

## Versuch D

# Digitalelektronik – Kurzanleitung PSpice

Dr. Wolfgang Koch

Friedrich-Schiller-Universität Jena

Institut für Informatik

Lehrstuhl Advanced Computing

14. April 2016

„Pspice ist die PC-Version des legendären Simulationsprogramms SPICE (Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis), das an der Universität von Berkeley entwickelt wurde und das damals die professionelle Schaltungsentwicklung revolutioniert hat. Mit einer phantastischen Präzision konnte SPICE das Verhalten elektronischer Schaltungen voraussagen (simulieren). Die Entwicklungszeiten und -kosten elektronischer Schaltungen reduzierten sich für den SPICE-Anwender immens.“

– So weit ein Zitat aus dem Buch von R. Heinemann (<http://www.spicelab.de/ueber.htm>).

Wir benutzen die PSpice-Studentenversion von CADENCE (<http://www.electronics-lab.com/downloads/schematic/013>), die für unsere Zwecke völlig ausreicht.

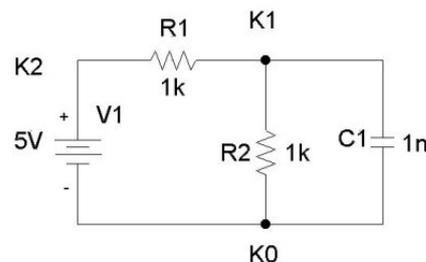
Mit dem Tool **Schematics** könnten wir unsere Schaltpläne zeichnen und dann simulieren. Wir kommen aber schneller ans Ziel, wenn wir die Schaltungen textlich beschreiben. Solch eine Beschreibung heißt Spice-Programm, die Namensendung ist \*.cir. Folgendes Programm:

```
DC Analyse
* Optionen für die Simulation
.OPTIONS LIST NOPAGE NOMOD
* Daten für Grafik ausgeben
.PROBE

* Gleichspannungsanalyse
.DC LIN V_1 0V 5V 0.01V

* Netzlistenbeschreibung
V_1 2 0 DC 5V
R_1 2 1 1kOhm
R_2 1 0 1kOhm
C_1 1 0 1nF

.END
```



entspricht diesem Schaltplan:

Das Programm besteht aus einer Titelzeile, Kommentaren, Steueranweisungen und der Netzlistenbeschreibung. Es wird mit der Steueranweisung .END abgeschlossen.

Die erste Zeile gilt als Titel. Sie können ihn frei, möglichst aussagekräftig, wählen. Er erscheint später auch auf Ihren Computerausdrucken. Kommentare sollen die Lesbarkeit erhöhen, jede mit \* beginnende Zeile ist ein Kommentar. Steueranweisungen beginnen mit einem Punkt. Die ersten beiden Steueranweisungen sollten Sie immer übernehmen. Die Steueranweisung `.DC` stellt die Simulationsart Gleichstromanalyse ein: die Spannung V1 wird linear von 0V bis 5V, in Schritten von 0,01V erhöht.

In unserem Beispiel-Netzwerk haben wir 3 Knoten (K0, K1, K2), einen Kondensator C1 (mit der Kapazität 1nF zwischen den Knoten K1 und K0), zwei Widerstände (R1, R2) und eine Spannungsquelle V1.

Man schreibt also für einen Widerstand:

```
Rname Knoten1 Knoten2 Widerstandswert
```

Für genauere Simulationen kann man auch noch Temperaturkoeffizienten angeben. Analog sieht es beim Kondensator und der Spannungsquelle aus (1. Knoten - Pluspol). Für Halbleiterbauelemente wie Dioden und Transistoren muss man noch ein Modell – eine genaue Beschreibung des Bauelements angeben, z.B. für einen MOSFET: `Mname Drain Gate Source Bulk Modell`

Diese Modelle werden von den Bauelementeherstellern im Internet zur Verfügung gestellt.

## Gebrauchsanweisung PSpice

Starten Sie das Programm PSpiceAD :

```
=> Start/Programme/PSpice Student/PSpice AD Student
```

Zunächst müssen Sie Ihr Spice-Programm (z.B. `prog1.cir`) öffnen:

```
=> File/Open
```

Dabei müssen Sie wahrscheinlich den Dateityp erst auf `*.cir` stellen und möglicherweise mit `Suchen` ihr Verzeichnis einstellen. Nun können Sie Ihr Programm (z.B. `prog1.cir`) anklicken und `Öffnen`, der Programmtext erscheint im Fenster.

Jetzt wird die Simulation ausgeführt: `Simulation/Run prog1`, es werden 2 neue Dateien angelegt: `prog1.dat` und `prog1.out` und das Grafik-Fenster erscheint (eventuell müssen Sie es mit der Maus vergrößern). Allerdings müssen Sie noch angeben, was sie sehen wollen (z.B. die Spannungen an den Knoten K1 und K2):

```
=> Trace/Add Trace / V(1) V(2)
```

Um Werte genauer zu untersuchen, gibt es zwei Grafik-Cursoren (einschalten mit `Toggle Cursor` – rechtestes Icon im Tool-Bar – eventuell muss man den Probe-Toolbar erst sichtbar machen: `View/Toolbars...`

`/Probe` ankreuzen). Der erste Cursor reagiert auf die linke Maustaste und läuft mit dem Mauscursor mit, der zweite reagiert auf die rechte Maustaste. Der erste Cursor kann auch mit den Pfeiltasten sehr genau horizontal bewegt werden, vertikal laufen die Cursoren entlang ihrer Kurve. Die Werte beider Cursoren und die Differenzen werden in einem extra Fenster angezeigt. Will man mit einem Cursor auf eine andere Kurve, klickt man mit der jeweiligen Maustaste auf das entsprechende farbige Symbol unter der horizontalen Achse – es erscheint dann umrahmt.

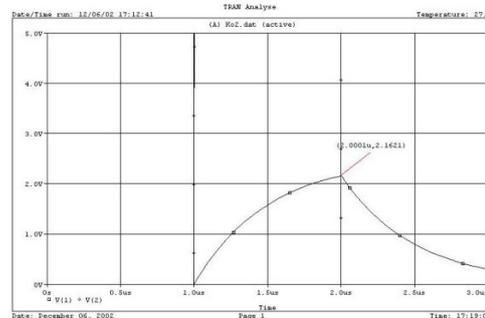
Man kann sich Werte an einzelne Punkte schreiben lassen: `Plot/Label/Mark` (am zuletzt bewegten Cursor). Mit `Plot/Label/Text` kann man beliebige Kommentare im Fenster platzieren, mit `Plot/AxisSettings` die Achsen und das Gitternetz verändern. Ausdrucken kann man die Grafik mit `File/Print`, vorher ansehen mit `File/PrintPreview`.

Nach folgender Änderung des Programms (Transientenanalyse betrachtet nicht den eingeschwungenen Zustand, sondern gerade das Übergangsverhalten, PWL heißt stückweise linearer Spannungsverlauf – hier also ein Rechteckimpuls an V1):

```
* Transientenanalyse
.TRAN 1ns 3000ns

* Netzlistenbeschreibung
V_1 2 0 PWL (0ns 0V, 1000ns 0V,
            +1001ns 5V, 2000ns 5V,
            +2001ns 0V, 3000ns 0V)
```

erhält man diese Grafik bzw. diesen Ausdruck:

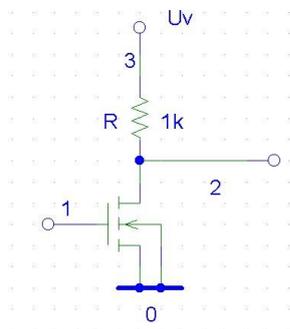


## Modelle für MOSFETs

Ein Modell für einen n-Kanal – MOSFET sieht beispielsweise so aus:

```
* Modellbeschreibung
.MODEL MNV1 NMOS VTO=1.4 KP=0.0053 ( = 5.3E-3 )

* Netzwerkbeschreibung für die Schaltung unten
R_1 3 2 1k
M_1 2 1 0 0 MNV1
```



VTO ist die Schwellspannung  $U_{th}$ , KP entspricht in etwa dem Faktor K. Für die Vorbereitungsaufgabe und die Simulation sollten Sie dieses einfache Modell benutzen, aber entsprechend Ihren speziellen Parametern verändern (vgl. „Vorbereitungsaufgaben“), obiges Modell gilt für den Versuchstag 08. Juni, 2. Gruppe:

$$U_{th} = 1.4V, \quad K = 1 \cdot 10^{-3} (4.5 + 8 \cdot 0.1) = 0.0053 = 5.3E-3; \quad R = 600\Omega$$

Ein in der industriellen Praxis verwendbares Modell sieht deutlich komplizierter aus:

```
.MODEL MN2106 NMOS VTO=1.512
+RS=0.772 RD=0.449 IS=1E-15
+KP=0.0653 CGSO=45E-12 CGDO=15E-12
+CBD=63E-12 PB=1 LAMBDA=1.95E-3
```

Die zusätzlichen Werte sind Bahnwiderstände, parasitäre Kapazitäten, der Sperrstrom IS (nahezu Null) und ein Wert Lambda, der den Effekt der Kanalverkürzung bei Abschnürung beschreibt – der Drainstrom steigt trotz Abschnürung geringfügig weiter an.

Ein Modell für einen p-Kanal – MOSFET, der mit unserem obigen MNV1 zu einer CMOS-Stufe zusammenschaltet werden kann sieht folgendermaßen aus:

```
.MODEL MPV2 PMOS VTO=-3.1 KP=2.6E-3
```

## Weiterführende Literatur

- [1] Hertwig, Brück: Entwurf digitaler Systeme; Hanser München 2000  
Lehrbuchsammlung FSU, INF LH 1000  
Dasselbe Buch, das auch MOSFETs gut erklärt – ideal für unseren Versuch C.
- [2] Hofer, Nielinger: SPICE; Springer Berlin 1985  
Lesesaal Mathe/Info, INF LH 2000  
- Schon etwas älter, aber hier steht (für den, den es interessiert),  
was die Modelle bedeuten und wie Bauelemente simuliert werden.