

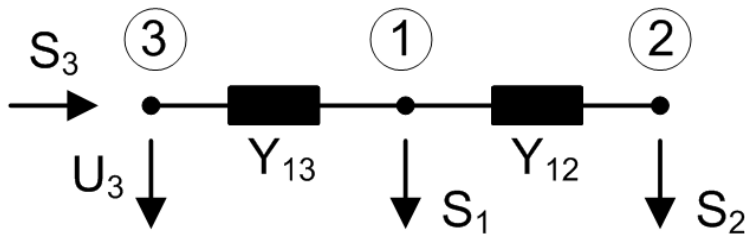
# 1. Aufgabe: Lastflussberechnung mit Hilfe der Stromiteration

## a) Einphasiges Ersatzschaltbild

- keine Queradmittanzen:  $y_0=0$
- 3 Knoten, Bilanzknoten = Speiseknoten und man erhält somit die letzte Knotennummer (= 3)

$$\underline{Z} = j0,25 \frac{\Omega}{\text{km}} \cdot 40 \text{ km} = j10 \Omega$$

$$\underline{Y}_{12} = \underline{Y}_{13} = \frac{1}{j10 \Omega} = -j0,1 \frac{1}{\Omega}$$



## b) Berechnung der Spannungen mit der Stromiteration

### Verfahren der Stromiteration:

1.  $i_i(v) = \frac{S_{i,\text{soll}}^*}{U_i(v-1)}$
2.  $U_v(v) = \left[ g_v^{-1} \cdot (i_v(v)) + U_n \cdot y_0 \right] + U_n$
3. Neuberechnung der Scheinleistungen  $S_i(v)$

Für das einphasige ESB gilt:

- $\frac{1}{3}$  der dreiphasigen Leistung
- Sternspannung  $\frac{110 \text{ kV}}{\sqrt{3}}$

### 1. Berechnung der Ströme für Schritt $v=1$

$$i_i(v) = \frac{S_{i,\text{soll}}^*}{U_i(v-1)}$$

$$I_1 = I_2 = \frac{S_1^*}{U_1} = \frac{S_2^*}{U_2} = \frac{-j\frac{1}{3} \cdot 30 \cdot 10^6 \text{ VA}}{110 \cdot 10^3 \text{ V}} \sqrt{3} = -j \cdot 157,46 \text{ A}$$

### 2. Berechnung der Spannungen für Schritt $v=1$

$$U_v(v) = \left[ g_v^{-1} \cdot (i_v(v)) + U_n \cdot y_0 \right] + U_n$$

$$\text{hier: } y_0 = 0 \rightarrow U_v(v) = g_v^{-1} \cdot i_v(v) + U_n$$

Bestimmung der Knotenadmittanzmatrix (KAM):

$$\text{KAM} = \begin{pmatrix} -(Y_{13} + Y_{12}) & Y_{12} & Y_{13} \\ Y_{12} & -Y_{12} & 0 \\ Y_{13} & 0 & -Y_{13} \end{pmatrix} = j0,1 \frac{1}{\Omega} \begin{pmatrix} 2 & -1 & -1 \\ -1 & 1 & 0 \\ -1 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Verkürzte Knotenadmittanzmatrix (VKAM), da Knoten 3 Bilanzknoten ist:

$$\text{VKAM} = j0,1 \frac{1}{\Omega} \begin{pmatrix} 2 & -1 \\ -1 & 1 \end{pmatrix}$$

Inversion einer Matrix:

$$A^{-1} = \frac{1}{\det A} \begin{pmatrix} A_{11} & \cdots & A_{1n} \\ \vdots & & \vdots \\ A_{n1} & \cdots & A_{nn} \end{pmatrix} \text{ mit } A_{ik} = (-1)^{i+k} \cdot \begin{bmatrix} \text{Unterdet.} \\ \text{von } A_{ik} \end{bmatrix}$$

Bei 2 x 2 – Matrizen gilt speziell:

$$A^{-1} = \begin{pmatrix} a & b \\ c & d \end{pmatrix}^{-1} = \frac{1}{\det A} \begin{pmatrix} d & -b \\ -c & a \end{pmatrix}$$

$$g_v = \text{VKAM} = \begin{pmatrix} j0,2 \frac{1}{\Omega} & -j0,1 \frac{1}{\Omega} \\ -j0,1 \frac{1}{\Omega} & j0,1 \frac{1}{\Omega} \end{pmatrix} \quad \det g_v = -0,02 \frac{1}{\Omega^2} + 0,01 \frac{1}{\Omega^2} = -0,01 \frac{1}{\Omega^2}$$

$$g_v^{-1} = \frac{1}{-0,01} \Omega^2 \begin{pmatrix} j0,1 \frac{1}{\Omega} & j0,1 \frac{1}{\Omega} \\ j0,1 \frac{1}{\Omega} & j0,2 \frac{1}{\Omega} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -j10\Omega & -j10\Omega \\ -j10\Omega & -j20\Omega \end{pmatrix}$$

$$U_v(v) = g_v^{-1} \cdot i_v(v) + U_n$$

$$\begin{pmatrix} U_1 \\ U_2 \end{pmatrix}_{v=1} = \begin{pmatrix} -j10\Omega & -j10\Omega \\ -j10\Omega & -j20\Omega \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} -j157,46 \text{ A} \\ -j157,46 \text{ A} \end{pmatrix} + \frac{110 \text{ kV}}{\sqrt{3}} \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$= \begin{pmatrix} -3149,2 \text{ V} + 63508,5 \text{ V} \\ -4723,8 \text{ V} + 63508,5 \text{ V} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 60359,3 \\ 58784,7 \end{pmatrix} \text{ V}$$

### 3. Berechnung der Leistungen für Schritt $v = 1$

$$S_1 = 3 \cdot 60359,3 \text{ V} \cdot j157,46 \text{ A} = j28,512 \text{ MVA}$$

$$S_2 = 3 \cdot 58784,7 \text{ V} \cdot j157,46 \text{ A} = j27,768 \text{ MVA}$$

### Wiederholung der Rechenfolge von 1. bis 3. (Schritt $v = 2$ ):

Berechnung der Ströme für Schritt  $v = 2$

$$\underline{I}_1 = \frac{S_{1\text{Soll}}^*}{\underline{U}_1} = \frac{-j\frac{1}{3}30 \cdot 10^6 \text{ VA}}{60359,3 \text{ V}} = -j165,67 \text{ A}$$

$$\underline{I}_2 = \frac{S_{2\text{Soll}}^*}{\underline{U}_2} = \frac{-j\frac{1}{3}30 \cdot 10^6 \text{ VA}}{58784,7 \text{ V}} = -j170,11 \text{ A}$$

Berechnung der Spannungen für Schritt  $v = 2$

$$\begin{pmatrix} U_1 \\ U_2 \end{pmatrix}_{v=2} = \begin{pmatrix} -j10\Omega & -j10\Omega \\ -j10\Omega & -j20\Omega \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} -j165,67 \text{ A} \\ -j170,11 \text{ A} \end{pmatrix} + \frac{110 \text{ kV}}{\sqrt{3}} \cdot \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 60150,7 \\ 58449,6 \end{pmatrix} \text{ V}$$

Berechnung der Leistungen für Schritt  $v = 2$

$$S_1 = 3 \cdot 60150,7 \text{ V} \cdot j165,67 \text{ A} = j29,895 \text{ MVA}$$

$$S_2 = 3 \cdot 58449,6 \text{ V} \cdot j170,11 \text{ A} = j29,829 \text{ MVA}$$

Abweichung:

$$\varepsilon_1 = \frac{|30 \text{ MVA} - 29,895 \text{ MVA}|}{30 \text{ MVA}} = 3,5 \cdot 10^{-3} \quad (0,35\%)$$

$$\varepsilon_2 = \frac{|30 \text{ MVA} - 29,829 \text{ MVA}|}{30 \text{ MVA}} = 5,7 \cdot 10^{-3} \quad (0,57\%)$$

### **c) Berechnung unter Verwendung der Normierung**

Normierung:

$$S_B = 30 \text{ MVA} \quad U_B = 110 \text{ kV}$$

$$\underline{Z} = j10 \Omega \quad z = \underline{Z} \frac{S_B}{U_B^2} = j10 \Omega \cdot \frac{30 \cdot 10^6 \text{ VA}}{(110 \cdot 10^3 \text{ V})^2} = j0,0248$$

$$\underline{Y} = \frac{1}{z} = \frac{1}{j0,0248} = -j40,33$$

$$KAM = j40,33 \begin{pmatrix} 2 & -1 & -1 \\ -1 & 1 & 0 \\ -1 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad VKAM = g_v = j40,33 \begin{pmatrix} 2 & -1 \\ -1 & 1 \end{pmatrix} \quad \det g_v = -(40,33)^2$$

$$g_v^{-1} = -\frac{1}{(40,33)^2} \cdot j40,33 \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 2 \end{pmatrix} = -j\frac{1}{40,33} \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 2 \end{pmatrix}$$

Schritt  $v = 1$

$$\underline{i}_1 = \underline{i}_2 = \frac{s_{1/2}^*}{\underline{u}_{1/2}} = \frac{-j \cdot 1}{1} = -j$$

$$\underline{u}_v(v) = \underline{g}_v^{-1} \cdot \underline{i}_v(v) + \underline{u}_n$$

$$\begin{pmatrix} \underline{u}_1 \\ \underline{u}_2 \end{pmatrix} = -j \frac{1}{40,33} \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 2 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} -j \\ -j \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -\frac{2}{40,33} + 1 \\ -\frac{3}{40,33} + 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0,95041 \\ 0,9256 \end{pmatrix}$$

$$\underline{s} = \underline{u} \cdot \underline{i}^*$$

$$\underline{s}_1 = 0,95041 \cdot j = j0,95041$$

$$\underline{s}_2 = 0,9256 \cdot j = j0,9256$$

Schritt  $v = 2$

$$\underline{i}_1 = \frac{-j \cdot 1}{0,95041} = -j1,0521 \quad \underline{i}_2 = \frac{-j \cdot 1}{0,9256} = -j1,0804$$

$$\begin{pmatrix} \underline{u}_1 \\ \underline{u}_2 \end{pmatrix} = -j \frac{1}{40,33} \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} -j1,0521 \\ -j1,0804 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0,9471 \\ 0,9203 \end{pmatrix}$$

$$\underline{s}_1 = 0,9471 \cdot j1,0521 = j0,996$$

$$\underline{s}_2 = 0,9203 \cdot j1,0804 = j0,994$$

Entnormierung (auf einphasiges ESB):

$$\begin{pmatrix} \underline{U}_1 \\ \underline{U}_2 \end{pmatrix} = \frac{U_B}{\sqrt{3}} \cdot \begin{pmatrix} 0,9471 \\ 0,9203 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 60148,9 \\ 58446,9 \end{pmatrix} V$$

Eine Überlegung hinsichtlich der Leistung ist wie beim Rechnen mit physikalischen Größen nicht notwendig.