

Beim BDF-Verfahren geht man daher nach der Anlaufrechnung mit dem EULER-Verfahren dazu über, eine Kurve höherer Ordnung (z. B. eine Parabel oder eine kubische Parabel) durch mehrere schon berechnete Kurvenpunkte zu legen und damit den nächsten unbekanntem Kurvenpunkt zu berechnen. Dadurch wird die Schrittweite erhöht und die Rechenzeit verringert.

Im Gegensatz zu früher verwendeten Verfahren zur Lösung von Differenzialgleichungssystemen ist das BDF-Verfahren stabil, denn es neigt auch bei ungünstig gewählten Zeitintervallen nicht zu Schwingungen. Dieser Vorteil des Verfahrens hat entscheidend zum Erfolg von SPICE beigetragen.

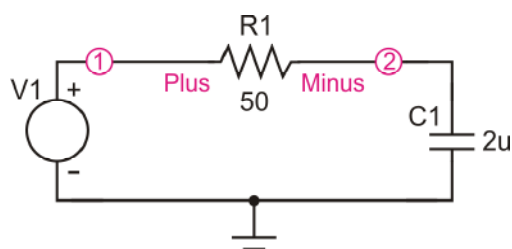
8.2.2 Durchführung der Analyse

Bei der Transientanalyse von Micro-Cap sind sämtliche linearen und nichtlinearen Bauelemente zugelassen (s. Tab. 2.3). Einen Schalter, der zu einem bestimmten Zeitpunkt schließt bzw. öffnet, finden Sie als Bauteil SW in der Rubrik **Special Purpose**. Man kann aber auch in vielen Fällen den Schaltvorgang mithilfe der Quelle **Voltage Source** untersuchen, die als Pulsquelle konfiguriert wird.

Ist die Schaltung gezeichnet, so kann bei einem Kondensator C bzw. bei einer Induktivität L die Anfangsbedingung eingetragen werden. Ist im Fenster **state variable** der Begriff **zero** eingetragen, so wird angenommen, dass die Energiespeicher zum Zeitpunkt $t = 0$ keine Energie enthalten.

Beispiel 8.7

Wir wollen die Ergebnisse des Beispiels 8.1 mit Micro-Cap überprüfen und geben zunächst die Schaltung ein.



Den Widerstand R1 drehen wir so, dass von **Pin Names** links das Plus und rechts das Minus angezeigt wird; der Bezugssinn des Stromes durch R1 ist also von links nach rechts.

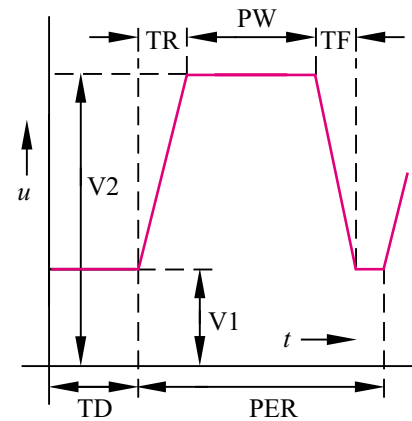


Bild 8.15 Bei der Pulsquelle können folgende Größen eingestellt werden:
 V1: Spannung während der Pausen
 V2: Pulshöhe
 TD: Verzögerungszeit (time delay)
 TR: Anstiegszeit (rise time)
 TF: Fallzeit (fall time)
 PW: Pulsweite (pulse width)
 PER: Periodendauer (period)



Dem Kondensator geben wir den Wert 2u, was 2 μF bedeutet. Bei der Quelle **Voltage Source** tragen wir folgende Werte ein:


Pulse 0 10 10n 10n 10n 0.02 0.03

Dann rufen wir die Analyseart Transient auf und geben zunächst folgende Zeitwerte vor:

Maximum Run Time: 0.4m
Maximum Time Step: 0.01m

Für die gewünschten Kurven tragen wir folgende Werte ein:

P1; **X Expression:** T; **Y Expression:** V(2)
X Range: 0.4m,0,0.1m; **Y Range:** 10,0
P2; **X Expression:** T; **Y Expression:** I(R1)
X Range: 0.4m,0,0.1m; **Y Range:** 0.2,0,0.05

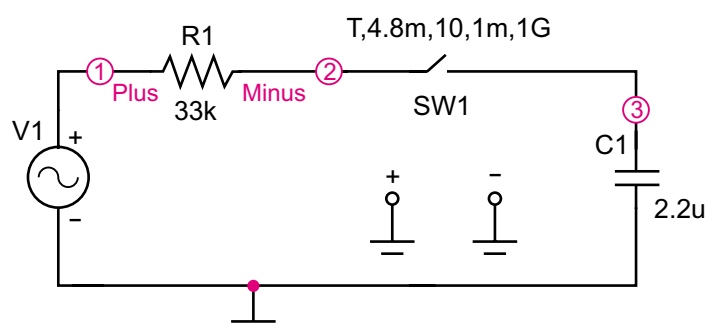
 Schreiben Sie das Einheitenkürzzeichen ohne Zwischenraum an die Zahl, also 0.4m (und nicht 0.4 m), weil Micro-Cap dieses Zeichen sonst nicht akzeptiert.

Nach der Simulation zeigt das Programm Probe das Liniendiagramm der Kondensatorspannung, das wir schon aus dem Beispiel 8.1 kennen.

Ist die Quelle eine Sinusquelle, so hängt das Liniendiagramm des Ergebnisses vom Nullphasenwinkel der Sinusgröße ab. Dabei gibt es Nullphasenwinkel, bei denen der eingeschwungene Zustand vorliegt.

Beispiel 8.8

Wir wollen einen Kondensator 2,2 μF zu unterschiedlichen Zeitpunkten an eine Sinusquelle schalten. Den Widerstand, der den Wert 33 $\text{k}\Omega$ erhalten soll, drehen wir so, dass sein Bezugssinn von der Quelle zum Kondensator zeigt.

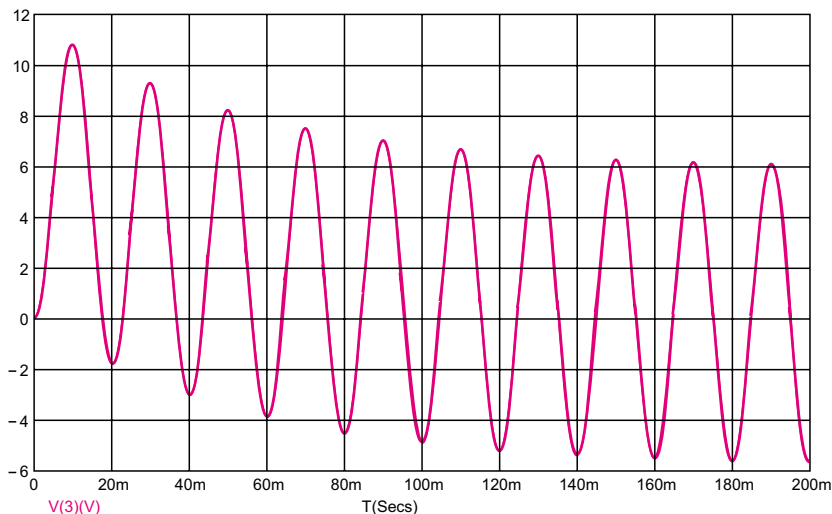


Zunächst klicken wir auf das Schaltzeichen der Quelle und stellen in dem Tableau, das sich danach öffnet, bei der Amplitude A den Wert 141.4 ein; die Quellenspannung hat also den Effektivwert 100 V.

Bei der Frequenz F tragen wir den Wert 50 ein und beim Widerstand RS den Wert 1 Ω .

Nach einem Klick auf das Schaltzeichen des Schalters SW1 tragen wir unter **VALUE** folgende Werte ein: T,-0.2m,10,1m,1G. Der Schalter schließt zum Zeitpunkt $t = -0,2$ ms, also kurz vor dem Nulldurchgang der Sinusspannung, und hat dann den Widerstand 1 m Ω ; zum Zeitpunkt 10 s schließt der Schalter wieder und nimmt den Widerstand 1 G Ω an.

Dann klicken wir im Menü **Analysis** auf **Transient** und stellen dort bei **Maximum Run Time** 0.4 und bei **Maximum Time Step** 0.01m ein. Außerdem tragen wir ein: **P1; X Expression:** T; **Y Expression:** V(3) **X Range:** 0.2,0; **Y Range:** 12,-6,2. Nach einem Klick auf **Run** zeigt uns das Programm **PROBE** das Liniendiagramm der Kondensatorspannung.



Dem stationären Endwert ist eine Ausgleichspannung überlagert, die offensichtlich nach einer e-Funktion abklingt. Wird kurz vor dem Nulldurchgang der Quellenspannung eingeschaltet, so hat die Ausgleichspannung ein Maximum, was sich durch mehrere Vorversuche herausfinden lässt. Wird kurz vor dem Maximum eingeschaltet (T,4.8m,10,1m,1G), so ist die Ausgleichspannung gleich null.

Enthält eine Schaltung mehrere Sinusquellen gleicher Frequenz, aber unterschiedlicher Phasenlage, so könnte man daran denken, die im Abschnitt 6.7 beschriebene Sinusanalyse einzusetzen. Dabei ist es

Zur Kontrolle rechnen wir den stationären Endwert nach und setzen mit der Gl. (6.74) an:

$$\frac{U_C}{U} = \frac{Z_C}{Z_e}$$

Mit $U = 100$ V sowie $Z_C = 1/(\omega C) = 1,447$ k Ω und $Z_e = 33,03$ k Ω ergibt sich $U_C = 4,38$ V; die Amplitude dieser Spannung ist $\hat{u}_C = 6,2$ V.

nicht möglich, einen Nullphasenwinkel einzutragen. Mit der Transientanalyse kann man ein Netz mit mehreren Sinusquellen unterschiedlicher Phasenlage bearbeiten.



Beispiel 8.9

Wir wollen die Ergebnisse des Beispiels 7.6 mit Micro-Cap überprüfen. Dazu rechnen wir für die Frequenz 50 Hz die gegebenen komplexen Widerstände in Reihenschaltungen von Grundeintoren um:

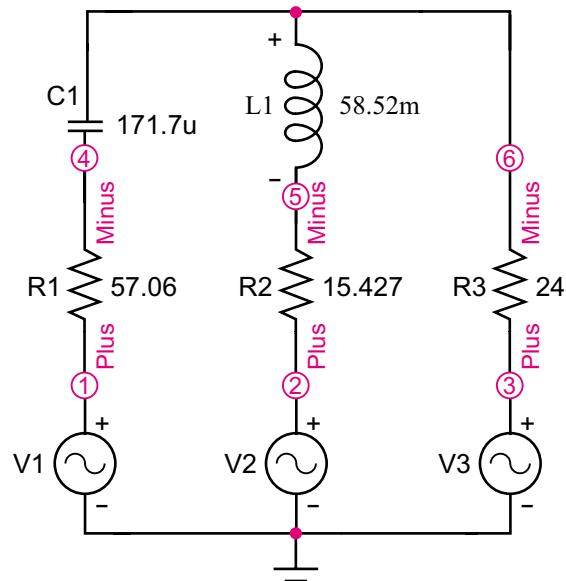
$$\underline{Z}_1 = 60 \Omega / -18^\circ = 57,06 \Omega - j 18,54 \Omega$$


$$R_1 = 57,06 \Omega ; C_1 = 171,7 \mu\text{F}$$

$$\underline{Z}_2 = 24 \Omega / 50^\circ = 15,427 \Omega + j 18,385 \Omega$$

$$R_2 = 15,427 \Omega ; L_2 = 58,52 \text{ mH}$$

Wir zeichnen die Schaltung und ordnen jeder Quelle den Effektivwert 230,9 V und die Frequenz 50 Hz zu. Die Quellen erhalten die Nullphasenwinkel 0° , -120° und 120° , die wir in Radians umrechnen.



 Den gesuchten Größen kann ein Ausgleichvorgang überlagert sein. Es ist daher zweckmäßig, die Ausgabe erst bei einem Wert beginnen zu lassen, bei dem dieser Ausgleichvorgang abgeklungen ist und der stationäre Endwert vorliegt.

Nach der Transientanalyse werden die Ströme gezeichnet und wir stellen die Effektivwerte $I_1 = 6,2 \text{ A}$; $I_2 = 10,4 \text{ A}$ und $I_3 = 6,4 \text{ A}$ fest.

Aufgabe 8.5

Berechnen Sie mit Micro-Cap die Ströme der Aufgabe 6.17.