



# Elektrotechnische Grundlagen der Informatik (LU 182.692)

## Protokoll der 3. Laborübung: „Operationsverstärker“ a) LTSPICE-Simulationen

Gruppennr.: 10

Datum der Laborübung: 01.06.2017

Matr. Nr.	Kennzahl	Name
1609418	033 535	GEISELBRECHTINGER Max
1625753	033 535	HAAR Martin

Kontrolle	✓
Nichtinvertierender OPV	
OPV und Grenzfrequenz	
Invertierender OPV	
Integrierer	
Schmitt-Trigger	

# 1 Nichtinvertierender Verstärker

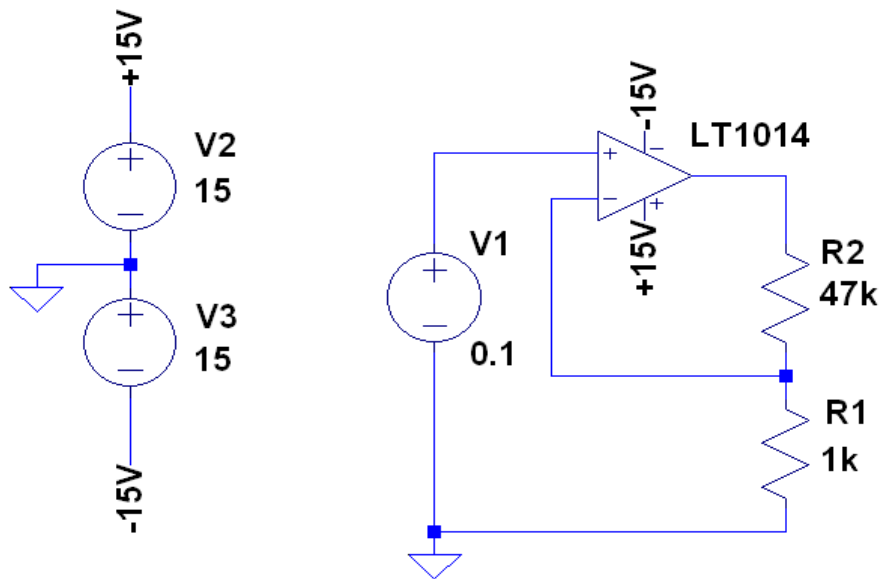


Abbildung 1: Operationsverstärker beschaltet

Die Widerstände wurden im  $k\Omega$ -Bereich gewählt, um die den Messfehler der Messgeräte möglichst gering zu halten. Die Verstärkung des Operationsverstärker setzt sich aus dem Verhältniss der beiden Widerstände zusammen,  $V_u = 1 + \frac{47k\Omega}{1k\Omega} = 48$ , daraus ergeben sich folgende Messwerte.

$U_e$	0,1V
$U_a$	4,79V
$U_{R1}$	0,1V
$U_{in+}$	0,1V
$U_{in-}$	0,99V
$I_{R1}$	0,1mA
$I_{R2}$	0,1mA
$I_{in+}$	0mA
$I_{in-}$	0mA

Abbildung 2: Simulierte Daten

Die Messdaten der Simulation zeigen die zuvor berechnete 48fache Verstärkung der Ausgangsspannung, sowie nahezu keinen Potentialunterschied zwischen den Steuereingängen. Daher ist auch die Spannung die am Widerstand  $R_1$  abfällt gleich der Eingangsspannung. Die Ströme an den Eingängen des Operationsverstärkers sind gleich 0mA, da er sehr hohen Innenwiderstände besitzt. Dadurch fließt auch über beide Widerstände der gleiche Strom.

Dies erlaubt es, die Ausgangsspannung über die Spannungsteilerregel zu berechnen.

$$\frac{U_a}{U_e} = \frac{R_1 + R_2}{R_1}$$
$$U_a = U_e \left( 1 + \frac{R_2}{R_1} \right)$$

## 1.1 Frequenzverhalten

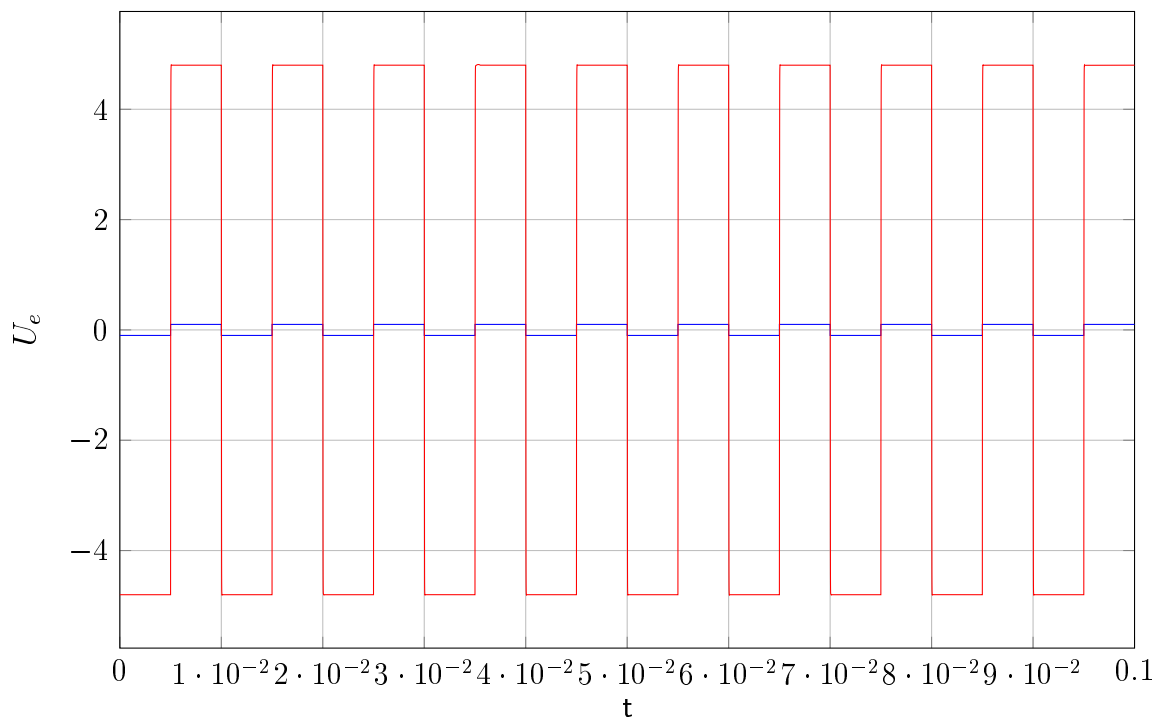


Abbildung 3: symmetrisches Rechtecksignal,  $V_{PP} = 0.2 \text{ V}$ ,  $f = 100 \text{ Hz}$

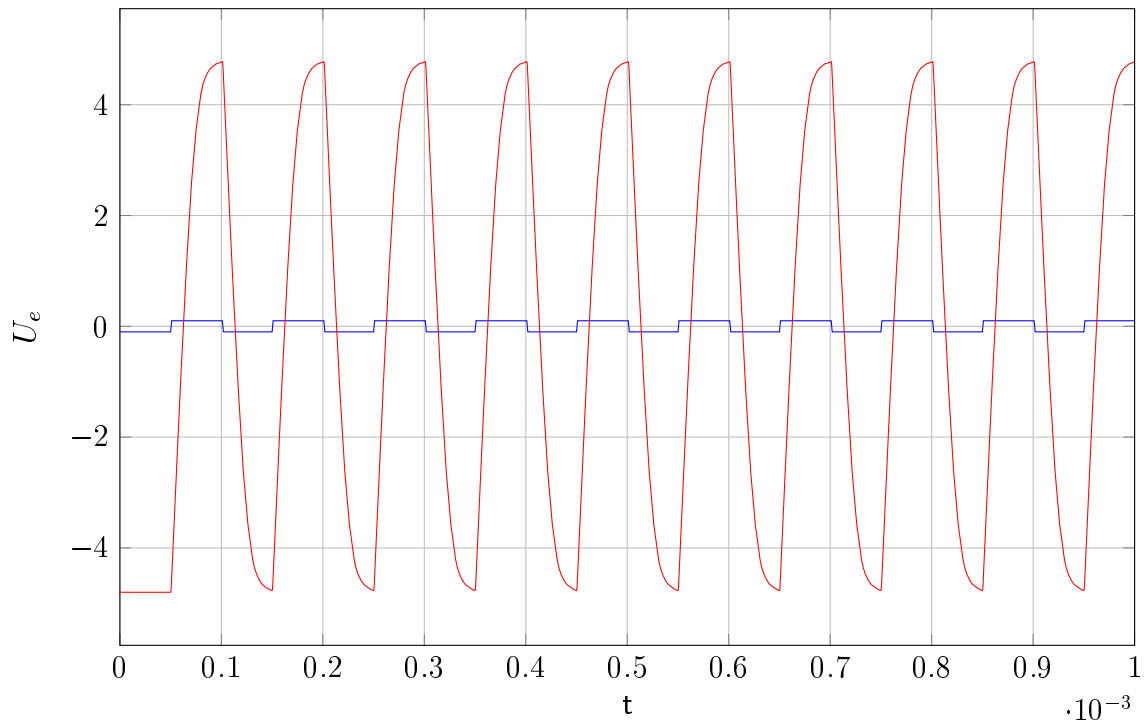


Abbildung 4: symmetrisches Rechtecksignal,  $V_{PP} = 0.2V$ ,  $f = 10kHz$

Der Operationsverstärker besitzt auf Grund seiner Bauweise ein Tiefpassfilter-Verhalten 1.Ordnung. Dies führt dazu, dass die Verstärkung ab einer Grenzfrequenz, von ca.  $1kHz$ , mit  $20db/DEK$  abnimmt. Bei einer Transitfrequenz von ca.  $10MHz$  ist keine Verstärkung mehr vorhanden.

Dies kann man gut an den beiden Simulationen erkennen. In der zweiten Simulation kann man erkennen, wie der interne Kondensator bei hohen Frequenzen das Signal beeinflusst.

## 2 Invertierender Verstärker

### 2.1 Simulationsschaltung

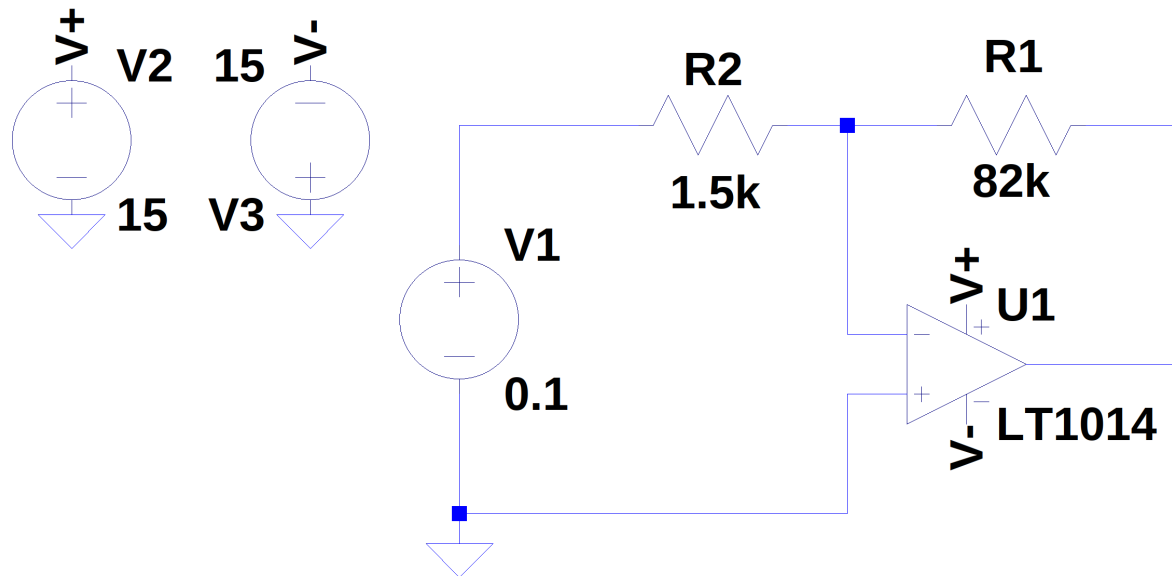


Abbildung 5: Simulationsschaltung

Da es sich bei dieser Schaltung um einen invertierenden Verstärker handelt, wird die Eingangsspannung am invertierenden Eingang des OPV geschaltet. Der Ausgang wird ebenfalls auf den invertierenden Eingang gegengekoppelt, um eine brauchbare Verstärkung einstellen zu können. Ein idealer OPV ohne Gegenkopplung würde die Differenzspannung zwischen invertierendem und nicht-invertierendem Eingang  $\infty$  verstärken. Die Verstärkung wird mit den beiden Widerständen  $R_1$  und  $R_2$  eingestellt. Die beiden Spannungsquellen  $V_2$  und  $V_3$  stellen die symmetrische Versorgungsspannung von  $-15V$  bis  $+15V$  dar.

$$\frac{U_a}{U_e} = \frac{R_1}{R_2} \Rightarrow U_a = U_e * \frac{R_2}{R_1} \Rightarrow V = \frac{R_2}{R_1}$$

Da sich die Verstärkung  $V$  laut Angabe zwischen  $-40$  und  $-60$  befinden soll, wurden für die Widerstände folgende Werte gewählt:

$$R_1 = 82k\Omega$$

$$R_2 = 1,5k\Omega$$

### 3 Integrierer

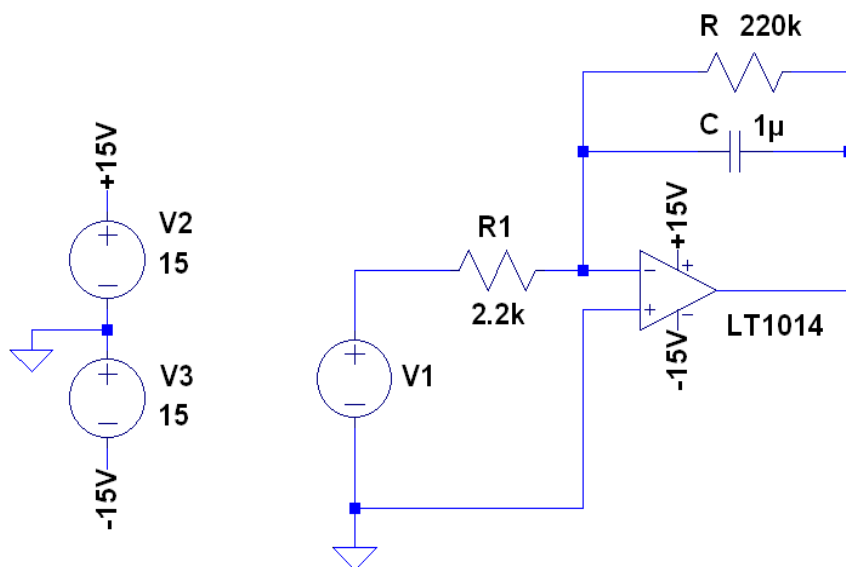


Abbildung 6: Operationsverstärker als Integrator beschaltet

In dieser Beschaltung gibt die Ausgangsspannung das Integral der Eingangsspannung über die Zeit an. Der Widerstand  $R$  dient nur zur Stabilisation der Schaltung und wird daher vernachlässigt, er sollte jedoch wesentlich größer als  $R_1$  gewählt werden.

#### 3.1 Übertragungsfunktion

Der invertierende Integrierer ist vom Aufbau ähnlich dem invertierenden Verstärker, jedoch wird die Ausgangsspannung hier durch die Spannung am Kondensator beschrieben.

$$U_C = \frac{1}{C} \int i_c(t) dt$$

$$i_c = I_{R1}$$

$$U_C = \frac{1}{RC} \int U_e(t) dt$$

$$U_a = -U_C$$

Aus dieser Berechnung ergibt sich für das Eingangssignal, in Form einer Rechteckspannung mit fallender Flanke, eine Dreiecksspannung mit steigender Flanke.

$$RC = 2,2ms$$

$$U_e(t) = \begin{cases} -\frac{1}{10} & 0 \leq t < 100ms \\ \frac{1}{10} & 100ms < t \leq 200ms \end{cases} \quad U_a(t) = \begin{cases} \frac{t}{22} & 0 \leq t < 100ms \\ -\frac{t}{22} & 100ms < t \leq 200ms \end{cases}$$

Dieses Ergebnis kann man, nach dem Einschwingvorgang, auch in der Simulation beobachten.

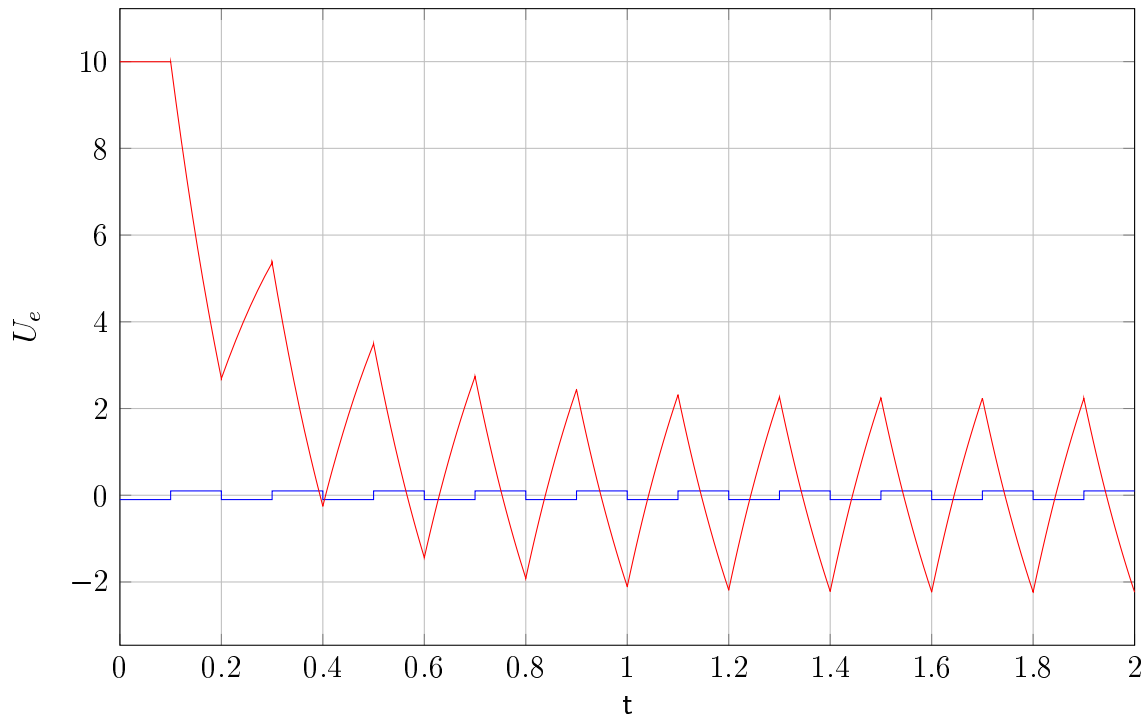


Abbildung 7:  $U_e$  symmetrisches Rechtecksignal,  $V_{PP} = 0.2V$ ,  $f = 5Hz$

## 3.2 Bode-Diagramm

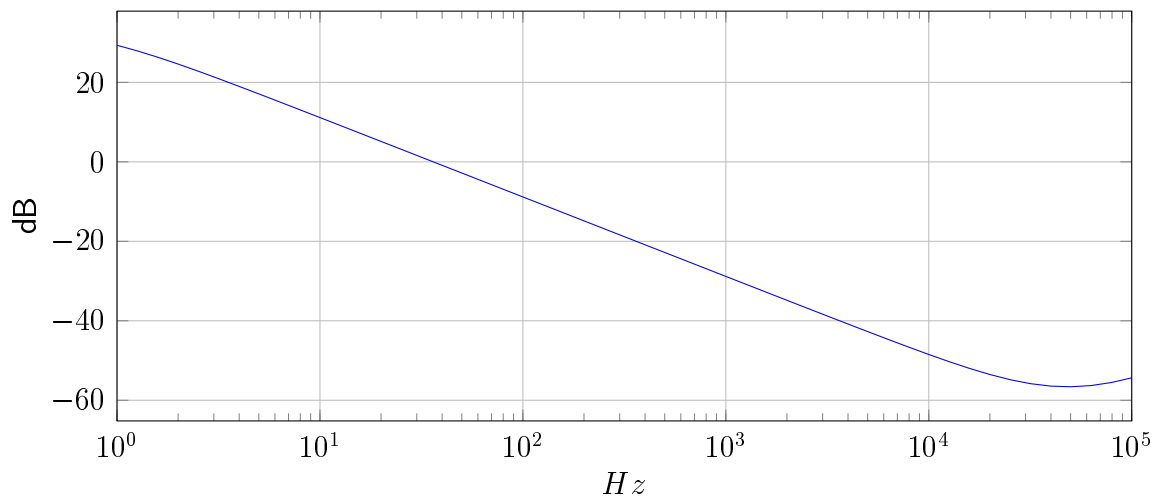


Abbildung 8: Frequenzgang

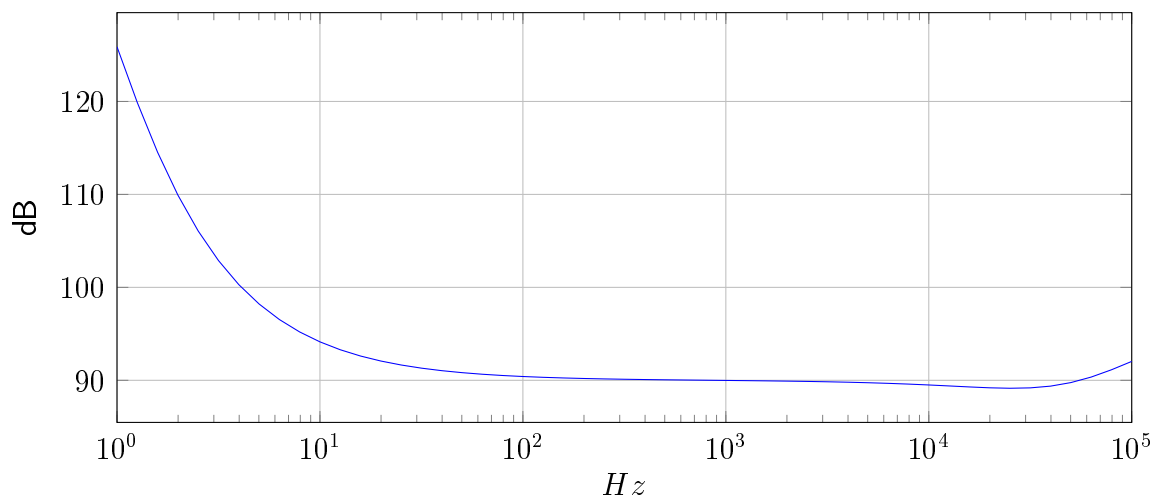


Abbildung 9: Phasengang

Das Bode-Diagramm zeigt die Abnahme der Verstärkung bei steigender Frequenz, mit  $20\text{dB/DEK}$ . Die Transitfrequenz liegt bei dieser OPV-Schaltung bei ca.  $30\text{Hz}$ , danach wirkt er dämpfend.

## 4 Invertierender Schmitt-Trigger



