



# Kurvenform-Generator

**Beliebige Kurvenformen, die vom Anwender einstellbar sind, können mit dieser kleinen Schaltung realisiert werden.**

## Allgemeines

Zur Generierung der jeweiligen Kurvenform dient das Verfahren der Abtastung. Jedoch werden nicht wie im herkömmlichen Sinne digitale Werte über einen D/A-Wandler ausgegeben, sondern mit 8 Potentiometern sind Spannungswerte einstellbar, die nacheinander mittels eines CMOS-Multiplexers abgetastet werden.

Es ergeben sich 8 bzw. 16 Stützpunkte für das Ausgangssignal. Die Ansteuerung des Multiplexers geschieht durch einen Zähler, der durch einen integrierten RC-Generator getaktet wird.

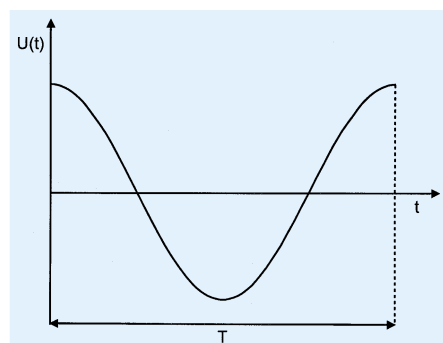
## Theoretische Grundlagen

Zunächst aber zur Verdeutlichung des theoretischen Hintergrundes der im Aus-

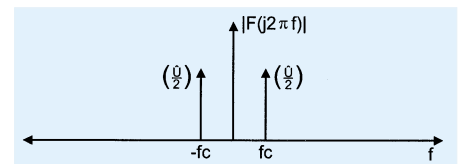
gangsspektrum vorkommenden Frequenzanteile einige Vorbetrachtungen. Die Beschreibung erfolgt zur besseren Verständlichkeit an einem Cosinussignal. Abbildung 1 zeigt die Idealform des Cosinussignals nach folgendem formelmäßigem Ausdruck:

$$U(t) = \hat{U} \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f_c \cdot t) \text{ mit } f_c = 1/T$$

Das dazugehörige Frequenzspektrum zeigt Abbildung 2, nämlich zwei Delta-Impulse bei  $f_c$  und  $-f_c$  jeweils mit dem Gewicht  $\frac{1}{2} \hat{U}$ . Den Delta-Impuls kann man sich als einen Rechteck-Impuls vorstellen, der theoretisch unendlich hoch ist, d. h. eine unendlich hohe Spannung aufweist, wobei seine Breite unendlich schmal ist, d. h. der Impuls dauert eine unendlich kurze Zeit. Solch ein Impuls ist in der Praxis nicht realisierbar, jedoch wird er für die



**Bild 1: Verlauf des betrachteten Cosinussignals**



**Bild 2: Frequenzspektrum des Cosinussignals**

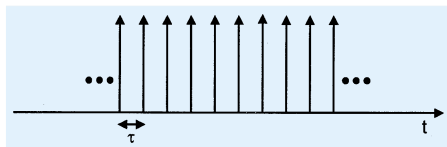
theoretischen Betrachtungen vorausgesetzt.

Im folgenden wird die ideale Abtastung beschrieben:

Die ideale Abtastung entspricht in diesem Fall der Multiplikation der Cosinus-

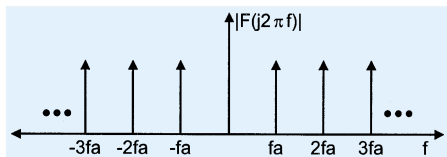
funktion mit einer Folge von Delta-Impulsen, jeweils mit dem Gewicht 1, der sogenannten  $\text{III}$ -Funktion. In Abbildung 3 ist diese Funktion dargestellt, der Abstand der Impulse  $\tau$  entspricht dem Kehrwert der Abtastfrequenz  $f_a$ .

$$\tau = 1/f_a$$



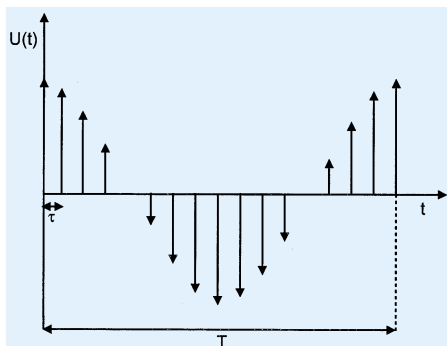
**Bild 3: Verlauf der  $\text{III}$ -Funktion**

Im Frequenzbereich stellt die  $\text{III}$ -Funktion ebenfalls eine Folge von Delta-Impulsen dar, die sich im Abstand von  $f_a = 1/\tau$  wiederholen. Abbildung 4 zeigt das zugehörige Frequenzspektrum:



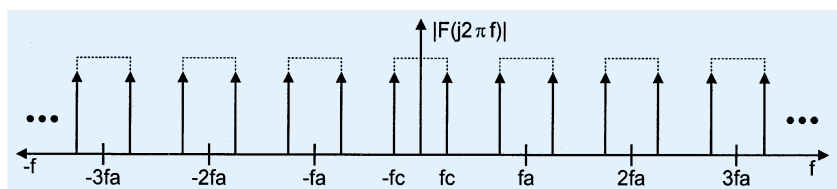
**Bild 4: Frequenzspektrum der  $\text{III}$ -Funktion**

Durch die Multiplikation beider Funktionen ergeben sich die Abtastwerte nach Abbildung 5.



**Bild 5 zeigt die Abtastwerte des Cosinussignals**

Durch die Fourier-Transformation erhält man das Spektrum eines ideal abgetasteten Cosinussignals. Dabei ist zu beachten, daß beim Übergang vom Zeitbereich in den Frequenzbereich aus der Multiplikation zweier Funktionen eine Faltung wird, d. h., die Frequenzspektren des Cosinussignals und der  $\text{III}$ -Funktion werden miteinander gefaltet. Das bedeutet an dieser Stelle nichts anderes als eine Wiederholung des Cosinussignalspektrums bei den Frequenzen  $\pm n \cdot f_a$ , mit  $n = 1, 2, 3...$  Es entsteht das in Abbildung 6 dargestellte Frequenzspektrum.



**Bild 6: Durch die Abtastung entstandenes Frequenzspektrum**

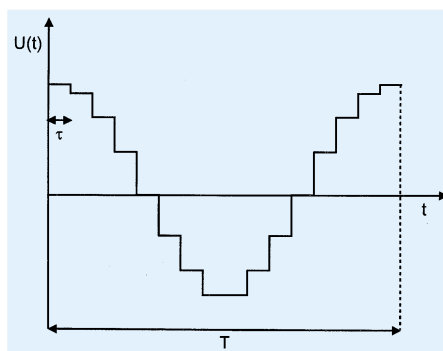
Daraus läßt sich das Shannon-Theorem ableiten, wonach die Abtastfrequenz mindestens doppelt so groß wie die höchste Signalfrequenz sein muß, da ansonsten das erste sich wiederholende Grundspektrum bei  $f_a = 1/\tau$  in das Grundspektrum selbst hineinrutscht und hier dann sogenannte Aliasing-Fehler verursacht.

Um das ursprüngliche Signal zurückzugewinnen, muß ein Tiefpaß nachgeschaltet werden, der Signalfrequenzen, die höher als die höchste Signalfrequenz des Grundspektrums sind, eliminiert.

Da ein Tiefpaß einen endlich steilen Übergang vom Durchlaßbereich in den Sperrbereich besitzt, ist es günstiger, wenn die Abtastfrequenz wesentlich höher als die Signalfrequenz gewählt wird.

Beim Kurvenform-Generator fallen in eine Periode T des Ausgangssignals 8 bzw. 16 Abtastintervalle  $\tau$ , so daß die erste Störfrequenz bei  $f_a - f_c$ , also bei  $8 \cdot f_c - f_c = 7f_c$  bzw.  $16f_c - f_c = 15f_c$  zu finden ist.

Da in der Praxis Delta-Impulse aufgrund ihrer vorher beschriebenen Eigenschaften nicht generiert werden können, ergeben sich nicht die Abtastwerte nach Abbildung 5, sondern der Abtastwert wird für eine bestimmte Zeit, hier ein Abtastintervall, konstant gehalten. Abbildung 7 verdeutlicht diesen Zusammenhang.



**Bild 7: Abtastwerte des Kurvenform-Generators**

Der gezeigte Spannungsverlauf entspricht der vom ELV-Kurvenformgenerator erzeugten Cosinusspannung (sofern die Koeffizienten dementsprechend eingestellt wurden). Für den Frequenzbereich bedeutet das „Festhalten“ des Spannungswertes während eines Abtastintervalls, daß das in Abbildung 6 gezeigte Frequenzspektrum des Ausgangssignals mit einer  $\text{sinc}/x$ -Funktion gewichtet wird. Abbildung 8 zeigt das mit der  $\text{sinc}/x$ -Funktion gewichtete Spektrum des Ausgangssignals des Kurvenformgenerators.

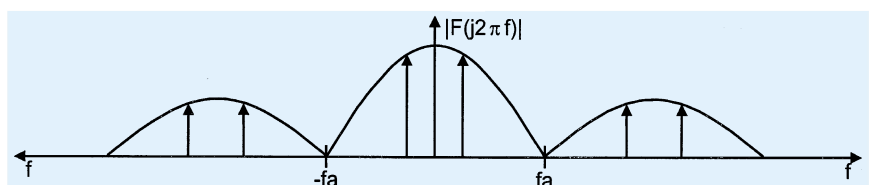
Nachdem die theoretischen Betrachtungen so weit abgeschlossen sind, erfolgt die Beschreibung der Schaltungstechnik des Kurvenform-Generators.

## Schaltung

In Abbildung 9 ist das übersichtlich gehaltene Schaltbild des Kurvenform-Generators dargestellt. Zentrales Bauelement stellt der CMOS-Multiplexer IC 2 (CD4051) dar, der die mit den Potentiometern R 1 - R 7 eingestellten Spannungswerte auf Pin 3 durchschaltet. Über R 13 und C 9 stehen diese Spannungswerte als Ausgangssignal zur Verfügung.

Gesteuert wird der Multiplexer durch den Binärzähler CD4520 (IC 3), der mit den Zählerausgängen Q 1 - Q 3 jeweils einen der 8 Eingangskanäle des CD4051 auswählt.

Eine besondere Funktion kommt nun dem Ausgang Q 4 zu. Steht der Schalter S 1 in Stellung 1, wird Q 4 an die Gattereingänge von IC 1 des Typs 74HC132 gelegt. Kippt Q 4, so schalten die als Inverter arbeitenden Gatter B, C und D von IC 1 die Polarität der an den Potis R 1 - R 7 liegenden Spannung um. Dadurch können punktsymmetrische Ausgangssignale mit einer horizontalen Auflösung von 16 Schritten erzeugt werden, wobei sich die Ausgangsfrequenz halbiert. Steht der Schalter S 1 in Stellung „0“, so bleibt die Polarität stets



**Bild 8: Ausgangsspektrum des Kurvenform-Generators**

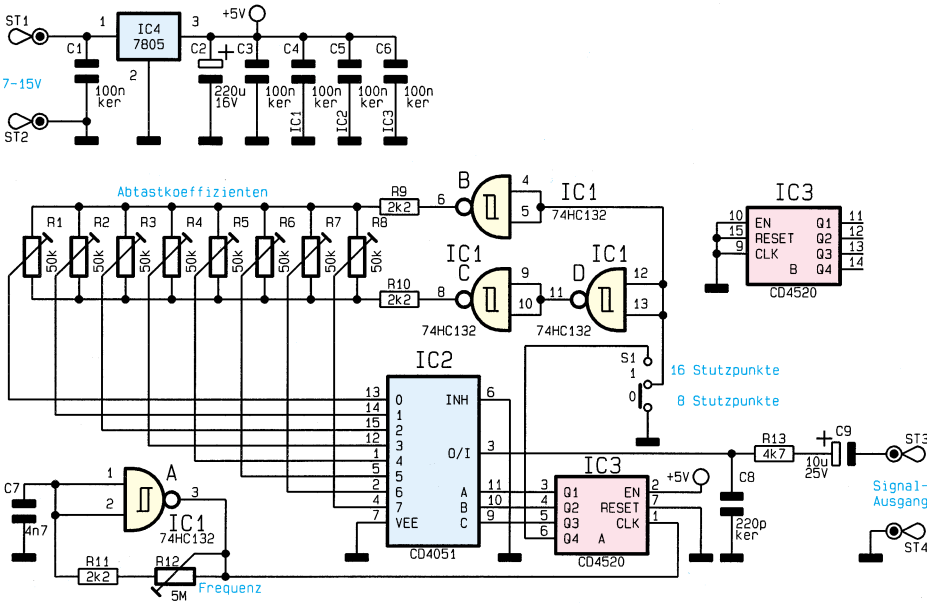


Bild 9: Schaltbild des Kurvenform-Generators

konstant, und die horizontale Auflösung beträgt 8 Schritte.

Die Erzeugung der nötigen Taktfrequenz für den Binärzähler IC 3 nimmt der mit IC 1 A, R 11, R 12 und C 7 realisierte RC-Generator vor. Der Einstellbereich liegt bei ca. 50 Hz bis 100 kHz, wodurch die maximale Ausgangsfrequenz ca. 12,5 kHz beträgt. Mit dem Festspannungsregler IC 4 wird die Versorgungsspannung auf 5 V stabilisiert.

Nachbau

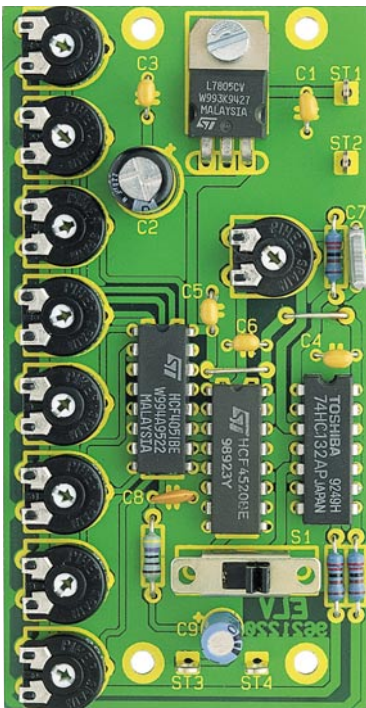
Der Aufbau der 92 x 48,5 mm messenden Leiterplatte geht in gewohnter Weise unter Zuhilfenahme der Stückliste, des Bestückungsdruckes sowie des Platinfotos vor sich.

Man beginnt mit den passiven Bauelementen, wie Widerständen und Kondensatoren. Bei den Elkos ist auf die richtige

Polung zu achten. Der Festspannungsregler ist liegend zu montieren. Der Umschalter S 1 wird durch die vorgesehenen Löcher geschoben und verlötet.

Im letzten Arbeitsschritt erfolgt das Einsetzen und Verlöten der ICs, wobei deren Punktmarkierung mit der des Bestückungsdruckes übereinstimmen muß. Jetzt folgt die Inbetriebnahme, wobei ST 1 und ST 2 mit einer Versorgungsspannung im Bereich von 7 V bis 15 V zu verbinden sind. Unter Zuhilfenahme eines Oszilloskopes ist die gewünschte Kurvenform der Ausgangsspannung mit den Trimmern R 1 bis R 7 einstellbar. Mit S 1 wählt man aus, ob die Kurvenform 8 oder 16 Stützpunkte pro Periode aufweisen soll, mit R 12 ist die Ausgangsfrequenz einstellbar.

Der Ausgang der Schaltung ist vor Entladung statischer Elektrizität geschützt. Eine direkte statische Entladung auf die Platine ist z. B. durch den Einbau in ein entsprechendes Gehäuse zu vermeiden. Jetzt steht dem Einsatz dieser kleinen, vielseitig einsetzbaren Schaltung nichts mehr im Wege.



Ansicht der fertig bestückten Leiterplatte

Stückliste: Kurvenform-Generator

Widerstände:

- 2,2kΩ ..... R9-R11
- 4,7kΩ ..... R13
- PT10, liegend, 50kΩ ..... R1-R8
- PT10, liegend, 5MΩ ..... R12

Kondensatoren:

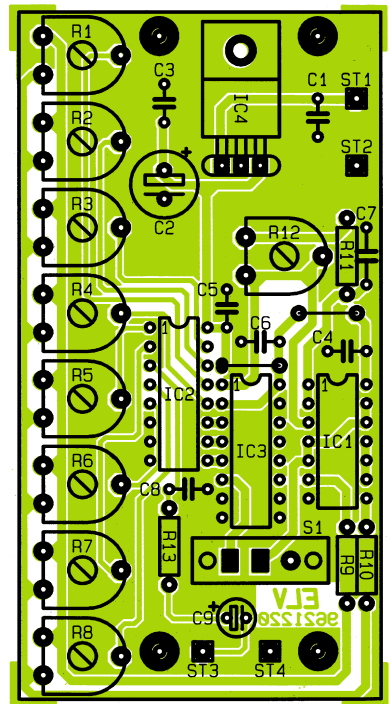
- 220pF/ker ..... C8
- 4,7nF ..... C7
- 100nF/ker ..... C1, C3-C6
- 10µF/25V ..... C9
- 220µF/16V ..... C2

Halbleiter:

- 74HC132 ..... IC1
- CD4051 ..... IC2
- CD4520 ..... IC3
- 7805 ..... IC4

Sonstiges:

- Miniatur-Schiebeschalter, 1 x um S1
- 1 Zylinderkopfschraube, M3 x 5mm
- 1 Mutter, M3
- 4 Lötstifte mit Lötöse
- 5cm Schaltdraht, blank, versilbert



Bestückungsplan des Kurvenform-Generators