

Protokoll Übung 2

David Keller, Moritz Woltron, Matthias Fottner

Inhaltsverzeichnis

1	Schaltplan mit allen Strömen, Spannungen und Knoten	2
2	Aufstellen des Gleichungssystems in Matrixform durch “hinschauen”	3
2.1	Widerstände	3
2.2	Unabhängige Stromquelle $S3$	3
2.3	Unabhängige Spannungsquelle $S2$ ($\rightarrow +1$ Gleichung)	4
2.4	Stromgesteuerte Spannungsquelle $S1$ ($\rightarrow +1$ Gleichung)	5
2.5	Ausrechnen der Unbekanntenvektors x	6
3	Thevenin-Quelle bezüglich der Klemmen a und b	6
3.1	U_{Th}	6
3.2	I_{KS}	7
3.3	R_{Th} mithilfe von U_{Th} und I_{KS}	8

1 Schaltplan mit allen Strömen, Spannungen und Knoten

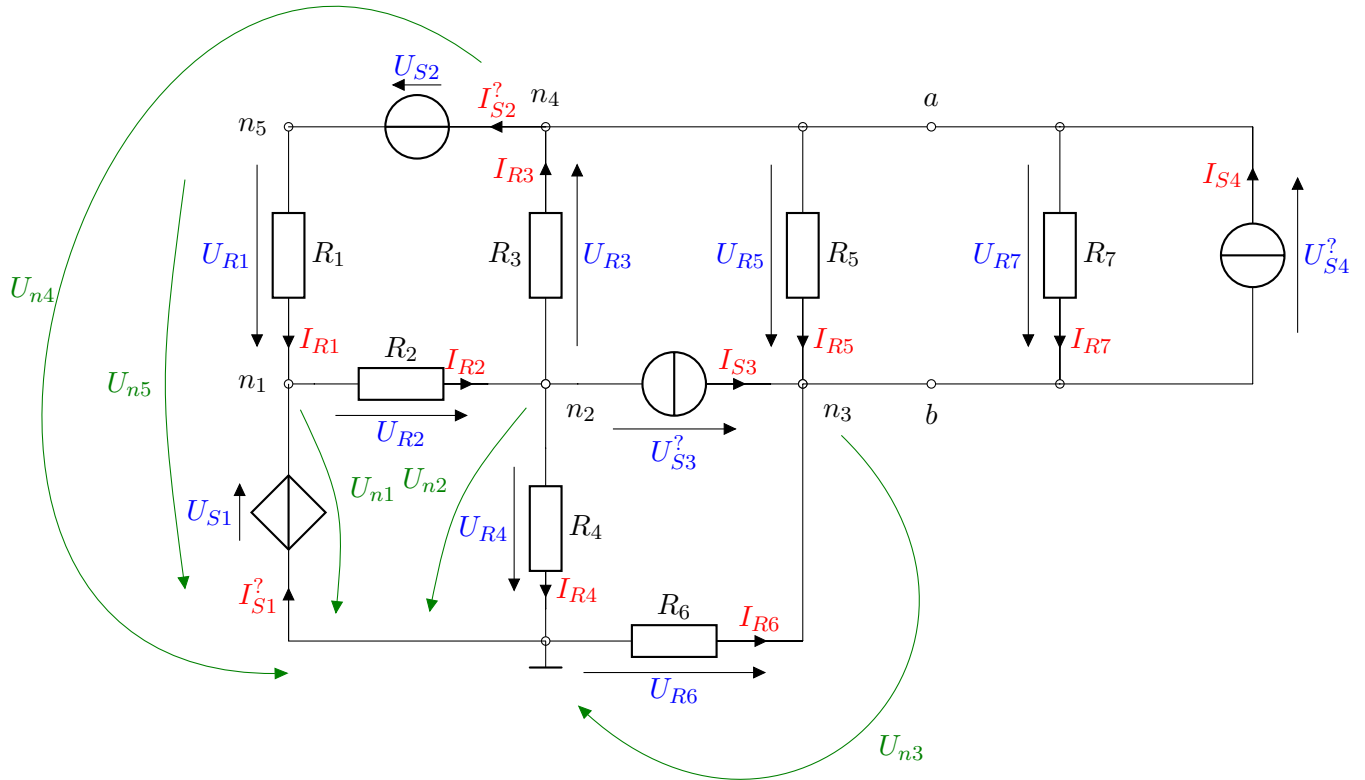


Abb. 1: Netzwerk mit allen eingezeichneten Strömen, (Knoten-)spannungen und Knoten

2 Aufstellen des Gleichungssystems in Matrixform durch “hinschauen”

2.1 Widerstände

Zuerst wird die Admittanzmatrix durch hinschauen bestimmt. Dazu werden auf der Hauptdiagonale alle den jeweiligen Knoten umgebenden Leitwerte addiert. Auf der Nebendiagonale werden die Werte der zwischen den Knoten liegenden Widerstände als negativer Leitwert eingetragen. Der Unbekanntenvektor besteht aus den Knotenspannungen, der Ergebnisvektor beträgt 0.

$$\text{Es gilt: } G_n = \frac{1}{R_n}$$

$$\begin{array}{c}
 \begin{array}{ccccc}
 & n1 & & n2 & & n3 & & n4 & & n5 \\
 n1 & G_1 + G_2 & \vdots & -G_2 & \vdots & 0 & \vdots & 0 & \vdots & -G_1 \\
 n2 & -G_2 & \vdots & G_2 + G_3 + G_4 & \vdots & 0 & \vdots & -G_3 & \vdots & 0 \\
 n3 & 0 & \vdots & 0 & \vdots & G_5 + G_6 & \vdots & -G_5 & \vdots & 0 \\
 n4 & 0 & \vdots & -G_3 & \vdots & -G_5 & \vdots & G_3 + G_5 & \vdots & 0 \\
 n5 & -G_1 & \vdots & 0 & \vdots & 0 & \vdots & 0 & \vdots & G_1
 \end{array}
 \begin{array}{c}
 \left[\begin{array}{c} U_{n1} \\ U_{n2} \\ U_{n3} \\ U_{n4} \\ U_{n5} \end{array} \right] = \left[\begin{array}{c} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{array} \right]
 \end{array}
 \end{array}$$

2.2 Unabhängige Stromquelle S3

Der bekannte Strom I_{S3} der Stromquelle $S3$ fließt aus Knoten $n2$ (positiv) in den Knoten $n3$ (negativ)(vgl. Abb. 2). Bringt man nun die Größe auf die andere Seite des Gleichungssystems, so muss I_{S3} im Lösungsvektor negativ bei $n2$ und positiv bei $n3$ sein.

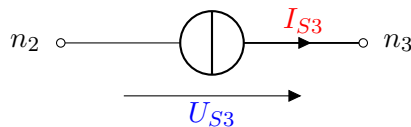


Abb. 2: freigestellte Stromquelle $S3$

Es ergibt sich folgende Änderung im Gleichungssystem:

$$\begin{array}{c}
n1 \quad n2 \quad n3 \quad n4 \quad n5 \\
\begin{array}{c}
n1 \\
n2 \\
n3 \\
n4 \\
n5
\end{array}
\begin{bmatrix}
G_1 + G_2 & -G_2 & 0 & 0 & -G_1 \\
-G_2 & G_2 + G_3 + G_4 & 0 & -G_3 & 0 \\
0 & 0 & G_5 + G_6 & -G_5 & 0 \\
0 & -G_3 & -G_5 & G_3 + G_5 & 0 \\
-G_1 & 0 & 0 & 0 & G_1
\end{bmatrix}
\begin{pmatrix} U_{n1} \\ U_{n2} \\ U_{n3} \\ U_{n4} \\ U_{n5} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ -I_{S3} \\ I_{S3} \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}
\end{array}$$

2.3 Unabhängige Spannungsquelle $S2$ ($\rightarrow +1$ Gleichung)

Bei der unabhängigen Spannungsquelle kommt mit dem Strom $I_{S2}^?$ eine unbekannte Größe hinzu. Folglich muss auch eine weitere Gleichung im Gleichungssystem ergänzt werden. Diese erhält man, indem die bekannte Quellspannung U_{S2} mithilfe der Knotenspannungen ausgedrückt wird (vgl. Abb. 3):

$$U_{S2} = U_{n4} - U_{n5}$$

Beim Hinzufügen von $I_{S2}^?$ in den Unbekanntenvektor, muss auch die Strombilanz der Knoten $n4$ (positiv) und $n5$ (negativ) angepasst werden.

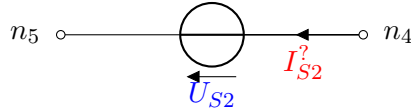


Abb. 3: freigestellte Spannungsquelle $S2$

$$\begin{array}{c}
n1 \quad n2 \quad n3 \quad n4 \quad n5 \quad I_{S2}^? \\
\begin{array}{c}
n1 \\
n2 \\
n3 \\
n4 \\
n5 \\
I_{S2}^?
\end{array}
\begin{bmatrix}
G_1 + G_2 & -G_2 & 0 & 0 & -G_1 & 0 \\
-G_2 & G_2 + G_3 + G_4 & 0 & -G_3 & 0 & 0 \\
0 & 0 & G_5 + G_6 & -G_5 & 0 & 0 \\
0 & -G_3 & -G_5 & G_3 + G_5 & 0 & 1 \\
-G_1 & 0 & 0 & 0 & G_1 & -1 \\
0 & 0 & 0 & 1 & -1 & 0
\end{bmatrix}
\begin{pmatrix} U_{n1} \\ U_{n2} \\ U_{n3} \\ U_{n4} \\ U_{n5} \\ I_{S2}^? \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ -I_{S3} \\ I_{S3} \\ 0 \\ 0 \\ U_{S2} \end{pmatrix}
\end{array}$$

2.4 Stromgesteuerte Spannungsquelle $S1$ ($\rightarrow +1$ Gleichung)

Bei der stromgesteuerten Spannungsquelle $S1$ kommt die unbekannte Größe $I_{S1}^?$ hinzu. Folglich muss auch hier das Gleichungssystem um eine Gleichung erweitert werden.

$$\begin{aligned}
 U_{S1} &= \alpha \cdot I_{R3} \\
 I_{R3} &= G_3(U_{n2} - U_{n4}) \\
 U_{S1} &= -U_{n1} \\
 \implies -U_{n1} &= \alpha \cdot G_3(U_{n2} - U_{n4}) \\
 0 &= \alpha \cdot G_3(U_{n2} - U_{n4}) + U_{n1}
 \end{aligned}$$

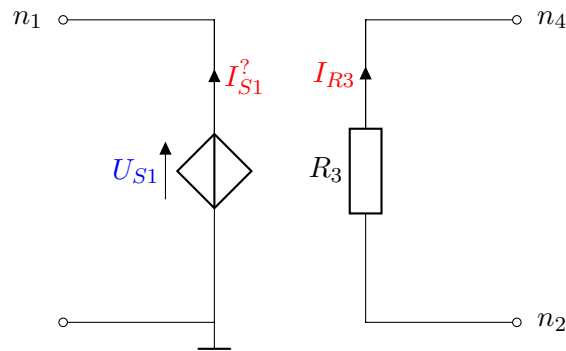


Abb. 4: freigestellte stromgesteuerte Spannungsquelle $S1$ mit Steuerungsstrom I_{R3}

	$n1$	$n2$	$n3$	$n4$	$n5$	$I_{S2}^?$	$I_{S1}^?$		
$n1$	$G_1 + G_2$	$-G_2$	0	0	$-G_1$	0	-1	$\left\{ \begin{matrix} U_{n1} \\ U_{n2} \\ U_{n3} \\ U_{n4} \\ U_{n5} \end{matrix} \right\} = \left\{ \begin{matrix} 0 \\ -I_{S3} \\ I_{S3} \\ 0 \\ 0 \end{matrix} \right\}$	$\left\{ \begin{matrix} 0 \\ -I_{S3} \\ I_{S3} \\ 0 \\ 0 \end{matrix} \right\}$
$n2$	$-G_2$	$G_2 + G_3 + G_4$	0	$-G_3$	0	0	0		
$n3$	0	0	$G_5 + G_6$	$-G_5$	0	0	0		
$n4$	0	$-G_3$	$-G_5$	$G_3 + G_5$	0	1	0		
$n5$	$-G_1$	0	0	0	G_1	-1	0		
$I_{S2}^?$	0	0	0	1	-1	0	0	$\left\{ \begin{matrix} I_{S2}^? \\ I_{S1}^? \end{matrix} \right\}$	$\left\{ \begin{matrix} U_{S2} \\ 0 \end{matrix} \right\}$
$I_{S1}^?$	1	αG_3	0	$-\alpha G_3$	0	0	0		
A								x	b

2.5 Ausrechnen der Unbekanntenvektors x

Indem man beide Seiten der Gleichung mit der Inversen A^{-1} multipliziert, kann man nach x auflösen.

$$x = A^{-1}b$$

Man erhält mithilfe von Matlab für x :

$$x = \begin{Bmatrix} U_{n1} \\ U_{n2} \\ U_{n3} \\ U_{n4} \\ U_{n5} \\ I_{S2}^? \\ I_{S1}^? \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 5,6140 \text{ V} \\ -0,1754 \text{ V} \\ 23,1579 \text{ V} \\ 20,8772 \text{ V} \\ 0,8772 \text{ V} \\ -0,9474 \text{ A} \\ 1,5263 \text{ A} \end{Bmatrix}$$

3 Thevenin-Quelle bezüglich der Klemmen a und b

3.1 U_{Th}

Die Spannung U_{Th} entspricht der Leerlaufspannung an den Klemmen a und b ($U_{ab,LL}$), welche der Spannung U_{R5} entspricht (vgl. Abb. 5). Somit kann U_{Th} mithilfe der gewonnenen Knotenspannungen aus Kapitel 2.5 berechnet werden. Es gilt:

$$U_{Th} = U_{ab,LL} = U_{R5} = U_{n4} - U_{n3} = 20,8772 \text{ V} - 23,1579 \text{ V} = -2,2807 \text{ V}$$

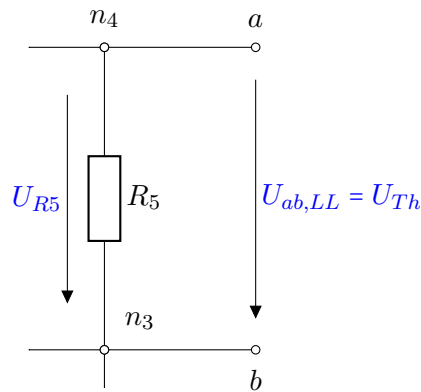


Abb. 5: Spannungsbetrachtung an den Klemmen a und b

3.2 I_{KS}

Bei I_{KS} handelt es sich um eine weitere Unbekannte, deshalb muss das Gleichungssystem um eine weitere Gleichung erweitert werden. Um den Kurzschluss zu simulieren, kann an den Klemmen a und b eine ideale Spannungsquelle mit 0 V Spannungsabfall angenommen werden (vgl. Abb. 6). Dieser Spannungsabfall entspricht U_{R5} , und somit kann folgende Gleichung aufgestellt werden:

$$U_{R5} = U_{KS} = U_{n4} - U_{n3} = 0$$

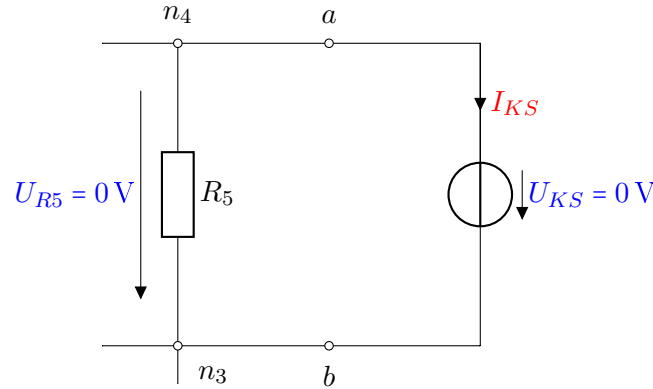


Abb. 6: Simulation des Kurzschlussstroms I_{KS}

Der Kurzschlussstrom I_{KS} muss als ausfließender Strom in Knoten n_4 und als zufließender Strom in Knoten n_3 ergänzt werden. Insgesamt ergibt sich folgendes Gleichungssystem:

	n1	n2	n3	n4	n5	$I_{S2}^?$	$I_{S1}^?$	I_{KS}	
n1	$G_1 + G_2$	$-G_2$	0	0	$-G_1$	0	-1	0	$\left\{ \begin{array}{c} U_{n1} \\ U_{n2} \\ U_{n3} \\ U_{n4} \\ U_{n5} \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{c} 0 \\ -I_{S3} \\ I_{S3} \\ 0 \\ 0 \end{array} \right\}$
n2	$-G_2$	$G_2 + G_3 + G_4$	0	$-G_3$	0	0	0	0	
n3	0	0	$G_5 + G_6$	$-G_5$	0	0	0	-1	
n4	0	$-G_3$	$-G_5$	$G_3 + G_5$	0	1	0	1	
n5	$-G_1$	0	0	0	G_1	-1	0	0	
$I_{S2}^?$	0	0	0	1	-1	0	0	0	$\left\{ \begin{array}{c} I_{S2}^? \\ I_{S1}^? \\ I_{KS} \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{c} U_{S2} \\ 0 \\ 0 \end{array} \right\}$
$I_{S1}^?$	1	αG_3	0	$-\alpha G_3$	0	0	0	0	
I_{KS}	0	0	-1	1	0	0	0	0	
$\underbrace{\hspace{15em}}_A$									$\underbrace{\hspace{1em}}_x \quad \underbrace{\hspace{1em}}_b$

Bei erneutem Auflösen nach x und Ausrechnen der Gleichung mit Matlab erhält man für x :

$$x = \begin{pmatrix} U_{n1} \\ U_{n2} \\ U_{n3} \\ U_{n4} \\ U_{n5} \\ I_{S2}^? \\ I_{S1}^? \\ I_{KS} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 5,7143 \text{ V} \\ 1,7764 \cdot 10^{-15} \text{ V} \\ 21,4286 \text{ V} \\ 21,4286 \text{ V} \\ 1,4286 \text{ V} \\ -0,8571 \text{ A} \\ 1,4286 \text{ A} \\ -0,5714 \text{ A} \end{pmatrix}$$

Der Kurzschlussstrom I_{KS} entspricht somit 571,4 mA.

3.3 R_{Th} mithilfe von U_{Th} und I_{KS}

Der Innenwiderstand R_{Th} der Thevenin-Quelle entspricht dank der Quellenäquivalenz von Norton- und Thevenin-Quelle dem Quotienten aus U_{Th} und I_{KS} . Somit ergibt sich:

$$R_{Th} = R_N = \frac{U_{Th}}{I_{KS}} = \frac{-2,2807 \text{ V}}{-0,5714 \text{ A}} = 3,9912 \Omega$$