

Komparatorfehler in A-D-Umsetzern

CLAUS KÜHNEL

Die Genauigkeit der Kennlinien von A-D-Umsetzern, die nach dem Prinzip der sukzessiven Approximation arbeiten, wird wesentlich durch den eingesetzten D-A-Umsetzer und den für den analogen Vergleich verwendeten Komparator bestimmt. In diesem Beitrag werden die Komparatoreigenschaften Offsetspannung, Offsetstrom, deren Driften und die endliche Verstärkung hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf den Fehler bei der A-D-Umsetzung untersucht. Ein einfaches Rechenprogramm soll die zahlenmäßige Auswertung unterstützen.

Die vereinfachte Schaltung eines nach dem Prinzip der sukzessiven Approximation arbeitenden A-D-Umsetzers zeigt Bild 1. Die beiden angegebenen möglichen Varianten (D-A-Umsetzer mit Spannungs- bzw. Stromausgang) lassen sich auf das im Bild 2 dargestellte Ersatzschaltbild zurückführen. In der Ersatzschaltung wurden die Offsetspannung, der Offsetstrom und die durch die endliche Verstärkung bedingte Eingangsspannung des Komparators berücksichtigt. Durch die identische Beschaltung der beiden Komparatoringänge wurde der Einfluß des Biasstromes eliminiert. Die Temperaturabhängigkeit der Offsetgrößen (Temperaturdrift) soll entsprechend den Beziehungen

$$U_{\text{off}}(T) = U_{\text{off}}(T_0) + TKU_{\text{off}}(T - T_0) \quad (1)$$

$$I_{\text{off}}(T) = I_{\text{off}}(T_0) + TKI_{\text{off}}(T - T_0) \quad (2)$$

berücksichtigt werden. Die Abhängigkeit dieser Größen von der Betriebsspannung (Spannungsdrift) kann in gleicher Weise Berücksichtigung finden. Aussagen über die für den Spannungskomparator wichtige Gleichtaktunterdrückung sowie über andere weniger bedeutende Komparatoreigenschaften sind in [1] zu finden.

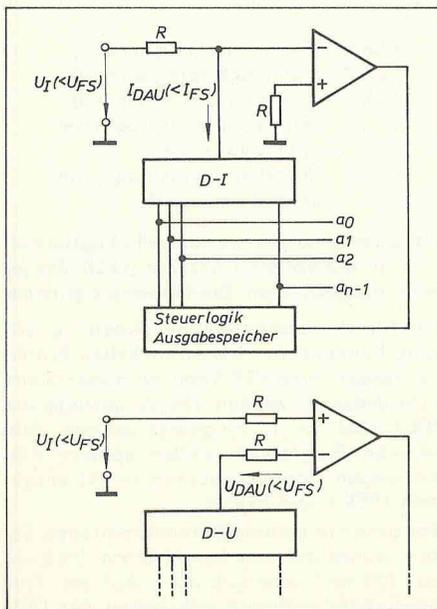


Bild 1: A-D-Umsetzer nach dem Prinzip der sukzessiven Approximation

Werden nun zur Aufstellung der Rechenvorschrift die Einzeleinflüsse der im Bild 2 erhaltenen Quellen betrachtet, gilt bezogen auf das LSB:

$$U_{\text{OFF}}(\text{LSB}) = \frac{U_{\text{off}}}{U_{\text{FS}}} \frac{2^n}{10^3} \quad (3)$$

$$I_{\text{OFF}}(\text{LSB}) = \frac{I_{\text{off}}}{I_{\text{FS}}} \frac{2^n}{10^6} \quad (4)$$

$$\text{GAIN}(\text{LSB}) = \frac{1,4}{U_{\text{FS}}} \frac{2^n}{V_{\text{diff}}} \quad (5)$$

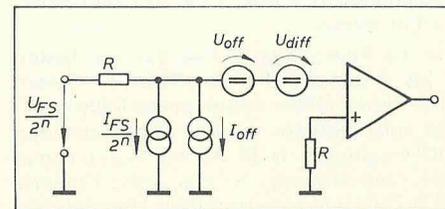


Bild 2: Ersatzschaltbild zu Bild 1

```

LI
10 REM
* DIESES PROGRAMM WURDE VON C.KUEHNEL AM 4. 7.1983 GESCHRIEBEN
20 CRTCL
30 PRINT
40 PRINT
50 PRINT
60 PRINT "DIESES PROGRAMM BERECHNET DEN DURCH DEN KOMPARATOR"
70 PRINT "HERVORGERUFENEN FEHLER IN ANALOG-DIGITAL-UMSETZERN"
80 PRINT
90 PRINT
100 PRINT "JEDE EINGABE IST MIT RETURN ABZUSCHLIESSEN!"
110 PRINT
120 PRINT
130 PAUSE
140 CRTCL
150 PRINT "SYSTEM PARAMETER:"
160 PRINT
170 INPUT "IFS(MA)      =" "A
180 INPUT "UFS(V)      =" "B
190 INPUT "BITS        =" "C
200 PRINT
210 PRINT
220 PRINT "KOMPARATOR PARAMETER  TYP:", INPUT A#
230 PRINT
240 INPUT "IOFF(NA)      =" "D
250 INPUT "UOFF(MV)     =" "E
260 INPUT "GAIN(V/V)    =" "F
270 PRINT
280 PRINT
290 PRINT
300 LET X=2^C
310 LET H=(E/B)*(X/1000)
320 LET G=(D/A)*(X/1E+06)
330 LET I=(1.4/B)*(X/F)
340 LET J=SQR(G*G+H*H+I*I)
350 LET K=G+H+I
360 PRINT "FEHLERTERME:"
370 PRINT
380 PRINT "IOFF[LSB]      =",G
390 PRINT "UOFF[LSB]      =",H
400 PRINT "GAIN[LSB]      =",I
410 PRINT
420 PRINT "EFF.FEHLER[LSB] =",J
430 PRINT "MAX.FEHLER[LSB] =",K
440 PRINT
450 DISPLAY "AENDERUNG DER KOMPARATOR PARAMETER?"
460 IF YES(0) GOTO 210
470 DISPLAY "RESTART?"
480 IF YES(0) GOTO 140
490 STOP

READY

```

Bild 3: Basic-Programm zur Berechnung von Komparatorfehlern in A-D-Umsetzern

den Gln. (3) bis (5) bezeichnen v_{diff} die Differenzverstärkung des Komparators im linearen Bereich, n die Auflösung (Anzahl der Bits) und der Index FS den Bereichsendwert (full scale). Mit dem Wert von 1,4 V wurde die Ausgangsspannungsänderung des Komparators festgelegt (für TTL gilt z. B. $2,4\text{ V} - 0,4\text{ V} = 2\text{ V}$).

Zur Charakterisierung des entstehenden Fehlers werden zwei Berechnungsmethoden herangezogen. Der effektive Fehler wird aus der Wurzel der quadratisch addierten Einzelfehler gebildet, während durch ein-

fache Addition der maximale Fehler (Worst Case) berechnet wird. Um die in der Entwicklungsphase erforderlichen Berechnungen einfach und komfortabel gestalten zu können, wurde ein einfaches Basic-Programm formuliert, das die Abarbeitung der geschilderten Schritte und eine entsprechende Dokumentation auf einem Mikrocomputer gestattet. In den Bildern 3 und 4 werden die Programmliste und zwei Ergebnisdrukke gezeigt.

Ein für den Taschenrechner HP-41C aufbereitetes Programm ist in [2] zu finden. Wird

auf den komfortablen Dialog verzichtet, läßt sich dieses einfache Programm leicht auf die Tischrechner robotron K 1001 bis K 1003 umarbeiten.

Literatur

- [1] Sheingold, D. H. (Ed.): Analog-digital conversion handbook. Norwood/Massachusetts: Analog Devices 1972
- [2] Gillooly, D.: Analyzing comparator errors in a-d converters. Electronics, New York 56 (1983) 2, S. 123-125

```

>RUN

DIESES PROGRAMM BERECHNET DEN DURCH DEN KOMPARATOR
HERVORGERUFENEN FEHLER IN ANALOG-DIGITAL-UMSETZERN

JEDE EINGABE IST MIT RETURN ABZUSCHLIESSEN!

>PAUSE
>RUN

SYSTEM PARAMETER:

IFS(MA)      =?6
UFS(V)       =?10.24
BITS         =?12

KOMPARATOR PARAMETER  TYP:  ?0000

IOFF(NA)     =?10
UOFF(MV)     =?5
GAIN(V/V)    =?40000

FEHLERTERME:

IOFF[LSB]    =          6.82667E-03
UOFF[LSB]    =          2
GAIN[LSB]    =          .014

EFF.FEHLER[LSB] = 2.00006
MAX.FEHLER[LSB] = 2.02083

AENDERUNG DER KOMPARATOR PARAMETER? Y

KOMPARATOR PARAMETER  TYP:  ?YYYY

IOFF(NA)     =?10
UOFF(MV)     =?3
GAIN(V/V)    =?40000

FEHLERTERME:

IOFF[LSB]    =          6.82667E-03
UOFF[LSB]    =          1.2
GAIN[LSB]    =          .014

EFF.FEHLER[LSB] = 1.2001
MAX.FEHLER[LSB] = 1.22083

AENDERUNG DER KOMPARATOR PARAMETER? N
RESTART? N
STOP 490
> 3 LOADED
>STOP

READY

```

Bild 4: Bildschirmdialog und Ergebnisausdruck (Eingaben von der Tastatur sind unterstrichen)