



TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
WIEN  
Vienna University of Technology

# Elektrotechnische Grundlagen der Informatik (LU 182.692)

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

Gruppennr.: 22

Datum der Laborübung: 01.06.2017

Matr. Nr.	Kennzahl	Name
1614835	033 535	Jan Nausner
1633068	033 535	David Pernerstorfer

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

# Contents

1	Nichtinvertierender Verstärker	3
2	Invertierender Verstärker	4
3	Integrierer	4
4	Invertierender Schmitt-Trigger	7

# 1 Nichtinvertierender Verstärker

## 1.1 Aufgabenstellung

Das Verhalten eines OPV als nichtinvertierender Verstärker soll mittels LTSpice simuliert werden.

## 1.2 Schaltplan

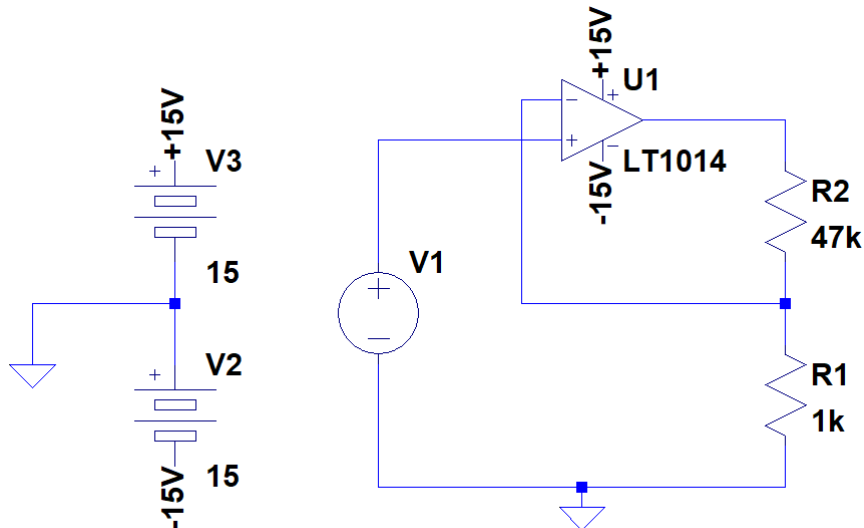


Figure 1: Nichtinvertierender Verstärker

## 1.3 Durchführung

Die Schaltung eines OPV als nichtinvertierender Verstärker wurde mit LTSpice aufgebaut. Die Spannungsverstärkung wird mit  $V_u = 1 + \frac{R_2}{R_1}$  berechnet und soll zwischen 40 und 60 liegen. Das bedeutet  $R_2$  muss etwa 40 bis 60 mal größer dimensioniert werden als  $R_1$ . Gewählt wurden die Widerstände  $R_1 = 1k\Omega$  und  $R_2 = 47k\Omega$ . Nun wurde das Verhalten des Systems mit einer DC Eingangsspannung bzw. mit 2 verschiedenen Rechteckspannungen (siehe Angabe) simuliert und diverse Messungen durchgeführt (siehe Ergebnis & Diskussion).

## 1.4 Ergebnis & Diskussion

In Abbildung 2 sind die Spannungen des positiven ( $U_p$ ) und negativen ( $U_n$ ) Einganges des OPV zu sehen.  $U_p$  entspricht klarerweise der Eingangsspannung  $U_e$ . Da zwischen den beiden Eingängen

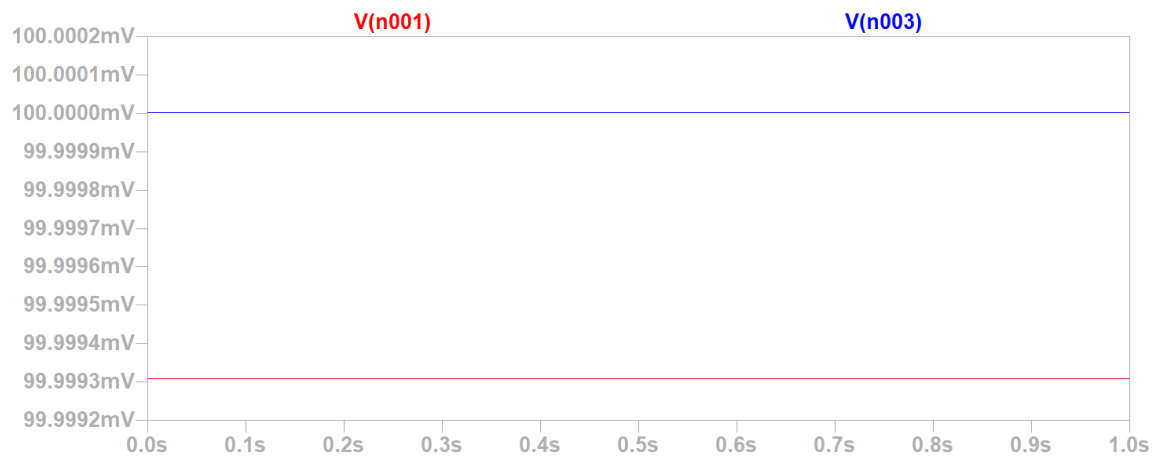


Figure 2: Nichtinvertierender Verstärker; Blau:  $U_p$ ; Rot:  $U_n$

## 2 Invertierender Verstärker

### 2.1 Aufgabenstellung

### 2.2 Schaltplan

### 2.3 Durchführung

### 2.4 Ergebnis & Diskussion

## 3 Integrierer

### 3.1 Aufgabenstellung

Das Verhalten eines Integrierers soll im Zeit- und Frequenzbereich simuliert werden.

## 3.2 Schaltplan

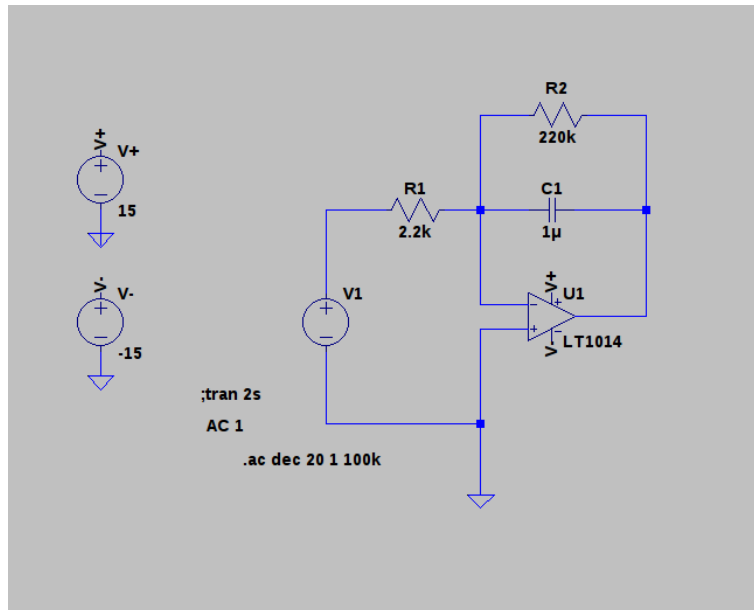


Figure 3: Integrierer

## 3.3 Durchführung

Die Schaltung wurde gemäß Angabe zusammengefügt. Die Versorgungsspannung des OPV (LT1014) beträgt  $\pm 15V$ . Um das Verhalten im Zeitbereich zu simulieren, wurde eine Rechteckspannung mit  $f = 5Hz$ ,  $A = \pm 0,1V$ ,  $V_{initial} = -0,1V$  angelegt. Das Zeitverhalten wurde im Bereich von 0 bis  $2s$  aufgezeichnet. Zur Simulation des Frequenzverhaltens wurde eine Sinusspannung mit  $1V_{pp}$  angelegt und das Bode-Diagramm von  $1Hz - 100kHz$  aufgezeichnet.

### 3.4 Ergebnis & Diskussion

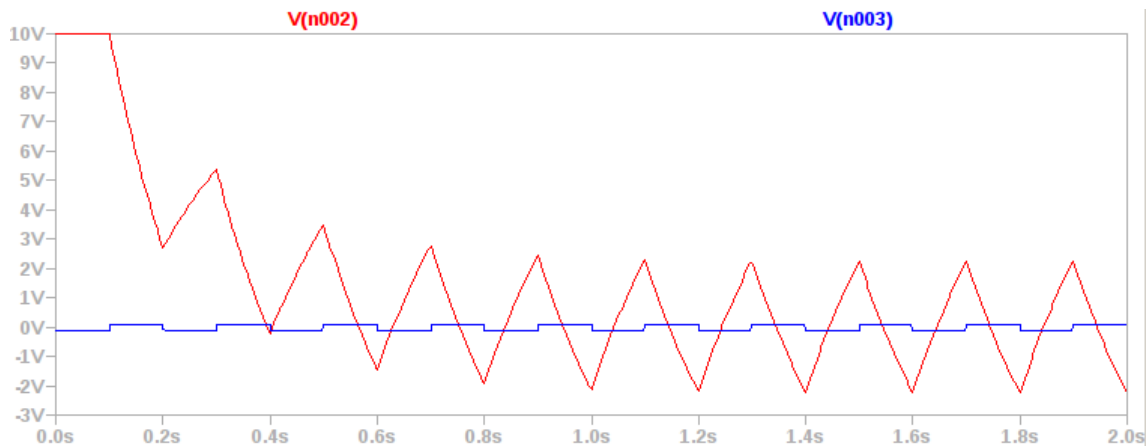


Figure 4: Zeitverhalten (rot ... Ausgangsspannung, blau ... Eingangsspannung)

Im Bereich von 0 bis 1s ist ein Einschwingvorgang zu erkennen, welcher auf das  $RC$ -Glied zurückzuführen ist. Da die Differenz der beiden OPV-Eingänge zu Beginn  $-0,1V$  beträgt, übersteuert der OPV, die Differenz schlägt auf  $0,1V$  um und der OPV versucht zu untersteuern, dann pendelt sich das Signal ein. Im eingeschwungenen Zustand wird das anliegende Rechtecksignal gemäß der Übertragungsfunktion

$$U_a = -\frac{1}{RC} \int U_e dt$$

zu einem Dreieckssignal mit

$$U_e < 0 : U_a = \frac{t}{10 \cdot RC} \approx 45,5 \cdot t, U_e > 0 : U_a = -\frac{t}{10 \cdot RC} \approx -45,5 \cdot t$$

integriert. TODO: Anfangsbedingung,  $V_{pp}$ !!!

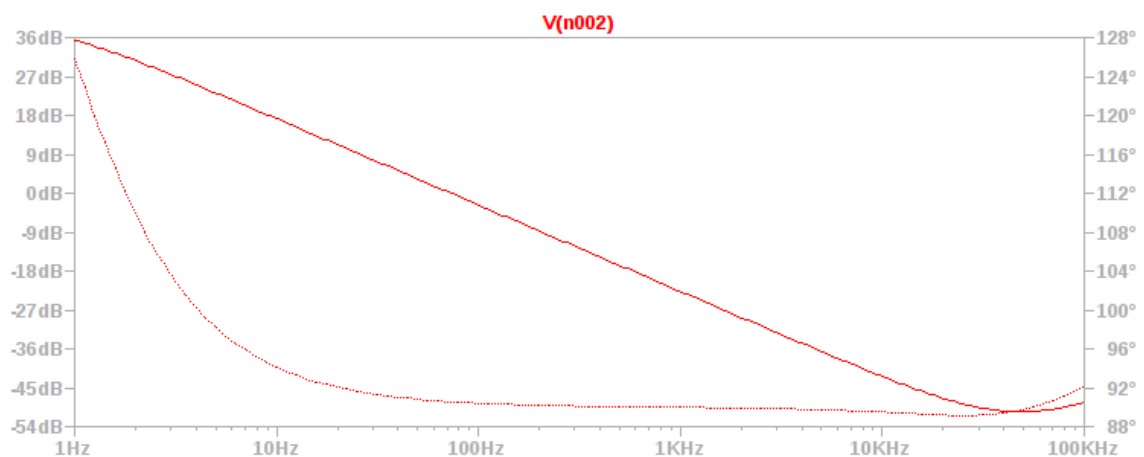


Figure 5: Bode-Diagramm

Am Frequenzverhalten kann man erkennen, dass das System bis zur Grenzfrequenz des  $RC$ -Glieds ( $f_g = \frac{1}{2\pi RC} \approx 72Hz$ ) verstärkend wirkt und danach zu Dämpfen beginnt. Die Filtersteilheit beträgt  $-20dB/Dekade$ . Die Phase dreht zuerst sehr stark, dann immer schwächer von  $126^\circ$  auf  $90^\circ$ . Im Bereich über  $40kHz$  beginnt die Phasenverschiebung wieder zu steigen und die Dämpfung wird schwächer.

TODO: grober Unfug?

## 4 Invertierender Schmitt-Trigger

### 4.1 Aufgabenstellung

Das Verhalten eines invertierenden Schmitt-Triggers soll im Zeitbereich simuliert werden.

### 4.2 Schaltplan

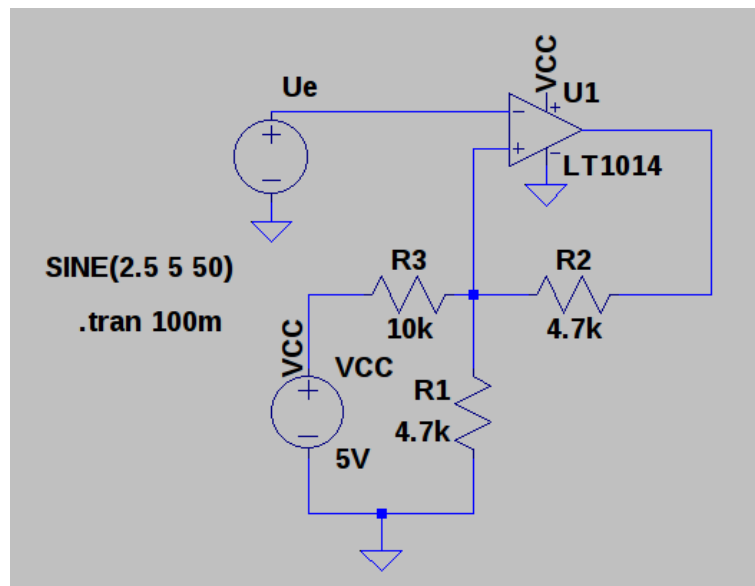


Figure 6: Invertierender Schmitt-Trigger

### 4.3 Durchführung

Die Schaltung wurde gemäß Angabe zusammengefügt. Die Versorgungsspannung des OPV (LT1014) beträgt  $V_+ = 5V, V_- = 0V$ . Zuerst wurde die Aus- und Eingangsspannung, sowie die Spannung am positiven Eingang des OPV im Bereich von 0 bis  $100ms$  mit einem Sinus-Eingangssignal ( $DC_{offset} = 2,5V, V_{pp} = 5V, f = 50Hz$ ) simuliert. Dann wurde das Zeitverhalten mit einem Dreieckssignal ( $V_{on} = 5V, V_{off} = 0V, f = 5MHz$ ) von 0 bis  $1\mu s$  simuliert.

## 4.4 Ergebnis & Diskussion

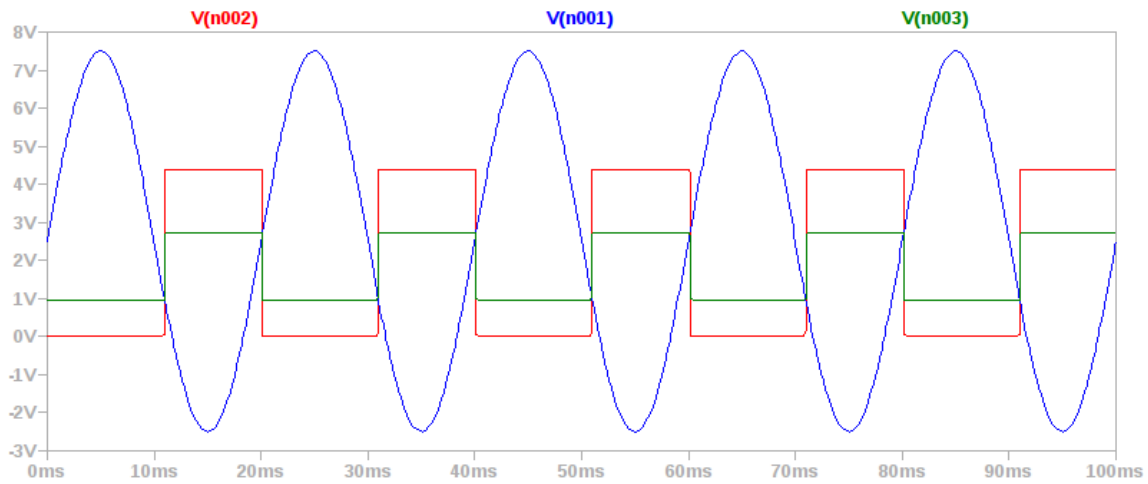


Figure 7: Zeitverhalten bei Sinussignal (rot ... Ausgangsspannung, blau ... Eingangsspannung, grün ... Spannung am positiven OPV Eingang)

Berechnung der Spannung am positiven OPV Eingang mittels Superpositionsprinzip:

- $U_{low} = 0,029V$  (abgelesen):  
 $U_a$  kurzgeschlossen:  

$$U_{p1} = U_{VCC} \frac{R_{12}}{R_{12}+R_3} = U_{VCC} \frac{\frac{R_1 R_2}{R_1+R_2}}{\frac{R_1 R_2}{R_1+R_2}+R_3} = 5V \frac{2,35k\Omega}{2,35k\Omega+10k\Omega} \approx 0,95V$$
 $U_{VCC}$  kurzgeschlossen:  

$$U_{p2} = U_{low} \frac{R_{13}}{R_{13}+R_2} = U_{low} \frac{\frac{R_1 R_3}{R_1+R_3}}{\frac{R_1 R_3}{R_1+R_3}+R_2} = 0,029V \frac{3,19k\Omega}{3,19k\Omega+4,7k\Omega} \approx 0,01V$$

$$U_p = U_{p1} + U_{p2} \approx 0,96V$$
- $U_{high} = 4,39V$  (abgelesen):  
 $U_a$  kurzgeschlossen:  

$$U_{p1} = U_{VCC} \frac{R_{12}}{R_{12}+R_3} = U_{VCC} \frac{\frac{R_1 R_2}{R_1+R_2}}{\frac{R_1 R_2}{R_1+R_2}+R_3} = 5V \frac{2,35k\Omega}{2,35k\Omega+10k\Omega} \approx 0,95V$$
 $U_{VCC}$  kurzgeschlossen:  

$$U_{p2} = U_{high} \frac{R_{13}}{R_{13}+R_2} = U_{high} \frac{\frac{R_1 R_3}{R_1+R_3}}{\frac{R_1 R_3}{R_1+R_3}+R_2} = 4,39V \frac{3,19k\Omega}{3,19k\Omega+4,7k\Omega} \approx 1,78V$$

$$U_p = U_{p1} + U_{p2} \approx 2,73V$$

Die Spannung am positiven Eingang des OPV bestimmt (wie auch im Diagramm ersichtlich), wann getriggert wird. Das heißt, wenn das Sinussignal am Eingang unter  $0,95V$  fällt, liefert der OPV am Ausgang  $U_{high}$ , wenn das Eingangssignal  $2,73V$  übersteigt, liegt am Ausgang  $U_{low}$  an. Somit wandelt der Schmitt-Trigger das Sinussignal in ein invertiertes Rechtecksignal um.



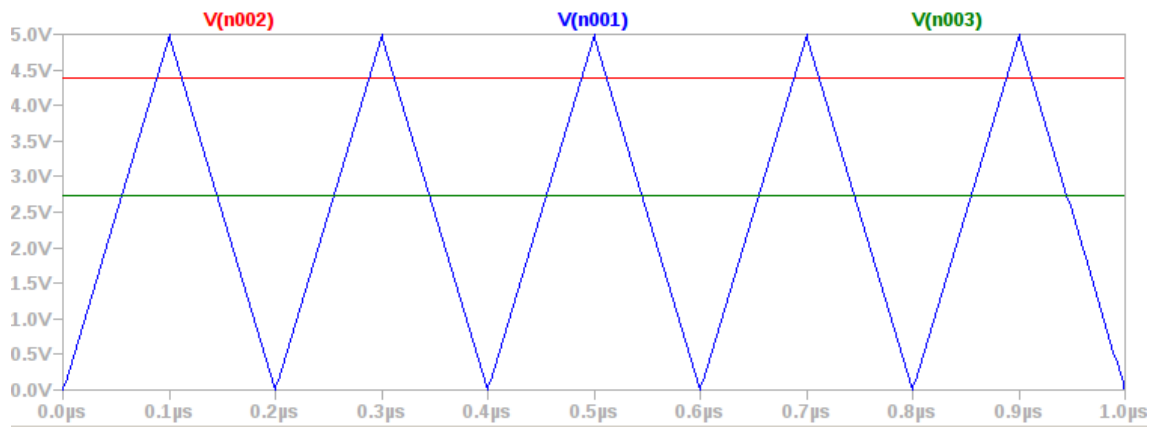


Figure 8: Zeitverhalten bei  $5\text{MHz}$  Dreieckssignal (rot ... Ausgangsspannung, blau ... Eingangsspannung, grün ... Spannung am positiven OPV Eingang)

Durch die hohe Frequenz des Eingangssignals wird der verwendete OPV an seine Grenzen getrieben und kann nicht mehr schnell genug schalten. Das gewünschte Schmitt-Trigger-Verhalten ist nicht mehr zu erkennen.

