

Digitalelektronisches Praktikum

Versuch 3

Moritz Breipohl Markus Rothgänger
mbreipohl@techfak.uni-bielefeld.de mrothgaenger@techfak.uni-bielefeld.de

Gruppe 5

Tutor: Lukas Schmidt, Robin Ewers

21. Juni 2018

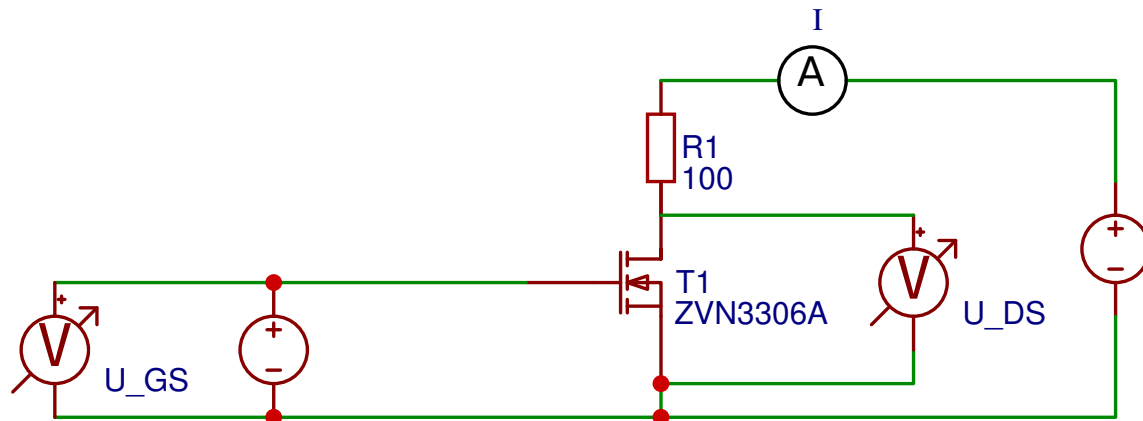


Abbildung 1: Versuchsaufbau

Versuchsaufbau

Aufgabe

Ziel des Versuches war es, MOS-Transistoren zu untersuchen, indem für einen Typ (N-MOS) dessen Eingangs- und Ausgangskennlinie erfasst wurde. Für diesen waren dann auch eine Arbeitsgerade zu wie der dazugehörige Arbeitspunkt einzuzeichnen. Im Anschluss war der Unterschied von N-MOS zu P-MOS Transistoren herauszustellen.

Erwartung

Es ist zu erwarten, dass durch Regulierung der Gate-Source-Spannung der Stromfluss zwischen Drain und Source beeinflussbar ist.

Aufbau

Das erste Netzteil wurde am Transistor mit dem Gate-Source-Eingang verbunden und die Spannung zur Feststellung der Eingangskennlinie schrittweise erhöht. Am Drain-Source Eingang wurde ein weiteres Netzteil angeschlossen, an welchem die Spannung zur Festlegung der Ausgangskennlinie schrittweise erhöht wurde. Am jeweils anderen Netzteil wurde die Spannung konstant gelassen und ggf. nachgeregelt. Im Drain-Source Schaltkreis wurde ein Widerstand und das Amperemeter in Reihe geschaltet. Der Aufbau ist in Abbildung 1 zu sehen.

Verwendete Bauteile

Multimeter, N-MOS Transistor ZVN3306A, 100 Ω Widerstand, zwei Netzteile mit begrenztem Strom von 0.1A.

Durchführung

Im ersten Versuchsteil sollte die Eingangskennlinie des Transistors (hier N-MOS) bestimmt werden. Dazu wurde die Drain-Source Spannung konstant bei $U_{DS} = 3V$ gehalten und die Gate-Source Spannung schrittweise erhöht, während der Strom im Drain-Source Schaltkreis gemessen

wurde. Beendet wurde die Messung, konnte keine signifikante Veränderung des Stroms festgestellt werden. Im zweiten Teil wurde die Ausgangskennlinie erfasst, indem die Gate-Source Spannung konstant gehalten wurde, während die Drain-Source Spannung schrittweise erhöht wurde. Der Versuch wurde für zwei verschiedene, aber konstante, Gate-Source Spannungen durchgeführt, $U_{GS} = 3V$ und $U_{GS} = 2.5V$. In beiden Teilen war mit jeder Spannungsveränderung darauf zu achten, dass die konstante Spannung gegebenenfalls nachjustiert werden musste.

Messergebnisse

Für niedrige Spannungen im Gate-Source Kreis war kein Stromfluss zu erkennen, daher wurden die Messergebnisse zwischen $U_{GS} = 0.2V$ und $U_{GS} = 1.9V$ vernachlässigt. Hier ist ein Stromfluss von $I = 0mA$ anzunehmen. Die Vollständigen Messergebnisse der Eingangskennlinie sind in Tabelle 1 zu finden. Die Daten sind graphisch in Abbildung 2 dargestellt.

$U_{GS}[V]$	$I[mA]$
0	0
0.1	0
0.2	0
1.9	0.241
2.0	0.67
2.1	1.518
2.2	3.054
2.3	5.162
2.4	7.765
2.5	10.96
2.6	14.28
2.7	17.83
2.8	21.37
2.9	23.34
3.0	24.1
3.1	24.5
3.2	24.72

Tabelle 1: Messung der Eingangskennlinie

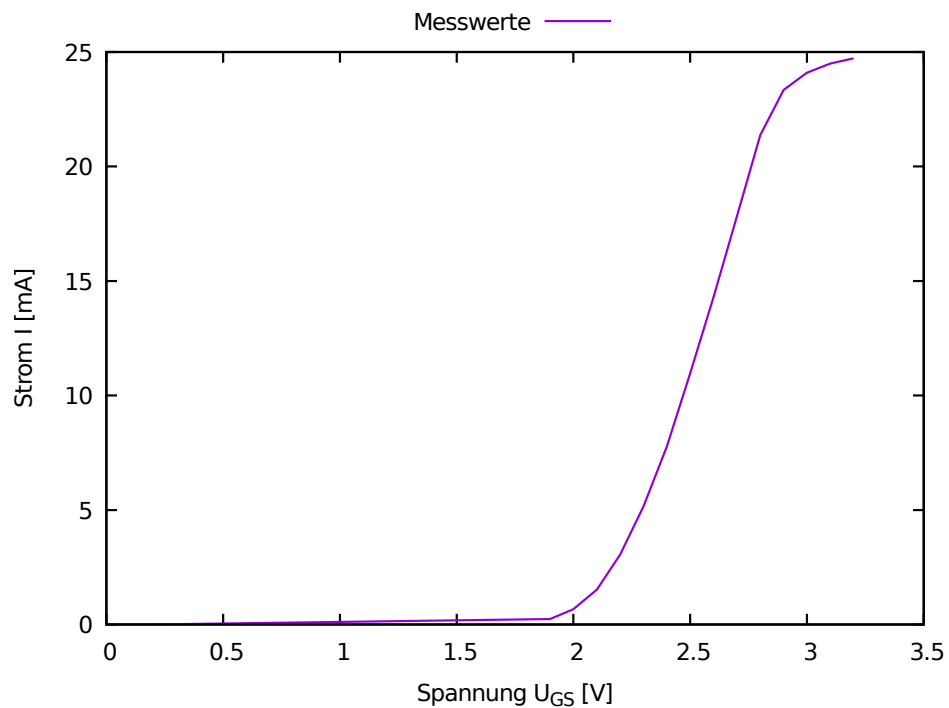
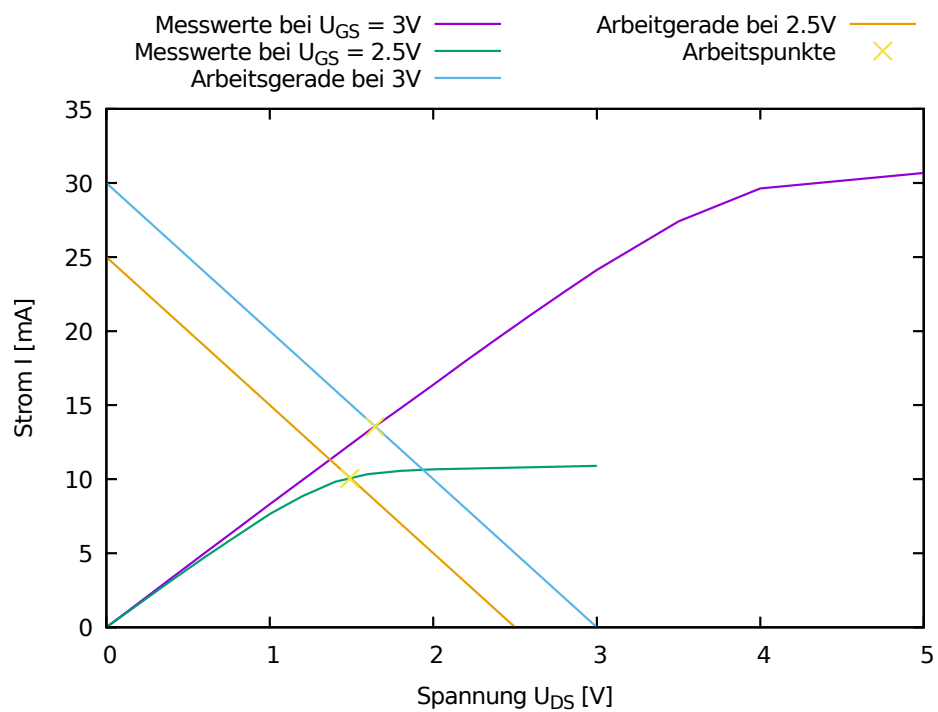
Abbildung 2: Eingangskennlinie mit $U_{DS} = 3V$ 

Abbildung 3: Ausgangskennlinien

Zur Bestimmung der Ausgangskennlinie wurde die Gate-Source Spannung auf $U_{GS} = 3V$ im ersten, und auf $U_{GS} = 2.5V$ im zweiten Durchgang geregelt. Die Messwerte sind in Tabelle 2 und Tabelle 3 zu finden und in Abbildung 3 grafisch aufbereitet.

$U_{DS}[V]$	$I[mA]$	$U_{DS}[V]$	$I[mA]$
0.0	0.0	0.0	0.0
0.2	1.59	0.2	1.666
0.4	3.178	0.4	3.334
0.6	4.729	0.6	5.0
0.8	6.193	0.8	6.656
1.0	7.644	1.0	8.314
1.2	8.857	1.2	9.949
1.4	9.821	1.4	11.58
1.6	10.34	1.6	13.22
1.8	10.56	1.8	14.78
2.0	10.66	2.0	16.38
2.5	10.79	2.2	18.0
3.0	10.90	2.4	19.56
		2.6	21.13
		2.8	22.64
		3.0	24.13
		3.5	27.41
		4.0	29.63
		5.0	30.67

Tabelle 2: Messung der Ausgangskennlinie bei $U_{GS} = 3V$

Tabelle 3: Messung der Ausgangskennlinie bei $U_{GS} = 2.5V$

Beobachtungen

Auffällig war beim Bestimmen der Eingangskennlinie der rasche Anstieg des Stromes, sobald die Gate-Source Spannung eine gewisse Schwelle erreicht hatte. Im Fall der Ausgangskennlinien ist zu bemerken, dass die Höhe, auf die sich der Strom bei höherem U_{DS} einpendelt, scheinbar von der konstant gehaltenen Spannung U_{GS} abhängt. Zudem lässt sich erkennen, dass der Ausgangsstrom exponentiell abhängig von U_{DS} ist, bis hin zur einem gewissen Punkt, ab welchem der Strom sich auf einen gewissen Wert einpendelt

Auswertung

Für $U_{GS} = 2.5V$ lässt sich an der Grafik gut erkennen, dass zwischen $U_{DS} = 0V$ und $U_{DS} = 1.4V$ der Ausgangsstrom I_D exponentiell ansteigt (in Abhängigkeit von U_{DS}). Dieser Bereich nennt sich Triodenbereich. Bei höheren U_{DS} tritt dieser Effekt nicht mehr auf, der Strom pendelt sich bei $I_D = 11mA$ ein im sogenannten Sättigungsbereich.

Die gleichen Beobachtungen lassen sich auch für $U_{GS} = 3V$ machen, jedoch beginnt der Sättigungsbereich erst bei höherer Spannung von $U_{DS} = 4V$ und erlaubt auch einen größeren Strom von $I_D = 32mA$.

In Abbildung 3 sehen wir zwei Ausgangskurven über der Drain-Source-Spannung, einmal bei festgehaltener Gate-Source-Spannung von $2.5V$ (a) und einmal $3V$ (b). In beiden Konfigurationen lässt sich der Graph in zwei Bereiche einteilen. Der Triodenbereich startet bei beiden Graphen bei $U_{DS} = 0V$ und endet bei Konfiguration (a) bei ca. $U_{DS} = 1.5V$. Bei Konfiguration

(b) ist das Ende der Triodenbereich sehr viel höher mit rund $U_{DS} = 4.5V$. In beiden Fällen startet ab diesem Punkt der Sättigungsbereich. Der größere Bereich im Falle einer Gate-Source Spannung von $3V$ ist dadurch zu erklären, als dass, wie schon in dem ersten Versuchsteil gezeigt, die Leitfähigkeit ab $1.8V$ bis $3.2V$ exponentiell steigt. Damit kann bei einer Gate-Source Spannung von $2.5V$ sehr viel weniger Strom fließen, als bei $3V$.

Weiterhin sind für beide U_{GS} die Arbeitsgeraden eingetragen. Diese ergeben sich durch die Überlegung, dass ein idealer Transistor bei $U_{GS} = 0V$ vollständig sperrt, der Strom an dieser Stelle also $0A$ beträgt. Dies markiert den ersten Punkt unserer Geraden, für $U_{GS} = 2.5V$ also den Punkt $(2.5V, 0A)$. Der zweite Punkt liegt an der Stelle der maximalen Leitfähigkeit, also wenn der komplette Strom am Verbraucher hinter dem Transistor abfällt. Für einen Transistor mit $R = 100\Omega$ und die Spannung $U_{GS} = 2.5V$ ergibt sich damit durch $U = R \cdot I$ ein Strom von $I_D = 25mA$, der resultierende Punkt liegt also bei $(0V, 25mA)$. Diese Punkte definieren die Arbeitsgerade.

Sucht man jetzt den Schnittpunkt zwischen Arbeitsgerade und Ausgangskennlinie, so findet man den Arbeitspunkt. Dieser markiert die Stelle der idealen Operation für den Transistor (da die Arbeitsgerade das Verhalten eines idealisierten Transistors modelliert). Von diesem Punkt aus hat man eine möglichst gleichverteilte Veränderung der Leitfähigkeit des Transistors. Da der Transistor ein nicht-lineares Verhalten aufzeigt, ist der Arbeitspunkt sinnvoll, da eine Änderung von U_{DS} um einen bestimmten Faktor nach oben und unten ein gleichmäßiges Verhalten darstellt.

Funktionsweise Transistoren^[1]

Der ZVN3306A ist ein N-Kanal-Transistor, der ZVP3306A ein P-Kanal Transistor. Daraus ergibt sich folgender wichtiger Unterschied: der N-Kanal-Transistor schaltet bei einer positiven Gate-Source-Spannung (sofern diese die Schwellspannung überwindet), der P-Kanal-Transistor hingegen schaltet nur bei einer negativen Gate-Source-Spannung. Dies ist bedingt durch den inneren Aufbau:

p-Kanal MOSFETs haben als Halbleiter zwischen Drain und Source ein n-dotiertes Metall, welches im Kristall-Gitter an manchen Stellen fünf-wertige Atome an Stelle der vier-wertigen Silicium-Atome besitzt. Dadurch gibt es an diesen Stellen einen Elektronenüberschuss; dieses zusätzliche Elektron ist frei beweglich. Wird jetzt an Source eine positive Spannung angelegt, so wird das Elektron zum Bulk hingezogen (da in diesen Transistoren Bulk und Source verbunden sind) und es entsteht ein Bereich mit positivem Potenzial am fünf-wertigen Atom. Dieses zieht andere, frei bewegliche Elektronen an und ermöglicht damit eine Ladungsträgerbewegung zwischen Drain und Source durch den Halbleiter.

Für n-Kanal MOSFETs sieht das ganze etwas anders aus. Das Halbleitermaterial ist p-dotiert, es wurden also drei-wertige Atome in das vier-wertige Silicium gebracht. Der Effekt ist dadurch genau umgekehrt zu dem bei p-Kanal MOSFETs: es gibt Elektronen-Lücken, die von freien Elektronen gefüllt werden können.

Literaturverzeichnis

[1] Funktionsweise Transistoren^[1]: https://lernraumplus.uni-bielefeld.de/pluginfile.php/117918/mod_resource/content/2/Skript%20Digitalelektronik%202018.pdf 07.06.2018 10:20