

Michael Arnoldt

Linearer elektronischer Wobbelgenerator 1 Hz bis 1 MHz 2. Teil

Der erste Teil dieser Bauanleitung beschrieb das Prinzip des Wobbelgenerators sowie einige Schaltungsdetails. Im vorliegenden zweiten Teil bespricht der Autor die X-Ablenkschaltung, gibt Hinweise auf den Abgleich und zeigt einige Anwendungsbeispiele auf.

X-Ablenkschaltung

Da die Frequenzänderung linear mit Spannungsänderung an C erfolgt, kann U_C direkt zur Ansteuerung der Ablenkschaltung herangezogen werden (Bild 7). Beim Wobbeln normal schmalbandiger Filter ist wegen der geringen Frequenzdifferenz jedoch die Verstärkung des Spannungshubes erforderlich. Die nötige Linearität bietet ein Operationsverstärker (IS 7). Da der Spannungshub auf höherem Potential vor sich geht, empfiehlt es sich, die Spannung +20 V zur Bildung der Differenz zu benutzen. Mit P 7 wird die Einstellung der Verstärkung (Dehnung des gewünschten Wobbelbereich auf den gesamten Oszillografenschirm) vorgenommen. P 8 legt den Arbeitspunkt in den linearen Teil der Aussteuerungskennlinie. Dadurch bewirkt P 8 auch die Verschiebung der Filterkurve auf der X-Achse.

Anstelle von P 7, P 8 könnte ein Tandem-Potentiometer verwendet werden. In der Praxis hat sich jedoch gezeigt, daß dann zusätzlich eine Korrektur von P 8 notwendig ist. Der Transistor T 3 wurde eingefügt, um die Belastung des Kondensators gering zu halten.

Da die Frequenz des VCO mit steigender VCO-Spannung kleiner wird, ist der X-Ablenkverstärker invertierend ausgeführt, wodurch die obere Frequenzgrenze auf dem Oszillografen rechts, die untere links erscheint.

Konstantstromquelle und Überlaufzeit T

Für die Ladung des Kondensators gilt: $q = C \cdot U_w$ mit U_w als Spannungswobbelhub. Daraus folgt für die Überlaufzeit: $T = CU_w/I_3$. Die Überlaufzeit hängt also bei konstantem C von U_w und dem eingestellten Konstantstrom I_3 ab. Verkleinert man den Wobbelhub, so erfolgen die Überläufe in schnellerer Reihen-

folge. In der Konstantstromquelle wird der Spannungsabfall an P 9 + P 10 + P 11 mit der Diodenspannung von 3 V verglichen. IS steuert über T 1 den Strom, der an P 9, P 10 und P 11 den Spannungsabfall 3 V erzeugt. Die Aufteilung P 9, P 10, P 11 erlaubt, die Überlaufzeit in weiten Grenzen zu ändern und der jeweiligen Filtergüte anzupassen. Für eine Oktave Hub ergeben sich mit der in Bild 7 angegebenen Dimensionierung:

$$T_{\min} = 1/20 \text{ s} \quad T_{\max} = \text{beliebig hoch.}$$

Der Basiswiderstand von T 1 hängt wesentlich von der Stromverstärkung ab. Er sollte einerseits groß gewählt werden, andererseits die zeitproportionale Aufladung bis etwa $25 \text{ V} - U_z = 22 \text{ V}$ noch erlauben.

Rücklaufunterdrückung

Während beim Hinlauf mit vertretbarer Geschwindigkeit das Dargestellte dem Frequenzverhalten weitgehend entspricht, bewirkt die schnelle Entladung von C, daß das Filter erst eingeschwungen ist, wenn der Strahl bereits über den zugehörigen Frequenzbereich hinweggelaufen ist. Dadurch entsteht auf dem Schirm eine stark verzerrte, in Rücklaufrichtung verschobene Kurve geringerer Helligkeit.

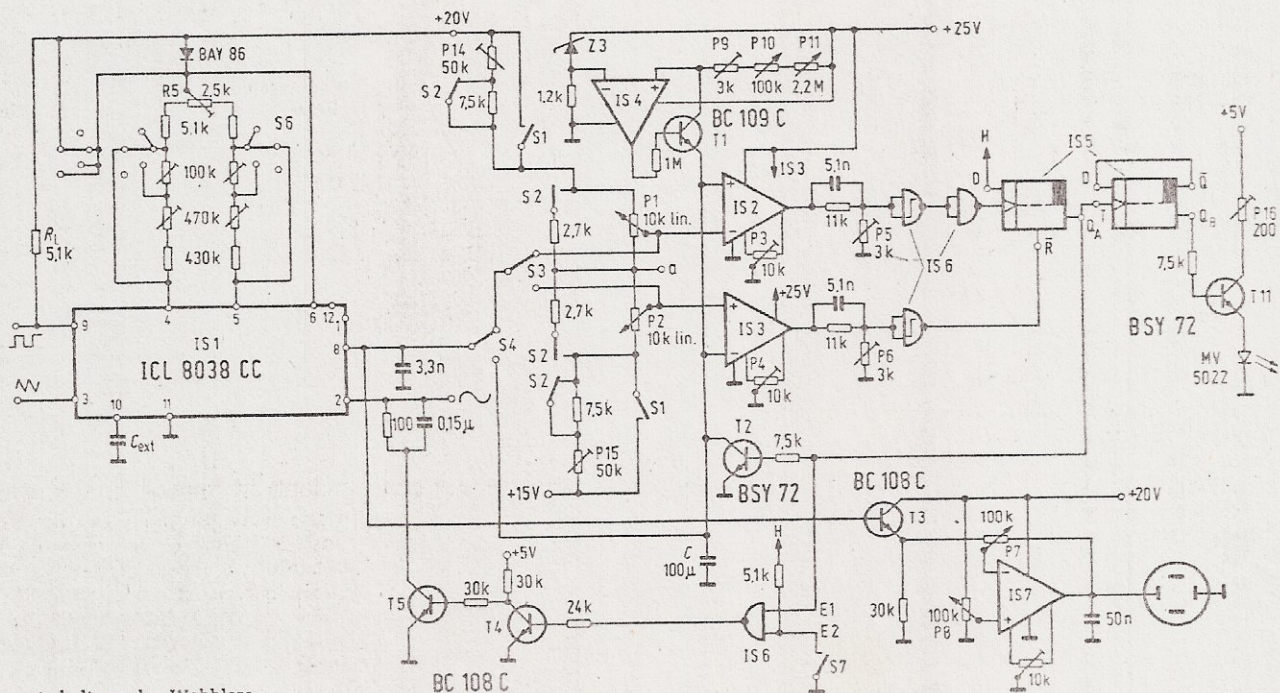


Bild 7. Gesamtschaltung des Wobblers

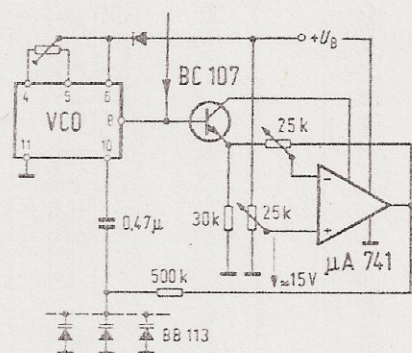


Bild 8. Schaltung zur extremen Erweiterung des Variationsfaktors

Abhilfe bietet hier die Unterdrückung des Sinussignals während des Rücklaufs. Zu diesem Zweck wird das Ausgangssignal Q_A des ersten D-FF $\frac{1}{2}$ SN 7474 an E1 des noch zur Verfügung stehenden Schmitt-Triggers $\frac{1}{2}$ SN 74132 gelegt. Beim Rücklaufimpuls (H-Signal an Q) wird dann T5 leitend und legt den Sinusausgang über die RC-Kombination an Masse. R sollte nicht zu klein gewählt werden, um T55 im IS 1 nicht zu überlasten. Währenddessen liegt an E2 des Schmitt-Triggers über 5,1 k Ω normalerweise H-Potential. Soll das Wobbeln ohne Rücklaufunterdrückung erfolgen, wird E2 über S7 (Schalter oder Taster) mit Masse verbunden.

Anzeige des Betriebszustands

Das Ausgangssignal Q_A kann zur Darstellung des Überlaufs herangezogen werden. Dabei bieten sich zwei Möglichkeiten an: Die Basis von T11 wird über 7,5 k Ω mit Q_A verbunden. Die GaAs-Diode MV 5022 leuchtet während des Überlaufs und erlischt beim Rücklauf. Da die Rücklaufzeit sehr kurz ist, bereitet es mitunter Schwierigkeiten, die Unterbrechungen zu erkennen.

Da im Steuergenerator nur $\frac{1}{2}$ SN 7474 belegt ist, kann die zweite Hälfte als Teiler verwendet werden. Verbindet man D mit \bar{Q} , so kippt das Flipflop beim Eintreffen jeder positiven Taktflanke in den jeweils anderen Zustand. Die GaAs-Diode leuchtet dann während eines Überlaufs und erlischt bei Beginn des nächsten usw. Mit P16 wird der Strom auf max. 40 mA eingestellt.

Zusatz zum Wobbeln von Vierpolen im Bereich 20 Hz bis 20 kHz

Speziell zum Wobbeln von Nf-Verstärkern, Weichen, Lautsprechern usw. wurde die Möglichkeit der Frequenzvariation $f_0 \approx 1000 f_u$ zwischen 20 Hz und 20 kHz vorgesehen.

Die Betrachtung von Gleichung 12 zeigt, daß mit $U_3 = U_B$ unabhängig von R und C_{ext} die Frequenz gegen Null geht. Damit kann eine sehr große Frequenzvariation verwirklicht werden. Dem wirkt allerdings die Tatsache entgegen, daß die Basis-Emitter-Spannung

gen von T2 und T3 (IS 1) nicht genau gleich groß sind.

Zur Abhilfe wird die IS über eine Diode mit der Versorgungsspannung verbunden (entsprechend Bild 7, Schalterstellung S6-IV). So läßt sich ein Variationsfaktor von 1000 bequem erreichen. Dabei muß allerdings eine verminderte thermische Stabilität in Kauf genommen werden.

Zusammen mit dem zusätzlichen Kondensator von 2,6 nF in S5-I läuft dann der Wobbelbereich von etwa 10 (< 20) Hz bis etwa 20 kHz. Die Ausgangsamplitude ist konstant, und die harmonischen Verzerrungen sind minimal.

Für die Ansteuerung von Nf-Verstärkern muß die effektive Ausgangsspannung von etwa 1,2 V gedämpft werden. Dabei ist zu beachten, daß diese Spannungsteilung nicht frequenzabhängig sein darf. Im Zweifelsfall ist immer der Frequenzgang unmittelbar am Eingang des zu betrachtenden Vierpols zum Vergleich heranzuziehen. Insbesondere beim Wobbeln (Durchheulen) von Lautsprechern und deren Weichen muß die Ausgangsimpedanz des VCO der des Prüflings angepaßt werden.

Abgleich der Schaltung

Man beginnt mit der Prüfung der Frequenzlinearität und stellt P14 und P15 so ein, daß gleich große Spannungsänderungen an Anschluß 8 des VCO bei Variation von P1 und P2 auch gleichgroße Frequenzänderungen bewirken. Schwierigkeiten treten erfahrungsgemäß in der Nähe von 1 MHz auf. Deshalb wird zweckmäßig bei dieser Frequenz begonnen.

Wenn Schalter S1 und S2 nicht betätigt sind – entsprechend Bild 7 –, soll mit P1 und P2 eine Oktave überstrichen werden. Die richtige Einstellung von P3...6 vorausgesetzt, müssen die so er-

Tabelle der verwendeten Spezialbauteile

- IS 1: ICL 8038 CC Intersil Spezial Elektronik GmbH, München 70
- IS 2, 3, 4, 7: μ A 741 A (TBA 221 A)
- IS 5: SN 7474 (FLJ 141)
- IS 6: SN 74132
- IS 7: ML 723

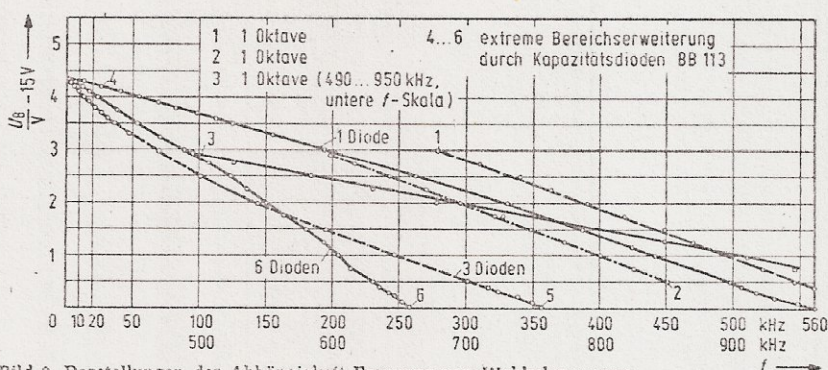


Bild 9. Darstellungen der Abhängigkeit Frequenz von Wobbelspannung

zielten Frequenzgrenzen gleich denen beim Wobbeln sein. Nun folgt der Abgleich der VCO-Beschaltung, indem man die Frequenzgrenzen nach Tabelle 2, (1. Teil), beginnend mit 1 MHz, festlegt.

Weitere Erhöhung des Variationsfaktors

Für extreme Anwendungen besteht die Möglichkeit einer weiteren Erhöhung des Variationsfaktors. Anstelle der festen Kondensatoren C_{ext} finden Kapazitätsdioden Verwendung, die über die Wobbelspannung angesteuert werden. Wie im Fall der X-Ablenkung ist die Verstärkung des Wobbelhubes Voraussetzung. Eine geeignete Kapazitätsvariationsdiode ist der Typ BB 113. Bild 8 zeigt die verwendete Schaltung. Wichtig ist auch hierbei die richtige Zuordnung der Verstärkereingänge. Anderenfalls erhält man einen kompensierenden Effekt.

Die einzelnen Dioden der BB 113 lassen sich getrennt benutzen. Unter Verwendung von n Dioden wurden in Stellung S6-... folgende Frequenzbereiche und Variationsfaktoren VF erzielt (Tabelle 3).

Tabelle 3. Variationsfaktoren des Wobblers

n	f_0 /kHz	f_u /Hz	VF	S 6-...
1	560	7	ca. 80 000	x 100
1	58	1	ca. 58 000	x 10
2	435	7	ca. 60 000	x 100
2	44	1	ca. 44 000	x 10
3	350	5	ca. 70 000	x 100
3	37	1	ca. 37 000	x 10
6	260	5	ca. 50 000	x 100

Die Linearitätsabweichungen sind auch bei Verwendung der Kapazitätsdioden erstaunlich gering. Bild 9 zeigt die Abhängigkeit $f(U_w)$.

Erzielte Ergebnisse

Die Abweichungen von der Frequenzlinearität sind beim normalen Wobbelbetrieb vernachlässigbar gering. Die Temperaturdrift nach dem Einschalten wird hauptsächlich durch die Erwärmung des ICL 8038 hervorgerufen. Der Wert beträgt etwa 2‰, und ungewollte Frequenzschwankungen in der Größen-



ordnung 100 Hz begrenzen die maximale Auflösung, so daß die Grenze des sinnvollen Arbeitens mit dem Wobbelgenerator bei etwa 1 kHz/Schirmbreite liegt.

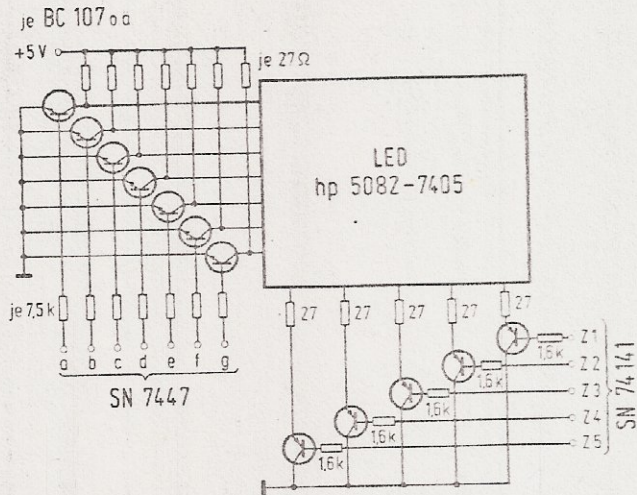
Die Transistoren haben Schalter-, Regel-, Potential- und Impedanzwandlerfunktionen. Ihre Wahl ist daher nicht kritisch, jedoch sollten entsprechende Hinweise im Text beachtet werden. So wurden die Transistoren T 2, 4, 5, 8, 10, 11 probeweise erfolgreich durch geprüfte Universaltransistoren ersetzt.

5½stelliger Frequenzzähler mit LED im Zeitmultiplexbetrieb

Die Frequenz des Wobbelgenerators ist mit einem Frequenzzähler leichter als anhand einer Skala zu bestimmen. Wie Bild 4 zeigt, kann die Rechteckausgangsspannung über P 14 an Anschluß 9 des abgenommen werden. Meist wird man dafür einen Universalzähler benutzen.

Für den vorliegenden Fall wurde ein Frequenzzähler entworfen, der das fünfstellige LED hp 5082-7405 benutzt. Die Abmessungen des LED gleichen denen einer 14poligen IS und gestatten somit die raumsparende Unterbringung an der knapp dimensionierten Frontplatte. Die Höhe der einzelnen Ziffern beträgt 3 mm, sie wird aber durch die vorgeschaltete Linse auf etwa 5 mm vergrößert.

Bild 11. Ansteuerung der LED



bert. Dadurch ist bei normalem Tageslicht die Ablesung in etwa 1/2 m Entfernung noch gut möglich.

Die einzelnen Stellen der LED werden zeitlich nacheinander angesteuert und die Speicher der zugehörigen Zählstufen synchron abgefragt. Die gleichen Segmente der fünf Stellen sind untereinander parallelgeschaltet und über sieben Zeilenleitungen zu erreichen. Jeder Stelle ist eine Spaltenleitung zugeordnet.

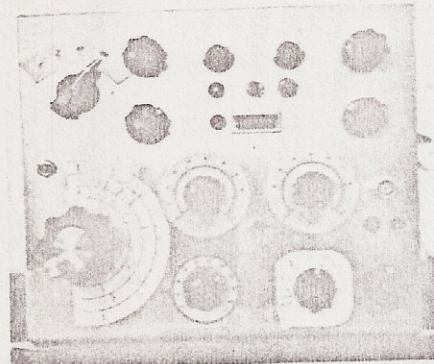


Bild 12. Frontansicht des Wobbelgenerators

Bild 10. Frequenzzähler

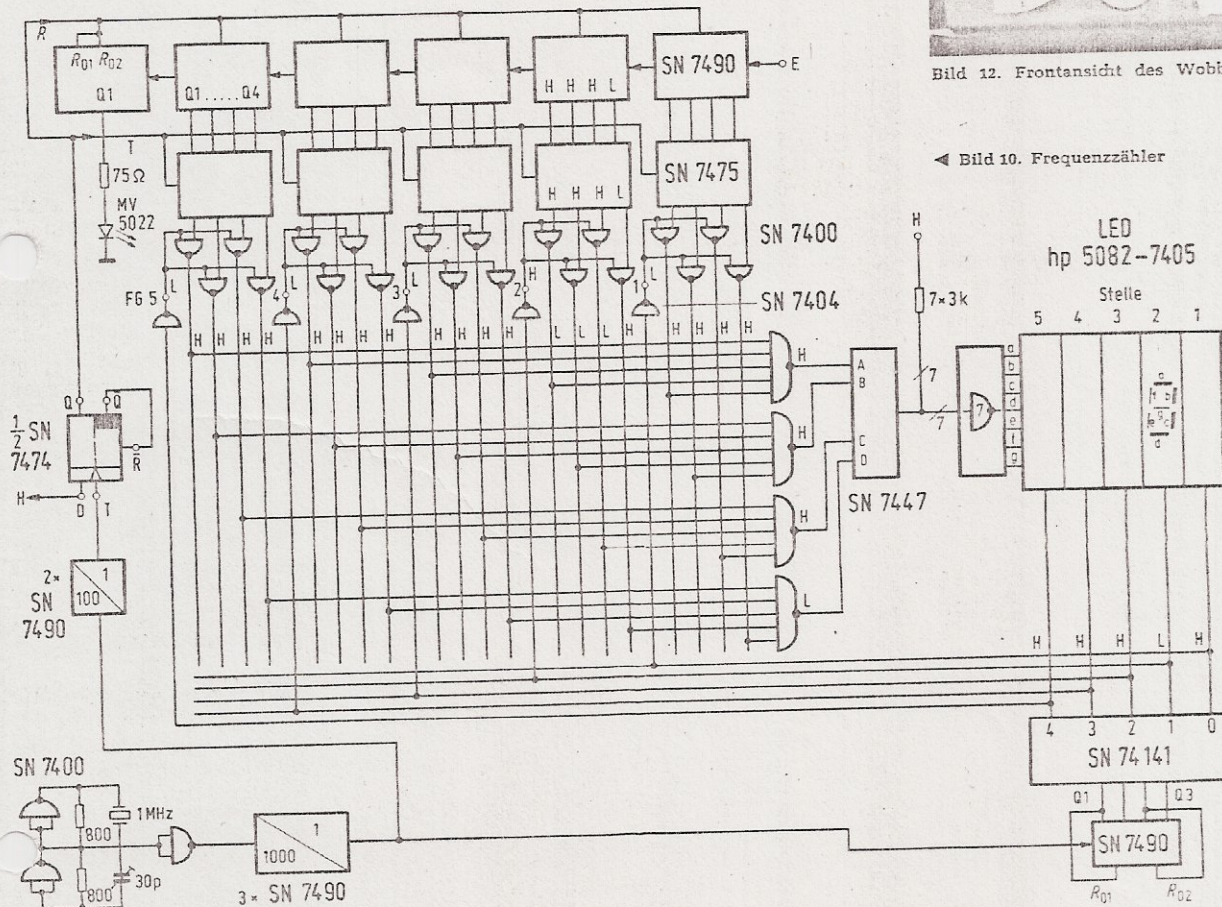




Bild 13. Platinen- und Rückensicht

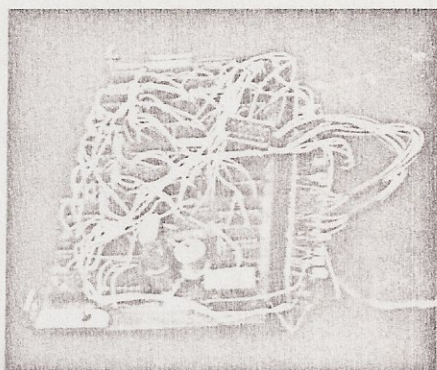


Bild 14. Zählerplatine in freier Verdrahtung

Bild 10 zeigt die vollständige Schaltung. Hinsichtlich der Zähler-, Speicher- und Zeitbasisstufen ist die Schaltung fast konventionell aufgebaut. Auf die hier überflüssige Eingangstorschaltung wurde verzichtet.

Die Ausgänge der Speicher laufen über NAND-Gatter SN 7400, die die Eingangsinformationen im Zeitmultiplex zum Abfragen durchschalten.

Den Takt geben der Zähler SN 7490 und der nachgeschaltete Decoder SN 74141 als Multiplexsteuerung an. Durch die Rückstellverbindungen RO 1-Q 1 und RO 2-Q 3 läuft der Zähler von 0...4 und wird bei Erreichen des Zustands 5 sofort auf 0 zurückgesetzt. Während jeder der 5 Phasen 0...4 wird über die Freigabe- und die Spaltenverbindung eine andere Stelle angezeigt.

Die NAND-Gatter SN 4931 fassen die Ausgänge der Freigabegatter zusammen und leiten Informationen an den BCD-auf-7-Segment-Decoder SN 7447. Mit dessen Ausgang kann zur Kontrolle eine 7-Segment-Anzeige (Minitron) verbunden werden. Angezeigt wird dann der Inhalt des Speichers, dessen Freigabegatter am Punkt FG H-Potential aufweist, sofern alle anderen L bekommen.

Da die Zeileneingänge der LED mit H-Potential zu versorgen sind, müssen die Ausgänge des Decoders invertiert werden. Inverter des Typs SN 7404

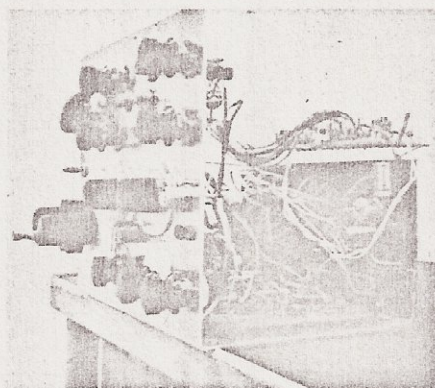


Bild 15. Gesamtansicht des Wobbelgenerators mit Zählerplatine

lassen wegen des integrierten 130- Ω -Widerstandes in der Endstufe nur einen unzureichenden Ausgangsstrom zu. Daher sind Inverter mit offenem Kollektor oder npn-Transistoren BC 107 o. ä. besser geeignet (Bild 11).

Die Segmente der LED sind als Leuchtdioden mit Durchlaßrichtung Zeile nach Spalte ausgeführt. Daher muß der Spaltenanschluß der jeweils anzuzeigenden Stelle L-Potential aufweisen. Der jeweils durchgeschaltete Ausgang des Decoders SN 74141 nimmt L-Potential an. Dieses gelangt an die Basis je eines pnp-Transistors BC 177 o. ä., der den Leuchtdiodenstrom aufnimmt.

Die Funktion der Multiplexschaltung soll anhand eines Beispiels verdeutlicht werden. Zähler und Speicher 2 befinden sich im Zustand 7, das Ausgangspotential ist $\{Q_1, \dots, Q_4\} = \{H, H, H, L\}$. Die anderen Zähler- bzw. Speicherinhalte seien beliebig. Speicher 2 soll abgefragt werden. Der Decoder der Multiplexsteuerung muß zu diesem Zweck L am Ausgang „1“ aufweisen. Das Freigabegatter FG 2 erhält diese Information invertiert. An seinen Ausgängen liegt der Speicherinhalt invertiert vor: LLLH. Alle anderen Freigabegatter erhalten von der Steuerung L-Signal. Somit sind deren Ausgänge sämtlich auf H-Potential.

Nach der Zusammenfassung dieser Ausgänge auf die Gatter SN 4931 geben diese den ursprünglichen Speicherinhalt HHHH an die Decodereingänge A, B, C, D des SN 7447 weiter. Dessen Ausgänge haben freie Kollektoren. Daher müssen extern Arbeitswiderstände angeschaltet werden. Ihre Wahl ist unkritisch. Jedoch darf der Kollektorstrom 20 mA nicht überschreiten. Über die Inverter werden die Zeileneingänge der LED mit $\{a, b, c, d, e, f, g\} = \{H, H, H, L, L, L, L\}$ versorgt. Das entspricht der Ziffer 7.

Da der Speicher 2 abgefragt wurde, muß dessen Inhalt an der 2. Stelle erscheinen. Dies geschieht, indem der Ausgang 1 des Decoders SN 74141 L-Poten-

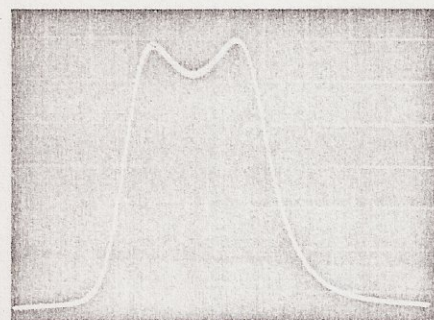


Bild 16. Vierkreis-LC-Filter bei 455 kHz, leicht überkritisch gekoppelt, Frequenzteilung 2 kHz/cm, Amplitudenskala linear

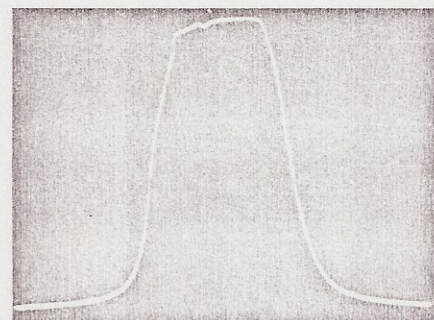


Bild 17. 30-kHz-Quarzfilter (1 Quarz), 300 Hz/cm Auflösung

tial auf den Spalteneingang 2 liefert. Damit sind die Segmente a, b, c (Ziffer 7) der 2. Stelle in Durchlaßrichtung geschaltet und leuchten auf. Sobald der nächste Impuls im Multiplexzähler registriert ist, wird Speicher 3 freigegeben und abgefragt usw.

Dieser Vorgang erfolgt zyklisch mit der Frequenz 1000/5 Hz. Jede Stelle leuchtet während einer Millisekunde auf. Den Ablauf kann man verdeutlichen, indem die Zyklusfrequenz weit, auf z. B. 1 Hz, herabgesetzt wird.

Da der eigentliche Frequenzzähler in diesem Fall bis etwa 1 MHz betrieben werden soll und die LED eine fünfstellige Anzeige erlaubt, wird der Zähltakt mit 10 Hz festgelegt. Dabei fällt jedoch die Anzeige des MHz-Wertes heraus.

Um diesen Nachteil zu vermeiden, wurde ein 6. Zähler SN 7490 nachgeschaltet, dessen Ausgang Q 1 während der Zählphase auf H-Potential schaltet und die Diode MV 5022 aufleuchten läßt, sofern die Frequenz gleich 1 MHz oder größer ist. Für diese Stufe kann der Speicher entfallen, wenn man den kleinen Nachteil in Kauf zu nehmen bereit ist, daß die Diode mit der Zähltaffrequenz von 10 Hz flackert. Der Zähler wurde in freier Verdrahtung aufgebaut und ist über zwei Metallwinkel mit dem Chassis des Wobblers verbunden.

Die Bilder 12 bis 15 zeigen den Aufbau des Mustergerätes, Bild 16 und 17 zwei aufgenommene Durchlaßkurven.