5 Durchführung des Versuches

5.1 Aufgabe 1: Integrator / Fourieranalyse

Aufgabe 1a
Regelkreisparameter, Schleifenverstärkung und Verstärkung des invertierenden Integrators

In dieser Aufgabe werden Sie rein theoretische Betrachtungen durchführen, die Ihnen helfen sollen den Umgang mit logarithmischen Größen zu vertiefen.
In Bild 5.2 auf Seite 19 ist der Frequenzgang des Operationsverstärkers TL071 dargestellt, der in diesem Versuch Verwendung findet. Kann der Operationsverstärker TL071 instabil werden, wenn er in der invertierenden Verstärkergrundschaltung mit zwei reellen Widerständen R_1 und R_N betrieben wird?

Antwort/Begründung:
Nein, da bei 180° Phasenverschiebung die Verstärkung ~30dB, also eine Abschwächung ist.

Bestimmen Sie mit der komplexen Wechselstromrechnung die Regelkreisparameter $k_r(\omega)$ und k_f in Abhängigkeit von R und C für den Umkehrintegrator nach Bild 5.1:

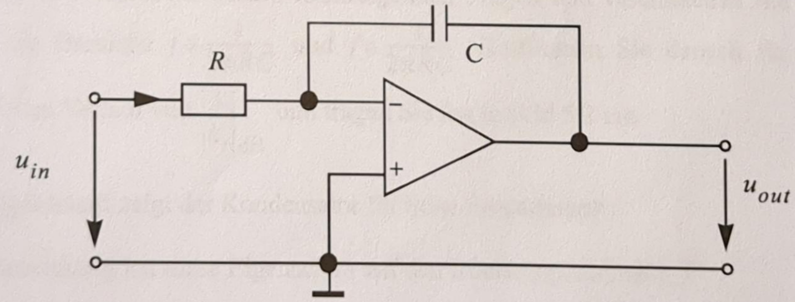


Bild 5.1 Umkehrintegrator

Antwort:

$Z_1 = R$ $\qquad$ $Z_N = \frac{1}{i\omega C}$

$k_f = -\frac{Z_N}{Z_1 + Z_N} = -\frac{1}{i\omega C\left(R + \frac{1}{i\omega C}\right)} = \frac{1}{1 + i\omega CR}$ $\qquad$ $k_r = \frac{Z_1}{Z_1 + Z_N} = \frac{i\omega CR}{iR\omega C + 1} = k_f \cdot i\omega CR$

Zeigen Sie, dass

$$\left|\frac{1}{k_r}\right|_{\mathrm{dB}} = 10 \cdot \log\left[1 + \left(\frac{1}{\omega RC}\right)^2\right] \qquad \text{Gl. (5.1)}$$

ist.

Lösung:

$$\left|\frac{1}{k_r}\right|_{dB} = 10 \log \left|\frac{1}{k_r}\right|$$

$$\left|\frac{1}{k_r}\right| = \left|\frac{i\omega RC + 1}{i\omega CR}\right| = \left|1 + \frac{1}{i\omega CR}\right| = 1 + \frac{1}{\omega^2 C^2 R^2}$$

$$\Rightarrow \left|\frac{1}{k_r}\right|_{dB} = 10 \log\left(1 + \left(\frac{1}{\omega CR}\right)^2\right)$$

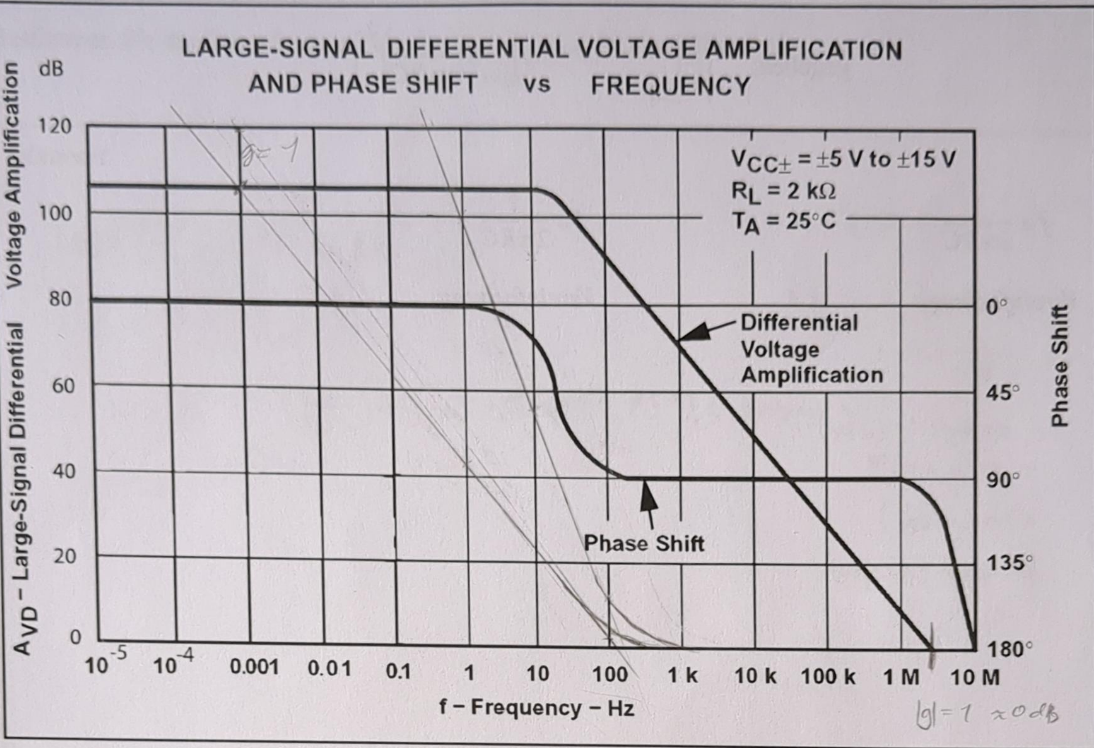


Bild 5.2 Differenzverstärkung und Phasengang TL071

Beantworten Sie zuerst die beiden nachfolgenden Fragen und vereinfachen Sie anschließend Gl. (5.1) für die Bereiche $f \ll \frac{1}{2\pi RC}$ und $f \gg \frac{1}{2\pi RC}$. Bestimmen Sie danach für $R = 1\text{k}\Omega$ und $C = 1\mu\text{F}$ den Verlauf von $\left|\frac{1}{k_r}\right|_{\text{dB}}$ und tragen Sie ihn in Bild 5.2 ein.

Welche Eigenschaft zeigt der Kondensator für hohe Frequenzen?

Welche Auswirkung hat diese Eigenschaft auf den Rückkoppelfaktor k_r?

Antwort:

Für hohe Frequenzen geht $Z_C \to 0$ also der Kondensator leitet.
Es geht $10 \log\left(1+\left(\frac{1}{\omega C R}\right)^2\right) \to 0$ folglich geht $k_r \to 1$
und die Rückkopplung wird stärker.

Vereinfachung:

gegeben: $\left|\frac{1}{k_r}\right|_{dB} = 10 \cdot \log\left[1 + \left(\frac{1}{\omega RC}\right)^2\right]$

$f \ll \frac{1}{2\pi RC}$ $\Leftrightarrow \omega \ll \frac{1}{RC}$

Vereinfachung: $\omega RC \ll 1$

$\Rightarrow \frac{1}{\omega RC} \gg 1$

$\Rightarrow 10 \log\left(1 + \left(\frac{1}{\omega RC}\right)^2\right)$

$\approx 10 \log\left(\frac{1}{\omega RC}\right)^2$

$\approx 20 \log\left(\frac{1}{\omega RC}\right)$

$\approx 20 \log\frac{1}{RC} - 20\log(\omega)$

$f \gg \frac{1}{2\pi RC}$ $\omega \gg \frac{1}{RC}$

Vereinfachung:

$\frac{1}{\omega RC} \ll 1$

$\Rightarrow 10 \log\left(1 + \left(\frac{1}{\omega RC}\right)^2\right)$

$\approx 10 \log(1)$

≈ 0

$\frac{1}{RC} = 1000 \Rightarrow$ bis 100 Hz

$\left|\frac{1}{k_r}\right|_{dB} \approx 20 \log\left(\frac{1}{\omega RC}\right)$

$\left|\frac{1}{k_r}\right|_{dB} \approx 0$

f = 1 Hz:	~~107,997 dB~~	44,036 dB
f = 10 Hz:	~~55,38 dB~~	24,03 dB
f = 100 Hz	~~72,62 dB~~	4,03 dB -5,98 dB
f = 1 kHz	~~0,250 dB~~	~~15,96~~ ≈ 0,109 dB = 0 dB

Hinweis: Für die Skizze ist es sinnvoll, dass Sie ihr Ergebnis aufspalten in einen konstanten und einen frequenzabhängigen Teil. Als Stützpunkt können Sie dann für f=1 Hz $\left|\frac{1}{k_r}\right|_{dB}$ bestimmen.

Kennzeichnen Sie im Diagramm die Schleifenverstärkung $|g| = 1$. ???

Bestimmen Sie die Grenzfrequenz bei der $\left|\frac{1}{k_r}\right|_{dB}$ auf 3dB abgefallen ist!

Antwort:

$$3 \overset{!}{=} \left|\frac{1}{k_r}\right|_{dB} = 10 \log\left(1+\left(\frac{1}{\omega RC}\right)^2\right)$$

$$\Rightarrow e^{3/10} - 1 = \left(\frac{1}{\omega RC}\right)^2$$

$$\Rightarrow \omega = \frac{1}{RC}\left(e^{3/10}-1\right)^{-\frac{1}{2}} = 2\pi \cdot 159{,}5\ 8Hz$$

$$\Rightarrow f_{3dB} = 269 Hz$$

Berechnen Sie $|v_r|_{dB} = \left|-\frac{Z_N}{Z_1}\right|_{\mathrm{dB}}$ als Funktion von R und C und vergleichen Sie Ihre Lösung mit $\left|\frac{1}{k_r}\right|_{\mathrm{dB}}$. Was fällt Ihnen auf?

Zeichnen Sie $|v_r|_{\mathrm{dB}}$ in das Diagramm in Bild 5.2. Beachten Sie die endliche Differenzverstärkung v_D.

Berechnen Sie weiterhin für $R = 1\mathrm{k}\Omega$ und $C = 1\mu\mathrm{F}$ die Frequenz f_0 bei der $|v_r| = 0\mathrm{dB}$ ist.

Berechnung:

$|v_r|_{dB} = \left|-\frac{Z_N}{Z_1}\right|_{\mathrm{dB}} = \left|-\frac{1}{i\omega CR}\right|_{dB} = 20\ln\left(+\frac{1}{\omega CR}\right) = -20\ln(+\omega CR)$

Vergleich: Der abfallende teil hat die halbe Steigung wie $\left|\frac{1}{k_r}\right|_{dB}$

Berechnung f_0: $0 \overset{!}{=} |v_r|_{dB} \overset{=20}{=} -20\ln(\omega_0 CR) \Leftrightarrow \omega_0 CR = 1$

$\Rightarrow f_0 = \frac{\omega_0}{2\pi} = \frac{1}{2\pi CR} = 159{,}15\ \mathrm{Hz}$

Kann der invertierende Integrator instabil werden?

Antwort mit Begründung:

Bei $\varphi = -180°$ ist $|g|_{dB} = \underbrace{|v_0|_{dB}}_{\ll 0} - \underbrace{\left|\frac{1}{k_r}\right|_{dB}}_{>0} < 0 \Rightarrow$ Die Schaltung ist stabil.

Beschalten Sie nach Bild 5.4 einen Umkehrintegrator mit $C = 1\mu F$ und $R = 1k\Omega$.

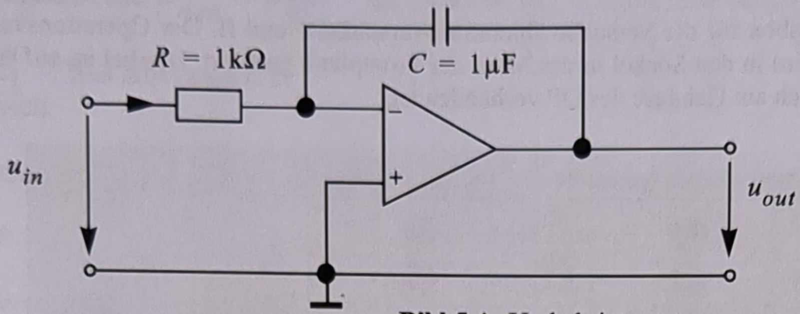


Bild 5.4 Umkehrintegrator

Speisen Sie die Schaltung mit einem offsetfreien Sinussignal der Amplitude $\hat{u}_{in} = 5.0V$ aus dem Funktionsgenerator. Verwenden Sie zur Darstellung der Signale den bereitstehenden PC mit Messkarte. Über die Signalanschlussbox können Sie an den Anschlussbuchsen CH0 und CH1 Ihre Signale einspeisen. Weitere Details zur Messkarte entnehmen Sie der "**Anleitung zum Programm Scope**" im vorderen Teil Ihrer Praktikumsanleitung.

Hinweis: Beachten Sie, dass sich der Kondensator $C = 1\mu F$ links neben dem OP und nicht über dem OP befindet!

Suchen Sie die Signalfrequenz bei der $\hat{u}_{out} = \hat{u}_{in}$ ist. Gehen Sie dabei wie folgt vor:

1. Beginnen Sie bei der Frequenz *f*=90Hz.
2. Damit Sie ausreichend Bandbreite haben aktivieren Sie im Programm SCOPE im **Hauptmenu -> Configure** nur die Channel 0 und 1 (Acquire = Yes, Gain = 1). Verwenden Sie eine Samplerate von 100kHz (**Hauptmenu -> Scope -> "Trigger Sampling"**).
3. Stellen Sie nun die Amplitude auf $\hat{u}_{in} = 5.0V$ ein.
4. Bringen Sie den Regler Offsetabgleich auf der OP-Box in Mittelstellung
5. Ziehen Sie den Offsetregler am Funktionsgenerator und variieren Sie damit die Offsetspannug des Eingangssignales. Sie werden bemerken, dass Sie das Ausgangssignal damit sehr schnell an die obere und untere Aussteuergrenze des OP führen. Finden Sie den Punkt, an dem das Ausgangssignal gerade von einer der beiden Aussteuergrenzen zur anderen wechselt.
6. Verwenden Sie nun den Offsetabgleich der OP-Box um das Ausgangssignal symmetrisch zum Eingangssignal zu positionieren. D.h. die Wendepunkte beider Sinussignale liegen bei 0V (=Nulldurchgang). Sie benötigen dafür etwas Fingerfertigkeit.
7. Variieren Sie nun die Frequenz bis $\hat{u}_{out} = \hat{u}_{in}$ ist. Regeln Sie den Offsetabgleich ggf. nach.

Messen Sie die Frequenz mit den Cursorn aus, und erstellen Sie einen Ausdruck der Messung (beide Signale im selben Diagramm) auf dem mindestens 2 Signalperioden zu sehen sind.

Hinweis: Im Menü **"Trigger Sampling"** können Sie bei "Trigger Modes" durch umschalten von "Cont." auf "One" das Bild einfrieren.

Vergleichen Sie ihre Messung mit dem theoretischen Ergebnis aus der vorherigen Aufgabe

gemessen:	*theoretisch:*
f_{sinus} = 164 Hz	f_{sinus} = 759,15Hz

Ändern Sie das Generatorsignal in ein Rechtecksignal und anschließend in ein Dreiecksignal, jeweils mit einer Amplitude von $\hat{u}_{in} = 5.0\mathrm{V}$. Bestimmen Sie wiederum die Frequenzen für die gilt: $\hat{u}_{out} = \hat{u}_{in}$. Achten Sie auf den Offsetabgleich!

Antwort:

$f_{\text{rechteck}} =$ 265 $f_{\text{dreieck}} =$ 128

Sie haben drei verschiedene Signalformen für die Verstärkung $v_r = 1$ ausgemessen. Weshalb weichen die Frequenzen der Rechteck und der Dreieckfunktion so stark von der Sinusfrequenz ab?

Überlegen Sie sich dazu wie der Frequenzgang des Rückgekoppelten OP aussieht und wie sich ein Dreiecksignal und ein Rechtecksignal aus mehreren Sinussignalen zusammensetzen lässt.

Antwort:

Die Forierreihenentwicklung der Dreiecks- und Rechteckwelle enthält viele harmonische der Grundfrequenz. Die Übertragungsfunktion des Integrators ist ein Tiefpass. Folglich wird eine höhere Spannung benötigt um die gleiche Ausgangsspannung zu erreichen.
Außerdem gehen die Frequenzen mit unterschiedlicher Amplitude in die Welle bzw. ihr Integral ein. Folglich muss ggf. auch unterschiedlich verstärkt werden damit die peak-peak-Verstärkung gleich bleibt.

Aufgabe 1c Fourier Analyse

Mit dem Programm “SCOPE” haben Sie die Möglichkeit das Spektrum eines Signales darzustellen. Durch die sog. Fast Fourier Transformation wird eine Fourieranalyse des Signales vorgenommen. Die Amplituden der einzelnen Frequenzanteile des Signals werden im Programm mit dem Faktor $\frac{1}{\sqrt{2\pi}}$ skaliert über der Frequenz dargestellt. Da die Fourieranalyse nur mit einer begrenzten Anzahl von Messpunkten digital im PC erfolgen kann, ergeben sich nicht die scharfen Impulse wie in Bild 4.8 dargestellt, sondern Sie erhalten unscharfe, parabelförmige Impulskurven.

Bestimmen Sie die Frequenzanteile für ein symmetrisches Dreieck- und ein Parabelsignal. **Speisen Sie hierzu ein symmetrisches Dreiecksignal der Amplitude 5V mit der richtigen Frequenz in den Umkehrintegrator**, damit die Amplitude der Ausgangsparabel ebenfalls 5V beträgt. Erfassen Sie das Eingangs- und Ausgangssignal über die Signalanschlussbox CH0 bzw. CH1.

Ermitteln Sie aus dem FFT-Diagramm des Eingangs- bzw. Ausgangssignals die Amplituden der Grundwelle sowie der ersten beiden Oberwellen. Vergleichen Sie Ihre Messung mit den theoretischen Sollamplituden nach Gl. (4.33) und Gl. (4.34) .

Hinweis: Nur im oberen Diagramm steht Ihnen die Cursor Funktion zur Verfügung.

	Frequenz [Hz]	gemessene Amplitude $\hat{u}_m$ [mV]	korrigierte Amplitude $\hat{u}_\Delta = \sqrt{2\pi}\hat{u}_m$ [mV]	theoretische Amplitude [mV]
Grundwelle	128	1507	3777	1053
1. Oberwelle	385	172,5	432,39	950
2. Oberwelle	642	62,7	157,16	762

$\frac{8}{\pi^2}\frac{5000}{(2n+1)^2}$

Tabelle 5.1 Fourieranalyse des Dreiecksignales (Integrator-Eingang)

	Frequenz [Hz]	gemessene Amplitude $\hat{u}_m$ [mV]	korrigierte Amplitude $\hat{u}_P = \sqrt{2\pi}\hat{u}_m$ [mV]	theoretische Amplitude [mV]
Grundwelle	128	1963,7	4922,1	5760
1. Oberwelle	385	73,9	185,2	191
2. Oberwelle	642	~~16~~ 16,2	40,6	41,28

Tabelle 5.2 Fourieranalyse des Parabelsignales (Integrator-Ausgang)

Erstellen Sie einen Ausdruck Ihrer Messung mit folgenden Einstellungen:

- Display Mode: 2 Diagramme, unten SCOPE, oben FFT
- Anzeige beider Kanäle CH0 und CH1
- Displaysize: 8192
- Samplerate: 100k

Bestimmen Sie zu Ihren in Tabelle 5.2 ermittelten Frequenzen die Verstärkung $|v_r|$. Verwenden Sie dazu die von Ihnen in der letzten Berechnung in **"Aufgabe 1a Regelkreisparameter, Schleifenverstärkung und Verstärkung des invertierenden Integrators"** ermittelte Übertragungsfunktion.

Berechnen Sie anschließend die Verstärkung aus der Amplitudenmessung von Tabelle 5.1 und Tabelle 5.2 und vergleichen Sie die Werte.

	Frequenz [Hz]	Verstärkung aus gemessenen Amplituden: $\lvert v_r \rvert = \frac{\hat{u}_P}{\hat{u}_\Delta}$	Verstärkung aus Übertragungsfunktion (nicht in dB!)
Grundwelle	128	1,303	1,243398
1. Oberwelle	378	0,428	0,41447
2. Oberwelle	634	0,258	0,2487

$\frac{1}{\omega RC}$

Tabelle 5.3 Verstärkung

Das Ergebnis veranschaulicht Ihnen die Antwort auf die Frage “Weshalb unterscheiden sich die drei Frequenzen?” von **"Aufgabe 1b Der Invertierende Integrator, Offsetkompensation"**.

5.2 Aufgabe 2: Addierer / Fouriersynthese

Bild 5.5 zeigt die Schaltung eines Umkehraddierers für zwei Eingansspannungen u_1 und u_2.

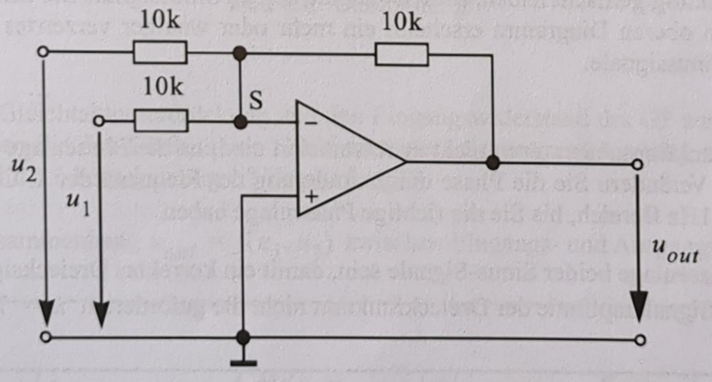


Bild 5.5 Addiererschaltung

Bestimmen Sie $u_{out} = f(u_1, u_2)$.

Antwort: $R_N = 10k\Omega = R_1 = R_2$

$u_{out} = -\left(\frac{R_N}{R_1} u_1 + \frac{R_N}{R_2} u_2\right) = -(u_1 + u_2)$

Nach Gl. (4.33) auf Seite 14 lässt sich ein Dreiecksignal aus mehreren, gewichteten Sinussignalen zusammensetzen. Synthetisieren Sie mit Hilfe des Umkehraddierers eine symmetrische Dreieckspannung der Frequenz f=100Hz und der Amplitude $\hat{u} = 7.5\text{V}$ aus der Grundwelle und der ersten Oberwelle.

Gehen Sie wie folgt vor:

- Bestimmen Sie nach Gl. (4.33) die Amplituden der Grundwelle $\hat{u}_{\Delta}(\omega)$ und der 1. Oberwelle $\hat{u}_{\Delta}(3\omega)$.
- Stellen Sie am ersten Funktionsgenerator zuerst die genaue Frequenz und Amplitude (offsetfrei) der Grundwelle ein, dann mit dem zweiten Generator die 1. Oberwelle, ebenfalls möglichst offsetfrei und speisen Sie beide Signale in den Addierer.

Für die endgültige Darstellung verwenden Sie bitte folgende Einstellungen:

- CH0 für die Darstellung der Grundwelle, CH1 für die 1. Oberwelle und CH2 für die Summe beider Signale
- Displaymode Dual. Im oberen Diagramm CH2, im Unteren CH0 und CH1
- Triggern Sie manuell, positiv bei einer Schwelle von 0V auf CH0. Displaysize: 2048, Samplerate: 50k

$\hat{u}_{\Delta}(\omega)$ = 6079 mV $\qquad$ $\hat{u}_{\Delta}(3\omega)$ = 675,47 mV

Wenn Sie alles richtig gemacht haben, sollten sich die beiden Sinussignale nur minimal gegeneinander bewegen. Im oberen Diagramm erscheint ein mehr oder weniger verzerrtes Dreiecksignal als Summe beider Sinussignale.

Hinweis:
Da die beiden Funktionsgeneratoren nicht synchronisiert sind, ist die Phasenlage der beiden Sinussignale zufällig. Verändern Sie die Phase durch Änderung der Frequenz der 1. Oberwelle mit dem Drehregler im 0.1Hz Bereich, bis Sie die richtige Phasenlage haben.

Wie muss die Phasenlage beider Sinus-Signale sein, damit ein korrektes Dreiecksignal entsteht? Weshalb hat die Signalamplitude der Dreieckfunktion nicht die geforderten $\hat{u} = 7.5\text{V}$?

Antwort: Es sollte die Welle mit 3ω genau 180° Phasenverschoben sein bei t=0s.

$\hat{u} \neq 7.5$ Da viele oberwellen mit $\omega > 3\omega_0$ fehlen.

Frieren Sie das Bild bei der richtigen Phasenlage im Triggermenü mit "CONT" ein und erstellen Sie einen Ausdruck.

Lassen Sie Ihr Ergebnis überprüfen!

Überprüfen Sie Ihre Einstellungen selbst, indem Sie sich das Spektrum der von Ihnen synthetisierten Dreieckfunktion ansehen. Sind die Amplituden bei 100Hz und bei 300Hz korrekt? Vergessen Sie nicht den Normierungsfaktor $\sqrt{2\pi}$.

"Spielen" Sie noch ein wenig mit der Addiererschaltung. Verändern Sie die Frequenz und die Amplitude der Signale. Die stehenden Bilder erhalten Sie, wenn die Frequenzen Vielfache voneinander sind. Variieren Sie auch die Signalform.

5.3 Aufgabe 3: Subtrahierer

Bild 5.6 zeigt die Schaltung eines Subtrahierers.

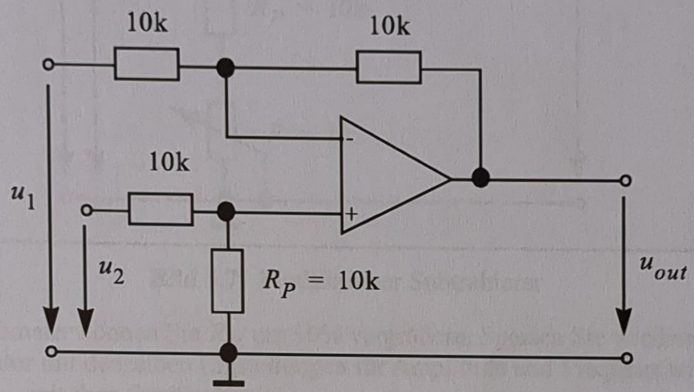


Bild 5.6 Subtrahierer

Aufgabe 3a

Ermitteln Sie die Gleichtaktunterdrückung und den Eingangswiderstand des OP aus dem Datenblatt im Anhang. Müssen Sie den Einfluss von Gleichtaktunterdrückung und Eingangswiderstand in der Schaltung nach Bild 5.6 berücksichtigen? Begründung!

Wie lautet der Zusammenhang $u_{out} = f(u_1, u_2)$ zwischen Eingangs- und Ausgangsspannung?

Antwort:

$u_{out} =$ $U_2 - U_1$ *CMRR* = 100 dB (typical) 75 dB (minimal) $R_i =$ 1 TΩ

Begründung:

Nein, sie müssen nicht berücksichtigt werden da CMRR > 50 und $R_i \gg 10k\Omega$

Die Subtrahierfunktion der Schaltung lässt sich am besten zeigen, wenn man $u_1 = u_2$ wählt, da dann die Ausgangsspannung $u_{out} = 0V$ sein muss.

Speisen Sie $u_1 = 6\text{V} \cdot \sin(2\pi ft)$, $f = 200\text{Hz}$ mit dem **ersten** Funktionsgenerator und $u_2 = 6\text{V} \cdot \sin(2\pi ft)$, $f = 200\text{Hz}$ mit dem **zweiten** Generator in die Subtrahierschaltung ein.

Oszillografieren Sie u_{out} mit dem **Oszilloskop**, nicht mit SCOPE.
Weshalb messen Sie ein deutlich von 0V abweichendes Ausgangssignal?

Antwort: Weil die beiden Funktionsgeneratoren nicht in Phase sind.

Aufgabe 3b

Speisen Sie nun u_1 und u_2 aus demselben Generator mit denselben Einstellungen für Amplitude und Frequenz wie zuvor und oszillografieren Sie u_{out} mit dem Oszilloskop.

Hinweise:

- Verwenden möglichst kurze Verbindungskabel für die Verkabelung auf der OP-Box.
- Messen Sie im 2 Kanalbetrieb - chopper und triggern Sie auf u_1, da u_{out} sehr klein ist und es sich daher schlecht auf u_{out} triggern lässt.
- Verwenden Sie den Offsetabgleich um ein symmetrisches Ausgangssignal u_{out} zu bekommen.

Bestimmen Sie die Amplitude $\hat{u}_{out}$ des verrauschten Ausgangssignales.

Haben Sie eine Vermutung, weshalb die Ausgangsspannung zwar sehr klein, jedoch wiederum nicht 0V ist?

Antwort:

$\hat{u}_{out} \approx$ 5mV mV

Weil die verwendeten Widerstände nicht perkkt gleich groß sind und sich somit eine unterschiedliche Gewichtung ergibt.

Aufgabe 3c

Modifizieren Sie die Subtrahierschaltung, indem Sie in Serie zu R_P das 1kOhm Potentiometer so schalten wie in Bild 5.7 dargestellt.

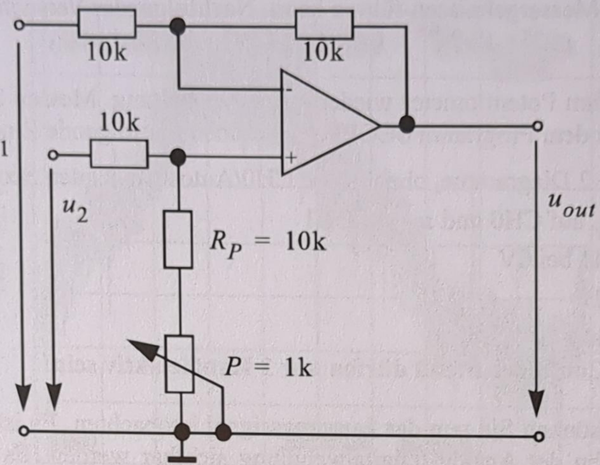


Bild 5.7 Modifizierter Subtrahierer

Durch das Potentiometer können Sie R_P um 10% vergrößern. Speisen Sie wiederum u_1 und u_2 aus demselben Generator mit denselben Einstellungen für Amplitude und Frequenz wie zuvor und oszillografieren Sie u_{out} mit dem Oszilloskop.

Hinweis: Verwenden Sie vor der Verkabelung das Ohmmeter, um das Poti richtig einzustellen.

Um wie viel Prozent ändern Sie damit $\hat{u}_{out}$? = 296mV

Geben Sie nun die Antwort, weshalb die Subtrahierschaltung bei der Einspeisung des identischen Signales nicht 0V am Ausgang liefern kann.

Antwort: Weil die Widerstände nicht perfekt gleich groß sind.

kleine Widerstandsänderung bewirkt große Verstärkung

Aufgabe 3d

Die bisherigen Messungen haben Sie mit dem Oszilloskop gemacht, da das Messsignal sehr klein und verrauscht ist, und die Darstellung von kleinen, hochfrequent verrauschten Signalen mit der PC-Messkarte zu falschen Messergebnissen führen kann. Nachfolgender Versuch soll Ihnen die Problematik verdeutlichen.

Entfernen Sie das 1kOhm Potentiometer wieder aus der Schaltung. Messen Sie nun Eingangs- und Ausgangsspannung mit dem Programm SCOPE. Verwenden Sie folgende Einstellungen:

- Display Mode: 2 Diagramme, oben Scope CH0/Autoscale, Unten Scope CH1/Normalscale
- Legen Sie u_{out} auf CH0 und u_1 auf CH1
- Trigger auf CH1 bei 0V
- Displaysize: **512**
- Samplerate: **100k**
  Achtung: im Configure Menü dürfen nur 2 Kanäle aktiv sein!

Im oberen Diagramm können Sie nun das Ausgangssignal beobachten. Es ist so klein, dass bereits die Quantisierungsstufen der Analog-/Digitalwandlung sichtbar werden. Es entstehen **Quantisierungsfehler**.

Wie groß ist eine Quantisierungsstufe?

Antwort: $\Delta u_q =$ 5mV

Beachten Sie: Der Signalverlauf entspricht nicht dem Originalsignal. Der PC belügt Sie!

Um selbst kleine Signale korrekt erfassen zu können, benötigen digitale Messkarten Vorverstärker, die nicht selten in der Form von Operationsverstärkern ausgeführt sind.
Die Messkarte in Ihrem PC besitzt einen solchen Vorverstärker. Schalten Sie diesen für CH0 ein, indem Sie über das Menü `MAIN - CONFIGURE - CHANNEL 0` den Wert für `GAIN` auf `8` setzen. Verlassen Sie die Konfiguration wieder über `MAIN - SCOPE`.

Die Quantisierungsstufen sind nun um den Faktor 8 verringert. Im Gegensatz zum Oszillogramm auf dem analogen Oszilloskop erscheint das Signal jedoch nur wenig verrauscht.

Sie haben unbewusst das Signal gefiltert, indem Sie die Abtastrate/Samplerate auf 20kHz gesetzt haben. Nach dem Abtasttheorem muss zur exakten digitalen Darstellung eines analogen Signales die Abtastrate mindestens doppelt so hoch sein wie der höchste im Signal vorkommende Frequenzanteil. Die PC-Messkarte beherrscht im 2-Kanal Betrieb eine maximale Samplerate von ~166KHz. Daher wird Ihr Signal und das Rauschen nur bis ca. 83kHz erfasst. **Es entsteht ein Fehler durch Unterabtastung.**

Variieren Sie die Abtastrate und beobachten Sie das Resultat.

Stellen Sie die Verstärkung des CH0 der PC-Messkarte wieder auf 1 zurück!

Als Ingenieur sollten Sie daher immer ein Gefühl dafür haben, welche Größenordnung Ihre zu messenden Signale haben. Insbesondere die Messung mit digitalen Messgeräten verleitet zu fehlerhaften Messungen!

Bild 5.8 zeigt ein hochauflösendes Oszillogramm der Ausgangsspannung des Subtrahierers. Man erkennt recht deutlich das Rauschen (bis ca. 50 MHz erfasst), welches auf dem analogen Oszilloskop nur durch das unscharfe Signal zu erkennen war und mit der PC-Messkarte nicht korrekt dargestellt werden kann.

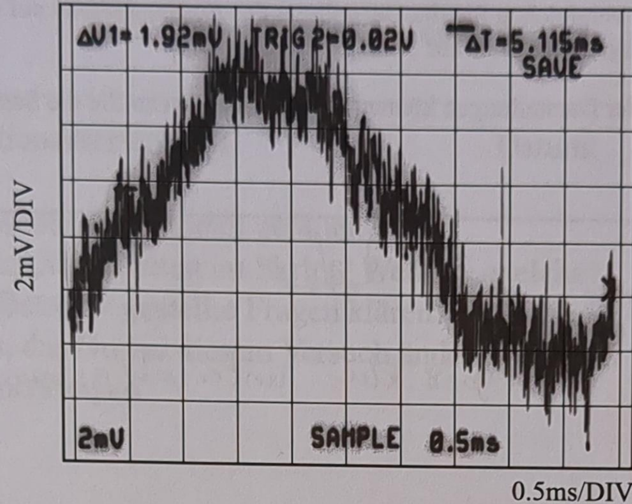


Bild 5.8 Hochauflösendes Oszillogramm der Ausgangsspannung des Subtrahierers mit einer Abtastrate von **100 MHz**.

5.4 Aufgabe 4: Differenzierer

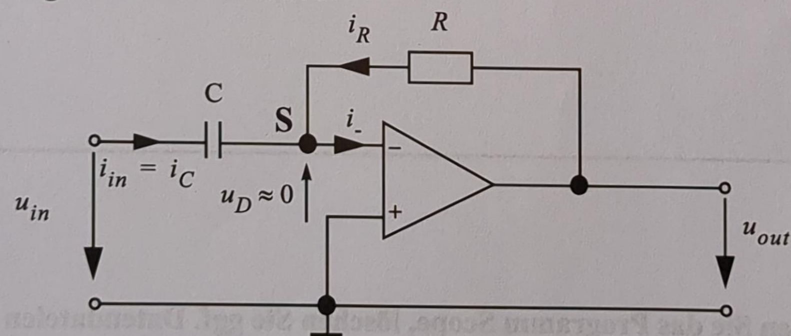


Bild 5.9 Differenzierschaltung

Dimensionieren Sie die Differenzierschaltung nach Bild 5.9 so, dass der Betrag der Verstärkung für harmonische Schwingungen der Frequenz $f = 159\,\text{Hz}$ gleich Eins wird. Wählen Sie R und C.

Dimensionierung: $\frac{d}{dt} \sin(2\pi\ 159\text{Hz}\ t) = 2\pi\ 159\text{Hz} \cos(2\pi\ 159\text{Hz}\ t)$

$\hat{u}_{out}(t) = +RC\ 2\pi\ 159\text{Hz} \overset{!}{=} 1 \Rightarrow RC = \frac{1}{2\pi\ 159\text{Hz}} \approx 10^{-3}\,\text{s}$

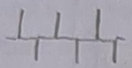
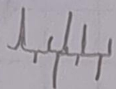
$R =$ 1kΩ $\qquad$ $C =$ 1µF

Bauen Sie den Differenzierer auf und speisen Sie ihn nacheinander mit einer periodischen Sinus-, Dreieck- und Rechteckspannung der Amplitude 400mV und der Frequenz $f = 159\,\mathrm{Hz}$.

Oszillografieren Sie Eingangs- und Ausgangsspannung parallel mit dem analogen Oszilloskop und mit der PC-Messkarte. Vergleichen Sie die Darstellung des Ausgangssignal auf dem Ozilloskop mit der Darstellung des Ausgangssignales auf SCOPE.

Welchen Unterschied der Darstellungen können Sie erkennen, wenn Sie die Samplerate bei SCOPE variieren?

Antwort:

Oszi  Scope: 

Die Mess karte zeigt ganz klar unter abtastung.

Beenden Sie das Programm Scope, löschen Sie ggf. Datendateien vom Desktop und melden Sie sich am PC ab (nicht Herunterfahren)

Reinigen Sie bitte die Arbeitsfläche ggf. von Radiergummi-Krümeln.