

Switched-Capacitor-Filter Teil 2

Nach ausführlicher Darstellung der Grundlagen dieser interessanten Filtertechnologie im ersten Teil beschäftigt sich der vorliegende Artikel mit einer Software zur einfachen Dimensionierung sowie einer praktischen Anwendung. Diese ermöglicht die Realisierung eines Tief-, Hoch- oder Bandpasses mit variablem Filterverhalten und in weitem Bereich einstellbarer Grenz- bzw. Mittenfrequenz.

Einfache Dimensionierung per Software

Die ausführliche Darlegung der mathematischen Voraussetzungen für die Dimensionierung von SC-Filtern wäre im Rahmen dieses Artikels kaum möglich. Deshalb nutzen wir an dieser Stelle die Filter-CAD-Software „FilterCAD“, die auf der CD „LINEAR VIEW“ (Best.Nr.: 42-250-34) zur Verfügung steht. Diese speziell für Bausteine von Linear Technologie geschriebene Software unterstützt den Anwender beim Filterdesign. Weiterhin stehen auf dieser CD Datenblätter, Applikationen, Designvorschläge und Fachartikel für LT-Bausteine zur Verfügung.

Der Weg von den Vorgaben bis zur

fertigen Schaltung sieht wie folgt aus:

Der Anwender gibt die erforderlichen Filterspezifikationen, wie z. B. Charakteri-

stik, Grenzfrequenz usw., vor und erhält eine Auswahl der für die Realisierung in Betracht kommenden Bausteine. Nach

Bild 7: Übersichtliche Darstellung der Filterparameter

The screenshot shows the 'Filter1.Design' window with the following parameters:

- Type:** Bandpass (selected)
- Amplitudes [dB]:** Passband Gain: 0, Passband Ripple (R): 0, Stopband Atten. (A): 12, Actual Atten. (at Fs): 11.8
- Frequencies:** Center (Fc): 5, Passband (PB): 3, Stopband (SB): 7
- Response:** Butterworth (selected), Bessel, Chebychev, Elliptic, Min Q Elliptic, Custom
- Order:** 4 (selected), 8, >16
- Implementation Table:**

Fo	Q	Fn
3.8054	2.3061	-
5.9784	2.3061	-
-	-	-
-	-	-
-	-	-
-	-	-

**Allgemeine technische Daten:
Universal SC-Filter**

Filterordnung: 4
 Betriebsspannung: 5 V
 min. Grenz-/Mitten-
 frequenz: 19,5 Hz
 max. Grenz-/Mitten-
 frequenz: 20 kHz
 max. Eingangsfrequenz: 250 kHz
 max. Eingangsspannung: $\pm 0,5 \cdot U_b$
 Stromaufnahme: 2,5 mA

Auswahl eines Bausteins erzeugt die Software direkt das Schaltbild mit der entsprechenden Dimensionierung. Eine Optimierung auf Normwerte kann durch die integrierte Simulation erfolgen. Weiterhin können Sprungantwort, Phasengang usw. direkt berechnet und graphisch dargestellt werden.

Der einfachste Weg, sich mit der Software vertraut zu machen, ist es, man verfolgt anhand eines Beispiels die einzelnen Schritte. Wir stellen als Einführung die Dimensionierung der unter „Praktischer Einsatz eines SC-Filter“ vorgestellten Schaltung als Bandpaß vor.

Nach Installation der „LINEAR VIEW“-CD kann das Hauptmenü aufgerufen werden. Dort ruft man unter „Tools“ das Programm „FilterCad“ auf. Im Fenster „FilterCad“ erscheint ein weiteres Fenster „Filter 1:QuickDesign“. Ein Klick auf „Design“ öffnet das Designfenster „Filter1: Design“. Alle das Filter charakterisierenden Parameter sind übersichtlich dargestellt (siehe Abbildung 7).

Unter „Type“ kann die Auswahl des Filtertyps zwischen Tiefpaß, Hochpaß, Bandpaß und Bandsperre (Notch) per Mausklick erfolgen. Wir wählen hier Bandpaß aus. Es erscheint das entsprechende sogenannte „Standardtoleranzfeld“. Hier ist der entscheidende Bereich eines Filters dargestellt, der Übergang vom Durchlaß in den Sperrbereich. Die vom Anwender einstellbaren Filter-Parameter sind aufge-

teilt in „Response“, „Amplitudes“ und „Frequencies“. Parallel dazu zeigt die Software die erforderliche Ordnung „Order“ für die Realisierung sowie die Polstellen mit Güten an.

Als Beispiel soll folgendes Filter dimensioniert werden:

Type: Bandpaß
 Passband Gain (Verstärkung im Durchlaßbereich): 0 dB
 Stopband Attenuation (Dämpfung im Sperrbereich): 12 dB
 Center (Mittenfrequenz): 5 kHz
 Passband (Durchlaßbereich-Bandbreite): 3 kHz
 Stopband (Sperrbereich-Bandbreite): 7 kHz

Die Software gibt parallel dazu die Ordnung 4 an.

die Sprungantwort („Time Response“) anzeigen (siehe Abbildung 9).

Ein Klick auf das vierte Icon im „Filter 1: Design“-Fenster eröffnet den Weg in Richtung Schaltungssynthese (siehe Abbildung 10). Die Software zeigt alle in Frage kommenden Bausteine an, aus denen jetzt einer auszuwählen ist. Wir wählen hier den LTC1067-50 mit einer Versorgungsspannung von 5 V. Für die Mittenfrequenz von 5 kHz beträgt die Taktfrequenz des Bausteins 250 kHz.

Nach einem Mausklick auf das 4. Icon von oben in diesem Fenster zeigt die Software die entsprechende Schaltung (Abbildung 11). Die Widerstandswerte entsprechen meistens nicht denen der Normreihe. Um auszutesten, welche Veränderungen am Filterverhalten sich durch Anpassung

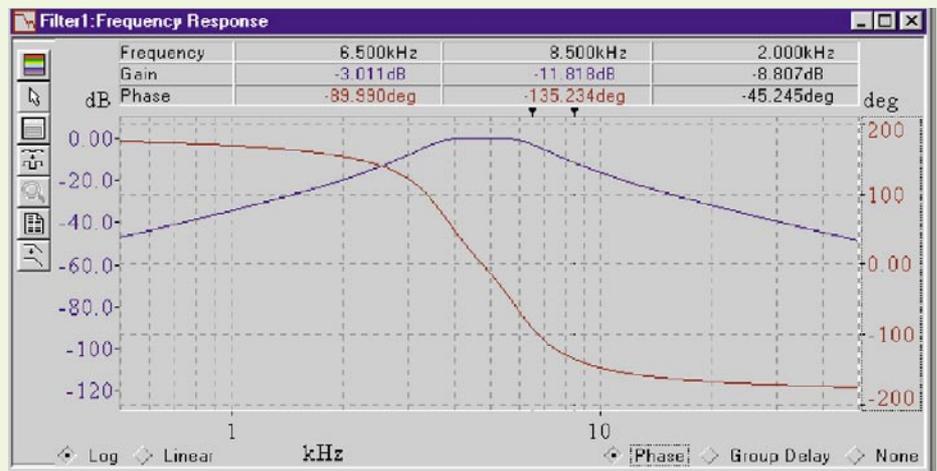


Bild 8: Frequenzgang der zu realisierenden Filter inklusive Phasenverlauf

Der Frequenzgang des Filters läßt sich durch Mausklick auf das zweite Icon von links oben anzeigen (siehe Abbildung 8). Als zweiten Kurvenzug kann man in diese Grafik wahlweise den Phasengang oder die Gruppenlaufzeit einblenden („Phase“ oder „Group Delay“).

Durch Mausklick auf das dritte Icon von oben im Fenster „Filter 1: Design“ läßt sich

der Widerstandswerte an Normwerte ergeben, lassen sich die Widerstandswerte variieren. Man bewegt den Mauszeiger auf den zu verändernden Widerstand, der Text „Edit“ erscheint. Durch Drücken der Maustaste öffnet sich ein Fenster, in dem der Widerstandswert veränderbar ist.

Um die Veränderungen zu simulieren, wird der Mauszeiger auf das IC bewegt, der Text „Probe“ erscheint. Durch Drücken der Maustaste erscheint der veränderte Filterverlauf inklusive Phasengang und Sprungantwort. Somit ist das Filterverhalten optimal anpaßbar.

Der hier beschriebene Weg zur Dimensionierung läßt sich selbstverständlich auch für andere Filterbausteine und andere Filterverläufe beschreiben.

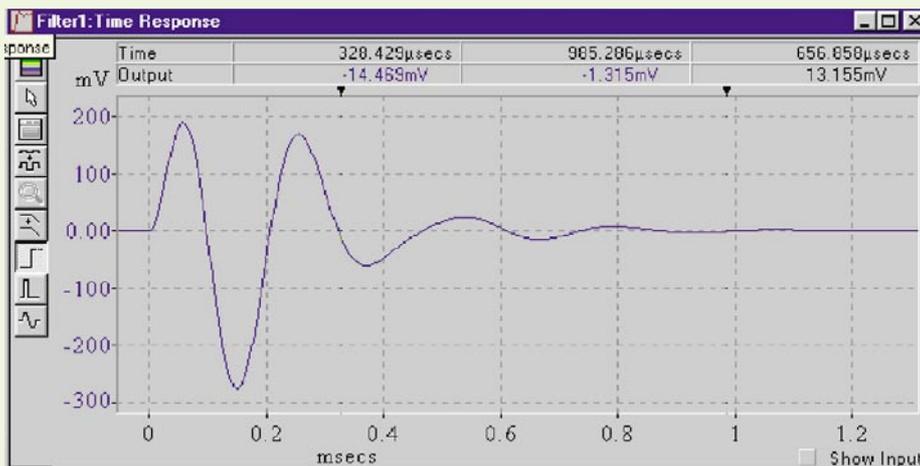


Bild 9: Schnelle Berechnung der Sprungantwort eines Filters

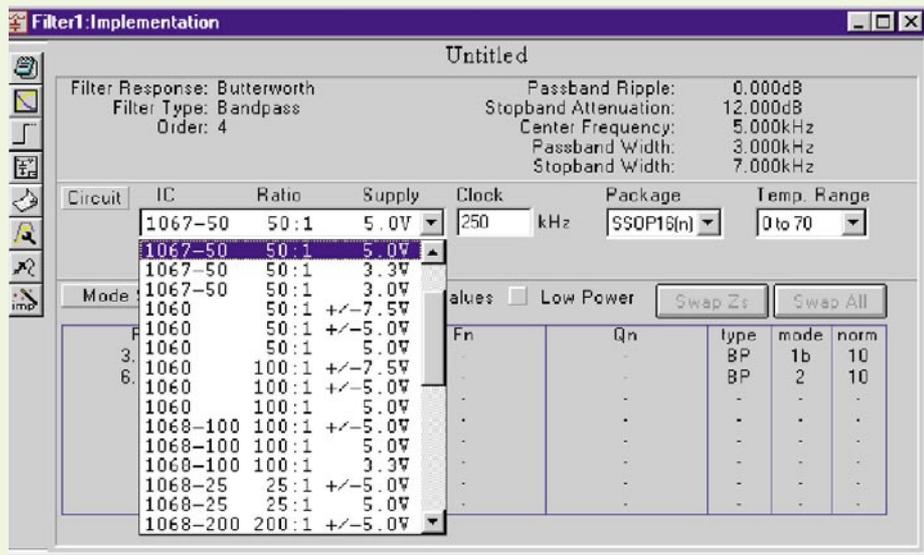


Bild 10: Auswahl eines Bausteins für die Realisierung

Ordnung als Tiefpaß, Hochpaß, Bandpaß, Bandsperre und Allpaß realisieren. Die Grenzfrequenz wird durch einen extern vorgegebenen Takt festgelegt, der beim LTC 1067-50 um den Faktor 50 höher als die Grenzfrequenz liegt. Intern arbeitet der Baustein mit doppelter Frequenzabtastung. Dadurch verschieben sich Aliasing-Störungen auf das Doppelte der Taktfrequenz.

Schaltung

Abbildung 13 zeigt die Anwenderschal-

Praktischer Einsatz eines SC-Filters

Für den praktischen Einsatz haben wir den modernen und gleichzeitig preisgünstigen Filterbaustein LTC 1067-50 aus dem Hause Linear Technology gewählt, der sich insbesondere durch folgende Eigenschaften auszeichnet:

- Realisierung von Tiefpaß, Hochpaß, Bandpaß, Bandsperre und Allpaß möglich
 - 4te Ordnung durch 2 Biquad-Strukturen
 - Betrieb an 3V-, 5V- oder $\pm 5V$ -Versorgungsspannung
 - Rail-to-Rail-Eingang und Rail-to-Rail-Ausgang
 - Dynamikbereich > 80 dB
 - Frequenzgenauigkeit 0,2%
 - DC-Offset < 5 mV typisch
 - geringes Rauschen
 - Taktfrequenz = 50 • Grenz-/Mittenfrequenz
 - geringer Leistungsverbrauch
- In Abbildung 12 ist die Innenschaltung dargestellt. Der LTC 1067 enthält 2 sehr

genaue Biquad-Filterbausteine, deren Struktur sich mit Abbildung 6 (SC-Filter

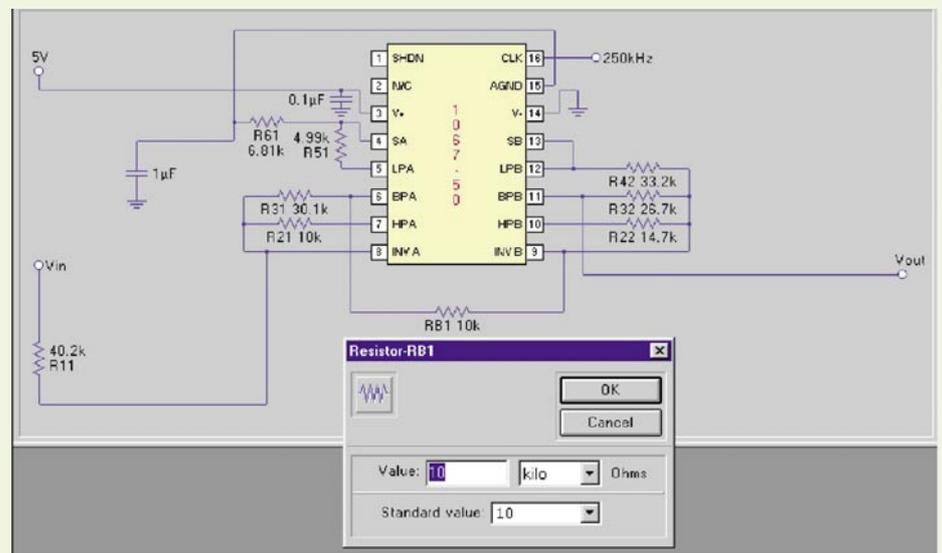


Bild 11: Schaltung des Filters mit Variation von Bauteilwerten

Teil 1, „ELVjournal“ 1/98) deckt. Jede Biquad-Struktur kann zusammen mit 3 bis 5 Widerständen eine Filterfunktion 2ter Ordnung, die aufgrund ihrer Vielseitigkeit sowohl zum Experimentieren als auch zum Einbau in bereits bestehende Schaltungen hervorragend geeignet ist. Sie enthält einen integrierten Taktgenerator und ermöglicht dem Anwender die Wahl zwischen Tiefpaß-, Hochpaß- oder Bandpaß-Filterfunktion.

Der Taktgenerator zur Bestimmung der Grenzfrequenz ist mit einem 74 HC 4060 (IC 2) aufgebaut und wird mit einem 16MHz-Quarz betrieben. An Q 4 bis Q 14 stehen Frequenzen im Bereich von 976 Hz bis 1 MHz zur Verfügung. Daraus ergeben sich Grenz- bzw. Mittelfrequenzen zwischen 19 Hz und 20 kHz. Falls die Mittelfrequenz extern vorgegeben werden soll, z. B. für ein Filter variabler Grenzfrequenz, ist diese an ST 7 einzuspeisen. R 1 entfällt in diesem Fall. Das Taktsignal gelangt über R 1 zum Clockeingang des Filterbausteins LTC 1067-50 (IC 1).

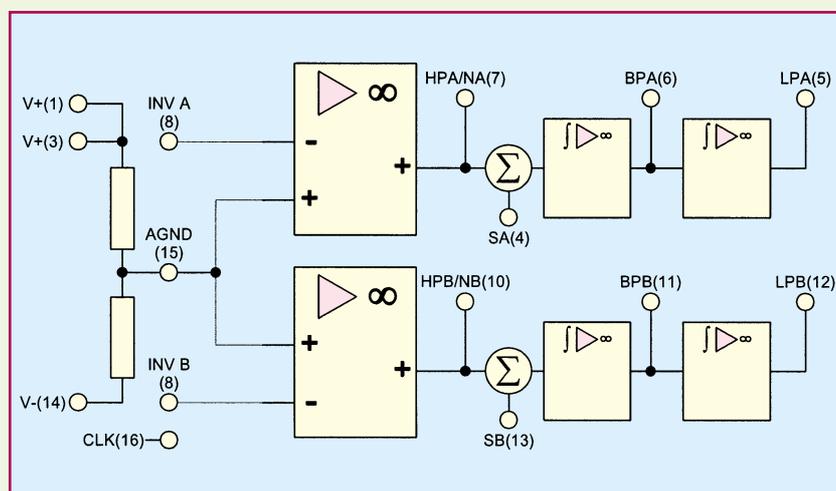


Bild 12: Interne Struktur des LTC 1067-50

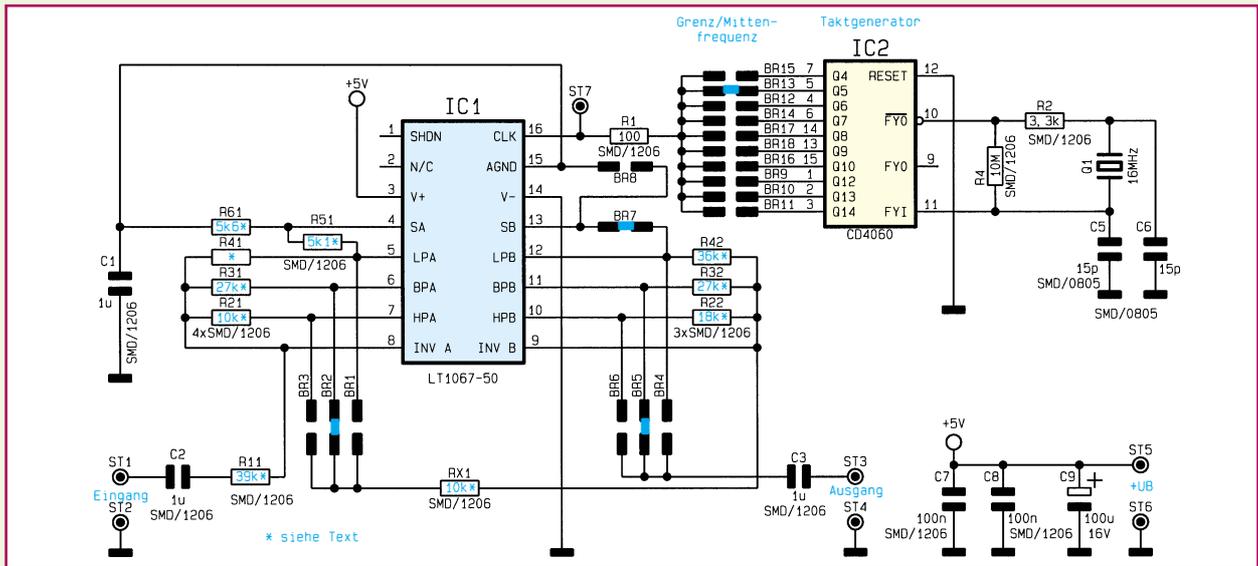


Bild 13: Universelle Schaltung, als Tief-, Hoch- oder Bandpaß dimensionierbar

Die Beschaltung des ICs mit Widerständen und Brücken ist so gestaltet, daß sich je nach Wert der Widerstände und Kombination der gesetzten Brücken der gewünschte Filterverlauf ergibt. Die Bezeichnungen der

Widerstände entsprechen denen der Software, nähere Informationen dazu später im Unterpunkt „Konfiguration“. Die in Blau angegebenen Widerstandswerte gelten für die im Beispiel beschriebene Dimensionie-

rung der Schaltung als Bandpaß. In dieser Dimensionierung wird ebenso der Bausatz geliefert, so daß sich ein Bandpaß 4ter Ordnung mit Mittenfrequenzen zwischen 19,5 Hz und 20 kHz realisieren läßt.

Die Einspeisung des NF-Signals erfolgt zwischen ST 1 und ST 2, das Ausgangssignal steht zwischen ST 3 und ST 4 an. Die 5V-DC-Spannungsversorgung ist zwischen ST 5 und ST 6 anzulegen.

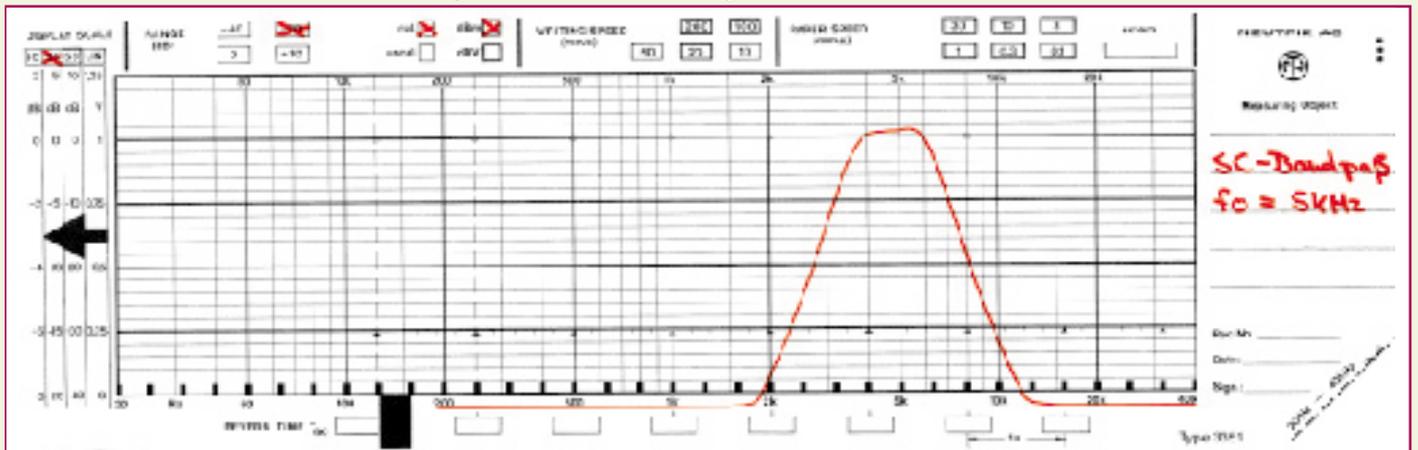
Tabelle 1: Grundkonfiguration der Filterschaltung

	Tiefpaß	Hochpaß	Bandpaß
R11	laut Berechnung	laut Berechnung	laut Berechnung
R21	laut Berechnung	laut Berechnung	laut Berechnung
R22	laut Berechnung	laut Berechnung	laut Berechnung
R31	laut Berechnung	laut Berechnung	laut Berechnung
R32	laut Berechnung	laut Berechnung	laut Berechnung
R41	entfällt	laut Berechnung	entfällt
R42	entfällt	laut Berechnung	laut Berechnung
R51	0Ω	entfällt	laut Berechnung
R61	entfällt	0Ω	laut Berechnung
RX1	RL1, laut Berechnung	RH1, laut Berechnung	RB1, laut Berechnung
BR1	1	0	0
BR2	0	0	1
BR3	0	1	0
BR4	1	0	0
BR5	0	0	1
BR6	0	1	0
BR7	1	0	1
BR8	0	1	0

Tabelle 2: Taktfrequenzen

Brücke	Taktfrequenz	Grenz-/Mittenfrequenz
BR11	976,6 Hz	19,53 Hz
BR10	1,953 kHz	39,06 Hz
BR9	3,906 kHz	78,13 Hz
BR16	15,62 kHz	312,5 Hz
BR18	31,25 kHz	625,0 Hz
BR17	62,50 kHz	1,250 kHz
BR14	125,0 kHz	2,500 kHz
8BR12	250,0 kHz	5,000 kHz
BR13	500,0 kHz	10,00 kHz
BR15	1000,0 kHz	20,00 kHz

Bild 14: Gemessener Filterverlauf der praktischen Anwendung



Stückliste: Switched-Capacitor-Filter

Widerstände:

100Ω/SMD	R1
3,3kΩ/SMD	R2
5,1kΩ/SMD	R51
5,6kΩ/SMD	R61
10kΩ/SMD	RX1, R21
18kΩ/SMD	R22
27kΩ/SMD	R31, R32
36kΩ/SMD	R42
39kΩ/SMD	R11
10MΩ/SMD	R4

Kondensatoren:

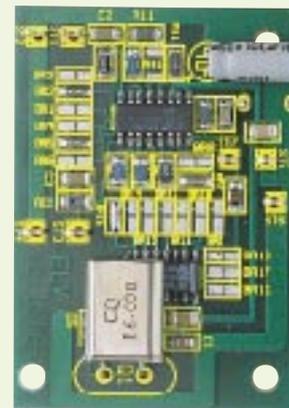
15pF/SMD	C5, C6
100nF/SMD	C7, C8
1µF/SMD	C1-C3
100µF/16V	C9

Halbleiter:

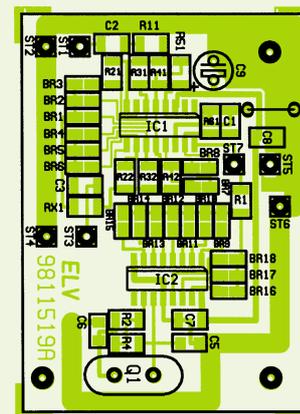
LT1067-50/SMD	IC1
CD4060/SMD	IC2

Sonstiges:

Quarz, 16 MHz	Q1
Lötstift mit Lötöse	ST1-ST7
3 cm Schaltdraht, blank, versilbert	



Ansicht der fertig bestückten Platine



Bestückungsplan der Platine

per Filter-CAD-Software, die Grenz- bzw. Mittenfrequenz ist durch Auswahl der Taktfrequenz mit Hilfe der Lötbrücken BR 9 bis BR 18 einstellbar. Tabelle 2 gibt die nötigen Informationen dazu.

Abbildung 14 zeigt den gemessenen Filterverlauf des Bandfilters bei einer Mittenfrequenz von 5 kHz.

Nachbau

Die bis auf Q 1 und C 9 ausschließlich aus SMD-Bauelementen bestehende Schaltung ist schnell und einfach aufgebaut. Dazu ist die 53 mm x 37 mm messende, einseitige Platine anhand von Bestückungsplan, Platinenfoto und Stückliste zunächst mit den SMD-Bauelementen zu bestücken. Das entsprechende Pad wird im ersten Schritt leicht vorverzinnt. Das Bauteil ist mit einer Pinzette zu plazieren, festzuhalten und zu verlöten. Die Reihenfolge der Montage sollte wie folgt sein: Widerstände, Kondensatoren, IC 1, IC 2. Besondere Vorsicht ist bei der Montage der ICs geboten, da diese empfindlich gegen statische Aufladungen sind. Weiterhin ist auf die Übereinstimmung der Markierungen im Bestückungsdruck und auf dem Bauteil zu achten.

Nach Komplettierung der SMD-Bestückung sind Q 1 und C 9 liegend zu montieren. Die Bauteile werden von der Oberseite her eingesetzt und die Anschlußbeine auf der Rückseite leicht auseinandergebogen. Anschließend erfolgt das Verlöten auf der Oberseite. Die Anschlußdrähte sind mit einem Seitenschneider zu kür-

zen.

Im letzten Schritt folgen die Lötstifte, die ebenfalls auf der Oberseite montiert werden. Die Einstellung des Filterverhaltens erfolgt wie bereits unter „Konfiguration“ beschrieben. Damit ist die Schaltung einsatzbereit und kann bestimmungsgemäß in Betrieb genommen werden. **ELV**

Konfiguration

Wie bereits beschrieben, läßt sich das Filterverhalten durch Setzen der Lötbrücken BR 1 bis BR 8 gemäß Tabelle 1 auswählen. Die Widerstandswerte erhält man

Belichtungsvorgang

Zur Erzielung einer optimalen Qualität und Konturschärfe bei der Herstellung von Leiterplatten mit den ELV-Platinenvorlagen gehen Sie bitte wie folgt vor:

1. Die transparente Platinenvorlage so auf die fotopositiv beschichtete Platine legen, daß die bedruckte Seite zur Leiterplatte hinweist, d. h. die auf der Vorlage aufgedruckte Zahl ist lesbar (nicht seitenverkehrt).
2. Glasscheibe darüberlegen, damit sich ein direkter Kontakt zwischen Platinenvorlage und Leiterplatte ergibt.
3. Belichtungszeit: 3 Minuten (1,5 bis 10 Minuten mit 300Watt-UV-Lampe bei einem Abstand von 30 cm oder mit einem UV-Belichtungsgerät).

Achtung:

Bitte beachten Sie beim Aufbau von Bausätzen die Sicherheits- und VDE-Bestimmungen. Netzspannungen und Spannungen ab 42 V sind lebensgefährlich. Bitte lassen Sie unbedingt die nötige Vorsicht walten und achten Sie sorgfältig darauf, daß spannungsführende Teile absolut berührungssicher sind.

9811519A
Switched-Capacitor-Filter

9821536A
Funk-Türklingelverlängerung Sender

9821535A
Funk-Türklingelverlängerung Empfänger

9821545A
Weidezaun-Testgerät

9821540A
8-Kanal-Datenmultiplexer Sender

9821539A
8-Kanal-Datenmultiplexer Empfänger

9821538A
Mini-IR-Detektor

9821544A
Phasenprüfer für Kopfhörer

9821546A
Blumen-Gießanzeige

9821548A
Blumen-Gießanzeige Fühler

Fernstudium

Staatl.
geprüft

Computer-Techniker
Fernseh-Techniker
Elektronik-Techniker

Berufe mit Zukunft! Praxisgerechte, kostengünstige und gründliche Ausbildung für jedermann ohne Vorkenntnisse. Teststudium unverbindlich. Info-Mappe kostenlos.

FERNSCHULE WEBER
Abt. 518

D-26192 Großenkneten - PF 21 61
Tel. 04487/263 - Fax 04487/264