

Rolf-Dieter-Klein

Schnittstelle zur analogen Welt

Seit einiger Zeit schon sind preiswerte und leistungsfähige Bausteine auf dem Markt, die digitale Signale in analoge Spannungen oder Ströme umwandeln oder in der Gegenrichtung analoge Meßwerte in digitale Werte umsetzen. In diesem Artikel werden drei Schaltungen besprochen, die für den NDR-Klein-Computer und für den mc-CP/M-Computer entworfen wurden, sich aber eigentlich mit jedem Prozessor verwenden lassen.

Zunächst wird ein D/A-Wandler mit zwei Kanälen besprochen, dessen Bauteile nicht nur preiswert, sondern auch weit verbreitet sind. Als Zweites folgt ein A/D-Umsetzer mit 10-Bit-Auflösung und zum Schluß wird ein A/D-Wandler mit 16 Kanälen zu je 8 Bit besprochen.

Zu allen Schaltungen existieren Platinen für den NDR-Computer, sie sind bei der Firma Graf in Kempten erhältlich.

Der D/A-Wandler

Der hier vorgestellte Digital-/Analog-Umsetzer besitzt zwei Kanäle mit einer Auflösung von je 8 Bit. Die Schaltung ist für den Einsatz am Z80 und 68008 ausgelegt, kann aber sicher auch für andere Rechner benutzt werden. Als D/A-Bausteine werden ICs vom Typ ZN-428-8 von Ferranti verwendet, die besonders einfach anzusteuern und schnell bei der Wandlung sind.

Bild 1 zeigt die Schaltung. Mit den beiden Vergleichern 74LS85 wird die Adresse eingestellt. Der 74LS138 übernimmt die Auswahl der D/A-Bausteine. Mit IORQ und WR werden die Bausteine genau dann selektiert, wenn ein Schreibzugriff vorliegt. Der Datenbus ist direkt an die D/A-Umsetzer geführt, die einen internen Zwischenspeicher besitzen. Eine Rückmeldung, wann die Wandlung beendet ist, ist nicht nötig, da die Umsetzer eine Wandlungszeit von nur ca. 800 ns besitzen und damit viel schneller als der Prozessor sind. Die Wandlung

geschieht intern mit Hilfe eines R-2R-Widerstandnetzwerkes. Die Ausgangsspannung kann zwischen 0 V und 5 V liegen. Als Referenzspannungsquelle werden intern erzeugte 2,5 V verwendet. Ein 100-pF-Kondensator am Ausgang verhindert Überspringen bei den internen Umschaltvorgängen.

Die Ansteuerung mit Software ist denkbar einfach. Bild 2 zeigt ein Programmbeispiel in 68000-Code. Die beiden D/A-Umsetzer liefern dann eine treppenförmige Ausgangsspannung. Mit diesem Programm kann man gleichzeitig die Schaltung testen. Als Port-Adresse wurden F8 und F9 gewählt, beim 68008, der ja „memory mapped“ arbeitet, muß man daher \$fffff8 und \$fffff9 schreiben, da dies auf der CPU68K-Karte so kodiert wurde.

In Z80-Assembler sieht das so aus:

```
SCHLEIFE:
        INC A
        OUT (0F8H),A
        OUT (0F9H),A
        JP SCHLEIFE
```

Für den mc-CP/M-Computer ist dies das Testprogramm.

Bild 3 schließlich zeigt noch ein Beispiel in der neuen Sprache Gosi, wie sie für den NDR-Klein-Computer verfügbar ist. Dort wird eine Treppenspannung und eine Sinus-Kurve ausgegeben, allerdings viel langsamer als in Maschinensprache.

Der Aufruf erfolgt mit da 1 cr (carriage return).

Da Gosi eine Logo-Verwandte ist, ist die Rekursion eine bevorzugte Technik. In dem Programmstück wird durch da :n+1 die Routine erneut aufgerufen und mit :n+1 die Zählschleife realisiert. Bei normaler Rekursionstechnik würde irgendwann einmal ein Speicherüberlauf stattfinden, das ist bei Gosi und auch bei Logo aber nicht der Fall, da vom Interpreter erkannt wird, daß in diesem Fall kein Retten von Parametern nötig ist (tail recursion).

Der A/D-Umsetzer

Es wird der Anschluß des Bausteins ZN-432-10 von Ferranti beschrieben, der eine Genauigkeit von 10 Bit besitzt und dabei eine Wandlungszeit von ca. 20 µs benötigt, also sehr schnell ist.

Der Wandler arbeitet nach dem Prinzip der sukzessiven Approximation. Die Wandlungszeit wird durch einen Takt bestimmt, den ein Schmitt-Trigger-Oszillator mit dem Baustein 7413 liefert. Der Takt sollte bei ca. 550 Hz liegen. Bild 4 zeigt die Schaltung. Die Adreßauswahl übernimmt das IC 74LS688, das auch durch zwei 74LS85 mit 74LS04 ersetzt werden könnte. Der Baustein 74LS688 enthält acht Vergleicher. Ein Dekoder (74LS139) übernimmt die restliche Adreßdekodierung. Mit dem Lese-signal und A0=0 wird der höherwertige Teil der Bits und der Status ausgelesen, mit A1=1 wird der LSB-Teil ausgelesen. Mit A0=0 und einem Schreibsignal wird die Wandlung gestartet. Der Status zeigt an, daß eine Wandlung im Gange ist. Dabei ist Bit 7 des Ports FC (A0=0) solange auf 1 wie die Wandlung andauert. Der Eingangsspannungsbereich ist auf 0 bis 5 V eingestellt.

R4 wird dann nicht benötigt. Mit dem Wandler lassen sich aber auch andere Bereiche einstellen. Dazu muß aber der Hinweis auf das Datenblatt der Firma Ferranti genügen.

Mit R2 läßt sich der Spannungsbereich exakt abgleichen. Bild 5 zeigt ein Beispielpogramm für den 68008. Die Routine GETAD ist die eigentliche Wandelroutine. Dadurch, daß über die niederwertige Adresse der Status mit eingelesen wird kann beim 68008 durch einen einzigen Move-Befehl sowohl der Status als auch der Datenwert eingelesen werden. Dabei liegt im Register D0 automa-

D/A-Karte

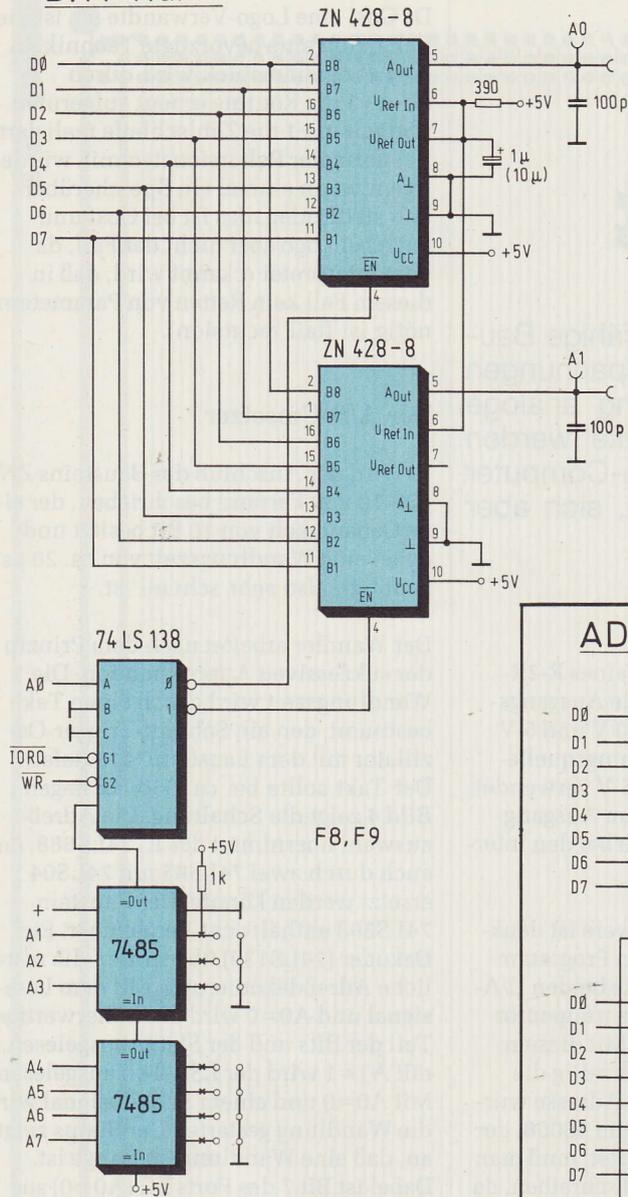


Bild 1. Die Schaltung des D/A-Umsetzers

```
lerne da :n
port 248 :n
port 249 ((:sin :n)*256)/3
da :n+1
ende
```

Ok gelernt, Platz zum lernen:
2501 Bytes und fuer Namen: 680 Bytes.

Bild 3. Ein Programm in Gosi

Bild 2. Ein 68000-Programm als Testprogramm

```

da0 equ $ffffff8
da1 equ $ffffff9

da:
  addq.b #1,d0
  move.b d0,da0
  move.b d0,da1
  bra.s da
  
```

Textstart=009000 Cursor=009000 Textende=009000 einf amer CTRL-J=Hilfe

AD 10x1-Karte

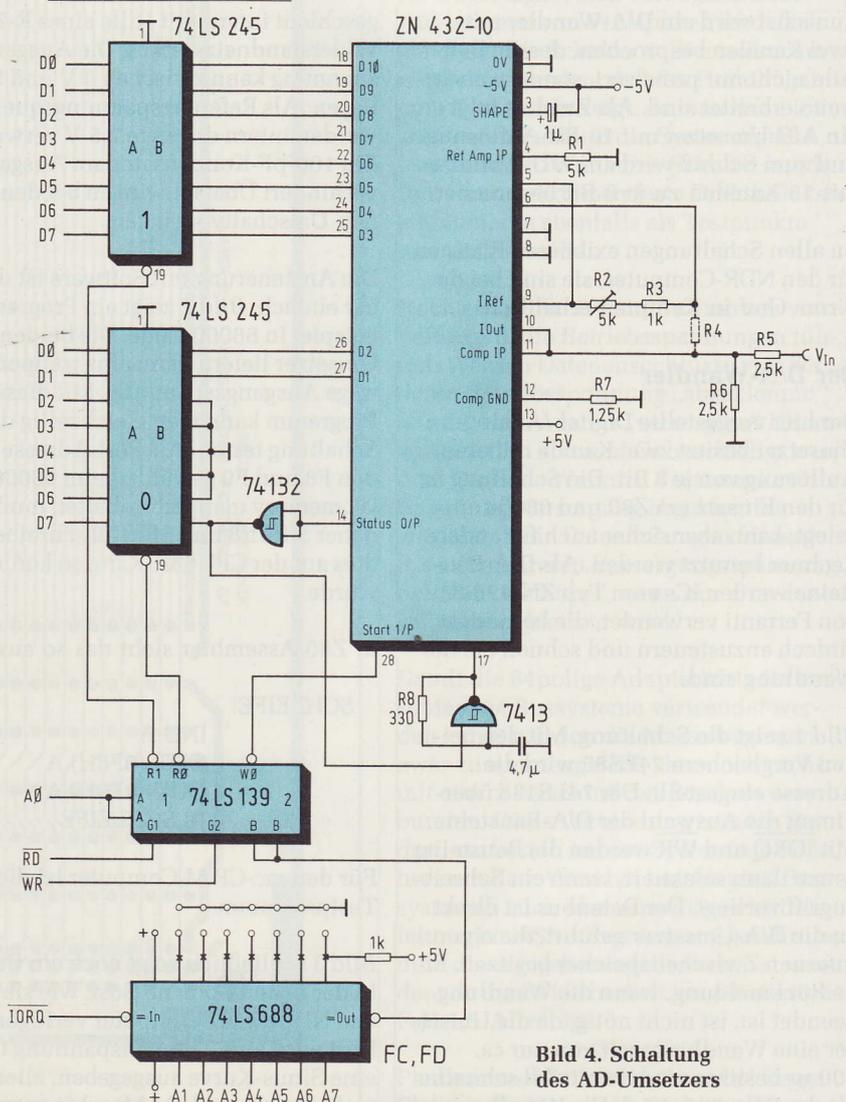


Bild 4. Schaltung des AD-Umsetzers

Lesen enthält Kanal E0 den Status, dessen Bit 7 solange auf 1 bleibt bis die Wandlung beendet ist. E1 ist der Datenkanal. Mit dem IC 74LS13 wird der Wandlungstakt erzeugt.

Bild 7 zeigt ein Programmbeispiel für den 68008 mit graphischer Ausgabe der Kanäle. Bild 8 zeigt dazu mögliche Kanalwerte, wie sie auf dem Bildschirm angezeigt werden.

In der Routine GETAD des Programms wird der Wandler angestoßen und im Register D0 der Datenwert nach erfolgter Wandlung abgeliefert. Es wird zunächst nach Start des Wandlers solange gewartet, bis Bit 7 des Status auf 1 liegt, der Wandler also bestätigt, daß die Wand-

lung begonnen hat. Dann wird gewartet bis Bit 7 des Status wieder auf 0 zurück-

geht, also die Wandlung beendet ist. Danach kann der Wert eingelesen werden.

Im Hauptprogramm befindet sich der Schleifenzähler für die einzelnen Kanäle in Register D3, in Register D1 wird die X-Koordinate gespeichert, denn für jeden Kanal soll im Abstand von 20 Punkten ein Balken für einen analogen Wert dargestellt werden.

Es wird dann im Programm zuerst ein Balken gelöscht, dann der A/D-Wandler angestoßen und der neue Balken geschrieben. Wenn alle 16 Kanäle ausgegeben sind, wird mit @NEWPAGE eine neue Bildseite ausgewählt. Bei dem verwendeten Graphik-Interface zum NDR-Klein-Computer sind insgesamt vier Bildseiten vorhanden. Es wird am Ende der Schleife auch noch eine Vertauschung der Lese- und Schreibseite vorgenommen, so daß nach dem ersten Aufruf in Seite 0 geschrieben wird, und auf Seite 1 gelesen, dann auf Seite 1 geschrieben und auf Seite 0 gelesen. Dadurch ergibt sich ein sauberes stehendes Bild, bei dem die Einschreibvorgänge, nicht sichtbar sind.

Spruch des Monats

Blaise Pascal

„Es ist ein dem Menschen natürliches Leiden, daß er glaubt, die Wahrheit unmittelbar besitzen zu können, und daraus stammt seine Neigung, immer alles zu leugnen, was ihm unbegreifbar ist. Während er tatsächlich von Natur her nur die Lüge kennt und nur das für wahr halten darf, dessen Gegenteil ihm falsch erscheint. Deshalb muß man stets, sobald ein Satz unbegreifbar ist, das Urteil aussetzen, und man darf ihn deswegen nicht leugnen, sondern man muß das Gegenteil prüfen: Findet man, daß die gegenteilige Aussage offenbar falsch ist, so kann man kühn den ersten Satz behaupten, so unbegreifbar er auch immer sein mag.“

```

009C00
009C00 *****
009C00 * PROGRAMM FUER DEN ADC0816 *
009C00 * RDK 840424 *
009C00 *****
009C00
009C00
009C00 = FFFFFFFE0
009C00 AD EQU #FFFFFFE0
009C00
009C00 GETAD: * DO=KANAL, DANN ERGEBNIS
009C00 41F9 FFFFFFFE0 LEA AD,A0
009C06 4230 0000 CLR.B 0(A0,DO.W) * START WANDLUNG
009C0A GETLP:
009C0A 1010 MOVE.B (A0),DO
009C0C 6AFC BPL.S GETLP * WARTEN BIS GESTARTET IST
009C0E GETLP1:
009C0E 1010 MOVE.B (A0),DO
009C10 6BFC BMI.S GETLP1 * WARTEN BIS GEWADELT
009C12 102B 0001 MOVE.B 1(A0),DO * ERGEBNIS
009C16 4E75 RTS
009C18
009C18 START: * HAUPTPROGRAMM
009C18 363C 0000 MOVE #0,D3 * ALLE KANAELE 0..15
009C1C 323C 0064 MOVE #100,D1 * X-KOORDINATE
009C20 LOOP:
009C20 343C 00FF MOVE #255,D2 * LOESCHEN ALTEN WERT
009C24 4EB9 0000786 JSR $ERAPEN
009C2A 4EB9 0000091E JSR $MOVETO
009C30 4242 CLR D2
009C32 4EB9 0000098A JSR $DRAWTO
009C38 4EB9 00000794 JSR $SETPEN * DANN NEUE LINIE AUSGEBEN
009C3E 3003 MOVE D3,DO * KANAL-NR
009C40 6100 FFBE BSR GETAD * WERT NACH DO.B
009C44 0240 00FF AND #$FF,DO * ERWEITERN AUF WORT
009C48 3400 MOVE DO,D2 * Y-KOORDINATE
009C4A 4EB9 0000091E JSR $MOVETO
009C50 4242 CLR D2
009C52 4EB9 0000098A JSR $DRAWTO
009C58 0641 0014 ADD #20,D1 * X-KOORDINATE
009C5C 5243 ADDQ #1,D3
009C5E 0C43 0010 CMP #16,D3
009C62 66BC BNE.S LOOP
009C64 WART:
009C64 4EB9 00000852 JSR $SYNC
009C6A 67F8 BEQ.S WART * NUR ALLE 20MS
009C6C 3039 00009C96 MOVE WRT,DO * IMMER ABWECHSELND
009C72 33F9 00009C98 MOVE RDR,WRT * SCHREIBEN,DANN KEIN
009C78 00009C96
009C7C 33C0 00009C98 MOVE DO,RDR * FLIMMERN
009C82 3039 00009C96 MOVE WRT,DO
009C88 3239 00009C98 MOVE RDR,D1
009C8E 4EB9 00000828 JSR $NEWPAGE * SEITENFLIP
009C94 60B2 BRA.S START * WIEDER VON VORNE
009C96
009C96 0001 WRT: DC.W 1 * START SEITE 1
009C98 0000 RDR: DC.W 0 * DANN TAUSCHEN
009C9A
009C9A END

```

0000 Fehler entdeckt
008AAC Ende-Symboltabelle

Bild 7. Programmbeispiel für den 68008

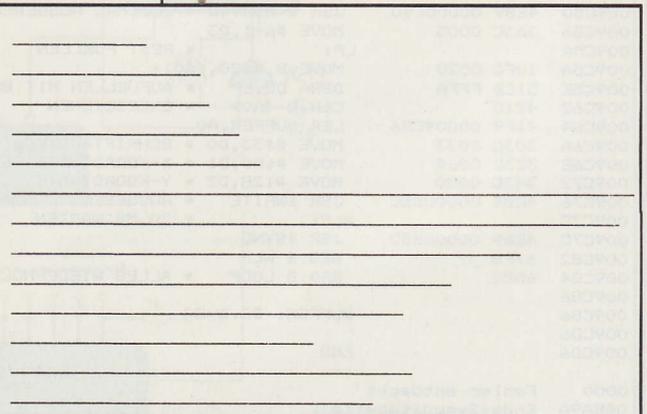


Bild 8. Bildschirmausgabe durch das Programm