

GPET Versuch 10 — Zuse und Lilienfeld – ganz diskret

Gruppe: Dienstag14

Tim Luchterhand, Paul Nykiel
tim.luchterhand@uni-ulm.de, paul.nykiel@uni-ulm.de

16. Juni 2017

5.1 Relais-Inverter mit Widerstand

Im ersten Teil des Versuchs soll das 12V-Relais untersucht werden. Achten Sie beim Anschließen der Eingangsspannung an die Spule des Relais immer auf die richtige Polarität. Diese ist zwar prinzipiell bei einem Relais irrelevant, allerdings wurde hier eine Diode parallel zur Spule verlötet um induktionsbedingte Spannungsspitzen bei den Schaltvorgängen kurzzuschließen. Um nun nicht die Eingangsspannung selbst kurzzuschließen, muss unbedingt auf entsprechende Polarität geachtet werden.

5.1.1 Stromverbrauch des Relais

Das Relais wird zunächst mit konstanter Versorgungsspannung betrieben, dabei soll der Stromverbrauch gemessen werden.

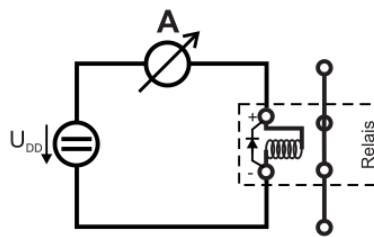


Abbildung 5.1: Aufbau: Relais mit konstanter Versorgung

1. Arbeiten Sie mit der konstanten Gleichspannung $U_{DD} = +10\text{V}$. Begrenzen Sie den Strom auf 100mA.
2. Bauen Sie die Schaltung aus Abbildung 5.1 bestehend aus dem Relais und dem Multimeter zur Strommessung auf.
3. Wie viel Strom fließt durch die Spule des Relais?

5.1.2 Dynamik des Relais

Um die Tauglichkeit des Relais als Schalter für die Digitaltechnik zu untersuchen, wird im Folgenden ein Inverter nach Abbildung 5.2 aufgebaut. Das dynamische Verhalten des Bauelements soll unter Verwendung eines Testsignals untersucht werden.

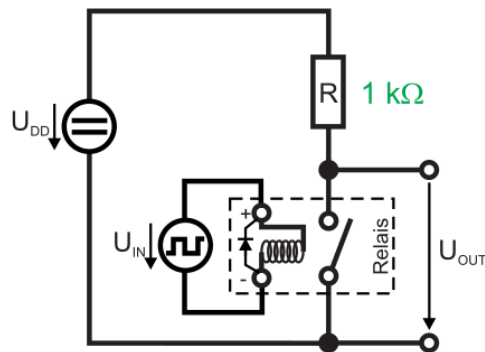


Abbildung 5.2: Aufbau: Relais mit Pull-Up-Widerstand

1. Verwenden Sie eine Gleichspannung von +10V als Versorgung U_{DD} . Begrenzen Sie den Strom auf 100mA.
2. Zur Generierung des Testsignals U_{IN} soll der externe Funktionsgenerator verwendet werden. Erzeugen Sie ein Rechtecksignal mit den Potentialgrenzen 0V und +10V bei einer Frequenz von 10Hz. Messen Sie mit dem Oszilloskop auf Kanal 1 zunächst das Testsignal und prüfen Sie dessen Richtigkeit. Schließen Sie das Relais zu diesem Zeitpunkt noch nicht an und stellen Sie vor Allem sicher, dass das untere Limit von 0V nicht unterschritten wird.
3. Bauen Sie die Inverterschaltung aus Abbildung 5.2 auf. Verwenden Sie den 1 kOhm Widerstand als Pull-Up.
4. Messen Sie mit dem Oszilloskop auf Kanal 2 den Schaltungsausgang U_{OUT} . Untersuchen Sie die Reaktionszeit des Relais (nicht die Anstiegs- & Abfallzeit!). Fügen Sie entsprechende Screenshots vom Oszilloskop in Ihr Protokoll mit ein.
 - **Wie lange dauert es, bis ausgangsseitig stabil +10V anliegen, wenn der Schaltungseingang auf niedriges Potential gefallen ist?**
 - **Wie lange dauert es, bis ausgangsseitig stabil 0V anliegen, wenn der Schaltungseingang auf hohes Potential gestiegen ist?**
 - **Ermitteln Sie, basierend auf diesen Messungen, die zu erwartende maximale Frequenz mit der das Relais gerade noch arbeiten kann.**
 - **Verifizieren Sie den berechneten Wert in der Praxis. Bei welcher Frequenz kann das Relais gerade noch arbeiten?**

5.2 nMOS-Inverter mit Widerstand

Es wird nun an Stelle des elektromechanischen Bauelements der rein elektrisch arbeitende Transistor verwendet. Dabei soll die theoretisch besprochene Problematik

der Widerstandsdimensionierung anhand eines Inverters praktisch verdeutlicht werden. Der Inverter wird dabei auf Stromverbrauch, Ausgangsspanne und Schaltgeschwindigkeit untersucht.

5.2.1 Stromverbrauch und Ausgangsspanne des nMOS-Inverters

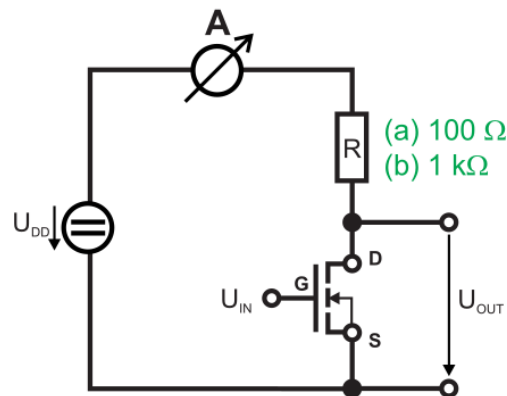


Abbildung 5.3: Aufbau: nMOS-Inverter mit Widerstand, konstante Eingangsspannung

1. Verwenden Sie jetzt eine Gleichspannung von +5V als Versorgungsspannung U_{DD} . Stellen Sie die Spannung mit Hilfe eines Multimeters möglichst genau ein. Entfernen Sie danach das Multimeter wieder. Begrenzen Sie den Strom auf 100mA.
2. Bauen Sie die Schaltung aus Abbildung 5.3 mit einem n-Kanal MOSFET auf. Verwenden Sie zunächst 100 Ohm als Pull-Up.
3. Legen Sie den Schaltungseingang U_{IN} auf das feste Potential GND . **Messen Sie die Ausgangsspannung U_{OUT} in diesem Zustand. Messen Sie außerdem den Strom, der dabei verbraucht wird.**
4. Verbinden Sie U_{IN} nun mit der Versorgungsspannung. **Messen Sie erneut die Ausgangsspannung U_{OUT} und den Stromverbrauch des Inverters.**
5. Tauschen Sie den Widerstand R aus. Verwenden Sie jetzt den 1 kOhm - Widerstand und wiederholen Sie die Messungen aus den vorigen beiden Schritten. Beachten Sie, welche Werte sich ändern.

5.2.2 Dynamik des nMOS-Inverters

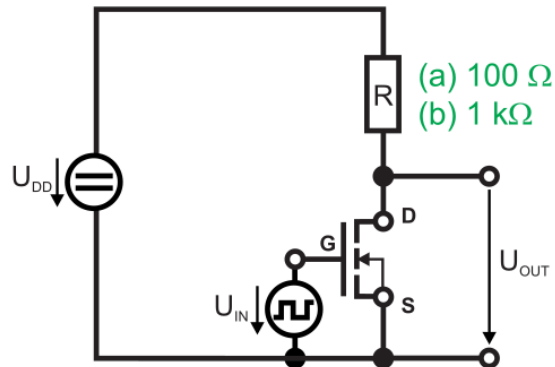


Abbildung 5.4: Aufbau: nMOS-Inverter mit Widerstand, Dynamikuntersuchung

1. Arbeiten Sie weiterhin mit der Gleichspannung von +5V als Versorgungsspannung U_{DD} . Begrenzen Sie den Strom auf 100mA.
2. Zur Generierung des Testsignals U_{IN} soll ab jetzt der interne Frequenzgenerator des Oszilloskops verwendet werden. Erzeugen Sie ein Rechtecksignal mit den Potentialgrenzen 0V und +5V bei einer Frequenz von 1MHz. Messen Sie mit dem Oszilloskop auf Kanal 1 zunächst das Testsignal und prüfen Sie dessen Richtigkeit. Schließen Sie das Eingangssignal an wie in Abbildung 5.4 dargestellt, verwenden Sie hierfür ein BNC-Kabel.
3. Untersuchen Sie die Schaltung aus Abbildung 5.4. Verwenden Sie zunächst 100 Ohm als Pull-Up. Entfernen Sie unbedingt das Amperemeter vom vorigen Versuch aus der Schaltung, dieses würde die nachfolgenden Untersuchungen verfälschen.

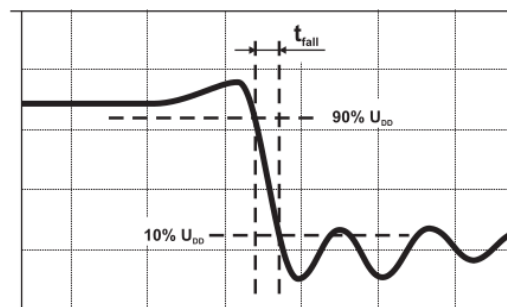


Abbildung 5.5: Messung der Schaltzeiten

4. Messen Sie mit dem Oszilloskop auf Kanal 2 über ein weiteres BNC-Kabel den Schaltungsausgang U_{OUT} . Untersuchen Sie die Anstiegs- & Abfallzeit der Schaltung. Führen Sie die Messungen durch wie in Abbildung 5.5 gezeigt. Messen Sie die Zeit für das Fallen oder Steigen des Ausgangssignals zwischen 10% und 90% der Versorgungsspannung. Verwenden Sie die Cursor-Funktion des Oszilloskops manuell, da die automatische Messung der Anstiegs- & Abfallzeit durch das hohe Schwingungsverhalten der Schaltung meist überfordert ist.
 - **Wie lange dauert es, ausgehend von 10% U_{DD} , bis ausgangsseitig erstmals 90% U_{DD} anliegen (Anstiegszeit, t_{rise})?**
 - **Wie lange dauert es, ausgehend von 90% U_{DD} , bis ausgangsseitig erstmals 10% U_{DD} anliegt (Abfallzeit, t_{fall})?**
 - **Bestimmen Sie die theoretische Maximalfrequenz mit der die Schaltung, basierend auf den Messungen, gerade noch funktionieren kann.**
5. Tauschen Sie den Widerstand R aus. Verwenden Sie nun 1 kOhm. **Messen Sie erneut die Schaltzeiten.**
6. **Nennen Sie Vor- & Nachteil(e) eines großen Pull-Up-Widerstands.**

5.3 CMOS Grundsaltungen

5.3.1 CMOS-Inverter

Um die CMOS-Logik mit den vorher untersuchten Technologien vergleichen zu können, wird auch in diesem Versuch zunächst ein Inverter aufgebaut. Dabei wird der Pull-Up-Widerstand ganz einfach durch einen p-Kanal MOSFET ersetzt.

5.3.2 Stromverbrauch und Ausgangsspanne des CMOS-Inverters

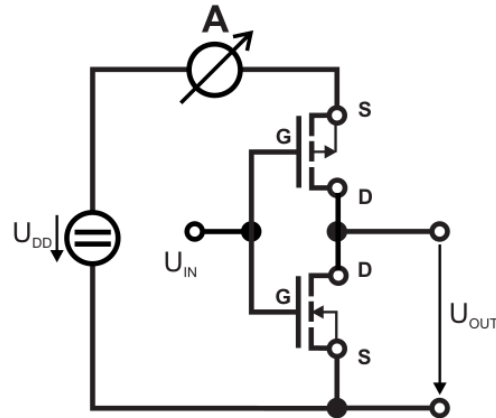


Abbildung 5.6: Aufbau: CMOS-Inverter, konstante Eingangsspannung

- Verwenden Sie +5V als Versorgung U_{DD} mit Strombegrenzung auf 100mA.
- Bauen Sie die Schaltung aus Abbildung 5.6 mit einem n-Kanal MOSFET und einem p-Kanal MOSFET auf.
- Legen Sie den Schaltungseingang U_{IN} auf festes Potential GND . **Messen Sie die Ausgangsspannung U_{OUT} . Messen Sie den Strom, den der Inverter verbraucht.**
- Verbinden Sie U_{IN} mit der Versorgungsspannung. **Messen Sie erneut Ausgangsspannung U_{OUT} und Stromverbrauch des Inverters.**
- **Vergleichen Sie die Ergebnisse mit denen des nMOS-Inverters.**

5.3.3 Dynamik des CMOS-Inverters

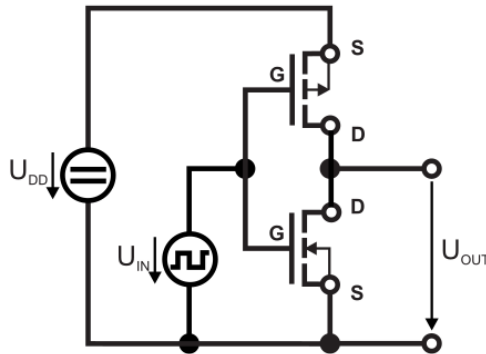


Abbildung 5.7: Aufbau: CMOS-Inverter, Dynamikuntersuchung

1. Verwenden Sie weiter $+5V$ für U_{DD} . Begrenzen Sie den Strom auf $100mA$.
2. Das Testsignal U_{IN} soll erzeugt werden, wie im Versuch mit dem nMOS-Inverter. Generieren Sie ein Rechtecksignal mit Potentialgrenzen $0V$ und $+5V$ bei einer Frequenz von $1MHz$.
3. Untersuchen Sie die Schaltung aus Abbildung 5.7 (entfernen Sie das Amperemeter).
4. Messen Sie mit dem Oszilloskop auf Kanal 2 den Schaltungsausgang U_{OUT} . Untersuchen Sie abermals die Dynamik. Führen Sie die Messung durch wie beim nMOS-Inverter.
 - Messen Sie die Anstiegszeit t_{rise} .
 - Messen Sie die Abfallzeit t_{fall} .
 - Bestimmen Sie die theoretische Maximalfrequenz mit der die Schaltung, basierend auf den Messungen, gerade noch funktionieren kann.
5. Welche Bauweise für einen Inverter würden Sie vorziehen? Vergleichen Sie die untersuchten Varianten und begründen Sie Ihre Wahl.

5.3.4 CMOS-NOR

- Verwenden Sie eine Gleichspannung von $+5V$ als Versorgungsspannung U_{DD} . Begrenzen Sie den Strom auf $100mA$.
- Bauen Sie das CMOS-NOR entsprechend Ihrer Vorbereitung auf.

- Verifizieren Sie die Wahrheitstabelle, indem Sie die Eingänge U_A und U_B entsprechend mit den Potentialen GND und U_{DD} belegen.

Messen Sie den Schaltungsausgang mit dem Multimeter und vergleichen Sie mit der Tabelle aus ihrer Vorbereitung.