

# VOLTAGE COLLAPSE

Ondřej NEPOMUCKÝ, Master Degree Programme (5)  
Dept. of Electrical Power Engineering, FEEC, BUT  
E-mail: xnepom00@stud.feec.vutbr.cz

Pavel NYKODÝM, Master Degree Programme (5)  
Dept. of Power Electrical And Electronic Engineering, FEEC, BUT  
E-mail: xnykod03@stud.feec.vutbr.cz

Supervised by: Dr. Antonín Matoušek

## ABSTRACT

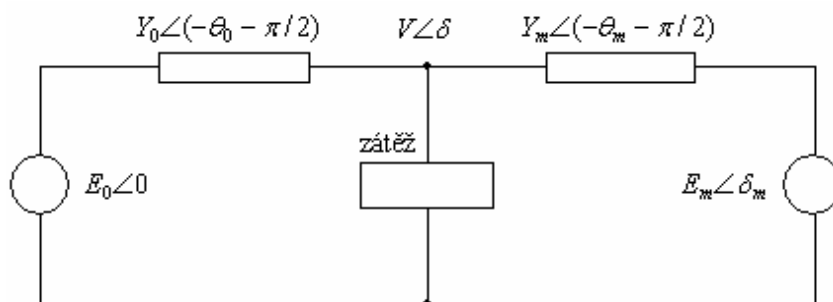
Electric power transmission systems are essentially nonlinear systems. A simple model shows how a heavily loaded power system can lose its stability and than a voltage collapse may occur. The paper also deal with methods of control and prevention voltage collapse.

## 1 ÚVOD

Jako možná příčina nejvýznamnějších výpadků dodávky elektrické energie v posledních letech bývá označována dynamická odezva elektrizační soustavy na přechodný děj. Jedním druhem odezvy je kolaps napětí, který může nastat pokud je soustava silně přetížená. Se stále komplexnějším provozem a rostoucím zatěžováním sítí, vzrůstá také závažnost problému kolapsu napětí a s ním souvisejícím výpadek dodávky elektrické energie. Modelování a analýza těchto jevů může dobře posloužit při návrhu a obsluze těchto sítí.

## 2 ROZBOR

K analýze jevu kolapsu napětí použijeme model [1] skládající se ze dvou synchronních generátorů o napětích  $U_0$  a  $U_m$  a zátěže, kterou tvoří indukční motor a paralelní zátěž typu PQ.



Obr. 1: Model skládající se ze dvou generátorů a paralelní zátěže [1]

Dynamika dvou generátorů je popsána následující rovnicí:

$$M \cdot \ddot{\delta}_m + d_m \cdot \dot{\omega} = P_m + U_m \cdot V \cdot Y_m \cdot \sin(\delta - \delta_m - \theta_m) + U_m^2 \cdot Y_m \cdot \sin \theta_m, \quad (2.1)$$

kde  $M$  je moment generátoru,  $\delta_m$  je úhel natočení rotoru generátoru,  $d_m$  je činitel zahrnující tření,  $\omega$  je úhlová rychlost,  $P_m$  je mechanický výkon,  $U_m$  je napětí generátoru,  $V$  je napětí na zátěži.

Kombinovaná zátěž je popsána následující soustavou rovnic:

$$P = P_0 + P_1 + K_{pw} \cdot \dot{\delta} + K_{pv} \cdot (V + T \cdot \dot{V}), \quad (2.2)$$

$$Q = Q_0 + Q_1 + K_{qw} \cdot \dot{\delta} + K_{qv} \cdot V + K_{qv2} \cdot V^2, \quad (2.3)$$

kde  $P_0$  ( $Q_0$ ) je činný (jalový) odběr motoru,  $P_1$  ( $Q_1$ ) je činná (jalová) složka statického odběru PQ zátěže,  $K_{pw}$ ,  $K_{pv}$ ,  $K_{qw}$ ,  $K_{qv}$ ,  $K_{qv2}$  jsou konstanty charakterizující asynchronní motor a  $T$  je časová konstanta motoru.

Uvažujeme-li  $\theta_m = 0$ , dostaneme úpravou soustavu rovnic popisující soustavu:

$$\dot{\delta}_m = \omega, \quad (2.4)$$

$$M \cdot \dot{\omega} = -d_m \cdot \omega + P_m - U_m \cdot V \cdot Y_m \cdot \sin(\delta_m - \delta), \quad (2.5)$$

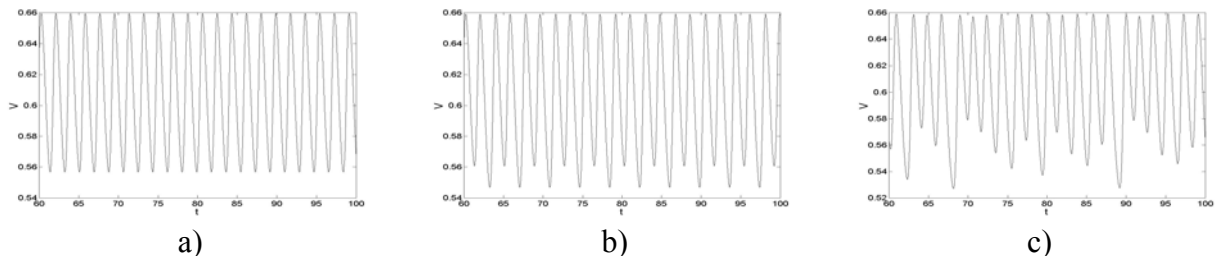
$$K_{qw} \cdot \dot{\delta} = -K_{qv2} \cdot V^2 - K_{qv} \cdot V + U_0 \cdot V \cdot Y_0 \cdot \cos \delta + U_m \cdot V \cdot Y_m \cdot \cos(\delta_m - \delta) - (Y_0 + Y_m) \cdot V^2 - Q_0 - Q_1, \quad (2.6)$$

$$T \cdot K_{qw} \cdot K_{pv} \cdot \dot{V} = K_{pw} \cdot K_{qv2} \cdot V^2 + (K_{pw} \cdot K_{qv} - K_{qw} \cdot K_{pv}) \cdot V + K_{qw} \cdot [-U_0 \cdot V \cdot Y_0 \cdot \sin \delta + U_m \cdot V \cdot Y_m \cdot \sin(\delta_m - \delta) - P_0 - P_1] - K_{pw} \cdot [U_0 \cdot V \cdot Y_0 \cdot \cos \delta + U_m \cdot V \cdot Y_m \cdot \cos(\delta_m - \delta) - (Y_0 + Y_m) \cdot V^2], \quad (2.7)$$

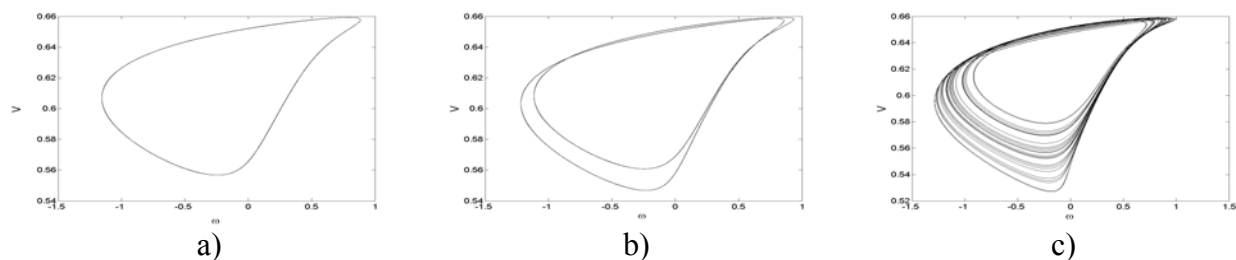
Pro numerickou simulaci uijeme následující hodnoty parametrů sítě, zátěže a generátorů:  $K_{pw} = 0,4$ ;  $K_{pv} = 0,3$ ;  $K_{qw} = -0,03$ ;  $K_{qv} = -2,8$ ;  $K_{qv2} = 2,1$ ;  $T = 8,5$ ;  $P_0 = 0,6$ ;  $Q_0 = 0,3$ ;  $P_1 = 0,0$ ;  $Y_0 = 3,33$ ;  $Y_m = 5,0$ ;  $P_m = 1,0$ ;  $d_m = 0,05$ ;  $M = 0,01464$ ;  $E_m = 1,05$ ;  $\theta_0 = 0$ ;  $\theta_m = 0$  a počáteční hodnoty  $\delta = 0$ ;  $\omega = 0,5$ ;  $\delta = 0$ ;  $V = 0,5$ . Všechny údaje jsou v poměrných jednotkách, úhly ve stupních.

### 3 VÝSLEDKY

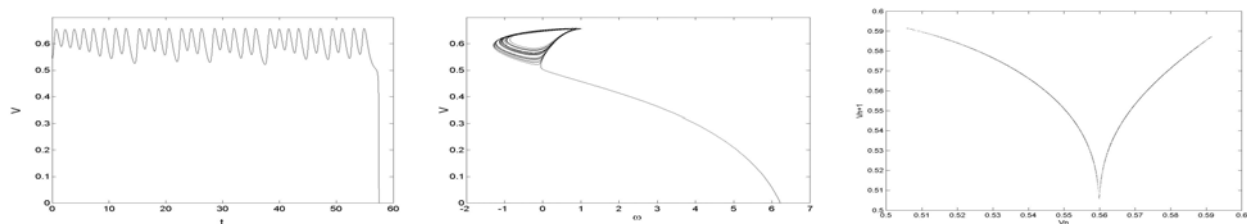
K vyhodnocení vypočítaných dat použijeme jak tradiční časové průběhy vybraných veličin, tak jejich zobrazení ve fázovém prostoru a také bifurkační diagram.



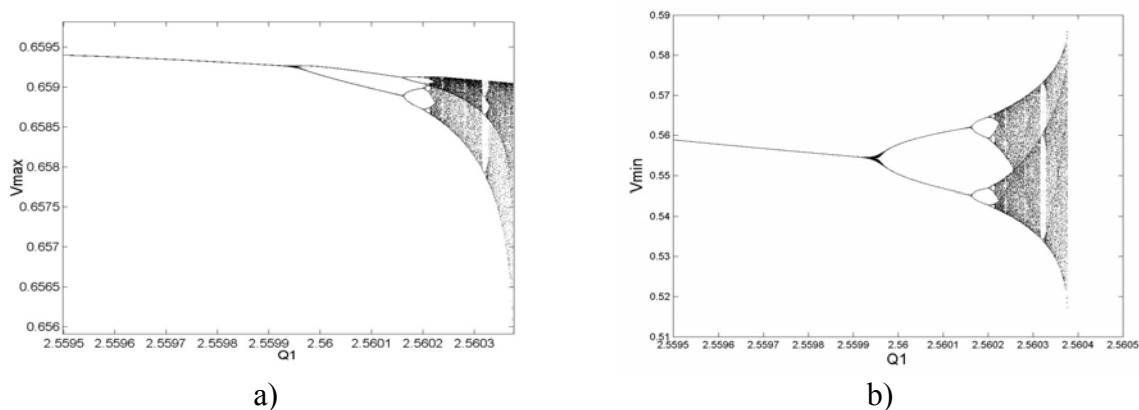
**Obr. 2:** Časové průběhy a) stabilní oblast b) zdvojená perioda c) chaos



**Obr. 3:** Trajektorie ve fázovém prostoru a) stabilní oblast b) zdvojená perioda c) chaos



**Obr. 4:** Kolaps a) časový průběh b) trajektorie ve fázovém prostoru c) návratová mapa



**Obr. 5:** Bifurkační diagram napětí s parametrem  $Q_1$  a) lokální maxima b) lokální minima

## 4 ZÁVĚR

Kolapsu napětí je tedy možno podle obr. 5 předejít snížením hodnoty parametru  $Q_1$ , čímž se systém dostane do stabilní oblasti. Nicméně měnit v krátkém čase parametry zátěže je značně nepraktické. Další možností je tedy vnějším impulsem změnit hodnoty dynamických proměnných a tím udržovat systém v chaotické oblasti při zamezení kolapsu napětí.

## LITERATURA

- [1] Dhamala, M., Lai, Y. C.: Controlling transient chaos in deterministic flows with applications to electrical power systems and ecology, vol. 59, No. 2, Feb. 1999
- [2] Dobson, I., Glavitsch, H., Liu, C. C., Tamura, Y., Vu. K.: Voltage Collapse in Power Systems, 1992