An aerial photograph of a dam and reservoir in a lush, green valley. The dam is a concrete structure with a spillway, situated in a narrow gorge. The reservoir is a large, dark blue body of water that fills the valley. The surrounding landscape is covered in dense green forests and rolling hills. In the distance, a town or village is visible on a hillside. The sky is clear and blue.

TLMENIE KMITANIA ČINNÉHO
VÝKONU
V ELEKTRIZAČNEJ SÚSTAVE –
STABILIZÁTORY PSS a SVC

Ing. Vojtech Griger
ENERGODATA ŽILINA

Kmity činného výkonu v elektrizačnej sústave

V každej elektrizačnej sústave môže dojsť k poruchovým stavom (napr. skrat, odpojenie zdroja, odpojenie zát'aže a pod.) pri poruche môžu nastat' oscilácie o rôznych frekvenciách, ktoré spôsobia:

- Oscilácie činného výkonu na zdrojoch a prenosových vedeniach jednak vo vnútri sústavy ale aj medzi sústavami.
- Nestabilitu generátorov a celej elektrizačnej sústavy.

Kmity P v elektrizačnej sústave

0,1-0,5 Hz	kmítaním sú postihnuté celé oblasti elektrizačnej sústavy, frekvencia oscilácií je nízka, ich tlmenie ostatnými časťami systému je nepatrné
0,5 - 2 Hz	kmítaním je postihnutá skupina generátorov voči systému, frekvencia oscilácií je vyššia, ich tlmenie systémom je čiastočné alebo úplné potláčané
2 - 3,5 Hz	kmítaním sú postihnuté iba jednotlivé, elektricky blízko umiestnené generátory, kmítanie je systémom plne potláčané
4 - 15 Hz	kmítanie nemôže sledovať rotor generátora, prejavujú sa iba na nežiadúcich zmenách napätia generátora

- Prvé tri typy kmítania sú nebezpečné z hľadiska stability elektrizačnej sústavy.
- Ak sa prekročí oblasť stability elektrizačná sústava sa môže stať nestabilnou, čo môže mať za následok rozpad sústavy na menšie ostrovy, prípadne kolaps celej sústavy „black out“.
- Kmítanie, ktoré v sústave vznikajú pri poruchách, spôsobujú pri prevádzke sústavy veľké problémy, ktoré nútia prevádzkovateľov hľadať riešenie ako vzniknuté kmítanie tlmiť.

Princíp tlmenia vzniknutých kmitov P na generátoroch

Pri poruchách v ES (výpadok vedenia, výpadok zdroja, výpadok spotreby a pod.) môžu spôsobiť rozkmitanie činného výkonu generátora.

- Z teórie synchronných generátorov je známe, že kvalitnou *reguláciou budenia* je možné výrazne zlepšiť stabilitu generátorov a tým aj celej ES SR
- Úlohou regulátorov budenia je zabezpečiť pri vzniku poruchy, aby synchronne generátory nestratili stabilitu, t.j., aby nevypadli zo synchronného chodu, čo sa následne prejaví aj na stabilnom chode celej elektrizačnej sústavy.

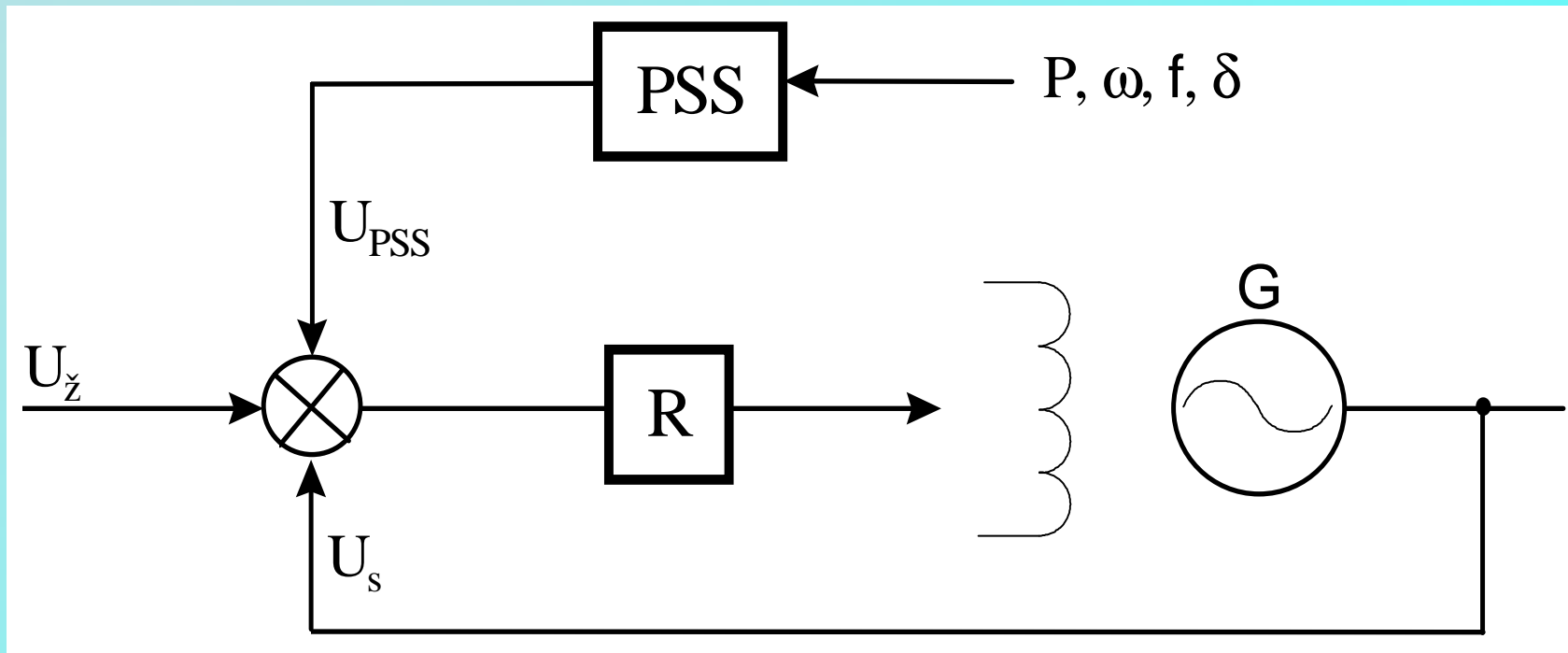
Stabilizácia prevádzky pri kmitaní P generátora pomocou PSS

Stabilizácia prevádzky pri kývaní činného výkonu generátorového agregátu sa vykonáva pomocou spätnej väzby PSS (Power System Stabilizer) rýchlou zmenou budenia. PSS musí zabezpečiť tlmenie kývania činného výkonu generátorového agregátu, ktoré vzniklo vplyvom zmien v elektrizačnej sústave.

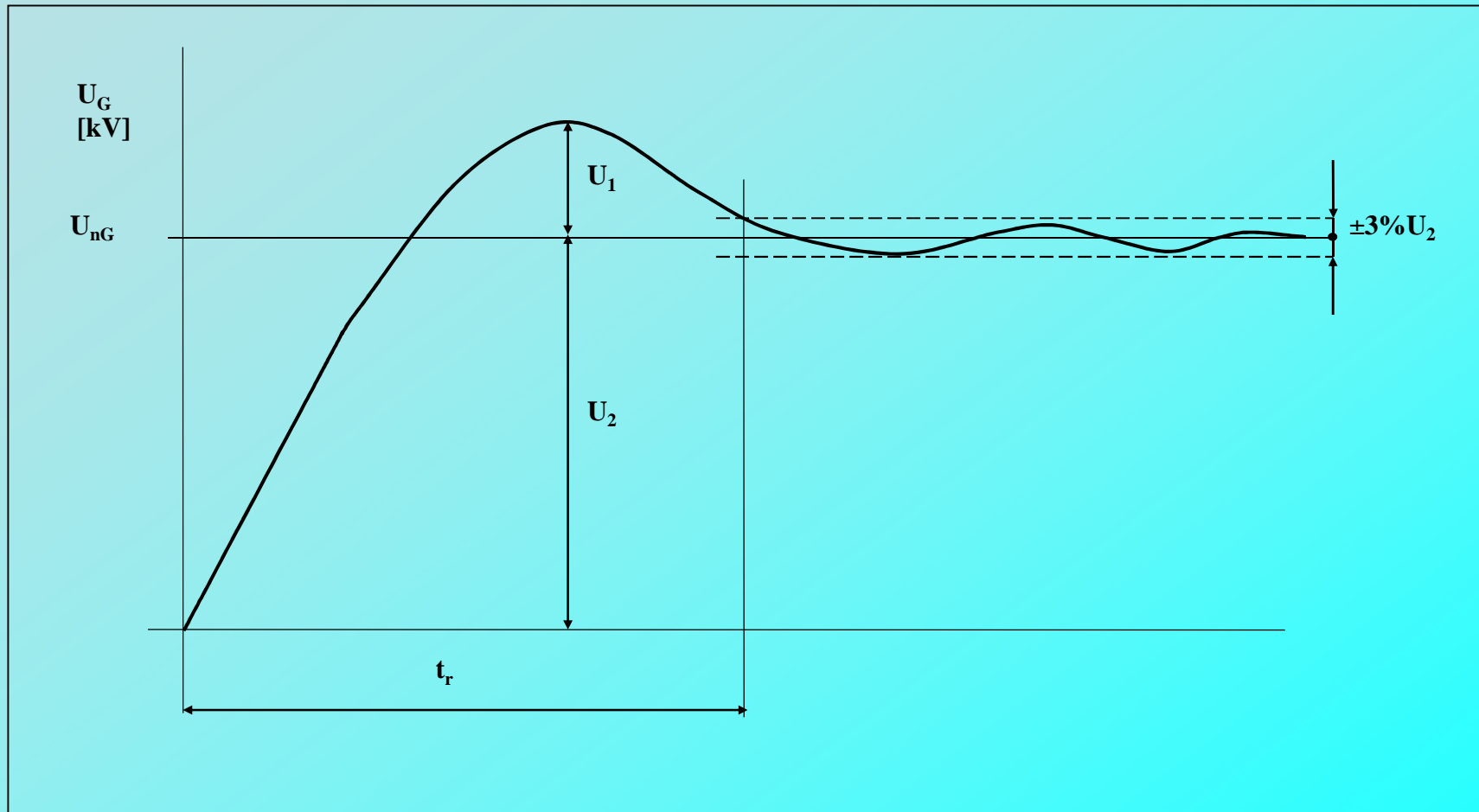
PSS sa realizuje nasledovne:

- Vstup do spätnej väzby musí byť vždy činný výkon generátorového agregátu,
- Výstup spätnej väzby je zavedený do súčtového člena regulátora napätia,
- Pre zväčšenie rozsahu frekvenčného pásma tlmenia musí byť PSS viacvstupový, vždy s kombináciou činného výkonu generátora (napr. frekvencia, uhlová rýchlosť, budiaci prúd a pod.)

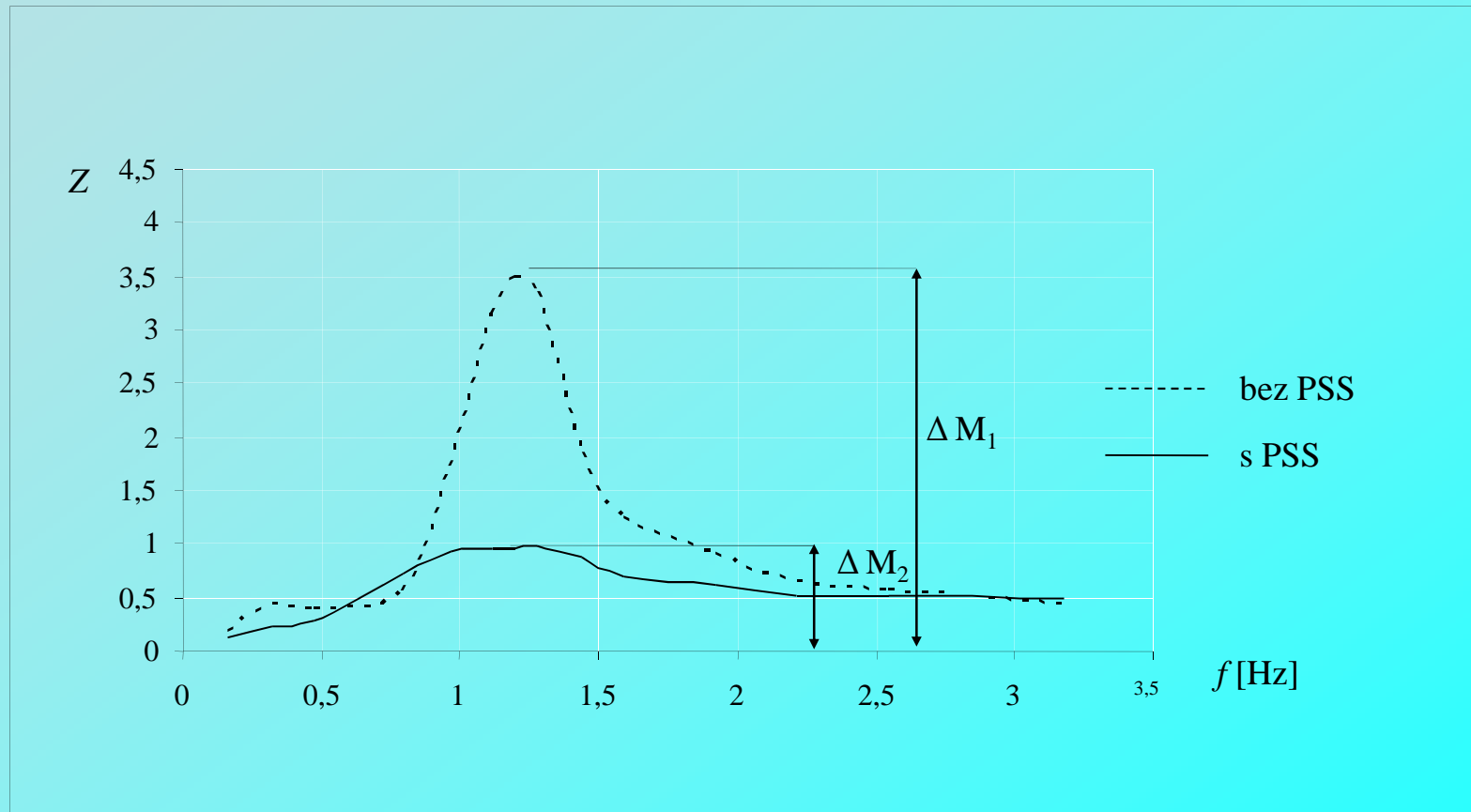
Principiálna schéma tlmenia kmitov P pomocou PSS



Požadovaný priebeh U_G pri skokovej zmene U_Z

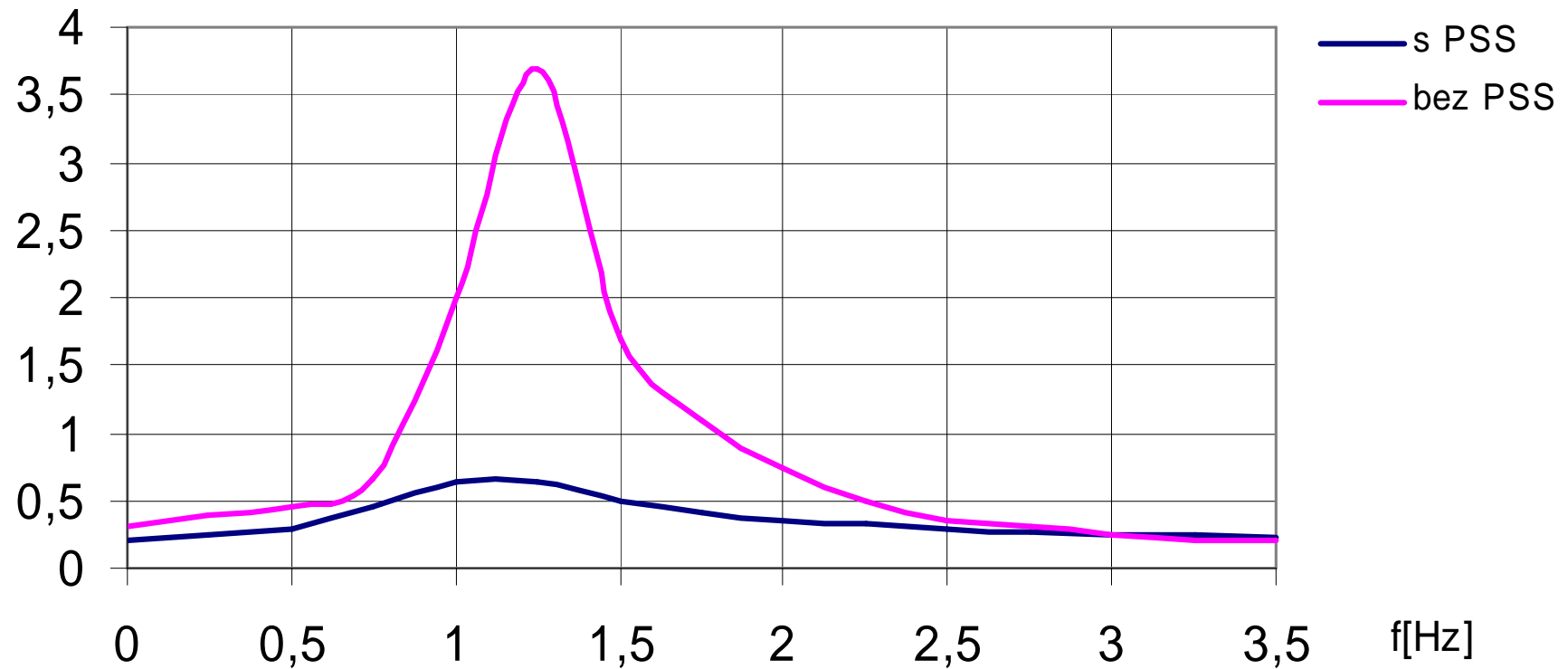


Amplitúdovo frekvenčná charakteristika generátorového agregátu

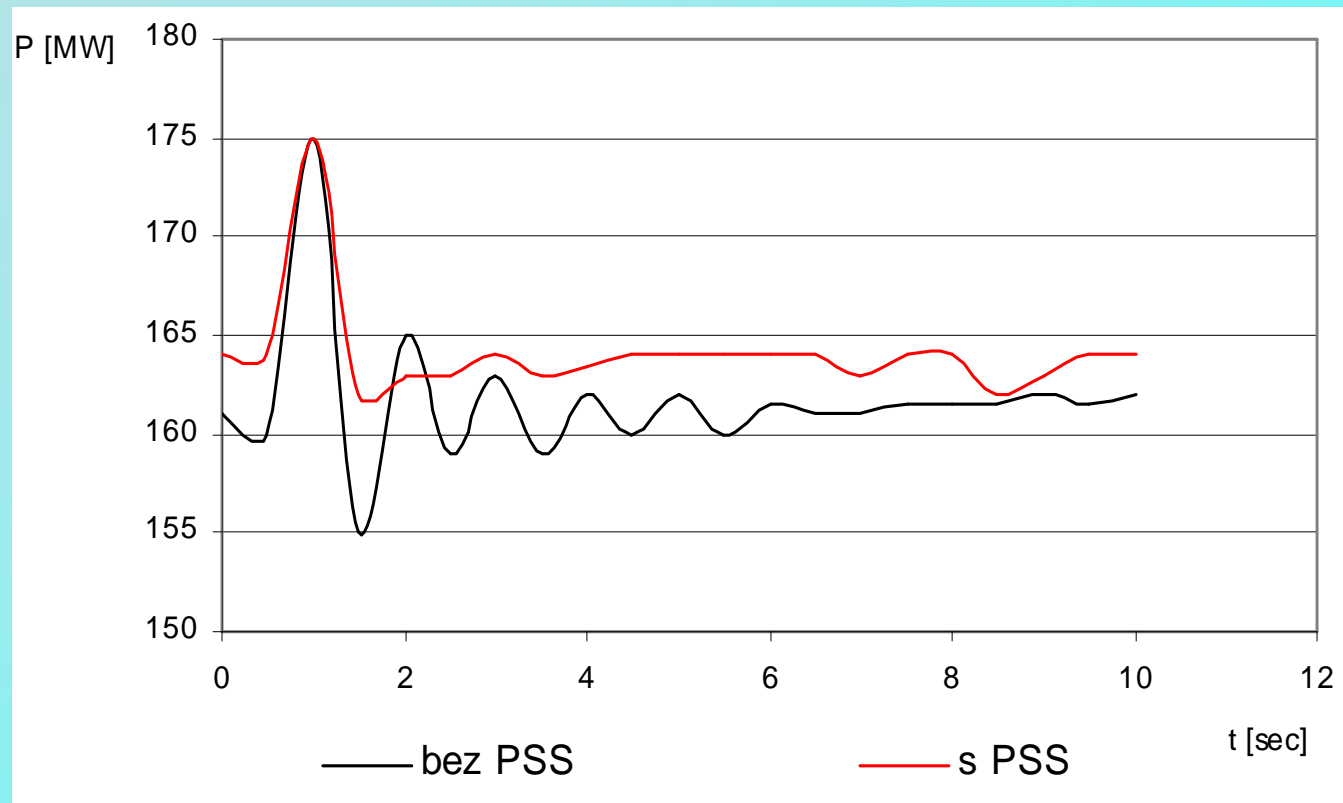


Amplitúdová frekvenčná charakteristika TG 31 v EBO

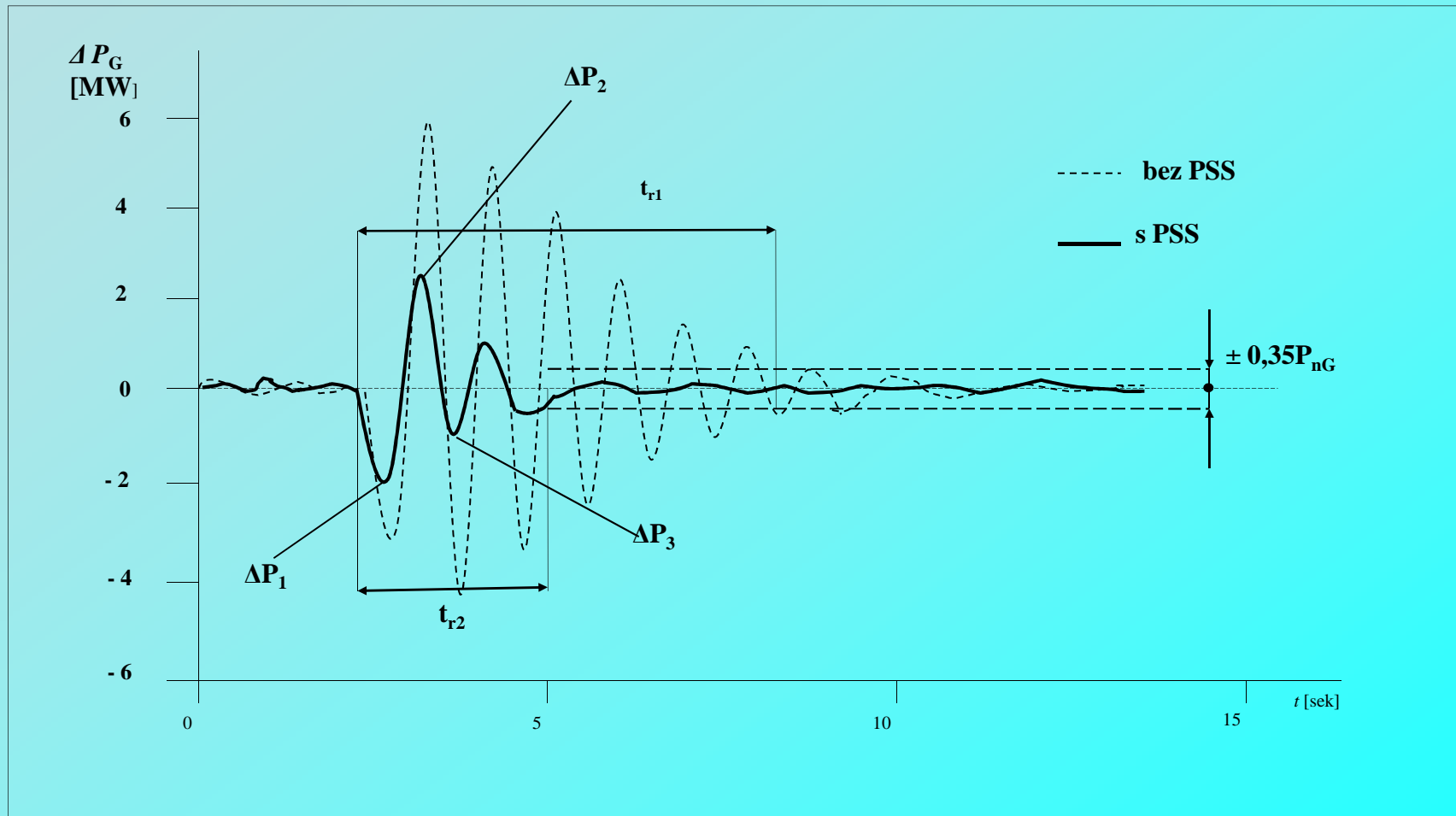
Zosilenie



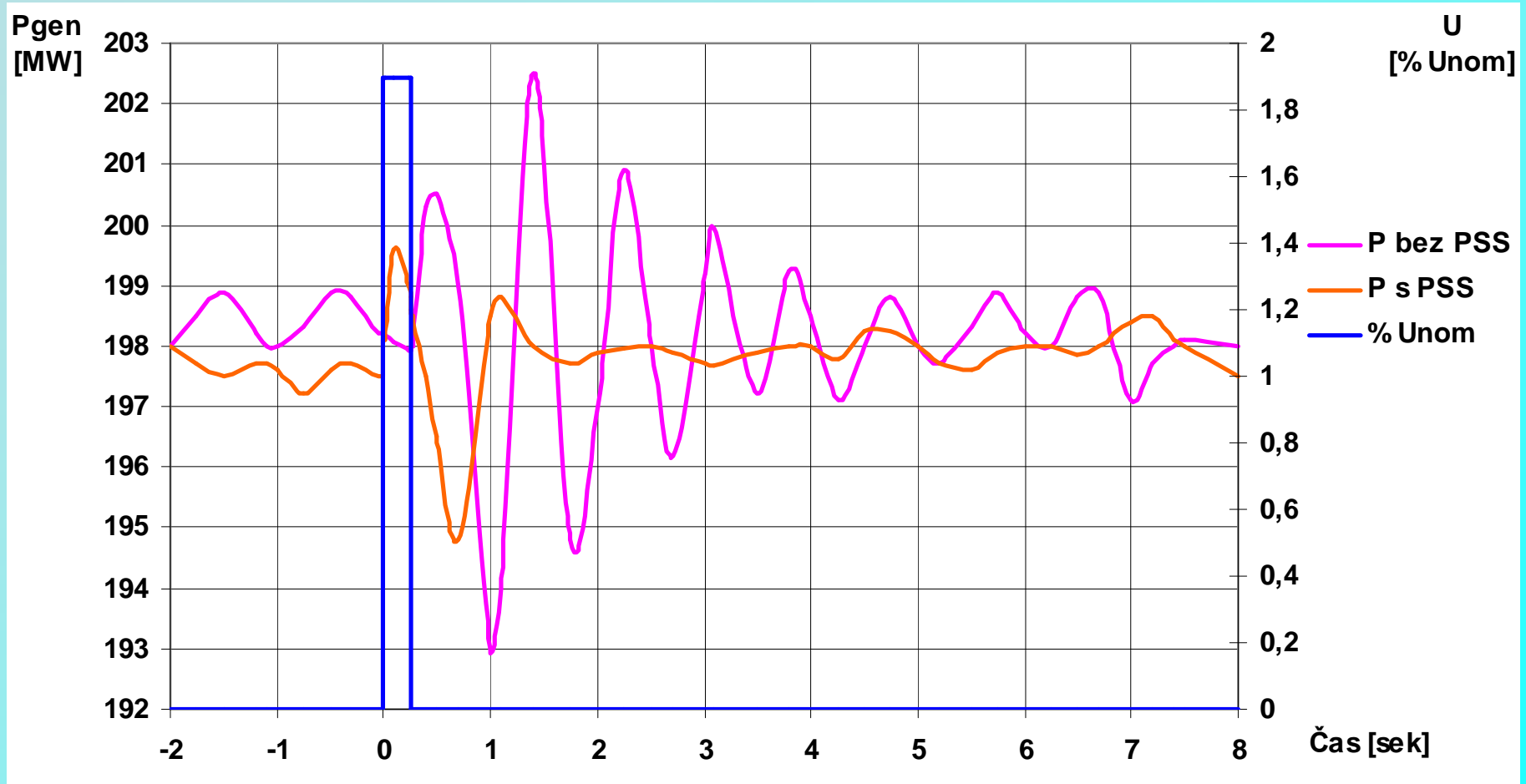
Kmitanie P generátora



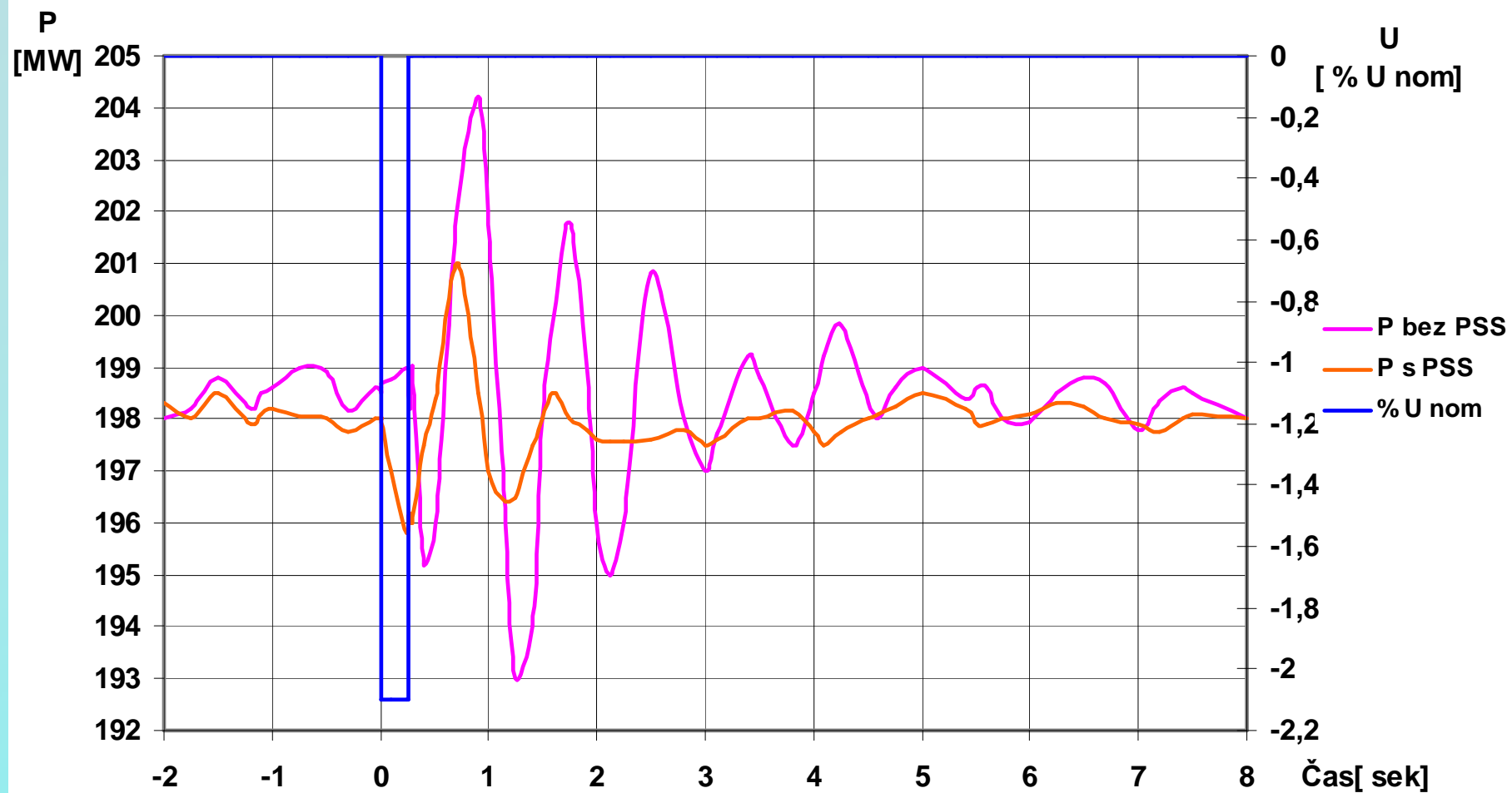
Čas ustálenia kmitanie P generátora



Tlmenie P TG 31 v EBO pri zmene $U_{\check{z}gen+}$

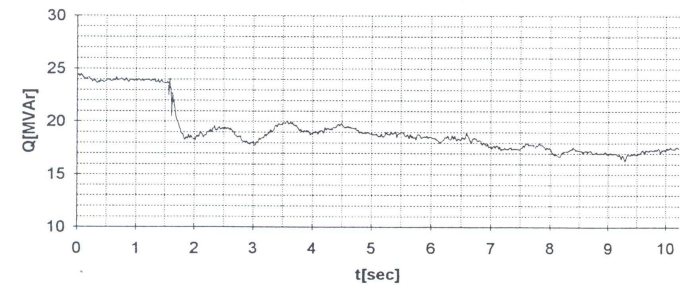
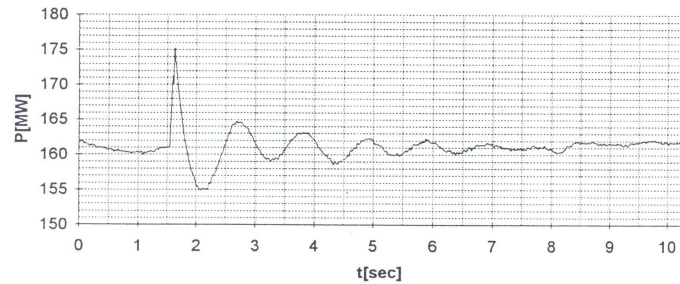
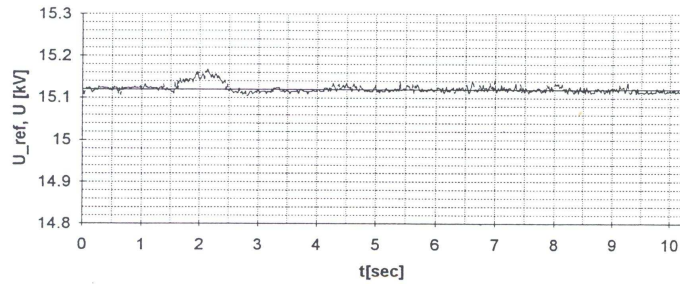


Tlmenie P TG31 pri zmene $U_{\check{z}gen}$



Switching on the 220 kV overhead line Dunamenti-Zugló

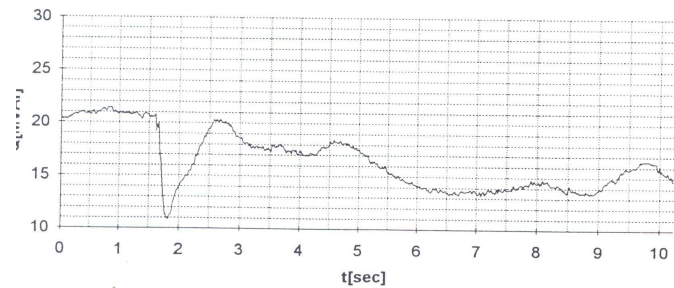
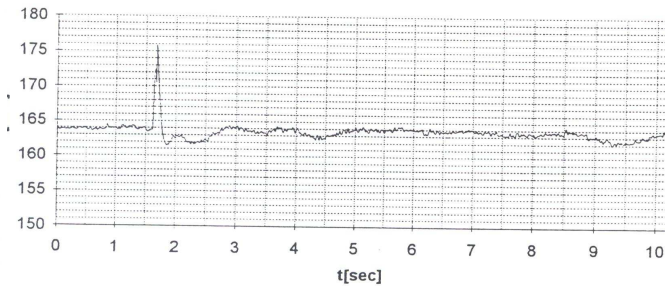
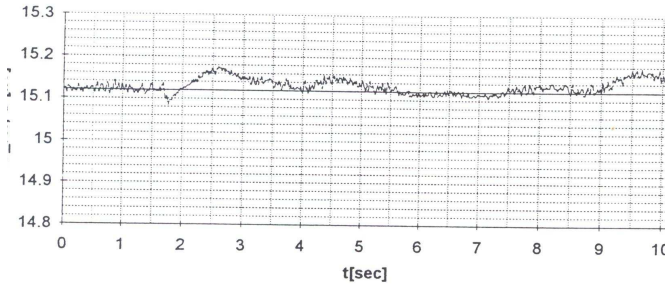
DATE: 09/17/95 TIME: 12:11 DUNAMENTI 13 UNIT PSS "OFF"



The measured data were logged with the pcTERM program through the diagnostic interface of the static exciter SG 407 of GANZ ANSALDO Ltd.

Switching on the 220 kV overhead line Dunamenti-Zugló

DATE: 09/17/95 TIME: 12:00 DUNAMENTI 13 UNIT PSS "ON"

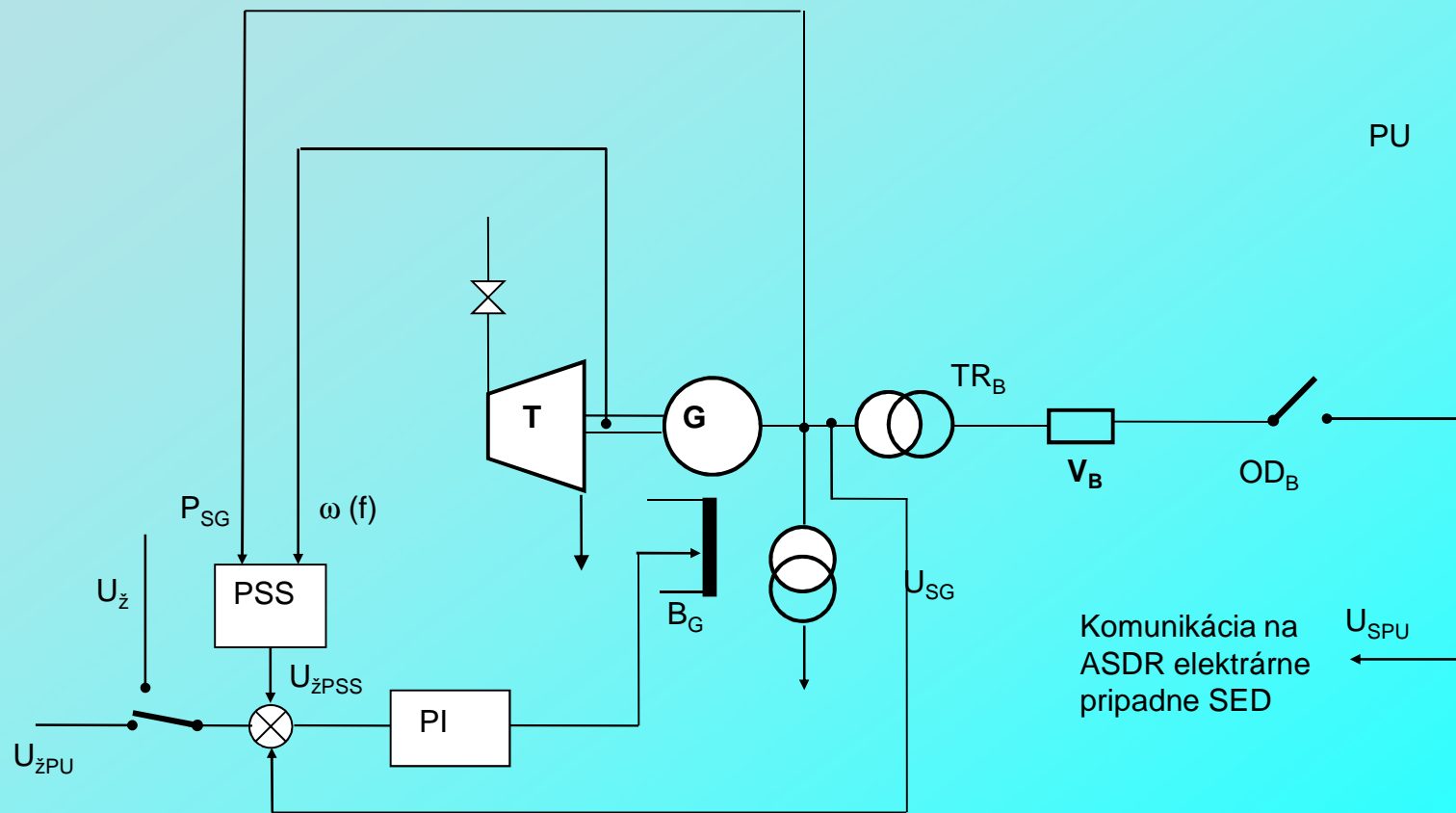


The measured data were logged with the pcTERM program through the diagnostic interface of the static exciter SG 407 of GANZ ANSALDO Ltd.

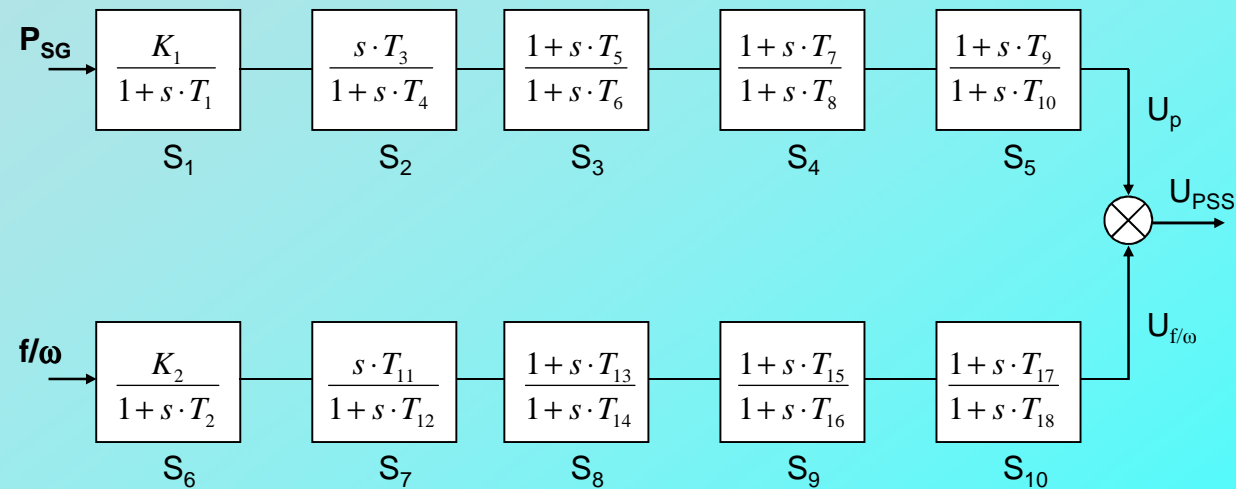
12'

12'

Zapojenie PSS



Štruktúra PSS doporučenie UCTE

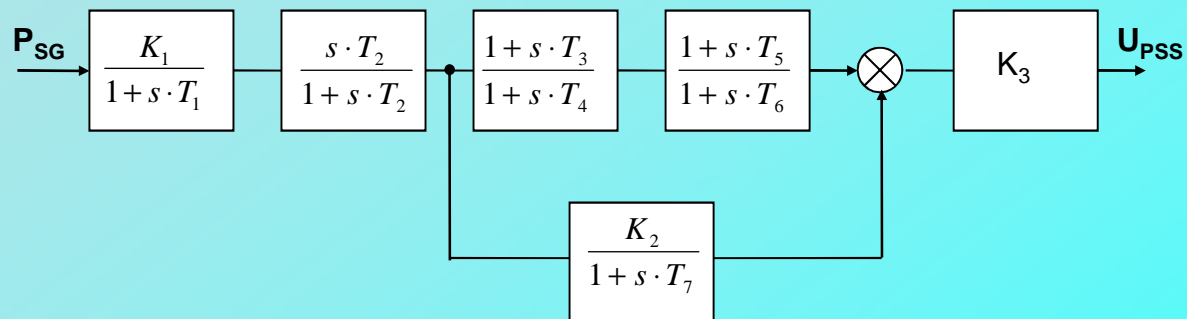


$$U_{PSS} = U_p + U_{f/\omega}$$

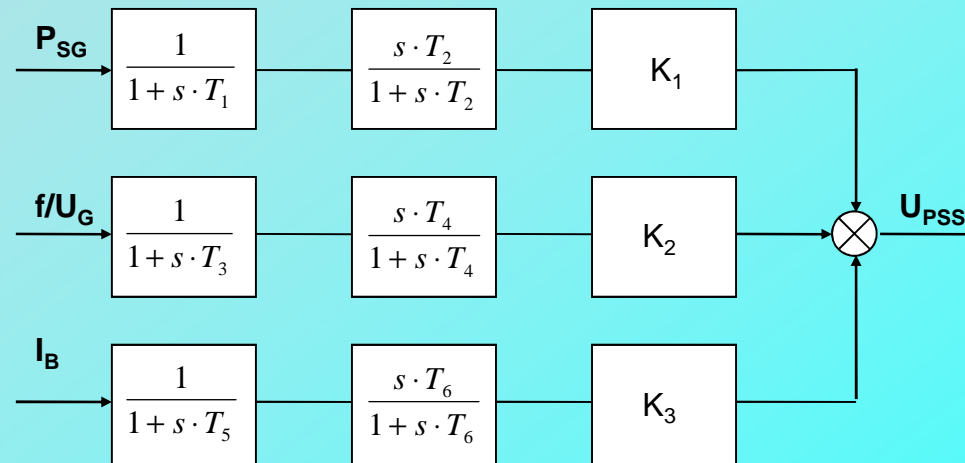
$$U_p = P_{SG} \cdot (S_1 \cdot S_2 \cdot S_3 \cdot S_4 \cdot S_5)$$

$$U_{f/\omega} = f/\omega \cdot (S_6 \cdot S_7 \cdot S_8 \cdot S_9 \cdot S_{10})$$

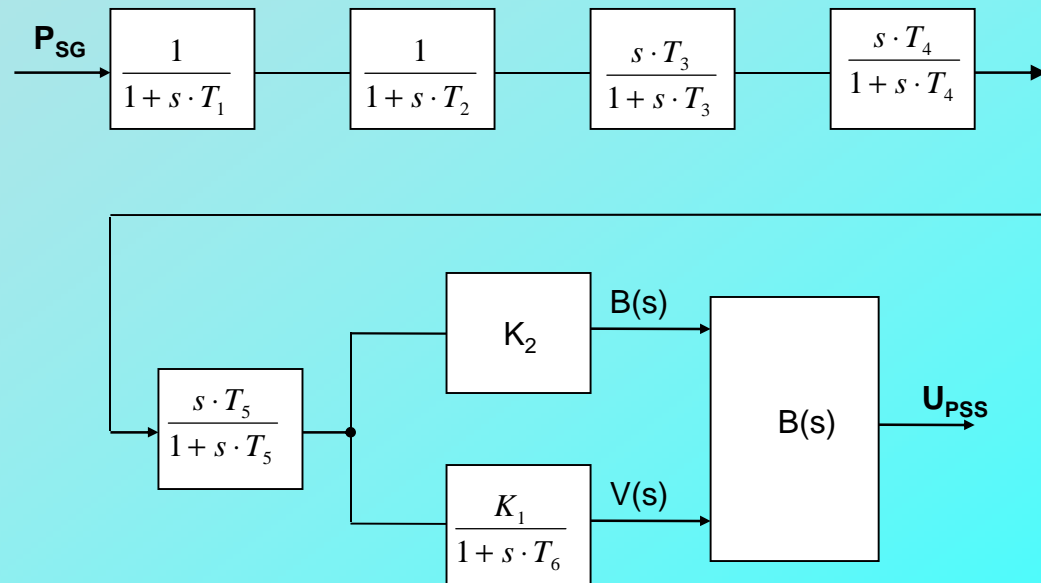
PSS používané v Poľsku



PSS používané fy Škoda



PSS používané fy Elin

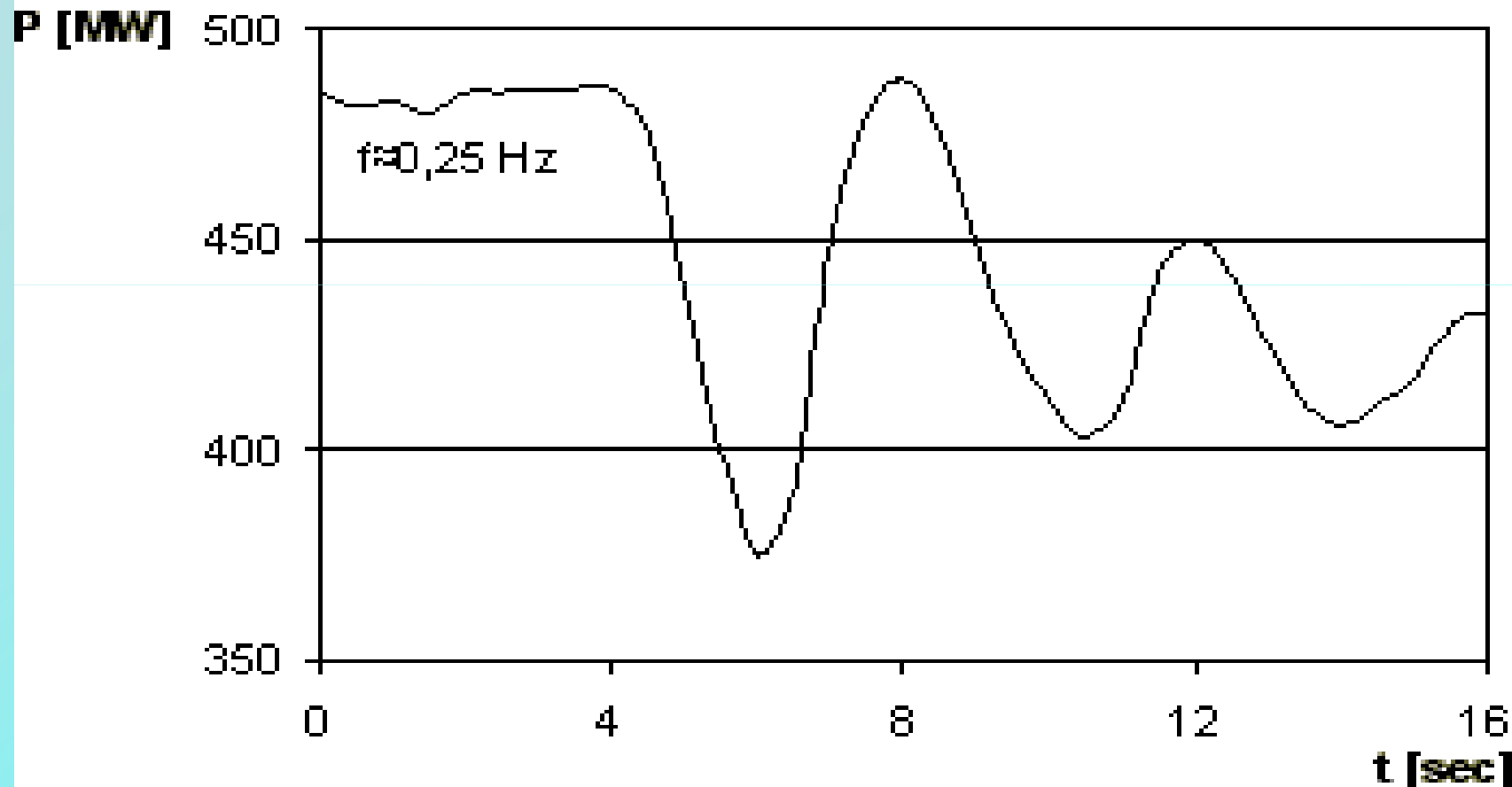


Princíp tlmenia vzniknutých kmitov P na linkách

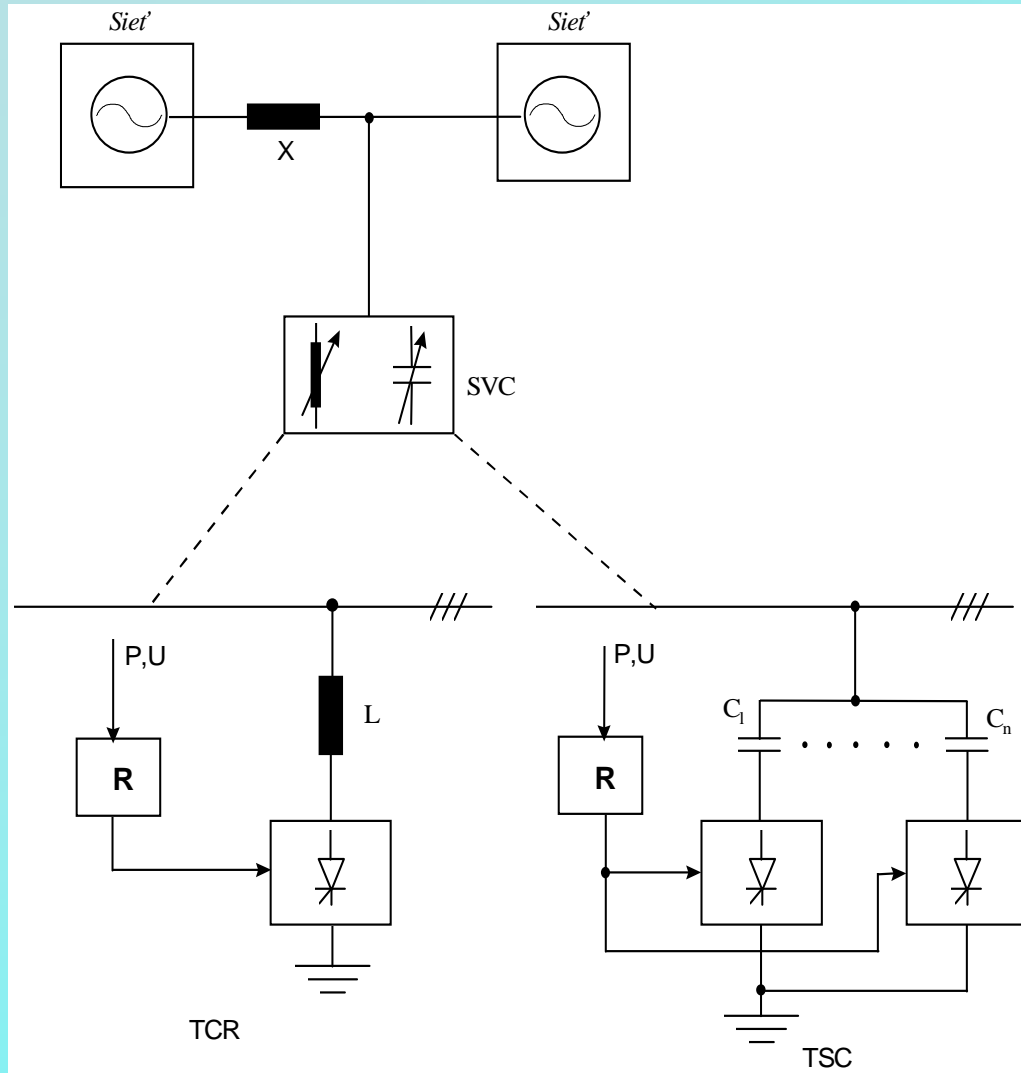
Vznikom kmitania na prenosových vedeniach sa môže porucha z jednej elektrizačnej sústavy preniesť do druhej - **preto je potrebné kmitanie utlmiť**

Obr. ukazuje rozkmitanie činného výkonu na jednej 400 kV linke, medzi Nemeckom a Francúzskom pri 1000 MW výpadku v Španielsku.

Priebeh kmitania P na spojovacej linke medzi dvomi reg. oblast'ami



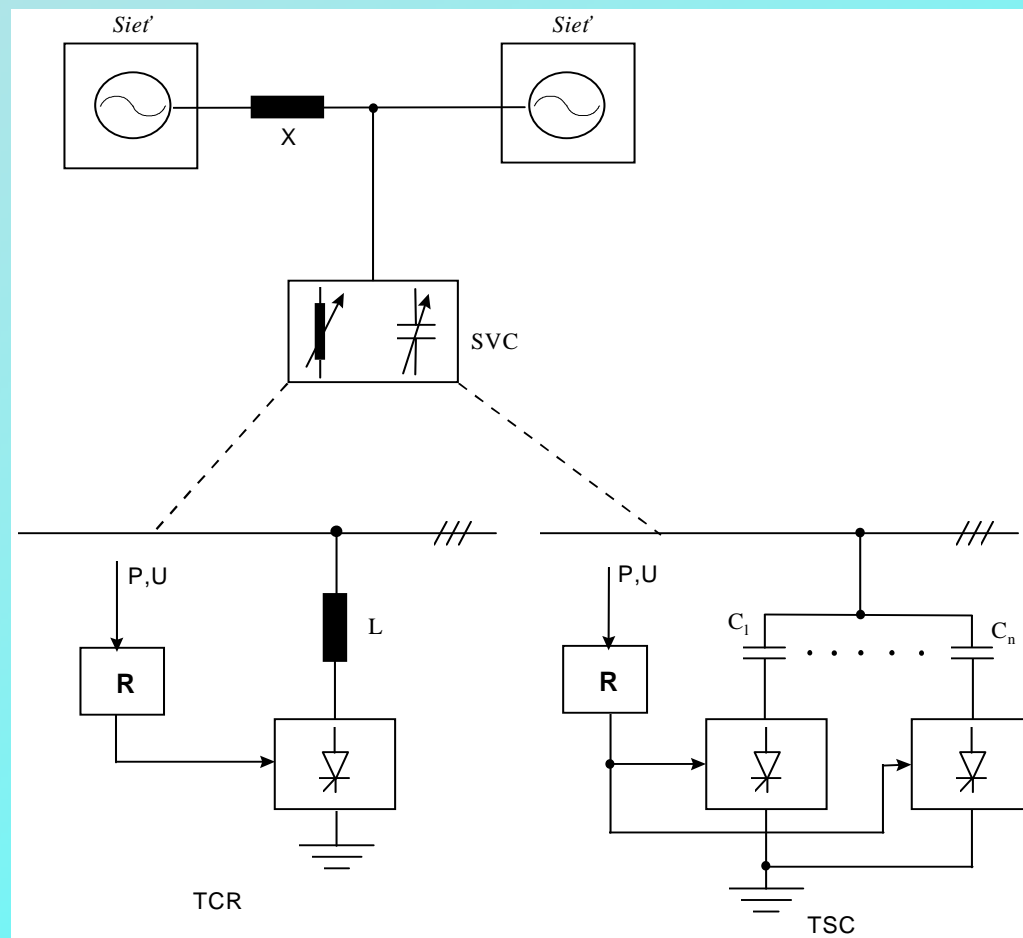
Principiálna schéma tlmenia kmitov P na linkách pomocou SVC



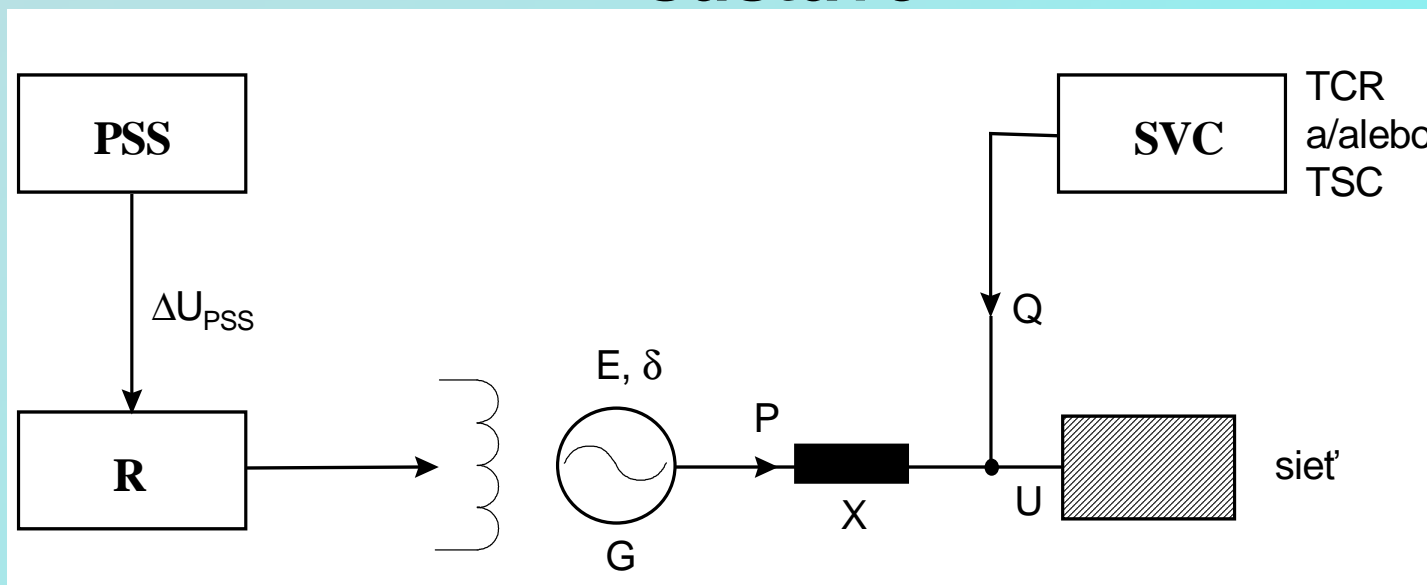
SVC – Static Var Compensator

1. TCR – Thyristor Controlled Reactor (tyristorom regulovaná tlmivka)
2. TSC - Thyristor Switched Capacitor (tyristorom spínané kondenzátory)

Principiálna schéma tlmenia kmitov P na linkách pomocou SVC



Princíp zapojenie PSS a SVC v elektrizačnej sústave



G - generátor

R - regulátor

P - výkon generátora

L - tlmivka

δ - záťažný uhol generátora

C - kapacita

X - impedancia vedenia

E - napätie generátora

Q - jalový výkon

ΔU_{PSS} - vstupné napätie z PSS

U - napätie

Výkon generátora, ktorý dodá do siete je závislý od napätia generátora, napätie siete, kde je zapojenie SVC, záťažného uhlu generátora (výkon turbíny) a impedancie vedenia, ktorým sa výkon prenáša

$$P = \frac{E \cdot U}{X} \cdot \sin \delta$$

Zariadenia SVC v ES

Použitie SVC zariadení v ES má tieto výhody:

- vylepšenie tlmenia oscilácií v širokom frekvenčnom pásme
- lepšia a rýchlejšia regulácia napätia
- dynamická regulácia jalového výkonu
- zníženie prenosových strát
- vylepšenie prechodovej stability sústavy
- zväčšenie prenosovej kapacity vedení.

SVC zariadenia v elektrizačných sústavách

- Vo svete je teraz nainštalovaných veľa SVC zariadení, ktoré riešia problémy v ES.
- V Európe sú SVC zariadenia nainštalované v nasledujúcich štátoch:

SVC zariadenia v elektrizačných sústavách v Európe

Nórsko	niekoľko SVC zariadení s max. výkonom jednotky 500 MVar pre 400 kV
Švédsko	niekoľko SVC zariadení s max. výkonom jednotky 400 MVar pre 400 kV
Veľká Británia	niekoľko SVC zariadení s max. výkonom jednotky 450 MVar pre 400 kV
Rakúsko	jedna SVC jednotka, výkon 150 MVar pre 400 kV

Porovnanie PSS a SVC zariadení

PSS	SVC
Tlmenie	
Priamo tlmí rotorové oscilácie generátora vhodným výstupným signálom z PSS	Oscilácie prenosov sú ovplyvňované zmenou napätia, ktoré sa robí napät'ovo závislým zaťažením
Optimálne tlmenie pre malé frekvenčné pásmo 0,5 - 1,5 Hz	SVC nemusí byť optimalizovaný pre konkrétne frekvenčné pásmo. Vhodným spôsobom riadenia pracuje vždy s optimálnou fázou tlmenia.
Pre frekvenčné pásmo 0,1 - 1,5 Hz musí byť PSS viac vstupové.	
Vstupy	
Napr. $P + f$ alebo $P + \omega$	ΔP a ΔU
Výstupy	
ΔU_{PSS} vstupuje do súčtového člena regulátora napätia R, ktorý spôsobí zmenu napätia generátora ΔE	ΔQ na pripojnici, ktorý spôsobí zmenu napätia o ΔU

Porovnanie PSS a SVC zariadení

PSS	SVC
Umiestnenie	
Musí byť umiestnené v celej energetickej sieti, nakoľko oscilácie po poruche môžu nastať vo všetkých častiach prepojenej siete. Najlepší útlmový efekt je na generátoroch a veľkou amplitúdou oscilácií	Veľá faktorov ovplyvňuje umiestnenie. Nakoľko zapojenie SVC do siete okrem tlmenia ovplyvní aj: regulácia napätia, straty v sústave, prechodovú stabilitu, prenosovú kapacitu, dynamiku regulácie jalového výkonu. Najvhodnejšie umiestnenie je na dlhých prenosoch
Náklady	
Nízka cena PSS jednotky. Pre efektívne tlmenie je potrebné veľá jednotiek.	Veľmi vysoká cena. Pre efektívne tlmenie je potrebné niekoľko jednotiek

Tlmenie kmitania v ES SR

V súčasnosti sú budiace súpravy s PSS nainštalované v niekoľkých elektrárňach SE (EVO, EBO, atd) a postupne sa počíta s ich inštaláciou na všetkých zdrojoch.

SVC zariadenia nie sú nainštalované v ES SR a neuvažuje sa s nimi v najbližšej dobe.