Flegel/Birnstiel/Nerreter, Elektrotechnik für Maschinenbau und Mechatronik
Carl Hanser Verlag München

15 Steuer- und Regelungstechnik

Aufgabe 15.1
Eine I-Strecke nach Bild 15.20 soll für R = 1 kΩ die Integrationskonstante K_I = 1000 s^{-1} aufweisen. Welche Kapazität C muss der Kondensator haben?
Die I-Strecke wird zum Zeitpunkt t = 0 auf eine Spannungsquelle mit U_q = 5 V geschaltet. Ermitteln Sie die zeitabhängige Spannung am Ausgang. Zu welchem Zeitpunkt ist diese Spannung gleich 8 V?

Aufgabe 15.2
Eine D-Strecke nach Bild 15.21 soll für R = 1 kΩ die Konstante K_D = 1 ms aufweisen. Welche Kapazität C muss der Kondensator haben?
Die D-Strecke wird zum Zeitpunkt t = 0 auf eine Sinusquelle mit U_1 = 10 V geschaltet. Ermitteln Sie die zeitabhängige Spannung am Ausgang. Welchen Scheitelwert hat diese Spannung?

Aufgabe 15.3
Eine Totzeit-Strecke nach Bild 15.22 mit R_1 = 1 kΩ und R_2 = 2 kΩ wird zum Zeitpunkt t = 0 auf eine Spannungsquelle mit U_q = 2 V geschaltet. Ermitteln Sie die zeitabhängige Spannung am Ausgang für die Totzeit T_t = 1ms.

Aufgabe 15.4
Eine P-T_1-Strecke nach Bild 15.23 mit R_1 = 4 kΩ, R_2 = 1 kΩ und C = 2 µF wird zum Zeitpunkt t = 0 auf eine Spannungsquelle mit U_q = 6 V geschaltet. Ermitteln Sie die zeitabhängige Spannung am Ausgang.

Aufgabe 15.5
Die P-T_2-Strecke nach Bild 15.24 wird für K_P = 1 dadurch vereinfacht, dass der Operationsverstärker OV1 weggelassen wird, und zum Zeitpunkt t = 0 auf eine Spannungsquelle mit U_q = −5 V geschaltet.
Der Widerstand R = 20 kΩ und die Kapazität 0,1 µF der Kondensatoren ist vorgegeben. Wählen Sie den Widerstand R_2 so, dass sich der Dämpfungsgrad
a) ϑ = 0,1;
b) ϑ = 0,5;
c) ϑ = 1,0
ergibt.
Welche Widerstände R_2 müssen gewählt werden? Welche Eigenfrequenz und welche Überschwingweite ergeben sich bei ϑ = 0,1?

Aufgabe 15.6
Eine Verzögerungsstrecke 2. Ordnung soll die Überschwingweite $ü$ = 0,3 aufweisen. Auf welchen Wert muss der Dämpfungsgrad ϑ eingestellt werden?

Lösung 15.1
Mit der Gl. (15.16) berechnen wir die Kapazität C:

C = 1 µF

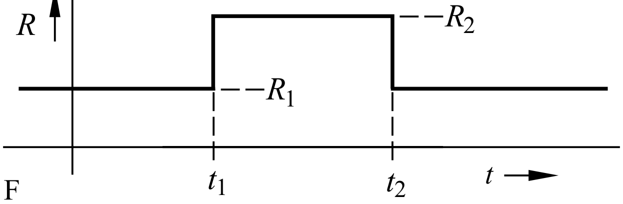
Für $y = U_q = U_1$ = 5 V berechnen wir die Spannung am Ausgang:

$$U_2 = x = K_I \int_0^t U_1 \cdot dt = K_I U_1 t$$

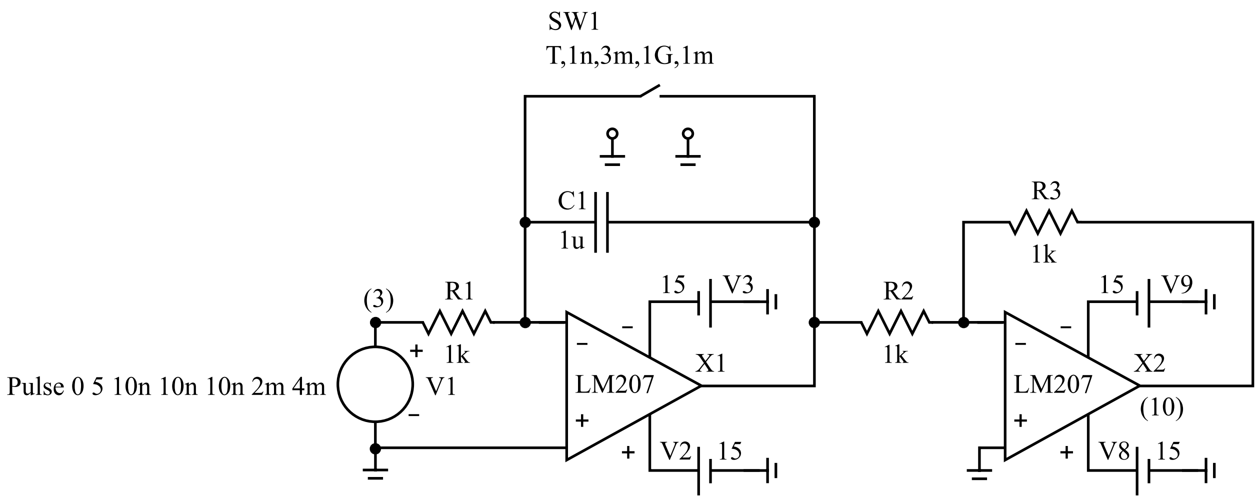
Zum Zeitpunkt t = 1,6 ms ist U_2 = 8 V.

In der Schaltung 15.20 arbeitet der mit dem Kondensator rückgekoppelte Verstärker als Integrierer (s. Abschn. 9.4.5). In Micro-Cap sorgt der Schalter SW1, der zum Zeitpunkt t_1 > 0 ausgeschaltet wird, dafür, dass der füt t < t_1 kurzgeschlossene Kondensator zum Schaltzeitpunkt t_1 keine Ladung enthält.

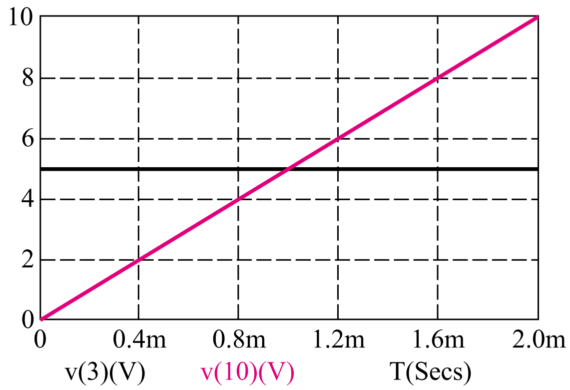
Schalter SW; Syntax: t,t1,t2,R2,R1



F



Wie das Bild 9.17 zeigt, fällt die Spannung am Ausgang des Integrierers linear ab. In der Schaltung 15.20 sorgt der nachgeschaltete OV2 mit dem Spannungs-Übertragungsfaktor $T_u = -1$ dafür, dass seine Ausgangsspannung linear ansteigt.



Lösung 15.2
Mit der Gl. (15.17) berechnen wir die Kapazität C:

$C = K_D / R = 1\ \mu F$

Für $y = u_1 = \hat{u}_1 \cdot \sin \omega t = 14{,}14\ V \cdot \sin \omega t$ berechnen wir mit $\omega = 2\pi f = 314\ s^{-1}$ die Spannung am Ausgang:

$$u_2 = x = K_D \cdot \frac{d u_1}{dt} = K_D\, \omega\, \hat{u}_1 \cdot \cos \omega t$$

Mit $\hat{u}_2 = K_D\, \omega\, \hat{u}_1 = 4{,}443$ V ergibt sich:

$u_2 = 4{,}443\ V \cdot \cos \omega t$

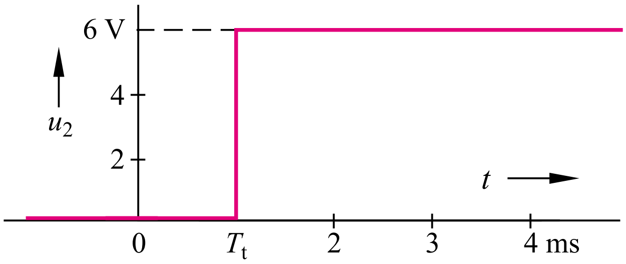
Wir stellen bei der Sinusquelle *Sine Source* die Amplitude 14.14 V und die Frequenz 50 Hz ein. Bei der Analyseart *Transient* wählen wir die maximale Zeit 40m, also 40 ms.

Lösung 15.3
Nach der Totzeit springt die Spannung auf den Wert:

$u_2 = x = K_P\, U_1 = 6$ V

Den Faktor K_P berechnen wir mit der Gl. (9.5):

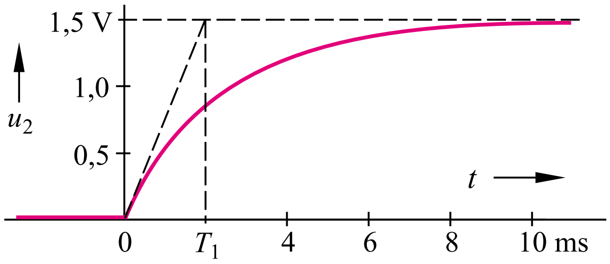
$K_P = 1 + R_2/R_1 = 3$



Lösung 15.4
Zunächst berechnen wir mit den Gln. (15.18) die Zeitkonstante $T_1 = 2$ ms und den Faktor $K_P = 0{,}25$.

Wie das Bild 15.16e) zeigt, verläuft die Spannung $u_2 = x$ exponentiell und nähert sich schließlich dem Wert:

$u_2 = x = K_P\, U_1 = 1{,}5$ V



Lösung 15.5
Wir setzen die Zeitkonstanten aus den Gln. (15.19) in die Gl. (15.5) ein und berechnen
a) für $\vartheta = 0{,}1$ den Widerstand $R_2 = 100$ kΩ;
b) für $\vartheta = 0{,}5$ den Widerstand $R_2 = 20$ kΩ;
c) für $\vartheta = 1{,}0$ den Widerstand $R_2 = 10$ kΩ.

Für $\vartheta = 0{,}1$ und $\vartheta = 0{,}5$ schwingt die Spannung $u_2 = x$ um den stationären Endwert 5 V. Für $\vartheta = 0{,}1$ berechnen wir mit den Gln. (15.9) die Eigenfrequenz:
$f_d = 79{,}18$ Hz

Die Überschwingweite $ü = 0{,}729$ ist für $\vartheta = 0{,}1$ im Text nach der Gl. (15.10) genannt. Wir multiplizieren diesen Faktor mit dem Endwert 5 V und stellen fest, dass die Spannung das Maximum 8,65 V erreicht.

Wie das Bild 15.17 zeigt, entsteht für $\vartheta = 1$ beim aperiodischen Grenzfall keine Schwingung.

Lösung 15.6
Wir setzen den vorgegebenen Wert in die Gl. (15.10) ein und lösen die nichtlineare Gleichung

$$0{,}3 = e^{-\pi\vartheta/\sqrt{1-\vartheta^2}}$$

mit dem Mathematikprogramm MATLAB:

```
clc
syms x xt eqn;
disp(, ,);
eqn=0.3==exp(-pi*xt/sqrt(1-xt*xt));
x=solve(eqn,xt);
y=subs(x(1));
z=subs(x(2));
erg1=double(y);
erg2=double(z);
if erg1>0; theta=erg1; else theta=erg2; end
disp(‚Aufgabe 15.6‘);
disp(, ,);
disp([‚theta = ‚,sprintf(‚ %1.6f ‚,theta)]);
```

Das Programm berechnet: $\vartheta = 0{,}358$.