

Digitalelektronisches Praktikum

Versuch 4

Moritz Breipohl
mbreipohl@techfak.uni-bielefeld.de

Markus Rothgänger
mrothgaenger@techfak.uni-bielefeld.de

Gruppe 5

Tutor: Lukas Schmidt, Robin Ewers

14. Juni 2018

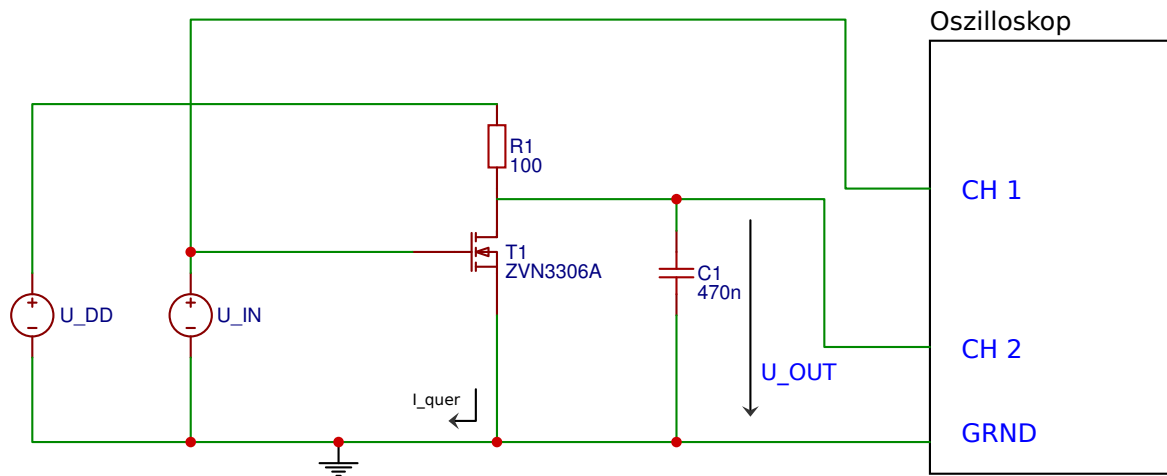


Abbildung 1: Aufbau des Inverters mit Lastwiderstand

Versuchsaufbau

Aufgabe

In diesem Versuch war es Ziel, die Vor- und Nachteile dreier, unterschiedlicher Inverterschaltungen zu untersuchen. Dazu wurden die Schaltungen zum einen am Computer simuliert und zum anderen auf dem Steckbrett aufgebaut und gemessen. Hier sollten die Unterschiede aus Simulation und Messung herausgestellt werden.

Erwartung

Erwartet wurde, dass alle Inverterschaltungen ein ähnliches Verhalten zeigen, wobei der ideale Einsatz vom Szenario abhängt.

Aufbau

Als Schaltungen wurde zuerst der Inverter mit Lastwiderstand aufgebaut (Abbildung 1). Als Zweites der Anreicherungsinverter (Abbildung 2) und zuletzt der CMOS-Inverter (Abbildung 3). In allen Schaltungen waren zwei Spannungsquellen nötig. Die Versorgungsspannung wurde konstant gehalten, wobei die Schaltspannung dem Eingang des Inverters entsprach. Als Ausgang ist die Masche am Kondensator zu betrachten. Der Querstrom I_{quer} wurde wie in den Schaltplänen eingezeichnet gemessen, um Verlustströme aufzunehmen. Um die Schaltzeit zu bestimmen, war des Weiteren der Funktionsgenerator und das Oszilloskop nötig. Hier wurde der Funktionsgenerator anstelle der Eingangs-Stromversorgung eingebaut und der Ausgang am Kondensator über das Oszilloskop aufgenommen (exemplarisch im Schaltbild Abbildung 1 dargestellt).

Verwendete Bauteile

Transistoren vom Typ ZVN3306A und ZVP3306A (nur CMOS-Inverter), Spannungsquellen mit begrenztem Strom, Multimeter, Kondensator mit einer Kapazität von 470nF, ein Widerstand mit 100 Ω (nur Inverter mit Lastwiderstand), Funktionsgenerator und Oszilloskop (Schaltzeitmessung).

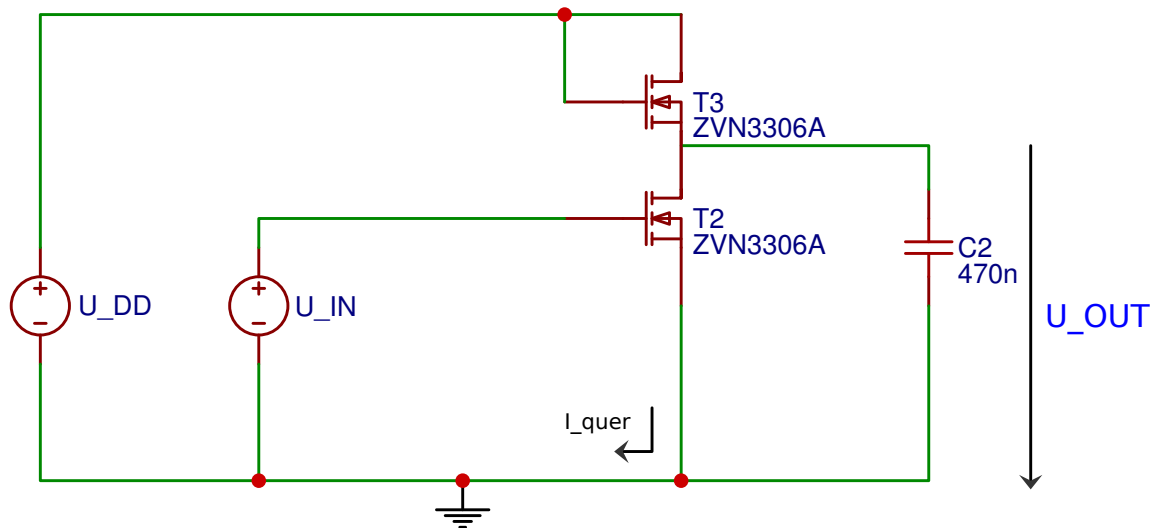


Abbildung 2: Aufbau des Anreicherungsinverters

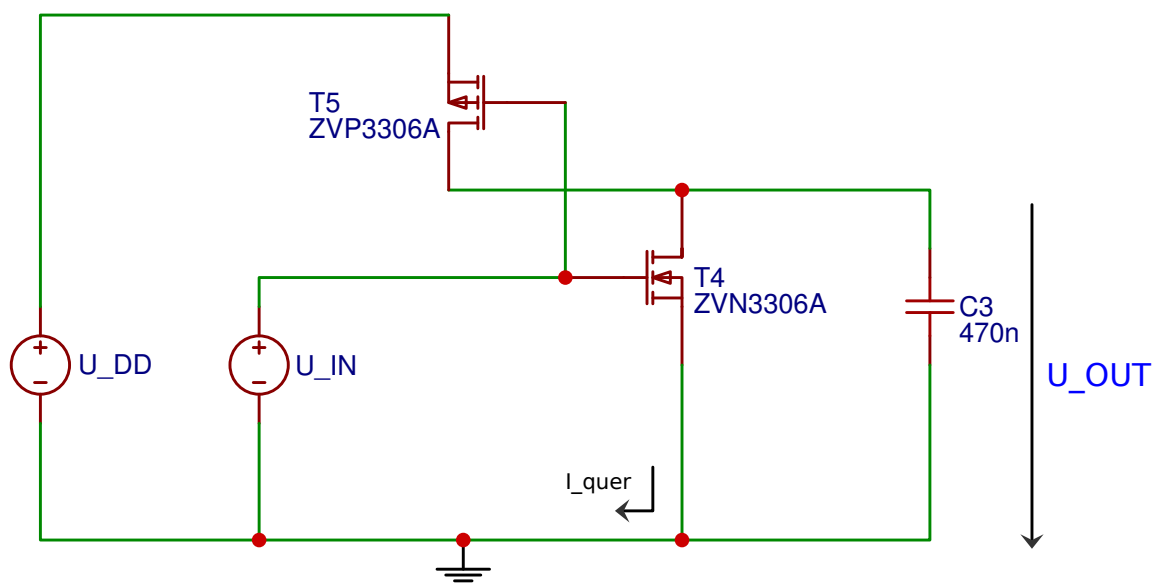


Abbildung 3: Aufbau des CMOS-Inverters

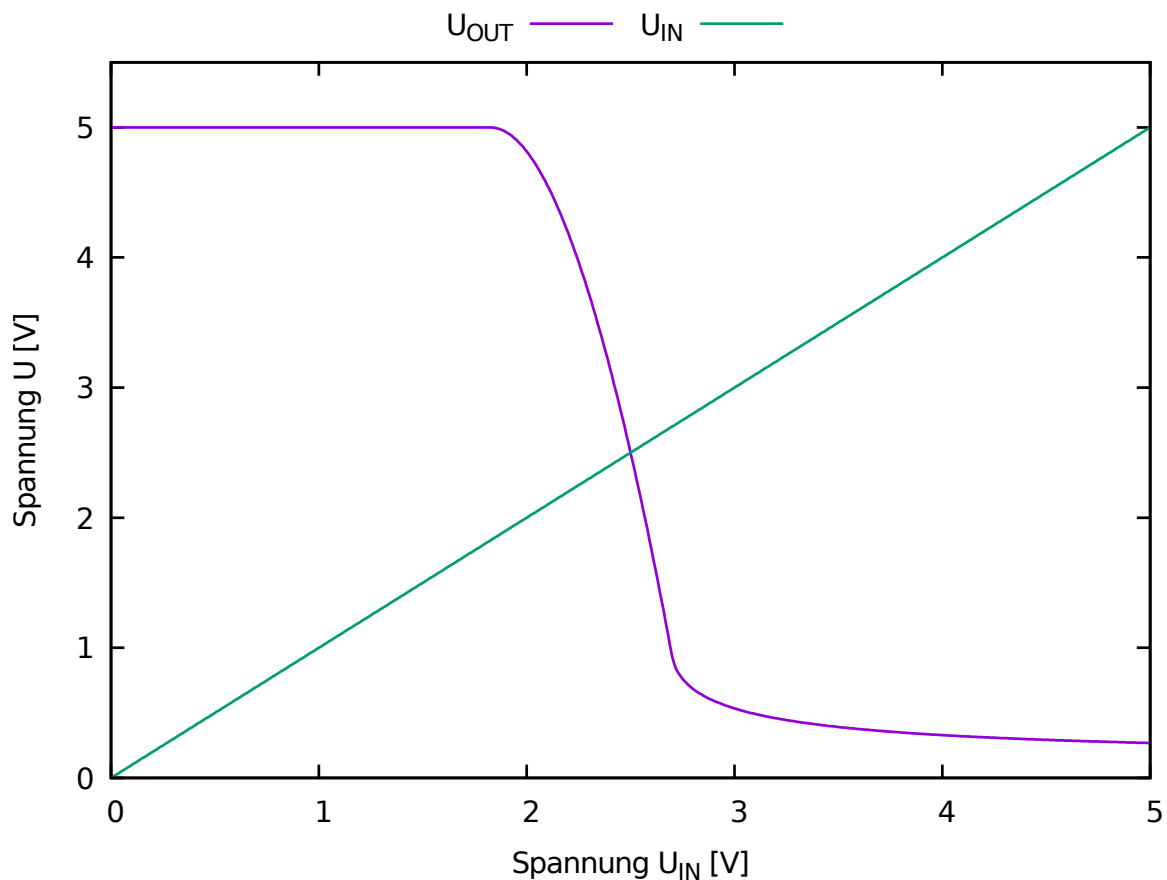


Abbildung 4: Schrittweise Erhöhung der Eingangsspannung
Inverter mit Lastwiderstand in Simulation

Durchführung Simulation

Zuerst wurden die Schaltungen im Programm "LTSpice" aufgebaut und das Verhalten bzw. die Spannung am Ausgang bei einer Schrittweisen Erhöhung der Eingangsspannung ($U_{IN} = 0V$ bis $U_{IN} = 5V$) aufgenommen. Im zweiten Schritt wurde für jede Schaltung die Reaktions- bzw. Schaltzeit gemessen, indem die Eingangsspannung als Rechteckskurve simuliert wurde. Die Ergebnisse wurden in Form von Datentabellen gesichert und anschließend geplottet. Die Versorgungsspannung wurde konstant auf $U_{DD} = 5V$ gehalten.

Messergebnisse Simulation

Die Messergebnisse zum Verhalten beim Erhöhen der Eingangsspannung sind in Abbildung 4 bis Abbildung 6 dargestellt. Die Ergebnisse aus der Simulation zur Feststellung der Schaltzeit sind ebenfalls grafisch aufbereitet (Abbildung 7 bis Abbildung 9). Des weiteren wurden die Zeiten aus den Messdaten extrahiert, zu welchen die Ein- bzw. Ausgangsspannung auf die Hälfte der Amplitude gesunken bzw. gestiegen war. Aus diesen Daten wurde die Differenz gebildet (Schaltzeit). Die Ergebnisse sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

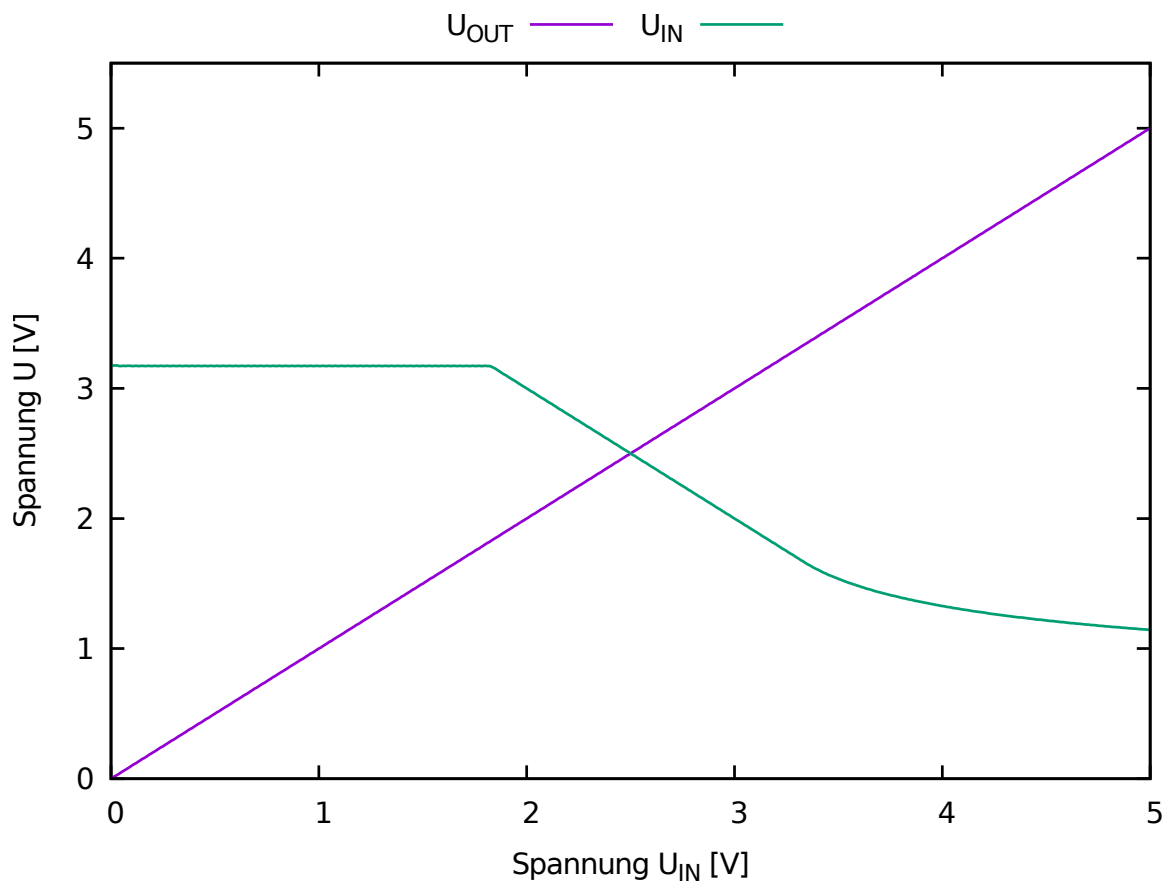


Abbildung 5: Schrittweise Erhöhung der Eingangsspannung
Anreicherungsinverter in Simulation

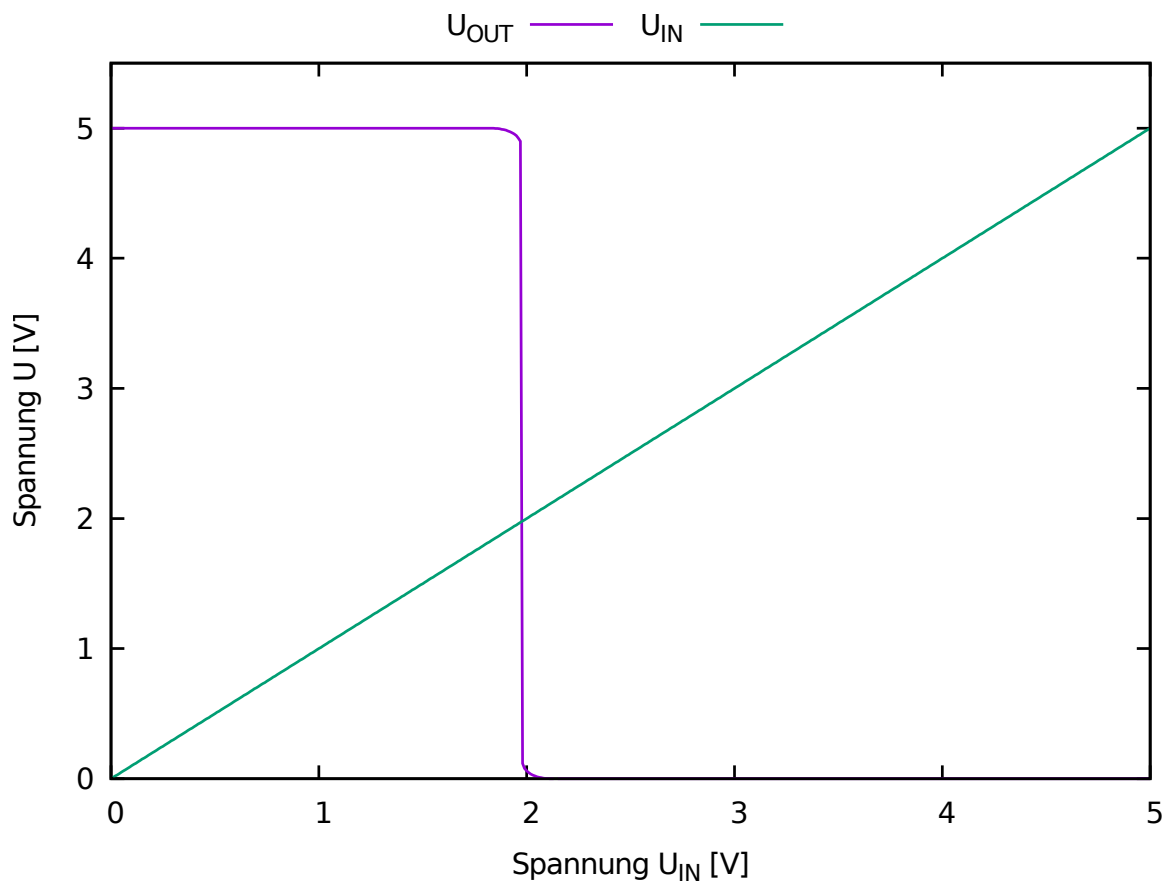


Abbildung 6: Schrittweise Erhöhung der Eingangsspannung CMOS-Inverter in Simulation

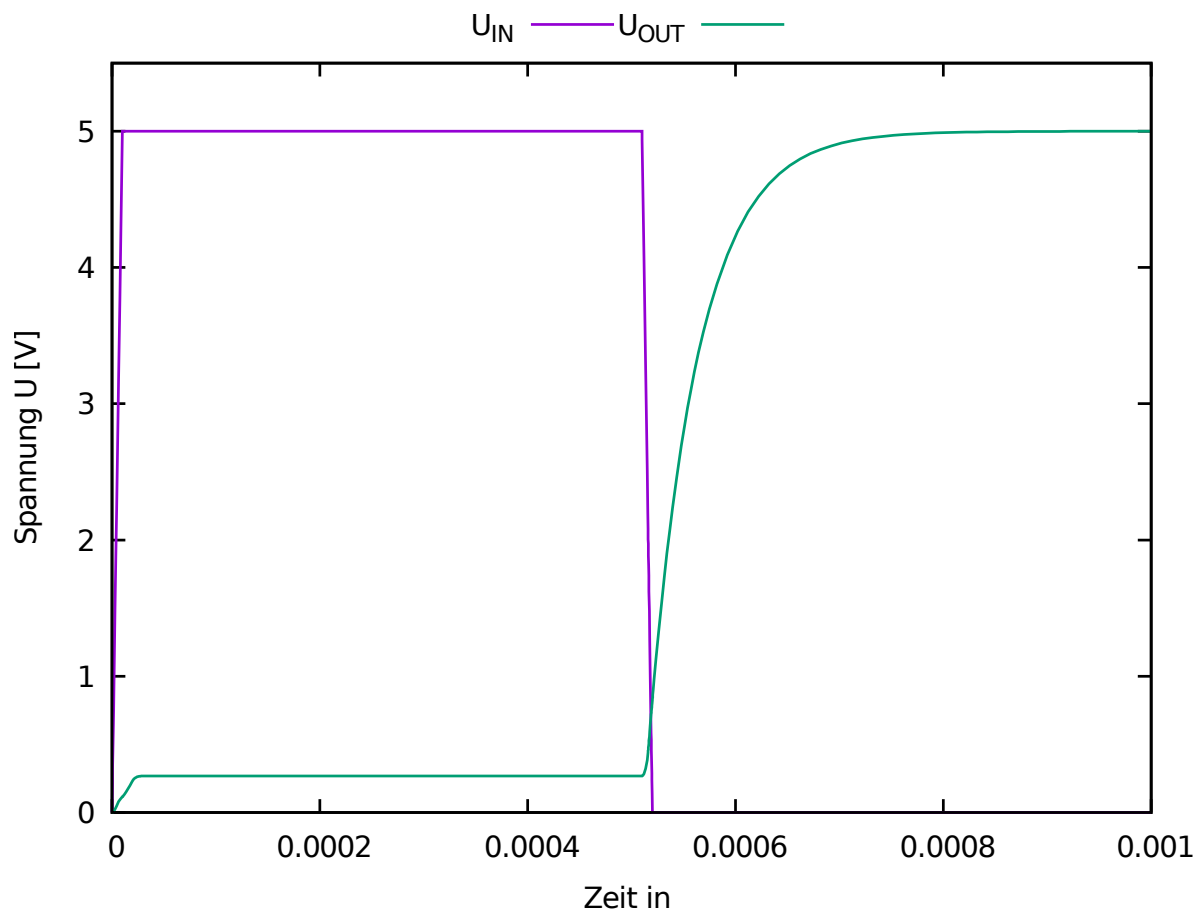


Abbildung 7: Schaltzeitmessung in der Simulation
Inverter mit Lastwiderstand

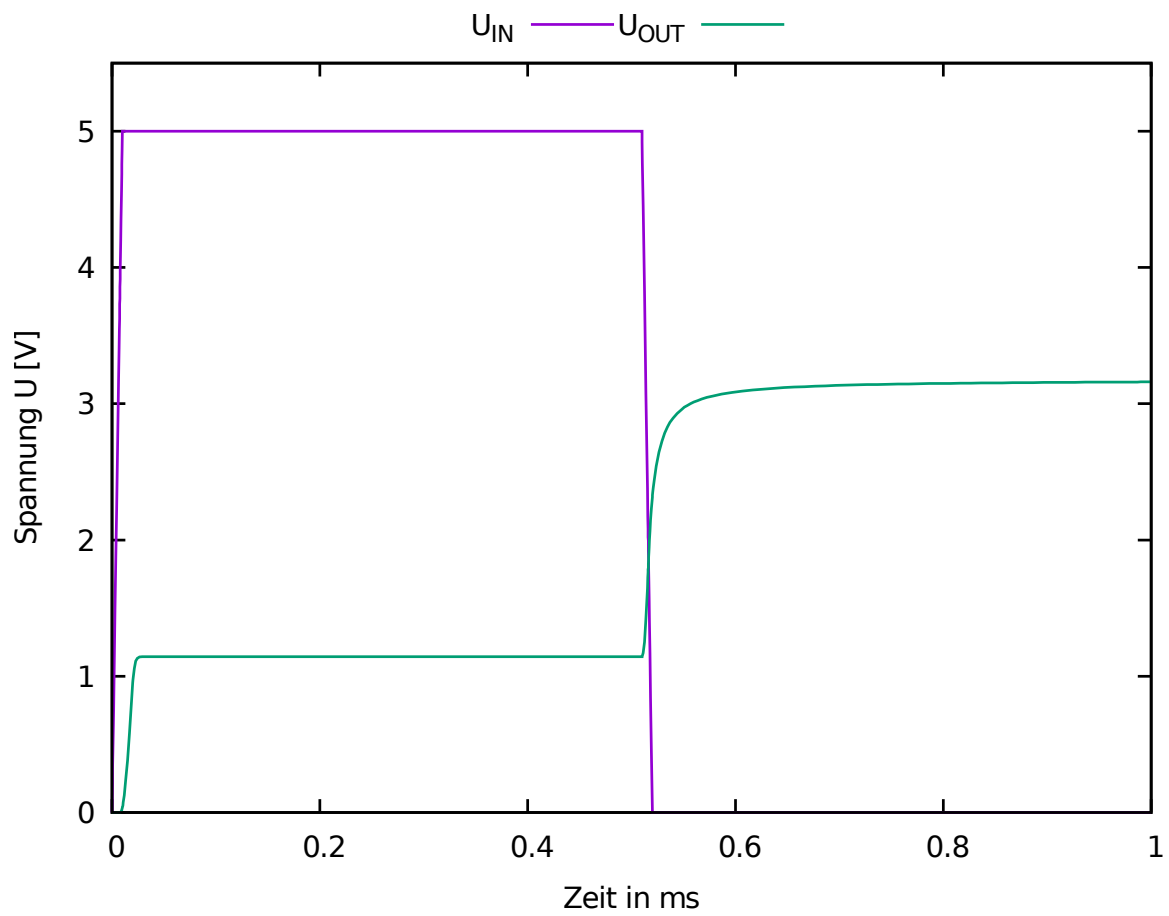


Abbildung 8: Schaltzeitmessung in der Simulation
Anreicherungsverter

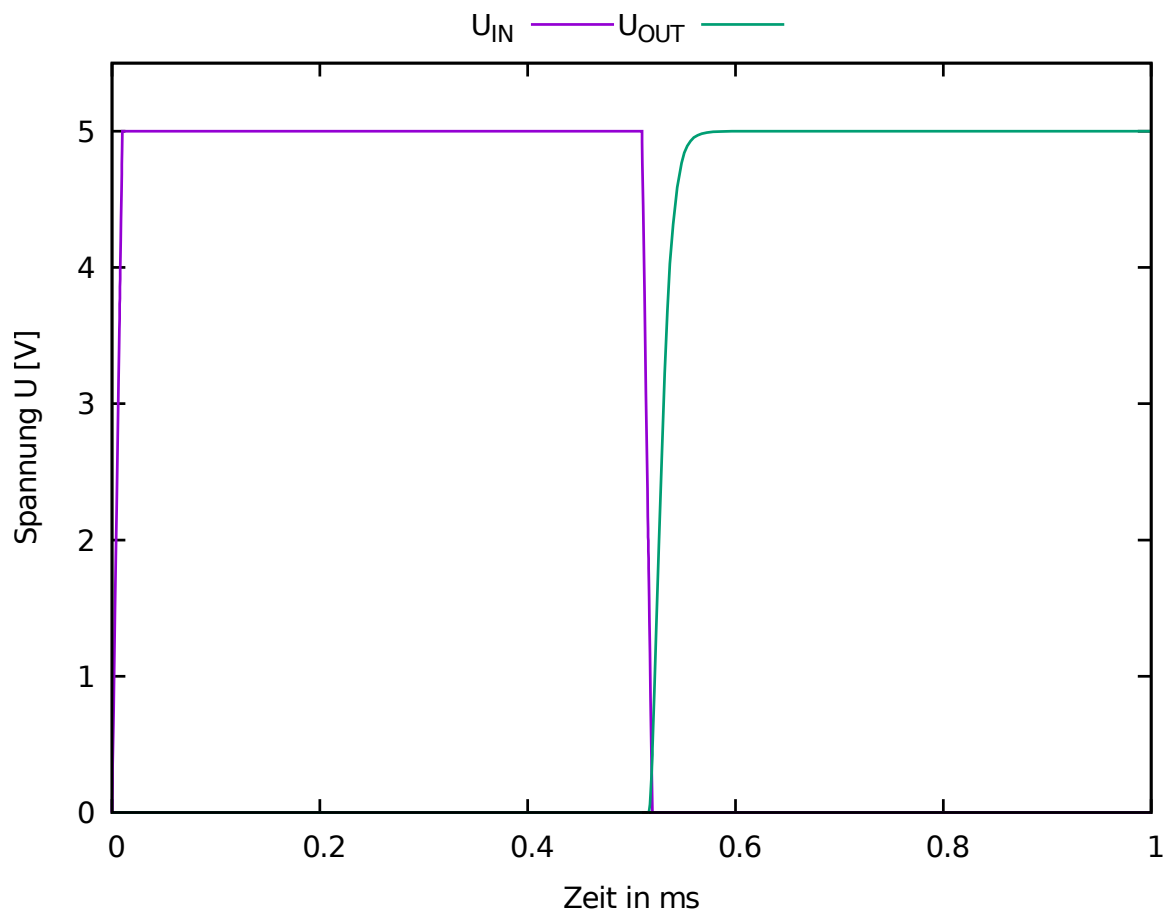


Abbildung 9: Schaltzeitmessung in der Simulation
CMOS-Inverter

Inverter-Typ	Schaltzeit in ms
Lastwiderstand	0.0284
Anreicherungstyp	0.0024
CMOS	0.0139

Tabelle 1: Schaltzeiten nach Simulation der Invertertypen

Durchführung Messung

Ähnlich wie in der Simulation, wurde bei der Messung am Steckbrett zunächst die Eingangsspannung schrittweise von 0 bis 5 Volt erhöht. Zur Messung der Schaltzeiten wurde eine vom Funktionsgenerator generierte Rechteckskurve mit einer Amplitude von 5V genutzt und die Eingangsspannung mit der Ausgangsspannung am Oszilloskop verglichen, wobei die Schaltzeit mithilfe der Cursor gemessen wurde. Die Versorgungsspannung blieb konstant bei fünf Volt.

Messergebnisse Messung

Inverter-Typ	Schaltzeit in ms
Lastwiderstand	36
Anreicherungstyp	3600
CMOS	3000

Tabelle 2: Schaltzeiten nach Messung der Invertertypen

Die mit dem Oszilloskop bestimmten Schaltzeiten sind in Tabelle 2 dargestellt.

Zuletzt wurde am Steckbrett der Querstrom gemessen. Die Ergebnisse sind in Tabelle 3 zu finden.

Inverter-Typ	Querstrom in [mA]
Lastwiderstand	23,5
Anreicherungstyp	35,8
CMOS	2,0

Tabelle 3: Quer- bzw. Verluststrom je Schaltung

Beobachtungen

Bei der Bestimmung der Schaltzeiten in der Simulation ist auffällig, dass die Schaltzeit für den Anreicherungsinverter im Vergleich sehr niedrig ist. Hier ist jedoch ebenfalls in Betracht zu ziehen, dass die Spannungsdifferenz der beiden Zustände gerade einmal 2V beträgt. Bei den restlichen Schaltungen beträgt die Differenz volle 5V. Weiterhin fällt auf, dass die gemessenen Schaltzeiten aus der Simulation um mehrere Zehnerpotenzen kleiner sind, als die aus dem realen Aufbau. Aber auch als prozentuale Differenz ergeben sich Unstimmigkeiten: In der Simulation war der Anreicherungs-Inverter jener mit der geringsten Schaltzeit, im realen Aufbau jedoch übernahm der Inverter mit Lastwiderstand die Führung.

Auswertung

Die Aufgenommenen Daten zeigen, dass das grundlegende Verhalten von Aufbau und Simulation vergleichbar sind. Die riesigen Unterschiede in den Schaltzeiten zwischen Simulation und Aufbau werden daran liegen, dass die Simulation eine idealisierte Annahme des Aufbaus ist. Dadurch werden viele Effekte in LTSpice, wie beispielsweise das Lade-/Entladeverhalten der Bauteile oder aber auch Verlustleistungen in den Drähten, nicht (oder anders) berücksichtigt. Des weiteren Zeigen die Werte, dass das Einsatzgebiet je Inverter schwanken kann. Eine sehr schnelle Schaltzeit bietet der Inverter des mit Lastwiderstand, welche diesen besonders geeignet macht für Schaltungen, welche mit hohen Frequenzen arbeiten; einen sehr geringen Querstrom jedoch der CMOS-Inverter. Diese Feststellung macht den CMOS-Inverter für komplexe elektrische Schaltungen ideal, da dort die Verlustleistung durch Querströme minimiert werden sollte.

Literaturverzeichnis