

Digital-Analog Wandlung und Analog-Digital Wandlung mit dem 8-bit DA-Wandler ZN 428E

Die Umkehrung davon ist die Wandlung einer Spannung in eine Zahl, eine Analog-Digital-Wandlung. Beide Wandlungen werden mit einem Digital-Analog-Wandler ZN 428E ausgeführt, wobei die Analog-Digital-Wandlung mittels Software ausgeführt wird.

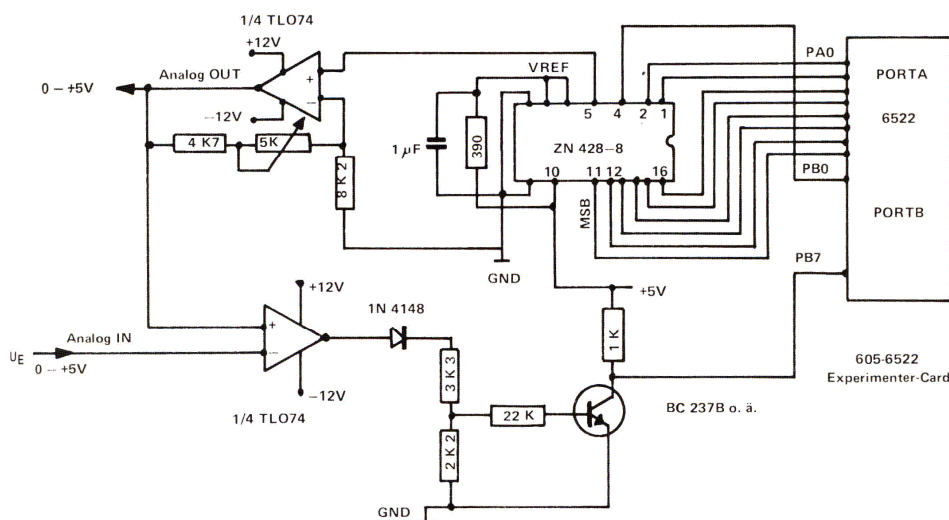


Abbildung 1
8 bit Digital-Analog- und Analog-Digitalwandlung

nehmen, mit $PB0 = 1$ sind die Eingänge abgeschaltet, der zuletzt gespeicherte Wert bleibt im Wandler gespeichert. Der Ausgangsspannungsbereich wird über einen Operationsverstärker (1/4 TL074) eingestellt. Dazu wird die interne Referenzspannung $VREF = 2.5$ Volt verwendet. Das Blockschaltbild zeigt Abbildung 2. In der angegebenen Schaltung ist die Ausgangsspannung unipolar und reicht von 0V bis zum Vollausschlag V_{FS} mit $V_{FS} = (1 + \frac{R1}{R2}) \cdot VREF$.

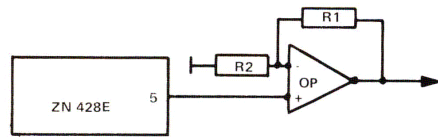


Abbildung 2
Einstellung des Ausgangsspannungsbereiches

Der Widerstand aus der Parallelschaltung von R1 und R2 sollte etwa dem Innenwiderstand des Wandlernetzwerkes gleich sein. Dieser ist etwa 4 kΩ. Für einen Ausgangsspannungsbereich von 0 bis +5 Volt und mit einer Referenzspannung von VREF = 2.5 V ist R1 = R2 und somit 8 kΩ.

In der Schaltung ist R2 = 8.2 kΩ und R1 die Serienschaltung von 4.7 kΩ und dem 5 kΩ Potentiometer. Mit diesen wird der Vollausschlag von +5V eingestellt. Dazu wird folgendes Programm (Abbildung 3) verwendet.

```
LIST
10 REM *****
20 REM * EINSTELLEN DES WANDLERS *
30 REM *****
100 REM TORE PROGRAMMIEREN
110 REM TORA AUSGANG
120 POKE - 16189,255
130 REM TORB PBO AUSGANG
140 POKE - 16190,01
200 REM ZAHLENAUSGABE
210 INPUT " ZAHLE=";Z
220 POKE - 16191,Z
230 PRINT "WEITER (J/N)": GET WS
240 IF WS < > "N" THEN 210
250 END
]
```

Abbildung 3
Programm zur Einstellung des Wandlers

Die Adressen des 6522 sind: (APPLE, Slot4)

TORB	COC0	-16192
TORA	COC1	-16191
DDRB	COC2	-16190
DDRA	COC3	-16189

Durch Eingabe von 255 wird der Vollausschlag des Wandlers eingestellt. Die Ausgangsspannung wird auf 5V - 20 mV = 4.98 durch das 5 kΩ Potentiometer eingestellt. Die 20 mV entsprechen 1 LSB. Die Ausgangsspannung wird 0 Volt bei der Eingabe von 0. Als Kontrolle kann noch die Zahl 128 eingegeben werden. Die Aus-

gangsspannung muß dann 2.50 Volt sein.

Es folgen 2 Programme in Maschinencode (Abbildung 4 und 5). Das erste erzeugt einen Sägezahn der Form:



während das zweite folgende Kurvenform ausgibt:



```
0800      1      DCM "PR#1"
0800      2      ;
0800      3      ;*****
0800      4      ;*
0800      5      ;* SAEGEZAHN 1
0800      6      ;*
0800      7      ;*****
0800      8      ;
0800      9      DDRA EQU $C0C3
0800     10      DDRB EQU $C0C2
0800     11      TORA EQU $C0C1
0800     12      TORB EQU $C0C0
0800     13      ;
0800     14      LDA #$FF
0800     15      STA DDRA
0800     16      LDA #$01
0800     17      STA DDRB
0800     18      LDX #$00
0800     19      STX TORA
0800     20      INX
0800     21      CLC
0800     22      BCC M
0800     23      ;
0800     24      END
```

Abbildung 4
1. Kurvenform

```
0800      1      DCM "PR#1"
0800      2      ;
0800      3      ;*****
0800      4      ;*
0800      5      ;* SAEGEZAHN MIT DAW 428 *
0800      6      ;*
0800      7      ;*****
0800      8      ;
0800      9      DDRA EQU $C0C3
0800     10      DDRB EQU $C0C2
0800     11      TORA EQU $C0C1
0800     12      TORB EQU $C0C0
0800     13      ;
0800     14      LDA #$FF
0800     15      STA DDRA
0800     16      LDA #$01
0800     17      STA DDRB
0800     18      LDX #$00
0800     19      STX TORA
0800     20      M1 INC TORA
0800     21      BNE M1
0800     22      M2 DEC TORA
0800     23      BNE M2
0800     24      BEQ M1
0800     25      ;
0800     26      END
```

Abbildung 5
2. Kurvenform

Andere Kurvenformen können über Tabellen erzeugt werden. Der Spannungsverlauf wird in Form einer Tabelle im Rechner gespeichert. Durch Ausgabe der einzelnen Werte, eventuell verbunden mit einer Zeitverzögerung, können komplexe Funktionen erzeugt werden.

Zur Analog-Digital Wandlung wird die Schaltung durch einen Komparator und eine Transistorstufe zur Pegelanpassung erweitert. Die Wandlung selbst wird durch ein Programm durchgeführt. Dabei wird ein Verfahren der schrittweisen Annäherung verwendet.

Die unbekannte Eingangsspannung wird mit der Hälfte der Gesamtspannung verglichen. Ist die Eingangsspannung größer, so erfolgt der nächste Vergleich mit 3/4, oder wenn sie kleiner ist, dann mit 1/4 der Gesamtspannung. Beim nächsten Vergleich wird wieder das verbleibende Intervall halbiert und so die unbekannte Eingangsspannung eingeschachtelt. Nach 8 Vergleichen ist die Wandlung beendet und die Eingangsspannung ist bei 5 Volt Gesamtspannung auf ± 20 mV bestimmt.

Um das Ausgangssignal des Komparators an das TorB anschließen zu können, wird eine Pegelwandelstufe zwischengeschaltet die den Ausgangsspannungshub von ± 12 Volt des Komparators auf den TTL-Pegel begrenzt. Dieses Signal wird über PB7 eingelesen.

Das Wandelprogramm zeigt Abbildung 6. In den Programmzeilen 21 bis 25 werden die Datenrichtungsregister gesetzt. Das Wandelprogramm beginnt in Zeile 29. In der Hilfszelle Z wird Bit 7 auf Eins gesetzt. Der erste Vergleich wird mit $\$7F$ durchgeführt. Ist die Eingangsspannung größer, so ist BPL W1 nicht erfüllt und mit ORA Z wird Bit 7 des Akkumulators gesetzt. Danach wird Z eine Stelle nach rechts geschoben (= $\$40$) und mit EOR Z Bit 6 des Akkumulators gelöscht. Der neue Inhalt (= $\$BF$) nach Tor A ausgegeben. Bevor nun mit LDY TORB das Ergebnis des Vergleichs abgelesen werden kann, muß nun der Wandler einschwingen. Der ZN 428E ist schnell, nach 800 ns liegt der neue Analogwert an. Der Komparator ist allerdings langsam. Dadurch müssen 4 NOP eingefügt werden. An dieser Stelle sollte zur Verkürzung der Wandelzeit ein schneller Wandler eingesetzt werden.

Die Wandlung ist beendet, wenn mit LSR Z das markierte Bit in das Carry-Bit übertragen

wurde.

Die Wandelzeit mit den 4 eingefügten NOP beträgt im Durchschnitt 280 μs .

```

0800      1          DCM "PR#1"
0800      2          ;
0800      3          ;*****
0800      4          ;
0800      5          ;* ANALOG-DIGITAL-WANDLUNG *
0800      6          ;* DURCH SUKZESSIVE APROXI- *
0800      7          ;* MATION MIT 8-BIT D/A *
0800      8          ;* WANDLER *
0800      9          ;
0800     10          ;*****
0800     11          ;
0800     12          DDRA EQU $C0C3
0800     13          DDRB EQU $C0C2
0800     14          TORA EQU $C0C1
0800     15          TORB EQU $C0C0
0800     16          Z   EPZ $10
0800     17          ;
0800     18          ;
0800     19          ;6522 TORE SETZEN
0800     20          ;
0800     21          LDA #S01
0800     22          STA DDRB
0800     23          LDA #SFF
0800     24          STA DDRA
0800     25          RTS
0800     26          ;
0800     27          ; WANDELPROGRAMM
0800     28          ;
0800     29          WANDEL LDA #S80
0800     30          STA Z
0800     31          LDA #S7F
0800     32          W0   STA TORA
0800     33          NOP
0800     34          NOP
0800     35          ;NUR NOTWENDIG WEGEN
0800     36          ;LANGSAMEN KOMPARATOR
0800     37          NOP
0800     38          NOP
0800     39          LDY TORB
0800     40          BPL W1
0800     41          ORA Z
0800     42          W1   LSR Z
0800     43          BCS FIN
0800     44          EOR Z
0800     45          BCC W0
0800     46          FIN  RTS
0800     47          ;
0800     48          ;
0800     49          END

```

Abbildung 6
Analog-Digital-Wandlung

```

10 REM *****
12 REM * AUFZEICHNUNG VON MESS- *
14 REM * WERTEN AUF APPLEBILD- *
16 REM * SCHIRM 11.8.81 *
18 REM *****
50 DS = CHR$(04)
60 PRINT DS;"BLOAD ADWC400.B"
100 INIT = - 15360:WA = - 15349
110 WERT = - 15105
120 CALL INIT
200 HGR : COLOR= 15
210 X = 0
220 CALL WA
230 W = PEEK (WERT)
240 P = 160 - W / 2
250 HPLLOT X,P
260 X = X + 1
270 IF X < 280 THEN 220
280 END

```

Abbildung 7
Bildschirmplot

Mit dem BASIC-Programm (Abbildung 7) werden die gewandelten Spannungswerte auf dem Bildschirm aufgezeichnet. Da die in vertikaler Richtung zur Verfügung stehenden 160 Bildpunkte zur Aufzeichnung von 255 Spannungswerten nicht ausreichen, so werden nur 127 Spannungswerte aufgezeichnet. Der Nullpunkt liegt bei der Y-Koordinate 160. Nach jeder Messung wird die X-Koordinate um Eins erhöht. Um die Messhäufigkeit herabzusetzen kann vor dem Rücksprung in Zeile 270 noch eine Worteschleife programmiert werden.

C400-	A9 01	LDA	#\$01
C402-	8D C2 C0	STA	\$(C0C2
C405-	A9 FF	LDA	#\$FF
C407-	8D C3 C0	STA	\$(C0C3
C40A-	60	RTS	
C40B-	A9 80	LDA	#\$80
C40D-	85 10	STA	\$(10
C40F-	A9 7F	LDA	#\$7F
C411-	8D C1 C0	STA	\$(C0C1
C414-	20 2A C4	JSR	\$(C42A
C417-	AC C0 C0	LDY	\$(C0C0
C41A-	10 02	BPL	\$(C41E
C41C-	05 10	ORA	\$(10
C41E-	46 10	LSR	\$(10
C420-	B0 04	BCS	\$(C426
C422-	45 10	EQR	\$(10
C424-	90 EB	BCC	\$(C411
C426-	8D FF C4	STA	\$(C4FF
C429-	60	RTS	
C42A-	A2 10	LDX	\$(10
C42C-	CA	DEX	
C42D-	D0 FD	BNE	\$(C42C
C42F-	60	RTS	

Abbildung 8
Wandelprogramm ADW C400.B

Das Wandelprogramm ADW C400.B (Abbildung 8) ist, um eine Überschneidung mit dem BASIC-Programm zu vermeiden, in das auf der 605-6522 Karte befindliche RAM geschrieben worden. Ist diese Karte in SLOT4 des APPLE gesteckt, so ist die Anfangsadresse des RAM-Bereiches C400. Das Unterprogramm INIT programmiert die Datenrichtungsregister, WA ist Wandelprogramm und der gewandelte Wert wird nach C4FF = -15105 gespeichert.

Von dort wird er ins BASIC-Programm übernommen. Im Wandelprogramm wurde zwischen dem Befehl STA C0C1 und der Abfrage LDY C0C0 eine Zeitschleife (JSR C42A) programmiert, um ein sicheres Einschwingen des Wandlers und des Komparators zu gewährleisten.

Verwendet man für den Spannungsvergleich einen schnellen Komparator, wie z. B. den LM 393, so kann der Unterprogrammsprung in Zeile C414 entfallen und die Abfrage des Vergleichsergebnisses kann sofort nach dem STA C0C1 erfolgen. Wird die Schaltung nach Abbildung 9 verwendet, so muß der Sprung in C41A in BMI C41E geändert werden. Die Wandelzeit beträgt dann ca. 218 µs.

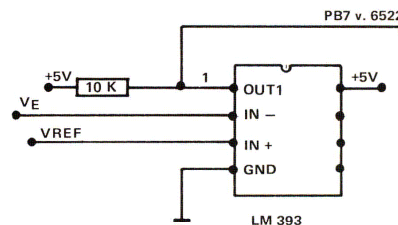


Abbildung 9
Anschluß des Komparators LM 393

Für eine genaue Analog-Digital-Wandlung soll sich während der Wandelzeit die Eingangsspannung nicht mehr als $0,5 \cdot \text{LSB}$ ändern.

In unserem Fall also um nicht mehr als 10 mV. Damit erhält man als schnellste Spannungsänderung, die gerade noch mit einer Wandelzeit von 220 µs aufgelöst werden kann 45.5 V/s.

Dies entspricht bei einer Amplitude von 2.5 Volt, einer Frequenz von ca. 3 Hz. Es können also nur langsame Vorgänge erfasst werden.

E. Flögel ■