



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
WIEN
Vienna University of Technology

Seminar Energieversorgung

Dynamische Stabilität

Hausaufgabe

Robert Breuer (0526009)

Michael Hahn (0525165)

Florian Pink (0526101)

Oktober 2009

1 Umrechnung auf per unit Größen

1.1 Generatoren

$$x'_{d,G1} = \frac{X'_{d,G1}}{100} \frac{U_{N2,T1}^2}{U_{\text{Bezug}}^2} \frac{S_{\text{Bezug}}}{S_{N,G1}} = \frac{18}{100} \frac{(240 \text{ kV})^2}{(230 \text{ kV})^2} \frac{100 \text{ MVA}}{100 \text{ MVA}} = 0,1960 \quad (1)$$

$$t_{a,G1} = \frac{S_{N,G1}}{S_{\text{Bezug}}} T_{a1} = \frac{100 \text{ MVA}}{100 \text{ MVA}} 8 \text{ s} = 8 \quad (2)$$

$$x'_{d,G2} = \frac{X'_{d,G2}}{100} \frac{U_{N1,T2}^2}{U_{\text{Bezug}}^2} \frac{S_{\text{Bezug}}}{S_{N,G2}} = \frac{50}{100} \frac{(240 \text{ kV})^2}{(230 \text{ kV})^2} \frac{100 \text{ MVA}}{200 \text{ MVA}} = 0,2722 \quad (3)$$

$$t_{a,G2} = \frac{S_{N,G2}}{S_{\text{Bezug}}} T_{a2} = \frac{200 \text{ MVA}}{100 \text{ MVA}} 13 \text{ s} = 26 \quad (4)$$

1.2 Transformatoren

$$x_{T1} = \frac{u_{k,T1}}{100} \frac{U_{N2,T1}^2}{U_{\text{Bezug}}^2} \frac{S_{\text{Bezug}}}{S_{N,T1}} = \frac{11}{100} \frac{(240 \text{ kV})^2}{(230 \text{ kV})^2} \frac{100 \text{ MVA}}{120 \text{ MVA}} = 0,0998 \quad (5)$$

$$x_{T2} = \frac{u_{k,T2}}{100} \frac{U_{N1,T2}^2}{U_{\text{Bezug}}^2} \frac{S_{\text{Bezug}}}{S_{N,T2}} = \frac{18}{100} \frac{(240 \text{ kV})^2}{(230 \text{ kV})^2} \frac{100 \text{ MVA}}{200 \text{ MVA}} = 0,0980 \quad (6)$$

1.3 Leitungen

$$x_L = l X'_L \frac{S_{\text{Bezug}}}{U_{\text{Bezug}}^2} = 100 \text{ km} \cdot 0,44 \Omega \text{ km}^{-1} \cdot \frac{100 \text{ MVA}}{(230 \text{ kV})^2} = 0,0832 \quad (7)$$

1.4 Übergabeleistung

$$p_{\ddot{u}} = \frac{P_{\ddot{u}}}{S_{\text{Bezug}}} = \frac{80 \text{ MW}}{100 \text{ MVA}} = 0,8 \quad (8)$$

$$q_{\ddot{u}} = 0 \quad (9)$$

1.5 Lastimpedanz

$$r_V = R_V \frac{S_{\text{Bezug}}}{U_{\text{Bezug}}^2} = 200 \Omega \cdot \frac{100 \text{ MVA}}{(230 \text{ kV})^2} = 0,3781 \quad (10)$$

1.6 Spannung im Bezugspunkt

$$u_A = \frac{U_{N,A}}{U_{\text{Bezug}}} = \frac{230 \text{ kV}}{230 \text{ kV}} = 1 \quad (11)$$

2 Vorbelastungszustand

2.1 Polradspannung und Leistung für Generator 1

$$p = -p_{\ddot{u}} \quad (12)$$

$$q = q_{\ddot{u}} \quad (13)$$

$$x_{G1+T1} = x'_{d,G1} + x_{T1} = 0,2958 \quad (14)$$

$$r_{G1+T1} = 0 \quad (15)$$

$$e_{re,G1} = u_A - \frac{pr_{G1+T1} - qx_{G1+T1}}{u_A} = 1 \quad (16)$$

$$e_{im,G1} = -\frac{px_{G1+T1} + qr_{G1+T1}}{u_A} = 0,2366 \quad (17)$$

$$e_{\text{Betrag},G1} = \sqrt{e_{re,G1}^2 + e_{im,G1}^2} = 1,0276 \quad (18)$$

$$\vartheta_{A,G1} = \arctan\left(\frac{e_{im,G1}}{e_{re,G1}}\right) = 13,3137^\circ \quad (19)$$

$$p_{\text{Verlust}} = 0 \quad (20)$$

$$q_{\text{Verlust}} = -x_{G1+T1} \frac{p^2}{u_A^2} = -0,1893 \quad (21)$$

$$s_{G1} = p_{G1} + q_{G1} = -p + q_{\text{Verlust}} = 0,8 - j0,1893 \quad (22)$$

2.2 Polradspannung und Leistung für Generator 2

$$z_1 = x_{G1+T1} + \frac{x_L}{2} = j0,3374 \quad (23)$$

$$z_2 = x_{G2+T2} = j0,3702 \quad (24)$$

$$z_V = r_V = 0,3781 \quad (25)$$

$$z_{11} = z_1 + \frac{z_2 z_V}{z_2 + z_V} = 0,1851 + j0,5264 \quad (26)$$

$$\alpha_{11} = \frac{\pi}{2} - \arg(z_{11}) = 19,3703^\circ \quad (27)$$

$$z_{22} = z_2 + \frac{z_1 z_V}{z_1 + z_V} = 0,1676 + j0,5580 \quad (28)$$

$$\alpha_{22} = \frac{\pi}{2} - \arg(z_{22}) = 16,7182^\circ \quad (29)$$

$$z_{12} = z_1 + z_2 + \frac{z_1 z_2}{z_V} = -0,3304 + j0,7076 \quad (30)$$

$$\alpha_{12} = \frac{\pi}{2} - \arg(z_{12}) = -25,0276^\circ \quad (31)$$

$$Ap_{G1} = \frac{e_{\text{Betrag},G1}^2}{|z_{11}|} \sin(\alpha_{11}) = 0,6277 \quad (32)$$

$$Aq_{G1} = \frac{e_{\text{Betrag},G1}^2}{|z_{11}|} \cos(\alpha_{11}) = 1,7854 \quad (33)$$

$$p_{G1} = Ap_{G1} + \frac{e_{\text{Betrag},G1} e_{\text{Betrag},G2}}{|z_{12}|} \sin(\vartheta_0 - \alpha_{12}) \stackrel{!}{=} 0,8 \quad (34)$$

$$q_{G1} = -Aq_{G1} + \frac{e_{\text{Betrag},G1} e_{\text{Betrag},G2}}{|z_{12}|} \cos(\vartheta_0 - \alpha_{12}) \stackrel{!}{=} -0,1893 \quad (35)$$

$$\Rightarrow \tan(\vartheta_0 - \alpha_{12}) = \frac{p_{G1} - Ap_{G1}}{q_{G1} + Aq_{G1}} = \frac{0,8 - 0,6277}{-0,1893 + 1,7854} \quad (36)$$

$$\vartheta_0 = -18,8670^\circ \quad (37)$$

$$e_{\text{Betrag},G2} = \frac{q_{G1} + Aq_{G1}}{\cos(\vartheta_0 - \alpha_{12})} \frac{|z_{12}|}{e_{\text{Betrag},G1}} = 1,2200 \quad (38)$$

$$p_{G2} = \frac{e_{\text{Betrag},G2}^2}{|z_{22}|} \sin(\alpha_{22}) - \frac{e_{\text{Betrag},G1} e_{\text{Betrag},G2}}{|z_{12}|} \sin(\vartheta_0 + \alpha_{12}) = 1,8479 \quad (39)$$

3 Fehlerfall

3.1 Ermittlung der Koppelimpedanzen

$$z_1 = j0,3374 \quad (40)$$

$$z_2 = j0,3702 \quad (41)$$

$$z_V = 0 \quad (42)$$

$$z_{11} = z_1 + \frac{z_2 z_V}{z_2 + z_V} = z_1 = j0,3374 \quad (43)$$

$$\alpha_{11} = \frac{\pi}{2} - \arg(z_{11}) = 0^\circ \quad (44)$$

$$z_{22} = z_2 + \frac{z_1 z_V}{z_1 + z_V} = z_2 = j0,3702 \quad (45)$$

$$\alpha_{22} = \frac{\pi}{2} - \arg(z_{22}) = 0^\circ \quad (46)$$

$$z_{12} = z_1 + z_2 + \frac{z_1 z_2}{z_V} = \infty \quad (47)$$

$$(48)$$

3.2 Ermittlung der Leistungsgleichung

$$a_1 = \frac{t_{a,G1}}{t_{a,G1} + t_{a,G2}} = 0,2353 \quad (49)$$

$$a_2 = \frac{t_{a,G2}}{t_{a,G1} + t_{a,G2}} = 0,7647 \quad (50)$$

$$Ap_{G1} = \frac{e_{\text{Betrag},G1}^2}{|z_{11}|} \sin(\alpha_{11}) = 0 \quad (51)$$

$$Ap_{G2} = \frac{e_{\text{Betrag},G2}^2}{|z_{22}|} \sin(\alpha_{22}) = 0 \quad (52)$$

$$B = \frac{e_{\text{Betrag},G1} e_{\text{Betrag},G2}}{|z_{12}|} = 0 \quad (53)$$

$$Ae = a_2(p_{G1} - Ap_{G1}) - a_1(p_{G2} - Ap_{G2}) = 0,1770 \quad (54)$$

$$Be = B\sqrt{1 - [1 - (a_1 - a_2)^2] \sin^2(\alpha_{12})} = 0 \quad (55)$$

$$\Delta p_f = Ae = 0,1770 \quad (56)$$

4 Nach Abschaltung des Fehlers

$$z_{11} = z_1 + \frac{z_2 z_V}{z_2 + z_V} = 0,1851 + j0,5264 \quad (57)$$

$$\alpha_{11} = \frac{\pi}{2} - \arg(z_{11}) = 19,3703^\circ \quad (58)$$

$$z_{22} = z_2 + \frac{z_1 z_V}{z_1 + z_V} = 0,1676 + j0,5580 \quad (59)$$

$$\alpha_{22} = \frac{\pi}{2} - \arg(z_{22}) = 16,7182^\circ \quad (60)$$

$$z_{12} = z_1 + z_2 + \frac{z_1 z_2}{z_V} = -0,3304 + j0,7076 \quad (61)$$

$$\alpha_{12} = \frac{\pi}{2} - \arg(z_{12}) = -25,0276^\circ \quad (62)$$

$$a_1 = \frac{t_{a,G1}}{t_{a,G1} + t_{a,G2}} = 0,2353 \quad (63)$$

$$a_2 = \frac{t_{a,G2}}{t_{a,G1} + t_{a,G2}} = 0,7647 \quad (64)$$

$$Ap_{G1} = \frac{e_{\text{Betrag},G1}^2}{|z_{11}|} \sin(\alpha_{11}) = 0,6277 \quad (\text{siehe Vorbelastungszustand}) \quad (65)$$

$$Ap_{G2} = \frac{e_{\text{Betrag},G2}^2}{|z_{22}|} \sin(\alpha_{22}) = 0,7348 \quad (66)$$

$$B = \frac{e_{\text{Betrag},G1} e_{\text{Betrag},G2}}{|z_{12}|} = 1,6054 \quad (67)$$

$$Ae = a_2(p_{G1} - Ap_{G1}) - a_1(p_{G2} - Ap_{G2}) = -0,1302 \quad (68)$$

$$Be = B \sqrt{1 - [1 - (a_1 - a_2)^2] \sin^2(\alpha_{12})} = 1,4984 \quad (69)$$

$$\alpha e = \arctan[(a_1 - a_2) \tan(\alpha_{12})] = 13,8840^\circ \quad (70)$$

$$\Delta p_{nf} = Ae - Be \sin(\vartheta + \alpha e) = -0,1302 - 1,4984 \sin(\vartheta + 13,8840^\circ) \quad (71)$$

5 Berechnung des kritischen Abschaltwinkels

Zunächst wird die rechte Nullstelle der Funktion Δp_{nf} berechnet.

$$\Delta p_{nf} = 0 \quad (72)$$

$$\Rightarrow \vartheta_{gr} = 171,0989^\circ \quad (73)$$

Unter Zuhilfenahme von Abbildung 1 lässt sich eine Berechnungsformel für den kritischen Abschaltwinkel angeben.

$$\Delta p_f(\vartheta_{kr} - \vartheta_0) = \left| \int_{\vartheta_{gr}}^{\vartheta_{kr}} \Delta p_{nf} d\vartheta \right| \quad (74)$$

Diese Gleichung wird mit einem Berechnungsprogramm nach ϑ_{kr} aufgelöst.

$$\vartheta_{kr} = 126,0848^\circ \quad (75)$$

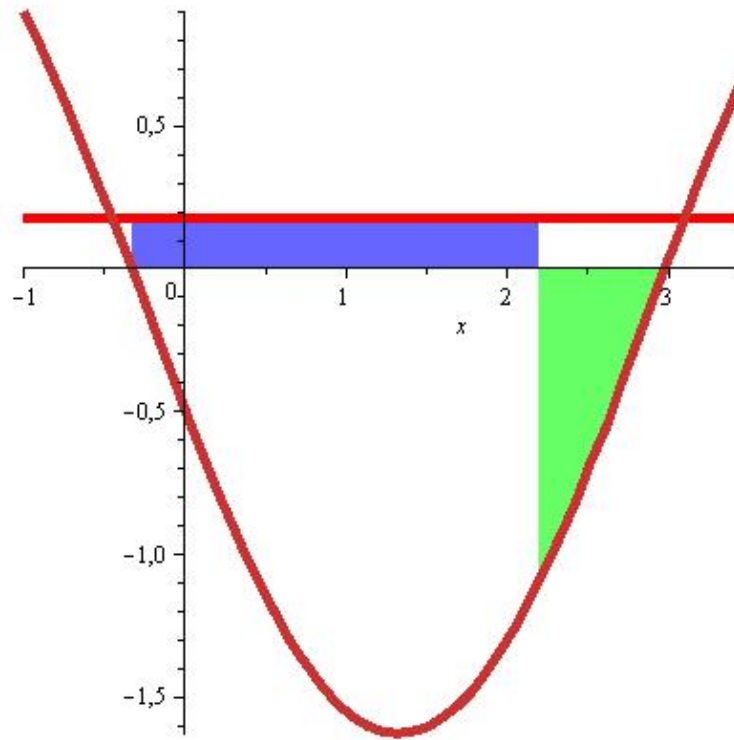


Abbildung 1: Darstellung der gleichen Beschleunigungsflächen

6 Berechnung der kritischen Zeit

$$t_{ae} = \frac{t_{a,G1} t_{a,G2}}{t_{a,G1} + t_{a,G2}} = 6,1176 \quad (76)$$

$$\omega = 18000|_{50 \text{ Hz}} \quad (\text{Gradmaß}) \quad (77)$$

$$\frac{d^2\omega}{dt^2} = \frac{\omega}{t_{ae}} \Delta p_f = K \quad (78)$$

$$\Rightarrow K = 520,6654 \quad (79)$$

$$t_{kr} = \sqrt{\frac{2(\vartheta_{kr} - \vartheta_0)}{K}} = 0,7462 \quad (80)$$