

1

Grundlagen der Elektrotechnik mit MicroCap

In diesem Kapitel stehen die passiven Zweipole R , L und C im Vordergrund. Ihr elektrisches Verhalten soll mit elementaren Grundsaltungen (bekannt aus den Grundlagen der Elektrotechnik, z.B. [6]) analysiert werden. Dazu dienen die Arbeitspunktanalyse (*Bias Point*), die Gleichstromanalyse (*DC*), die Wechselstromanalyse (*AC*) und die Analyse *Transient*. Zur Variation ausgewählter Parameter werden die aus PSpice oder LTspice bekannten Sweeps (DC- und AC-Sweep) als Main- und als Nested-Sweep eingesetzt.

■ 1.1 Einführung in MC 12



Nach der Installation von MicroCap 12 (MC) ist das Icon auf dem Desktop verfügbar. Mit einem Doppelklick wird die Arbeitsoberfläche geöffnet. Wenn die Schaltplanfläche noch grau unterlegt ist, muss mit *File* → *New* eine neue Datei geöffnet werden. Es meldet sich das *New*-Fenster mit einer Auswahl von Dateitypen. Wir wählen Schematic-File (*.cir für circuit). Damit wird mit dem Abspeichern eine Datei „Name.cir“ erstellt. Dieser Name steht dann mit dem Dateipfad über der Arbeitsoberfläche in der Titelleiste (*title bar*). (siehe auch: Vester [15])

1.1.1 Arbeitsoberfläche

Im oberen Bereich der Arbeitsoberfläche befinden sich mehrere Kopfzeilen, die in der Grundeinstellung der gekürzten Anordnung in Bild 1.1 entsprechen.



Bild 1.1 Kopfzeilen der Arbeitsoberfläche (Auszug)

In der ersten Zeile sind die verfügbaren Menüs in Textform (*menu bar*) aufgelistet. Es folgen in der zweiten Zeile die grafischen Symbole der zu ① gehörende Untermenüs (hier nur eine Auswahl) und eventuell noch (je nach Einstellung der Arbeitsoberfläche) die Elemente der Editor-Menü-Leiste. Die dritte Zeile zeigt den Rest der Editorleiste in Kombination mit der Komponenten-Spalte. Sie wird links unter ③ als Liste dargestellt.

Diese Komponenten-Liste (unter: Browse – Search – Favorites) ermöglicht den Zugriff auf alle verfügbaren Bauelemente der MicroCap-Evaluationssoftware. Die Einteilung wird in Hauptgruppen, in Untergruppen und in Komponenten vorgenommen.

Für die weitere Kennzeichnung verwenden wir folgende Schreibweise (z. B. U_q):

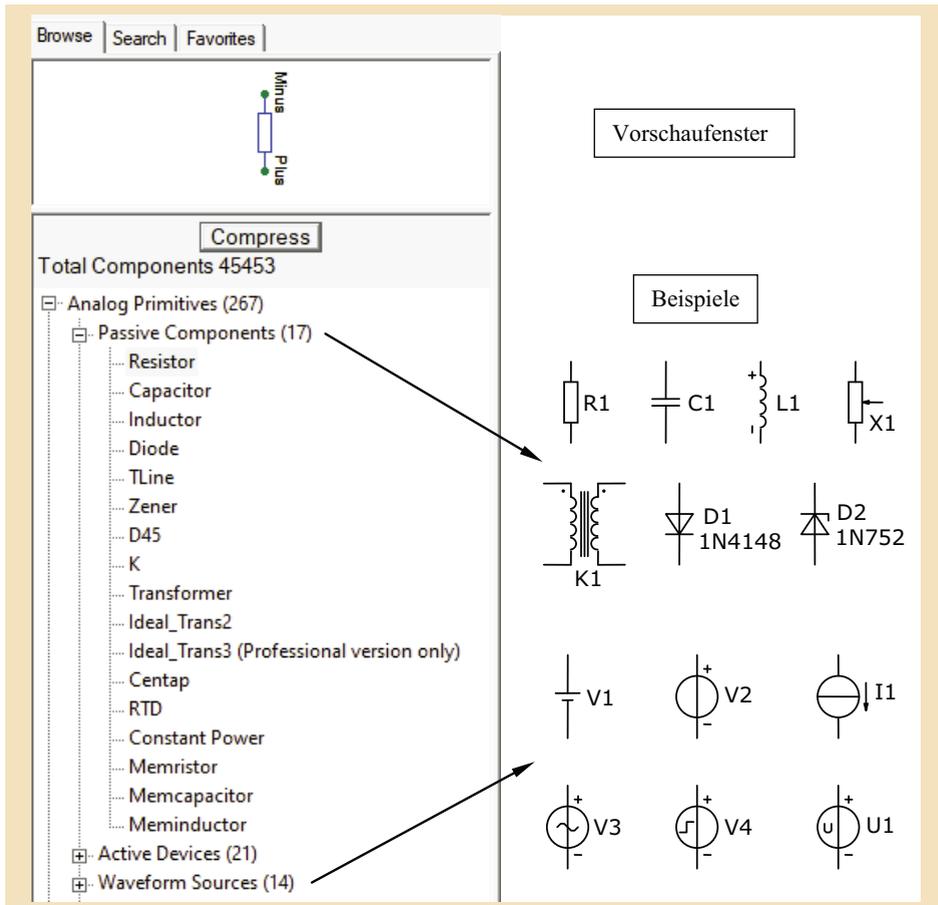
- Hauptgruppe: |*Analog Primitives*|,
- Gruppe (Untergruppe): {*Waveform Sources*},
- Komponente: [*Voltage Source*].

Die gewünschte Komponente wird angeklickt (linke Maustaste – LMT) und auf die Arbeitsoberfläche übertragen. Das Vorschauenfenster ermöglicht eine Kontrolle der Auswahl. Mit der Taste > Esc < oder mit der Leertaste wird dieser Vorgang beendet.

Die Suche einer Komponente ist mit > Search < möglich. Häufig verwendete Komponenten werden unter > Favorites < angezeigt. Weitere Komponenten findet man auch im Menü *Component*. Hier sind dann die Elemente teilweise um jeweils 90° zueinander verdreht oder auch in einer gespiegelten Darstellung verfügbar.

Die Position der Pins einer Komponente kann man über  (Node Numbers) abrufen. Die aktuelle Ausrichtung wird im Bedarfsfall mit  (Flip X) oder  (Flip Y) verändert.

Im Anhang zu diesem Buch werden die wichtigsten Komponenten beschrieben.

Tabelle 1.1 Elemente der Komponenten-Liste *Components*

1.1.2 Zeichnen eines Stromkreises

Zum Erstellen eines Schaltplanes für einen Gleichstromkreis wollen wir als Beispiel eine gemischte Schaltung verwenden, die eine Spannungsteilung und eine Stromteilung bewirkt. Für die Aufbauelemente (Bild 1.3) gilt:

$$U_q = 12 \text{ V mit } R_1 = 1,6 \text{ k}\Omega, R_2 = 6 \text{ k}\Omega, R_3 = 4 \text{ k}\Omega.$$

Als Spannungsquelle wird über die Komponentenliste des Panels (Hauptgruppe: *|Analog Primitives|*) aus der Gruppe *{Waveform Sources}* die Komponente *[Voltage Source]* ausgewählt. Es meldet sich das Fenster *[Voltage Source]*. Diese Universalquelle verfügt über mehrere leistungsfähige Funktionen, die über eine / Registerkarte / festgelegt werden. Für die DC-Quelle / None / werden folgende Einstellungen vorgenommen (vgl. auch Anhang – Abschnitt 9.1):

VALUE: überschreiben mit 12 V und aktivieren der Anzeige mit > Show <

PART: überschreiben von V1 mit U_q und > OK <.

Nun ist die Quelle auf der Arbeitsoberfläche sichtbar. Da keine weiteren Quellen benötigt werden, schließen wir diesen Vorgang mit > Esc < ab. Falls das dargestellte Quellsymbol zu klein ist, können wir diesen Sachverhalt mit > Strg < und > + < (Zehntertastatur), mit dem Zoom -Button oder mit dem Scrollrad und > Strg < unserer Maus korrigieren.

Wir stellen fest, dass für die Quelle kein Zählpfeil angegeben wird. Diese Tatsache müssen wir so akzeptieren, da eine Änderung in der Evaluationssoftware nicht vorgesehen ist. Als Ersatz wird ja die „Polarität“ der Quelle mit (+) und (-) angegeben (↓).

Die Reihenfolge und die Position von VALUE und PART kann man nach dem Markieren (Anklicken) durch eine Verschiebung mit dem Mauszeiger korrigieren. Das Ändern dieser Angaben gelingt mit einem Doppelklick auf VALUE oder PART und einer neuen Eingabe.

Für einen Widerstand wird über die Komponentenliste des Panels (Hauptgruppe: |*Analog Primitives*|) aus der Gruppe {*Passive Components*} die Komponente [*Resistor*] ausgewählt. Es meldet sich das Fenster [*Resistor*]. Dort sind folgende BE-Attribute zu setzen:

VALUE: R1=1.6k (usw.) und aktivieren der Anzeige mit > Show < .

PART: wird automatisch mit ansteigendem Index gesetzt und > OK <.

Nachdem die drei Widerstände positioniert sind, wird der Vorgang mit > Esc < beendet.

Nun verdrahten wir die Anordnung über den Button  (wire mode). Dazu wird der Mauszeiger an den Ansatz eines Bauelementes gesetzt. Bei gedrückter Maustaste (LMT) kann nun eine Verbindung gezeichnet werden. Die erste Abwinklung wird nach Vorbild des Verlaufes des Mauszeigers übernommen. Für weitere Abwinklungen muss der Mauszeiger neu gesetzt werden.

Hinweis: Das Verdrahten wird erleichtert, wenn man vor dem Zeichnen des Stromkreises ein Raster über  (grid) auswählt. Nach Fertigstellung der Schaltung kann das Raster im Bedarfsfall wieder entfernt werden.

Zum Abschluss muss noch ein Bezugsknoten \perp gesetzt werden. Seine Position ist sinnvoll zu wählen. Diesem Punkt \perp wird von MC das Bezugspotential $\varphi_{PB} = 0$ V zugewiesen. Alle Potentialaussagen gelten dann relativ zum Potentialbezugspunkt (Masse, Ground). Das dazu verwendete Symbol \perp steht als ‚Default‘ und als ‚Euro‘ (etwas kürzer) zur Verfügung.

1.1.3 Anpassung der Schaltungsdarstellung

Die fertig gezeichnete Schaltung kann nun noch an die Vorstellungen des Bearbeiters angepasst werden. Dazu wird die gesamte Schaltung markiert (mit dem gedrückten Mauszeiger umfassen) und in eine einheitliche Farbdarstellung gewandelt. Nach Anklicken des markierten Bereiches (RMT) meldet sich ein Kontextmenü. Wir wählen / Color / aus und klicken die gewünschte Farbe (hier: schwarz) an. Nun könnten uns noch die roten Knotenpunkte stören. Zur Änderung wählen wir aus dem gleichen Kontextmenü die Option *Properties*.

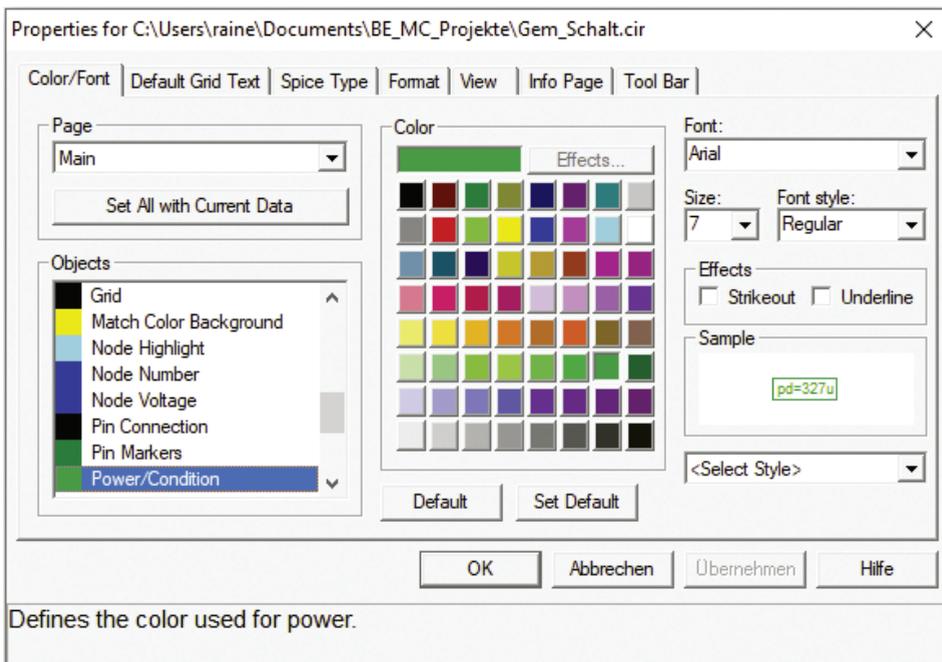


Bild 1.2 Einstellungen unter *Properties*

Hier nehmen wir folgende Einstellungen unter: / Color / und Page: < Main > vor:

- Pin Connection (Knoten) = schwarz
- Node Number (Potentialmarker) = dunkelblau und: Size = 7
- Node Voltage (Potentialangabe) = dunkelblau und: Size = 7
- Power/Condition (Leistungsmarker) = dunkelgrün und: Size = 7
- Current (Strommarker) = rotbraun und: Size = 7

Im Sinne eines Schwarz-Weiß-Druckes sollten dunkle Farben gewählt werden.

Alle anderen Einstellungen bleiben zunächst unverändert. Wenn wir mit unserem Ergebnis zufrieden sind, sollten die Einstellungen mit \gt Set Default \lt als vorläufige Standardwerte deklariert werden. Das erspart bei weiteren Projekten den erneuten Einstellungsaufwand.

Bild 1.3 (links) zeigt die fertiggestellte Schaltung. Diese Schaltung kann aus der Arbeitsoberfläche von MC übernommen und zum Zwecke der Archivierung (usw.) in ein Textverarbeitungssystem (z. B. Word) wie folgt eingefügt werden:

MC: *Edit* \rightarrow *Copy to Clipboard* \rightarrow *Copy ... in EMF-Format*

Word: *Start* \rightarrow *Einfügen* \rightarrow *Inhalte einfügen* \rightarrow *Grafik* oder: \gt Strg \lt & \gt V \lt

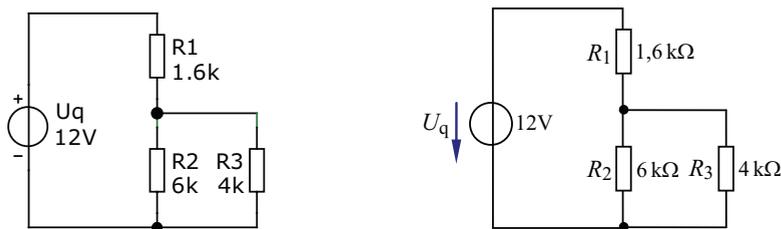


Bild 1.3 Testschaltung in MC (links) und in einer mit Word überarbeiteten Version (rechts)

Wenn eine Schaltungsdarstellung nach DIN erforderlich ist, muss eine Überarbeitung in Word vorgenommen werden. Dazu klickt man die Schaltung mit der RMT an und wählt aus dem Kontextmenü die Position *Bild bearbeiten*. Jetzt erscheint die Schaltung in dem von Word bekannten Zeichenbereich ohne Gruppierung. Nach Korrektur der Strichstärke können nun auch die überdimensionalen Knoten in der Größe angepasst werden. Durch Markieren der gesamten Schaltung ist eine gleichzeitige Änderung der Schriftart und der Schriftgröße möglich. Der Indizes müssen einzeln tiefgestellt werden. Zum Abschluss kann man der Quelle auch noch den üblichen Zählpfeil spendieren (Polaritätsangaben löschen).

In den folgenden Ausführungen wird auf die Überarbeitung einer Schaltung verzichtet, um die aktuelle schaltungstechnische Grundlage einer Simulation im Original anzugeben. Bei grafischen Darstellungen von Simulationsergebnissen ist diese Überarbeitung erforderlich.



Lehrbeispiel 1.1

Erstellen Sie eine Schaltung nach Vorbild des Lehrbeispiels 5.1 aus [6]. Dabei handelt es sich um ein einfaches Netzwerk mit drei Zweigen. Es fließen demzufolge drei Zweigströme. In jedem Zweig ist eine Spannungsquelle zu einem Widerstand in Reihe geschaltet. Messen Sie mit einem verfügbaren Instrument (hier: *[Animated Meter]*) die resultierende Spannung U_{DE} über den drei Zweigen.

Für die Aufbauelemente gilt: $U_A = 24\text{ V}$, $U_B = 12\text{ V}$ und $U_C = 5\text{ V}$ sowie $R_1 = R_2 = R_3 = 1\text{ k}\Omega$.

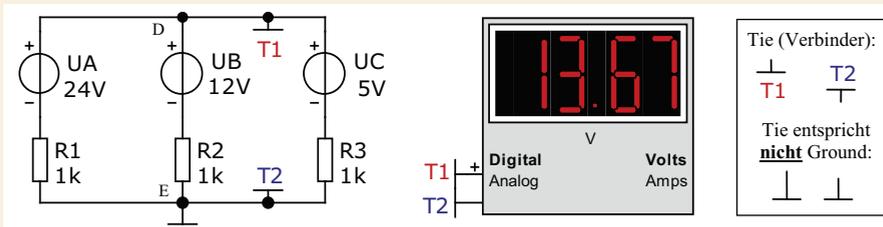


Bild 1.4 Schaltung zum Lehrbeispiel 1.1

■ 1.2 Analyse von Gleichstromkreisen

Zur Beschreibung des elektrischen Verhaltens eines Gleichstromkreises sollte zunächst die Situation in einem fest eingestellten Arbeitspunkt analysiert werden. Diese Situation entsteht z. B. in einer schaltungstechnischen Kombination von Widerständen, die über eine Quelle mit einer konstanten Quellengröße (U_q oder I_q) betrieben wird. Dabei stellt sich für jeden Widerstand R_x ein Arbeitspunkt ein, der mit U_x , I_x und P_x beschrieben werden kann. Diese Analyse wird demzufolge als Arbeitspunktanalyse (*bias point*) bezeichnet.

In vielen Fällen soll ein Gleichstromkreis bei Variation eines Parameters untersucht werden. Damit stellen sich je nach Variation eine Vielzahl unterschiedlicher Arbeitspunkte ein, die in einer grafischen Darstellung visualisiert werden müssen. Diese Situation entsteht, wenn eine Quellengröße (U_q bzw. I_q) oder ein Widerstand R_x einen vorgegebenen Bereich durchläuft. Die Variation wird als DC-Sweep bezeichnet. Solche Sweeps können miteinander kombiniert werden (DC-Main-Sweep und DC-Nested-Sweep). Dann erhält man mehrere Funktionsverläufe in einer gemeinsamen oder in einer getrennten Darstellung.

1.2.1 Arbeitspunktanalyse

Wir wollen uns in einem ersten Schritt eine Übersicht über diese Analyseart verschaffen. Dazu verwenden wir die Schaltung aus Bild 1.3. Für die Arbeitspunktanalyse kann die Analyse *Dynamic-DC* eingesetzt werden:

Analysis → *Dynamic-DC* ... und: > OK <.

Obwohl zur Beschreibung eines Arbeitspunktes (AP) pro Bauelement nur ein Datenpaar (U_{AP} ; I_{AP}) ermittelt werden muss, trägt diese Analyse die Bezeichnung ‚Dynamic‘. Warum ist das so? Mit dieser Analyseart kann der Anwender bei Bedarf experimentieren. Bei der Änderung eines Parameters (U_q oder R_x) wird das Analyseergebnis automatisch korrigiert.

Wir starten diese Analyse für die Testschaltung in Bild 1.3 und erhalten die Angaben für die Potentiale  relativ zum Potentialbezugspunkt \perp . Die Spannungen über den jeweiligen Elementen ergeben sich dann aus den Potentialdifferenzen.

Die Ströme in allen Zweigen werden über die Schaltfläche  angezeigt. Der angegebene Pfeil ist ein Richtungspfeil für $I_x \geq 0$. Zur Anzeige der Leistungen wird  betätigt.

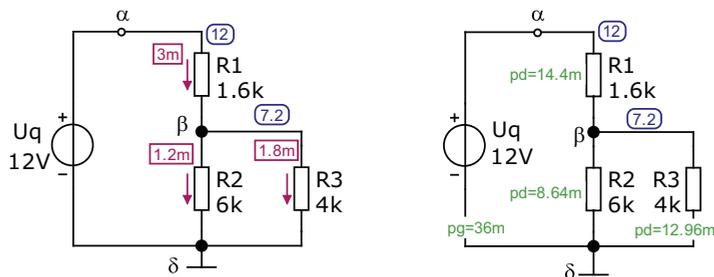


Bild 1.5 Arbeitspunktanalyse (links: Potentiale und Ströme, rechts: Potentiale und Leistungen)

Bild 1.5 zeigt auf der linken Seite die Ergebnisse für die Knotenpotentiale (Rechtecke) und für die Zweigströme (Pfeile). Die Position der Textfenster muss im Bedarfsfall durch Verschieben mit der Maus korrigiert werden. Den Rahmen kann man bei Platzproblemen entfernen.

Der obere Knoten (hier: virtueller Knoten α) besitzt das Potential $\varphi_\alpha = 12\text{V}$. Der echte Knoten β weist ein Potential von $\varphi_\beta = 7,2\text{V}$ auf. Voraussetzung für diese Zahlenwerte ist die Festlegung des Knotens δ als Bezugsknoten mit $\varphi_{P\beta} = \varphi_\delta = 0\text{V}$.

Wir wollen diese Angaben mit der Spannungsteilerregel überprüfen:

$$U_2 = U_3 = U_q \cdot \frac{R_2 \parallel R_3}{R_1 + R_2 \parallel R_3} = 12\text{V} \cdot \frac{2,4}{1,6 + 2,4} = 12\text{V} \cdot 0,6 = 7,2\text{V}$$

Über dem Widerstand R_1 liegt dann die Spannung $U_1 = \varphi_\alpha - \varphi_\beta = 4,8\text{V}$.

Die Quelle liefert einen Gesamtstrom $I_{\text{ges}} = I_1 = 3\text{mA}$. Dieser Strom wird im Knoten β in die Teilströme $I_2 = 1,2\text{mA}$ und $I_3 = 1,8\text{mA}$ aufgeteilt. Diese Angaben können wir mit der Stromteilerregel überprüfen. Der Gesamtstrom ergibt sich über das Ohmsche Gesetz:

$$I_{\text{ges}} = I_1 = \frac{U_q}{R_1 + R_2 \parallel R_3} = \frac{12\text{V}}{4\text{k}\Omega} = 3\text{mA}$$

Die Leistungen werden mit p_g (p_g = power generated) und mit p_d (p_d = power dissipated) angegeben. Wir werden diese Leistungen im Weiteren mit Quellenleistung P_q und mit Verbraucherleistung P_v bezeichnen. Im vorliegenden Fall gilt dann:

$$P_q = 36 \text{ mW} \quad \text{und:} \quad P_1 = 14,4 \text{ mW}; P_2 = 8,64 \text{ mW}; P_3 = 12,96 \text{ mW}$$

$$\text{Probe: } \Sigma P_q = \Sigma P_v \quad \text{bzw.:} \quad P_q = (P_1 + P_2 + P_3) = 36 \text{ mW}$$

Dabei werden die Quellenleistungen im Quellen-Zählpeilsystem (Q-ZPS) und die Verbraucherleistungen im Verbraucher-Zählpeilsystem (V-ZPS) dargestellt. Den Strom durch eine Quelle stellt MicroCap im V-ZPS dar (I_q in Richtung U_q).



Lehrbeispiel 1.2



LTspice: LB_1.2

Berechnen Sie für das Netzwerk im Lehrbeispiel 1.1 alle Knotenpotentiale und überprüfen Sie diese Ergebnisse mit einer Arbeitspunktanalyse (Analyse *Dynamic-DC*). Es gilt: $R_1 = R_2 = R_3 = R$.

Das Netzwerk verfügt über zwei echte Knoten. Wenn wir den unteren Knoten als Potentialbezugspunkt wählen ($\varphi_{PB} = 0 \text{ V}$), können wir das Potential des oberen Knotens (Name: α) über das Knotenpotentialverfahren (siehe [6] – Abschnitt 5.4) bestimmen. Es ergibt sich für φ_α nur eine Gleichung:

$$\varphi_\alpha \cdot \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right) = \frac{U_A}{R_1} + \frac{U_B}{R_2} + \frac{U_C}{R_3}$$

$$\varphi_\alpha \cdot \frac{3}{R} = \frac{U_A + U_B + U_C}{R}$$

$$\varphi_\alpha = \frac{U_A + U_B + U_C}{3} = \frac{41}{3} \text{ V} = 13,6\bar{6} \text{ V}$$

Daraus können wir die Potentiale der virtuellen Knoten (das sind hier die Knoten zwischen je einer Quelle und einem Widerstand) bestimmen. Diese Potentiale werden von MicroCap automatisch mit berechnet. Wir bezeichnen diese Knoten mit den Indizes der anliegenden Bauelemente und wenden zur Berechnung den Maschensatz im Uhrzeigersinn an.

Im Bild 1.6 (rechts) wird gezeigt, wie das Potential am Knoten A1 (entspricht: U_1) berechnet werden kann.

$$\varphi_{A1} = U_{\alpha 0} - U_A = -10,3\bar{3} \text{ V}$$

Vergleichbare Maßnahmen führen zu den Potentialen an den Punkten B2 und C3.

$$\varphi_{B2} = U_{\alpha 0} - U_B = +1,6\bar{6} \text{ V}$$

$$\varphi_{C3} = U_{\alpha 0} - U_C = +8,6\bar{6} \text{ V}$$

Nun starten wir die Simulation mit *Analysis* → *Dynamic-DC* ...

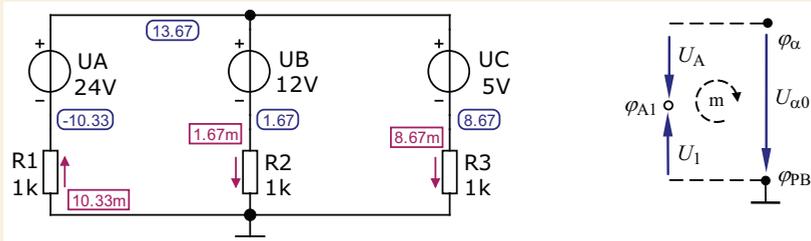


Bild 1.6 Arbeitspunktanalyse zum Lehrbeispiel 1.2 (rechts: Anwendung des Maschensatzes)

Die Analyseergebnisse bestätigen unsere Potentialberechnung. Die Ströme ergeben sich im vorliegenden Fall direkt aus den Potentials, da alle Widerstände mit $R = 1 \text{ k}\Omega$ den gleichen Wert aufweisen. Der Strom I_1 fließt gegen den Zählpfeil der Quelle A (Quellen-Charakteristik). Die Ströme I_2 und I_3 fließen in Richtung des Zählpfeils der Quellen B bzw. C (Verbraucher-Charakteristik). Das sagt auch die Leistungsanalyse im Bild 1.7 aus.

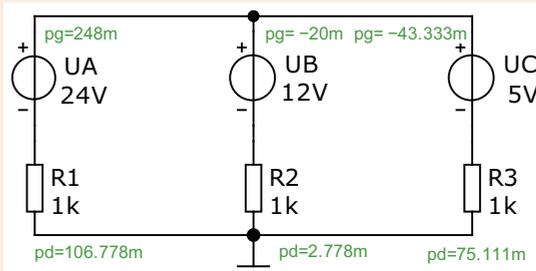


Bild 1.7 Leistungsanalyse zum Lehrbeispiel 1.2

Die Quelle A wirkt als Quelle. Sie gibt eine Leistung $P_A = 248 \text{ mW}$ an die Schaltung ab (+ pg).

Die Quellen B und C wirken als Verbraucher (-pg = + pd).

Sie nehmen Leistung auf: $P_B = -20 \text{ mW}$ und $P_C = -43,3 \text{ mW}$.