

Versuch EP5 Simulation elektronischer Schaltungen

I. Zielsetzung des Versuches

Die Simulation einer elektronischen Schaltung ermöglicht es, ihre Funktionsfähigkeit und ihre Eigenschaften zu überprüfen, ohne sie real aufbauen zu müssen. Dazu stehen verschiedene Programme zur Verfügung.

Wir verwenden hier das Programm MULTISIM, ein Unterprogramm der „NI Circuit Design Suite“ des Herstellers NATIONAL INSTRUMENTS / ELECTRONICS WORKBENCH GROUP, siehe auch <http://www.ni.com/multisim/>.

Von dieser Internetseite können Sie auch eine kostenlose Programmversion downloaden, die als Testversion 30 Tage lauffähig ist.

Anhand einiger einfacher analoger Schaltungen sollen Sie die Funktionsweise und Bedienung solcher Simulationsprogramme kennenlernen.

II. Vorkenntnisse

1. allgemeine Vorkenntnisse

Die bisherigen Versuche E45 (im Anfängerpraktikum) sowie EP1 bis EP4 (elektronische Funktion von Widerständen und Kondensatoren sowie von Diode, Transistor und Operationsverstärker; Gleich- und Wechselspannung, Anwendungen von Funktionsgenerator, Multimeter (Volt-/Ampere-/Ohmmeter) und Oszilloskop).

2. spezielle Vorkenntnisse

Die nötigen Vorkenntnisse zur Bedienung des Programms MULTISIM geben wir Ihnen in dem folgenden kurzen Tutorial. Zu Beginn des Praktikumnachmittags geben wir Ihnen noch eine zusätzliche Einführung (per Laptop und Beamer). Während des Praktikums stehen wie gewohnt die Assistenten jederzeit zur Verfügung.

Literatur: Eine kurze Einführung in das Programm MULTISIM finden Sie auch online unter:
http://www.atlas.uni-wuppertal.de/~kind/Einfuehrung_Multisim.pdf

III. Theorie zum Versuch

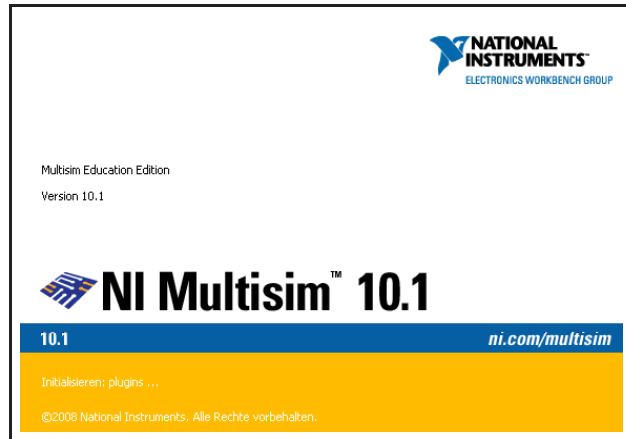
Im folgenden zeigen wir Ihnen Schritt für Schritt, wie Sie mit MULTISIM eine einfache Schaltung zeichnen und danach deren Funktion simulieren können. Wir nehmen als Beispiel die erste untenstehende Aufgabe, also die Auf- und Entladekurve eines RC-Kreises.

1. Programm öffnen, Bedienungselemente

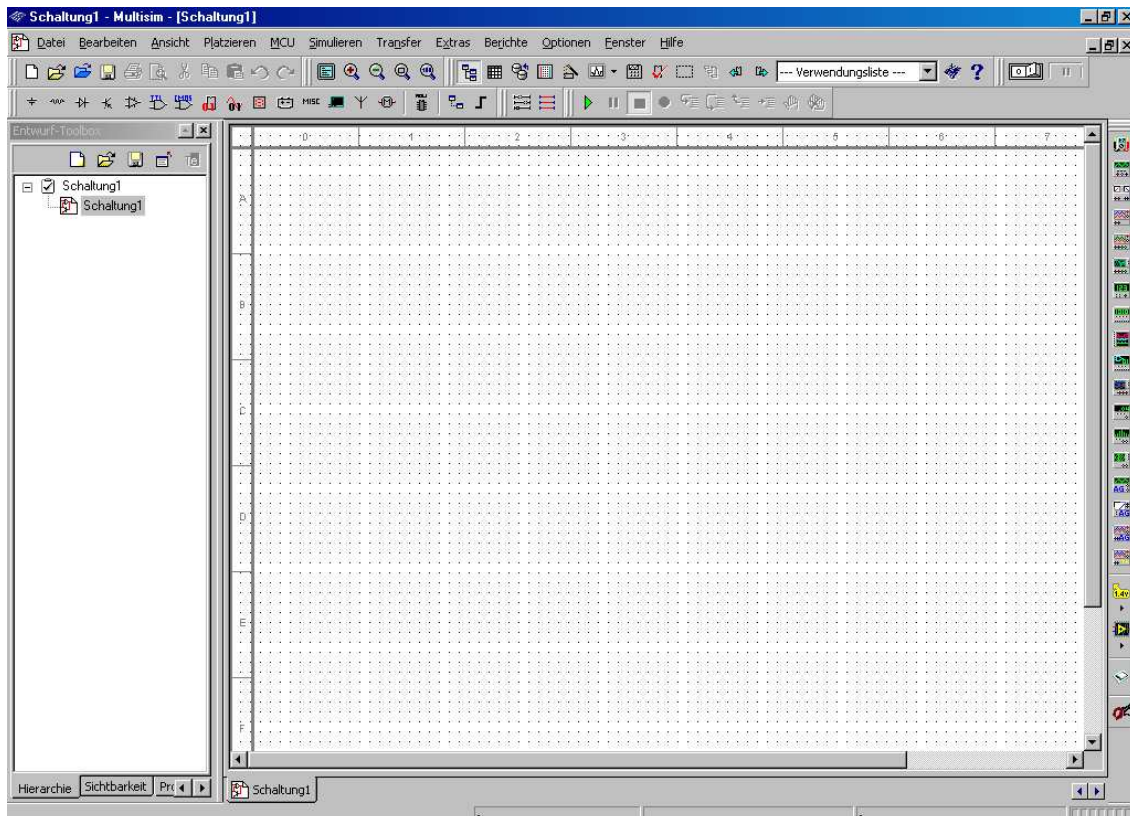
Öffnen Sie das Programm über den folgenden Pfad:

Startmenü > Programme > National Instruments > Circuit Design Suite > Multisim
oder auf dem Desktop mit *NI Circuit Design Suite (NI Multisim 10.1)*

Es erscheint zunächst ein Startfenster:

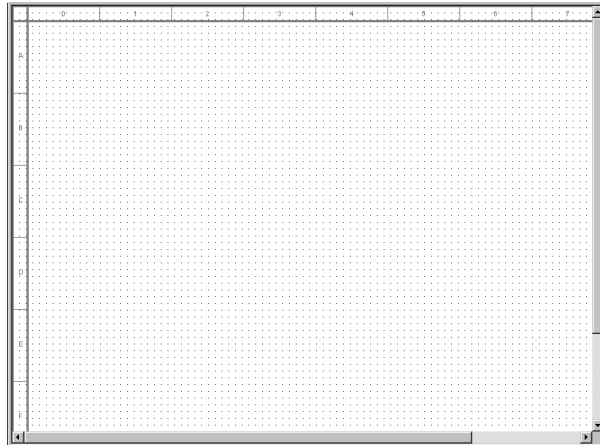


Danach sehen Sie das Programmfenster:

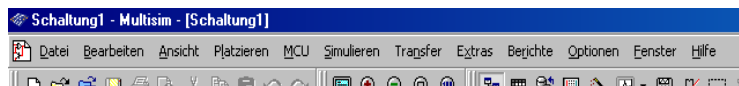


Das Fenster ist wie folgt aufgebaut:

Den größten Teil nimmt das **Schaltungs Fenster** ein. Hier wird der Schaltplan gezeichnet. Man spricht auch vom „Arbeitsbereich“:



Links oben ist die **Menüleiste**, sie enthält die Befehle für sämtliche Funktionen:



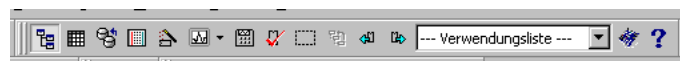
Unter der Menüleiste liegt die **Standard-Symboleiste**. Sie enthält Schaltflächen für die meistverwendeten Funktionen wie Speichern, Drucken, Ausschneiden oder Einfügen:



Rechts neben der Standard-Symboleiste ist die **Ansicht-Symboleiste**. Sie enthält Schaltflächen zur Veränderung der Bildschirmanzeige:



Und rechts neben der Ansicht-Symboleiste ist die **Haupt-Symboleiste**. Sie enthält Schaltflächen für allgemeine Multisim-Funktionen. An ihrem rechten Ende ist ein Auswahlfenster („- Verwendungsliste -“), das ist die **Liste verwendeter Bauelemente**; sie enthält eine Liste aller im Entwurf verwendeter Bauelemente.



In der dritten Zeile von oben, also direkt über dem Schaltungsfenster, befinden sich zwei sehr wichtige und häufig benutzte Leisten.

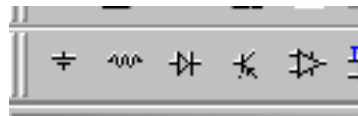
Rechts ist die **Simulations-Symboleiste**. Sie enthält Schaltflächen zum Start, Stopp und andere Simulationsfunktionen.



Links ist die **Bauelemente-Symboleiste**. Sie enthält Schaltflächen zur Auswahl von Bauelementen aus den Multisim-Bauelementedatenbanken zum Platzieren in Schaltungen:



Schauen wir uns diese Bauelemente-Symbole genauer an, und zwar deren linken Teil. Die ersten 5 Symbole werden Sie im heutigen Praktikum oft brauchen:



Die Symbole bedeuten von links nach rechts:

- Quelle plazieren: Hier können Sie verschiedene Gleich- und Wechselspannungsquellen einfügen
- Standard-Bauteil plazieren, insbesondere Widerstände (Resistor), Kondensatoren (Capacitor), Spulen (Inductor)
- Diode plazieren
- Transistor plazieren
- Analog. Bauteil plazieren (z.B. Operationsverstärker)

Halten Sie den Mauszeiger einen Moment über das Symbol, geht ein Shortcut-Fenster auf und Sie lesen eine Kurzbeschreibung. Dies funktioniert auch bei allen anderen Symbolen und Symbolleisten.

Eine letzte und für die Simulationen sehr wichtige Liste befindet sich am rechten Rand des Bildschirms. Die **Instrumenten-Symboleiste** enthält Schaltflächen für jedes Instrument.



Auch hier sind die ersten (obersten) Symbole besonders wichtig, sie liefern Ihnen:



- Digitalmultimeter
- Funktionsgenerator
- Wattmeter
- Oszilloskop
- 4-Kanal-Oszilloskop
- Bode-Plotter
- Frequenzzähler
- Bitmuster-generator

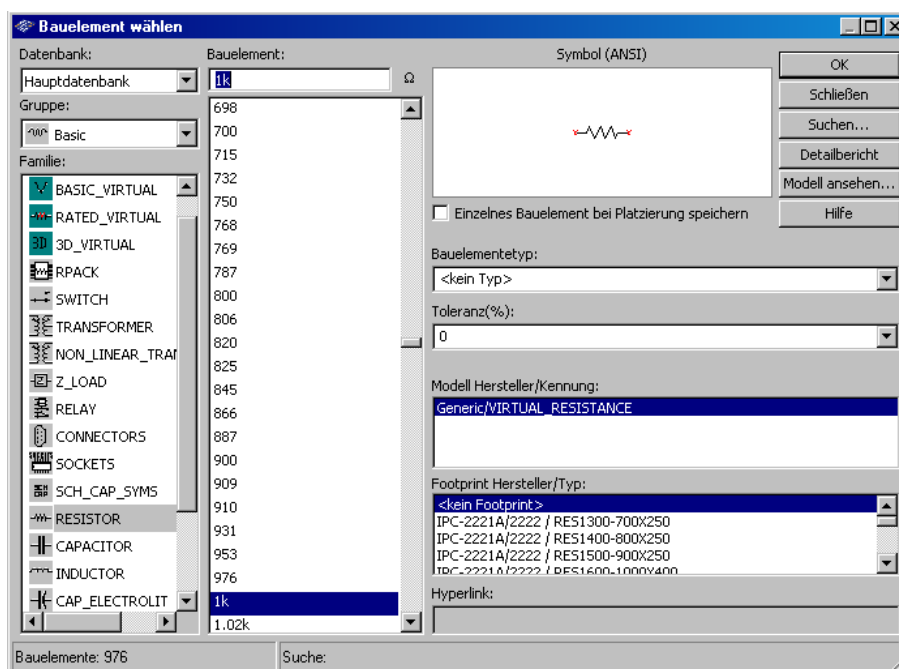
2. Einfügen der Bauelemente

Es gibt drei Wege, ein Bauelement in den Schaltplan einzufügen:

- Entweder gehen Sie über die Menüleiste: Platzieren > Bauelement ...
- oder Sie benutzen die Tastenkombination Strg + w (es muß ein kleines w sein!)
- oder Sie klicken in der Bauelementsymbolleiste auf ein passendes Symbol (z.B. Standard-Bauteil, das zweite Symbol von links)

Beachten Sie: Da MULTISIM von einem amerikanischen Hersteller stammt, sind die Bauteile in amerikanischen Symbolen. Der Widerstand ist z.B. kein Rechteck, sondern eine Zickzacklinie. Auch die Kondensatoren sehen etwas anders aus. Bei den Halbleiterbauelementen (z.B. Diode, Transistor, Opamp) sind die Symbole aber meist den europäischen Symbolen sehr ähnlich.

In jedem Fall öffnet sich ein Auswahlfenster, das Ihnen eine genauere Auswahl des Bauelementes ermöglicht:



Links oben können Sie unter *Gruppe* die Bauteilgruppe (z.B. Basic = Standard oder aber Dioden, Transistor) wählen.

Darunter in der linken Spalte wählen Sie die Bauteilfamilie, z.B. Resistors = Widerstände.

Die mittlere Spalte erlaubt Ihnen das Auswählen oder (im Fenster oben) Eintragen des Bauteilwertes (z.B. 1 kΩ).

Rechts oben sehen Sie das Schaltsymbol in amerikanischer Norm.

Rechts unten gibt es noch weitere Angaben zum Hersteller oder zur Gehäuseform, diese sind für uns aber im Praktikum nicht wichtig. Die Gehäuseform würde eine Rolle spielen, falls wir aus dem Schaltplan mit einem anderen Programm eine Leiterplatte entwerfen würden.

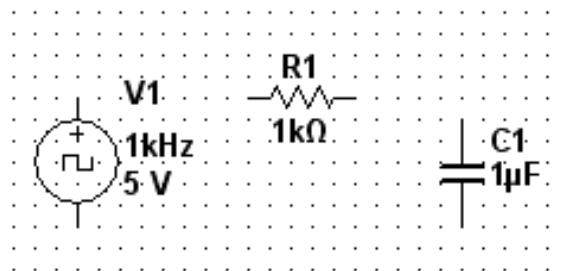
Fügen Sie folgende Bauelemente in den Schaltplan ein:

- Einen Widerstand mit $1\text{ k}\Omega$ (Gruppe = *Basic*, Familie = RESISTOR),
- einen Kondensator mit $1\text{ }\mu\text{F}$ (Gruppe = *Basic*, Familie = CAPACITOR)
- und einen Rechteckgenerator. Den Rechteckgenerator finden Sie in der Gruppe *Sources* (oder Klick auf das ganz linke Symbol *Quelle platzieren* in der Bauteilleiste), Familie SIGNAL_VOLTAGE_SOURCES, Bauelement CLOCK_VOLTAGE.

Wenn Sie das Bauteil platziert haben (linksklicken an der passenden Stelle im Schaltplanfenster) und dann auf das Bauteil rechtsklicken, öffnet sich ein Menü, das Ihnen z.B. das Drehen des Bauteils erlaubt. Schneller geht während des Einfügens das Drehen mit der Tastenkombination Strg + r (im Uhrzeigersinn) oder Strg + R (also Strg + Shift + r, im Gegenuhrzeigersinn).

Sie können das Bauteil nachträglich verschieben, indem Sie es (etwa in der Mitte) mit der linken Maustaste anklicken und die linke Maustaste beim Verschieben gedrückt halten.

Ihr Schaltplan sollte nun in etwa so aussehen:



Der Schaltplan ist so noch nicht fertig, denn es fehlen ja die Verbindungen.

3. Verbinden der Bauelemente

Alle Bauelemente haben Anschlussstifte, über die sie mit anderen Bauelementen oder Geräten verbunden werden können. Sobald sich der Cursor über einem Anschlussstift befindet, erkennt Multisim die gewünschte Verbindung und der Cursor verwandelt sich in ein Fadenkreuz.

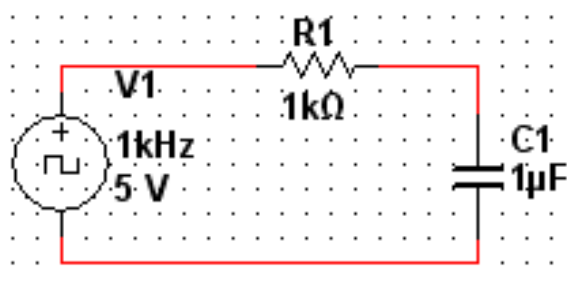
Um Bauelemente zu verbinden, führen Sie die folgenden Schritte aus:

1. Klicken Sie den Ausgangspunkt für die Verbindung an (der Cursor verwandelt sich daraufhin in ein Fadenkreuz) und bewegen Sie die Maus. Daraufhin erscheint unter dem Cursor eine Linie, die eine Leiterbahn symbolisieren soll.
2. Klicken Sie auf den Anschlussstift des zweiten Bauteils, an dem die Verbindung enden soll. Multisim erstellt die Verbindungen automatisch und fügt die Leiterbahn automatisch an der richtigen Stelle und in der richtigen Konfiguration ein, wie unten dargestellt. Diese Funktion spart insbesondere beim Verbinden großer Schaltungen viel Zeit.

Achtung: Wenn Sie ein neues Bauteil mit einer schon vorhandenen Leitung verbinden wollen, dann beginnen Sie mit dem Zeichnen der neuen Verbindung beim neuen Bauteil und *nicht* bei der vorhandenen Leitung. Andernfalls meint das Programm, Sie wollten die vorhandene Leitung auftrennen (probieren Sie es aus!).

Die Leitungslinien können Sie wie die Bauteile anklicken und mit gedrückter linker Maustaste verschieben.

Ihr Schaltplan sollte nun mit den Verbindungen in etwa so aussehen:



4. Simulation

Wir wollen nun die Schaltung simulieren und uns das Signal am Kondensator mit einem virtuellen Oszilloskop ansehen.

Es gibt zwei Wege, ein Meßgerät (hier: Oszilloskop) in den Schaltplan einzufügen:

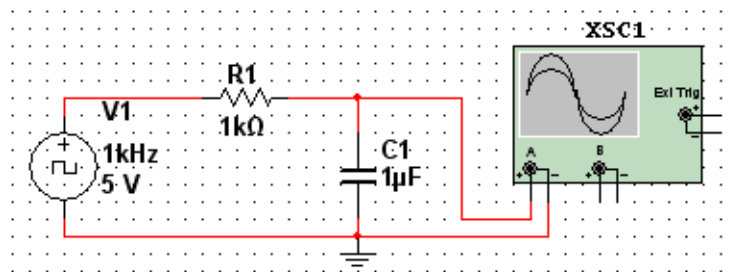
- Entweder gehen Sie über die Menüleiste: Simulieren > Instrumente > Oszillograph
- oder Sie klicken in der Instrumentenleiste (rechter Bildrand) auf ein passendes Symbol (z.B. Oszilloskop, das vierte Symbol von oben)

Setzen Sie das Oszilloskop in den Schaltplan, verbinden Sie es mit dem Kondensator. Achten Sie auf die Anschlüsse + und - des Oszilloskops. Sie müssen nur Kanal A anschließen, die Eingänge B und ext. Trig. können unbeschaltet bleiben.

Bevor Sie die Simulation starten können, müssen Sie jedoch noch ein Bezugspotential definieren (Erde, GND), andernfalls gibt es eine Fehlermeldung. Holen Sie sich in folgendem Menü ein GROUND-Symbol und schließen Sie es an der unteren Seite des Funktionsgenerators bzw. Kondensators an:

Platzieren > Bauelement... > Gruppe: Sources, Familie: POWER_SOURCES, Bauelement: GROUND

Die Schaltung müßte dann in etwa so aussehen:

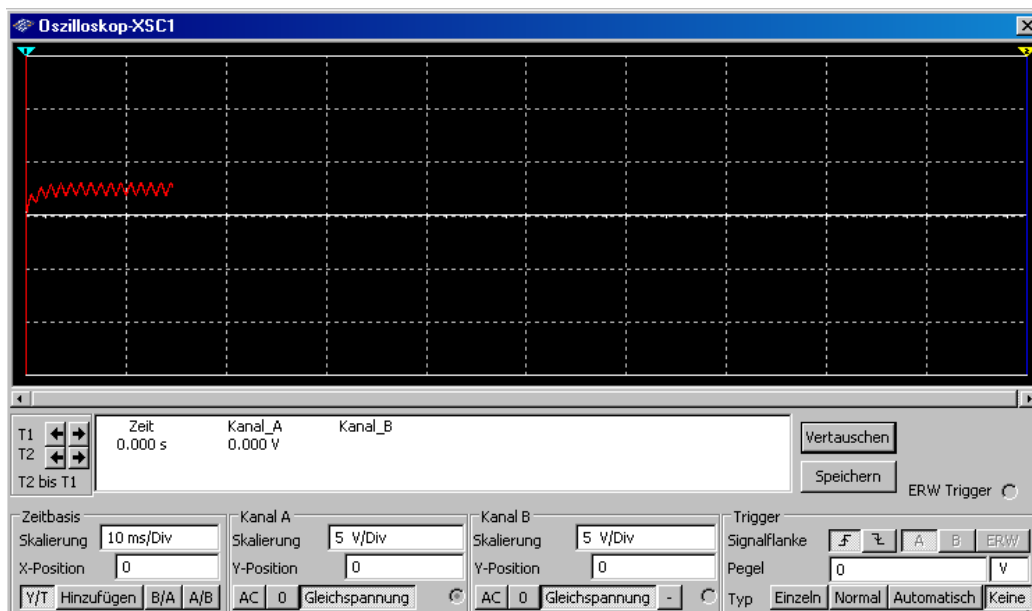


Doppelklicken Sie nun auf das Oszilloskop im Schaltplan. Es öffnet sich ein Fenster mit einem virtuellen Oszilloskop.

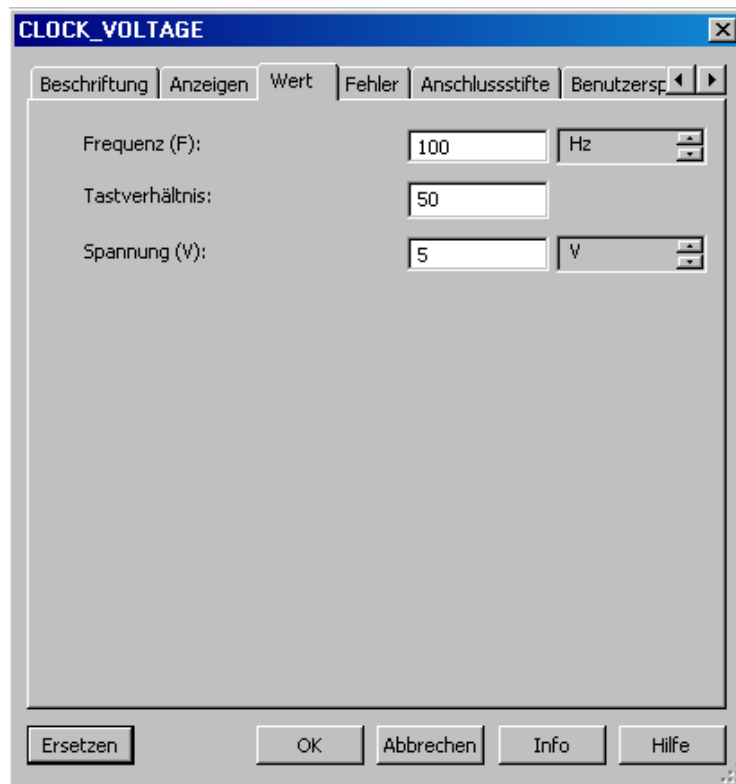


Um nun die Simulation zu starten, müssen Sie in der Simulations-Symboleiste auf den grünen Pfeil klicken. Mit dem roten Quadrat wird die Simulation abgebrochen, mit dem mittleren blauen Doppelstrich unterbrochen (Pause). ACHTUNG: Schließen des Oszilloskop-Fensters stoppt die Simulation *nicht*!

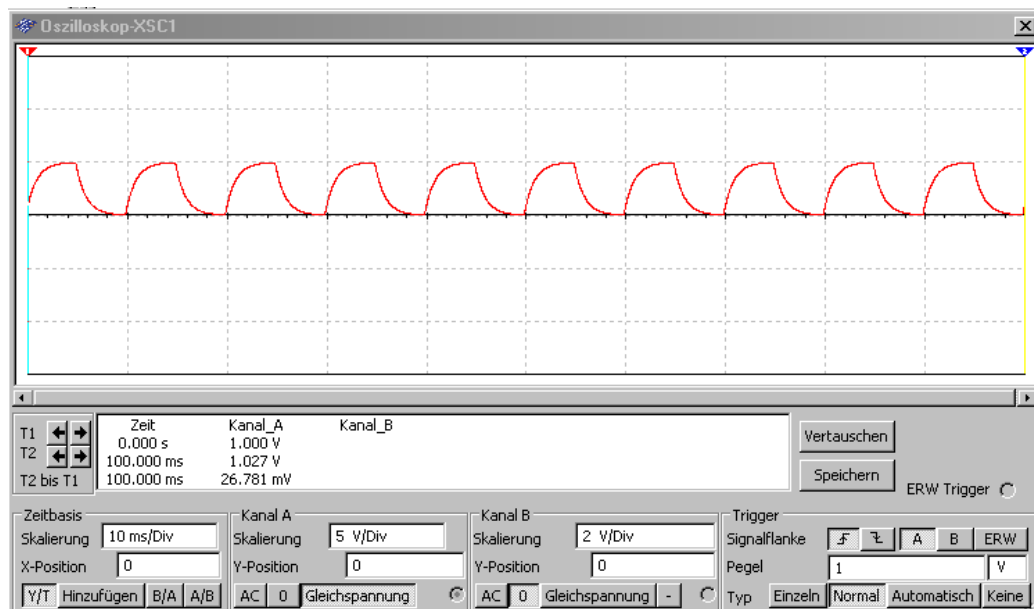
Mit den angegebenen Bauelementen und einer Frequenz von 1 kHz ergibt sich folgendes Bild:



Offenbar ist die Frequenz des Rechteckgenerators zu hoch, daher wollen wir sie ändern. Doppelklicken Sie auf das Generatorsymbol. Es erscheint ein Menü, in dessen Registerkarte *Wert* Sie Frequenz, Tastverhältnis und Spannung ändern können. Geben Sie als neue Frequenz 100 Hz ein.



Mit dieser Frequenz ergibt sich das folgende Bild. Wir stellen ab ab jetzt die Oszilloskopbilder mit weißem statt schwarzem Hintergrund dar. Diese Invertierung der Farben erreicht man durch anklicken von „Vertauschen“, rechts neben dem großen Textfeld unten.



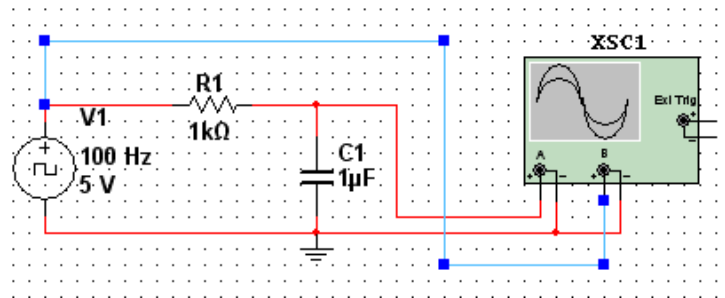
Probieren Sie aus, wie sich das Bild verändert, wenn Sie andere Skalierungen (Zeitbasis oder Kanal A) einstellen. Sie finden am virtuellen Oszilloskop die gleichen Bedienungselemente vor wie bei einem realen Gerät.

Beachten Sie noch: Die Simulationsgeschwindigkeit beim Oszilloskop entspricht nicht der realen Frequenz. Auch wenn z.B mit 100 Hz simuliert wird, dauert es einige Sekunden, bis auf dem Bildschirm die Kurve geschrieben wurde.

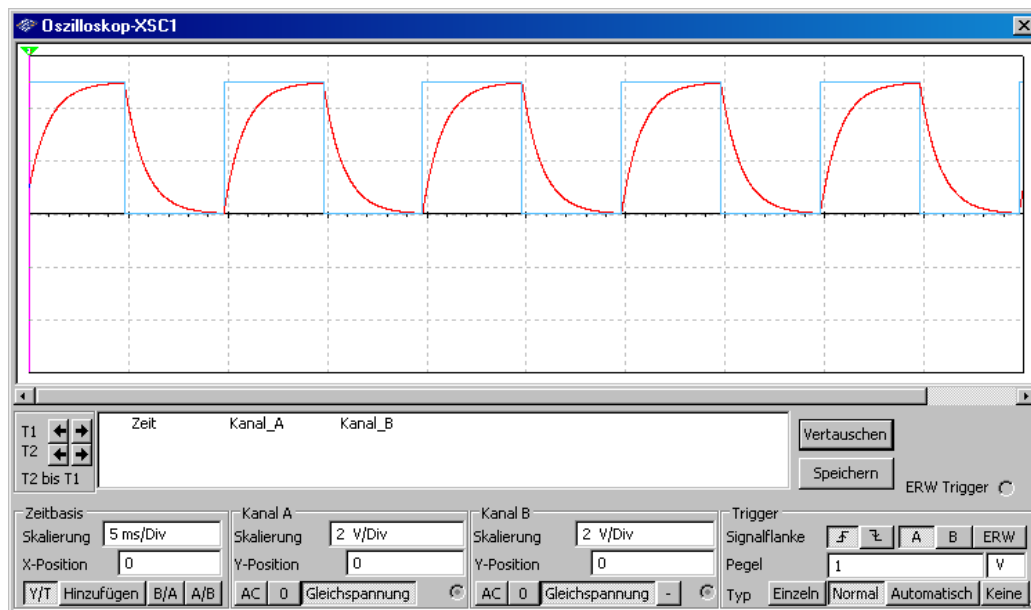
4.1. Simulation mit mehreren Kanälen

Wir wollen nun den zweiten Kanal des Oszilloskops direkt an den Funktionsgenerator anschließen. Damit auf dem Oszilloskop der zweite Kanal vom ersten gut zu unterscheiden ist, können wir ihn mit einer anderen Farbe versehen, indem wir auch die Zuleitung anders einfärben. Ein Rechtsklick auf das Leitungsstück, das am Pluspol des Kanals B angeschlossen ist (unten in blau dargestellt), öffnet ein kleines Menüfenster mit den Punkten *Löschen*, *Segment einfärben...*, *Schriftart...* und *Eigenschaften*. Linksklick auf *Segment einfärben...* öffnet eine Farbpalette. Wählen Sie eine passende Farbe aus. HINWEIS: Das Einfärben geht nur, wenn die Simulation gestoppt ist. Schließen des Oszilloskop-Fensters stoppt die Simulation *nicht*!

Es ergibt sich folgender Schaltplan:



und folgendes Oszillographenbild (die Skalierung ist geändert worden):

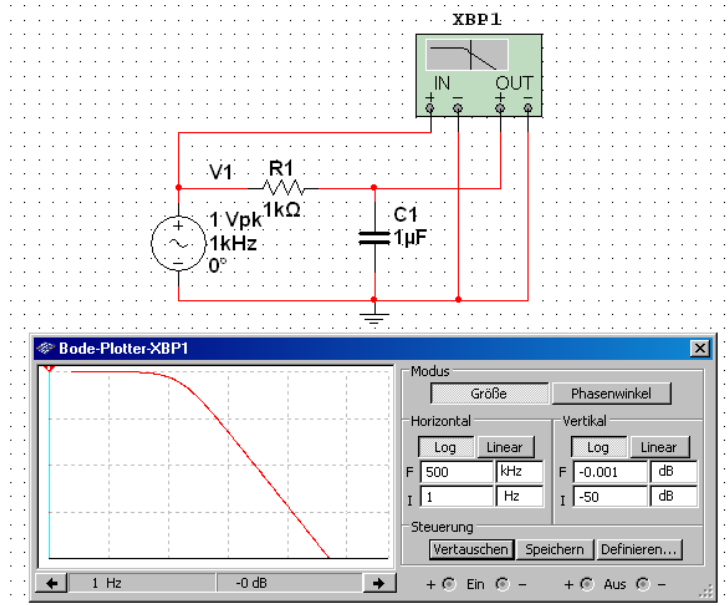


Sie sehen beim Oszilloskopfenster links oben und rechts oben ein farbiges Dreieck. Das sind zwei Cursormarker, die Sie mit der Maus verschieben können (linksklicken und gedrückt halten). Die entsprechenden Werte für T1 und T2 und die zugehörigen Spannungswerte werden Ihnen im weißen Fensterbereich unter der Oszilloskop-Graphik angezeigt, ebenso die Zeitdifferenz. Auf diese Weise können Sie also — wie beim bekannten Digitaloszilloskop — Zeitdifferenzen (z.B. die Halbwertszeit der Kondensatorentladung) ausmessen.

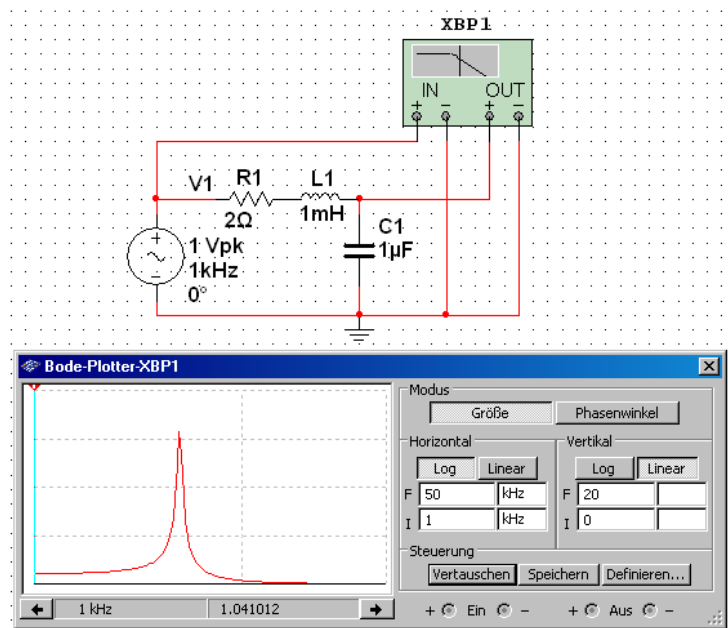
4.2. Frequenzgang und Resonanzkurve

Für die Analyse des Frequenzgangs verwenden Sie als Meßgerät den Bode-Plotter und als Signalquelle die AC_VOLTAGE. Die AC_VOLTAGE finden Sie in der Gruppe *Sources* (oder Klick auf das ganz linke Symbol *Quelle platzieren* in der Bauteilleiste), Untergruppe SIGNAL_VOLTAGE_SOURCES, Bauelement AC_VOLTAGE.

Das folgende Bild zeigt Ihnen ein Tiefpaßfilter, darunter den Bode-Plotter (zu öffnen durch Doppelklick auf das Symbol im Schaltplan). Stellen Sie sinnvolle Bereiche ein, insbesondere für den Frequenzbereich der Simulation! Starten Sie die Simulation wieder durch Klick auf das grünen Startdreieck in der Symbolleiste.



Das folgende Bild zeigt Ihnen einen Schwingkreis, darunter den Bode-Plotter mit einer Resonanzkurve. Stellen Sie sinnvolle Bereiche insbesondere für den Frequenzbereich der Simulation ein! Das F neben den Fenstern steht für *final* (also Endfrequenz), das I für *initial* (also Startfrequenz). Eine *lineare* Darstellung der y-Achse macht den Resonanzpeak besonders deutlich. Auch hier können Sie mit dem Vertauschen-Knopf die Darstellungsfarbe invertieren. Außerdem gibt es wieder einen Cursor, der Ihnen für jede Frequenz den Pegel in Dezibel (dB) anzeigt.



5. Speichern/Dokumentieren der Simulationsergebnisse

Hier gibt es zwei Möglichkeiten:

1. Graphisch: Klicken Sie zunächst im Oszilloskop-Fenster auf „vertauschen“. Damit stellen Sie den Hintergrund des Oszilloskopbildes von schwarz auf weiß, das ist besser beim Drucken (spart Tinte). Mit den Tasten *Strg + Druck* machen Sie eine Bildschirmkopie (screenshot), die Sie in Graphikprogrammen wie z.B. Paint (siehe Programme, Zubehör) laden, zuschneiden und für Ihr Protokoll abspeichern können. Nehmen Sie besser das bmp-Format und nicht jpg, denn jpg erzeugt je nach Kompressionsgrad Unschärfen im Bild.

Diese Methode ist einfach und man sieht alle Einstellungen des Oszilloskops. Bilden Sie daher immer das *gesamte* Oszilloskopfenster inklusive aller Knöpfe und Skaleneinstellungen ab, keinesfalls nur die Fläche, wo die Kurve abgebildet ist.

2. Wer die Simulationsergebnisse numerisch weiterverarbeiten möchte oder mit einem Programm wie z.B. Excel darstellen möchte, kann folgendermaßen vorgehen:
Menü Ansicht, Graphanzeige, Datei speichern unter..., als Textdatei (Tab-separiert). Hier werden die Simulationsergebnisse als lange Datentabelle abgespeichert.
3. Sie können auch Ausschnitte des Fensters kopieren mit dem *snipping-Tool*:
Start > Alle Programme > Zubehör > Snipping-Tool
Es öffnet sich ein Pop-up-Fenster, danach das Snipping-Tool-Fenster: Klicken Sie *Neu* an. Der Bildschirm ist grau, Sie sehen ein Fadenkreuz. Ziehen Sie mit der linken Maustaste ein Fenster auf, lassen Sie danach die linke Maustaste los. Mit dem Disketten-Symbol können Sie das Bild jetzt abspeichern.

IV. Versuchsprogramm I: Simulationen mit Multisim

1. Versuchsaufbau

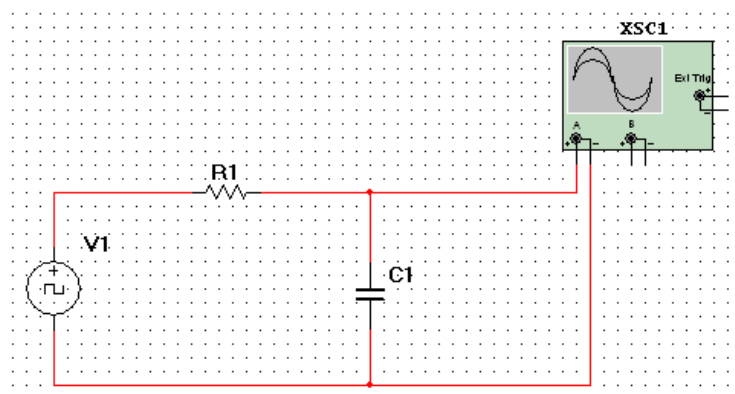
Im Gegensatz zu allen anderen Versuchen des Elektronikpraktikums gibt es diesmal keinen realen Versuchsaufbau. Alle Simulationen werden am Computer durchgeführt und ausgewertet.

Sie werden die meisten Schaltungen wiedererkennen, weil sie sie bei den vorangegangenen Versuchen schon aufgebaut haben.

2. Simulationen mit einfachen passiven Bauelementen

2.1. Auf- und Entladekurve eines RC-Kreises

Legen Sie folgenden Schaltplan an. Wählen Sie z.B. $R = 1 \text{ k}\Omega$ und $C = 1 \mu\text{F}$. Welche Halbwertszeit erwarten Sie?

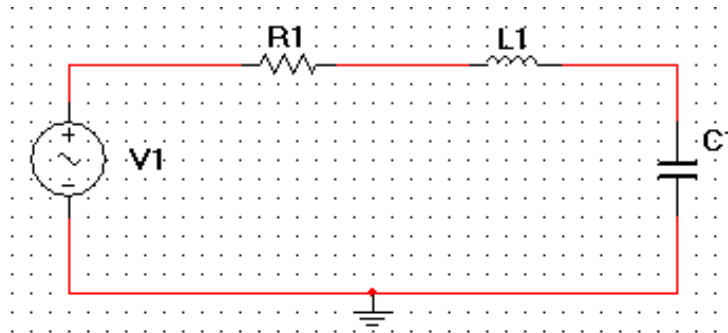


Verwenden Sie einen Rechteckgenerator und stellen Sie eine geeignete Frequenz ein. Simulieren Sie das Zeitverhalten des Ausgangssignals ($y(t)$ -Kurve).

2.2. Resonanzkurve eines RCL-Kreises

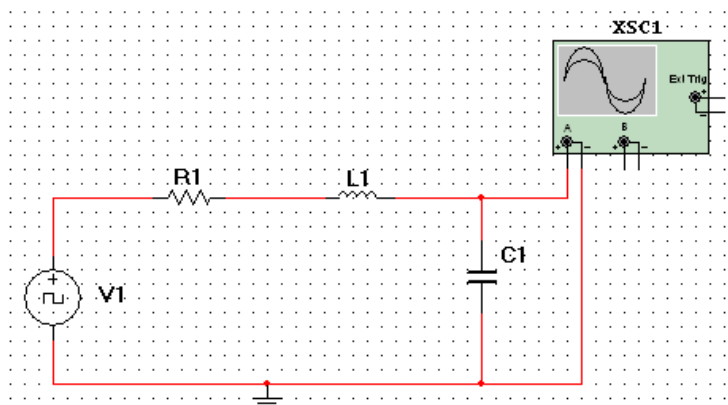
Zeichnen Sie folgenden Schaltplan. Als Signalquelle verwenden Sie die AC_VOLTAGE. Diese finden Sie in der Gruppe *Sources* (oder Klick auf das ganz linke Symbol *Quelle platzieren* in der Bauteilleiste), Untergruppe SIGNAL_VOLTAGE_SOURCES, Bauelement AC_VOLTAGE.

Wählen Sie z.B. $R = 2 \Omega$, $L = 1 \text{ mH}$, $C = 1 \mu\text{F}$. Welche Resonanzfrequenz erwarten Sie? Fügen Sie den Bode-Plotter hinzu.



2.3. Rechtecksignal am RCL-Kreises

Tauschen Sie den Sinusgenerator gegen einen Rechteckgenerator und beobachten Sie mit dem Oszilloskop die Überschwinger des Signals. Empfehlung: $R = 50 \Omega$, $L = 1,5 \text{ mH}$, $C = 100 \text{ nF}$, $f = 1 \text{ kHz}$.

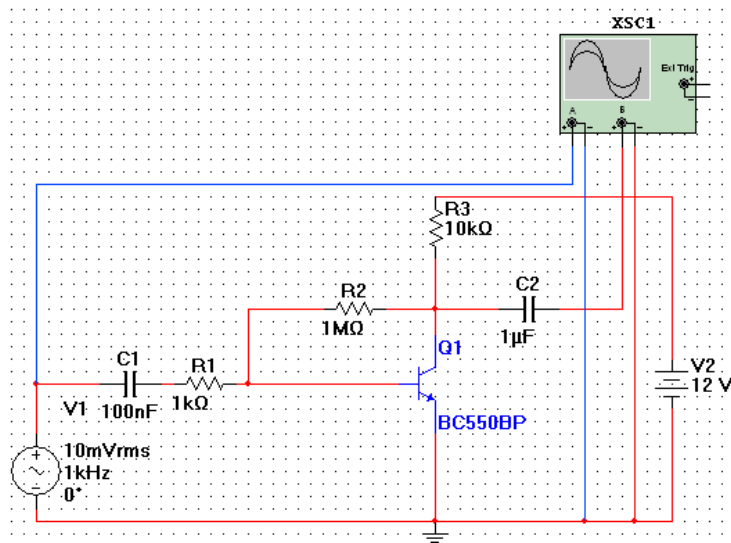


Untersuchen Sie die Einfluß des Widerstandes R auf die Form des Überschwingens. Was passiert bei größerem oder kleinerem R ?

Verwenden Sie danach wieder einen Sinusgenerator. Simulieren Sie den Frequenz- und Phasengang ($U(f)$ und $\varphi(f)$), d.h. lassen Sie einen Bode-Plot zeichnen. Untersuchen Sie die Einfluß des Widerstandes R auf die Breite der Resonanzkurve.

2.4. Transistorverstärker

Zeichnen Sie die folgende Schaltung eines einfachen Transistorverstärkers. Geben Sie an seinen Eingang eine kleine Sinusspannung und simulieren Sie die Verstärkung der Schaltung.



Wie groß ist der Verstärkungsfaktor? Wie ändert er sich, wenn Sie R2 oder R3 verändern? Welchen Sinn könnte R1 haben? (Wie sieht die Eingangskennlinie aus? Sie wollen eine Spannung verstärken, aber der Transistor verstärkt Ströme!)

Wie groß darf das Eingangssignal maximal sein, um ohne Verzerrungen verstärkt zu werden?

Beobachten Sie das Verhalten der Schaltung bei besonders niedrigen und besonders hohen Frequenzen. Welche Probleme treten dort auf?

3. Schaltungen mit dem Operationsverstärker

3.1. Nichtinvertierender Verstärker

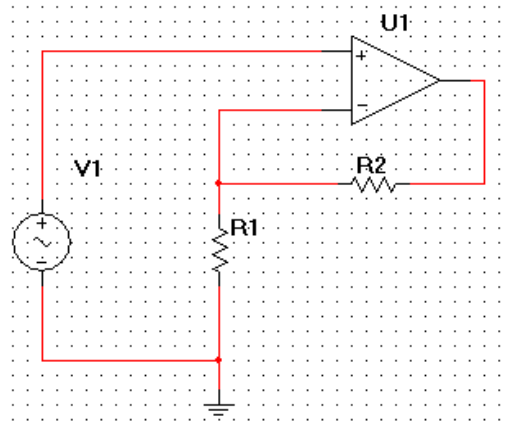
Zeichnen Sie die folgende Schaltung eines nichtinvertierenden Verstärkers.

Den Opamp finden Sie in der Gruppe *Analog*, Familie *ANALOG_VIRTUAL*, Bauteil *OPAMP_3T_VIRTUAL*. Das 3T bedeutet 3-Terminal, also 3 Anschlüsse, denn im Schaltplan fehlt die Versorgungsspannung des Operationsverstärkers. Dennoch nimmt das Ausgangssignal keine beliebig hohen Werte an. Die Versorgungsspannung ist nämlich bei den Eigenschaften des Bauteils eingestellt. Doppelklicken Sie auf das Verstärkersymbol und sehen Sie sich die Registerkarte *Wert* an!. Die unteren beiden Werte für den negativen und positiven Spannungshub leiten sich von der Versorgungsspannung ab.

Sie können aber auch das Bauteil *OPAMP_5T_VIRTUAL* nehmen, hier sind Versorgungsanschlüsse.

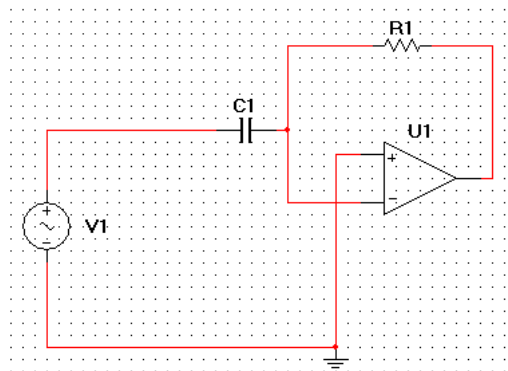
Realistischer ist aber, aus der Familie *OPAMP* eine echte Typenbezeichnung zu wählen, etwa den 741 oder den TL081, den Sie ja aus dem Praktikum kennen. (Es gibt 17 verschiedene Typen des TL081 aufgelistet, die sich durch die Buchstabenfolge nach der "081 unterscheiden; das sind aber nur verschiedene Gehäuseformen. Nehmen Sie also irgendeinen.)

Geben Sie an seinen Eingang eine kleine Sinusspannung und simulieren Sie die Verstärkung der Schaltung.



3.2. Differenzierer

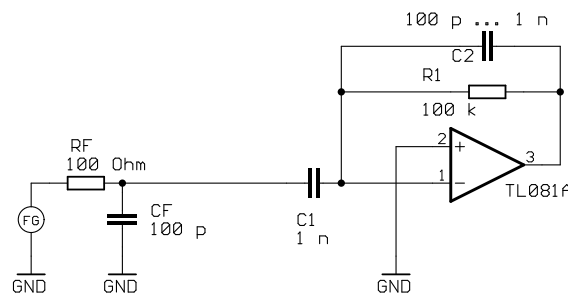
Zeichnen Sie die folgende Schaltung eines Differenzierers. Überlegen Sie sich, welche Größe R und C haben müssen bei einer bestimmten Frequenz.



Geben Sie an den Eingang verschiedene Signalformen (Sinus, Dreieck, Rechteck) und simulieren Sie die differenzierten Ausgangssignale der Schaltung. Sie finden die verschiedenen Generatoren alle in der Gruppe *Sources*, Familie *SIGNAL_VOLTAGE_SOURCES*, und zwar als *AC_VOLTAGE* (Sinus), *CLOCK_VOLTAGE* (Rechteck) und *TRIANGULAR_VOLTAGE* (Dreieck). Der Dreiecksgenerator ist zunächst als Sägezahn eingestellt, d.h. linearer Anstieg und sehr steiler Abfall. Doppelklicken Sie auf sein Schaltungssymbol, um die Parameter *Periodendauer* und *Abfallzeit* zu ändern. Wie müssen diese eingestellt sein, um eine Dreiecksspannung zu bekommen, d.h. gleiche Anstiegs- und Abfallzeit?

Alternativ können Sie als Funktionsgenerator auch den XFG2 aus der Instrumentenleiste wählen.

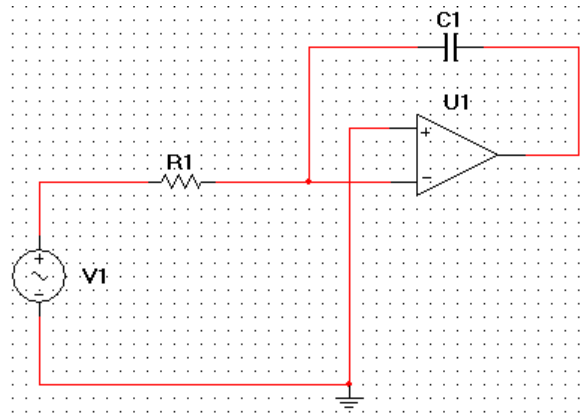
Hinweis: Die Funktionsgeneratoren sind in unseren Simulationen ideale Bauelemente, die unendlich steile Flanken besitzen. Das führt manchmal zu völlig chaotischen Schwingungen und damit absurden Ergebnissen. Abhilfe schafft hier, einen kleinen Tiefpaß (1 kΩ und 10 pF oder 100 Ω und 100 pF) unmittelbar hinter den Funktionsgenerator zu schalten, um realistische Flankensteilheiten zu bekommen. Zusätzlich kann es helfen, zum Rückkoppelwiderstand R1 des Differenzierers noch einen Kondensator parallelzuschalten, der den Frequenzbereich des Opamps einschränkt. Eine stabile Differenziererschaltung sieht dann z.B. wie folgt aus:



3.3. Integrierer

Zeichnen Sie die folgende Schaltung eines Integrierers. Überlegen Sie sich, welche Größe R und C haben müssen bei einer bestimmten Frequenz.

Geben Sie an den Eingang verschiedene Signalformen (Sinus, Dreieck, Rechteck) und simulieren Sie die integrierten Ausgangssignale der Schaltung.

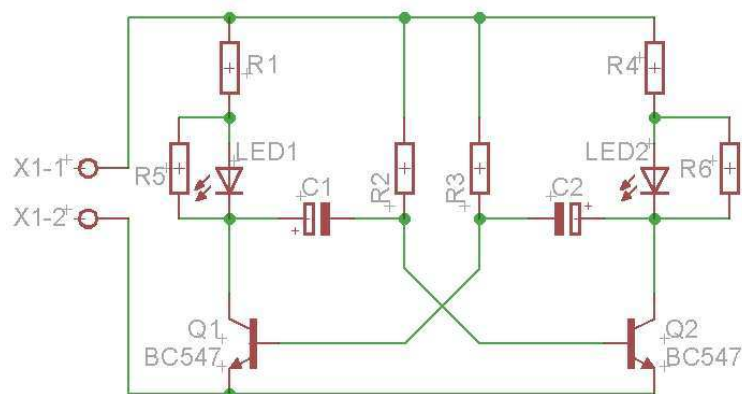


4. Ein Wechselblinker mit zwei LEDs

Bevor wir im zweiten Teil des Versuchs eine Leiterplatte entwickeln, wollen wir die zugehörige Schaltung simulieren. Es handelt sich um einen Wechselblinker mit zwei LEDs. Die Grundschiung des astabilen Multivibrators (AMV) besteht hier aus zwei Transistor-Schaltern, die gegenseitig über zwei Kondensatoren verbunden sind. Die Kondensatoren werden dabei immer wieder auf- und entladen und die LEDs im Kollektorzweig der Transistoren blinken abwechselnd.

Zeichnen Sie zunächst in unserem Simulationsprogramm Multisim die folgende Schaltung (wir zeigen Ihnen hier bereits den EAGLE-Schaltplan). Für Q1 und Q2 nehmen Sie den angegebenen BC547 oder einen ähnlichen NPN-Transistor. Für R2 und R3 nehmen Sie zunächst 100 k Ω , R1 und R4 sind 1 k Ω , R5 und R6 sind 10 k Ω . Für C1 und C2 experimentieren Sie mit verschiedenen Werten zwischen 10 nF und 100 μ F.

Da Sie sich unter Multisim keine blinkenden LEDs anzeigen lassen können, verbinden Sie die beiden Kollektoren der Transistoren mit jeweils einem Oszilloskopkanal (bezogen auf die Masseleitung, wo die Emitter sind) und sehen sich den Spannungsverlauf an. Beobachten Sie mit zwei weiteren Oszilloskopkanälen auch den Spannungsverlauf an den Basisanschlüssen der Transistoren. Als Versorgungsspannung (an X1) nehmen Sie 9 Volt.



V. Versuchsprogramm II: Entwurf einer Leiterplatte mit EAGLE

1. Aufbau und Produktion einer Leiterplatte

Nahezu alle elektronischen Schaltungen sind heutzutage auf Leiterplatten aufgebaut, man spricht auch von PCBs (von engl. printed circuit boards oder deutsch: gedruckte Schaltung). Dabei befinden sich auf einer etwas 1,5 mm dicken Isolierstoffplatte aus Hartpapier/Pertinax oder glasfaserverstärktem Kunststoff (Epoxidharz, FR4) auf einer oder beiden Seiten Bahnen aus Kupfer (Dicke typ. 35 μm , Breite verschieden, aber meist mind. 150 μm).

Diese Kupferbahnen werden produziert, in dem zunächst auf der Trägerplatte ein- oder beidseitig eine geschlossene Kupferfläche (typ. 35 μm Kupferfolie) aufgeklebt ist. Diese ist mit einem UV-Licht-empfindlichen Film beschichtet. Am Computer wird eine Anordnung von Kupferbahnen (Leiterbahnen) entworfen und auf Folie ausgedruckt, um mit den Folien den Film zu belichten. Nach Entwicklung der Filmschicht hat diese auf der Kupferfläche die Struktur der gewünschten Leiterbahnführung. Bringt man diese Platte nun in ein Ätzmittel (z.B. Eisen-III-Chlorid), so wird das Kupfer an den freien Stellen weggeätzt, während es an den durch den Film geschützten Bereichen verbleibt. Nach Entfernen der Filmreste mit einem Lösungsmittel und Bohren der Löcher (zum Montieren der Bauteile) ist die Leiterplatte fertig.

(Bei zweiseitigen Leiterplatten werden die Bohrungen noch galvanisch mit einer Kupferschicht versehen, mit sogenannten Durchkontaktierungen, damit Leiterbahnen von einer Seite elektrisch auf der anderen Seite weiterlaufen können. Da diese Galvanik eine geschlossene Kupferschicht benötigt, denn es müssen ja alle Bohrungen elektrisch einfach erreichbar sein, findet das Bohren und Galvanisieren vor dem Ätzen statt, wobei die Durchkontaktierungen natürlich vor dem Ätzmittel durch eine weitere strukturierte Filmschicht geschützt werden.)

2. Programmbeschreibung und Aufgabenstellung

Der Entwurf einer Leiterplatte findet in unserem Versuch mit dem Programm EAGLE statt, das es auch in einer vereinfachten Version zum Download gibt (siehe Link auf der Homepage des Elektronikpraktikums.)

Machen Sie sich zunächst mit dem Programm vertraut, indem Sie die *Kurzanleitung Leiterplattendesign mit EAGLE* durcharbeiten, die Sie unter dem entsprechenden Link auf der Homepage des Elektronikpraktikums unter Versuch EP5 finden. Die Bedienung wird Ihnen am Praktikumsnachmittag auch am PC gezeigt.

Zum Entwurf einer Leiterplatte gibt es zwei Arbeitsschritte:

2.1. Schaltungsentwurf: Zeichnen eines Schaltplans

Zuerst wird ein Schaltplan gezeichnet, in dem definiert wird, welche Bauteile verwendet und wie sie elektrisch miteinander verbunden sind. Nahezu alle Schaltpläne in den Versuchsanleitungen des Elektronikpraktikums sind mit EAGLE gezeichnet worden.

Ein Schaltplan besteht also aus Bauteilen (sogenannten *devices*), die an ihren Anschlüssen (*pins*) untereinander mit Linien (Netzen, engl. *nets*) verbunden sind. Im Schaltplan sind diese Bauteile durch ihre Schaltzeichen (*symbols*) vertreten.

Wenn auch eine Leiterplatte entworfen werden soll, ist es wichtig zu wissen, welches Gehäuse (*package*) das verwendete Bauteil hat, daher ist beim Einfügen des Bauteils in den Schaltplan nicht nur das richtige *symbol* auszuwählen, sondern auch das richtige zugehörige *package*.

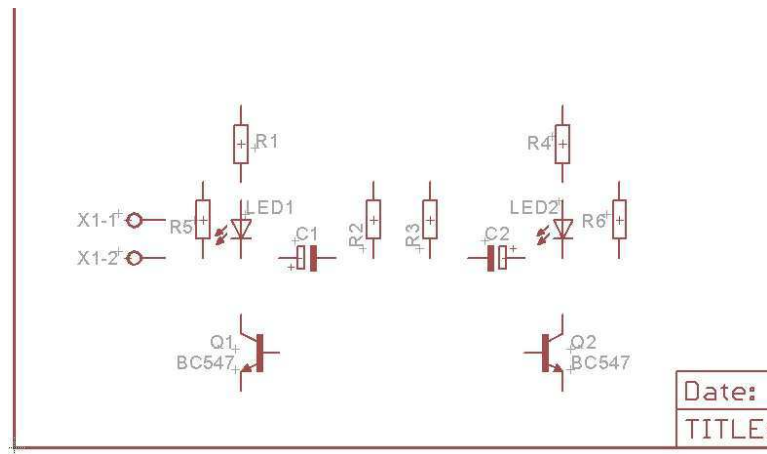
Sind alle Bauteile ausgewählt und im Schaltplan sinnvoll platziert, werden sie mit den Netzelementen verbunden. Eine Prüffunktion (ERC, electrical rule check) erlaubt dabei die Anzeige evtl. Fehler wie Kurzschlüsse oder fehlende Verbindungen.

Einzelheiten zur Bedienung des Programms finden Sie auf der Homepage des Elektronikpraktikums unter Versuch EP5 beim Link *Kurzanleitung Leiterplattendesign mit EAGLE*. Die Bedienung wird Ihnen am Praktikumsnachmittag auch am PC gezeigt.

Als Aufgabe sollen Sie die Schaltung eines Wechselblinkers mit zwei LEDs und zwei Transistoren sowie einigen Widerständen und Kondensatoren realisieren.

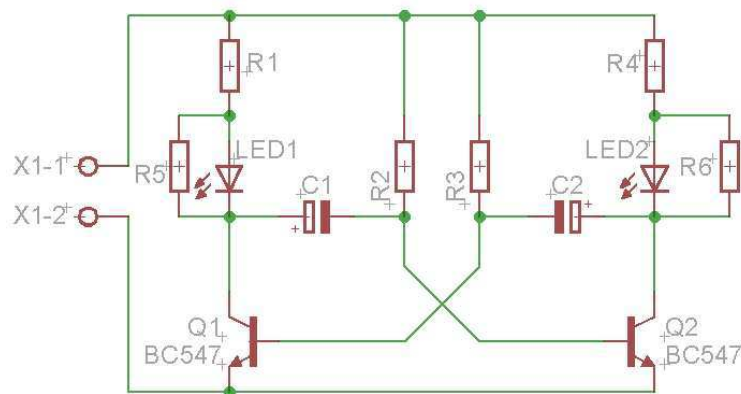
Starten Sie unter EAGLE zunächst den Schaltplan-Editor, holen Sie sich folgenden Bauteile (Funktion ADD) und platzieren Sie diese in etwa so wie unten gezeigt. Q1 ist gespiegelt (MIRROR), R und C sind gedreht (rechtsklick, wenn Bauteil am Mauscursor hängt). Beachten Sie, daß der Pluspol von C1 nach links, von C2 nach rechts zeigt! Den Zeichnungsrahmen (frame) legen Sie bitte auf dem Ursprungskreuz (Cursorposition 0/0) ab.

Bauteile	aus Bibliothekspfad (Library), Unterordner	Bauteil (Packagename)
(Zeichnungsrahmen)	frames	A4-SMALL-DOCFIELD
R1 ... R6	rcl, R-EU_	0204/7
C1, C2	rcl, CPOL-EU	E5-8,5
LED1, LED2	led, LED	LED5MM
Q1, Q2	transistor-npn, BC547*	BC547, TO92
X1-1 mit X1-2	con-wago-508	W237-02P (W237-132)



Wenn Sie mit der Funktion SMASH auf die Bauteile klicken, löst sich der Bauteilname vom Package, d.h. Sie können den Text (mit MOVE) einzeln anklicken, drehen und verschieben, damit es besser lesbar ist.

Mit der Funktion *net* verbinden Sie nun die Bauteile wie im folgenden Schaltplan. Achten Sie darauf, diese grünen Verbindungslinien genau an den Enden der roten Bauteilanschlüsse beginnen und enden zu lassen. Wenn Sie sich den Layer 93 (Pins) zuschalten, sehen Sie grüne Kreise, die Ihnen diesen Anschlußbereich verdeutlichen.



Mit der Funktion ERC (electrical rule check) prüfen Sie den Schaltplan auf Fehler, z.B. fehlende Verbindungen.

2.2. Leiterplattenentwurf: Zeichnen eines Layouts

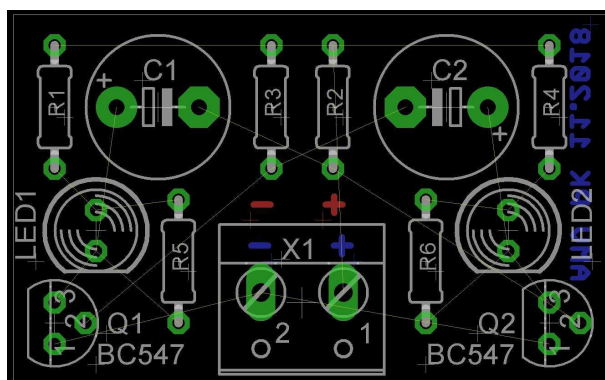
Ist der Schaltplan vollständig und fehlerfrei, können Sie mit dem Schaltplanentwurf beginnen. Dazu wechseln Sie von der Schaltplanansicht auf die Layoutansicht.

Sie finden zunächst eine leere Leiterplatte vor (Rechteck mit 10 cm Breite und 8 cm Höhe), und links daneben verstreut die Bauteile. Das sieht in etwa so aus:



Reduzieren Sie die Größe der Leiterplatte auf etwa 37 mm Breite und 23 mm Höhe (1450 mil \times 900 mil oder 1,45 inch \times 0,9 inch). Dazu verschieben Sie mit der Move-Funktion die rechte und obere weiße Dimensionslinie. Links oben bei der Menüleiste sehen Sie die aktuellen Cursor-Koordinaten.

Ordnen Sie die Bauteile in etwa so an wie auf dem folgenden Bild. Diese Anordnung orientiert sich an dem Schaltplan und ist für das spätere Layout günstig. Beachten Sie: Q1 ist *nicht* gespiegelt (Bauteile kann man in der Regel nicht spiegeln!). Achten Sie auf die Orientierung der Pluspole bei C1 und C2. Die beiden LEDs werden so orientiert, daß die flache Seite am Gehäuse unten liegt. Bei den Widerständen drehen Sie diese evtl. um 180 Grad, damit die Luftlinien günstig liegen, d.h. kurze und möglichst kreuzungsfreie Linie zum nächsten Verbindungspunkt.



Sie sehen im Layout zahlreiche gelbe Linien, sogenannte Luftlinien, die wie Gummibänder zwischen die Anschlüsse (*pads*) der Bauteilgehäuse gespannt sind. Anlicken einer solchen Luftlinie bei eingeschalteter Verlege-Funktion (*route*) läßt am Mauszeiger eine blaue oder rote Linie erscheinen, die an dem Pad beginnt, das dem Mauszeiger am nächsten war. Dabei sind rote Linien die Kupferbahnen auf der Oberseite (Bauteilseite) der Leiterplatte, die blauen gehören zur Unterseite (Lötseite). Mit Linksklick werden die Bahnen stückweise auf der Platte definiert, Rechtsklick ändert dabei die Laufrichtung und Mittelklick wechselt zwischen rot und blau, wechselt also die Seite (*layer*), wobei automatisch eine Durchkontaktierungsbohrung (*via*) gesetzt wird.

Eine Prüffunktion (DRC, design rule check) erlaubt dabei die Anzeige evtl. Fehler wie Kurzschlüsse oder zu nahe oder fehlende Verbindungen.

Mit der Funktion TEXT können Sie sich bei der Buchse X1 eine Markierung + und - für die Batteriepolung anbringen (siehe in Abbildung oben), außerdem sollten Sie (mindestens auf der Unterseite, also blau, bottom) Name und Datum anbringen (z.B. Müller 12.2019) evtl. auch noch das Kürzel AMV (astabiler Multivibrator) oder das Wort *Blinker*. Mit *change size* können Sie die Textgröße ändern.

Einzelheiten zur Bedienung des Programms finden Sie auf der Homepage des Elektronikpraktiums unter Versuch EP5 beim Link *Kurzanleitung Leiterplattendesign mit EAGLE*. Die Bedienung wird Ihnen am Praktikumsnachmittag auch am PC gezeigt.

Falls Sie sich vorab schon die freeware-Version des Programms ansehen, finden Sie im Download-Paket auch eine Kurzanleitung (tutorial).

3. Freiwillig, bei Interesse: Bestücken der realen Leiterplatte

Wenn Sie Interesse haben, lassen wir die so von Ihnen entworfene Leiterplatte herstellen und Sie können sie nach rund zwei Wochen an einem passenden Termin bei uns selbst bestücken (Bauteile einlöten) und mitnehmen. Die Bauteile stellen wir zur Verfügung. Bitte geben Sie uns dann frühzeitig Rückmeldung, welche Farben die Leuchtdioden (LEDs) haben sollen und mit welcher Frequenz sie blinken sollen. Die unbestückte und die fertige Leiterplatte sieht dann z.B. so aus:

