




Ajánlott irodalom

Ajánlott irodalom

- Prabha Kundur: “Power System Stability and Control”, EPRI Power System Engineering Series, 1994
- Francisco P. DeMello, Charles Concordia: “Concepts of Synchronous Machine Stability as Affected by Excitation Control”, IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-88, No. 4, 1969.
- A. Murdoch, S. Venkataraman, R. A. Lawson, W. R. Pearson: “Integral of Accelerating Power Type PSS Part 1 – Theory, Design, and Tuning Methodology”, IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol. 14, No. 4, 1999.
- IEEE Std 421.5 – 2016: IEEE Recommended Practice for Excitation System Models for Power System Stability Studies, IEEE PES



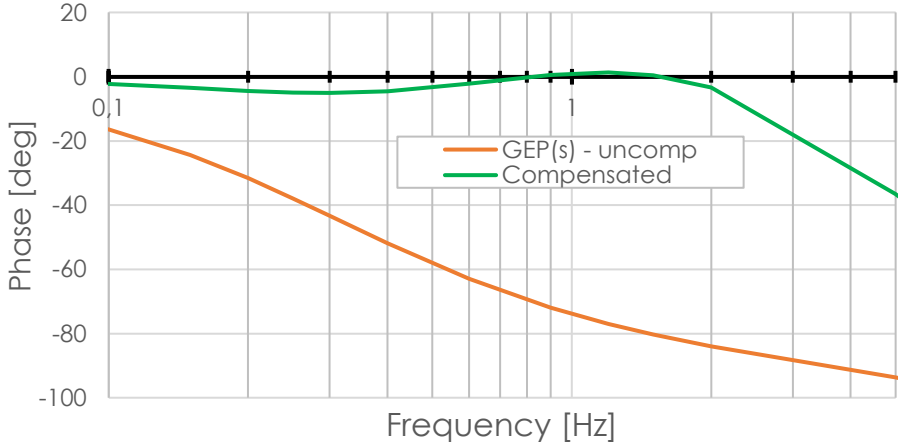
KÖSZÖNÖM A FIGYELMET!

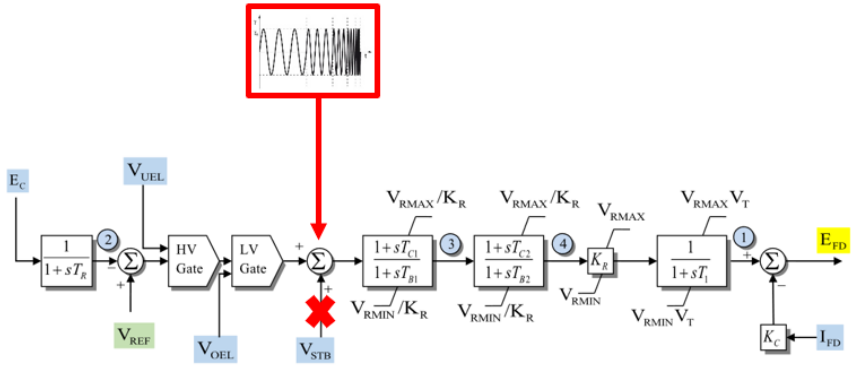
Háttérdiák

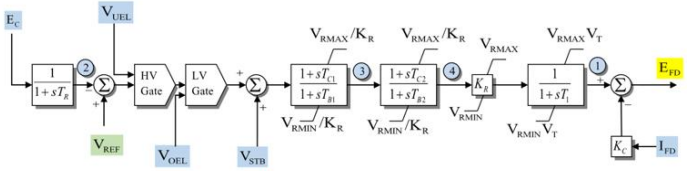
PSS – rendszerirányítói elvárások – terepi tesztelés III. – IV.

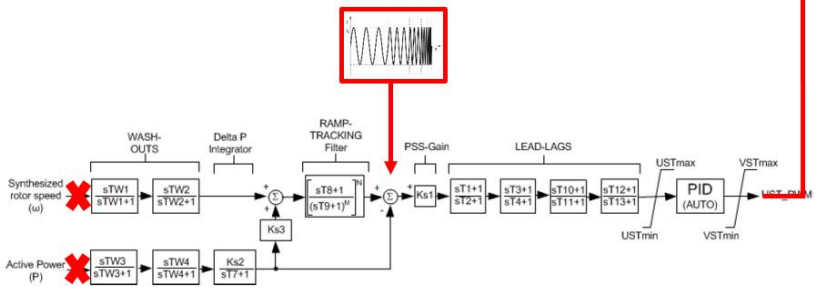
Tesztelés üzembehelyezés során – **szükséges (GEP)** vagy **kompenzált fázisátmenet meghatározása**

- AVR automata (fesz. szab.) üzemmód
  - Pgen ~ minimális telj. + PSS OFF – szükséges fáz. (GEP)
  - Pgen > 0.8 Pn + PSS ON & open loop – kompenzált fázistolás
- $\Delta V_t / \Delta V_{ref}$ --> fázisforgatás vizsgálata
- Kapocsfeszültség ingadozás ~ 1 %
- Speciális szaktudást / teszt berendezést igényel – haranggörbe felvételével megegyező kompetencia / berendezés
- Zavar jel befecskendezés 0,1 – 2 Hz frekvencia tartományban
- **Hangolás jóság ellenőrzése** (komp.), **modell ellenőrzése** (GEP)





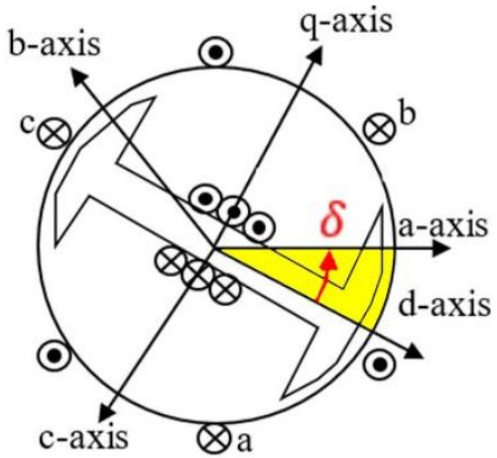




Hálózat stabilitása

Generátor forgórész szögstabilitása

- „Nagyjelű stabilitás" (transient stability, first swing stability)
  - Kritikus zárlathárítási idő
  - Gyors rágerjesztés – tirisztoros gerj.
- **„Kisjelű stabilitás" (small signal stability)**



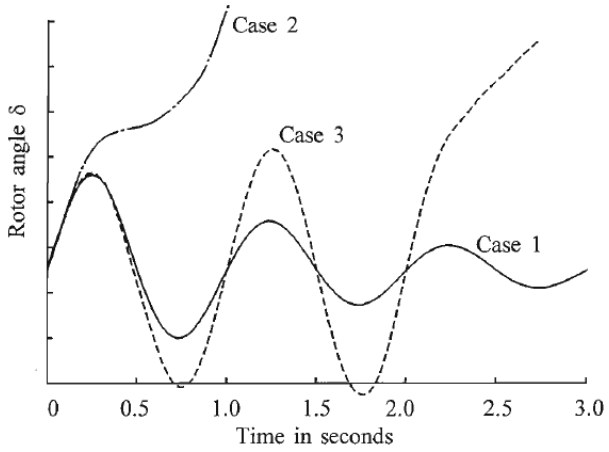
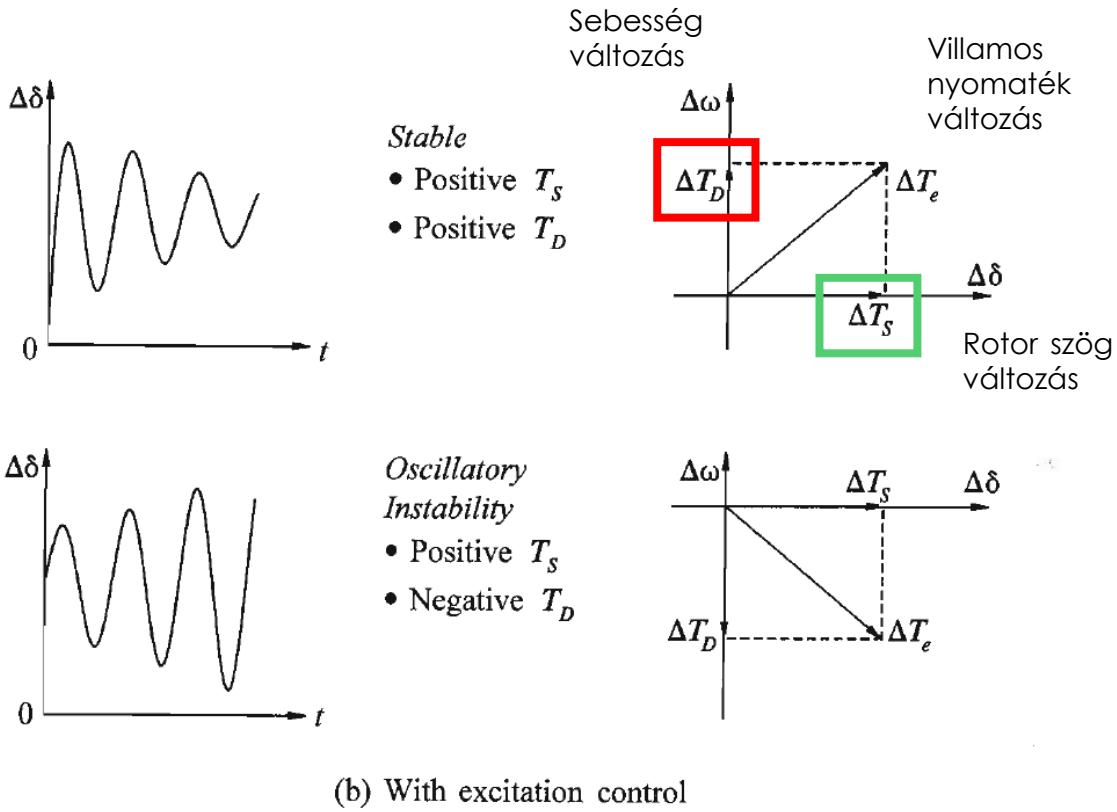


Figure 2.3 Rotor angle response to a transient disturbance



(b) With excitation control

Figure 2.2 Nature of small-disturbance response

Forrás: Kundur – Power System Stability and Control

Kisjelű stabilitás – lengési frekvenciatartományok

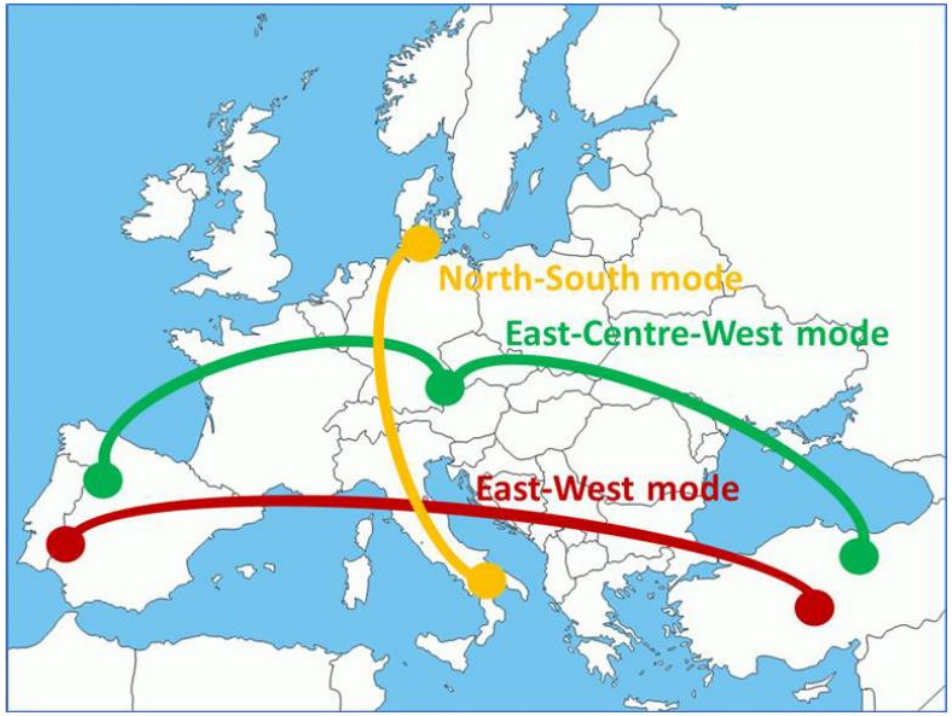
Sajátfrekvenciás lengés (local mode)

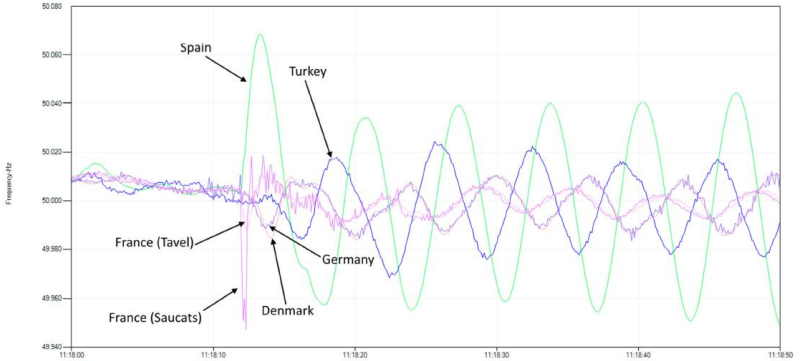
- Turbógenerátor gépcsoport – külső hálózat elektromechanikus lengése
- Jellemző frekvencia: 1 – 1,3 Hz
- Generátor inercia, tranziens reaktancia, hálózati reaktancia, terhelési állapot

$$\omega_n = \sqrt{\frac{E' \cdot E_{sys}}{X'_d + X_{sys}} \cdot \cos\delta_0 \cdot \frac{\omega_0}{2 \cdot H}}$$

Rendszerközi lengések (inter-area mode)

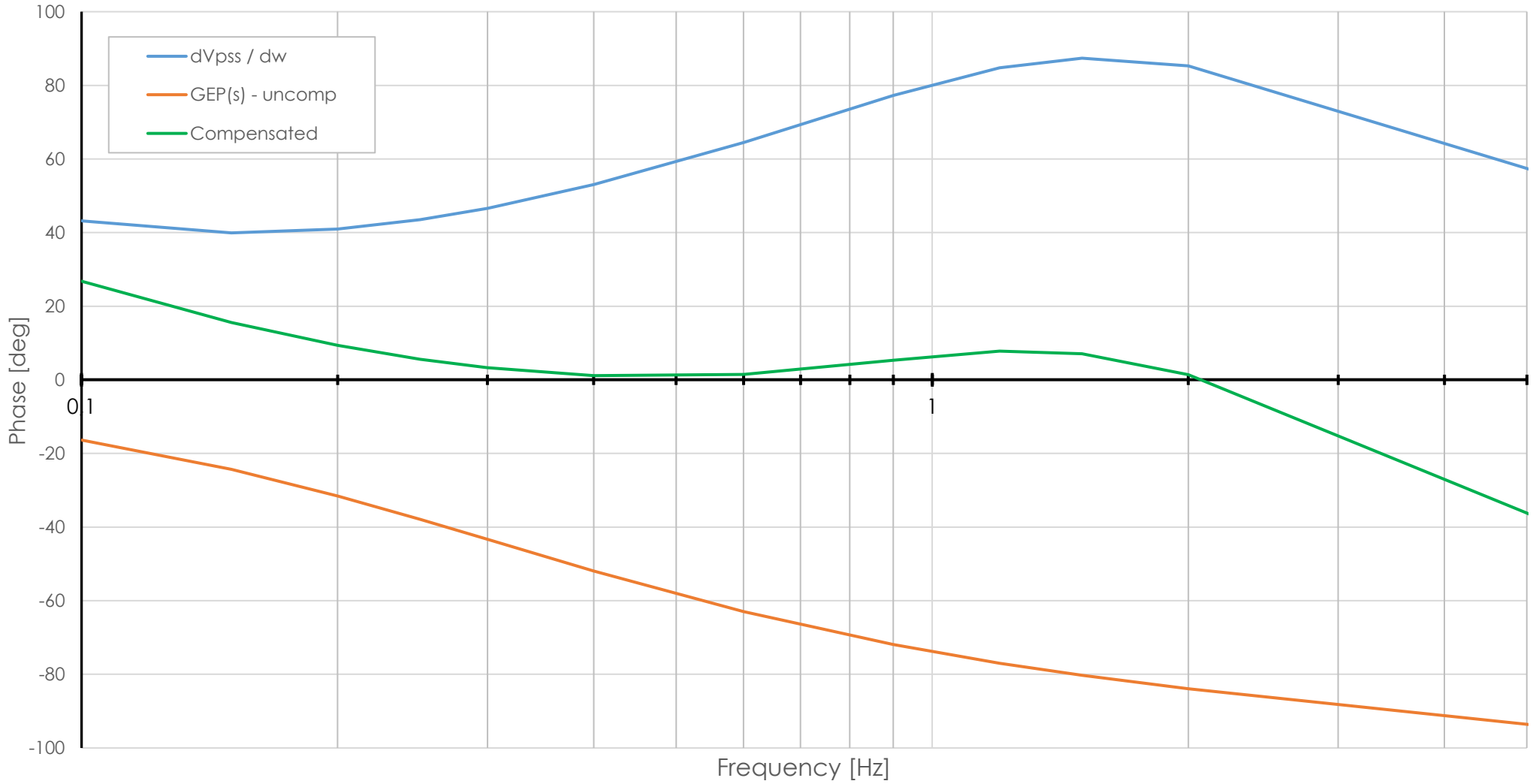
- Adott, területileg behatárolható rendszer lengése a rendszer többi részéhez képest
- Alacsonyabb, 0.1 – 1 Hz közötti frekvencia
- Ismert lengési módok (legalacsonyabb frekv.: Törökország <--> kont. Európa ~0.13 Hz)
- Csillapítás függ a rendszerterheléstől és áramlási irányoktól





2016 – francia 400 kV-os távv. kiesése a spanyol határ mellett

Kisjelű stabilitás – fáziskompenzálás



Kisjelű stabilitás – fáziskompenzálás

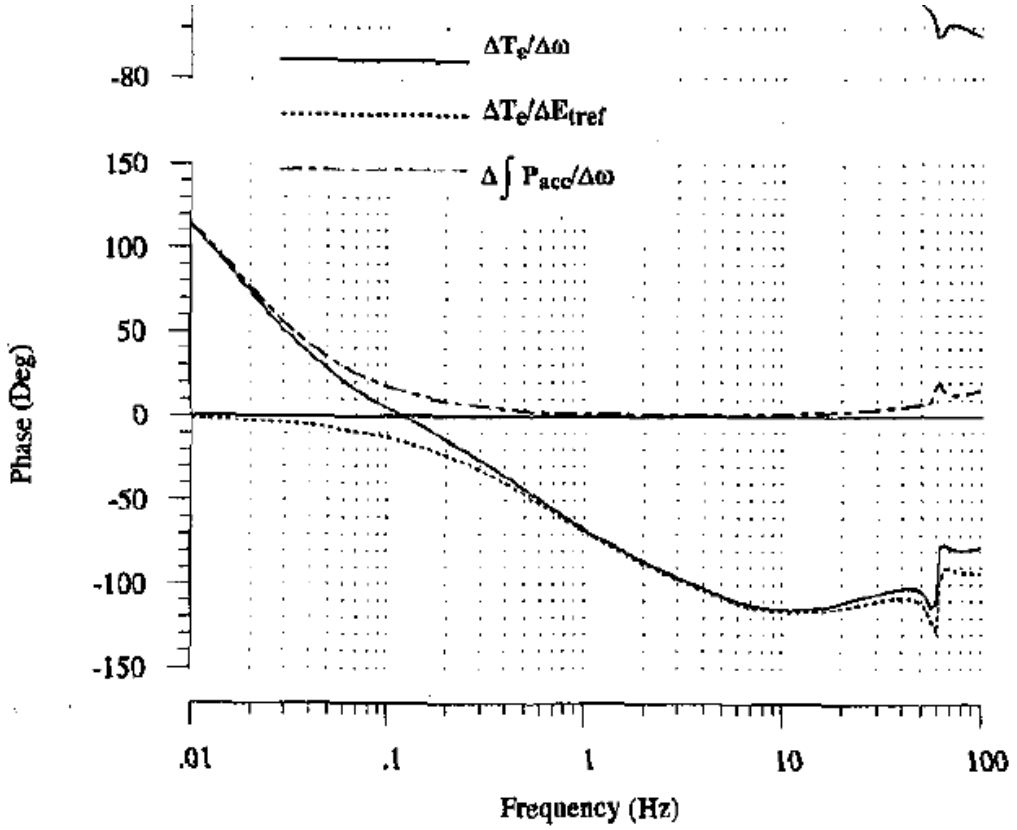


Fig. 3 - Frequency Response of the Uncompensated System

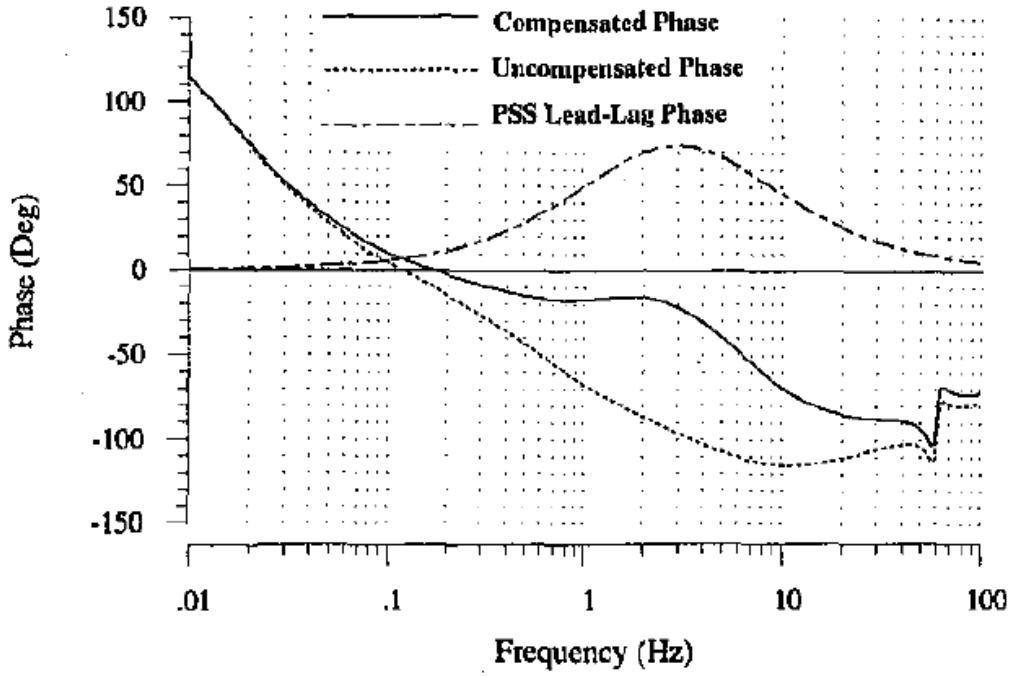
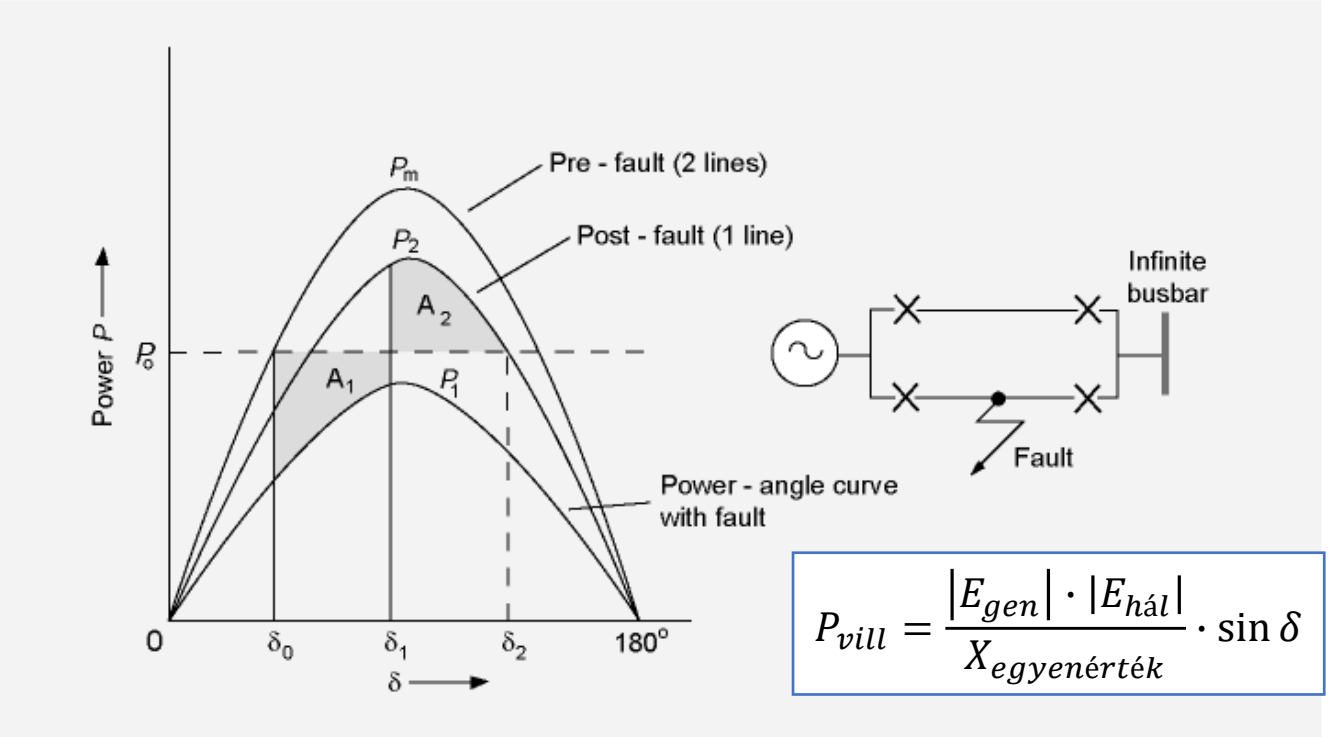


Fig. 4 - Compensated Frequency Response Calculation

Forrás: Murdoch et al – Integral of Accelerating Power Type PSS

Nagyjelű stabilitás – transient stability



$$P_{vill} = \frac{|E_{gen}| \cdot |E_{hál}|}{X_{egyenérték}} \cdot \sin\delta$$

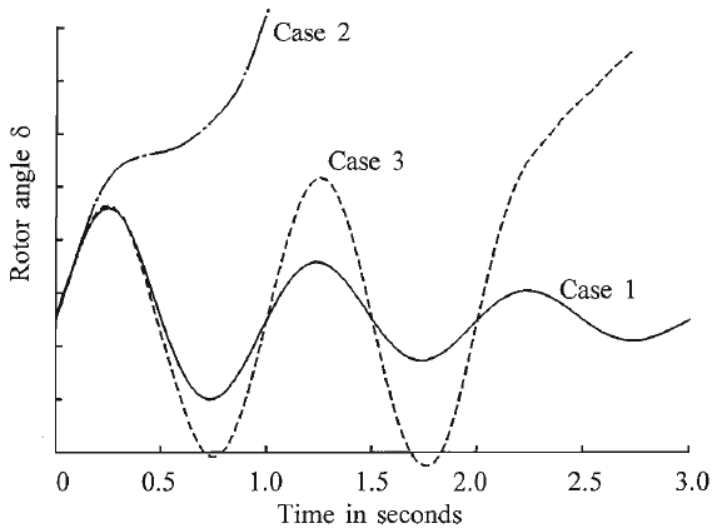


Figure 2.3 Rotor angle response to a transient disturbance