



Übungsblatt 1 (praktisch)

Grundbauelemente und Gatter

Version für die Online-Lehre

Vorlesung: Technische Grundlagen der Informatik 1, Sommersemester 2020

Dozent: Dr.-Ing. Kristian Ehlers

Ziel dieser Übung

Ziel dieses Versuchs ist die Einführung in den digitalen Umgang mit den grundlegenden Bauelementen der Digitaltechnik sowie Erlernen des Messens von Spannungen mit einem digitalen Messgerät (Multimeter) in Simulation. Zuerst werden elementare Digitalschaltungen in RTL-Logik untersucht. Durch eingehende Messungen wird das Verständnis für den Aufbau und die Funktion der Schaltungen vertieft. Den Abschluss bildet die Betrachtung von integrierten Digitalbauelementen wie TTL-Gattern, die in der Digitaltechnik eine wichtige Rolle spielen und zu funktionalen Schaltnetzen kombiniert werden.

Trotz der rein simulierten Durchführung im Rahmen der Online-Lehre, werden die wichtigsten im Praktikum vorkommenden Bauteile beschrieben, um den Bezug zu der späteren realen Anwendung und den bereitgestellten Tutorials beizubehalten.

1. Umfeld des Versuchs

Die folgenden Darstellungen beziehen sich nur auf die für die Versuche unbedingt notwendigen Grundlagen, wobei Grundkenntnisse elektrotechnischer Zusammenhänge vorausgesetzt werden. Es erfolgt eine Zusammenfassung der wichtigsten in der Vorlesung vorgestellten Gesetzmäßigkeiten mit der ein oder für den Versuch hilfreichen Ergänzung.

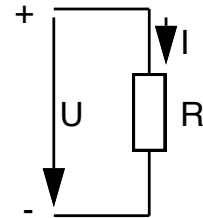
1.1. Elektrotechnische Grundlagen

1.1.1 Ohmsches Gesetz

Fließt durch einen Widerstand R der Strom I , so fällt an dem Widerstand eine Spannung U ab. Der Strom I , die Spannung U und der Widerstand R sind voneinander abhängig. Der Zusammenhang zwischen diesen Größen kann mit Hilfe des Ohmschen Gesetzes folgendermaßen beschrieben werden:

$$I = \frac{U}{R}$$

Spannungspfeile für positive Spannungen zeigen immer von + nach – (technische Stromrichtung). Strompfeile zeigen die Richtung des positiven Stromes an.



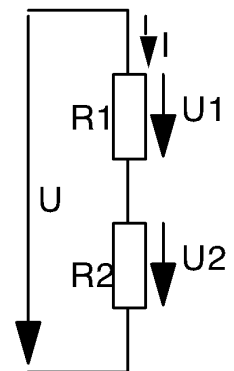
1.1.2 Spannungsteiler

Ein Spannungsteiler besteht aus mindestens zwei in Reihe geschalteten Widerständen (R_1 und R_2). Wird diese Anordnung an die Gesamtspannung U angeschlossen, so fallen an den Widerständen die Teilspannungen U_1 und U_2 ab. Das Verhältnis der beiden Spannungen entspricht dem Verhältnis der Widerstände und kann folgendermaßen beschrieben werden:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{R_1}{R_2} \quad U = U_1 + U_2$$

Das Verhältnis einer Teilspannung zur Gesamtspannung entspricht dem Verhältnis des Teilwiderstands zum Gesamtwiderstand:

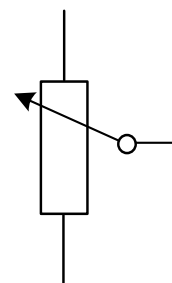
$$\frac{U_2}{U} = \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$



1.1.3 Potentiometer

Ein Potentiometer (Schaltsymbol rechts) besteht aus einem Festwiderstand (Kohlebahn) und einem Schleifer, welcher diesen Festwiderstand in zwei Teile teilt. Je nach Position des Schleifers ändern sich das Teilungsverhältnis der Widerstände und somit auch das Teilungsverhältnis des Spannungsteilers.

Wenn nicht anders vorgegeben, handelt es sich im Versuch immer um ein Potentiometer mit einem Gesamtwiderstand von 10 kΩ.



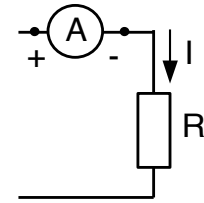
Halten Sie bitte für die Online-Besprechung dieser Übung mit Ihrem Tutor sämtliche von Ihnen angefertigten Lösungen zum Vorführen (für den Notfall auch auf ihrem Rechner) bereit, indem Sie diese entsprechend der Hinweise auf Seite 18 (unten) in Ihrem home-Verzeichnis der virtuellen Maschine hochladen. Laden Sie die im Moodle geforderten Lösungen spätestens einen Tag vor Ihrem Termin mit Ihrem Tutor zudem im Moodle hoch und evaluieren Sie diese!

1.2. Messen von Strom und Spannung

Als Beispiel dient hier die Messung von Strom und Spannung an einem Widerstand.

Für die Messung eines Stroms wird ein Amperemeter, wie in der Abbildung rechts dargestellt, in Reihe zu einem Stromkreis eingebracht.

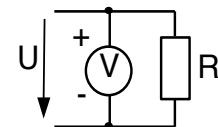
Zur Messung einer Spannung wird ein Voltmeter, wie in der Abbildung rechts dargestellt, parallel in einen Stromkreis eingebracht.



Strommessung

Beim Ablesen der Messwerte ist die Polung des Messgerätes zu beachten.

Anmerkung: Durch die Innenwiderstände der Messgeräte entstehen prinzipiell Messfehler, die in unseren Betrachtungen aufgrund ihrer Geringfügigkeit vernachlässigbar sind.



Spannungsmessung

Bei bekanntem Widerstandswert lässt sich durch die Messung einer Größe (Strom oder Spannung) die andere mit Hilfe des Ohmschen Gesetzes berechnen. Dieses Vorgehen wird z. B. angewendet, wenn nur Spannungen gemessen werden können, aber der Strom von Interesse ist.

1.3. Das Netzgerät

Das Netzgerät dient zur Spannungsversorgung der Schaltungen. Für die gesamte Praktische Übung wird ein 5 V Festspannungsnetzgerät, wie es in der rechten Abbildung beispielhaft zu sehen ist, verwendet. Diese Spannungsquelle ist stabilisiert, d.h. die abgegebene Spannung wird unabhängig von der Belastung konstant gehalten. Im Überlastfall (der entnommene Strom ist höher als 500 mA) schaltet das Gerät ab und es leuchtet die rote LED oberhalb des Achtung Symbols.

Die 5 V Versorgungsspannung wird an den beiden 4-mm-Buchsen VCC und GND entnommen. Die Buchsen Tx und Rx sind im Rahmen dieser Übungen irrelevant.



Halten Sie bitte für die Online-Besprechung dieser Übung mit Ihrem Tutor sämtliche von Ihnen angefertigten Lösungen zum Vorführen (für den Notfall auch auf ihrem Rechner) bereit, indem Sie diese entsprechend der Hinweise auf Seite 18 (unten) in Ihrem home-Verzeichnis der virtuellen Maschine hochladen. Laden Sie die im Moodle geforderten Lösungen spätestens einen Tag vor Ihrem Termin mit Ihrem Tutor zudem im Moodle hoch und evaluieren Sie diese!

1.4. Das Multimeter

Ein Multimeter, wie es beispielhaft in Abbildung 1 gezeigt ist, wird in den hiesigen Versuchen **nur zur Messung von Spannungen** eingesetzt. Wo Ströme zu ermitteln sind, muss ein separater (bekannter) Messwiderstand in die Schaltung eingefügt und der Strom unter Ausnutzung des Ohmschen Gesetzes ermittelt werden. Die Bedienung eines Multimeters ist vielen Fällen ähnlich. Mit dem Drehschalter wird zunächst der gewünschte Gleichspannungs-Messbereich ausgewählt. Zwei entsprechend beschriftete Buchsen verbinden das Multimeter mit dem Versuchsaufbau (V - COM). Es ist natürlich darauf zu achten, die Buchsen für die Spannungsmessung (V – COM) zu verwenden!

Wichtig: Mit Messgeräten (und natürlich auch allen anderen Geräten) ist immer vorsichtig umzugehen und der eingestellte Messbereich vor dem Integrieren in die Schaltung zu überprüfen. Bei Messungen muss immer mit dem größtmöglichen Messbereich begonnen werden, da eine falsche Einstellung das Messgerät zerstören könnte!



Abbildung 1: Bedienungselemente eines typischen Multimeters

1.5. Steckbrett

Für die in den Versuchen aufzubauenden Schaltungen wird ein Stecksystem bestehend aus Steckbrett und Bauelementen verwendet. Zur Aufnahme von steckbaren Bauelementen verfügt das Steckbrett über ein gitterförmiges Raster von 4 mm-Buchsen. Zwischen zwei direkt benachbarten 4 mm-Buchsen befinden sich zusätzlich je zwei 2 mm-Buchsen. Diese sind bereits mit den direkt benachbarten 4 mm Buchsen gemäß Abbildung 2 leitend verbunden. Zusätzlich sind alle Buchsen der obersten Reihe und alle Buchsen der untersten Reihe miteinander verbunden (durch eine weiße Linie auf dem Stecksystem angedeutet). Diese zwei Reihen eignen sich daher besonders zur Spannungsversorgung von Schaltungen. Es sollte die obere Reihe für +5 V und die untere für die Masse (GND) genutzt werden.

Halten Sie bitte für die Online-Besprechung dieser Übung mit Ihrem Tutor sämtliche von Ihnen angefertigten Lösungen zum Vorführen (für den Notfall auch auf ihrem Rechner) bereit, indem Sie diese entsprechend der Hinweise auf Seite 18 (unten) in Ihrem home-Verzeichnis der virtuellen Maschine hochladen. Laden Sie die im Moodle geforderten Lösungen spätestens einen Tag vor Ihrem Termin mit Ihrem Tutor zudem im Moodle hoch und evaluieren Sie diese!

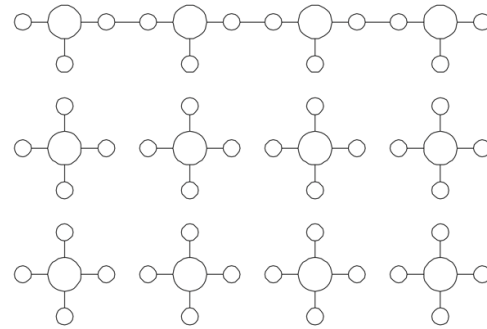
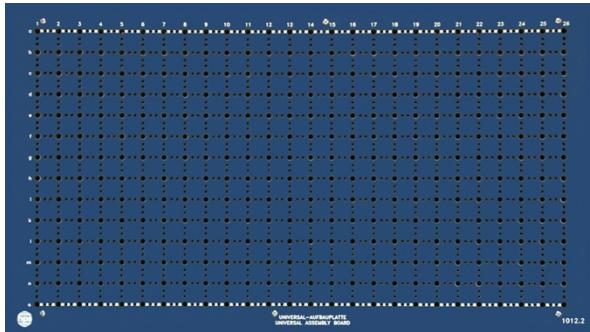


Abbildung 2: Steckbrett (links) und prinzipieller Aufbau (rechts)

1.6. Transistor (Bipolartransistor)

Der Transistor ist ein Bauelement mit drei Elektroden. Er dient zum Verstärken oder Schalten eines Signals. Bei Bipolartransistoren gibt es pnp- und npn-Typen. Abbildung 3 zeigt die zugehörigen Schaltsymbole.

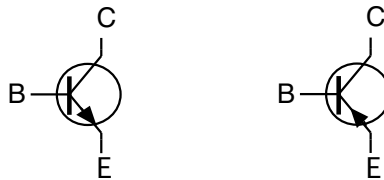


Abbildung 3: Symbol des npn- (links) und pnp-Transistors (rechts), Transistorgehäuse

Die Anschlüsse des Transistors heißen Basis (B), Emitter (E) und Kollektor (C). Abbildung 4 zeigt die Polung eines npn-Transistors im „normal leitenden Betrieb“, auf den sich auch alle weiteren Beschreibungen beziehen.

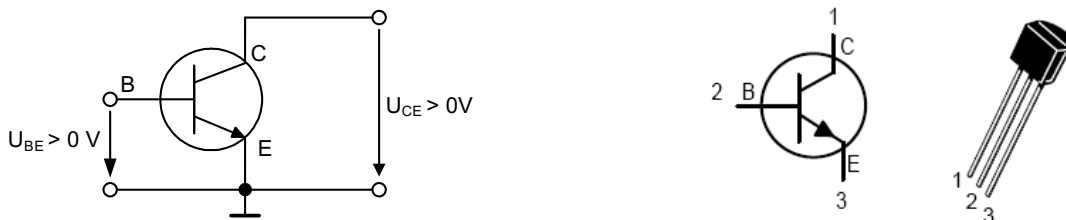


Abbildung 4: Polung eines npn-Transistors (links) und Korrespondenz der Anschlüsse des Bauteils zum Transistor (rechts)

Das Hauptmerkmal eines Transistors ist, dass der fließende Kollektorstrom I_C ein bestimmtes Vielfaches des Basisstroms I_B ist. Das Verhältnis von $\frac{I_C}{I_B}$ wird Gleichstromverstärkung β genannt. Diese Kenngröße beschreibt das statische Verhalten des Transistors. Es handelt sich bei dem Bipolartransistor also um ein stromgesteuertes Bauteil (wenn ein Strom von der Basis zum Emitter fließt, dann kann auch ein Strom vom Kollektor zum Emitter fließen). Genauer wird das Verhalten durch Kennlinienfelder beschrieben, welche dem Datenblatt entnommen werden können. Im Betrieb des Transistors als Schalter genügt jedoch die Betrachtung des beschriebenen statischen Verhaltens.

Halten Sie bitte für die Online-Besprechung dieser Übung mit Ihrem Tutor sämtliche von Ihnen angefertigten Lösungen zum Vorführen (für den Notfall auch auf ihrem Rechner) bereit, indem Sie diese entsprechend der Hinweise auf Seite 18 (unten) in Ihrem home-Verzeichnis der virtuellen Maschine hochladen. Laden Sie die im Moodle geforderten Lösungen spätestens einen Tag vor Ihrem Termin mit Ihrem Tutor zudem im Moodle hoch und evaluieren Sie diese!

2. LED

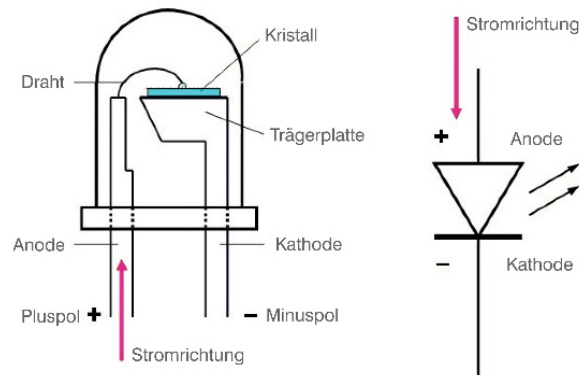


Abbildung 5: Aufbau einer LED

Eine Leuchtdiode (LED, Light-Emitting Diode, siehe Abbildung 5: Aufbau einer LED) ist ein Halbleiterbauteil welches nur in eine Richtung, der sogenannten Flussrichtung, den Stromfluss zulässt. Die gegensätzliche Stromrichtung wird Sperrrichtung genannt, da der Strom nicht fließen kann.

Die Anschlüsse der LED werden Anode und Kathode genannt. In Flussrichtung wird der Pluspol (+) der Spannungsquelle an die Anode und der Minuspol (-) an die Kathode angelegt. Dadurch fließt nun ein Strom durch das Halbleitermaterial und die LED strahlt Licht aus. Die Leuchtstärke steigt mit Erhöhung des Stromes an. Die in diesem Versuch verwendeten LEDs strahlen Licht aus, welches im sichtbaren Farbspektrum liegt. In Fernbedienungen werden beispielsweise LEDs verwendet, welche Infrarotlicht ausstrahlen, welches für Menschen unsichtbar ist.

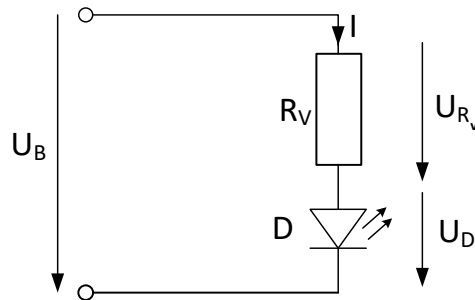
Eine LED hat im Gegensatz zu einem Ohmschen Widerstand keinen festen Widerstandswert. Der Wert des Widerstandes ist hingegen von der Spannung abhängig. Zur einfacheren Handhabung von LEDs wird deshalb ein Sollstrom I_F und ein Maximalstrom I_{max} im Datenblatt angegeben. Wird der Sollstrom I_F überschritten, nimmt die Lebensdauer der LED ab, weil mehr Wärme erzeugt wird. Beim Überschreiten des zulässigen Maximalstromes I_{max} ist die LED in kurzer Zeit kaputt.

Versuchsdurchführung

Die im Praktikum eingesetzten LEDs sind eine bunte Mischung aus Standard-LEDs mit einem Sollstrom I_F von 10 – 20 mA. Da das Netzteil eine Spannung von 5 V und einen Strom von 500 mA liefern kann, muss der Strom I durch die LED gemäß der nachfolgenden, durch Sie aufzubauenden Schaltung durch einen Vorwiderstand $R_V = 220\Omega$ begrenzt werden.

Um diese Übung durchzuführen, wird die Simulationsumgebung LTspice (Verlinkung und Tutorial im Moodle) verwendet. Laden Sie die im Moodle für Sie vorbereitete Schaltung dieses Versuchs und nehmen Sie die entsprechenden Messungen vor.

Halten Sie bitte für die Online-Besprechung dieser Übung mit Ihrem Tutor sämtliche von Ihnen angefertigten Lösungen zum Vorführen (für den Notfall auch auf ihrem Rechner) bereit, indem Sie diese entsprechend der Hinweise auf Seite 18 (unten) in Ihrem home-Verzeichnis der virtuellen Maschine hochladen. Laden Sie die im Moodle geforderten Lösungen spätestens einen Tag vor Ihrem Termin mit Ihrem Tutor zudem im Moodle hoch und evaluieren Sie diese!



Messen Sie zunächst die Spannungen U_{R_V} und U_D , welche am Widerstand R_V bzw. der Diode D abfallen mit dem Multimeter. Welche Beziehung lässt sich zwischen U_B , U_R und U_D feststellen? Wie nennt man eine solche Schaltung auch?

Berechnen Sie nun mit dem Ohmschen Gesetz den Strom I , welcher durch den Ohmschen Widerstand R_V sowie durch die Diode D fließt.

Berechnen Sie anschließend nach dem Ohmschen Gesetz den aktuellen Widerstand R_D der Diode. Wie hoch wäre ungefähr der Strom durch die Diode, wenn man die 5 V des Netzteils direkt an die LED angelegt hätte? Verwenden Sie für Ihre Abschätzung den ausgerechneten Widerstand R_D . Was würde mit der LED aller Voraussicht nach passieren?

Hinweis: Eine Diode ist ein Bauteil, welches im Gegensatz zu einem Ohm'schen Widerstand keinen konstanten Widerstand R_D hat. Es handelt sich bei dieser Rechnung dementsprechend nur um eine sehr grobe Abschätzung.

3. Fan-Out und Störspannungsabstand

Wesentliches Merkmal der digitalen Verknüpfungstechnik ist, dass hier nicht analoge Spannungswerte sondern binäre Signale betrachtet werden. Es interessiert nur noch, ob eine Spannung U größer oder gleich als ein vorgegebener Schwellenwert U_H ($U \geq U_H$) oder kleiner gleich als ein vorgegebener Schwellenwert U_L ($U \leq U_L$) ist, mit $U_L < U_H$. Die Zuordnung zwischen Spannungswerten und Signalen wird geeignet festgelegt. Eine übliche Zuordnung teigt nachfolgende Tabelle.

Spannung	Signal	Pegelangabe
$U \leq U_L$	0	L (Low)
$U_L < U < U_H$	undefiniert	Undefiniert
$U \geq U_H$	1	H (High)

Wie groß die Pegel U_L und U_H sind, hängt ganz von der verwendeten Schaltungstechnologie ab. Um die Pegel eindeutig interpretieren zu können, sollen Spannungen U zwischen U_L und U_H nicht auftreten. Abbildung 7 enthält die Pegeldefinitionen für übliche Technologien. Aus ihr lässt sich der Störspannungsabstand als eine wichtige Größe für TTL-Gatter ableiten. Er gibt an, wie groß die Amplitude einer Störspannung im schlimmsten Fall (worst case) sein darf, ohne dass dadurch eine fehlerhafte logische Funktion der Schaltung hervorgerufen wird. Dieser Störspannungsabstand wird jeweils aus den Differenzen $S_{Low} = (U_{eL,max} - U_{aL,max})$ und $S_{High} = (U_{aH,min} - U_{eH,min})$ bestimmt.

Parameter ($U_b = 5V$)	74 TTL	74LS TTL	74ALS TTL	74HC CMOS	74HCT CMOS
$U_{eH,min}$	2.0 V	2.0 V	2.0 V	3.15 V	2.0 V
$U_{eL,max}$	0.8 V	0.8 V	0.8 V	1.35 V	0.8 V
$U_{aH,min}$	2.4 V	2.7 V	2.7 V	3.98 V	3.98 V
$U_{aL,max}$	0.4 V	0.4 V	0.4 V	0.26 V	0.26 V
$I_{eH,max}$	40 μA	20 μA	20 μA	1 μA	1 μA
$I_{eL,max}$	1.6 mA	400 μA	100 μA	1 μA	1 μA
$I_{aH,max}$	400 μA	400 μA	400 μA	4 mA	4 mA
$I_{aL,max}$	16 mA	8 mA	4 mA	4 mA	4 mA
Fan-Out					
S_{Low}					
S_{High}					

Abbildung 7: Pegeldefinitionen und Stromangaben für verschiedene Technologien

Halten Sie bitte für die Online-Besprechung dieser Übung mit Ihrem Tutor sämtliche von Ihnen angefertigten Lösungen zum Vorführen (für den Notfall auch auf ihrem Rechner) bereit, indem Sie diese entsprechend der Hinweise auf Seite 18 (unten) in Ihrem home-Verzeichnis der virtuellen Maschine hochladen. Laden Sie die im Moodle geforderten Lösungen spätestens einen Tag vor Ihrem Termin mit Ihrem Tutor zudem im Moodle hoch und evaluieren Sie diese!

Beim Mischen der verschiedenen Technologien kann es durch die unterschiedlichen Pegeldefinitionen zu Komplikationen kommen, wenn der Störspannungsabstand negativ wird. Neben den technologischen Realisierungen kann sich auch die Bezugsspannung $U_b = 5\text{ V}$ (bei TTL/CMOS) auf beispielsweise 1.8 V , 2.5 V oder 3.3 V (bei CMOS) ändern. Der Einplatinencomputer Raspberry Pi verwendet beispielsweise einen 3.3 V CMOS Pegel und der Mikrocontroller Arduino UNO einen 5 V Pegel. Verbindet man diese beiden Komponenten miteinander, so müssen folgende Aspekte berücksichtigt werden:

	$U_{eL,max} \geq U_{aL,max}$	$U_{eH,min} \leq U_{aH,min}$	$U_{eH,max} \geq U_{aH,max}$
Arduino → Raspberry Pi	$0.8\text{ V} \geq 0.9\text{ V}$	$2\text{ V} \leq 4.2\text{ V}$	$3.3\text{ V} \geq 5\text{ V}$
Raspberry Pi → Arduino	$1.5\text{ V} \geq 0.5\text{ V}$	$3\text{ V} \leq 2.4\text{ V}$	$5\text{ V} \geq 3.3\text{ V}$

Zum Anpassen der unterschiedlichen Pegel muss also ein sogenannter Pegelwandler verwendet werden, damit die 5 V Pegel vom Arduino den Raspberry Pi nicht beschädigen und auch die Grenzen $U_{aL,max}$ vom Arduino sowie $U_{aH,min}$ vom Raspberry Pi noch den definierten Pegeln entsprechen.

Ein weiteres wichtiges Merkmal digitaler Gatter ist die Ausgangsbelastbarkeit, der so genannte Fan-Out. Diese Größe gibt an, mit wie vielen Gattern gleichen Typs der Ausgang des Gatters belastet werden darf. Dabei gilt folgende Gleichung:

$$Fan - Out = \min \left\{ \left\lfloor \frac{I_{aL}}{I_{eL}} \right\rfloor, \left\lfloor \frac{I_{aH}}{I_{eH}} \right\rfloor \right\}$$

mit:

- I_{eH} - Maximale Stromaufnahme des Eingangs, wenn High-Pegel anliegt
- I_{eL} - Maximale Stromaufnahme des Eingangs, wenn Low-Pegel anliegt
- I_{aH} - Maximale Strombelastbarkeit des Ausgangs, bei High-Pegel
- I_{aL} - Maximale Strombelastbarkeit des Ausgangs, bei Low-Pegel

Aufgabe

Bestimmen Sie nun den Störspannungsabstand sowie den Fan-Out für die in Abbildung 7 gegebenen Technologien und tragen Sie diese in die Tabelle aus Abbildung 7 ein.

Halten Sie bitte für die Online-Besprechung dieser Übung mit Ihrem Tutor sämtliche von Ihnen angefertigten Lösungen zum Vorführen (für den Notfall auch auf ihrem Rechner) bereit, indem Sie diese entsprechend der Hinweise auf Seite 18 (unten) in Ihrem home-Verzeichnis der virtuellen Maschine hochladen. Laden Sie die im Moodle geforderten Lösungen spätestens einen Tag vor Ihrem Termin mit Ihrem Tutor zudem im Moodle hoch und evaluieren Sie diese!

4. Gatter in RTL-Technik

Der Bipolartransistor wird bei der Resistor-Transistor-Logic (RTL) als Schalter eingesetzt. In den folgenden beiden Versuchen soll das reale Verhalten eines Transistors als Schalter und als ein Gatter mit zwei Eingängen näher untersucht werden.

4.1. Transistor als Schalter (Inverter)

Ein Transistor als Schalter wird wie in Abbildung 8 aufgebaut und arbeitet nur mit zwei Betriebszuständen (Ein und Aus). Durch die Festsetzung des Eingangswiderstandes R_e wird auch der Basisstrom I_B in Abhängigkeit von der Eingangsspannung U_e festgelegt (Ohmsches Gesetz). Er muss hoch genug sein um den Transistor bei HIGH-Pegel vollständig zu schalten, darf jedoch nicht so groß sein, dass der Transistor zu warm wird. Auch der Kollektorstrom I_C muss durch einen Arbeitswiderstand R_a begrenzt werden, damit der Transistor nicht zu warm wird. Wählt man den Widerstand hingegen zu groß, wird die maximal zulässige Stromentnahme am Ausgang zu klein. Für den in diesem Praktikum verwendeten Transistor (BC546B) bilden $R_e = 10\text{ k}\Omega$ und $R_a = 1\text{ k}\Omega$ geeignete Werte (siehe Vorlesung). Der folgende Versuch soll nun die Schaltschwellen der Spannung U_e für HIGH- und LOW-Pegel untersuchen.

Vorbereitungsaufgabe

Bestimmen Sie den Fan-Out des Inverters aus Abbildung 8 für TTL-Pegel (74 TTL aus Abbildung 7) durch eine Abschätzung. Betrachten Sie dazu den Transistor als idealen Schalter und benutzen Sie zur Berechnung des Fan-Out lediglich die Ströme I_{eH} und I_{aH} sowie die Spannungen $U_{aH,min}$ und U_b .

Hinweis: Ist der Transistor gesperrt wird der Stromfluss ausschließlich durch R_a limitiert, der Eingangsstrom durch R_e .

Halten Sie bitte für die Online-Besprechung dieser Übung mit Ihrem Tutor sämtliche von Ihnen angefertigten Lösungen zum Vorführen (für den Notfall auch auf ihrem Rechner) bereit, indem Sie diese entsprechend der Hinweise auf Seite 18 (unten) in Ihrem home-Verzeichnis der virtuellen Maschine hochladen. Laden Sie die im Moodle geforderten Lösungen spätestens einen Tag vor Ihrem Termin mit Ihrem Tutor zudem im Moodle hoch und evaluieren Sie diese!

Versuchsdurchführung

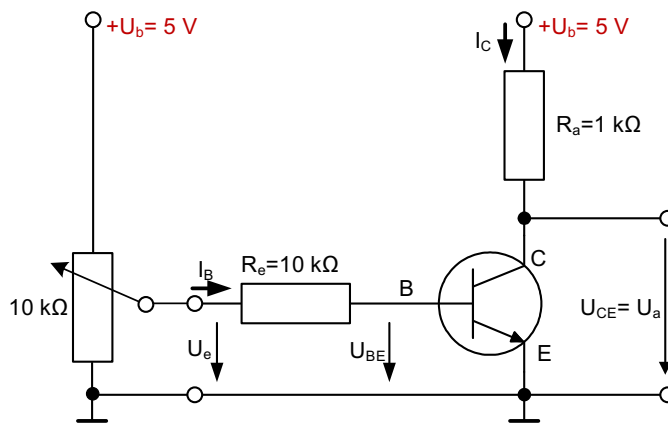


Abbildung 8: Einfache Inverterschaltung

E	A	U_a
L		
H		
$U_{eH,min}$		
$U_{eL,max}$		

- Bauen Sie die Schaltung aus Abbildung 8 auf. Untersuchen Sie zunächst das digitale Verhalten des Inverters, indem Sie 5 V bzw. 0 V (GND) an den Eingang U_e legen. Visualisieren Sie die Logikpegel A ausgangsseitig durch LEDs (LED-Baustein mit 12 LEDs) und messen Sie die Ausgangsspannungen U_a . Tragen Sie die ermittelten Pegel und Spannungen in die Wahrheitstabelle ein.
- Variieren Sie nun mit dem Potentiometer die Spannung U_e zwischen 0 V und 5 V um die Schaltschwellen $U_{eH,min}$ und $U_{eL,max}$ zu ermitteln, bei denen die Ausgangsspannungen TTL kompatible Ausgangspegel ($U_{aL,max}$ bzw. $U_{aH,min}$) erzeugen. Messen Sie hierbei zunächst die Ausgangsspannung beim Variieren des Potentiometers und messen Sie anschließend die jeweilige eingestellte Spannung U_e durch Umstecken des Multimeters. Tragen Sie die Werte in die Tabelle ein und bestimmen Sie, ob $U_{eH,min}$ und $U_{eL,max}$ gültige TTL-Pegel darstellen.
- Um diese Übung durchzuführen, wird auch hier die Simulationsumgebung LTspice verwendet. Laden Sie die im Moodle für Sie vorbereitete Schaltung dieses Versuchs, simulieren diese und lesen die benötigten Werte aus den Messdiagrammen ab (Bei Bedarf steht Ihnen das Tutorial zu LTspice im Moodle zur Verfügung).*

Halten Sie bitte für die Online-Besprechung dieser Übung mit Ihrem Tutor sämtliche von Ihnen angefertigten Lösungen zum Vorführen (für den Notfall auch auf ihrem Rechner) bereit, indem Sie diese entsprechend der Hinweise auf Seite 18 (unten) in Ihrem home-Verzeichnis der virtuellen Maschine hochladen. Laden Sie die im Moodle geforderten Lösungen spätestens einen Tag vor Ihrem Termin mit Ihrem Tutor zudem im Moodle hoch und evaluieren Sie diese!

- Wählen Sie aus den zum Versuch ausgeteilten Kennlinien (letzte Seite) die richtige aus. Begründen Sie Ihre Wahl und erklären Sie den Kennlinienverlauf.

Wählen Sie eine der Kennlinien auf der letzten Seite und tragen Sie den zugehörigen Buchstaben in das Kästchen ein.

- Zeichnen Sie die High- bzw. Low-Bereiche (U_{\min} , U_{\max}) entsprechend der Pegeldefinition sowie ihre gemessenen Werte (als Linien) in die ausgewählte Kennlinie ein und ermitteln Sie den Störspannungsabstand durch Ablesen. Überprüfen Sie, ob die Kennlinie der TTL-Pegeldefinition der 74 TTL Reihe aus Abbildung 7 genügt. Was kann passieren, wenn die gegebenen Störspannungsabstände aus Abbildung 7 voll ausgenutzt werden?

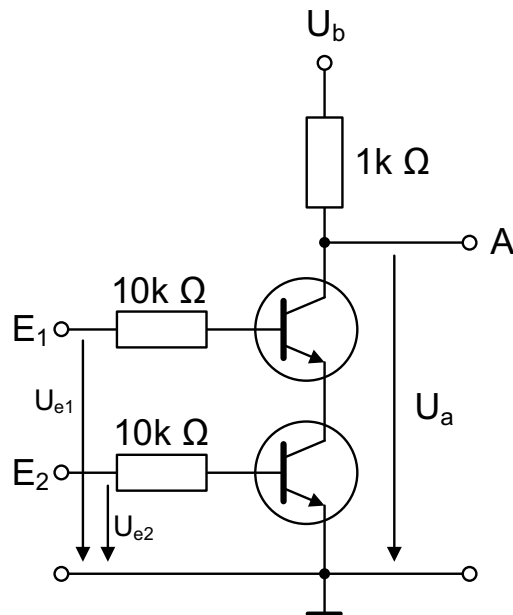


Auf Aufbau der Schaltung und Durchführung dieser Aufgabe mit Hilfe des Stecksystems im Labor muss leider verzichtet werden, jedoch wird dies später im Video-Tutorial zu dieser Übung gezeigt.

Halten Sie bitte für die Online-Besprechung dieser Übung mit Ihrem Tutor sämtliche von Ihnen angefertigten Lösungen zum Vorführen (für den Notfall auch auf ihrem Rechner) bereit, indem Sie diese entsprechend der Hinweise auf Seite 18 (unten) in Ihrem home-Verzeichnis der virtuellen Maschine hochladen. Laden Sie die im Moodle geforderten Lösungen spätestens einen Tag vor Ihrem Termin mit Ihrem Tutor zudem im Moodle hoch und evaluieren Sie diese!

4.2. Gatter in RTL-Technik

Abbildung 9 zeigt ein Beispiel-Gatter in Resistor-Transistor-Logik (RTL).



E_1	E_2	A
L	L	
L	H	
H	L	
H	H	

Abbildung 9: Beispiel-Gatter in RTL-Technik

Versuchsdurchführung

- Bauen Sie die Schaltung aus Abbildung 9 auf und führen Sie den Eingängen gemäß den Vorgaben in der Wahrheitstabelle Low- und High-Pegel zu, und tragen Sie die sich ergebenden und Pegel in die Wahrheitstabelle ein.
- Um diese Übung durchzuführen, wird auch hier die Simulationsumgebung LTspice verwendet. Laden Sie die im Moodle für Sie vorbereitete Schaltung dieses Versuchs, simulieren diese und bestimmen Sie die benötigten Werte.

Fragen

- Welche Boolesche Funktion realisiert das Gatter aus Abbildung 9?

Auf Aufbau der Schaltung und Durchführung dieser Aufgabe mit Hilfe des Stecksystems im Labor muss leider verzichtet werden, jedoch wird dies später im Video-Tutorial zu dieser Übung gezeigt.

Halten Sie bitte für die Online-Besprechung dieser Übung mit Ihrem Tutor sämtliche von Ihnen angefertigten Lösungen zum Vorführen (für den Notfall auch auf ihrem Rechner) bereit, indem Sie diese entsprechend der Hinweise auf Seite 18 (unten) in Ihrem home-Verzeichnis der virtuellen Maschine hochladen. Laden Sie die im Moodle geforderten Lösungen spätestens einen Tag vor Ihrem Termin mit Ihrem Tutor zudem im Moodle hoch und evaluieren Sie diese!

5. TTL-Technologie

Bei der TTL-Technologie (Transistor-Transistor-Logik) werden spezielle bipolare Transistoren verwendet, um die elektrischen Eigenschaften zu verbessern. TTL-Schaltungen werden aufgrund ihrer Komplexität nicht mehr diskret realisiert, sondern als integrierte Schaltkreise (ICs).

In Form der 74er IC-Reihe einiger Hersteller sind alle wichtigen Grundsaltungen und Gatter bis hin zu einer kompletten ALU in TTL-Technik verfügbar. Eine kleine Auswahl zeigt Abbildung 10:

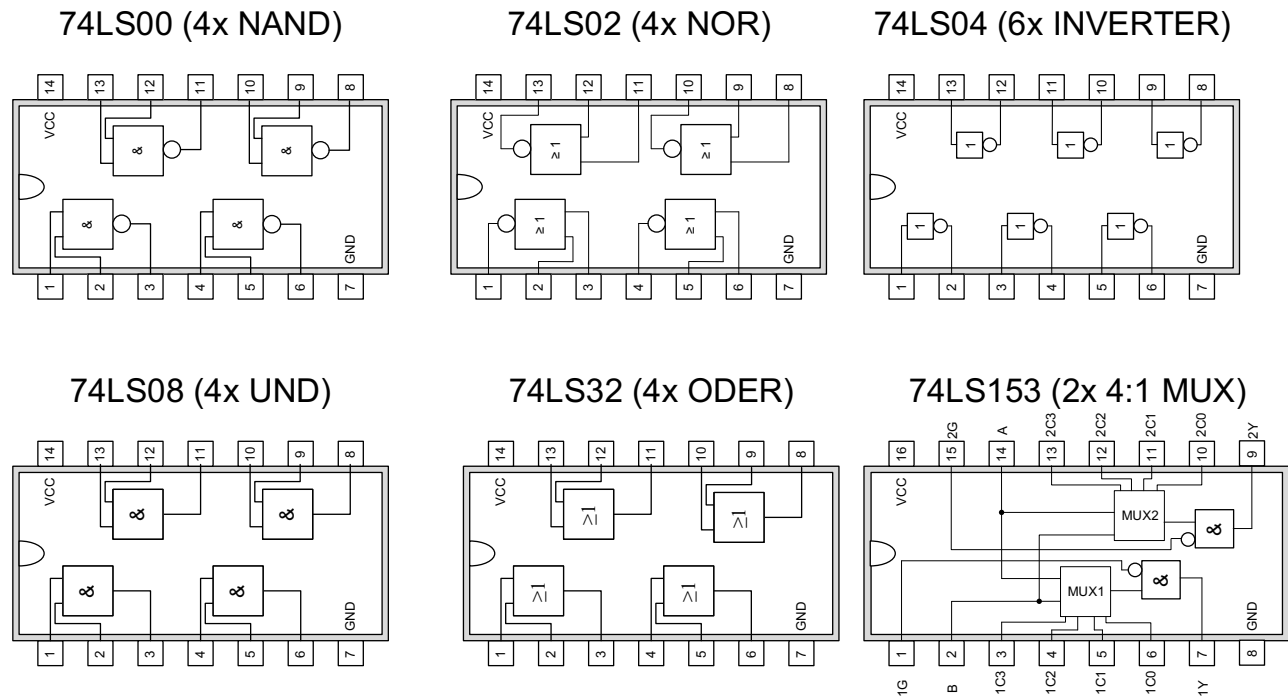
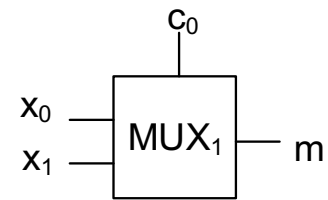


Abbildung 10: Bausteine der 74er Reihe

Im Laufe der Zeit haben sich mehrere Familien mit unterschiedlicher Technologie herauskristallisiert. Neben den klassischen TTL-Bausteinen unterscheidet man z. B. die LS-Familie (Low Power Schottky), die sich durch besonders niedrige Leistungsaufnahme auszeichnet. Weitere Familien sind z. B. AS (Advanced Schottky) oder ALS (Advanced Low Power Schottky), die eine kürzere Gatterlaufzeit bieten. Mit der HC/T-Familie (High-Speed CMOS /with TTL compatible input levels) wurde eine zum TTL-Pegel kompatible CMOS Familie entwickelt, welche durch die Nutzung von Feldeffekttransistoren einen sehr niedrigen Eingangsstrom benötigen.

5.1. 2x1 Multiplexer aus NAND-Gattern

Mit der 74er IC-Reihe lassen sich leicht einfache Logische Funktionen realisieren. In diesem Versuch soll ein 2x1 Multiplexer (MUX1) realisiert werden. Ein MUX1 besteht aus einer Steuerleitung c_0 und zwei Eingängen x_0 und x_1 . Wenn c_0 LOW Potential hat, soll der Eingang x_0 zum Ausgang m durchgeschaltet werden. Anderenfalls wird der Eingang x_1 durchgeschaltet.



Aufgaben

- Füllen Sie die Wertetabelle aus und leiten Sie aus der obigen Beschreibung die Schaltfunktion $m = f(c_0, x_0, x_1)$ in DKN ab.
- Leiten Sie nun aus der Schaltfunktion eine DNF (ggf. nach Minimierung) ab. Bestimmen Sie anschließend eine Gatterrealisierung mit UND- und ODER-Gattern. Realisieren und simulieren Sie ihren Entwurf mit LogicCircuits und füllen Sie dabei die untenstehende Tabelle aus.
- Überführen Sie ihren Entwurf in eine Realisierung, welche ausschließlich NAND-Gatter mit zwei Eingängen verwendet. Laden Sie sich das Template für den MUX aus der entsprechenden Aufgabe „TGI1 - SoSe 2020 - Praktische Übung 1 - 5.1 MUX aus NAND-Gates“ aus dem Moodle und realisieren sowie simulieren Sie darin den MUX aus NAND-Gattern mit Hilfe von LogicCircuits. Laden Sie anschließend Ihre Lösung im Moodle unter der Aufgabe „TGI1 - SoSe 2020 - Praktische Übung 1 - 5.1 MUX aus NAND-Gates“ hoch und evaluieren Sie diese.
- Nehmen Sie an, Sie müssten den MUX unter Verwendung von ICs realisieren und es stünde Ihnen ein 7400 NAND Baustein mit vier Gattern zur Verfügung. Zeichnen Sie Ihren Verdrahtungsplan in Abbildung 11 ein.

Halten Sie bitte für die Online-Besprechung dieser Übung mit Ihrem Tutor sämtliche von Ihnen angefertigten Lösungen zum Vorführen (für den Notfall auch auf ihrem Rechner) bereit, indem Sie diese entsprechend der Hinweise auf Seite 18 (unten) in Ihrem home-Verzeichnis der virtuellen Maschine hochladen. Laden Sie die im Moodle geforderten Lösungen spätestens einen Tag vor Ihrem Termin mit Ihrem Tutor zudem im Moodle hoch und evaluieren Sie diese!

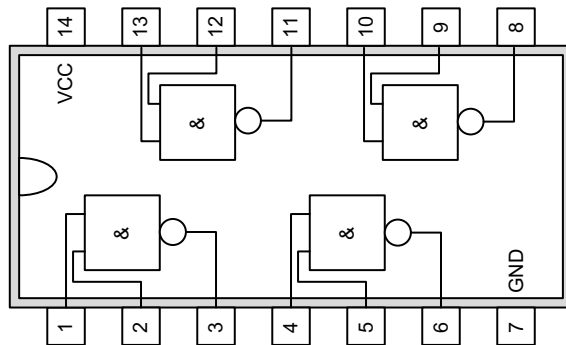


Abbildung 11: Verdrahtungsplan MUX

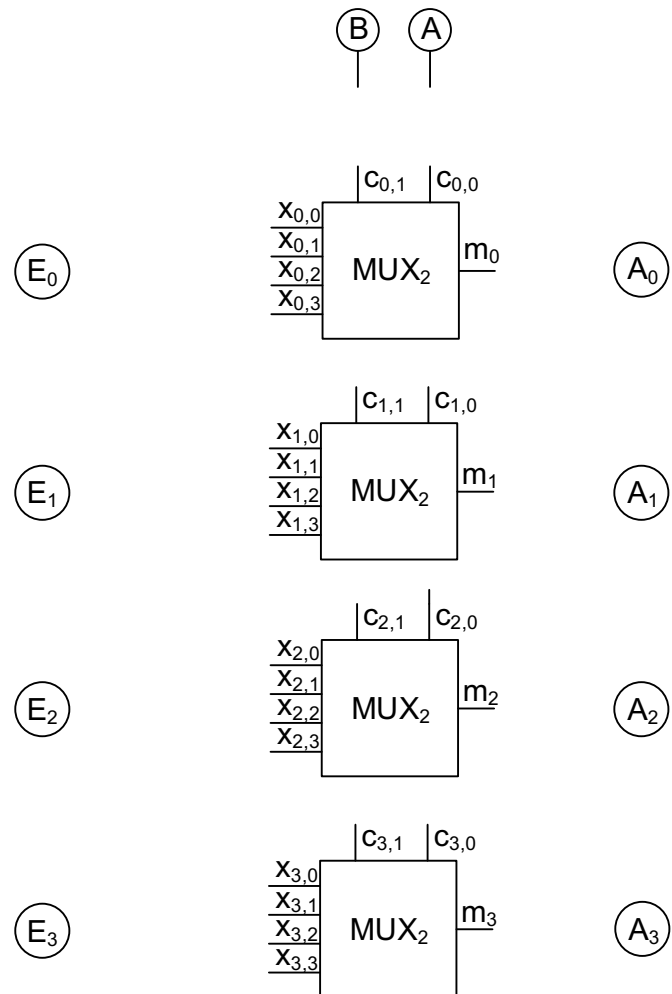
Auf Aufbau und Test der Schaltung mit den ICs muss hier leider verzichtet werden, jedoch wird dies im Video-Tutorial zu dieser Übung gezeigt werden.

c_0	x_0	x_1	m
L	L	L	
L	L	H	
L	H	L	
L	H	H	
H	L	L	
H	L	H	
H	H	L	
H	H	H	

5.2. 4-Bit Barrel-Shifter aus 4x1 Multiplexern (MUX2)

Mit Multiplexern lassen sich leicht eine Vielzahl von Schaltungen realisieren. Im Folgenden soll ein 4-Bit Barrel-Shifter aus 4x1 Multiplexern aufgebaut werden. Ein 4-Bit Barrel-Shifter ist eine Schaltung, welche einen Shift eines Eingabe-Bitvektors (E_0, E_1, E_2, E_3) um mehrere Positionen parallel durchführen kann. Hierdurch ergibt sich der Ausgabevektor (A_0, A_1, A_2, A_3) .

Der hier zu realisierende Barrel-Shifter soll einen 4-Bit Ringshift um $n = (2 \cdot B) + A$ Positionen durchführen. B ist dabei das höchstwertige Bit, A das niederwertigste Bit der Steuereingänge des Multiplexers. Somit gilt für die Ausgangsbit die Gleichung: $A_i(n) = E_{(i+n) \bmod 4}$.



Aufgaben

- Ergänzen Sie in der nebenstehenden Abbildung die fehlenden Leitungen, um den beschriebenen Barrel-Shifter zu realisieren.
- Laden Sie sich das Template für den Barrel-Shifter aus der entsprechenden Aufgabe „TGI1 - SoSe 2020 - Praktische Übung 1 - 5.2 4-Bit Barrel-Shifter“ aus dem Moodle und realisieren sowie simulieren Sie darin den Barrel-Shifter mit Hilfe von LogicCircuits. Laden Sie anschließend Ihre Lösung im Moodle unter der Aufgabe „TGI1 - SoSe 2020 - Praktische Übung 1 - 5.2 4-Bit Barrel-Shifter“ hoch und evaluieren Sie diese.
- Leiten Sie aus ihrer Schaltung einen Verdrahtungsplan für die Realisierung mit 74LS153 Bausteinen (siehe Abbildung 10) ab und ergänzen Sie dazu Abbildung 12.

Halten Sie bitte für die Online-Besprechung dieser Übung mit Ihrem Tutor sämtliche von Ihnen angefertigten Lösungen zum Vorführen (für den Notfall auch auf ihrem Rechner) bereit, indem Sie diese entsprechend der Hinweise auf Seite 18 (unten) in Ihrem home-Verzeichnis der virtuellen Maschine hochladen. Laden Sie die im Moodle geforderten Lösungen spätestens einen Tag vor Ihrem Termin mit Ihrem Tutor zudem im Moodle hoch und evaluieren Sie diese!

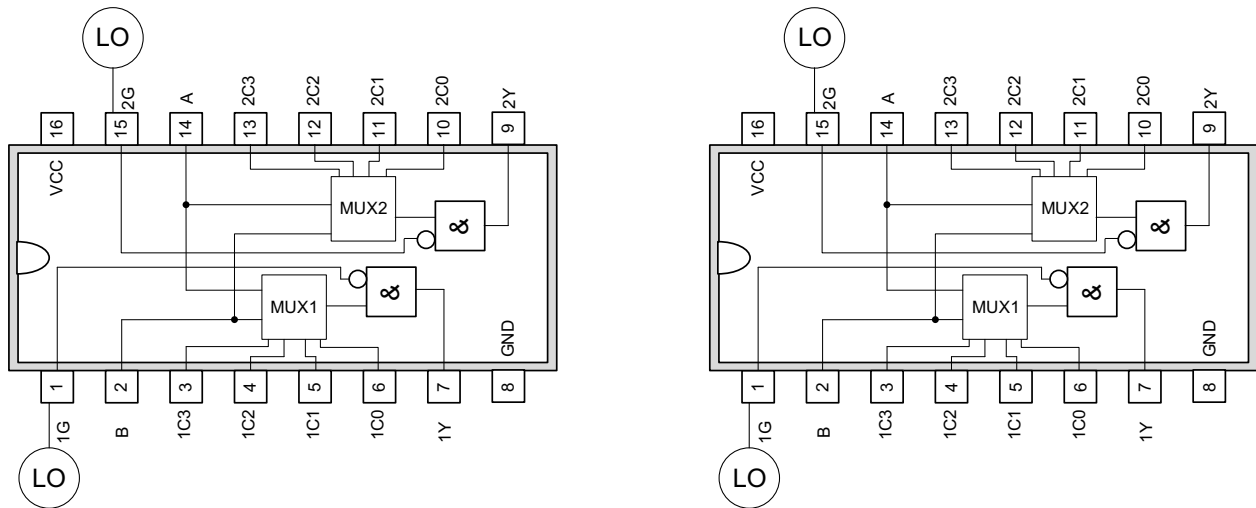


Abbildung 12: Verdrahtungsplan Barrel-Shifter

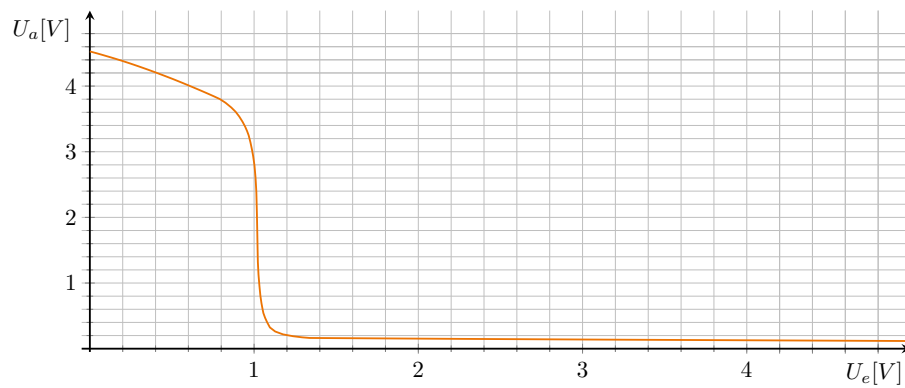
Auf Aufbau und Test des Barrel-Shifters mit den ICs muss hier leider verzichtet werden, jedoch wird dies im Video-Tutorial zu dieser Übung gezeigt werden.

Speicherung der Lösungen in den virtuellen Maschinen

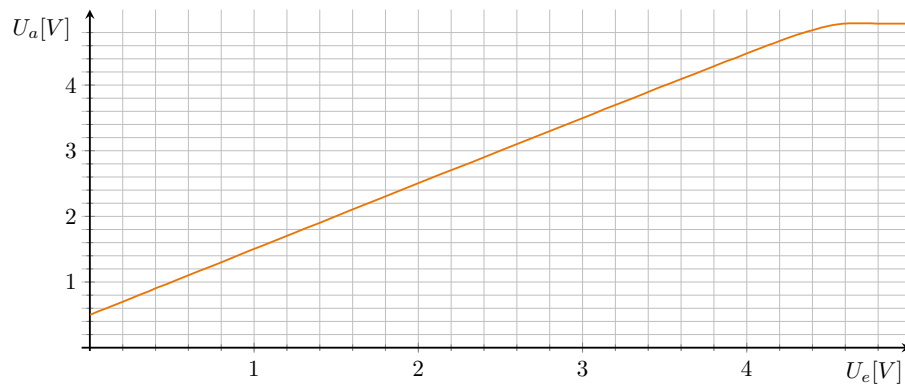
Melden Sie sich auf der von uns für Sie bereitgestellten virtuellen Maschine an und legen Sie Ihre Lösungen in Ihrem home-Verzeichnis (unter Dieser PC) ab. **Nur dort abgelegte Dateien werden dauerhaft gespeichert.** Testen Sie weiterhin die Zusammenarbeit im Kollaborationsmodus (siehe Video-Tutorial zu der Nutzung des VM-Servers). Sollten Sie es nicht vor Ihrem Termin der ersten Praktischen Übung schaffen, laden Sie die Dateien bitte direkt **zu Beginn** des Zeitslots Ihrer ersten Praktischen Übung **vor** Ihrem Meeting mit dem Tutor hoch.

Halten Sie bitte für die Online-Besprechung dieser Übung mit Ihrem Tutor sämtliche von Ihnen angefertigten Lösungen zum Vorführen (für den Notfall auch auf ihrem Rechner) bereit, indem Sie diese entsprechend der Hinweise auf Seite 18 (unten) in Ihrem home-Verzeichnis der virtuellen Maschine hochladen. Laden Sie die im Moodle geforderten Lösungen spätestens einen Tag vor Ihrem Termin mit Ihrem Tutor zudem im Moodle hoch und evaluieren Sie diese!

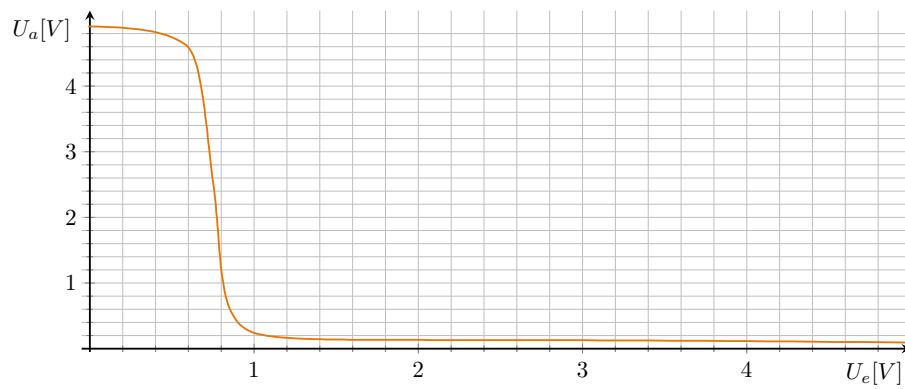
A



B



C



D

