

Hardwarepraktikum

**der Fakultät für Informatik
der Technischen Universität
Dortmund**

Skriptum

Dr. Karl-Heinz Temme

Wintersemester 2017/2018

Kapitel 1

Vorwort

In diesem Praktikum sollen Sie ihre in der Veranstaltung „Rechnerstrukturen“ erworbenen Hardwarekenntnisse vertiefen und experimentell nachvollziehen. Dazu steht ihnen ein Simulator zur Verfügung, der alle erforderlichen Funktionalitäten bietet.

Anhand des Skripts lernen Sie schrittweise die elektotechnischen Schaltzeichen kennen, die in digitalen Schaltungen Verwendung finden. Kapitelweise werden ausgewählte Themen der Digitaltechnik behandelt. Zu Beginn des Praktikums analysieren Sie Schaltungen, später ergänzen Sie vorgegebene Schaltungen oder erstellen vollständig neue aus einer leeren Vorlage heraus.

Der grösste Teil der Versuche wird am Bildschirm mit Hilfe eines Simulators durchgeführt, Sie bauen also nicht physikalische Schaltungen mit echten Chips auf und verdrahten auch nicht im Sinne des Wortes. Eine solche oder ähnliche Ausbildung bietet die Fakultät (am Lehrstuhl 12) nur dann an, wenn Sie sich im Vertiefungsgebiet für den Schwerpunkt Technische Informatik entscheiden.

Am Ende des Hardwarepraktikums führen Sie Versuche mit Lego Mindstorms Robotern durch mit dem Ziel, erste Einblicke in Eingebettete Systeme zu gewinnen. Bei diesen Versuchen bauen sie einen Roverbot mit vier Rädern und diversen Sensoren auf, der bestimmte Aufgaben erfüllen soll. Die Programmierung erfolgt am PC, die Programme werden per USB-Kabel auf den Roverbot übertragen.

Das Skript beruht auf Ausarbeitungen meines Vorgängers Folker Sjamken. Obwohl ich inzwischen grosse Teile überarbeitet und neu gestaltet habe, gebührt ihm eine Mit-Autorenschaft und die Urheberrechte an den von mir noch nicht veränderten Teilen.

Der EWB-Simulator

Eine Übersicht zur Benutzung des Simulators finden Sie unter Z:\Dokumentation.

Transistoren

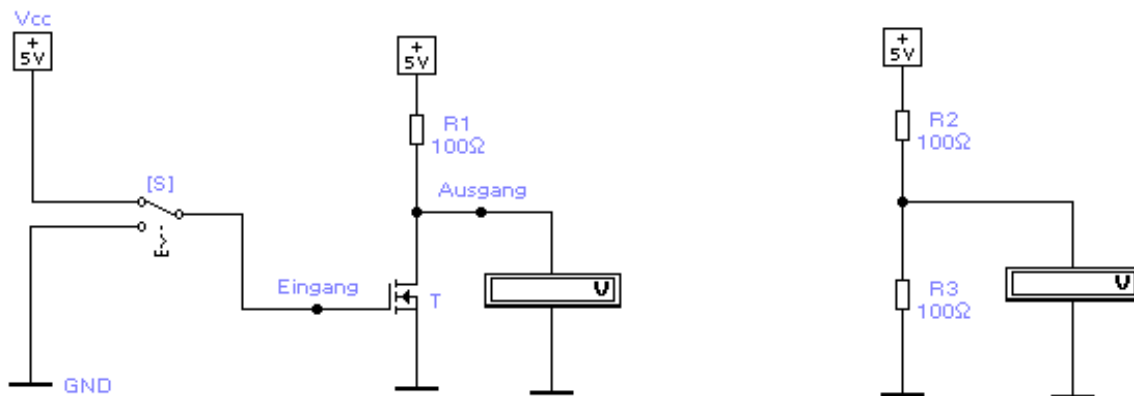
Transistoren werden häufig stark vereinfacht als Schalter dargestellt. Das stimmt nur bedingt. Während bei Relais der Stromfluss entweder vollständig unterbrochen wird oder nur durch den so gut wie nicht messbaren Innenwiderstand eines Leiters, z.B. Kupfer, abgeschwächt wird, bewirkt ein Signal am Steuereingang eines Transistors, dass sich der Widerstand zwischen seinen beiden anderen Anschlüssen ändert, allerdings in einem weiten Bereich. Weiterhin zeigen verschiedene Typen von Transistoren unterschiedliches Verhalten (selbstsperrend oder selbstleitend), wenn ihr Steuereingang unbeschaltet, d.h. abgetrennt ist. Ein selbstsperrender Transistor hat einen hohen Innenwiderstand, ein selbstleitender einen geringen Innenwiderstand (jeweils bei offenem Eingang).

In realen Schaltungen sind Eingänge von Transistoren immer beschaltet, so dass wir dort nur von sperrenden oder leitenden Transistoren sprechen.

Versuch 100 Transistoransteuerung und -innenwiderstand

Öffnen Sie die Datei v100 und führen Sie den folgenden Versuch durch, in dem Sie den durch die Taste S ansteuerbaren Schalter in die Positionen bringen, die für die Fragen 1.–3. erforderlich sind. Tragen Sie die gemessenen resp. ermittelten Werte in die Tabellen ein.

Der rechte Teil der Schaltung ist ein primitives Ersatzschaltbild für die Laststrecke des Transistors, in dem der Widerstand R3 im statischen Fall den Innenwiderstand des Transistors darstellt. Durch einen Doppelklick auf R3 öffnet sich ein Fenster, in dem Sie den Widerstandswert ändern können. Beachten Sie den Zusatz mindestens bei Frage 3.



1. Welche Spannung messen Sie am Ausgang des Transistors T:

- a) bei Eingang = 5V (V_{cc})?
- b) bei Eingang = 0V (GND)?

a)	mV	b)	V
----	----	----	---

2. Verändern Sie den Widerstand R3, um indirekt zu ermitteln, welchen Innenwiderstand der Transistor T bei Eingang = 5V hat. Messgenauigkeit: $\pm 0,5 \Omega$.

Ω

3. Verändern Sie den Widerstand R3, um indirekt zu ermitteln, welchen Innenwiderstand der Transistor T bei Eingang = 0V mindestens hat. Messgenauigkeit: $\pm 1 \text{ K}\Omega$.

$\text{K}\Omega$

Modellierung von Signalwerten

Spannungs- und Stromverläufe sind in der Realität kontinuierlich, d.h., es kann jeder beliebige Wert angenommen werden. In der Digitaltechnik beschränkt man sich auf diskrete Werte, im einfachsten Fall auf zwei, die die logischen Zustände 0 und 1 repräsentieren. Um das interne Verhalten von Gattern zu verstehen, bedarf es noch einiger weiterer Zustände.

Sieben Zustände

Gemäss IEEE 1164 wurden folgende Vereinbarungen getroffen:

0 heisst starker Zustand 0	kurz: starke Null
1 heisst starker Zustand 1	kurz: starke Eins
L heisst schwacher Zustand 0	kurz: schwache Null
H heisst schwacher Zustand 1	kurz: schwache Eins
X heisst starker unbestimmter Zustand	kurz: unbestimmt
W heisst schwacher unbestimmter Zustand	kurz: schwach unbestimmt
Z heisst abgetrennter Zustand	kurz: abgetrennt

0 und 1 repräsentieren eine logische Null bzw. eine logische Eins. Schaltungstechnisch sind es direkte Anschlüsse an GND bzw. Vcc mit keinem oder nur sehr geringem Widerstand. Im HaPra arbeiten wir mit $GND = 0\text{ V}$ und $V_{cc} = 5\text{ V}$.

L und H repräsentieren ebenfalls eine logische Null bzw. eine logische Eins. Die Anschlüsse an GND bzw. Vcc sind hierbei aber durch Widerstände merklich gedämpft.

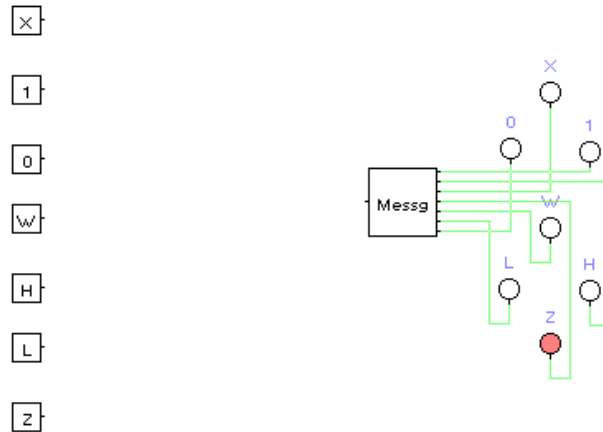
X und W repräsentieren Kurzschlüsse zwischen (0,1) resp. (L,H). Sie stellen die unbestimmten logischen Zustände dar.

Z ist der Zustand auf einer nicht angeschlossenen Leitung oder an einem Lastanschluss eines gesperrten Transistors.

Weiterhin gibt es noch die Zustände U (nicht initialisiert) und “-“ (don’t care), die wir hier aber nicht weiter betrachten.

Versuch 105 7-Zustände-Messgerät

Im Folgenden arbeiten wir nur noch mit Makros, die die sieben Zustände erzeugen. Prüfen Sie in der Datei v105, ob das 7-Zustände-Messgerät korrekt arbeitet.



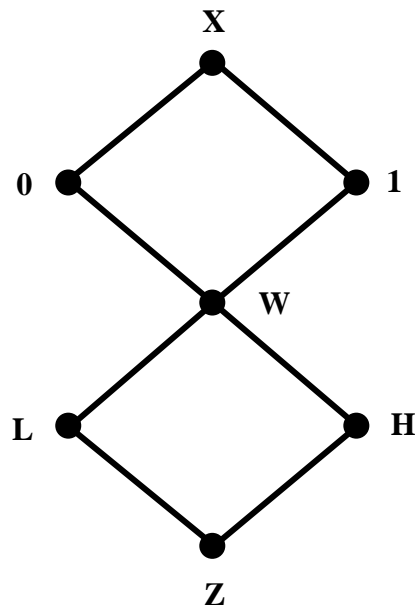
Sie können das Messgerät mit einer der Quellen verbinden, indem Sie mit dem Cursor der Maus auf den linken Anschluss des Kastens Messg zeigen. An der Spitze des Mauspeils erscheint ein schwarzer Punkt. Halten Sie nun die linke Maustaste gedrückt und ziehen Sie die Leitung zu einem der Anschlüsse auf der linken Seite, bis wieder ein schwarzer Punkt erscheint. Lassen Sie die Maustaste los.

Verknüpfung von Zuständen

Es stellt sich nun die Frage, was passiert, wenn zwei Zustände in einem Leiterknoten aufeinandertreffen. Die Namen der Zustände geben schon erste Hinweise darauf, welcher sich im Zweifelsfall durchsetzen werden. Wir definieren eine Funktion Cond:

$$\text{Cond} : \{0, 1, L, H, X, W, Z\}^2 \rightarrow \{0, 1, L, H, X, W, Z\}$$

und betrachten zur Festlegung der Funktionswerte die Relation „stärker als“. Ein Teil dieser Relation kann graphisch durch ein Hasse-Diagramm dargestellt werden.



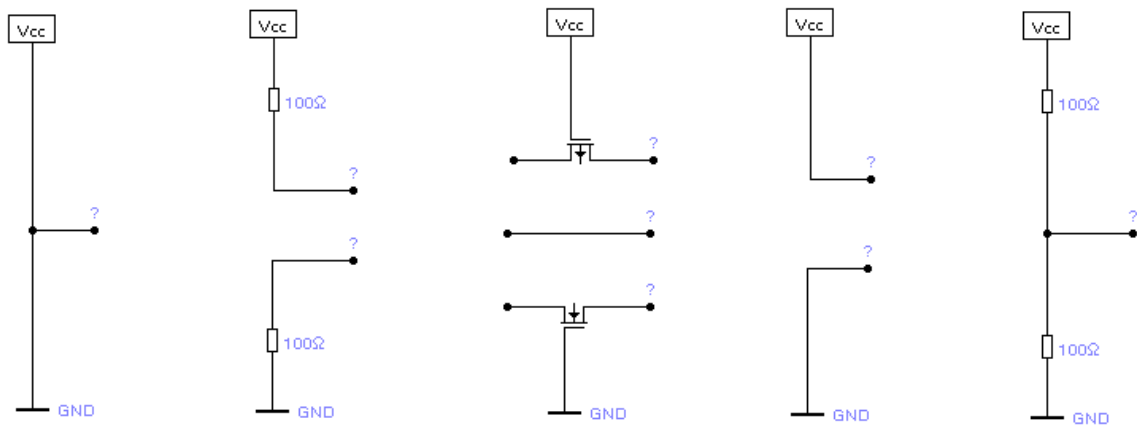
Ein Strich zwischen zwei Knoten gibt an, dass das Paar zur Relation gehört mit der Bedeutung, dass das höher stehende Element stärker ist als das niedrigere. Bildet man nun die transitive Hülle, so erhält man die gesamte Relation.

Die Relation „stärker als“ induziert eine Halbordnung auf $\{0, 1, L, H, X, W, Z\}$. Gemäss dieser Halbordnung ist nun $\text{Cond}(x,y)$ definiert als das Supremum (x,y) . Da wir es hier mit einer endlichen Menge zu tun haben, ist das Supremum also das kleinste Element, das gerade noch stärker ist als beide Argumente. Falls „x stärker als y“ gilt - entweder direkt aus dem Hasse-Diagramm oder aus der transitiven Hülle ableitbar -, dann ist das Supremum gleich dem Maximum von x und y.

Die Relation „stärker als“ ist transitiv. Beweisen Sie mit Hilfe dieser Eigenschaft, dass $\text{Cond}(0,Z) = 0$ ist.

Versuch 110 7 Zustände (technisch)

Machen Sie sich die Bedeutung der sieben Zustände wie folgt klar:



In der mittleren Schaltung werden beide Transistoren im Sperrzustand betrieben.

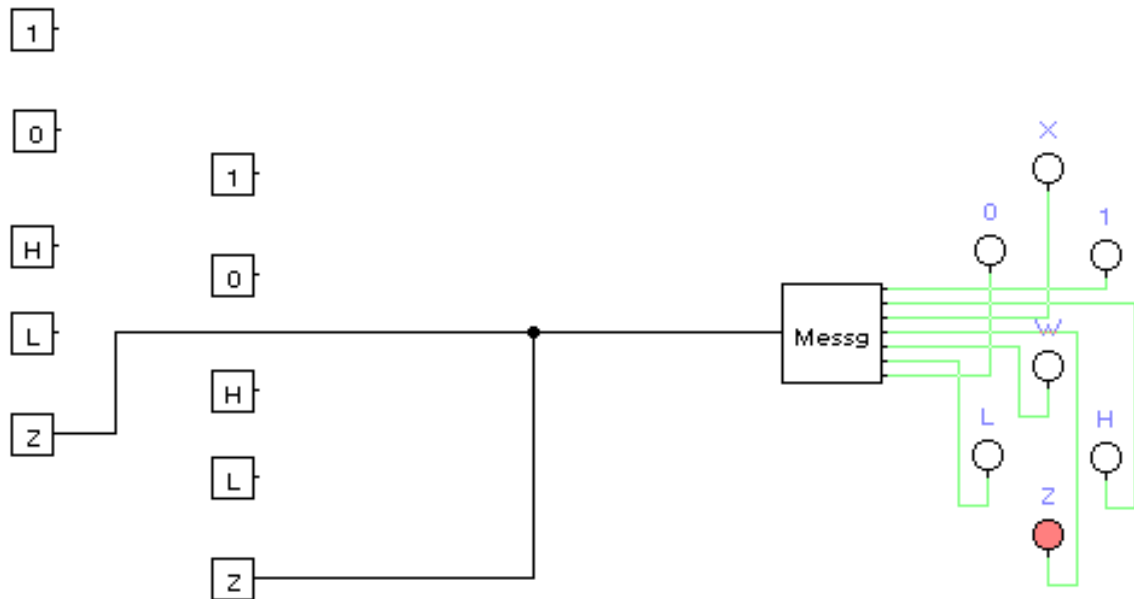
Ersetzen Sie in der Datei v110 die "?" durch die richtigen Elemente der möglichen sieben Zustände. Speichern Sie das Ergebnis ab.

Sie können die Beschriftung eines Punktes (eines Bauteils) ändern, in dem Sie das Objekt selektieren und Strg-B drücken.

Versuch 115 Verknüpfung von Zuständen

Im Folgenden werden die Kurzschlusszustände W und X als „Eingaben“ nicht mehr betrachtet.

Prüfen Sie in der Datei v115 anhand von Stichproben, ob das 7-Zustände-Messgerät die Verknüpfung zweier beliebiger Werte korrekt gemäss der "stärker als" Relation anzeigt.



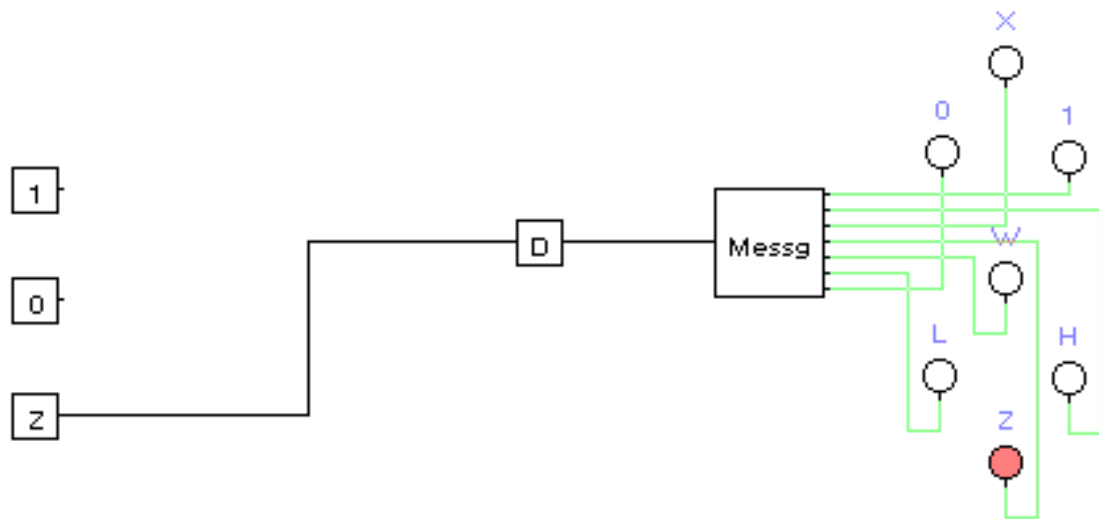
Die Bedeutung der Zustände 0, 1, X und Z ist offensichtlich, sie repräsentieren die vier Möglichkeiten, die man mit Erde (GND), Versorgungsspannung (Vcc) und einer Leitung hat:

- die Leitung an die Versorgungsspannung Vcc anschliessen,
- die Leitung an Erde GND anschliessen,
- mit der Leitung Vcc und GND kurzschliessen,
- die Leitung gar nicht anschliessen.

Die restlichen drei Zustände entstehen, wenn an die Leitung ein Dämpfungselement (im einfachsten Fall ein Widerstand) angeschlossen wird. Ein gedämpftes Z bleibt ein Z, ein X wird zu W, eine 1 zu H und eine 0 zu L.

Versuch 120 Schwache Zustände

Prüfen Sie in der Datei v120, ob durch das Dämpfungsglied D die zugehörigen "schwachen" Werte entstehen.



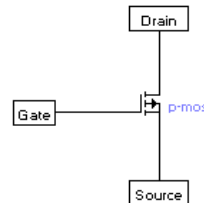
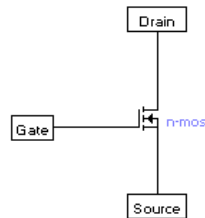
Transistoren als Schaltelemente

Wie wir schon beim ersten Versuch dieses Kapitels gesehen haben, kann man einen Transistor als Schalter ansehen, der in Abhängigkeit von seinem Steuereingang sperrt (hochohmig wird) oder leitet (einen geringen Widerstand annimmt). Wir unterscheiden nun zwischen p-MOS Transistoren (p-Schaltelementen, kurz: p-SE) und n-MOS Transistoren (n-Schaltelementen, kurz: n-SE). Beide Typen besitzen die Anschlüsse Gate, Source und Drain, wobei Gate der Steueranschluss ist.

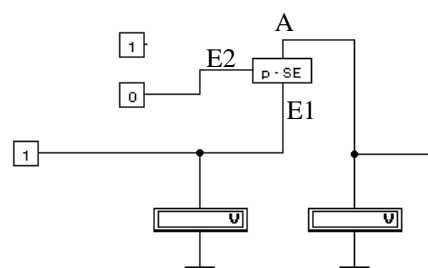
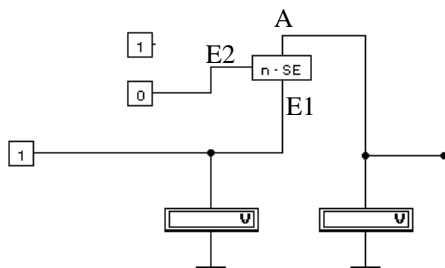
MOS ist eine Abkürzung für Metal-Oxid-Semiconductor.

Versuch 125 Ansteuerung von Transistoren I

Stellen sie in der Datei v125 im nachfolgenden Versuch fest, bei welcher Steuereingangsbe-schaltung welcher Transistortyp leitet.



Im Folgenden werden statt der Transistorsymbole Kästen mit der Beschriftung n-se oder p-se verwendet



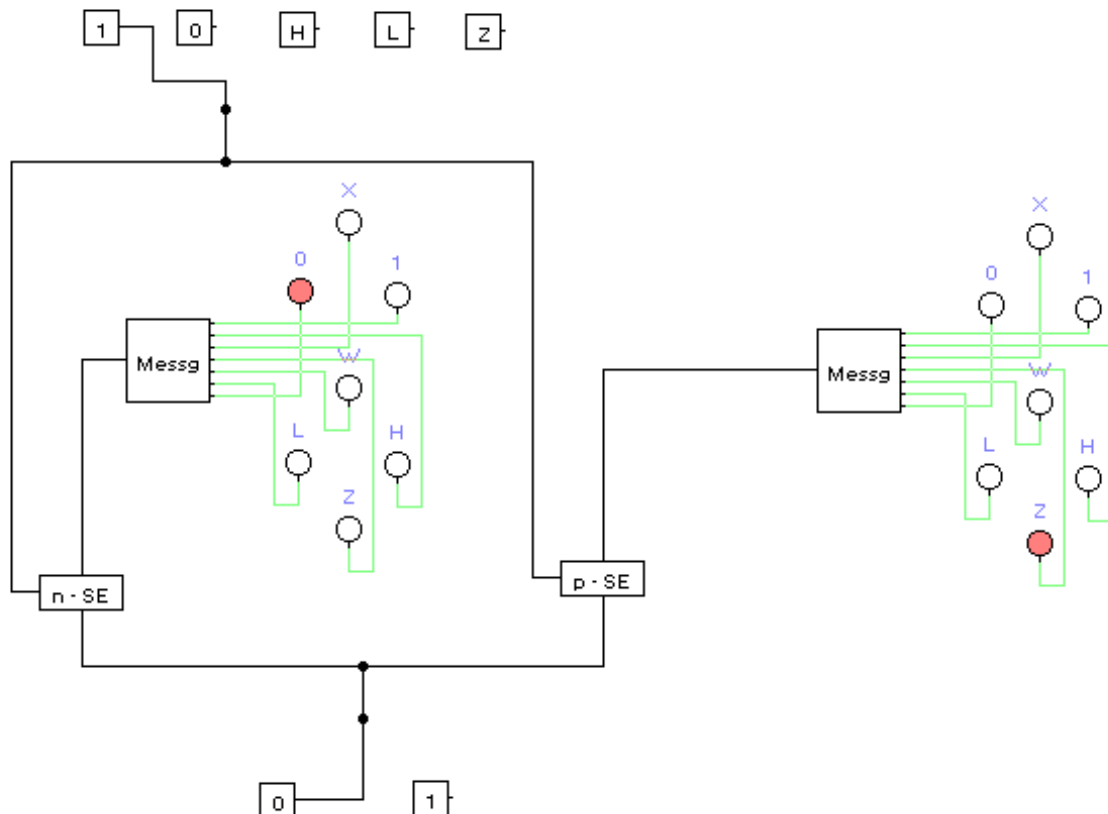
Messen Sie für n-SE und p-SE die Spannung am Anschluss A, wenn Sie den Steuereingang E2:

- a) mit 1 verbinden,
- b) mit 0 verbinden,

n-se	p-se
a)	a)
b)	b)

Versuch 130 Ansteuerung von Transistoren II

Leitende Transistoren sollten den Wert, der am Anschluss Source resp. Drain anliegt, an Drain resp. Source weitergeben. Wenn man nur mit den Zuständen 0 und 1 arbeitet, verhalten sich die Transistoren wie erwartet.. Testen Sie in der Datei v130 nun Kombinationen mit den anderen drei Zuständen. Geben Sie weiter unten an, bei welchen Zuständen am Steuereingang die Schaltelemente sperren.



Das n-se sperrt bei:

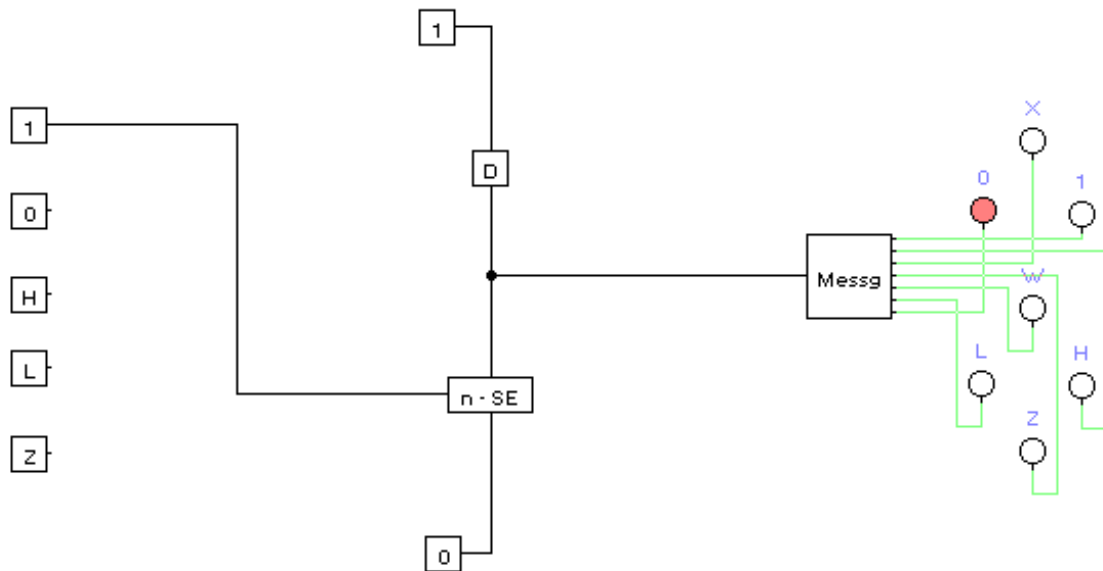
Das p-se sperrt bei:

Gatter

Das einfachste Gatter ist ein Inverter. Er kann bspw. aus einem n-SE und einem Dämpfungswiderstand konstruiert werden, die man in Reihe zwischen Vcc und GND schaltet. Das Dämpfungsglied ist erforderlich, damit beim leitenden Zustand der Strom begrenzt wird, sonst würde die Schaltung sich selbst zerstören.

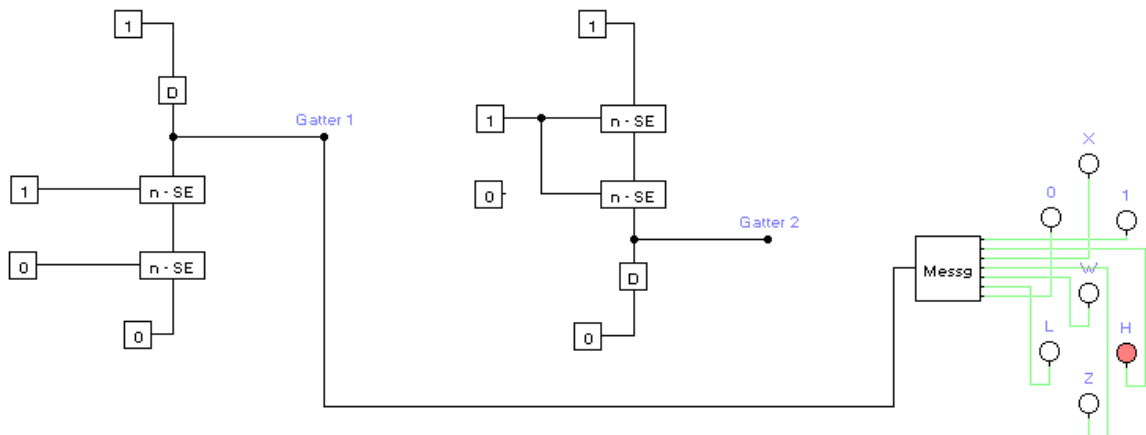
Versuch 135 n--MOS Inverter

Testen Sie den n-MOS Inverter in Datei v135. Interpretieren Sie Ihre Messungen (Cond-Funktion am Leiterknoten benutzen).



Versuch 140 Gatter mit zwei Eingängen I

Eine Erweiterung der Inverterschaltung besteht darin, zwei n-SE in Reihe zu schalten und das Dämpfungsglied entweder unter- oder oberhalb des Ausgangs zu platzieren. Führen Sie den nachfolgenden Versuch in Datei v140 durch und bestimmen Sie, welche Booleschen Funktionen die beiden Gatter realisieren.

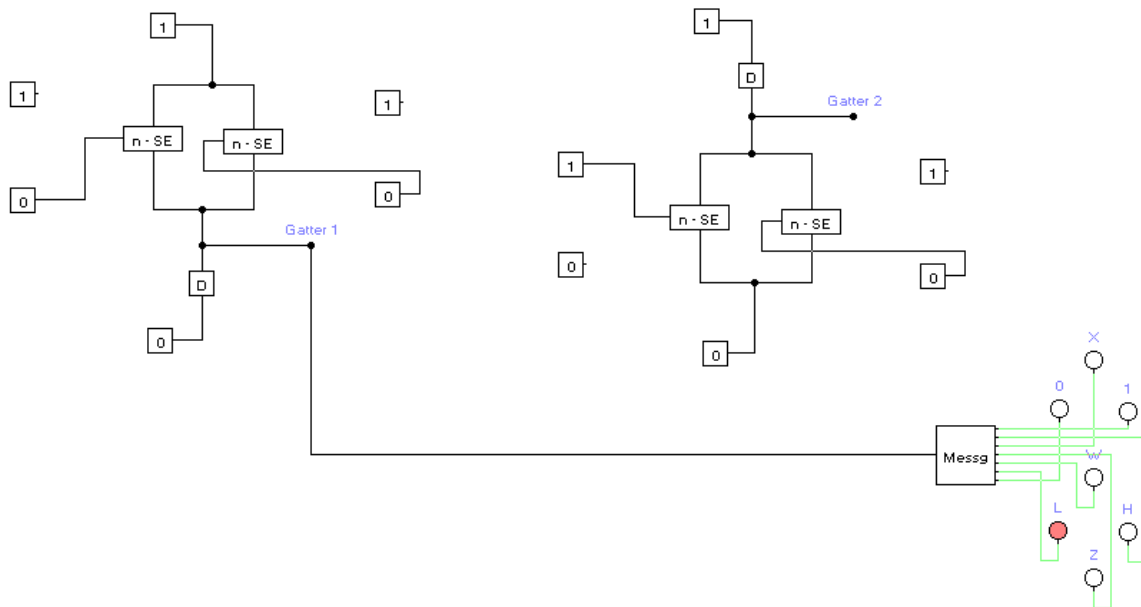


Testen Sie für beide Gatter alle Eingangskombinationen durch. Welche Boolesche Funktion realisiert Gatter 1 (links), welche Gatter 2 (rechts)? Geben Sie die Namen der Funktionen an.

Gatter 1:	Gatter 2:
-----------	-----------

Versuch 145 Gatter mit zwei Eingängen II

Alternativ kann man auch beide n-SE parallel schalten (Datei v145). Um welche Gatter handelt es sich jetzt?



Testen Sie für beide Gatter alle Eingangskombinationen durch. Welche Boolesche Funktion realisiert Gatter 1 (links), welche Gatter 2 (rechts)? Geben Sie die Namen der Funktionen an.

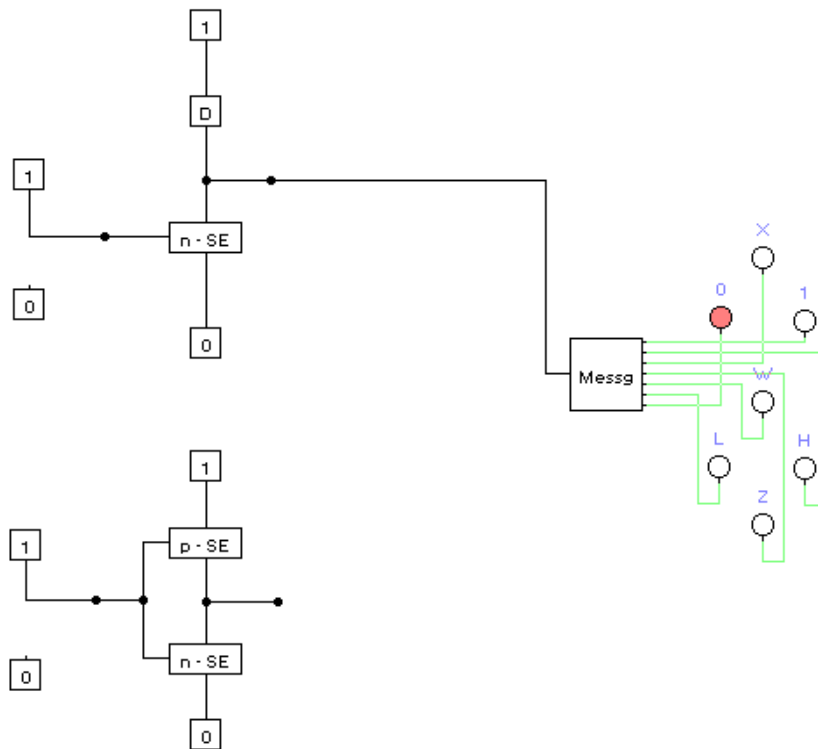
Gatter 1:	Gatter 2:
-----------	-----------

CMOS-Technologie

Betrachten wir noch einmal einen Invertern. Man nennt diese Schaltung auch Nicht-Gatter oder NOT-Gatter. Bei der n-MOS Realisierng besteht das Problem, dass sich im leitenden Zustand die 0 gegenüber dem H durchsetzen muss. Hierdurch entsteht unerwünschte Wärme, die fortlaufend produziert wird, solange der Transistor leitend bleibt. Als Alternative hat man die CMOS-Technologie entwickelt. Beim Inverter wird hierbei das Dämpfungsglied durch einen p-MOS Transistor ersetzt, was allerdings einen grösseren Aufwand bei der Chip-Herstellung bedeutet.

Versuch 150 CMOS-Inverter und Vergleich

Vergleichen Sie in der Datei v150 den n-MOS-Inverter (oben) mit dem CMOS-Inverter (unten). Welche Unterschiede haben Sie gefunden? Welche Vor- und Nachteile haben beide Schaltungstechnologien?



	n-mos	CMOS
Vorteile		
Nachteile		

Dämpfung und Fan-out

Dämpfungsglieder werden in diesem Praktikum vereinfacht durch Widerstände repräsentiert. Bei Hintereinanderschaltung erhöht sich der Gesamtwiderstand. Im nachfolgenden Versuch stellen die drei Ketten verschieden stark gedämpfte Kurzschlüsse zwischen 0 und 1 dar. Prüfen Sie, ob und an welchen Stellen sie trotzdem noch eine gültige logische 0 oder 1 messen können.

Der Fan-out eines Gatters ist die maximale Anzahl an Gattereingängen, die man an den Ausgang des Gatters anschliessen kann, sodass er noch gültige logische Werte liefert.

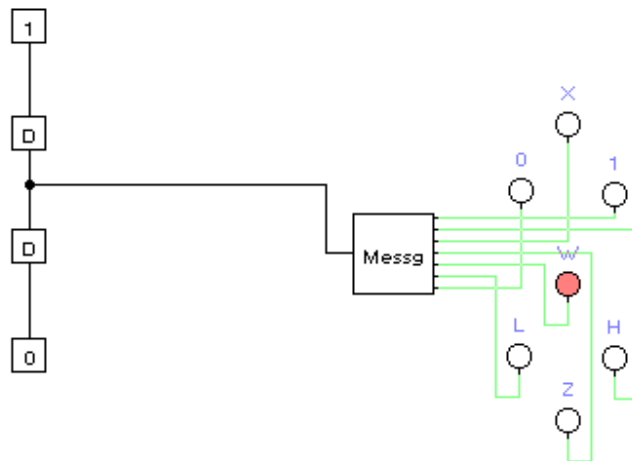
Versuch 155 Dämpfung

Testen Sie in Datei v155, bei wievielen Dämpfungsgliedern die Ketten noch gültige logische Werte liefern.

Kette 1



Kette 2

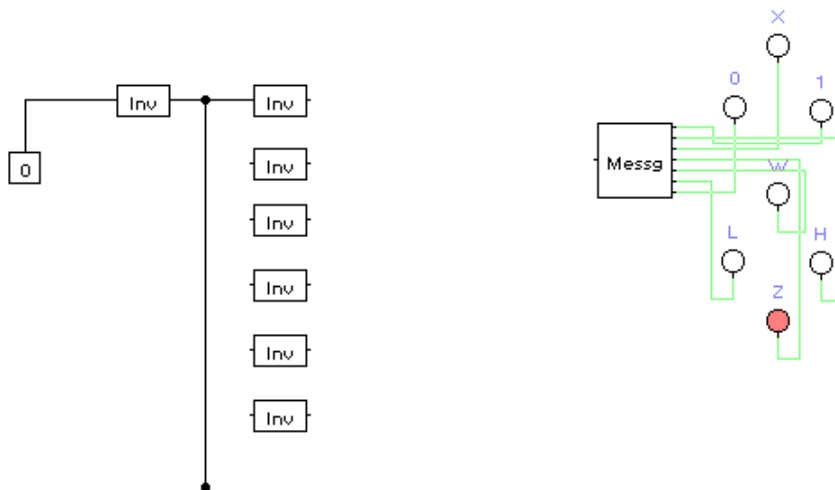


Kette 1 liefert noch bei Dämpfungsgliedern gültige logische Werte,

Kette 2 liefert noch bei Dämpfungsgliedern gültige logische Werte,

Versuch 160 Fanout

Ideale Inverter sind rein spannungsgesteuert. Bei realen Invertern gibt es eine – wenn auch stark gedämpfte – Verbindung zwischen Gate und Source, die Strom verbraucht. Dies führt dazu, dass man nicht beliebig viele Eingänge nachfolgender Gatter an den Ausgang eines Gatters hängen kann. Die maximale Anzahl von Eingängen, die man an den Ausgang **eines** Gatters anschliessen kann, ohne dass die logischen Pegel verfälscht werden, nennt man Fanout.



Die oberen beiden Inverter sind hintereinander geschaltet. Der zweite Inverter liefert am Ausgang denselben logischen Wert, der am Eingang des ersten Inverters anliegt. Verbinden Sie in Datei v160 das Messgerät mit dem Ausgang des zweiten Inverters und prüfen Sie das Ergebnis. Nun belasten Sie nacheinander den Ausgang des ersten Inverters mit weiteren Invertereingängen. Belasten bedeutet, die Eingänge der noch nicht benutzten Inverter an die senkrechte Leitung anschliessen.

Ab wie vielen angeschlossenen Eingängen wird das Ergebnis verfälscht? Wie hoch ist also das Fanout dieses Invertertyps?

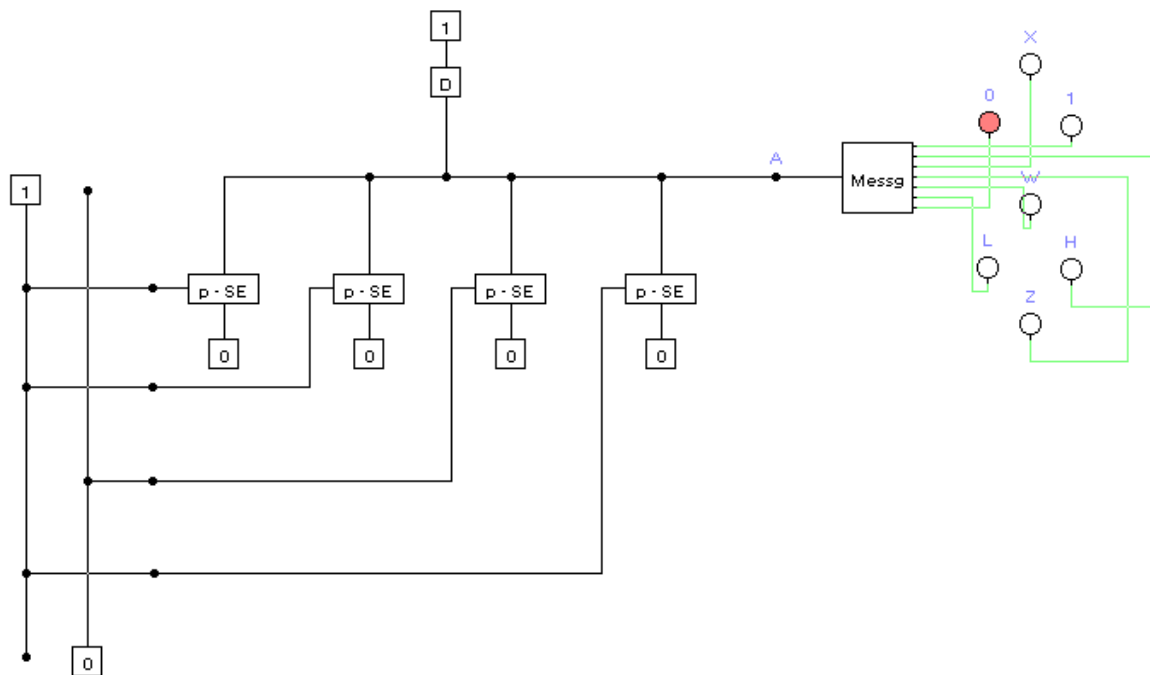
Fanout:	
---------	--

WIRED-Schaltungen

Das Prinzip der Parallelschaltung kann bei Gattern auch auf mehr als zwei Eingänge erweitert werden. Man nennt diesen Schaltungstyp WIRED. Beim Wired OR oder NOR werden einfach nur weitere n-SE parallel zu den bisherigen geschaltet, bis die gewünschte Anzahl an Eingängen erreicht wird. Man kann aber auch AND oder NAND durch WIRED Schaltungen realisieren. Dazu werden p-SE parallel geschaltet. Das gewünschte Ergebnis wird direkt oder durch eine nachgeschaltete Inverterstufe erzielt (in den nachfolgenden Schaltungen nicht enthalten). Analysieren sie die beiden nachfolgenden Versuche, erklären Sie die Funktionsweisen der Schaltungen und bestimmen Sie die beiden durch sie realisierten Booleschen Funktionen (nur die Namen angeben).

Versuch 165 Wired-Schaltung I

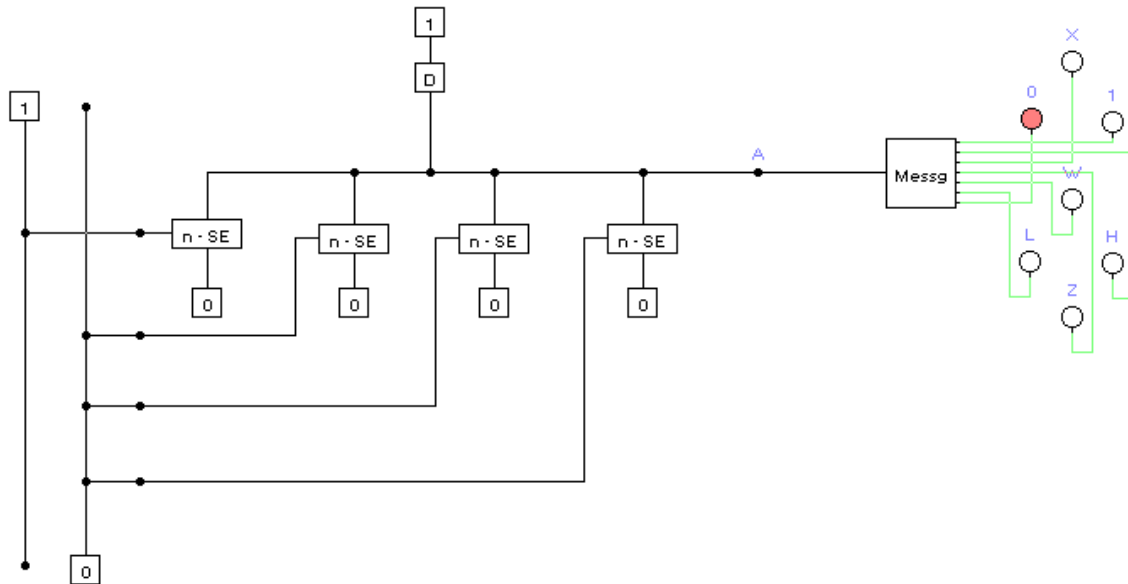
Datei v165



Realisierte Boolsche Funktion:

Versuch 170 Wired-Schaltung II

Datei v170



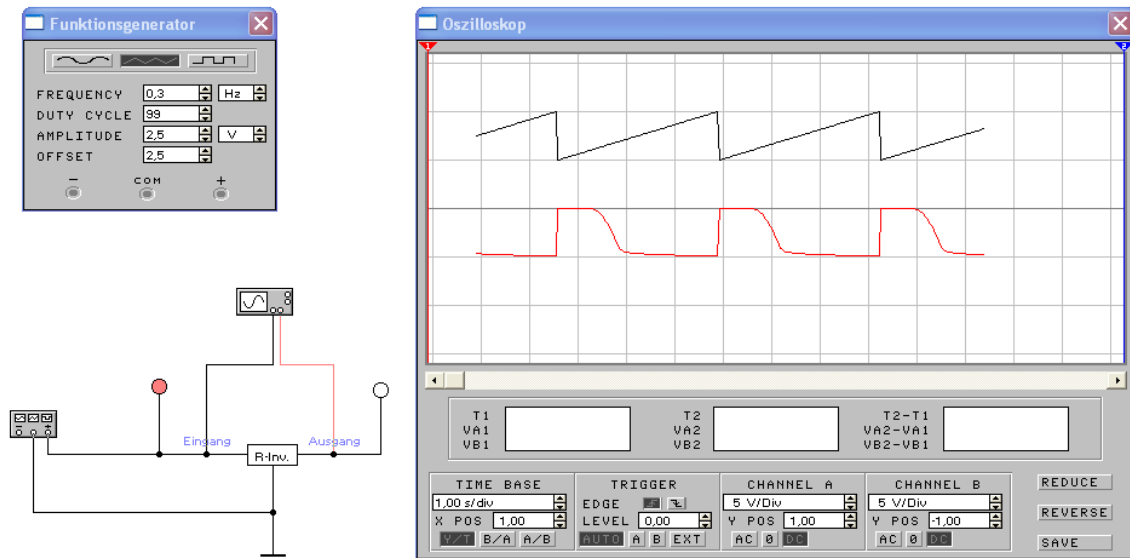
Realisierte Boolesche Funktion:

Stabilisierende Wirkung der Übertragungskennlinien

Eine Übertragungskennlinie gibt an, wie sich der Ausgang eines Bauteils in Abhängigkeit vom Eingang verhält.

Versuch 175 Übertragungskennlinie

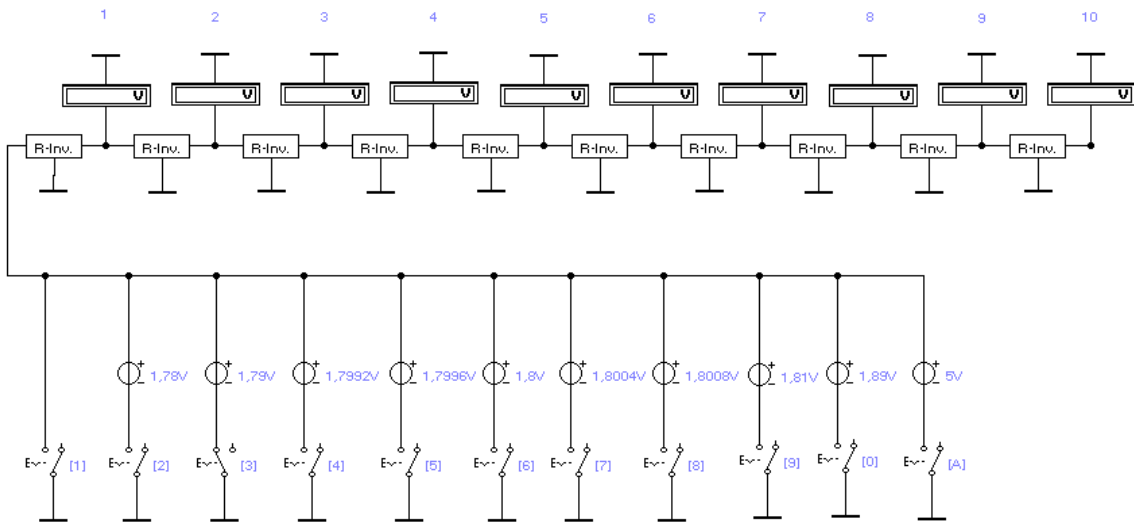
Datei v175



Die rote (untere) Kurve stellt die Übertragungskurve eines realen Inverters dar. Erklären sie beide Kurven und deren Zusammenhang.

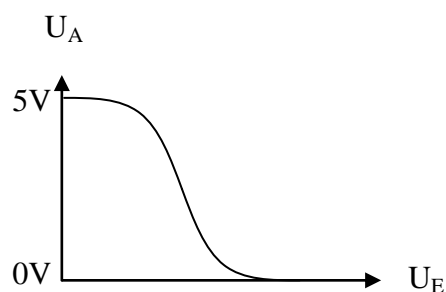
Versuch 180 Stabilisierende Wirkung

In diesem Versuch finden Sie in Datei v180 zehn hintereinandergeschaltete Inverter und eine Reihe von Spannungsgeneratoren, mit denen die Eingangsspannung des ersten Inverters verändert werden kann. Bestimmen Sie mit dieser Messschaltung die in der folgenden Tabelle fehlenden Werte und tragen Sie sie dort ein.

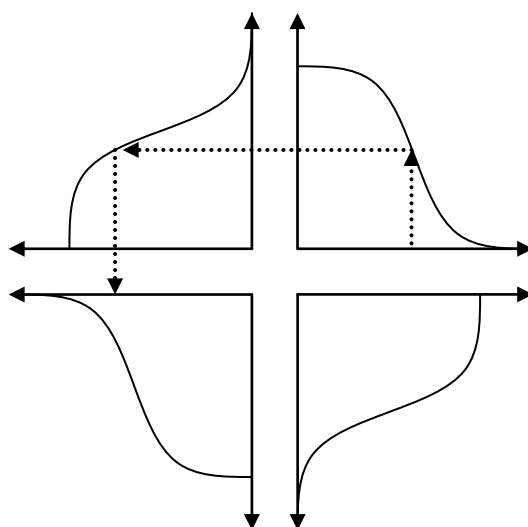


Eingangs- spannung (in V)	1. Gatter	2. Gatter	3. Gatter	4. Gatter	5. Gatter	6. Gatter	7. Gatter	8. Gatter	9. Gatter	10. Gatter
0,0000	5,000	0,124	5,000	0,124	5,000	0,124	5,000	0,124	5,000	0,124
1,7800					5,000	0,124	5,000	0,124	5,000	0,124
1,7900					5,000	0,124	5,000	0,124	5,000	0,124
1,7992					5,000	0,124	5,000	0,124	5,000	0,124
1,7996					5,000	0,124	5,000	0,124	5,000	0,124
1,8000								5,000	0,124	5,000
1,8004						5,000	0,124	5,000	0,124	5,000
1,8008						5,000	0,124	5,000	0,124	5,000
1,8100				5,000	0,124	5,000	0,124	5,000	0,124	5,000
1,8900				5,000	0,124	5,000	0,124	5,000	0,124	5,000
5,0000	0,124	5,000	0,124	5,000	0,124	5,000	0,124	5,000	0,124	5,000

Bei korrekter Messung stellen Sie fest, dass sich die Ausgänge spätestens nach dem 8. Gatter auf die Werte 5,000 V bzw. 0,124 V einpendeln. Der Grund hierfür liegt in der Übertragungskurve der Inverter.



Die stabilisierende Wirkung kann man erkennen, indem man gemäss des Schaltungsaufbaus mehrere Übertragungskennlinien hintereinander betrachtet. Machen Sie sich den Zusammenhang zum Versuchsaufbau klar. Vervollständigen Sie das nachfolgende Diagramm, indem Sie die gestrichelte Linie bis zum Ausgang des siebten Inverters fortsetzen.

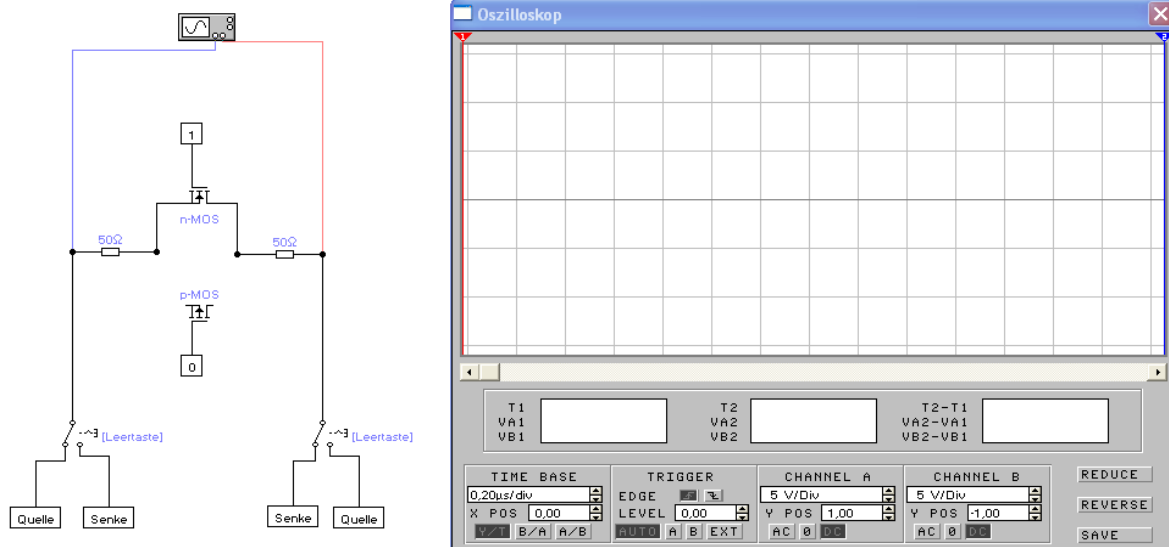


Durchschaltverhalten von MOS-Transistoren

Versuch 185 Signalverfälschung

MOS-Transistoren zeigen bzgl. der Weiterleitung eines 0- und eines 1-Pegels unterschiedliches Verhalten. Bestimmen Sie, welcher Pegel bei welchem Transistortyp verfälscht durchgeleitet wird.

Öffnen Sie die Datei v185 und schalten Sie die Simulation ein. Warten Sie einige Sekunden, bis sich das Bild stabilisiert hat.



Bei beiden Transistoren ist am Gate der passende Wert für durchschalten (leiten) angelegt. Vergleichen Sie die Rechteckkurve, die in „Quelle“ erzeugt und am Source-Anschluss des Transistors eingespeist wird, mit der Ausgangskurve am Drain-Anschluss, die von der „Senke“ aufgenommen wird.

Welcher Pegel wird verfälscht und welcher unverfälscht durchgeleitet? Ignorieren Sie die abgerundeten Kanten der Flanken, betrachten Sie nur die Pegel.

Messen Sie die kleinste Abweichung am verfälschten Pegel. Bewegen Sie dazu die rote Messlinie an den richtigen Zeitpunkt. Einer der zwei Werte unter T1 (linkes Zahlenfenster unter dem Bildschirm des Oszilloskops) stellt den zu messenden Spannungswert dar. Wie gross ist die Abweichung (auf zwei Nachkommastellen genau)?

n-MOS		
	bei logischem Pegel	Abweichung (in V)
Verfälschung:		

Möglicherweise liegt es ja an der Richtung. Tauschen Sie mit Hilfe der Leertaste Quelle und Senke aus und führen Sie den Versuch erneut durch. Was beobachten Sie?

Lösen Sie nun eine der Leitungen zum n-MOS-Transistor und schliessen Sie Source und Drain des p-MOS-Transistors an die beiden 50 Ohm Widerstände an. Führen Sie den gesamten Versuch erneut durch. Was beobachten Sie?

	p-MOS	
	bei logischem Pegel	Abweichung (in V)
Verfälschung:		

Transmission

Wir haben festgestellt, dass MOS-Transistoren nur jeweils einen Pegel korrekt und den anderen verfälscht durchleiten. Das ist unschön.

Im Folgenden wollen wir die Grundlage für ein Transmissionsgatter schaffen. Dieses soll beide Pegel unverfälscht durchleiten.

Wir müssen sie die beiden Transistoren verschalten, um obiges Verhalten zu erreichen? Überprüfen Sie ihre Schaltung mit dem Oszilloskop.

Speichern Sie Ihre Lösung ab.

Versuch 190 Steuerbares Transmissionsgatter

Am Ende des vorherigen Versuchs haben Sie (hoffentlich) eine Schaltung erzeugt, die beide Pegel unverfälscht durchleitet. Diese soll nun in der Datei v190 zu einem Transmissionsgatter ausgebaut werden, das Folgendes leisten soll:

Ein Transmissionsgatter besitzt einen Steuereingang und zwei Daten Ein/Ausgänge. Bzgl. letzterer soll es bidirektional arbeiten.

Bei einer 1 am Steuereingang soll das Transmissionsgatter beide Pegel am Dateneingang unverfälscht zum Datenausgang weiterleiten.

Bei einer 0 am Steuereingang soll das Transmissionsgatter am Datenausgang Z liefern, unabhängig davon, was am Dateneingang anliegt.

Da der Zustand Z am Oszilloskop nicht darstellbar ist, arbeiten wir im Folgenden mit zwei Ersatzschaltungen für die MOS-Transistoren. Ausserdem betrachten wir nur eine Durchlassrichtung (von oben nach unten), obwohl die Transistoren prinzipiell bidirektional nutzbar sind.

n-se* leitet, falls am Gate eine 1 anliegt, einen Pegel unverfälscht durch und liefert für den anderen einen verfälschten Wert. Bei Gate = 0 liefert n-se* an Drain immer den Zustand Z.

p-se* leitet, falls am Gate eine 0 anliegt, einen Pegel unverfälscht durch und liefert für den anderen einen verfälschten Wert. Bei Gate = 1 liefert p-se* an Drain immer den Zustand Z.

n-se*

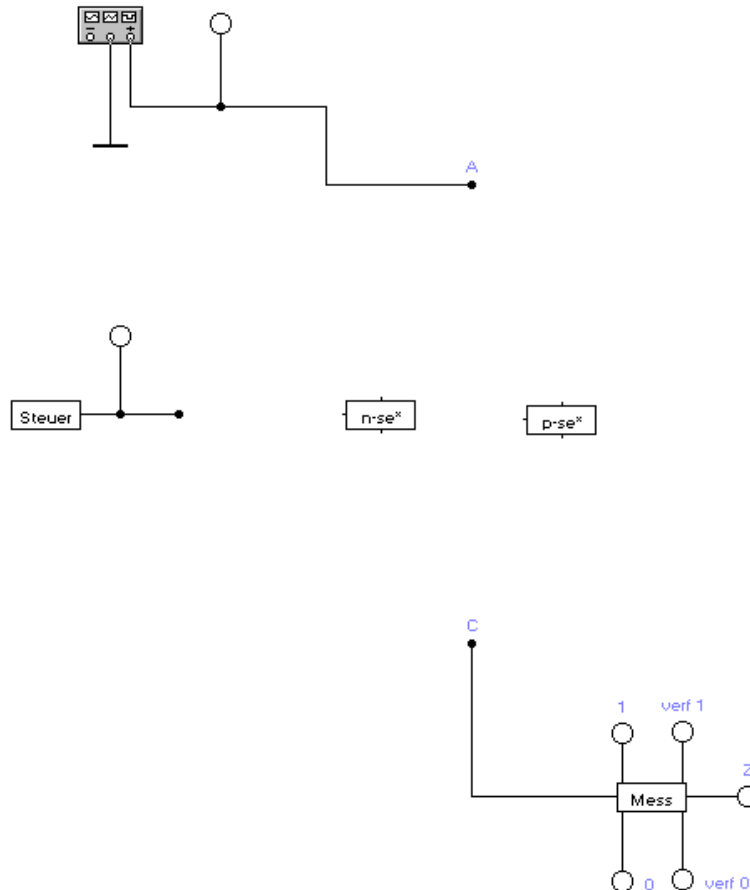
Gate (linker Anschluss)	Source (oberer Anschluss)	Drain (unterer Anschluss)
1	0	0 (0 Volt)
1	1	1 verf (4,5 Volt)
0	beliebig	Z (keine Spannung)

p-se*

Gate (linker Anschluss)	Source (oberer Anschluss)	Drain (unterer Anschluss)
0	1	1 (5 Volt)
0	0	0 verf (0,5 Volt)
1	beliebig	Z (keine Spannung)

Prüfen sie stichprobenhaft mit Hilfe des Messgerätes Mess, ob obige Makros das gewünschte Verhalten zeigen.

Entwerfen Sie nun ein steuerbares Transmissionsgatter (siehe nächste Seite).



Hinweis: Sie dürfen ausser Leitungen auch einfache Elemente der EWB-Bibliothek benutzen.

Bauen Sie zwischen den Punkten A und C ein steuerbares Transmissionsgatter, das folgendes leistet: Das Makro Steuer liefert zur Steuerung eine 0 oder 1 und kann per Leertaste umgeschaltet werden.

Bei "Durchlassen" (Steuer = 1) sollen die am Punkt A eingespeisten Nullen und Einsen nach C weitergeleitet werden. Bei "Sperren" (Steuer = 0) sollen die Nullen und Einsen gesperrt, also nicht weitergeleitet werden.

Bauen Sie die Schaltung auf, schalten Sie die Simulation ein, und prüfen Sie, ob bei Steuer = 1 die Nullen und Einsen unverfälscht weitergeleitet werden. Schalten Sie nun Steuer um. Zeigt das Messgerät Z an?

Speichern Sie die fertige Schaltung ab.

Eine Variante des Transmissionsgatters ist das Tristate-Gatter, auch Tristate-Buffer oder Tristate-Treiber genannt. Es ist im EWB als Bauteil vorhanden.



Der Tristate-Treiber ist nicht-invertierend und besitzt eine grössere Ausgangsbelastbarkeit (Fan-out), um grössere Lasten bzw. mehrere Gatter anzusteuern.

Der Treiber hat einen Freigabe-Eingang (EN), mit dem der Ausgang Y durch Anlegen einer 0 in den hochohmigen Zustand Z geschaltet werden kann. Der hochohmige Zustand ist wie das Entfernen der Verbindungsleitung vom Ausgang des Treibers zur restlichen Schaltung. Diese Eigenschaft ist sehr nützlich, wenn mehrere Ausgänge auf einen Punkt geführt werden müssen (z.B. Datenbus).

Bei $EN = 1$ liefert Y den Zustand, der an A anliegt.

Tristate-Gatter werden in späteren Versuchen benutzt.