

ELEKTROMECHANICKÉ KMITÁNÍ JAKO MOŽNÝ DŮVOD VÝPADKŮ ELEKTROROZVODNÝCH SÍTÍ

Electromechanical Oscillation - Maybe some Reason of Blackouts of Power Lines

Ivan Uhlíř

Abstract: An article presents the influence of dynamic loading to declination of angle of voltage phasors in power electrical lines. Mechanical model of oscillation system in power lines is presented too.

Key words : Electromechanicals oscillations, Power lines, Phasor, Blackout.

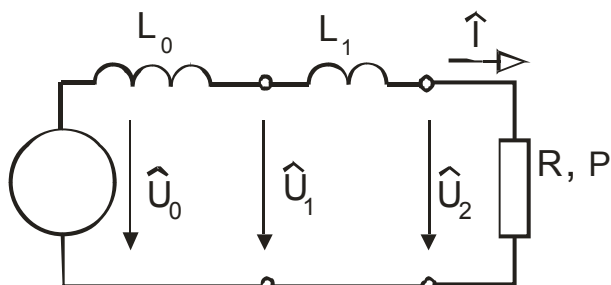
1. Úvod

Vyspělé státy se bojí opakování blackoutů, rozsáhlých plošných výpadků elektrorozvodných sítí. Poslední na jaře 2007 a zasáhl Evropu od Dánska po Itálii. První plošné výpadky byly v USA před 15 lety a dosud se opakují. Způsobují veliké národohospodářské ztráty, ohrožují technologie i přímo lidské životy, jsou postrachem civilizovaných zemí. Kdy přijdou další, budou i v ČR? Elektrorozvodné společnosti vydávají pro novináře komická vysvětlení náhodnými příhodami: Pád čápa na vedení, nebo náhodný zkrat kabelu. Co je však skutečnou příčinou blackoutů? Odborníci vysvětlují, že lokální přetížení linek, nedostatečný výkon zdrojů v systému, chybná manipulace v kritických okamžicích před výpadkem. Zatím ale málokdo vysvětluje dynamický jev při výpadku, co se v síti děje poslední vteřiny před jejím rozpadem. Datové záznamy z dispečinků zatím měly příliš řídké vzorkování. Intensivně, často utajovaně jsou zkoumány dynamické parametry elektrických sítí, zejména je v popředí zájmu statické a dynamické měření pružování fázového úhlu, z závislosti na zatížení. Měření probíhá mezi jednotlivými, často stovky vzdálenými místy, rozvodnami, v elektrorozvodné síti.

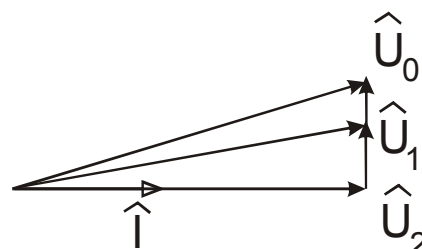
2. Závislost změn fáze fázoru sítě na jejím zatížení

Náhradní schéma části sítě, např. přípojky na rozvodnu je obr.1. U_0 je náhradní zdroj napětí sítě, L_0 je náhradní indukčnost sítě, chápáno na nadřazené rozvodně. V těchto hodnotách jsou zahrnuty hodnoty paralelně pracujících generátorů celé sítě a náhradní

impedance sítě, kterou získáme teoreticky výpočtem podle Theveninovy poučky, prakticky však hodnoty lze získat jen měřením impedance.



Obr.1.



Obr.2.

L_1 je indukčnost vedení vývodu k rozvodně, případně i rozptylové indukčnosti transformátorů v rozvodu. Při zatížení ohmickou zátěží, tj. zatížení činným výkonem s $\cos \varphi = 1$ se vyvine fázorový diagram znázorněný na obr. 2. Všimněme si, že jednotlivá napětí na distribuční lince se oproti sobě fázově posunou. Jejich fázový posuv bude přibližně úměrný odebíranému činnému výkonu.

$$\Delta\varphi \cong \frac{1}{k} P \tag{1}$$

Tato rovnice je analogická popisu chování mechanické pružiny

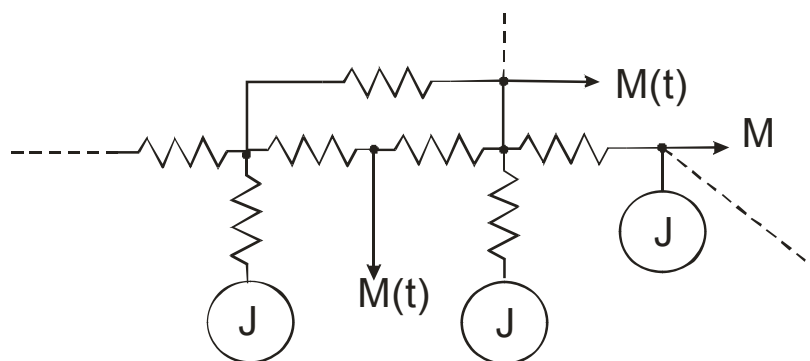
$$\Delta\varphi \cong \frac{1}{k} M . \tag{2}$$

Konstanty v rovnicích (1) a (2) a jejich analogie platí:

veličina, konstanta	elektrická analogie	mechanická
$\Delta\varphi$ [rad]	P [W] [MW]	M [Nm] [Nm]
$\frac{1}{k}$ poddajnost	$\frac{1}{k}$ el. poddajnost	$\frac{1}{k}$ mech. poddajnost

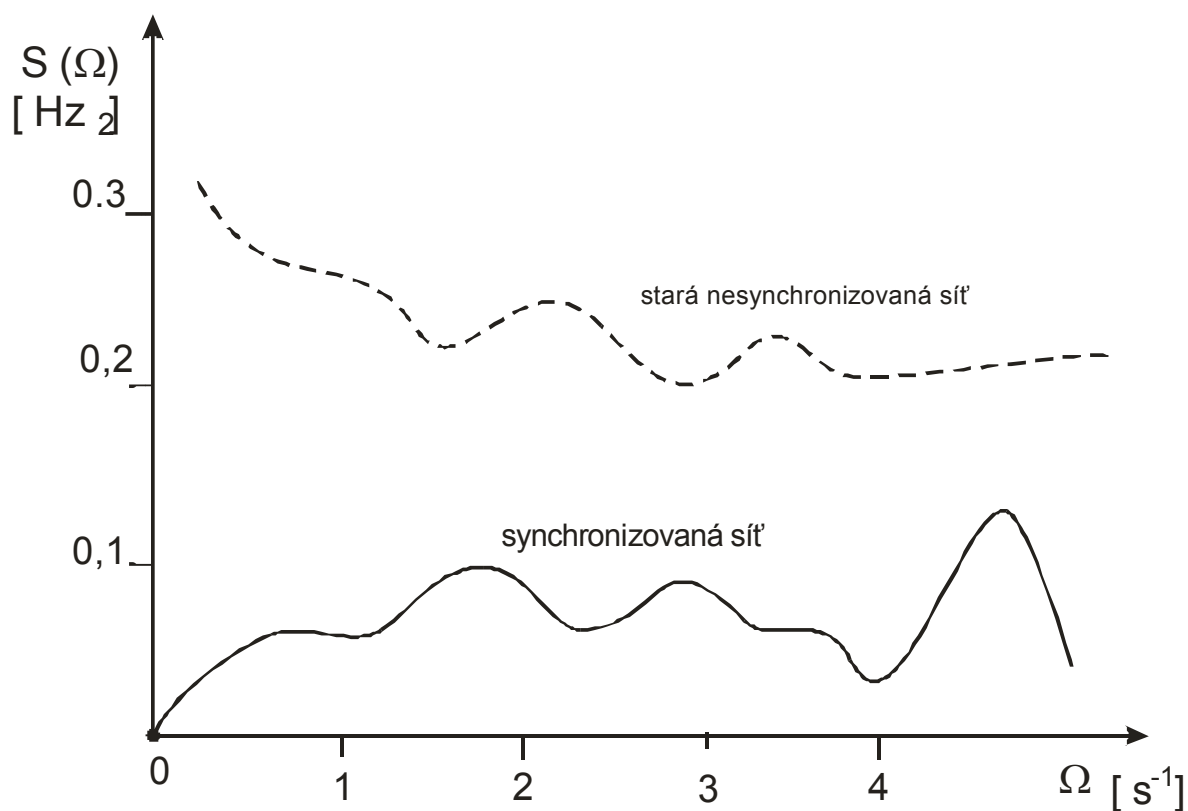
Úsek rozsáhlé elektrorozvodné sítě si lze na základě ukázané analogie představit jako složitou mechanickou soustavu na obr. 3, sestávající se z pružných členů na jejichž sít' jsou v různých uzlech připojeny hmotnosti, vzhledem k točivému systému si je raději představme jako momenty setrvačnosti generátorů a také motorů. Na tuto soustavu v různých uzlech dále působí točivé momenty v čase se měnící, tak jak se mění odebírané činné výkony spotřebičů, jak jsou tyto spotřebiče zapínány a odpojovány.

Tlumící účinky v této soustavě jsou malé a vytváří je především amortizační klece na rotorech generátorů, také připojené asynchronní motory. Literatura udává výsledný poměrný koeficient tlumení je kolem 0,15, u malých soustav, např. ostrovních sítí může být i pod 0,1. Časové kolísání výkonu zátěže a nerovnoměrnosti chodů generátorů a motorů budí ve kmitavé soustavě kolísání fázového úhlu, tedy i kolísání frekvence v určitém uzlu oproti koherentním průběhům.



Obr. 3

Příklad spektrogramu kolísání okamžité frekvence ukazuje obr. 4 ukazující na svislé ose výkonovou spektrální hustotu fluktuací výkonu v závislosti na frekvence na vodorovné ose.



Obr. 4

3. Závěr

Model elektrické rozvodné sítě je ve skutečnosti mnohem složitější než uvedené jednoparametrické zjednodušení. Ve skutečnosti jde o dvouparametrickou neautonomní

soustavu, ve které se vyskytují spojitě nelinearity goniometrických funkcí místo zjednodušeného vztahu (1), navíc je soustava velmi rozlehlá a obsahuje i podstatné nelinearity některých spotřebičů, např. měřičů. Zjednodušení model však složí k vytvoření názoru, že jde o soustavu kmitavou, s malým tlumením. Pokud v ní působí opakující se rázové vzruchy, může dojít k rozkmitání soustavy takovou amplitudou oscilací fázorů, která má za následek překročení mezních povolených výkonů v linkách. Pak dojde k rozpojování linek, tím k dalším skokům činných výkonů, které vybudují další oscilace, a soustava se rozpadá.

Zvláště nebezpečná pro stabilitu soustavy jsou zařízení s velkými výkony, které jsou schopny se rychle měnit. Nebezpečí představují také točivé stroje s velkým momentem setrvačnosti, pokud současně nemají dostatečně velké tlumicí účinky. Takovým stroji jsou např. velké větrné elektrárny. Je velmi suspektní, že právě po zprovoznění velkého množství "větrných farem" v Německu a Dánsku se dochází k rozsáhlým výpadkům. Právě větrná elektrárna při poryvech větru rychle mění dodávaný výkon, z plné hodnoty až na nulu z jediné vteřiny. Problém není řešitelný regulací, neboť v soustavě není dostatečný zásobník energie, který by rychlý výpadek pokryl.

Poděkování

Práce vznikla v souvislosti s činností autora na Výzkumném záměru č. MSM6840770035, Rozvoj ekologicky šetrné energetiky, jako inicializace výzkumu kmitání fázorů elektrických rozvodných sítí.

Literatura

- [1] Uhlíř I.: Vliv elektromagnetické rezonance alterátorů na paralelní chod elektrocentrál, Habilitační práce, Fakulta strojní ČVUT v Praze. 1991.
- [2] Mu W., Zhe Ch.: A Fast PLL Method for Power Electronic Systems Connected to Distorted Grids, TD-013986 IECON Taipei November 2007.
- [3] Hui W., Furong L., Yong K., Jian Ch., Xueliang W.: Experimental Investigation on Non Detection Zones of Active Frequency Drift Method for Anti-Islanding, TD-009148, IECON Taipei November 2007.