

Pojem stability v elektrizační soustavě

Pro KEE/PJS

Karel Noháč
2015

Úhlová stabilita:

- Interakce přenášeného činného výkonu a rozdílu úhlu napětí uzlu připojení zdroje (elektrárny) a místa odběru (přenosové sítě, nebo odběru v ostrovním režimu).
Vlastně vztah činného výkonu a úhlů uzlových napětí.

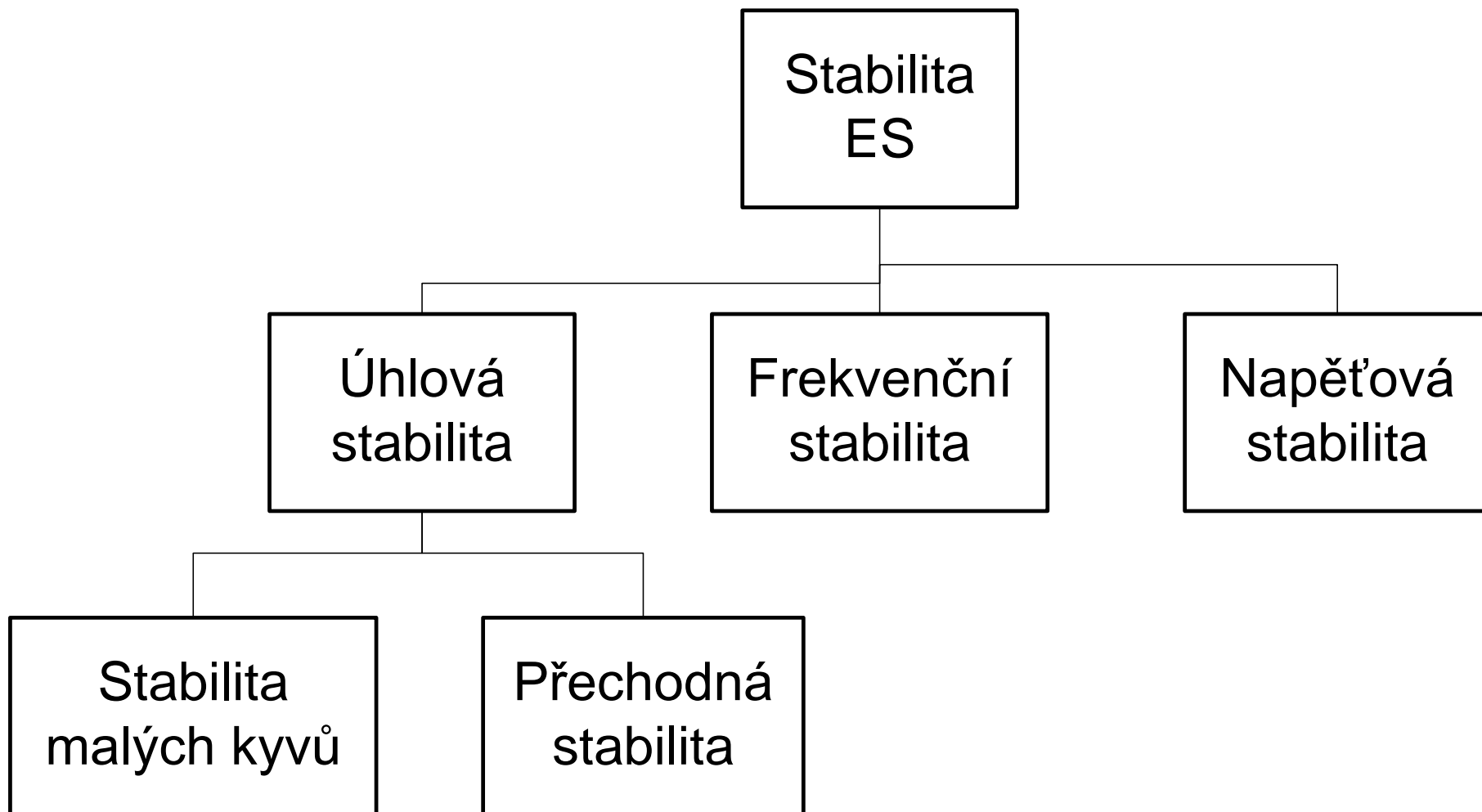
Napěťová stabilita:

- Interakce velikosti uzlových napětí, které mají přímou vazbu na přerozdělování a spotřebu jalového výkonu.

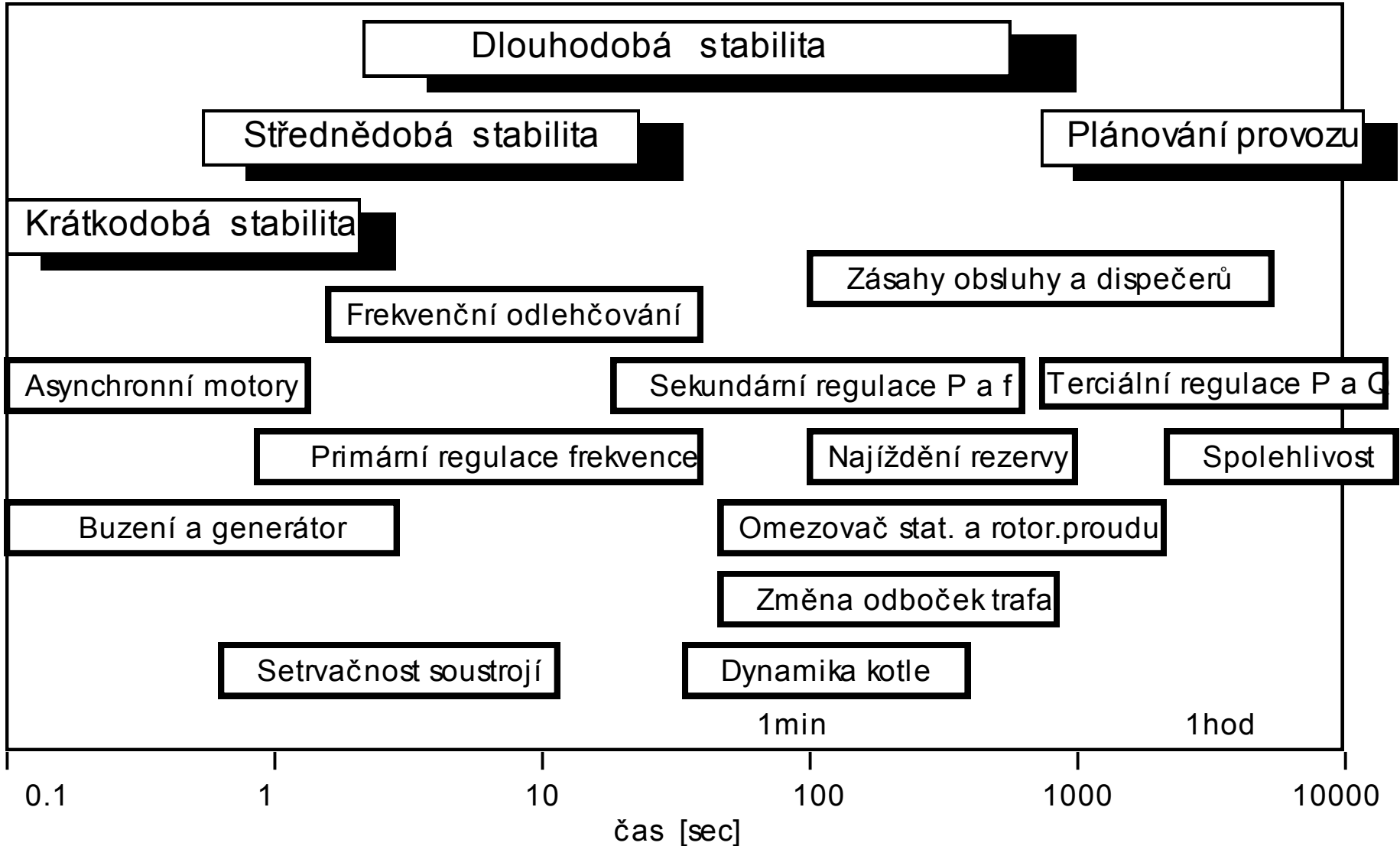
Frekvenční stabilita:

- Interakce velikosti globální rovnováhy činného výkonu a frekvence soustavy (nebo izolovaného ostrova).

Rozdělení stabilit v ES



Rozdělení stabilit v ES



Úhlová stabilita:

- Zajišťují regulátor otáček soustrojí zdroje, ale vliv má i mnoho dalších faktorů (regulátor buzení, ochranné prvky přenosu, ...). Nově pak transformátory typu phase-shift.

Napěťová stabilita:

- Zajišťují regulátory buzení synchronních strojů (generátorů, pohonů a kompenzátorů), nastavení odboček transformátorů, moderní statické regulátory velikosti napětí.

Frekvenční stabilita:

- Zajišťuje operátor přenosové soustavy.

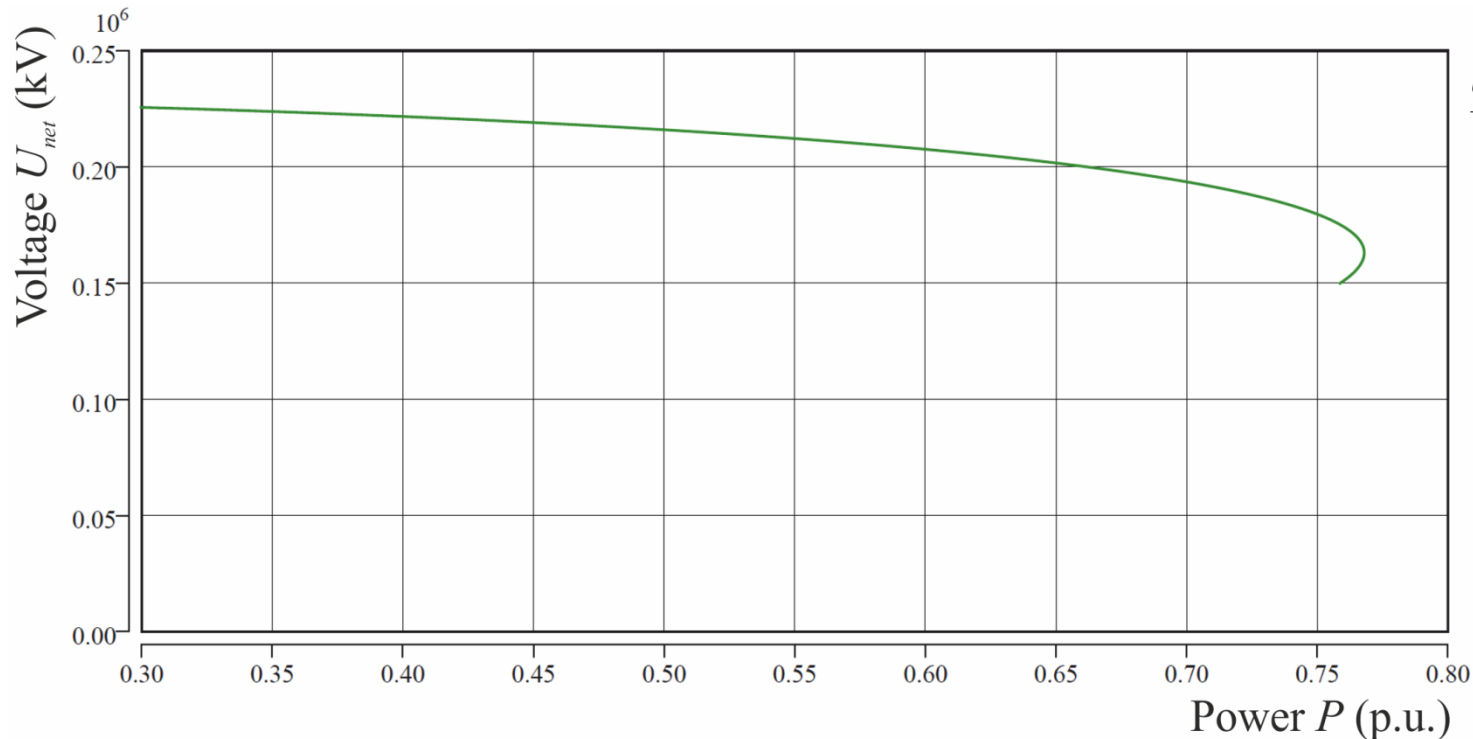
Napěťová stabilita:

- Obvykle stejně významná jako úhlová stabilita
- Monitoruje velikost uzlových napětí, která má přímou vazbu na přerozdělování a spotřebu jalového výkonu.
- Výsledný omezující vztah pro činný přenášený výkon je:

$$\frac{U_{net}^4 - U_{net}^2}{X_C^2} + P = 0$$

Napěťová stabilita:

- Kritická úroveň velikosti napětí vzhledem k přenosu činného výkonu vyplývá z analýzy vztahu a má charakteristický známý tvar „nosové křivky“.



$$\frac{U_{net}^4 - U_{net}^2}{X_c^2} + P = 0$$

Frekvenční stabilita:

- Sleduje obecnou vyváženost mezi vyráběnou a spotřebovávanou energií, potažmo vyváženost činných výkonů
- Regulaci frekvence a zajištění její stability provádí operátor přenosové soustavy pomocí nástrojů systémových služeb, které zahrnují:
 - Primární a sekundární regulace výrobních bloků - RP, SP
 - 5, 15 kladná, +ř záporná a 30 minutová záloha - MZ5, 15+, 15-, 30
 - Snížení výkonu – SV30
 - Sekundární regulace napětí a jalového výkonu - SRUQ
 - Schopnost ostrovního provozu - OP
 - Schopnost startu „ze tmy“ - BS
 - Využití havarijní smlouvy, resp. operativní dodávky elektřiny z a do zahraničí a do zahraničí - EregZ

Frekvenční stabilita:

- Požadavkem pro udržení frekvenční stability je dostatek výkonové (kladné i záporné) rezervy ať již na zdrojích dodávky, nebo omezení spotřeby.
- Tato podmínka vede na úlohu udržování regulační výkonové odchylky *ACE* (Area Control Error) na co nejmenší úrovni:

$$ACE = \Delta P - K \cdot \Delta f$$

Rozdělení stabilit v ES

ARCHIV Pondělí 2. 4. 2012 11:00:32

SALDO [MW]

Saldo oper. LAN **Manuálně**

průběh hodina -2478
průběh změna -2478

aktuální hodina **-2659**

začátek za 00:54:28
končí hodina v 11:56:10

stav trendování **PRODLÉVA**

-2573 - -2624 = 51

PROVOZNI STAV REGULÁTORŮ

HDP ZDP

ON MONITOR

GCC MENU

Saldo Pavouk PpS Meze TR DZ QS15 ZZ

Společba ČR 8334
Výroba 10840
Společba 8330

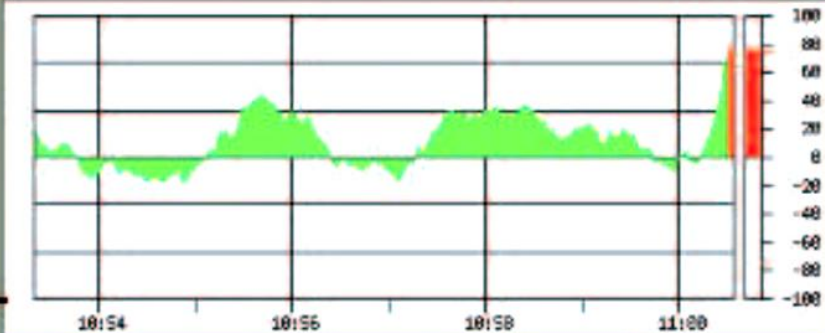
Cena zadána aktuální
C-ZADAK 0 LAN

Vystavení setpointů Přenos do IN-Ex Plan - drobné

PORUCHOVÉ SIGNÁLY

MAHRADA SALDA @
POTLACENÍ MĚŘENÍ OD SALDA M
NESTANDARDNÍ NASTAVENÍ REG. K
POTLACENÍ MĚŘENÍ FREKVENCE F
POLARITA SACE

SACE na vstupu do regulátoru



Regulační rovnice

Regulační mód **P** **51** **K** Δf **-18.19**

CPF

ACE, SACE

Koeficient třítu **0.75**

Korekce ACE

Manuální SACE

SACE na vstupu do regulátoru **76 MW**

Výkonost AGC

| | | | |
|---------------------|-----------|------------------------|-------------|
| SACE stř. běžné | 16.061 MW | Saldo stř. běžné | -2607.79 MW |
| SACE stř. min. | 12.421 MW | Saldo stř. min. | -2579.56 MW |
| Kmitočel stř. běžný | 49.980 Hz | Odch. salda stř. běžná | 13.72 MW |
| Kmitočel stř. min. | 49.985 Hz | Odch. salda stř. min. | 8.24 MW |
| | | Chyba řízení VE | 0 MW |
| | | Chyba řízení PE | 0 MW |

Reg. rozsah RACE vyčerpán

PL VE **NAHORE**

Vazba z VE do PE **0.80**

Frekvence [Hz]

Výkonové číslo [MW/Hz] **731**

Δf **-0.023**

49.967

AUTO na dnes **49.99** na zítra **50.00**

| | | | | | |
|-------|--------|-------|--------|--------|--------|
| TF1 | 49.965 | TF2 | 49.965 | rozdíl | 0.000 |
| TAL01 | 49.985 | TIRAM | 49.966 | TLIS2 | 49.948 |
| TMOŠL | 49.965 | IPNE4 | 49.966 | TSLV4 | 49.965 |

RACE / UACE

RACEP **-59**

KE - PE **Cmax**

HACLV **8**

KE VE **Cmax**

PE VE

RACE **-310** **310**

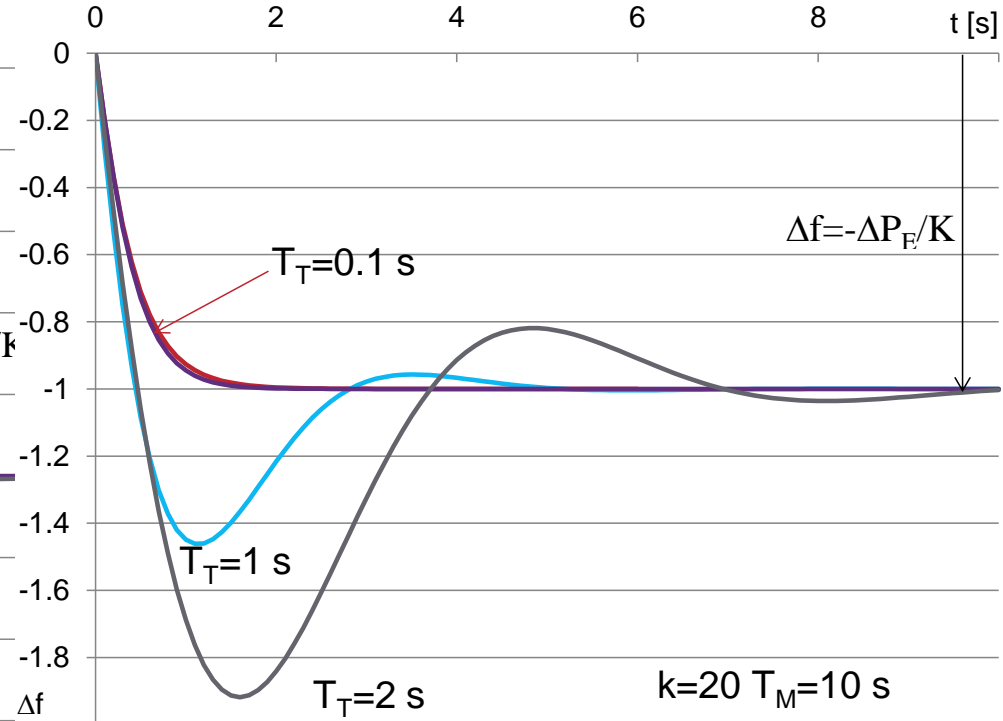
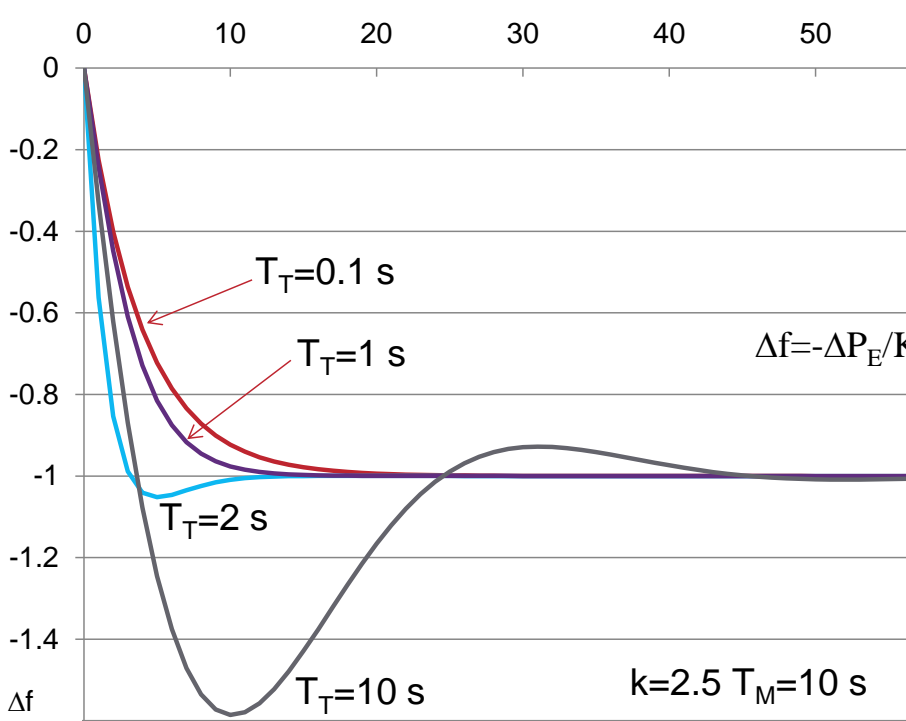
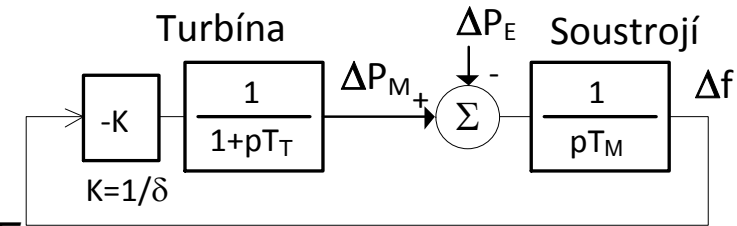
Čerpání SR

SACE > **200** dPvkl (**2**) > **200**

Rozdělení stabilit v ES

Frekvenční stabilita:

- Průběh frekvence Δf při deficitu ΔP_E

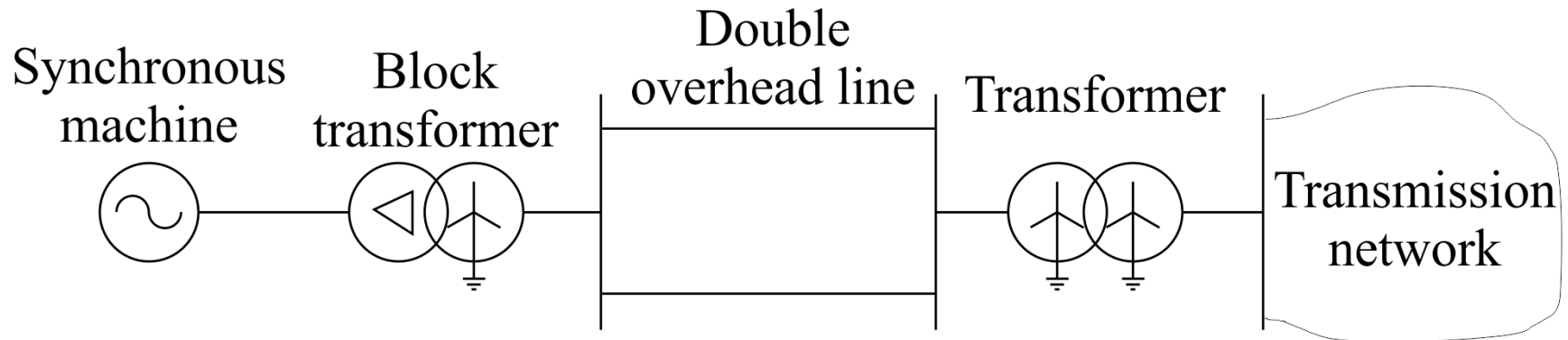


Synchronní propojení
Primární regulace f

Ostrovní provoz
Regulace otáček

Úhlová stabilita:

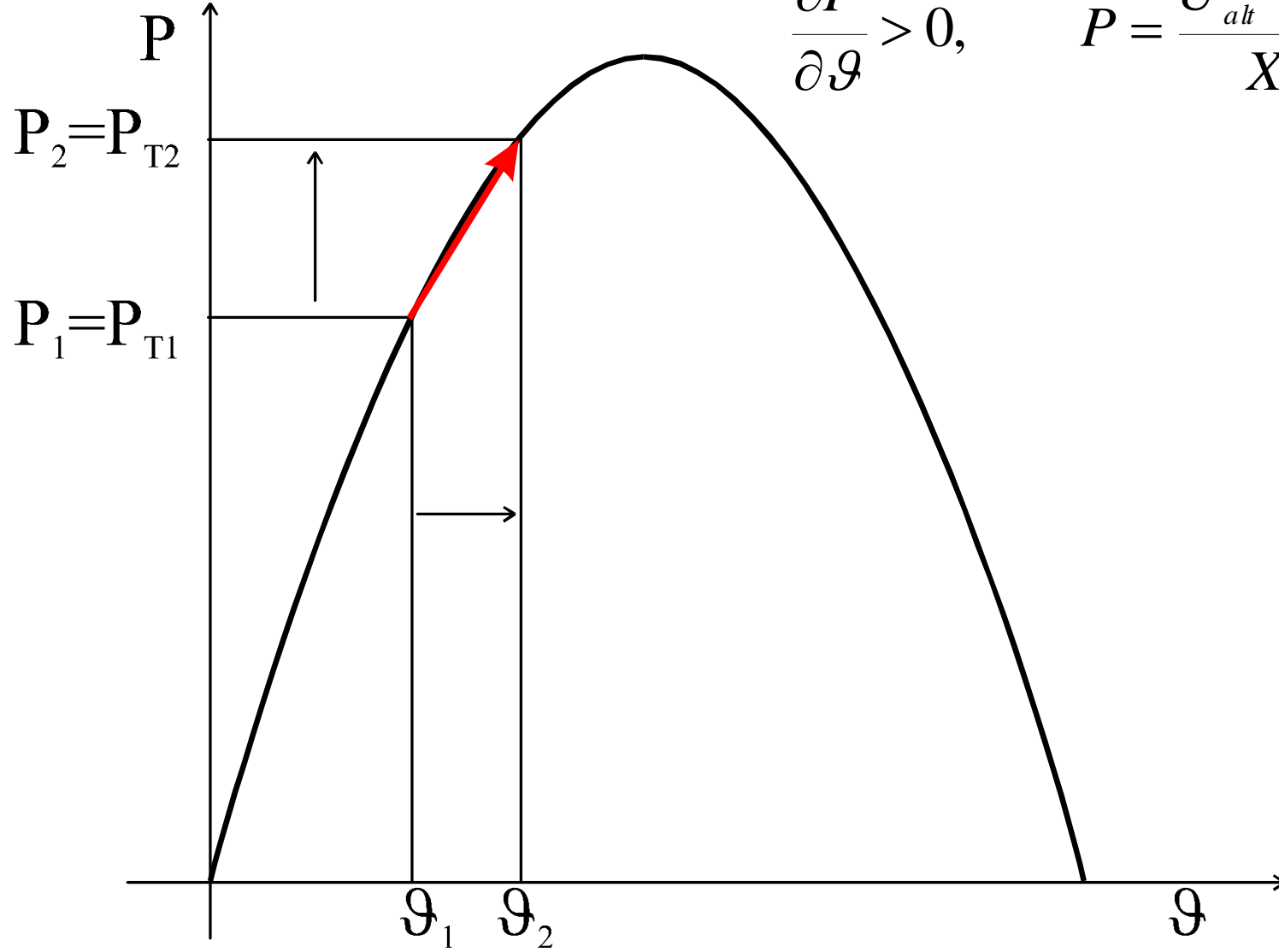
- Obvykle nejdůležitější v interakci elektrárny a přenosové sítě. Obecný základní teorém pokrývá spolupráci jednoho synchronního generátoru připojeného do přenosové soustavy přes vazební člen a určuje limit závislosti přenášeného činného výkonu P na zátěžném úhlu ϑ .



$$P = \frac{U_{alt} \cdot U_{net}}{X_c} \sin(\vartheta)$$

Dynamika přenosu výkonu

Úhlová stabilita:



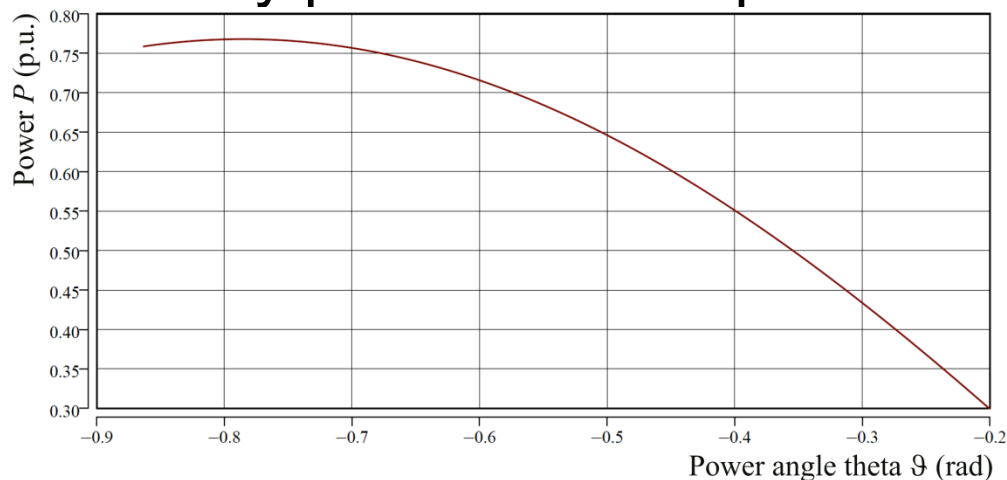
$$\frac{\partial P}{\partial \vartheta} > 0,$$

$$P = \frac{U_{alt} \cdot U_{net}}{X_c} \sin(\vartheta)$$

Úhlová stabilita:

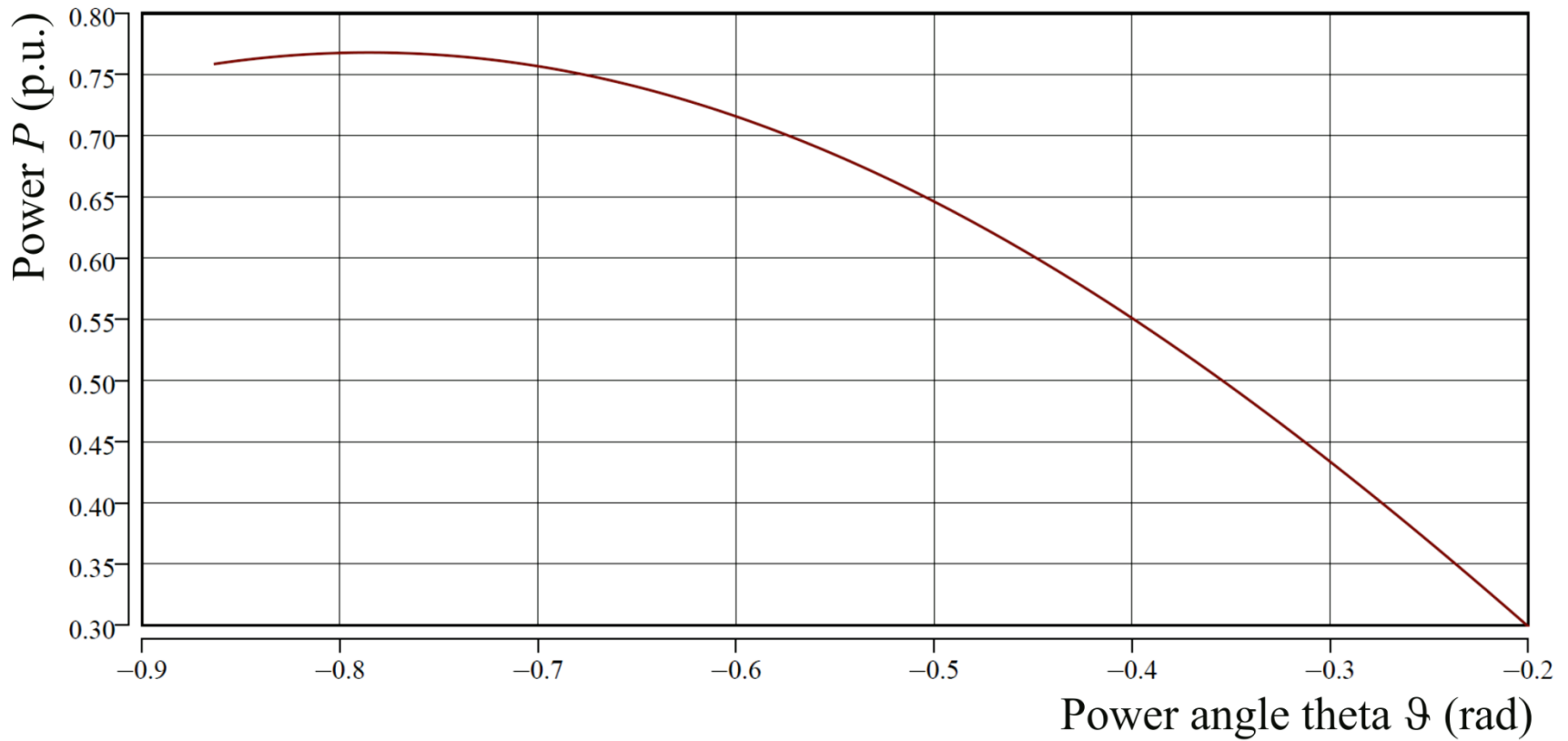
- V režimu, kdy neexistuje druhý opěrný bod s pevnou hodnotou velikosti a fáze napětí je sice stále přenosový limit závislý na fázích napětí, ale jednoduchá sinusová závislost je pozměněna a je více citlivá na změnu impedance v systému..

Za těchto okolností typicky rozdíl fází klíčových napětí nesmí přesahovat staticky přibližně 45 stupňů.



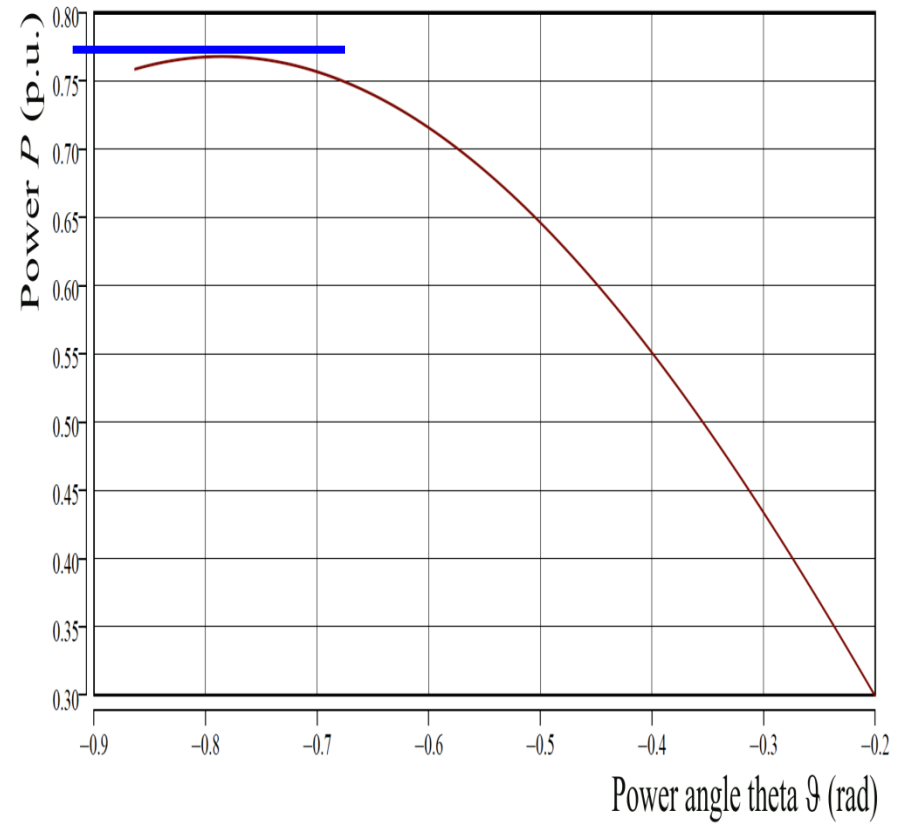
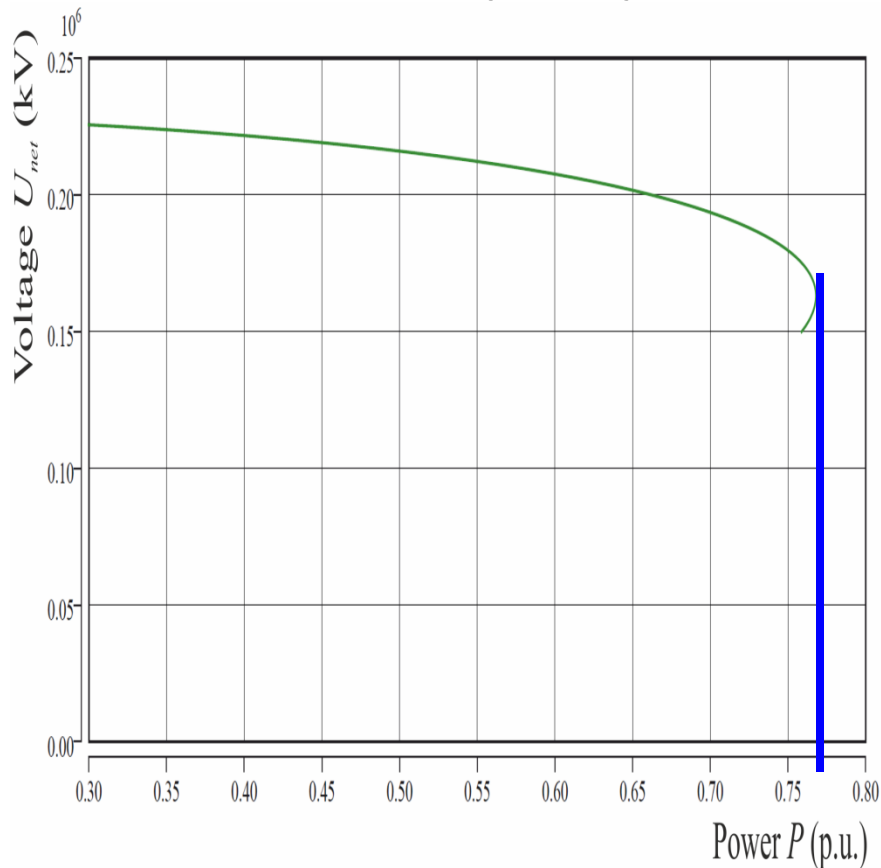
Úhlová stabilita:

- Speciálně pro ostrovní provoz nutno respektovat specifickou obvodovou konfiguraci nejlépe v simulačním nástroji



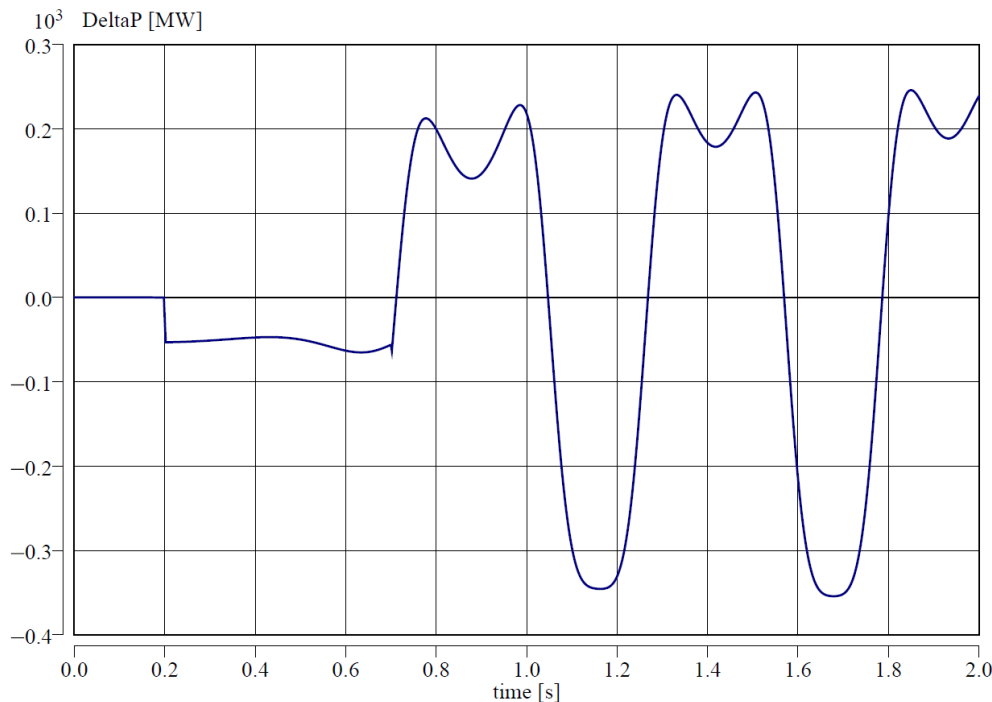
Rozdělení stabilit v ES

- Ve valné většině případů je vyšetřený **limit omezení daný napěťovou stabilitou a úhlovou stabilitou dosažen za stejných provozních podmínek** a tedy velikosti přetížení přenosu činným výkonem:



Úhlová stabilita:

- Pro dynamické odezvy je nutno brát zřetel na mnoho dalších faktorů a jejich možné změny, současně vždy zohlednit konkrétní konfiguraci včetně možných poruchových scénářů v dynamickém simulátoru.

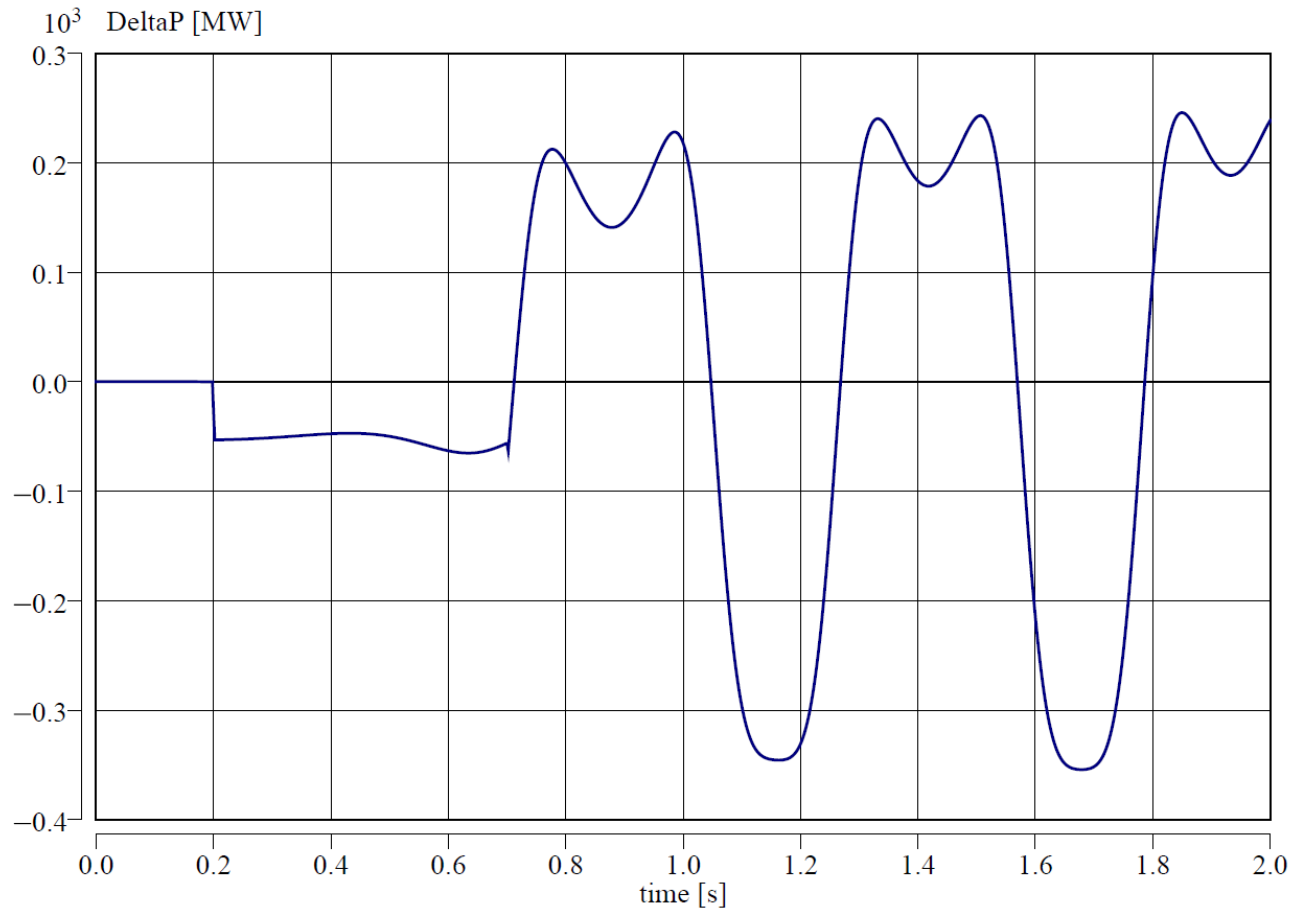


$$J \frac{d\omega}{dt} = \Delta M$$

$$J \frac{d^2\vartheta}{dt^2} = \frac{P_T - P}{\omega} = \frac{\Delta P}{\omega}$$

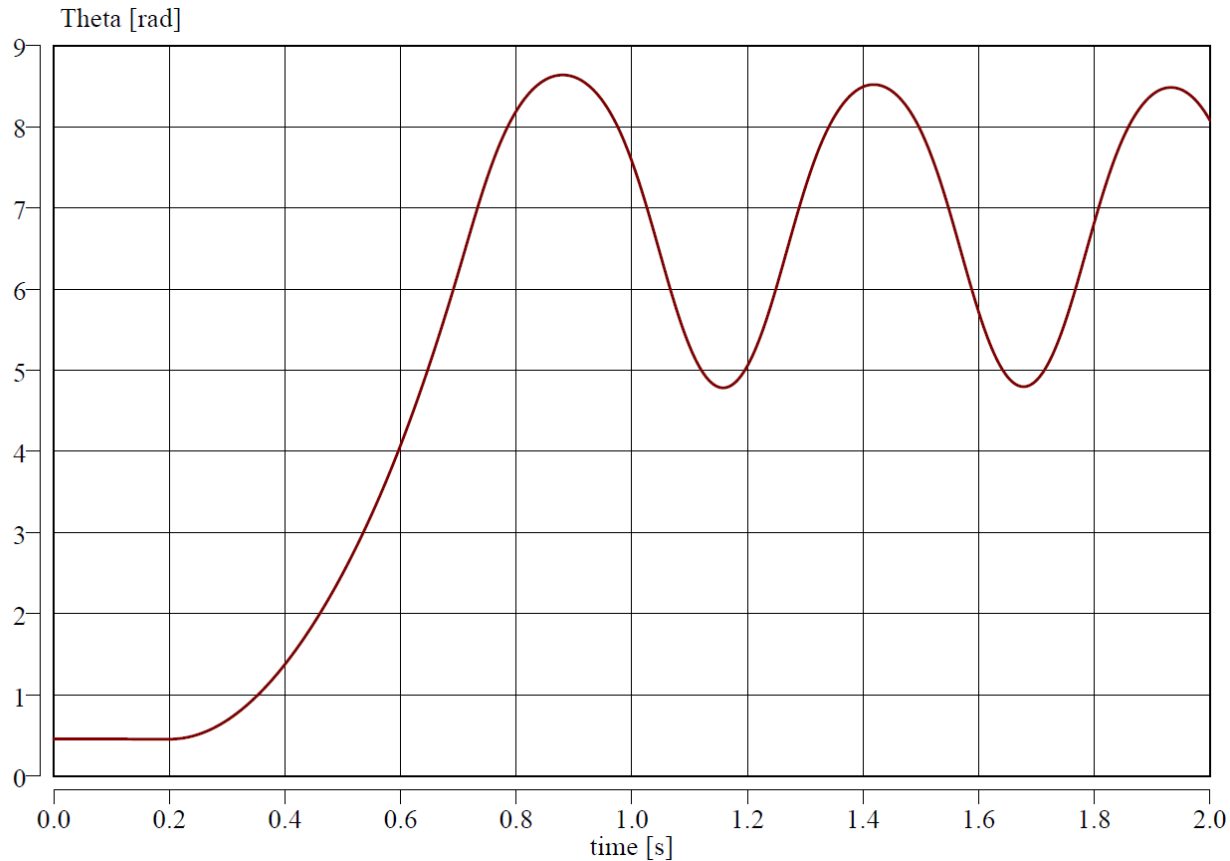
Úhlová stabilita:

- Závislost rozdílového činného výkonu v čase



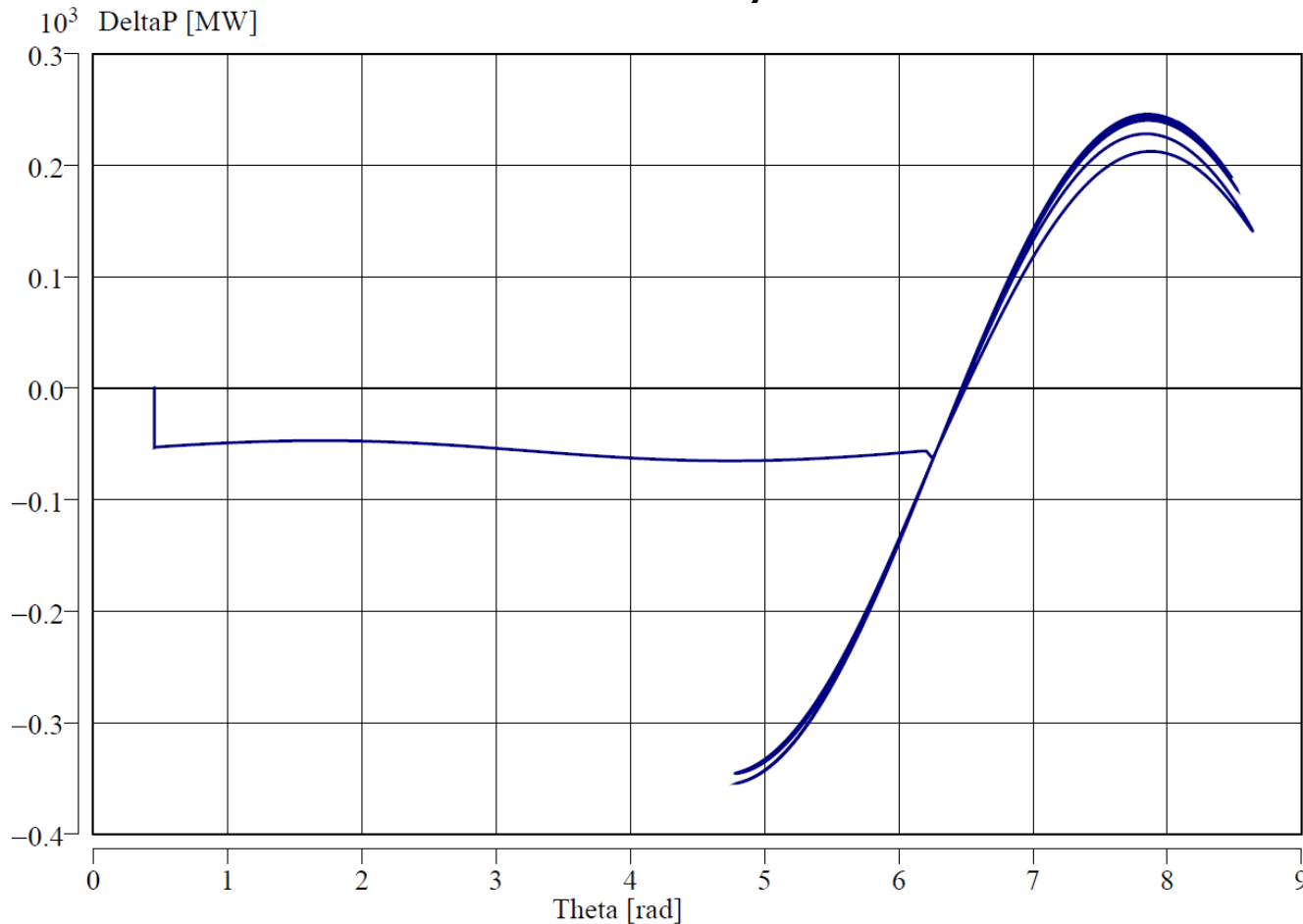
Úhlová stabilita:

- Závislost zátěžného úhlu v čase



Úhlová stabilita:

- Závislost rozdílového činného výkonu na theta



Úhlová stabilita:

- Závislost reakce budícího proudu v čase

