



# Elektronik II

## 4. Große Übung

G. Kemnitz

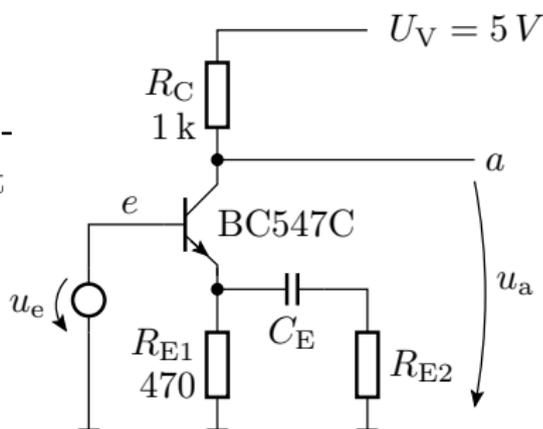
Institut für Informatik, Technische Universität Clausthal  
9. Juni 2015



# Transistorverstärker

## Kennlinie und Arbeitspunkt

- Bestimmung der Übertragungsfunktion ohne  $C_E$  und  $R_{E2}$  mit »DC sweep«. Festlegung des Arbeitspunkts durch den Gleichanteil von  $u_e$  so, dass der AC-Anteil der Ausgangsspannung eine Amplitude von mindestens 1 V haben darf.
- Bestimmen Sie die Spannungsverstärkung mit »DC Transfer«.





## »Transient«-Simulation, Fourieranalyse, Klirrfaktor

- Kontrolle des Ergebnis aus der vorherigen Aufgabe mit einer »Transient«-Simulation mit einem 1 kHz-Sinussignal am Eingang. Gleichanteil sei die Eingangsspannung im Arbeitspunkt aus der Aufgabe zuvor, Amplitude die angestrebte Ausgangsspannung von 1 V geteilt durch die Spannungsverstärkung.
- Ergänzung von  $C_E = 100 \mu\text{F}$  und  $R_{E2} = 390 \Omega$ . Verringerung der Amplitude von  $u_e$  so, dass der AC-Anteil der Ausgangsspannung wieder 1 V beträgt.
- Um welchen Faktor erhöht sich die Verstärkung? Lässt sich die neue Verstärkung auch mit »DC Transfer« bestimmen?
- Bestimmen Sie mit »four 1kHz 10 V(a)« die Amplitude der Grundwelle und der 9 ersten Oberwellen des Ausgangssignals sowie den Klirrfaktor.



## AC-Simulation

- Bestimmen Sie die Verstärkung noch einmal mit einer »AC Analysis«.
- Bestimmen Sie die erforderlichen Werte für  $R_{E2}$  für die Verstärkungen -3 und -10 (Bei der AC-Simulation ist die Step-Funktion nutzbar).
- Bestimmen Sie mit Simulationsart die obere und untere Grenzfrequenz für beide Verstärkungen. Kontrollieren Sie, ob »Verstärkung mal Bandbreite gleich konstant« gilt.
- Legen Sie  $C_E$  so fest, dass die unter Übergangsfrequenz 10 Hz beträgt.



## AC-Strom- und AC-Spannungsverstärkung

- Lassen Sie sich für die AC-Simulation zuvor zusätzlich die komplexe Stromverstärkung

$$\underline{\beta} = \frac{\underline{I}_C}{\underline{I}_B}$$

anzeigen.

- Lesen Sie die obere Übergangs- und die obere Grenzfrequenz der Stromverstärkung ab. In welchem Verhältnis stehen die oberen Übergangsfrequenzen der Spannungsverstärkung zu denen der Stromverstärkung?
- Schalten Sie zur Eingangsspannungsquelle einen Generatorwiderstand von  $1\text{ k}\Omega$  in Reihe und bestimmen Sie noch einmal für die geänderten Schaltungen für beide Verstärkungen die oberen Übergangsfrequenzen.



# Tschebyscheff-Tiefpass



### Aufgabe

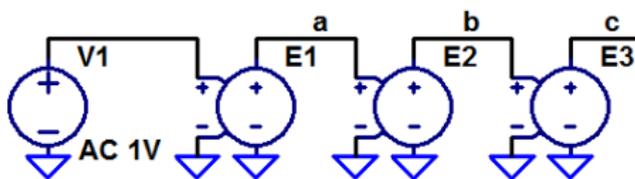
Ein Tschebyscheff-Tiefpass 6 Ordnung mit 1 dB Restwelligkeit hat nach<sup>1</sup> die Filterkoeffizienten  $a_1 = 3,8437$ ,  $b_1 = 8,5529$ ,  $a_2 = 0,6092$ ,  $b_2 = 1,9124$ ,  $a_3 = 0,1296$ ,  $b_3 = 1,0766$ .

- Stellen Sie die Laplace-Transformierte für einen Filter mit der Übergangsfrequenz 10 kHz auf und simulieren Sie den Filter mit einer E-Quelle.
- Entwerfen Sie eine funktionsgleiche Filterschaltung mit drei RLC-Gliedern und zwei Trennverstärkern.
- Entwerfen Sie eine funktionsgleiche Filterschaltung mit 3 beschalteten Operationsverstärkern.
- Monte-Carlo-Simulation mit 1% Bauteilparameterstreuung.

---

<sup>1</sup>[http://wwwex.physik.uni-ulm.de/lehre/physikalischeelektronik/phys\\_elektr/phys\\_elektrap6.html](http://wwwex.physik.uni-ulm.de/lehre/physikalischeelektronik/phys_elektr/phys_elektrap6.html)

## Simulation als Kette von Filtern 2. Ordnung

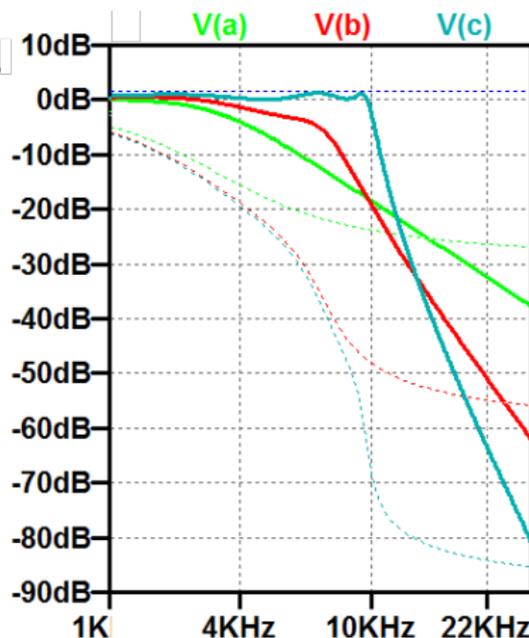


$$\text{Laplace} = 1/(1+\{a1\}*s+\{b1\}*(s^2))$$

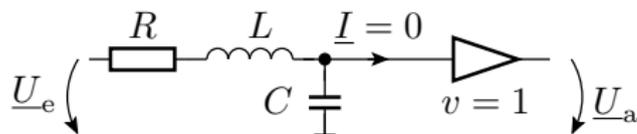
$$\text{Laplace} = 1/(1+\{a3\}*s+\{b3\}*(s^2))$$

$$\text{Laplace} = 1/(1+\{a2\}*s+\{b2\}*(s^2))$$

```
.param om0 2*pi*10kHz
.param a1 = 3.8437/{om0}
.param b1 =8.5529/{om0}/{om0}
.param a2 = 0.6092/{om0}
.param b2 =1.9124/{om0}/{om0}
.param a3 = 0.1296/{om0}
.param b3 =1.0766/{om0}/{om0}
.ac oct 50 1kHz 30kHz
```



### Filterschaltung mit drei RLC-Gliedern



$$\frac{1}{1 + j\omega RC - \omega^2 LC} = \frac{1}{1 + a_i \cdot \frac{j\omega}{2\pi f_0} + b_i \cdot \left(\frac{j\omega}{2\pi f_0}\right)^2}$$

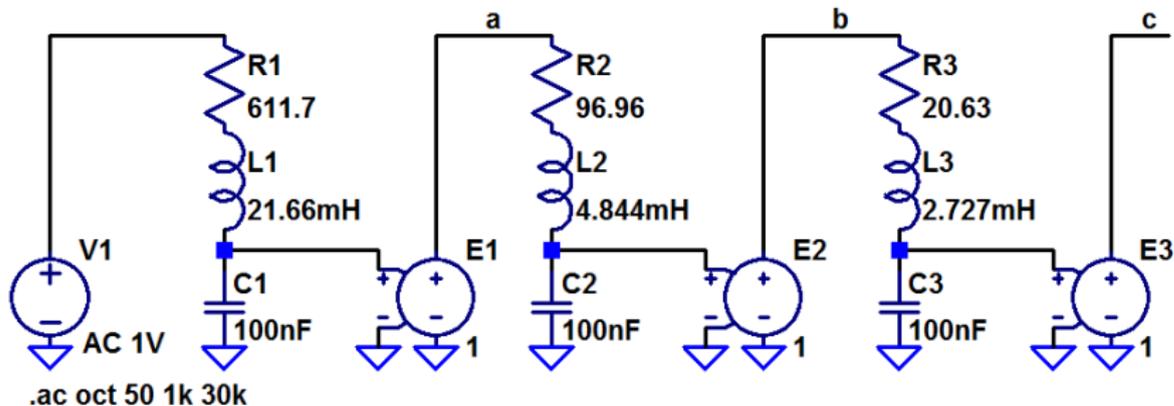
$$R = \frac{a_i}{2\pi f_0 \cdot C}; \quad L = \frac{b_i}{C \cdot (2\pi f_0)^2}$$

Für  $f_0 = 10 \text{ kHz}$ ,  $C = 100 \text{ nF}$ :

	$a_i$	$b_i$	$C_i$	$R_i$	$L_i$
Stufe 1	3,8437	8,5529	100 nF	611,7 $\Omega$	21,66 mH
Stufe 2	0,6092	1,9124	100 nF	96,96 $\Omega$	4,844 mH
Stufe 3	0,1296	1,0766	100 nF	20,63 $\Omega$	2,727 mH

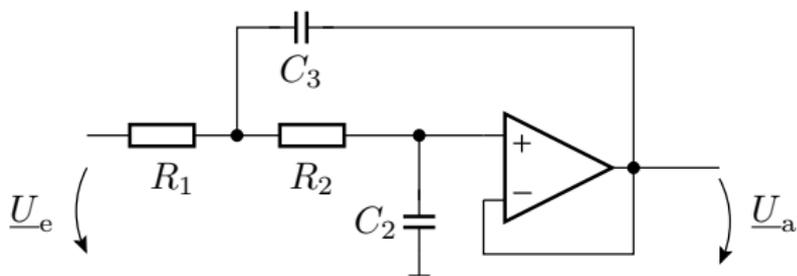
## 2. Tschebyscheff-Tiefpass

	$a_i$	$b_i$	$C_i$	$R_i$	$L_i$
Stufe 1	3,8437	8,5529	100 nF	611,7 $\Omega$	21,66 mH
Stufe 2	0,6092	1,9124	100 nF	96,96 $\Omega$	4,844 mH
Stufe 3	0,1296	1,0766	100 nF	20,63 $\Omega$	2,727 mH



- Frequenzgang identisch mit Simulation der Laplace-Transformierten.

### Filterschaltung mit drei Op-Amp



$$\frac{U_a}{U_e} = \frac{1}{1 + j\omega \cdot C_2 \cdot (R_1 + R_2) - \omega^2 \cdot R_1 \cdot R_2 \cdot C_2 \cdot C_3} = \frac{1}{1 + a_i \cdot s_n + b_i \cdot s_n^2}$$

$$C_2 \cdot (R_1 + R_2) = \frac{a_i}{2\pi f_0}; \quad R_1 \cdot R_2 \cdot C_2 \cdot C_3 = \frac{b_i}{(2\pi f_0)^2}$$

Vorgabe:  $R_1 = R_2 = 10 \text{ k}\Omega$



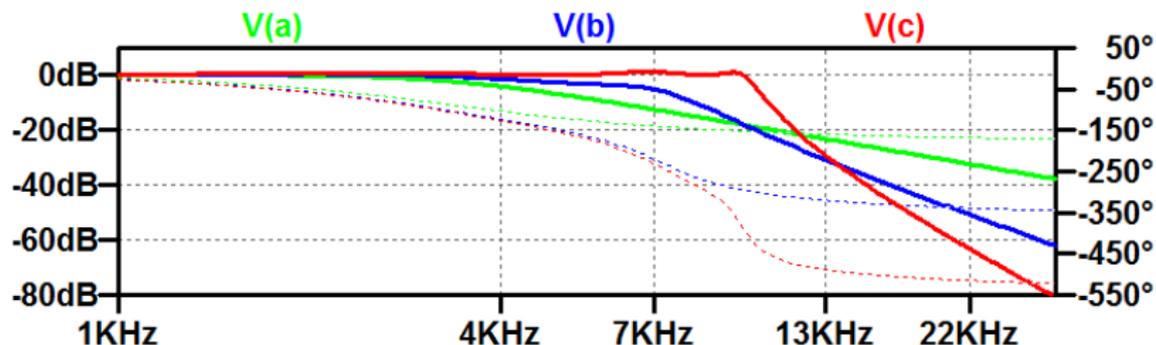
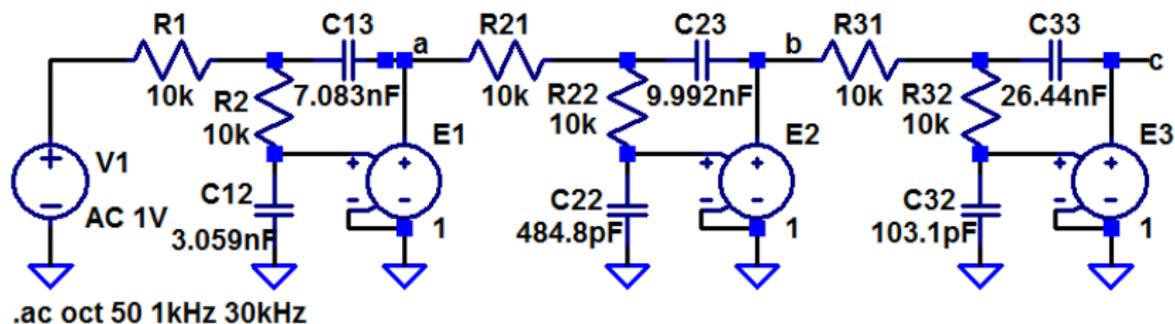
### Berechnung der Parameter

```
a = [3.8437 0.6092 0.1296];  
b = [8.5529 1.9124 1.0766];  
R1=1E4; R2=1E4; f0=1E4;  
for i=1:3  
    C2(i) = a(i)/((R1+R2)*2*pi*f0);  
    C3(i) = b(i)/(R1*R2*C2(i)*(2*pi*f0)^2);  
end
```

	$a_i$	$b_i$	$R_1 = R_2$	$C_{2,i}$	$C_{3,i}$
Stufe 1	3,8437	8,5529	10 k	3,059 nF	7,083 pF
Stufe 2	0,6092	1,9124	10 k	96,96 $\Omega$	4,844 mH
Stufe 3	0,1296	1,0766	10 k	20,63 $\Omega$	2,727 mH



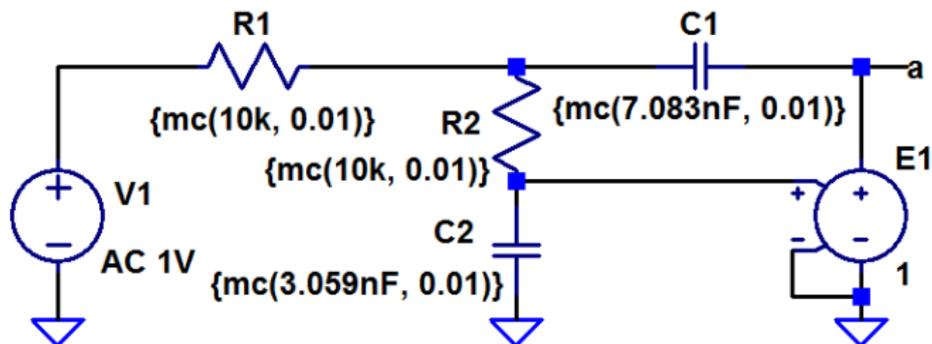
## 2. Tschebyscheff-Tiefpass





## 2. Tschebyscheff-Tiefpass

### Simulation mit 1% Bauteiltoleranzen



```
.ac oct 50 1kHz 30kHz  
.step param run 1 100 1
```

