

## E-2014-11-0001

Date:	25. November 2014
Product:	TB03DE-RE
Initiator:	Moritz Götz
Client:	HFTM
Concern / failure location:	Seite 86
Complaint number:	-
Failure description:	<p>Auf der Seite 86 in Eurem Formelbuch sind die Stern-Dreieckumwandlungen beschrieben.</p> <p>Im Bereich "Belastet" gibt es aus meiner Sicht einen Fehler: Die Widerstände R1, R2 und R5 bilden kein Dreieck (Wie im Text beschrieben) sondern sind schon als Sternschaltung zusammengeschlossen.</p> <p>aus meiner Sicht bilden die Widerstände R2, R5, R4 oder R1, R3, R5 ein Dreieck das man in eine Sternschaltung umwandeln könnte.</p> <p>Besten Dank für eine kurze Rückmeldung.</p>

Creator	A. Staub	27.11.2014	Doc. name	E-2014-11-0001
Checked	J. Rebetez	29.11.2014		
Approved	A. Staub	29.11.2014		

## Betroffene Seite

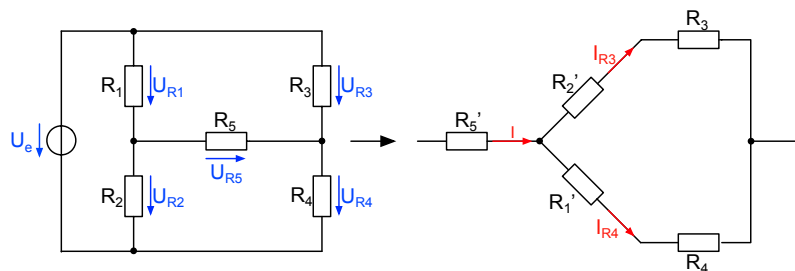
### Wheatstone'sche Brücke

$$U_A = U_e \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

$$R_4 = \frac{R_3 \cdot R_2}{R_1}$$

$$U_B = U_e \cdot \frac{R_4}{R_3 + R_4}$$

### Belastet



Berechnung mit Hilfe der Umwandlung 'Dreieck- in Sternschaltung'. Das Dreieck bildet im obigen Beispiel  $R_1$ ,  $R_5$  und  $R_2$ :

$$R_2' = \frac{R_1 \cdot R_5}{R_1 + R_5 + R_2}$$

$$R_1' = \frac{R_2 \cdot R_5}{R_1 + R_5 + R_2}$$

$$R_5' = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_5 + R_2}$$

$$R_g = \frac{(R_1' + R_3) \cdot (R_2' + R_4)}{(R_1' + R_3) + (R_2' + R_4)} \cdot R_5'$$

$$I = \frac{U_e}{R_g}$$

$$I_{R3} = \frac{I \cdot (R_1' + R_4)}{R_2' + R_4 + R_1' + R_3}$$

$$I_{R4} = I - I_{R3}$$

$$U_{R3} = I_{R3} \cdot R_3$$

$$U_{R4} = I_{R4} \cdot R_4$$

$$U_{R5} = U_{R3} - U_{R4}$$

$$I_{R5} = \frac{|U_5|}{R_5}$$

Formel zur direkten Berechnung des Brückenstromes:

$$I_{R5} = \frac{U_e \cdot [(R_2 \cdot R_3) - (R_1 \cdot R_4)]}{R_5 \cdot (R_2 + R_4) \cdot (R_1 + R_3) + R_2 \cdot R_4 \cdot (R_1 + R_3) + R_1 \cdot R_3 \cdot (R_2 + R_4)}$$

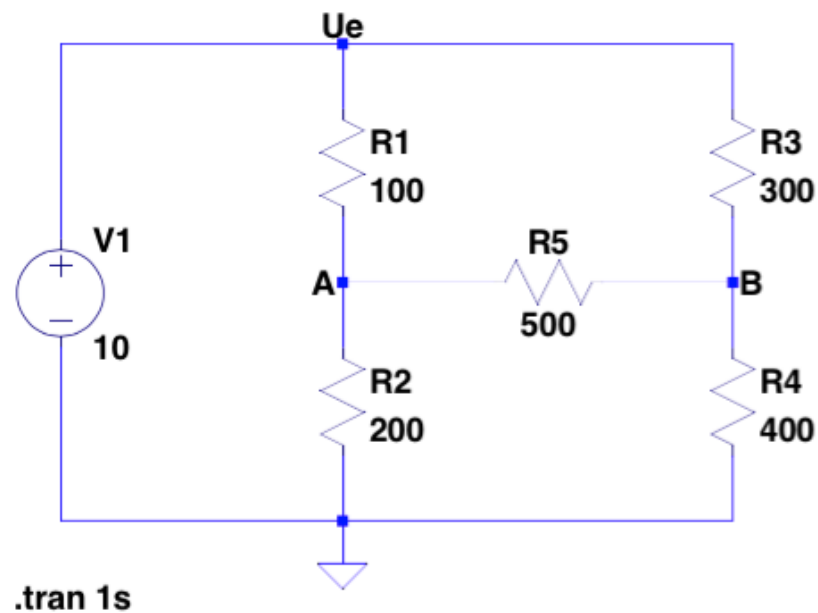
## Auswertung

Die Beanstandung ist korrekt. Das Dreieck bildet nicht wie geschrieben R1, R5 und R2, sondern R1, R5 und R3 oder R2, R5 und R4. Die Formeln sind somit auch betroffen. Im nächsten Kapitel wurden diese direkt korrigiert/angepasst und entsprechen somit nicht der aktuellen Formelbuchseite 86.

## Korrektur & Validierung

### Korrektur

Schaltung:



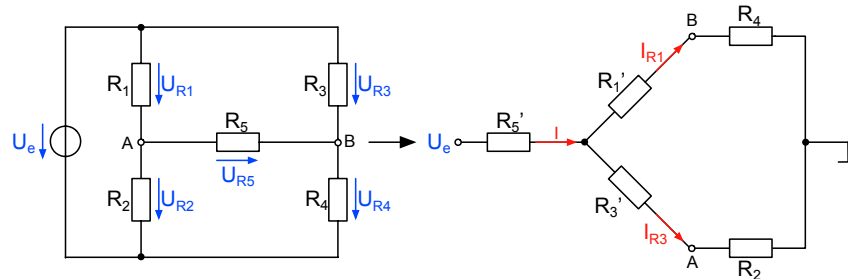
Gegeben:

$U_e =$	10V
$R_1 =$	$100\Omega$
$R_2 =$	$200\Omega$
$R_3 =$	$300\Omega$
$R_4 =$	$400\Omega$
$R_5 =$	$500\Omega$

Gesucht:

$R_g, I_g, U_{R5}, I_{R5}$

Berechnung mit Hilfe der Umwandlung Stern- in Dreieckschaltung. Das Dreieck für die Umwandlung bildet  $R_1$ ,  $R_5$  und  $R_3$ .



$$R_{1'} = \frac{R_3 \cdot R_5}{R_1 + R_5 + R_3} = \frac{300\Omega \cdot 500\Omega}{100\Omega + 500\Omega + 300\Omega} = \frac{150000\Omega}{900\Omega} = 166.667\Omega$$

$$R_{3'} = \frac{R_1 \cdot R_5}{R_1 + R_5 + R_3} = \frac{100\Omega \cdot 500\Omega}{100\Omega + 500\Omega + 300\Omega} = \frac{50000\Omega}{900\Omega} = 55.556\Omega$$

$$R_{5'} = \frac{R_1 \cdot R_3}{R_1 + R_5 + R_3} = \frac{100\Omega \cdot 300\Omega}{100\Omega + 500\Omega + 300\Omega} = \frac{30000\Omega}{900\Omega} = 33.333\Omega$$

$$\begin{aligned} R_g &= (R_{3'} + R_2) \parallel (R_{1'} + R_4) + R_{5'} = \frac{(R_{3'} + R_2) \cdot (R_{1'} + R_4)}{R_{3'} + R_2 + R_{1'} + R_4} + R_{5'} = \\ &= \frac{(55.556\Omega + 200\Omega) \cdot (166.667\Omega + 400\Omega)}{55.556\Omega + 200\Omega + 166.667\Omega + 400\Omega} + 33.333\Omega = \\ &= \frac{255.556\Omega \cdot 566.667\Omega}{822.223\Omega} + 33.333\Omega = \\ &= \frac{144815.152\Omega}{822.223\Omega} + 33.333\Omega = 209.459\Omega \end{aligned}$$

$$I_g = \frac{U_e}{R_g} = \frac{10V}{209.459\Omega} = 47.742mA$$

$$I_{R1} = I_{R4} = \frac{I_g \cdot (R_{3'} + R_2)}{R_{1'} + R_4 + R_{3'} + R_2} = \frac{47.742mA \cdot (55.556\Omega + 200\Omega)}{166.667\Omega + 400\Omega + 55.556\Omega + 200\Omega} = \frac{47.742mA \cdot 255.556\Omega}{822.223\Omega} = \frac{12.201V}{822.223\Omega} = 14.838mA$$

$$I_{R3} = I_{R2} = I_g - I_{R1} = 47.742mA - 14.838mA = 32.904mA$$

$$U_{R4} = I_{R1} \cdot R_4 = 14.838mA \cdot 400\Omega = 5.935V$$

$$U_{R2} = I_{R3} \cdot R_2 = 32.904mA \cdot 200\Omega = 6.581V$$

$$U_{R5} = U_{R4} - U_{R2} = 6.581V - 5.935V = 0.646V$$

$$I_{R5} = \frac{|U_{R5}|}{R_5} = \frac{0.646V}{500\Omega} = 1.292mA$$

Zusammenfassung der Resultate:

$$R_g = 209.459\Omega$$

$$I_g = 47.742\text{mA}$$

$$I_{R2} = 32.904\text{mA}$$

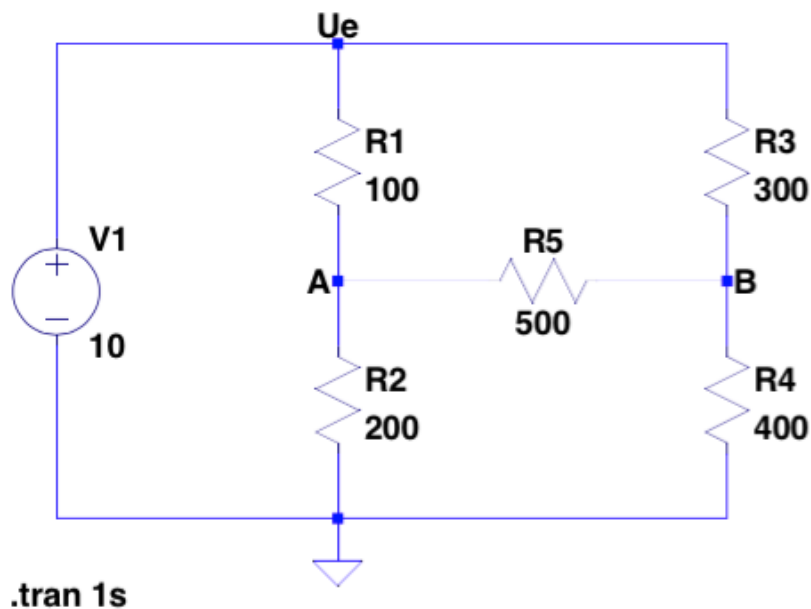
$$I_{R4} = 14.838\text{mA}$$

$$U_{R5} = 0.646\text{V}$$

$$I_{R5} = 1.292\text{mA}$$

## Validierung mit dem Simulationsprogram LTspice

Schaltung:



$I_g$ :	
time	I(V1)
1.0000000000000000e+000	4.774193e-002

$I_{R2}$ und $I_{R4}$ :		
time	I(R2)	I(R4)
1.0000000000000000e+000	3.290322e-002	1.483871e-002

$U_{R5}$ :			
time	V(a)	V(b)	V(a) – V(b)
1.0000000000000000e+000	6.580645e+000	5.935484e+000	0.645161e+000

$I_{R5}$ :	
time	I(R5)
1.0000000000000000e+000	1.290323e-003

**Die berechneten Werte stimmen mit den simulierten Werten überein**

## Korrigierte Seite

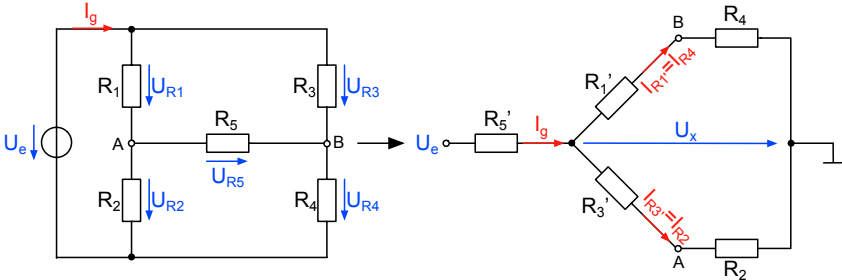
**Wheatstone'sche Brücke**

$$U_A = U_e \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

$$R_4 = \frac{R_3 \cdot R_2}{R_1}$$

$$U_B = U_e \cdot \frac{R_4}{R_3 + R_4}$$

**Belastet**



Berechnung mit Hilfe der Umwandlung 'Stern- in Dreieckschaltung'. Das Dreieck bildet im obigen Beispiel  $R_1$ ,  $R_5$  und  $R_3$  oder  $R_2$ ,  $R_5$  und  $R_4$ .

$$R_1' = \frac{R_3 \cdot R_5}{R_1 + R_5 + R_3}$$

$$R_3' = \frac{R_1 \cdot R_5}{R_1 + R_5 + R_3}$$

$$R_5' = \frac{R_1 \cdot R_3}{R_1 + R_5 + R_3}$$

$$R_g = (R_3' + R_2) \parallel (R_1' + R_4) + R_5' = \frac{(R_3' + R_2) \cdot (R_1' + R_4)}{R_3' + R_2 + R_1' + R_4} + R_5'$$

$$I_g = \frac{U_e}{R_g}$$

$$I_{R1'} = I_{R4} = \frac{I_g \cdot (R_3' + R_2)}{R_1' + R_4 + R_3' + R_2}$$

$$I_{R3'} = I_{R2} = I_g - I_{R1'}$$

$$U_{R4} = I_{R1'} \cdot R_4$$

$$U_{R2} = I_{R3'} \cdot R_2$$

$$U_{R5} = U_{R2} - U_{R4}$$

$$I_{R5} = \frac{|U_{R5}|}{R_5}$$

$$U_x = U_e - (I_g \cdot R_5')$$

Formel zur direkten Berechnung des Brückenstromes:

$$I_{R5} = \frac{U_e \cdot [(R_3 \cdot R_2) - (R_1 \cdot R_4)]}{R_5 \cdot (R_3 + R_4) \cdot (R_1 + R_2) + R_3 \cdot R_4 \cdot (R_1 + R_2) + R_1 \cdot R_2 \cdot (R_3 + R_4)}$$

86

Neu wurde noch die Formel für  $U_x$  hinzugefügt und das Schema wurde abgeändert.