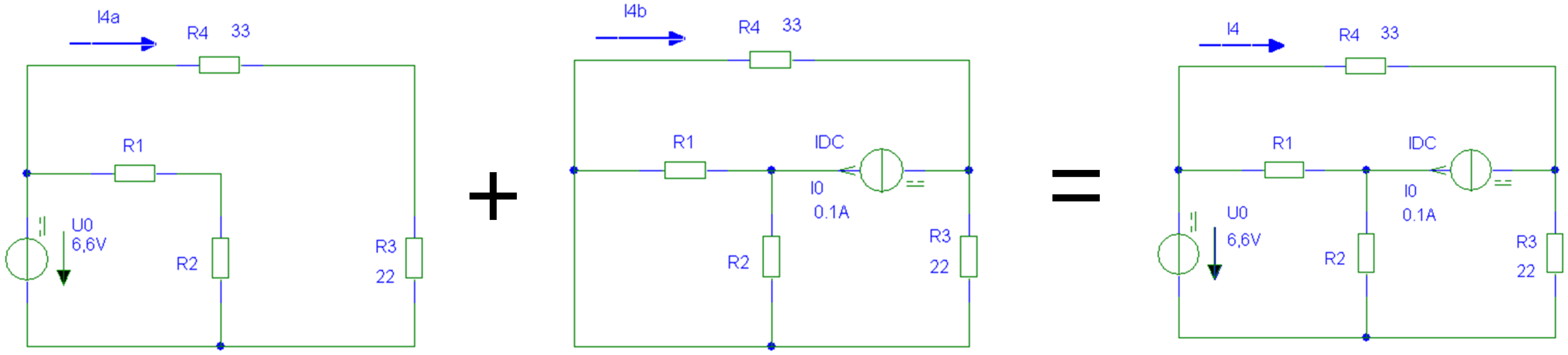
GRUNDLAGEN DER ELEKTROTECHNIK ET1

Teil 4
Netzwerkanalyse



REVIEW: METHODE DES ÜBERLAGERUNGSPRINZIPS

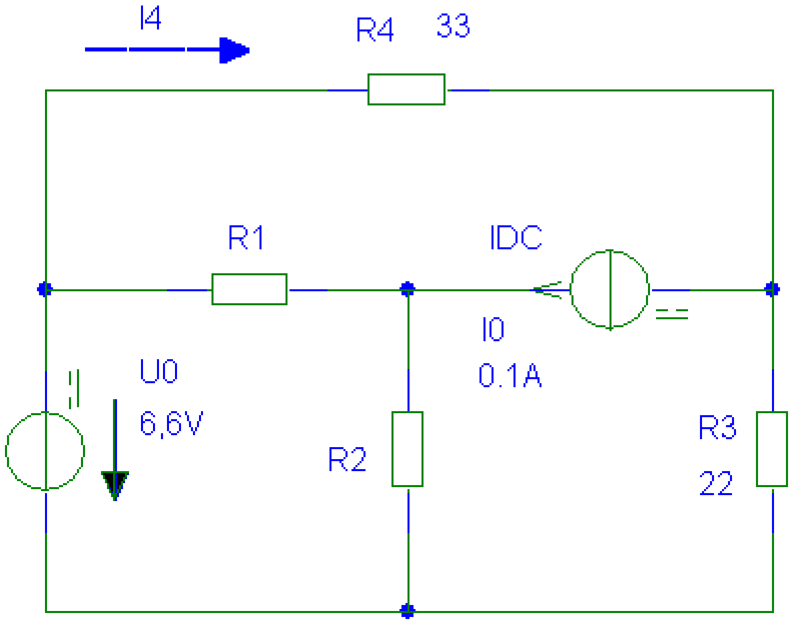
- je Quelle ein Schaltbild:
  - alle anderen idealen Spannungsquellen kurzgeschlossen
  - alle anderen idealen Stromquellen entfernt

- je Schaltbild berechnet man dann
  den gesuchten Teilstrom oder die gesuchte Teilspannung

- Ergebnis
  = Summe der Teilströme oder Teilspannungen (die Superposition)

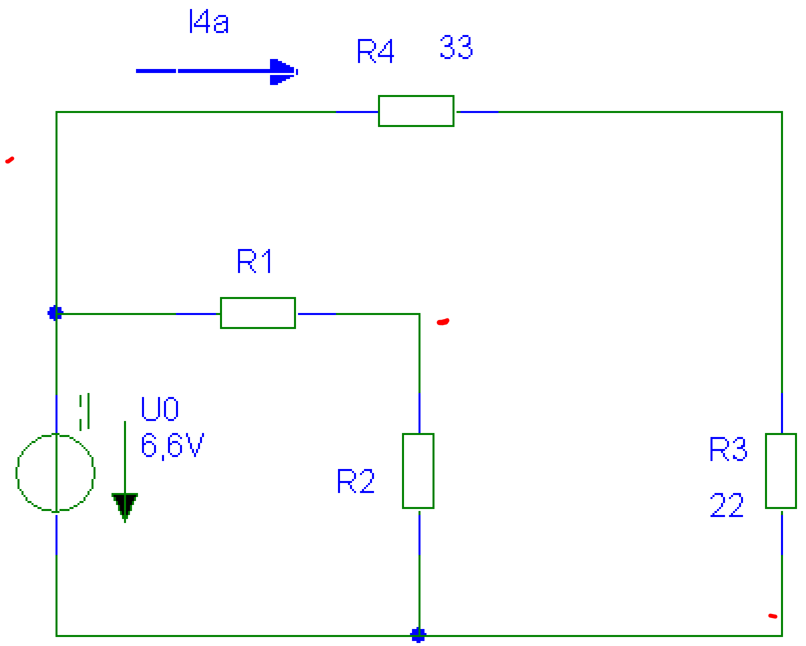
BEISPIEL

Bestimmen Sie den Laststrom I_4



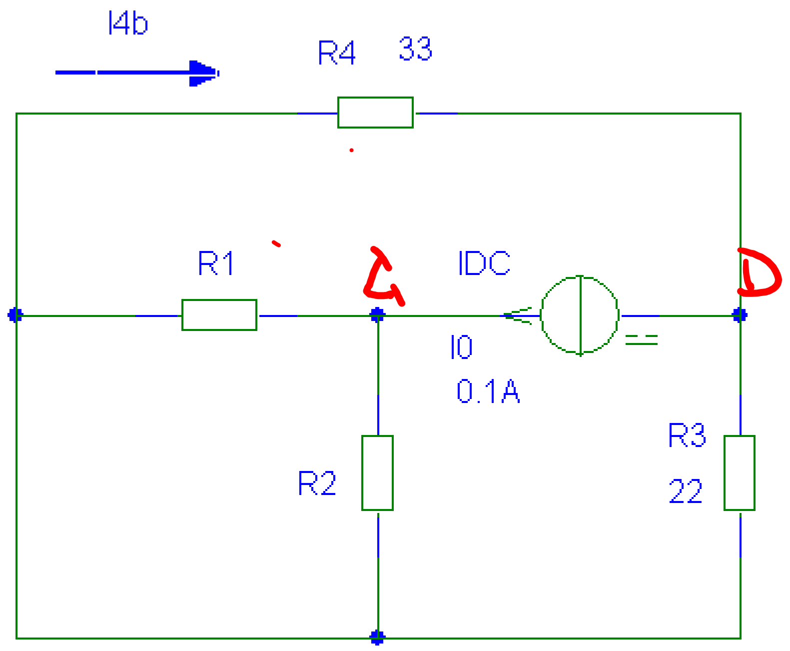
1. SCHALTBILD: EINFLUß VON U_0

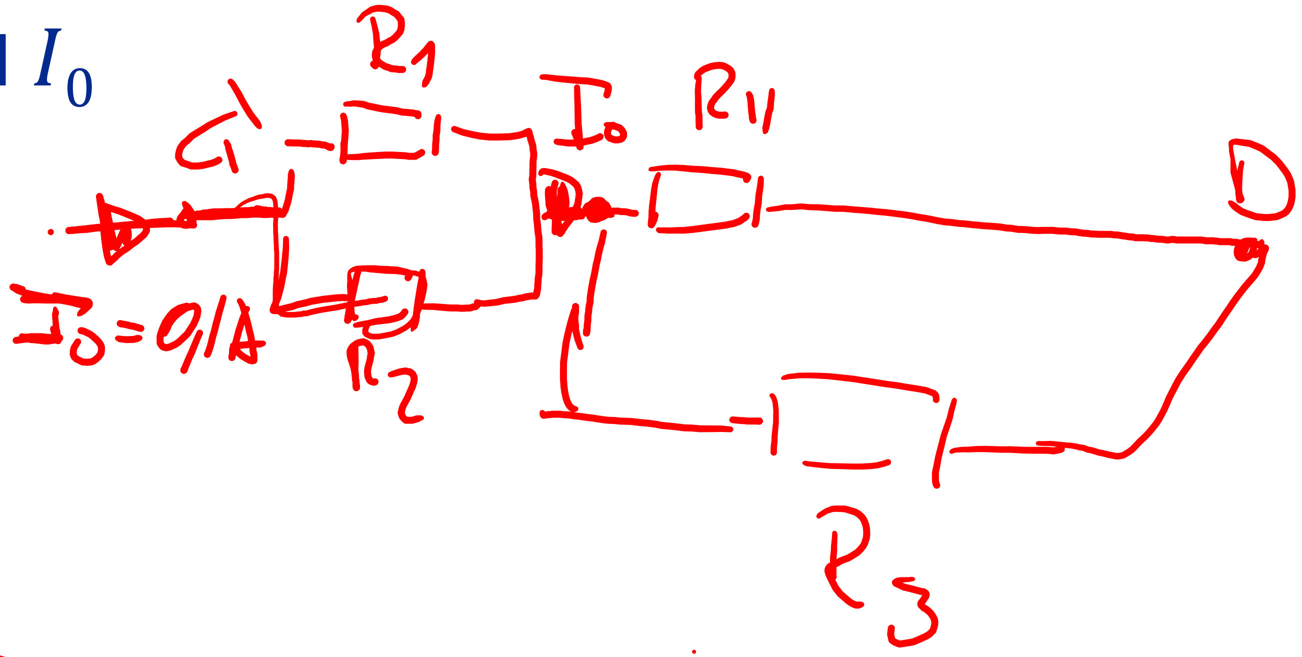
$$I_{4a} = \frac{U_0}{R_4 + R_3} = \frac{6{,}6\,V}{55\,\Omega} = 120\,mA$$



2. SCHALTBILD: EINFLUß VON I_0

$$I_{4b} = I_0 \cdot \frac{G_i}{G_g}$$

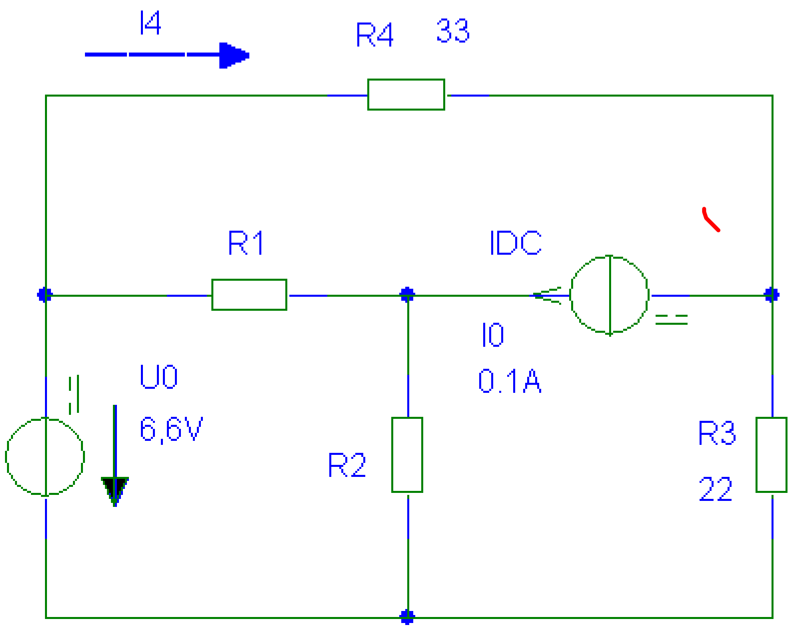




$$I_{4b} = I_0 \cdot \frac{1/R_4}{1/R_4 + 1/R_3} = 40mA$$

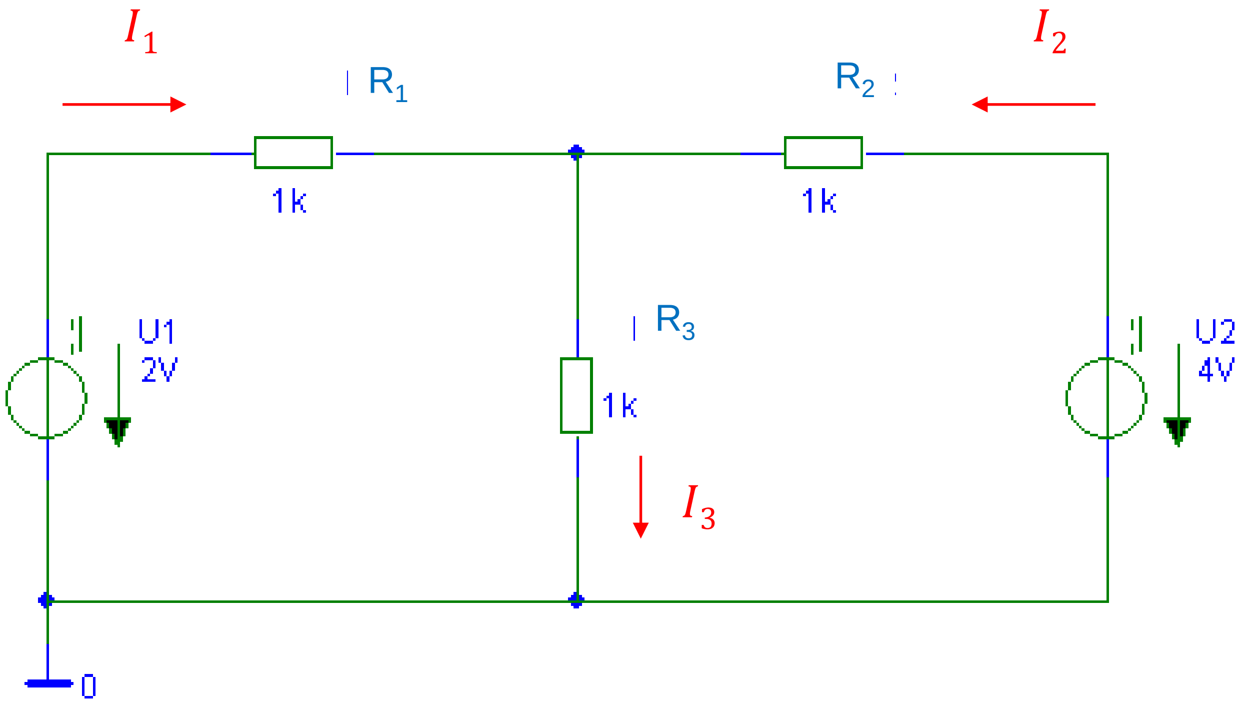
3. SUPERPOSITION

$$I_4 = I_{4a} + I_{4b} = 120mA + 40mA$$

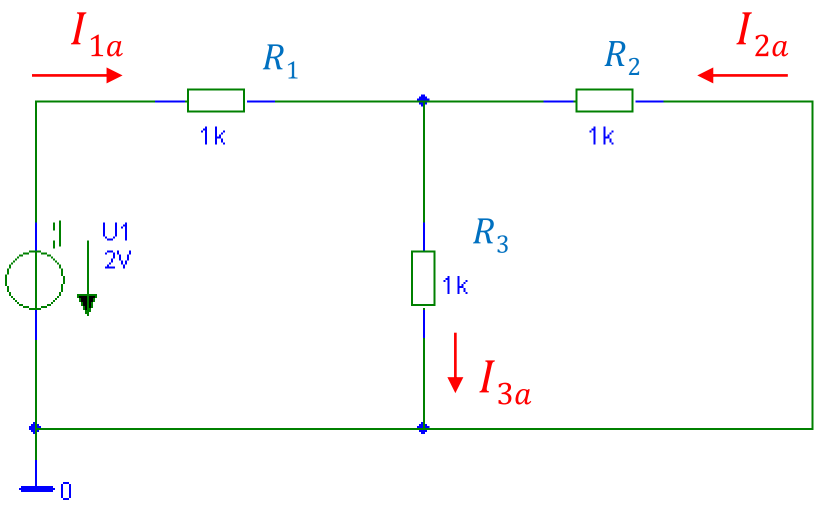


ÜBUNGSAUFGABE ZUR SUPERPOSITION

Bestimmen Sie den Strom I_3 durch den mittleren Widerstand.



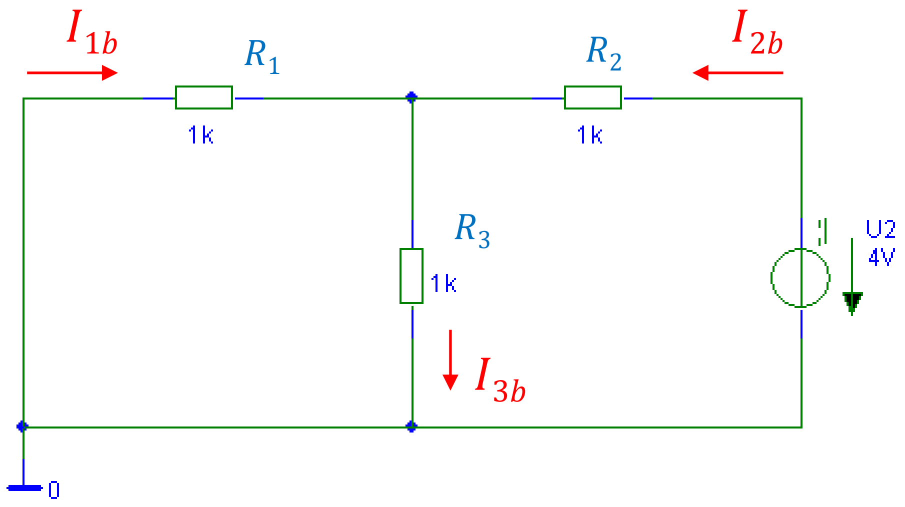
1. EINFLUSS VON U_1



$$I_{1a} =$$

$$I_{3a} =$$

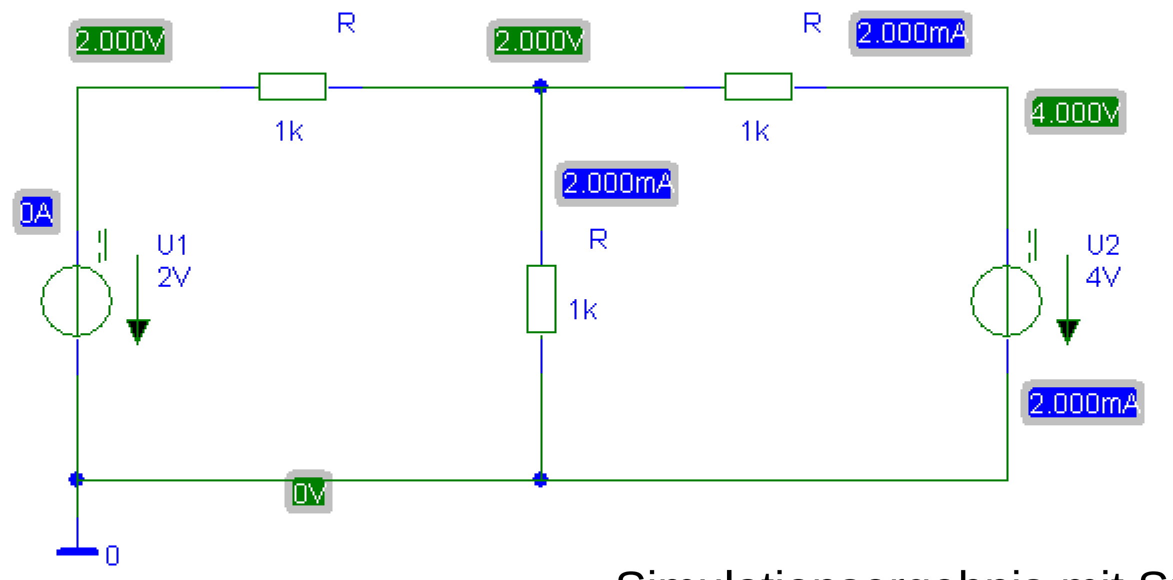
2. EINFLUSS VON U_2



$$I_{2b} \;=$$

$$I_{3b} \;=$$

3. SUPERPOSITION



Simulationsergebnis mit Spice

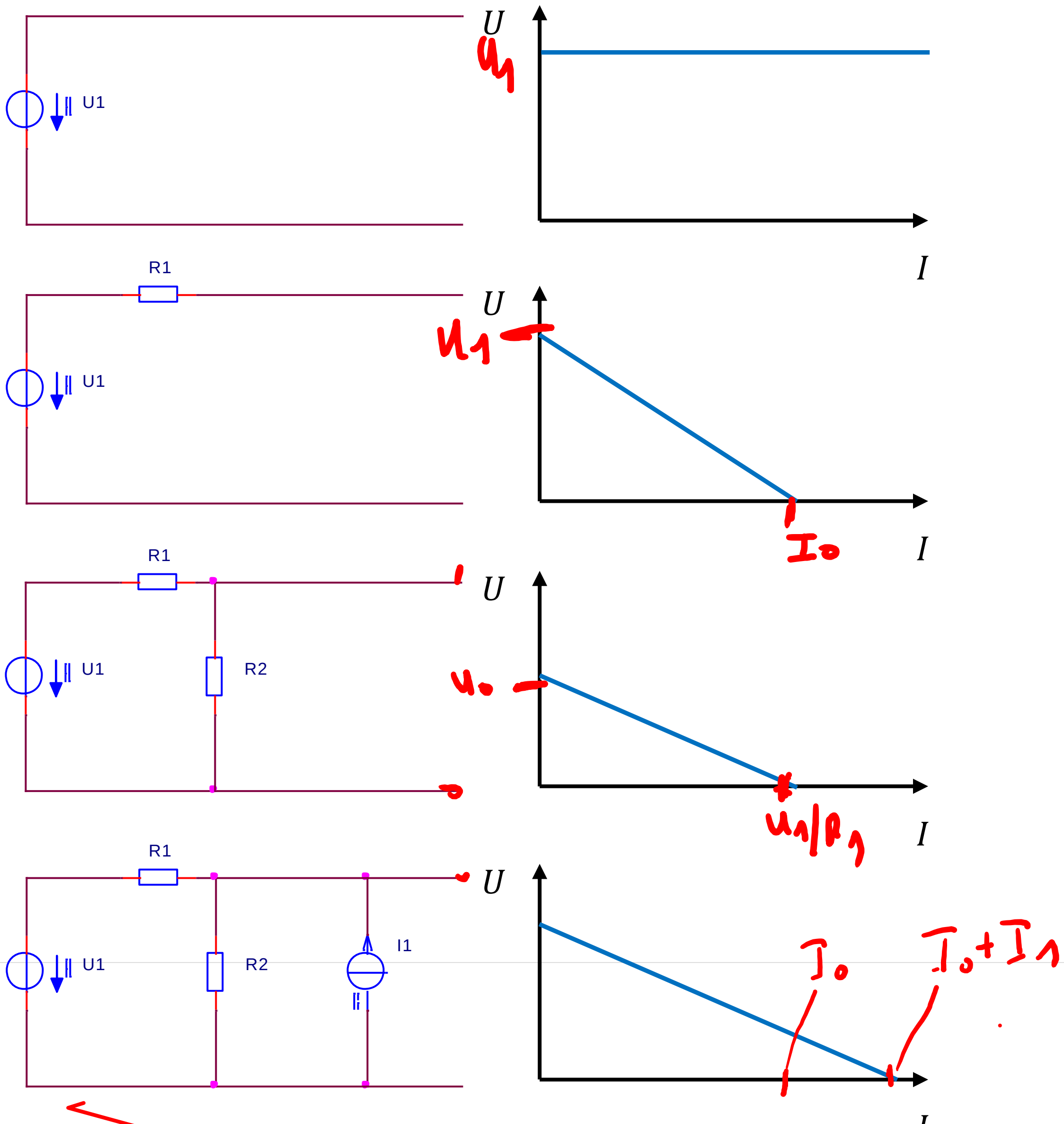
$$I_{3a} = 2/3\,mA$$

$$I_{3b} = 4/3\,mA$$

$$\Rightarrow I_3 =$$

ÜBERLAGERUNGSPRINZIP: VORÜBERLEGUNGEN

a



$$I_0 = \frac{U_0}{R_i} = \frac{R_2 \cdot U_1 (R_1+R_2)}{(R_1+R_2) \, R_1 R_2} = U_1/R_1$$

$$U_0 = \frac{R_2}{R_1+R_2} U_1$$

$$I_0 = \frac{U_1}{R_1}$$

$\hat{=}$

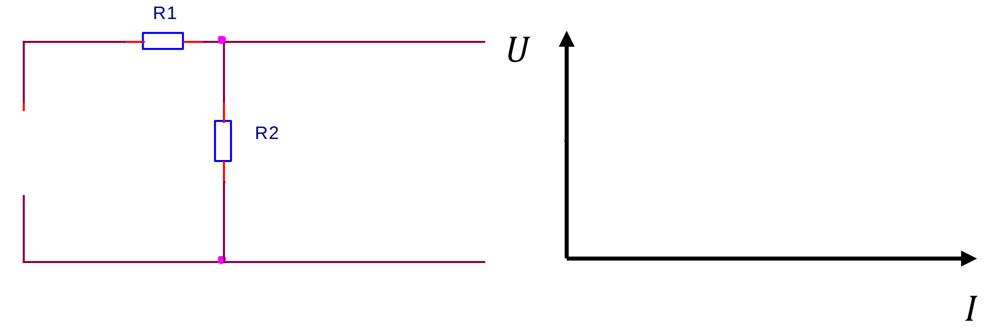
R_i

U_0

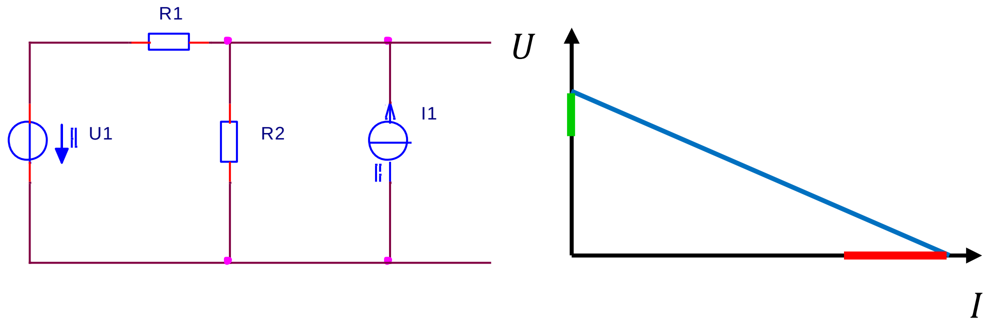
$$R_i = R_1 \| R_2 = \frac{R_1 R_2}{R_1+R_2}$$

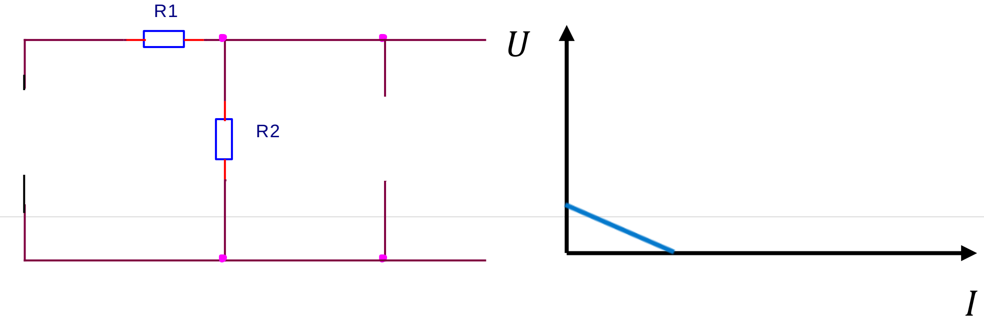
$$R_i = R_1 \| R_2$$

ÜBERLAGERUNGSPRINZIP: VORÜBERLEGUNGEN



a + b

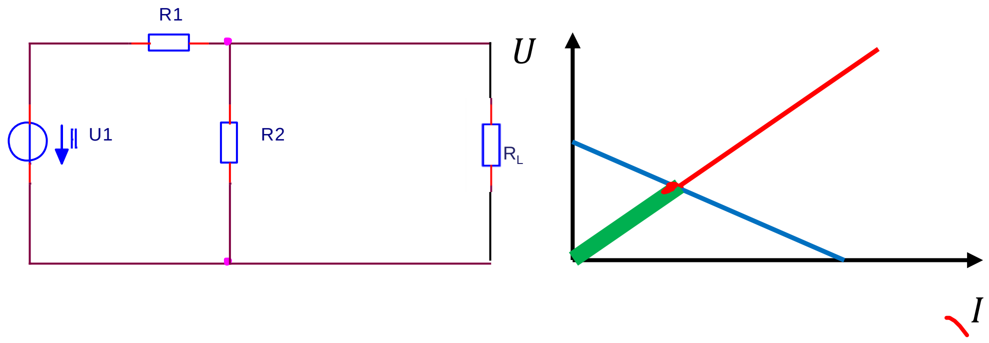




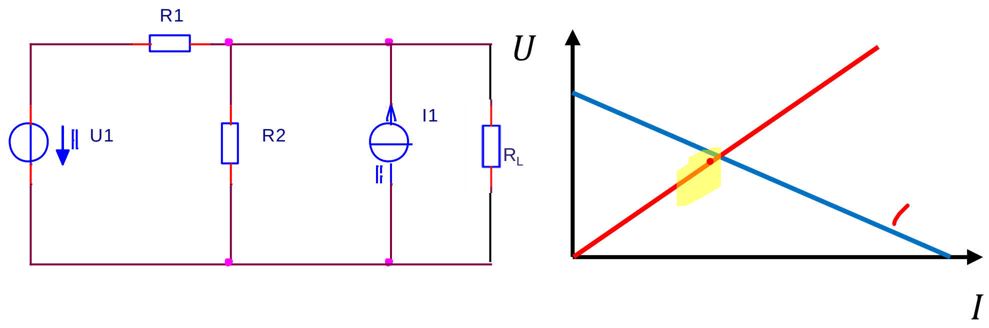
HAW Hamburg
Fakultät TI
Technik und Informatik

ÜBERLAGERUNGSPRINZIP: VORÜBERLEGUNGEN

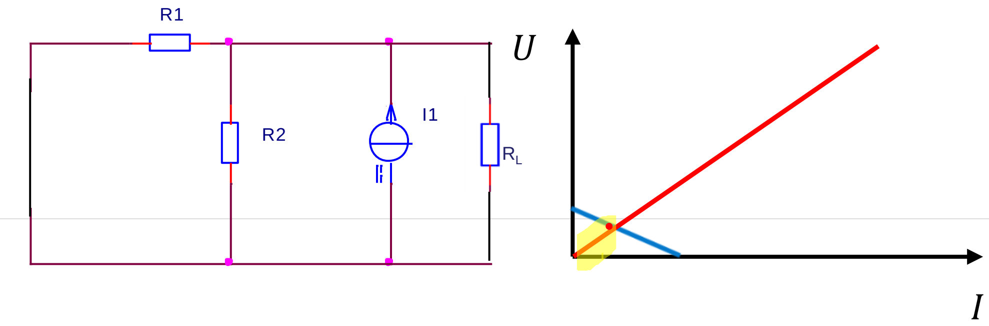
a



a + b



b



2 GLEICHSTROMSCHALTUNGEN

Inhalte der Kapitel 1 – 4: Gleichstrom

4 Widerstandsmessung

3 Gleichstrommessung

2 Gleichstromnetzwerke

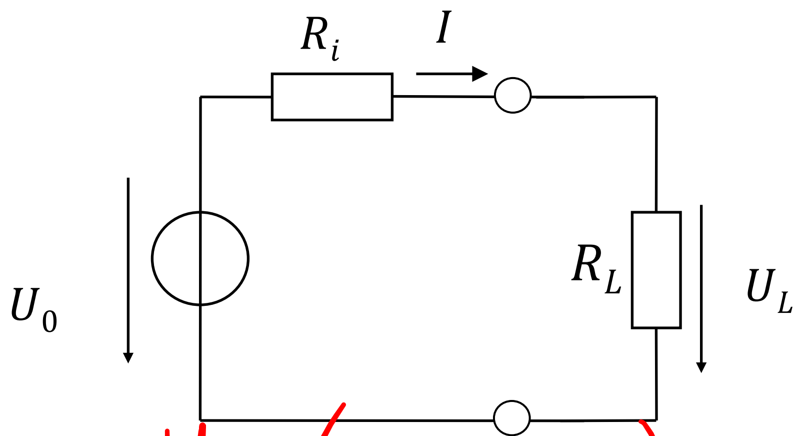
- gesteuerte Quellen
- Nichtlineare Quellen und Lasten
- Leistungsanpassung
- Kirchhoff'sche Gesetze
  - Reihenschaltung
  - Parallelschaltung
- Lineare Quellen
  - Ersatzquellen
  - Überlagerungssatz
- Netzwerkanalyse
  - Knotenpotentialanalyse
  - Maschenanalyse

1 Grundlegende Begriffe und Definitionen

- Widerstand
- Arbeit, Leistung, Wirkungsgrad
- Ladung, Spannung, Strom

LEISTUNG IN LAST R_L BEI LINEARER QUELLE

Wie groß ist die Leistung, die in der Last R_L umgewandelt wird?



$$P_L = \frac{R_L U_0^2}{(R_i + R_L)^2}$$

$$I = U_0/R_g = U_0/(R_i + R_L)$$

$$U_L = U_0 - R_i \cdot I = U_0 - R_i \cdot U_0/(R_i + R_L) = U_0\left(1 - \frac{R_i}{R_i + R_L}\right)$$

$$P_L = U_L \cdot I = U_0 \cdot \frac{R_L}{R_i + R_L} \cdot U_0 \cdot \frac{1}{(R_i + R_L)} = U_0^2 \cdot \frac{R_L}{(R_i + R_L)^2}$$

LEISTUNGSANPASSUNG BEI LINEARER QUELLE

Bei welchem Lastwiderstand ist die Leistung in R_L maximal?

$P_L = f(R_L)$ hat Maximum, wenn: $P_L' = 0 \iff \dfrac{dP_L}{dR_L} = 0$

Es gilt: $$\left(\frac{f}{g}\right)' = \frac{f'g - g'f}{g^2}$$

$$P_{max} = \frac{U_0^2}{4R_i} \Longleftarrow *R_i = R_L$$

Mit: $$P_L = \frac{R_L U_0^2}{(R_i + R_L)^2}$$

$$\Rightarrow f = R_L \cdot U_0^2 \qquad g = (R_i + R_L)^2$$

$$\Rightarrow f' = 1 \cdot U_0^2 \qquad g' = 2(R_i + R_L)$$

$$P_L'(R_L) = \frac{\cancel{U_0^2} \cdot (R_i + R_L)^2 - 2(R_i + R_L) R_L \cancel{U_0^2}}{((R_i + R_L)^2)^2} = 0$$

$$\iff R_i^2 + \cancel{2R_iR_L} + R_L^2 - \cancel{2R_iR_L} - 2R_L^2 = 0$$

$$\iff R_i^2 - R_L^2 = 0 \; *$$

RECHNUNGEN (SAUBER)

$$u = R_L U_0^2 \qquad v = (R_i + R_L)^2$$
$$u' = U_0^2 \qquad v' = 2(R_i + R_L)$$

$$P_L = \frac{U_0^2 (R_i + R_L)^2 - R_L U_0^2 2(R_i + R_L)}{(R_i + R_L)^4}$$
$$P_L = 0 \quad \Leftrightarrow \quad R_L U_0^2 2(R_i + R_L) = U_0^2 (R_i + R_L)^2$$

$$R_L^2 = R_i^2$$
$$R_L = R_i$$

$$P_L(R_L) = \frac{R_i U_0^2}{(4R_i^2)} = \frac{U_0^2}{4R_i}$$

MATEMATICA LÖSUNG

https://develop.open.wolframcloud.com/app/

PL[RL_]:=U0^2*(RL/(RL+Ri)^2);

D[PL[RL],RL]

FullSimplify[D[PL[RL],RL]]

Solve[D[PL[RL],RL]==0,RL]

PL[Ri]

Plot[PL[RL]/.{U0->1,Ri->1},{RL,0,6}]

In[1]:= PL[RL_] := U0 ^ 2 * (RL / (RL + Ri) ^ 2);
D[PL[RL], RL]

Out[17]= $-\frac{2\,RL\,U0^2}{(Ri+RL)^3}+\frac{U0^2}{(Ri+RL)^2}$

In[18]:= FullSimplify[D[PL[RL], RL]]

Out[18]= $\frac{(Ri-RL)\,U0^2}{(Ri+RL)^3}$

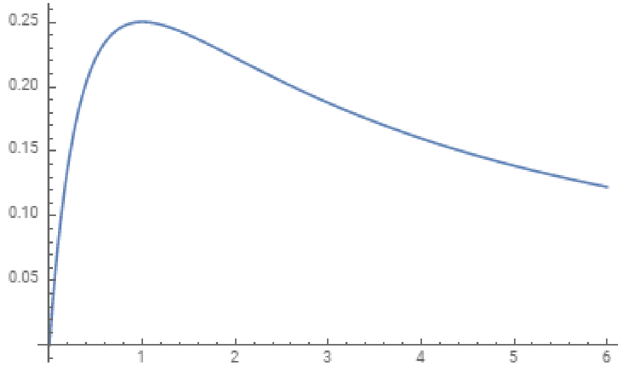
In[19]:= Solve[D[PL[RL], RL] == 0, RL]

Out[19]= $\{\{RL \to Ri\}\}$

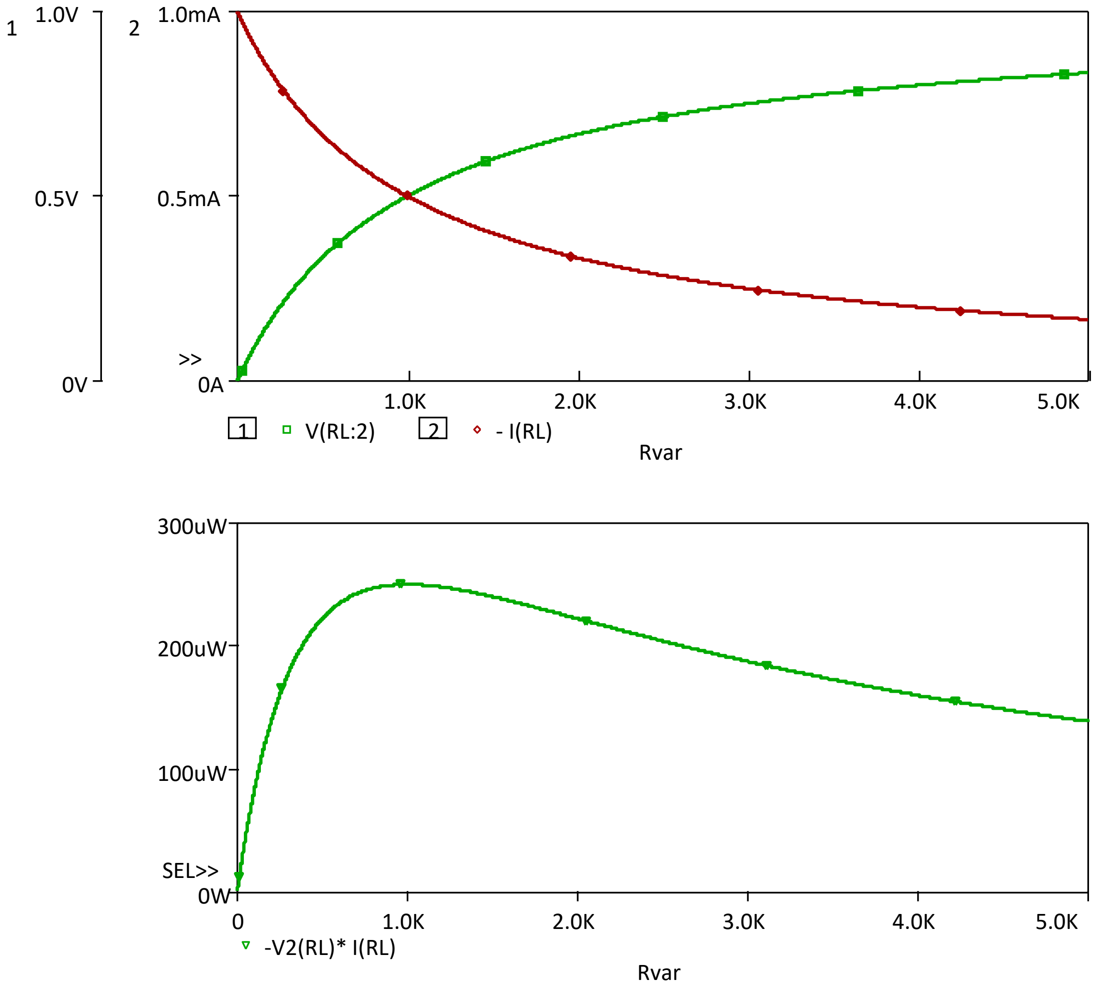
In[20]:= PL[Ri]

Out[20]= $\frac{U0^2}{4\,Ri}$

Out[24]=



LEISTUNGSANPASSUNG BEI LINEARER QUELLE



Die Leistung in R_L wird maximal für $R_i = R_L$ und es gilt:

$$\boxed{P_{L,\max} = \frac{{U_0}^2}{4R_i}}$$

2 GLEICHSTROMSCHALTUNGEN

2.1	Zählpfeilsystem	**Grundlagen**
2.2	Grundlegende Begriffe	
2.3	Kirchhoffsche Gesetze	
2.4	Parallel- und Reihenschaltung von Widerständen	
2.5	Strom- und Spannungsteiler	
2.6	Lineare Quellen	
2.7	Umwandlung in Ersatzquellen	**Methoden**
2.8	Überlagerungsprinzip	
2.9	**Netzwerkanalyse**	
2.10	Leistungsanpassung	**Sonstiges**
2.11	Nichtlineare Quellen und Verbraucher	
2.12	Gesteuerte Quellen	

SYSTEMATISCHE NETZWERKANALYSE

Netzwerk mit z Zweigen

- z Zweigströme
- z Zweigspannungen

$\Rightarrow$ $2\,z$ Gleichungen erforderlich

Systematisch vorgehen, um den Überblick zu behalten!

3 Methoden der Netzwerkanalyse

- **Basisverfahren** (Zweigstromverfahren)
  einfache Anwendung der Kirchhoffschen Gesetze
- **Maschenstromverfahren**
  Reduzierung der Gleichungszahl durch Definition von Maschenströmen
- **Knotenpotentialverfahren**
  Reduzierung der Gleichungszahl durch Definition von Knotenspannungen

REVIEW: ZWEIG, KNOTEN, MASCHE

Zweig: Ein oder mehrere Elemente in Serie ohne Abzweigung

Knoten: Verbindung von 2 oder mehr Zweigen.

Ein Netzwerk mit k Knoten hat genau $k-1$ unabhängige Knoten.

Masche: Jede geschlossene Schleife in einem Netzwerk.

Anzahl der unabhängigen Maschen $m = z - (k-1)$

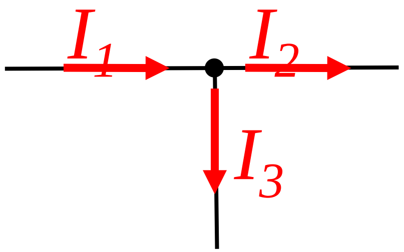
KIRCHHOFFSCHE REGELN

Gustav Kirchhoff 1824-1887

Knotenregel → *k-1* Knotengleichungen

„Die Summe aller zu- und abfließenden Ströme eines Knotens ist Null“

$$\sum_{Knoten} I_i = 0$$

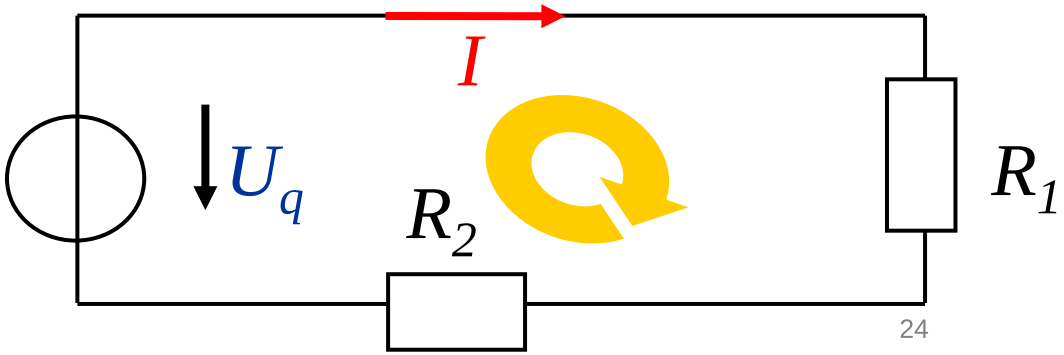


$$I_1 - I_2 - I_3 = 0$$

Maschenregel → *m* Maschengleichungen

„Die Summe aller Teilspannungen einer Masche ist Null“

$$\sum_{Masche} U_i = 0$$



$$R_1 \cdot I + R_2 \cdot I - U_q = 0$$

BASISVERFAHREN: IDEE

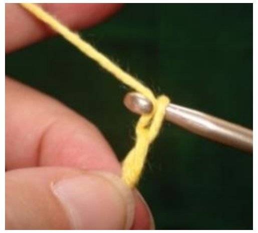
Netzwerk mit z Zweigen. Gesucht:

- z Zweigströme
- z Zweigspannungen

→ $2z$ Gleichungen erforderlich

$k-1$ Knotengleichungen

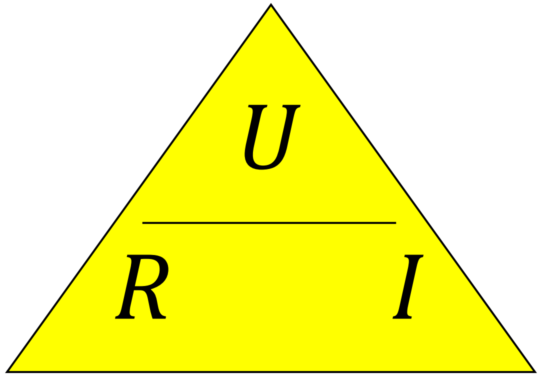
$m = z - k + 1$ Maschengleichungen



$\Sigma: = (k-1) + (z-k+1) = z$

HAW Hamburg
Fakultät TI
Technik und Informatik

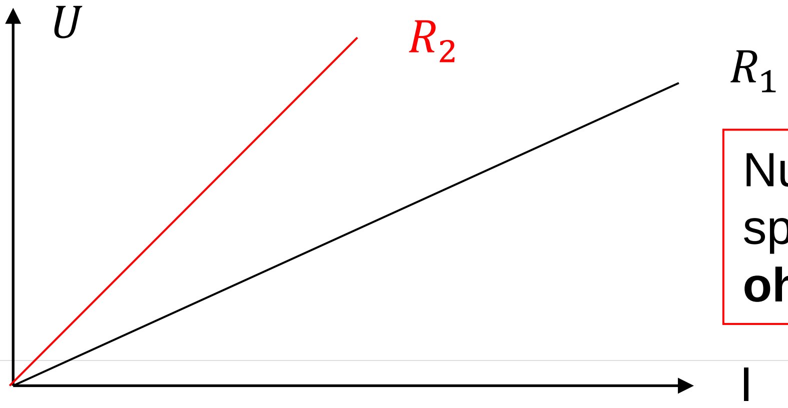
OHMSCHES GESETZ



Bei einem metallischen Leiter und konstanter Temperatur ist der Widerstand R konstant.

$\Rightarrow$ Spannung proportional zum Strom

Ohmsches Gesetz: $U = R \cdot I$ mit $R = \text{const.}$



Nur wenn R konstant ist, spricht man von einem **ohmschen Widerstand.**

Georg S. Ohm
1789 - 1854

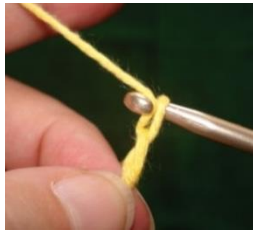
BASISVERFAHREN: IDEE

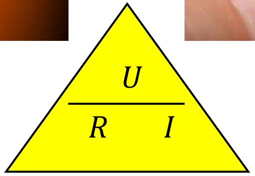
Netzwerk mit z Zweigen. Gesucht:

- z Zweigströme
- z Zweigspannungen

→ $2z$ Gleichungen erforderlich

$k-1$	Knotengleichungen
$m = z - k + 1$	Maschengleichungen
z	Ohmsche Gleichungen
$2z$	Gleichungen

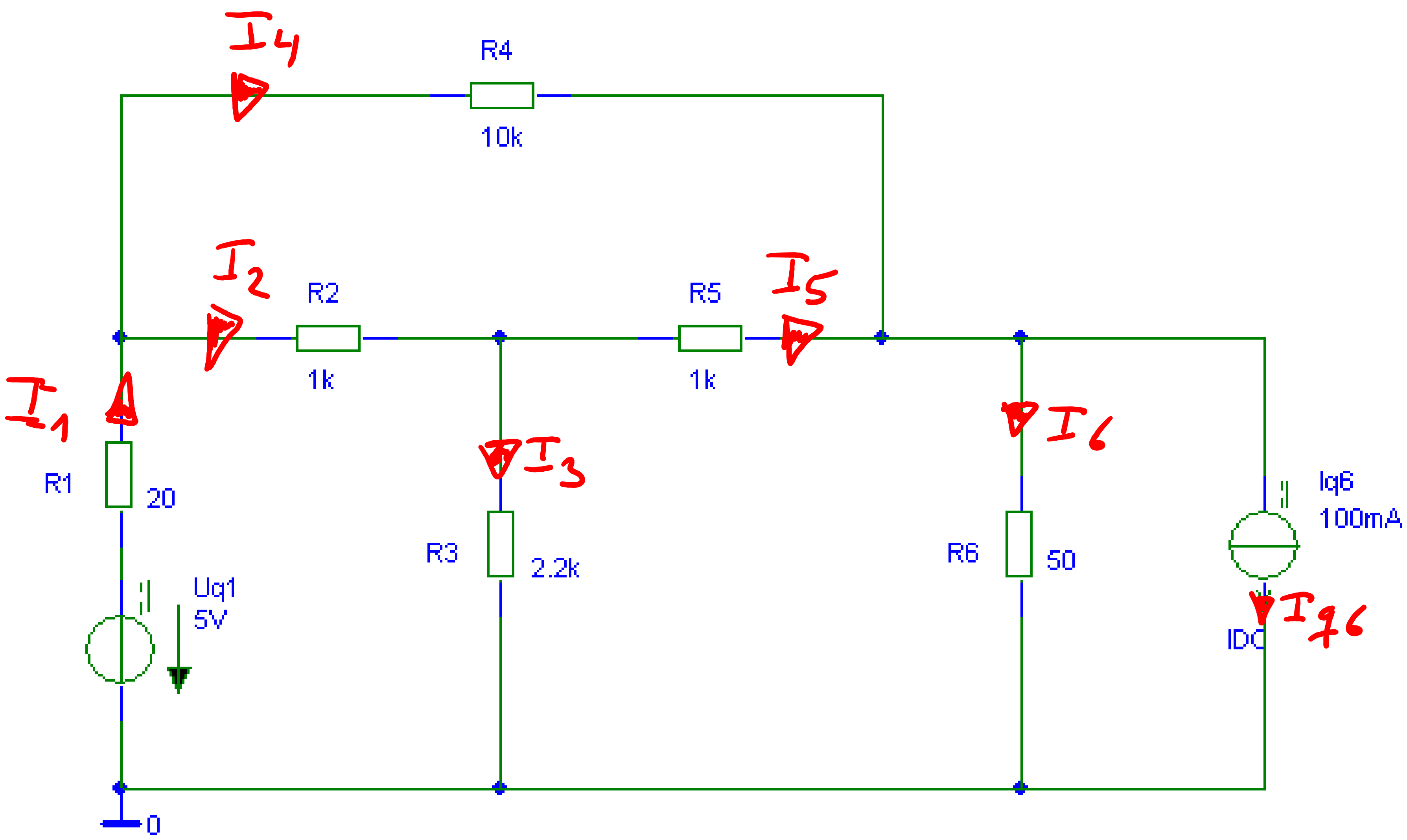




BASISVERFAHREN ÜBER ZWEIGSTRÖME

1. Zweigströme definieren
2. Zweigspannungen definieren (Richtung wie Zweigströme)
3. Knoten nummerieren (0 für Masseknoten - GND)
4. Maschen nummerieren und Umlaufsinn festlegen
   (für jedes Fenster im Uhrzeigersinn)
5. Kirchhoffs Maschenregel für jede Masche anwenden
6. Kirchhoffs Knotenregel für k-1 Knoten anwenden
   (Masseknoten auslassen)

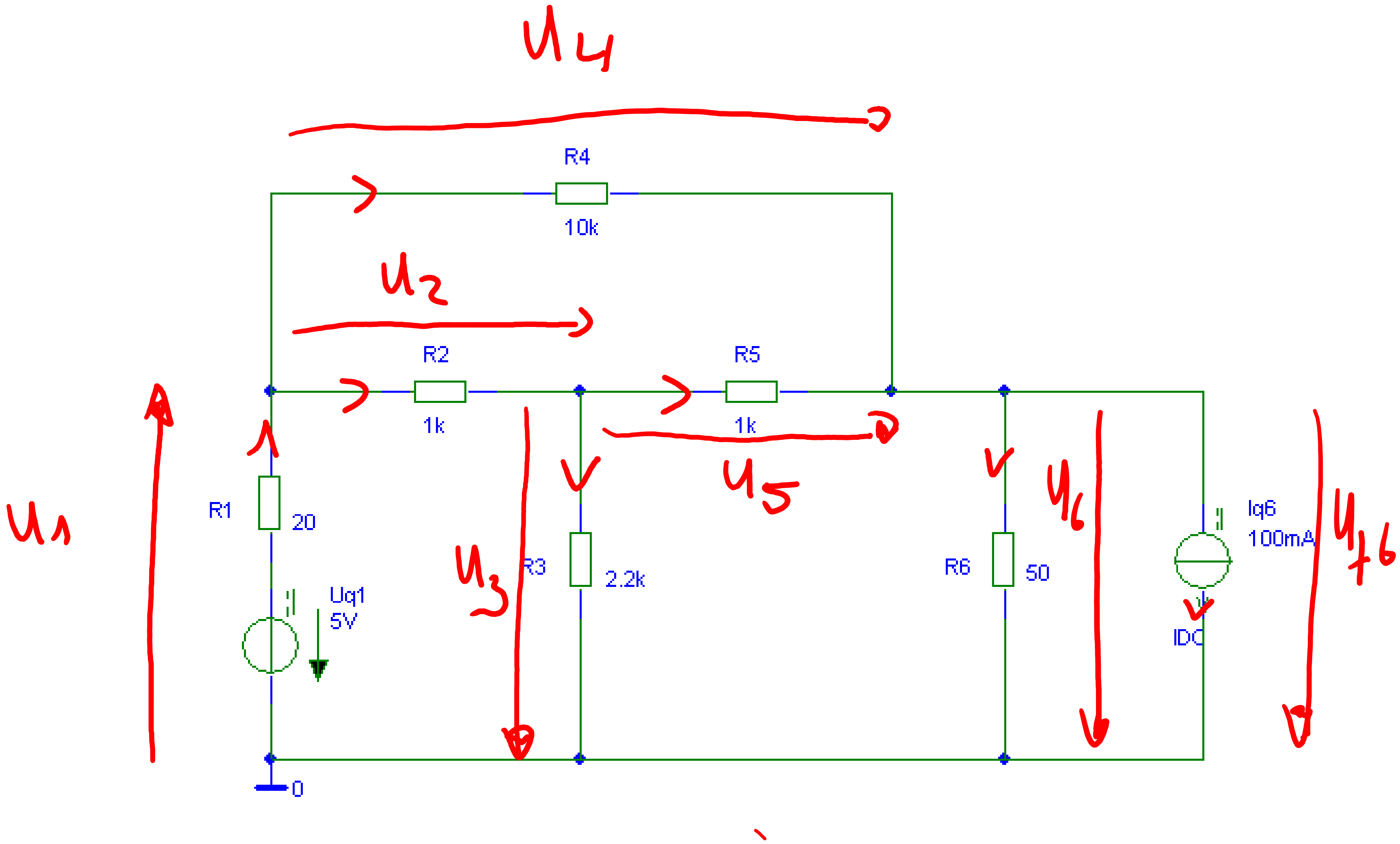
SCHRITT 1: ZWEIGSTRÖME



1. Zweigströme definieren

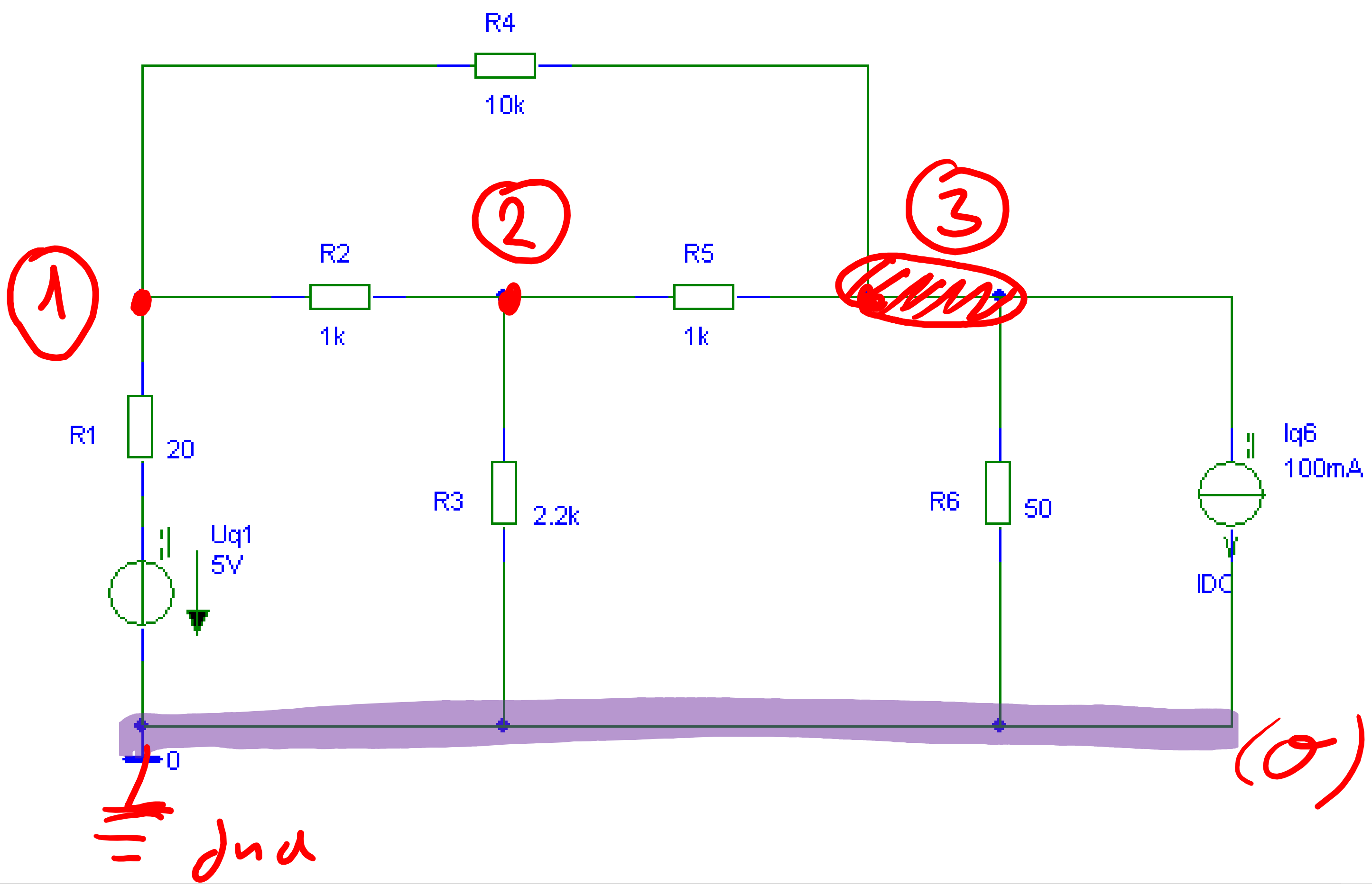
HAW Hamburg
Fakultät TI
Technik und Informatik

SCHRITT 2: ZWEIGSPANNUNGEN



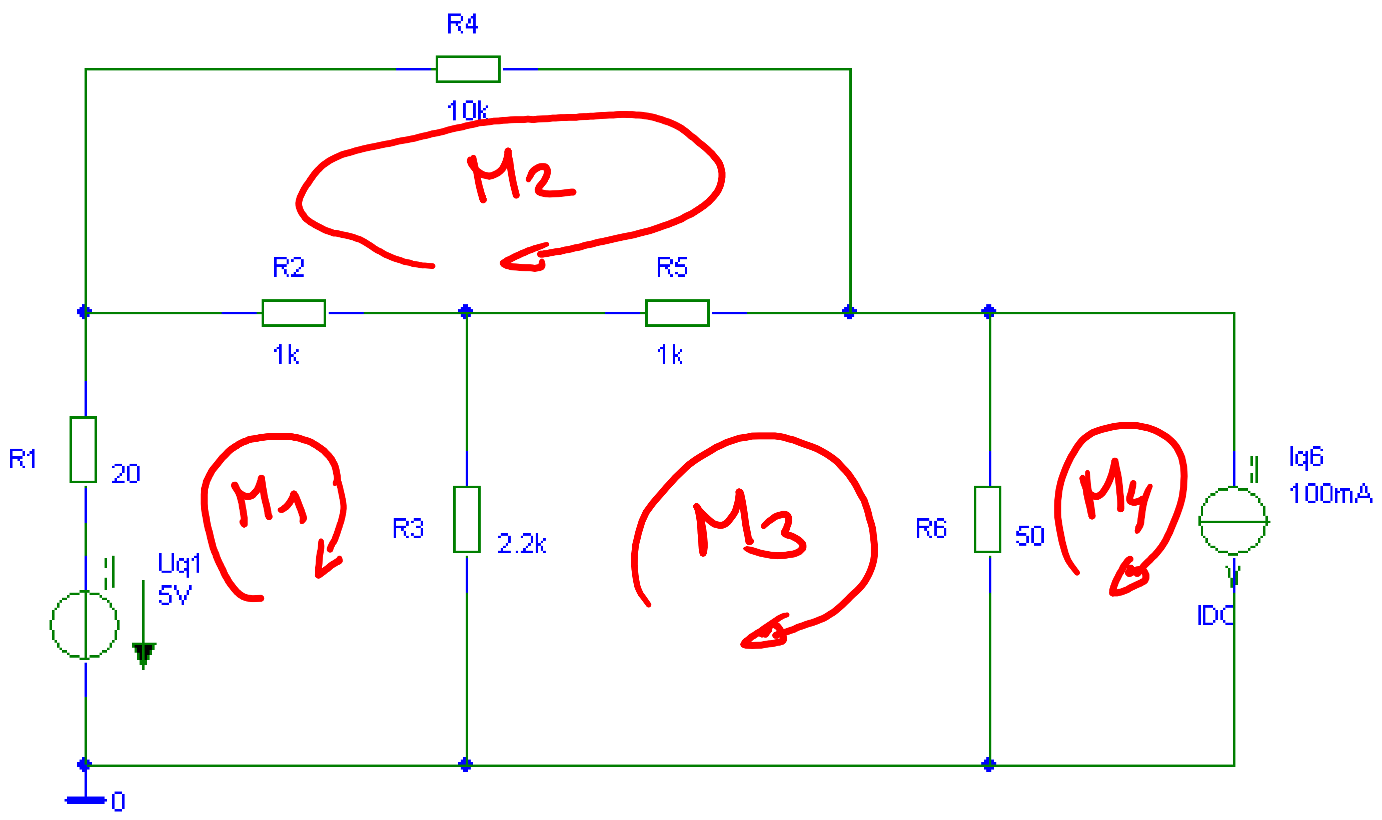
2. Zweigspannungen definieren (Richtung wie Zweigströme)

SCHRITT 3: KNOTEN



3. Knoten nummerieren (0 für Masseknoten - GND)

SCHRITT 4: MASCHEN



4. Maschen nummerieren und Umlaufsinn festlegen (für jedes Fenster im Uhrzeigersinn)

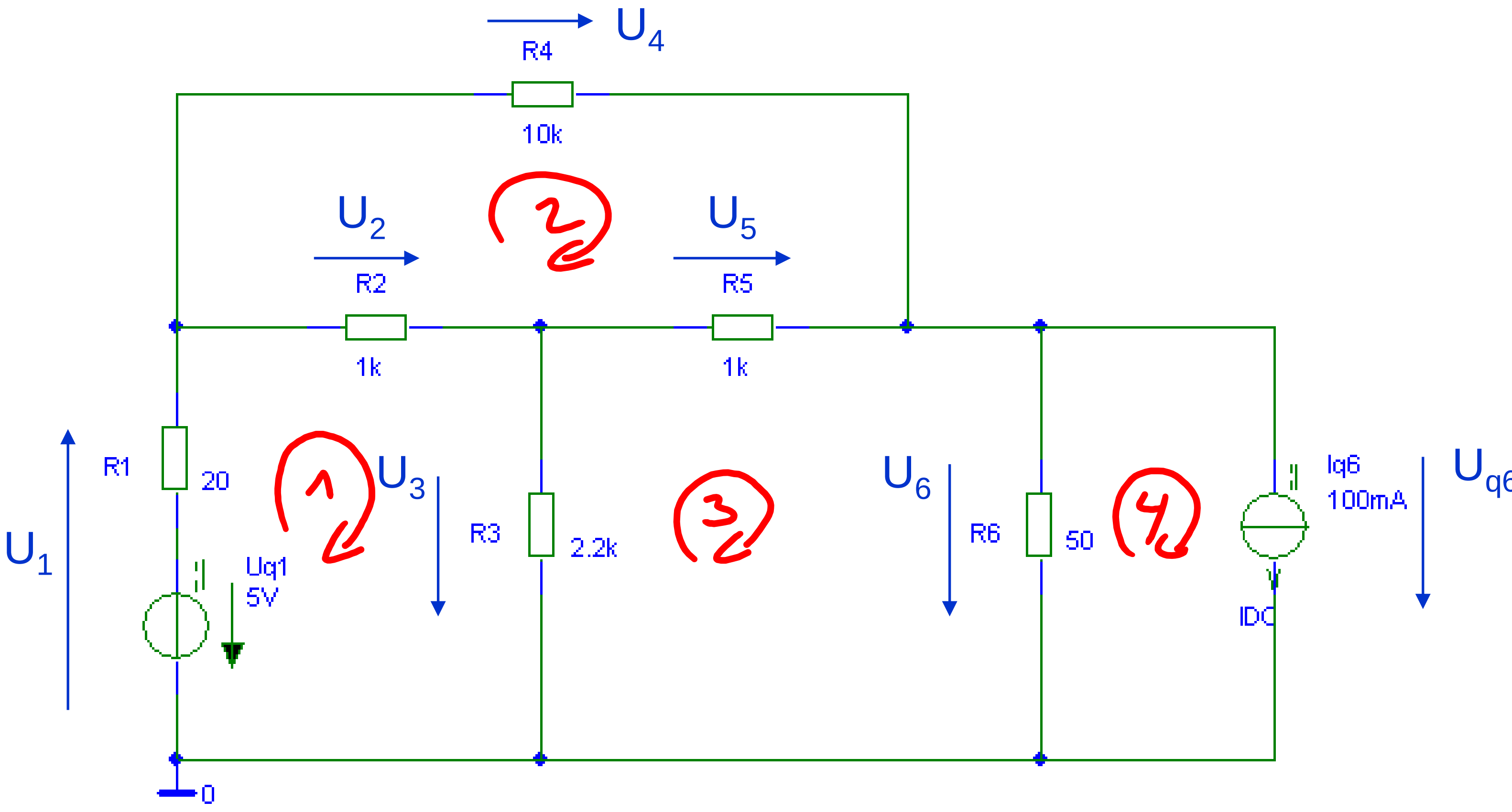
SCHRITT 5: MASCHENREGEL

M1: $U_3 + U_1 + U_2 = 0$

M2: $U_4 - U_2 - U_5 = 0$

M3: $U_6 - U_3 + U_5 = 0$

M4: $-U_6 + U_{q6} = 0$



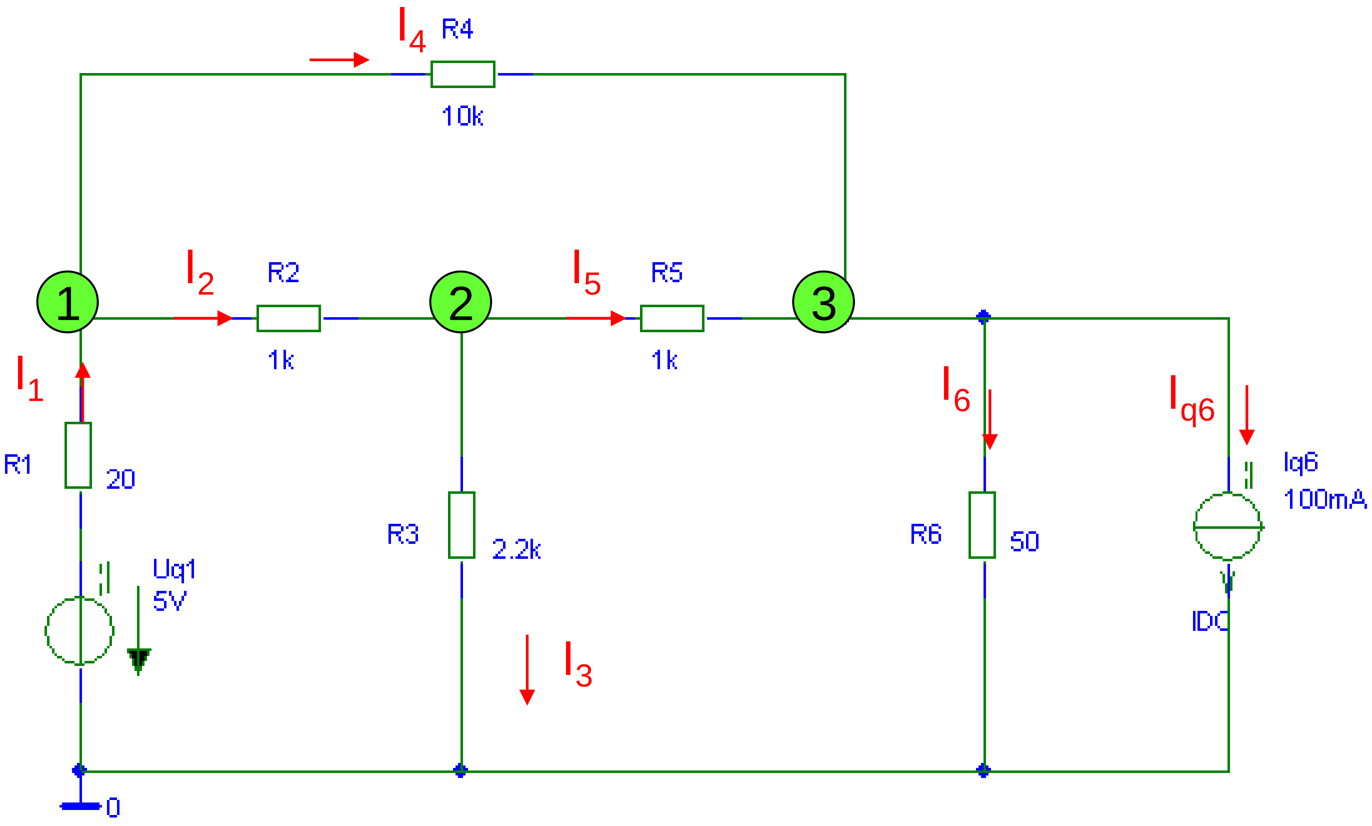
5. Kirchhoffs Maschenregel für jede Masche anwenden

SCHRITT 6: KNOTENREGEL

K1: $I_1 - I_2 - I_4 = 0$

K2: $I_2 - I_5 - I_3 = 0$

K3: $I_5 + I_4 - I_6 - I_{q6} = 0$



6. Kirchhoffs Knotenregel für k-1 Knoten anwenden (Masseknoten auslassen)

LÖSEN DER GLEICHUNGEN

lösbar

Unbekannte: $U_1 \; ... \; U_6, U_{q6}, I_1 \; ... \; I_6$ ➔ 13 Unbekannte

Gleichungen: 4 für Maschen- und 3 Knotengleichungen ➔ 7 Gleichungen

≙ 13 Gleichungen

Ohmsches Gesetz

- $U_1 \; = \; R_1 \, I_1 - U_{q1}$
- $U_2 \; = \; R_2 \, I_2$
- $U_3 \; = \; R_3 \, I_3$
- $U_4 \; = \; R_4 \, I_4$
- $U_5 \; = \; R_5 \, I_5$
- $U_6 \; = \; R_6 \, I_6$

+ 6 Gleichungen

Vorgehen

- Alle Spannungen durch Ströme substituieren (6 Gleichungen für 6 Variablen)
- Nach Zweigströmen auflösen
- Zweigspannungen über obige Gleichungen (ohmsches Gesetz) berechnen

LINEARES GLEICHUNGSSYSTEM

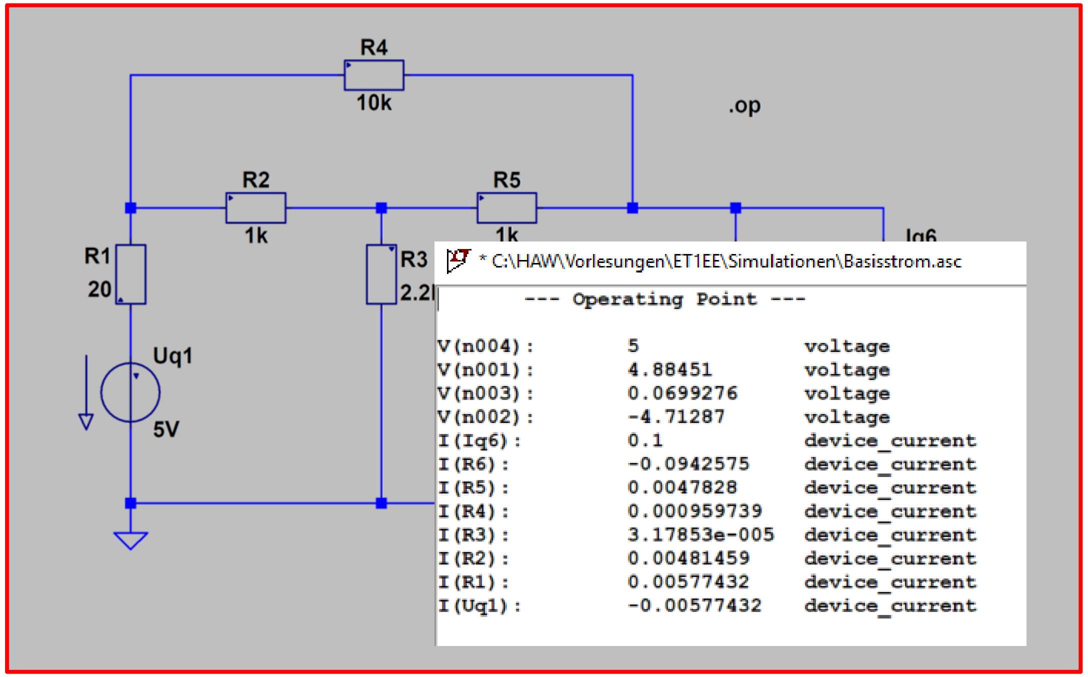
$$K1:\ I_1 - I_2 - I_4 = 0$$
$$K2:\ I_2 - I_3 - I_5 = 0$$
$$K3:\ I_4 + I_5 - I_6 - I_{q6} = 0$$

$$M1:\ U_1 + U_2 + U_3 = 0 \quad \Leftrightarrow \quad -U_{q1} + R_1 I_1 + R_2 I_2 + R_3 I_3 = 0$$
$$M2:\ -U_2 + U_4 - U_5 = 0 \quad \Leftrightarrow \quad -R_2 I_2 + R_4 I_4 - R_5 I_5 = 0$$
$$M3:\ -U_3 + U_5 + U_6 = 0 \quad \Leftrightarrow \quad -R_3 I_3 + R_5 I_5 + R_6 I_6 = 0$$
$$M4:\ -U_6 + U_{q6} = 0 \quad \Leftrightarrow \quad -R_6 I_6 + U_{q6} = 0$$

7 Gleichungen für die Unbekannten: $I_1, I_2, I_3, I_4, I_5, I_6, U_{q6}$

Lösung zum Beispiel über Gauß-Elimination

LÖSUNGEN



V(n004):	5	voltage
V(n001):	4.88451	voltage
V(n003):	0.0699276	voltage
V(n002):	-4.71287	voltage
I(Iq6):	0.1	device_current
I(R6):	-0.0942575	device_current
I(R5):	0.0047828	device_current
I(R4):	0.000959739	device_current
I(R3):	3.17853e-005	device_current
I(R2):	0.00481459	device_current
I(R1):	0.00577432	device_current
I(Uq1):	-0.00577432	device_current

```
R1=1, R2=1, R3=1, R4=1, R5=1, R6=1, Uq1=1, Iq6=1
 syms I1 I2 I3 I4 I5 I6 Uq6

   eqn1 = I1 -I2 - I4 == 0;
   eqn2 = I2 - I3 - I5 == 0;
   eqn3 = I4 + I5 - I6 - Iq6 == 0;
   eqn4 = R1*I1 - Uq1 + R2*I2 + R3*I3 == 0;
   eqn5 = -R2*I2 + R4*I4 - R5*I5 == 0;
   eqn6 = -R3*I3 + R5*I5 + R6*I6 == 0
   eqn7 = -R3*I3 + R5*I5 +Uq6==0;

[M,U] = equationsToMatrix([eqn1,  eqn2, eqn3, eqn4, eqn5, eqn6, eqn7], [I1, I2, I3, I4, I5, I6,Uq6])

I = M \ U
```

numerisch in Matlab über M \ U lösen

Mathematica rechnet symbolisch (mit Variablen):

```
eqn1 = I1 -I2 - I4 == 0;
eqn2 = I2 - I3 - I5 == 0;
eqn3 = I4 + I5 - I6 - Iq6 == 0;
eqn4 = R1*I1 - Uq1 + R2*I2 + R3*I3 == 0;
eqn5 = -R2*I2 + R4*I4 - R5*I5 == 0;
eqn6 = -R3*I3 + R5*I5 + R6*I6 == 0;
eqn7 = -R3*I3 + R5*I5 +Uq6 ==0;
```

```
sol=FullSimplify[Solve[{eqn1,eqn2,eqn3,eqn4,eqn5,eqn6,eqn7},{I1,I2,I3,I4,I5,I6,Uq6}]]
```

→ sol=

$$\Big\{\Big\{I1 \to \frac{Iq6\,(R2\,(R3+R5)+R3\,(R4+R5))\,R6+(R4\,R5+R3\,(R4+R5)+(R4+R5)\,R6+R2\,(R3+R5+R6))\,Uq1}{R3\,R4\,R5+R2\,R4\,(R3+R5)+R3\,(R4+R5)\,R6+R2\,(R3+R4+R5)\,R6+R1\,(R4\,R5+R3\,(R4+R5)+(R4+R5)\,R6+R2\,(R3+R5+R6))},$$

$$I2 \to \frac{Iq6\,(R3\,R4-R1\,R5)\,R6+R4\,(R3+R5)\,Uq1+(R4+R5)\,R6\,Uq1}{R3\,R4\,R5+R2\,R4\,(R3+R5)+R3\,(R4+R5)\,R6+R2\,(R3+R4+R5)\,R6+R1\,(R4\,R5+R3\,(R4+R5)+(R4+R5)\,R6+R2\,(R3+R5+R6))},$$

$$I3 \to \frac{-Iq6\,(R2\,R4+R1\,(R2+R4+R5))\,R6+(R4\,R5+(R2+R4+R5)\,R6)\,Uq1}{R3\,R4\,R5+R2\,R4\,(R3+R5)+R3\,(R4+R5)\,R6+R2\,(R3+R4+R5)\,R6+R1\,(R4\,R5+R3\,(R4+R5)+(R4+R5)\,R6+R2\,(R3+R5+R6))},$$

$$I4 \to \frac{Iq6\,R2\,R3\,R6+Iq6\,(R1+R2+R3)\,R5\,R6+R3\,R5\,Uq1+R2\,(R3+R5+R6)\,Uq1}{R3\,R4\,R5+R2\,R4\,(R3+R5)+R3\,(R4+R5)\,R6+R2\,(R3+R4+R5)\,R6+R1\,(R4\,R5+R3\,(R4+R5)+(R4+R5)\,R6+R2\,(R3+R5+R6))},$$

$$I5 \to \frac{Iq6\,(R1\,R2+(R1+R2+R3)\,R4)\,R6+(R3\,R4-R2\,R6)\,Uq1}{R3\,R4\,R5+R2\,R4\,(R3+R5)+R3\,(R4+R5)\,R6+R2\,(R3+R4+R5)\,R6+R1\,(R4\,R5+R3\,(R4+R5)+(R4+R5)\,R6+R2\,(R3+R5+R6))},$$

$$I6 \to \frac{-Iq6\,(R2\,R3\,R4+R1\,R3\,(R2+R4)+(R2+R3)\,R4\,R5+R1\,(R2+R3+R4)\,R5)+(R2\,(R3+R5)+R3\,(R4+R5))\,Uq1}{R3\,R4\,R5+R2\,R4\,(R3+R5)+R3\,(R4+R5)\,R6+R2\,(R3+R4+R5)\,R6+R1\,(R4\,R5+R3\,(R4+R5)+(R4+R5)\,R6+R2\,(R3+R5+R6))},$$

$$Uq6 \to \frac{-Iq6\,(R2\,R3\,R4+R1\,R3\,(R2+R4)+(R2+R3)\,R4\,R5+R1\,(R2+R3+R4)\,R5)\,R6+(R2\,(R3+R5)+R3\,(R4+R5))\,R6\,Uq1}{R3\,R4\,R5+R2\,R4\,(R3+R5)+R3\,(R4+R5)\,R6+R2\,(R3+R4+R5)\,R6+R1\,(R4\,R5+R3\,(R4+R5)+(R4+R5)\,R6+R2\,(R3+R5+R6))}\Big\}\Big\}$$

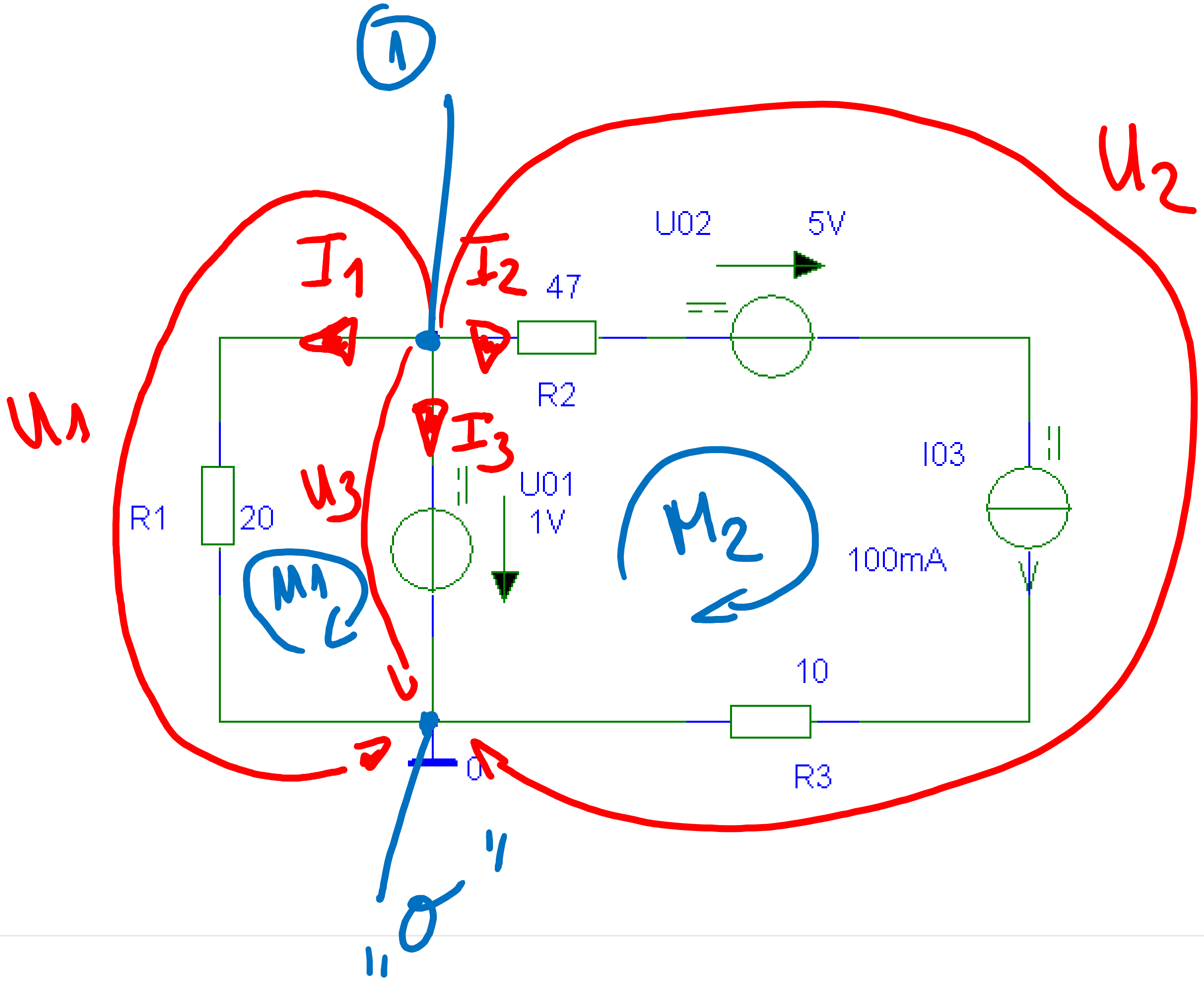
```
sol/.{R1->20,R2->1000,R3->2200,R4->10000,R5->1000,R6->50,Uq1->5,Iq6->0.1}
```

```
sol/.{R1→20, R2→1000, R3→2200, R4→10000, R5→1000, R6→50, Uq1→5, Iq6→0.1}
{{I1→0.00577432, I2→0.00481459, I3→0.0000317853, I4→0.000959739, I5→0.0047828, I6→-0.0942575, Uq6→-4.71287}}
```

https://develop.wolframcloud.com/app

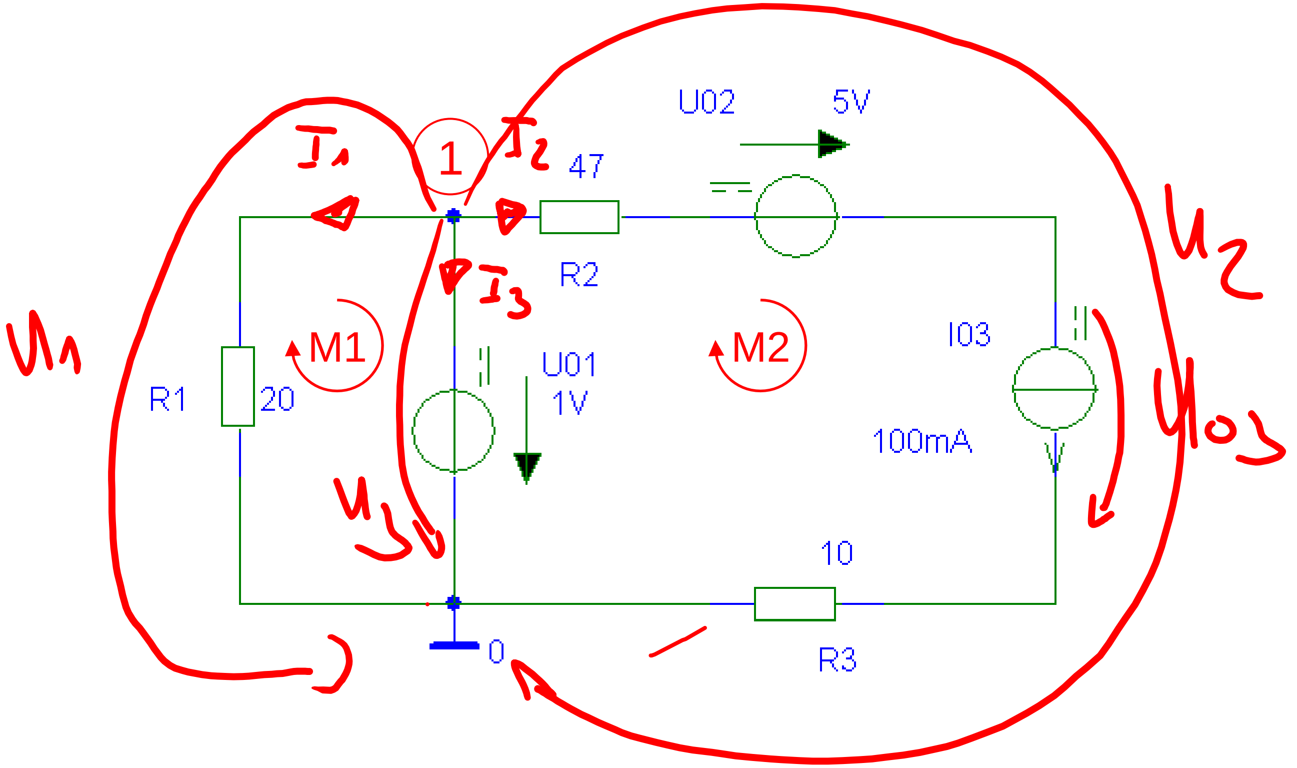
AUFGABE (1)

Definieren Sie Knoten und Maschen sowie Ströme und Spannungen.



AUFGABE (2)

Stellen Sie die Gleichungen auf und lösen Sie diese.



$I_{03} = 100mA$

$\|$

K1: $+I_2 + I_3 + I_1 = 0$

M1: $U_3 - U_1 = 0 \Leftrightarrow U_{01} - R_1 I_1 = 0$

M2: $U_2 - U_3 = 0 \quad -U_{01} + R_2 I_{03} + U_{02} + U_{03} + R_3 \cdot I_{03} = 0$

HAW Hamburg
Fakultät TI
Technik und Informatik

$$I_3 = -100\,mA - I_1$$
$$= -150\,mA$$

$$100\,mA + I_3 + I_1 = 0$$

$$1\,V - 20\,\Omega \cdot I_1 = 0 \; \} \; I_1 = 1\,V / 20\,\Omega = 50\,mA$$

$$\underbrace{-1\,V + 47\,\Omega \cdot 100\,mA + 5\,V + U_{03} + 10\,\Omega \cdot 100\,mA = 0}$$

$$\Rightarrow U_{03} = 1\,V - 4{,}7\,V - 5\,V - 1\,V$$
$$= -9{,}7\,V$$

KONTROLLE ÜBER MATHEMATICA

K1= -I1- I~~2~~3-I03 == 0;
M1= -R1 I1 + U01 == 0;
M2= -U01 + R2 *I03 + U02 + U4 + R3* I03 == 0;

sol=Fullsimplify[Solve[{K1,M1,M2},{I1,I2,U4}]]

$$\left\{I1 \to \frac{U01}{R1},\ I\cancel{2}3 \to -\frac{I03\,R1 + U01}{R1},\ U4 \to -I03\,R2 - I03\,R3 + U01 - U02\right\}$$

N[sol]/.{R1 -> 20, R2 -> 47, R3-> 10, U01-> 1, U02-> 5, I03-> 100*10^-3}

$$\left\{I1 \to \frac{1}{20},\ I\cancel{2}3 \to -0.15,\ U4 \to -9.7\right\}$$

KONTROLLE DER LÖSUNG ÜBER MATLAB

Matlab File VL05.m

```
% Vorlesung 05 - Loesungsbeispiel für Lineare Gleichungen
%Zuweisung der Variablen
R1 = 20; R2 = 47; R3 = 10;
U01 = 1; U02 = 5; I03 = 100e-3;

%Definition der Matrix M mit den Spalten für I1, I2 und U04
M = [-1 -1 0; R1 0 0 ; 0 0 1]

%Definition des Loesungsvektors (Spaltenvektor)
y = [I03; -U01; U01-U02-R2*I03-R3*I03]

%Loesung der Gleichung mit x = [I1; I2; U04]
x = M \ y
```

Ergebnisse

```
    M =                                  y =                 x =

  -1    -1     0                        0.1000              0.0500
  20     0     0                       -1.0000              0.1500
   0     0     1                       -9.7000             -9.7000
```

SERVICE DES HAUSES: MATLAB-LIZENZ

HAW hat Studierenden-Lizenz von **Matlab** erworben
http://www.etech.haw-hamburg.de/matlab
(ca. 1 DVD als Download)

- Matlab ist der Standard an Universitäten, auch an der HAW
- Matlab ist:
  - leistungsfähiger „Taschenrechner“
  - dient zur Visualisierung von Messreihen im Labor
  - rechnet mit komplexen Zahlen
  - bietet Toolboxen für viele Fächer und wird in allen Semestern genutzt (Regelungstechnik, Signalverarbeitung, Bildverarbeitung, …)
- aber: Lizenz nur für Lehrzwecke, nicht für kommerzielle Nutzung

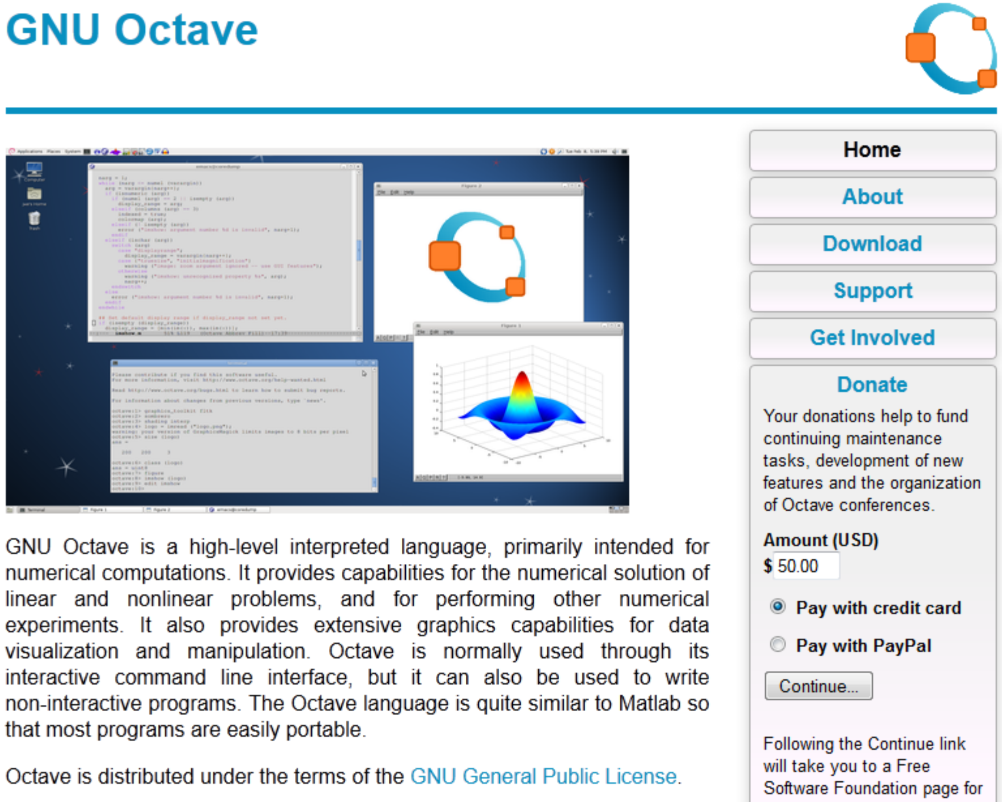
- Matematica online Version

https://develop.wolframcloud.com/app
(etwas schwerer in der Notation – ungewohnt)

ALTERNATIV: GNU OCTAVE

http://www.gnu.org/software/octave/

- weitgehend Matlab-kompatibel
- public domain / open source



LTSPICE LAB

Versuchen Sie sich selbst an LTspice

https://www.haw-hamburg.de/ti-ie/labore/grundlagen-elektrotechnik/download.html

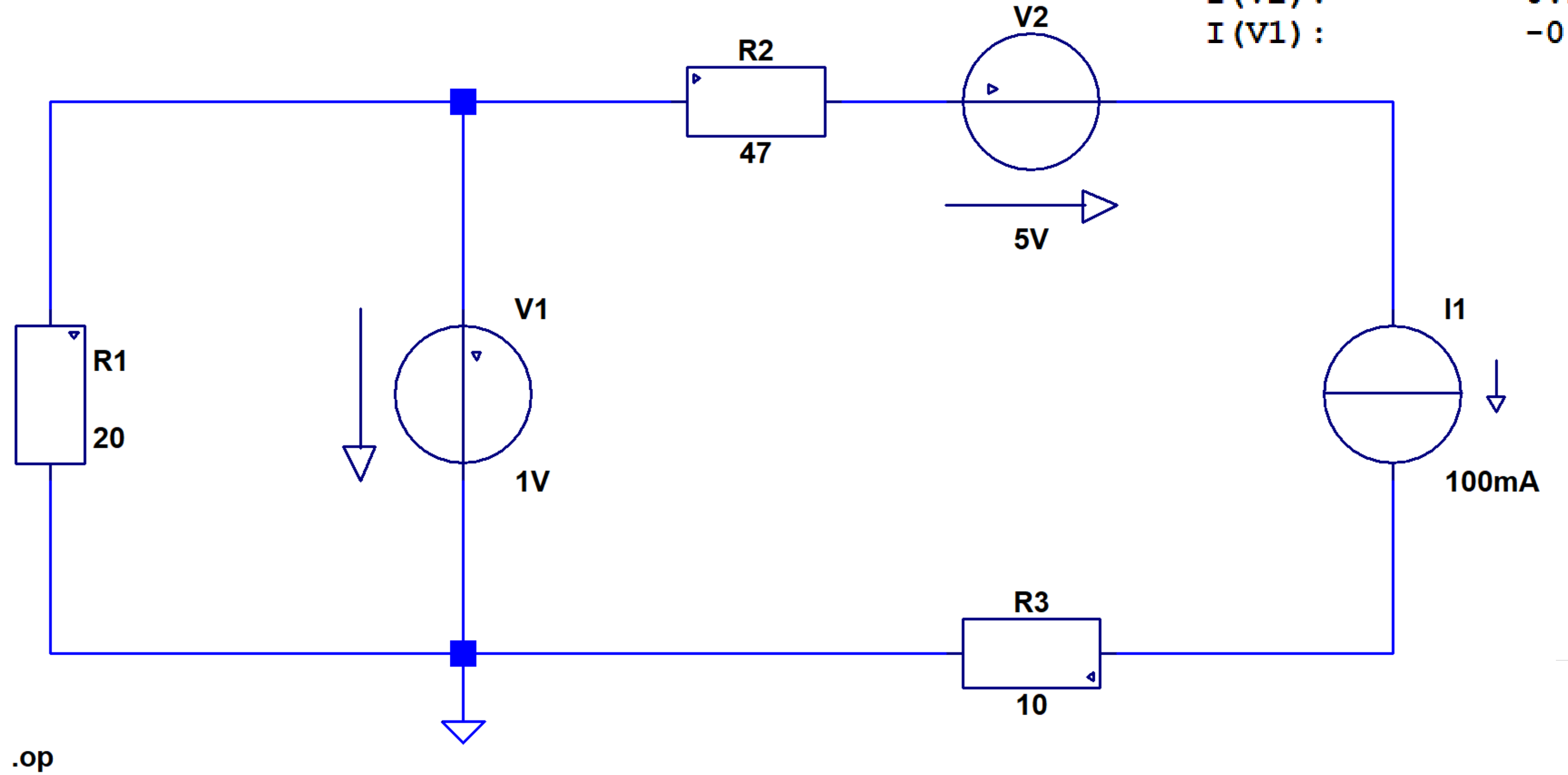
- zu Hause: Download LTSpice
- zeichnen Sie Ihre Lieblingsnetzwerk

LÖSUNG MIT SPICE

Simulation in LTSpice

--- Operating Point ---

V(n001):	1	voltage
V(n002):	-3.7	voltage
V(n004):	1	voltage
V(n003):	-8.7	voltage
I(I1):	0.1	device_current
I(R3):	0.1	device_current
I(R2):	0.1	device_current
I(R1):	0.05	device_current
I(V2):	0.1	device_current
I(V1):	-0.15	device_current



WAS SIE MITNEHMEN SOLLEN…

Basisverfahren über Zweigströme

- immer einsetzbar
- Verfahren verstehen und anwenden können:

  1. Spannungen, Ströme, Knoten, Maschen festlegen
  2. Knotenregel anwenden
  3. Zweigspannungen durch Ohmsches Gesetz eliminieren
  4. Lösen nach Strömen, dann Spannungen über ohmsches Gesetz

Lösungen mittels Gauss, Matlab, Mathematica oder SPICE