

Übung Nr. 7

Inhaltsverzeichnis

7.1	Aktive Filterung von elektronischem Rauschen (*,2P)	1
7.2	Multivibratoren mit OPV	4
7.3	Spannungs-Frequenz-Umsetzer	4
7.4	Idealer Halbwellendetektor	5
7.5	Idealer Vollwellengleichrichter	6
7.6	Entdämpfen von Schwingkreisen mit NIC (S)	6
7.7	LC-Schwingkreis mit Gyrator	7

7.1 Aktive Filterung von elektronischem Rauschen (*,2P)

Für diesen Versuch wird Ihnen eine Rauschquelle in Form eines (rauschenden) Operationsverstärkers mit anschließender Verstärkerstufe zur Verfügung gestellt. Bitte beachten Sie, daß für den ersten Versuchsteil die HAMEG Oszilloskope mangels Fast-Fourier-Transformation nicht verwendet werden können!

Teil 1: Eigenschaften der Rauschquelle Vermessen Sie das von der Quelle gelieferte Rauschen. Wie hoch sind der DC Offsetpegel und der Spitze-zu-Spitze-Rauschpegel?

Analysieren Sie das von der Fast-Fourier-Transformation gelieferte Rauschspektrum mit und ohne Quelle. In welchem Frequenzbereich sehen Sie weißes Rauschen?

Teil 2: RC-Tiefpass Dimensionieren Sie einen einfachen RC-Tiefpass, Abb. 1, für eine Grenzfrequenz von $f_g = 50$ kHz nach Formel 1. Benutzen Sie den Funktionsgenerator zur Einspeisung von Rechteckschwingungen der Frequenz $f_s = 1$ kHz an u_e mit geeigneter Amplitude im Vergleich zum Rauschgenerator aus dem vorherigen Teil.

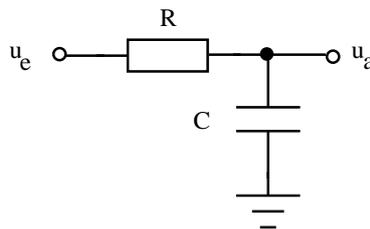


Abbildung 1: Einfacher passiver RC-Tiefpass

$$RC = \frac{1}{2\pi f_g} \quad (1)$$

Vergleichen Sie nun Eingangs- und Ausgangssignal des Tiefpasses. Werden die reinen Rechtecksignale korrekt durchgelassen?

Messen Sie außerdem die Verstärkung bei 1 kHz, 10 kHz, 50 kHz und einigen weiteren hohen Frequenzen mit Sinus-signalen. Wie groß ist der Signalverlust pro Dekade?

Gehen Sie wieder zurück zu Rechteckssignalen mit $f_s = 1$ kHz und schließen Sie nun zusätzlich den Rauschgenerator an den Eingang. Welche Amplitude hat das Rauschen im Vergleich zum Signal vor und nach dem RC-Filter?

Teil 3: Tiefpass 2. Ordnung Abbildung 2 zeigt einen aktiven Tiefpass zweiter Ordnung in Mitkopplung (Sallen-Key-Schaltung). Hierbei wurden schon vereinfachend $R_1 = R_2 = R$ und $C_1 = C_2 = C$ gesetzt. In diesem Fall wird der Filtertyp durch die Verstärkung k nach Gl. 2 unabhängig von der Grenzfrequenz f_g bestimmt. Die Verstärkung $k = 3$ führt zu selbständigen Schwingungen mit der Frequenz $1/(2\pi RC)$ und ist zu vermeiden.

$$k = 3 - \frac{a_1}{\sqrt{b_1}} \quad (2)$$

$$RC = \frac{\sqrt{b_1}}{2\pi f_g} \quad (3)$$

$$R_4 = (k - 1)R_3 \quad (4)$$

In Tabelle 1 finden Sie die Koeffizienten a_1 , b_1 für die gegebenen Filter 2. Ordnung und die daraus resultierende Verstärkung k . Dimensionieren Sie mit Hilfe der Gleichungen 3-4 zwei Filter Ihrer Wahl für eine Grenzfrequenz von $f_g = 50$ kHz. Können Sie die vorherbestimmte Verstärkung k bei niedriger Frequenz reproduzieren? Vergleichen Sie jeweils die Eingangs- und Ausgangssignale bei $f_s = 1$ kHz mit Rauschgenerator. Wie groß ist das Signal-zu-Rauschverhältnis vor und nach dem Filter? Bestimmen Sie für einen der beiden Filter den Signalverlust pro Dekade ab $f_s \geq 50$ kHz.

Filtertyp	a_1	b_1	f_g/kHz	k	C/nF	$R/\text{k}\Omega$	$R_3/\text{k}\Omega$	$R_4/\text{k}\Omega$
Kritisch	1.2872	0.4142	50	1.0000				
Bessel	1.3617	0.6180	50	1.2678				
Butterworth	1.4142	1.0000	50	1.5858				
Tschebyscheff, 1dB	1.3022	1.5515	50	1.9546				
Tschebyscheff, 3dB	1.0650	1.9305	50	2.2335				

Tabelle 1: Aktiver Tiefpass 2. Ordnung in Mitkopplung (Sallen-Key-Schaltung)

Teil 4: Bandpass Abbildung 3 stellt einen aktiven Bandpass mit Mehrfachgegenkopplung dar. Die Resonanzfrequenz f_r , die Verstärkung auf der Resonanz k_r und die Güte Q lassen sich frei wählen und sind in den Gleichungen 5-7 gegeben.

$$f_r = \frac{1}{2\pi C} \sqrt{\frac{R_1 + R_3}{R_1 R_2 R_3}} \quad (5)$$

$$k_r = -\frac{R_2}{2R_1} \quad (6)$$

$$Q = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{R_2(R_1 + R_3)}{R_1 R_3}} = \pi R_2 C f_r \quad (7)$$

Die Bandbreite $B = f_r/Q$ dieser Schaltung ergibt sich dann zu

$$B = \frac{1}{\pi R_2 C} \quad (8)$$

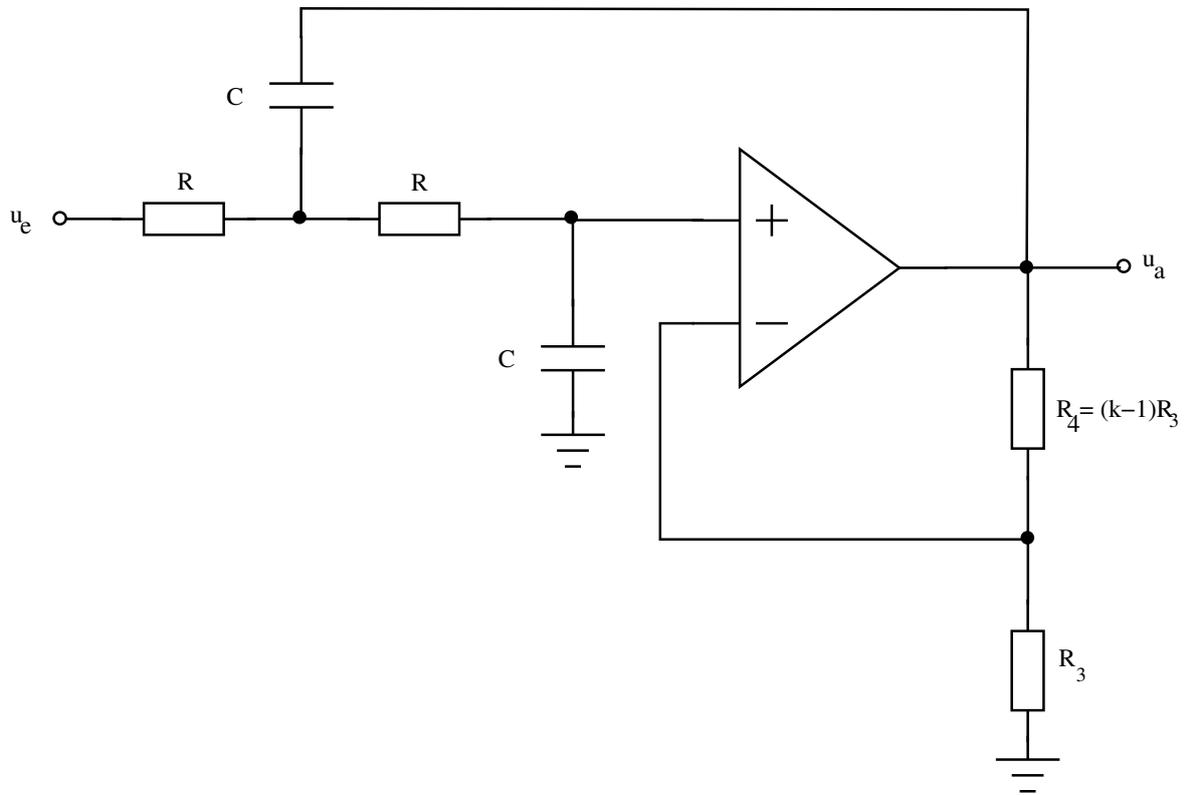


Abbildung 2: Aktiver Tiefpass 2. Ordnung in Mitkopplung (Sallen-Key-Schaltung)

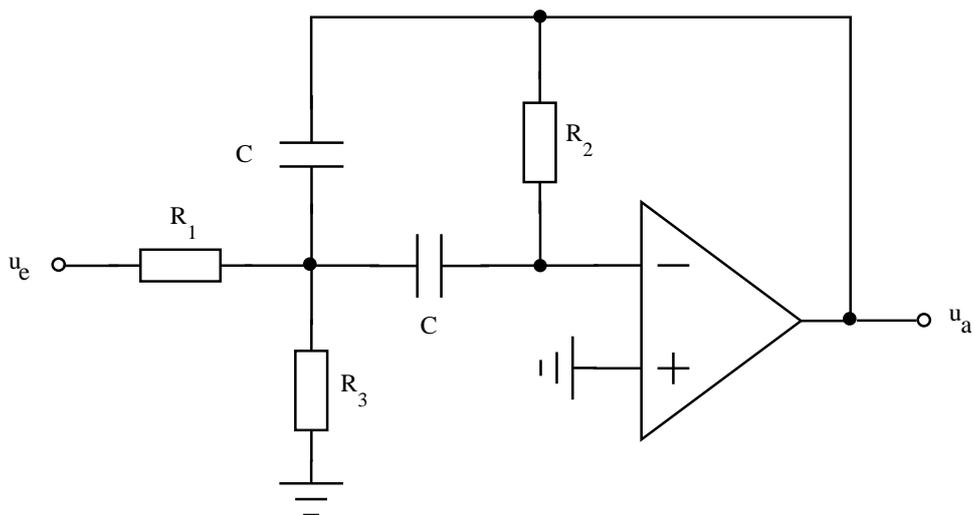


Abbildung 3: Aktiver Bandpass mit Mehrfachgegenkopplung

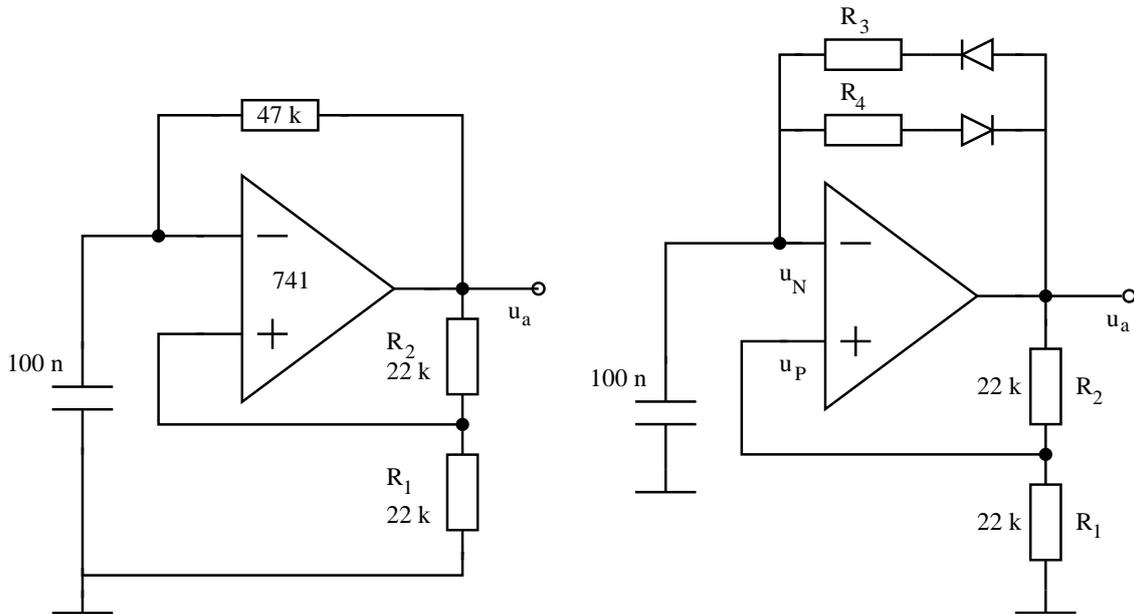


Abbildung 4: a) 100 Hz-Generator, b) Multivibrator mit OPV

Dimensionieren Sie einen Bandpass für Sinusschwingungen geeigneter Frequenz f_s und Amplitude $U_s = 1V$ und zeigen Sie, daß hierdurch das Signal aus einem verrauschten Eingangssignal herausgefiltert werden kann. Bedenken Sie, daß bei Ihrer Dimensionierung die Bandbreite weder zu klein (schwierig einzustellen) noch zu groß (keine Dämpfung) ausfallen darf.

Indem Sie für R_3 ein Potentiometer verwenden, können Sie die Filterresonanzfrequenz variieren, ohne die Verstärkung oder Bandbreite zu verändern. Bitte beachten Sie dabei, daß die Differenzverstärkung des verwendeten Operationsverstärkers (741: $\approx 10^5$) groß gegenüber $2Q^2$ sein muß.

7.2 Multivibratoren mit OPV

Teil 1: An dem Multivibrator gemäß Abb. 4b) ($R_3 = 47\text{ k}\Omega + 100\text{ k}\Omega$ -Potentiometer, $R_4 = 680\text{ }\Omega + 10\text{ k}\Omega$ -Potentiometer) können mit R_3 und R_4 die Zeitintervalle T_1 und T_2 kontinuierlich verändert werden (s.Gl. 9):

$$T_{1,2} = R_{3,4}C \ln \left(1 + 2 \frac{R_1}{R_2} \right) \quad (9)$$

Hier ist $T_{1,2} = R_{3,4} \cdot 100\text{ nF} \cdot \ln 3$.

Teil 2: Modifiziert man die Schaltung gemäß Abb. 4a, so erhält man einen 100 Hz-Generator nach Gl. 9 mit

$$T_1 = T_2 = 47\text{ k}\Omega \cdot 100\text{ nF} \cdot \ln 3 \quad (10)$$

Teil 3: Ermitteln sie die „slew rate“ $SR = du_a/dt$ aus den Übergängen von u_a zwischen $+U_S$ und $-U_S$.

7.3 Spannungs-Frequenz-Umsetzer

Der Spannungs-Frequenz-Umsetzer gemäß Abb. 5 ist folgendermaßen zu dimensionieren: $R_1 = 33\text{ k}\Omega$, $R_2 = 680\text{ }\Omega$, $R_3 = 10\text{ k}\Omega$, $R_4 = 100\text{ k}\Omega$, $C = 100\text{ nF}$. Die Eingangsspannung u_e ist von einem $10\text{ k}\Omega$ -Potentiometer zwischen 15 V und Masse abzugreifen.

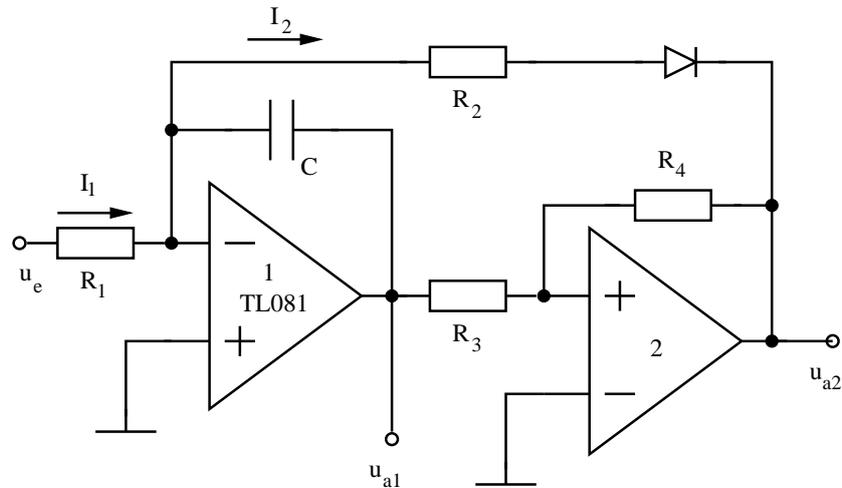


Abbildung 5: Schaltung zum Rampengenerator (Ausgang u_{a1}) und Spannungs-Frequenz-Umsetzer (Ausgang u_{a2}).

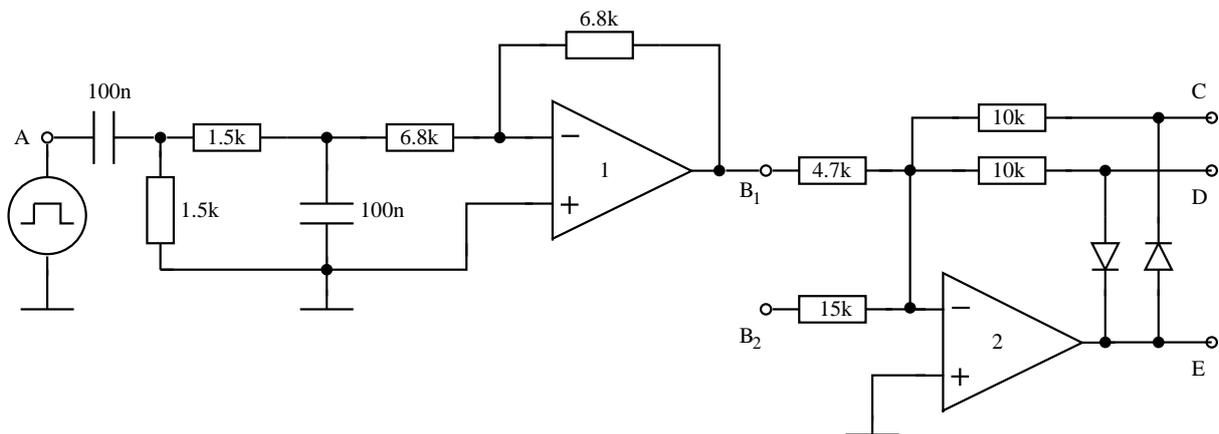


Abbildung 6: Impulsgenerator mit CR-RC-Formung und addierender Halbwellendetektor (OPV 2)

Finden sie Gl. 11 bestätigt?

$$f = \frac{1}{2R_1C} \frac{R_4}{R_3} \left(1 - \frac{R_2 U_e}{R_1 U_S} \right) \frac{U_e}{U_S} \quad (11)$$

7.4 Idealer Halbwellendetektor

Der Generator nach Abb. 6 erzeugt aus dem Rechtecksignal des Frequenzgenerators (volle Amplitude, $f = 100 \text{ Hz}$) positive und negative Impulse am Eingang B1 des addierenden Halbwellendetektors (OPV2).

Teil 1: Am Ausgang C erscheinen nur positive, am Ausgang D nur negative Impulse. An E beobachtet man die invertierten Eingangsimpulse des OPV mit einer durch den Spannungsabfall an den Dioden bedingten Überhöhung.

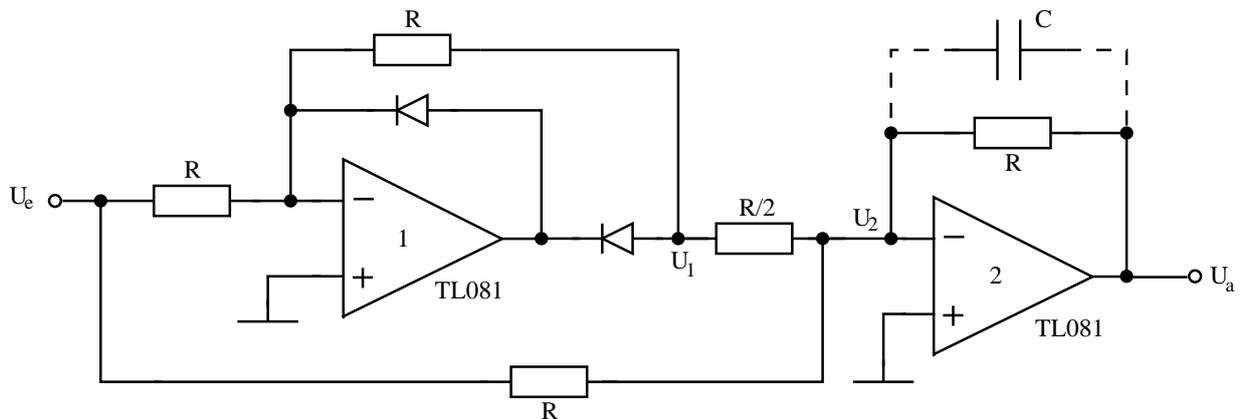


Abbildung 7: Vollwellengleichrichter. Mit Kondensator C kann die Ausgangsspannung geglättet werden

Teil 2: Legt man B2 auf ein konstantes negatives Potential $-U_2$ (z.B. über ein Potentiometer zwischen -15 V und Masse), so wird auf den Ausgang D nur der Teil der positiven Eingangsimpulse übertragen, der U_2 übersteigt (Verstärker mit Nullpunktsunterdrückung oder „biased amplifier“).

7.5 Idealer Vollwellengleichrichter

Die Schaltung gemäß Abb. 7 ist mit $R = 10\text{ k}\Omega$ ($R/2 = 4,7\text{ k}\Omega + 1\text{ k}\Omega$ (variabel)) in Betrieb zu nehmen.

Teil 1: Zunächst ist die Schaltung an $R/2$ so abzugleichen, daß beide Halbwellen mit gleicher Amplitude übertragen werden.

Teil 2: Vergleichen Sie die minimale Amplitude bei der die Gleichrichtung noch einwandfrei arbeitet mit der Knickspannung einer Si-Diode (etwa $0,6\text{ V}$).

Teil 3: Wird OPV2 um den Kondensator $C = 20\text{ }\mu\text{F}$ ergänzt, ergibt sich eine Glättung der Ausgangsspannung um den Effektivwert der Spannung. Diese Schaltung kann dadurch als Meßgleichrichter für Wechselspannungen eingesetzt werden. Bestätigen Sie für alle 3 Signalformen (Rechteck, Dreieck, Sinus), daß tatsächlich der Effektivwert ausgegeben wird.

7.6 Entdämpfen von Schwingkreisen mit NIC (S)

Ungedämpfte Schwingkreise zeigen insbesondere durch Verluste in der Induktivität eine Dämpfung, die durch einen negativen Widerstand (mit einem Widerstand beschalteter NIC) kompensiert werden kann. Die Kompensation erfolgt parallel zur Spule, also nicht in Serie. Als Komponenten der Schwingkreise verwende man $L = 10\text{ mH}$ und $C = 10\text{ nF}$.

Die Parallelschaltung in Abb. 8 von L und C wird über einen Schalter S (angesteuert durch den Funktionsgenerator mit 100 Hz) und einen $2,2\text{ k}\Omega$ Widerstand mit $+15\text{ V}$ verbunden. Nach dem periodischen Öffnen von S beobachtet man am Schwingkreis eine mit der Zeitkonstante τ abklingende Schwingung. Man schalte einen Widerstand R_1 parallel zu dem Schwingkreis, der so zu wählen ist, daß τ halbiert wird. Man dimensioniere die Schaltung so, daß die negative Impedanz

$$Z_e = -R \frac{R_P}{R_N} = -R_1 \quad (12)$$

wird, und schließe sie parallel zum Schwingkreis an. Mit beispielsweise $R = 220\text{ k}\Omega$, $R_P = 1\text{ k}\Omega$ (variabel) und $R_N = 2,2\text{ k}\Omega$ kann an R_P die Dämpfung eingestellt werden. Bei zu starker Entdämpfung schwingt der Kreis ohne Fremderregung (Sinusgenerator).

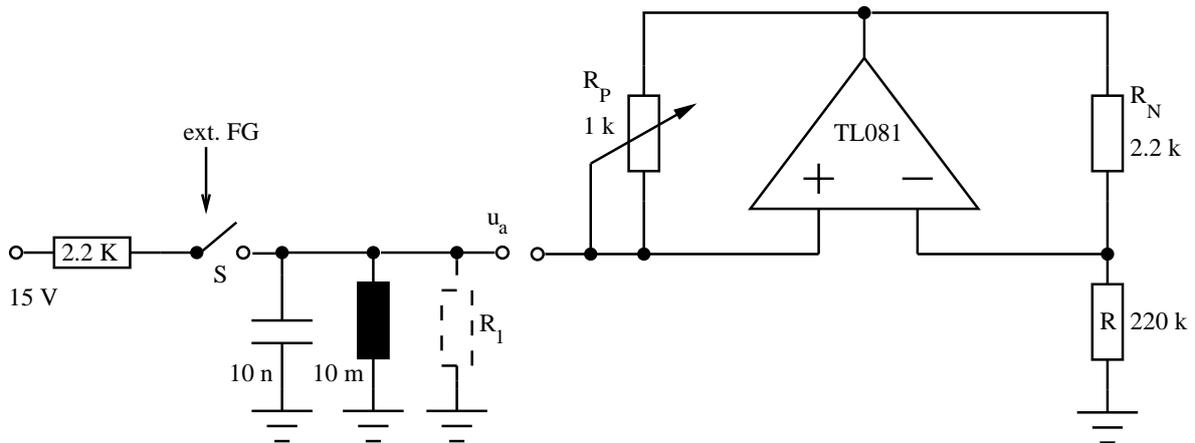


Abbildung 8: Mit NIC entdämpfter Parallelschwingkreis

7.7 LC-Schwingkreis mit Gyrator

Die Schaltung gemäß Abb. 9a ist aufzubauen. C_1 und der Gyrator, beschaltet mit C an der 4. Position repräsentiert einen LC-Schwingkreis (siehe auch Abb. 9b) und c)). Die Gyratorinduktivität nach Gl. 13 ist $L_G = R_5 C \cdot 10 \text{ k}\Omega$.

$$L_G = C \frac{R_1 R_3 R_5}{R_2} \quad (13)$$

Teil 1: C_1 ist kurz auf 15V aufzuladen und die freie Schwingung an C_1 zu beobachten. Erhöht man die Eigenfrequenz ω_e durch verkleinern der Kapazitäten C_1 und C, so kann während des Abklingens der Schwingung ω_e an R_5 variiert werden.

Teil 2: Die Schwingungsdauer ist zu messen und mit 14 zu vergleichen, auch für andere Kapazitäten C_1 und C. Durch Messen des Widerstandes R_5 ist L_G berechenbar.

$$T = 2\pi \sqrt{L_G C_1} \quad (14)$$

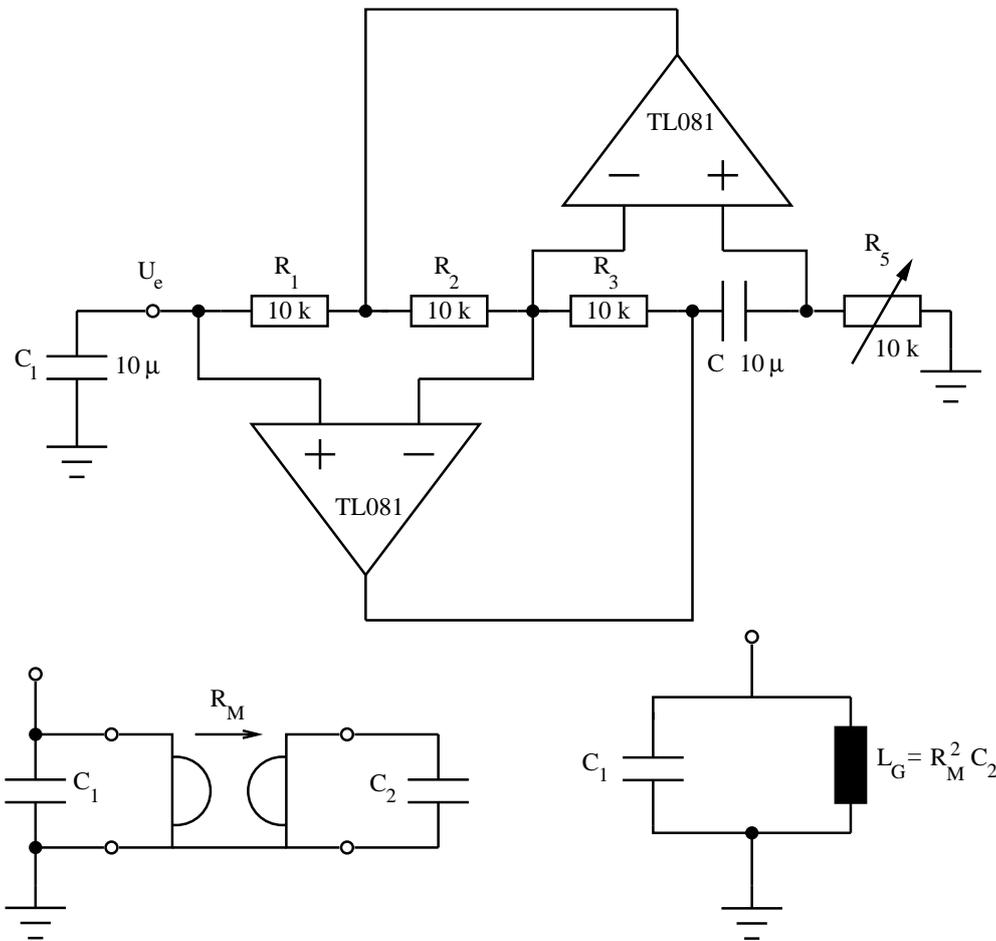


Abbildung 9: a) Gyrator zur Erzeugung einer Induktivität, b) Schwingkreis mit Gyrator, c) Äquivalentschaltung