

CTCSS-Encoder im Eigenbau

ROLAND ELMIGER – HB9GAA

Gerade wer sein betagtes FM-Funkgerät nicht hergeben möchte, wird sich freuen, es durch den Einbau eines kleinen Zusatzes auch für den Betrieb über die sich immer stärker verbreiteten Relaisfunkstellen mit CTCSS-Squelch einsetzen zu können.

Viele Funkamateure nutzen noch ältere 2-m- oder 70-cm-Funkgeräte, die zwar nicht die für den Verkehr über Relaisfunkstellen immer öfter erforderlichen Subtöne erzeugen können, von denen sie sich aber auch nicht trennen möchten. Wir zeigen eine Variante, wie Sie ihr lieb gewonnenes Gerät für die neue Betriebstechnik fitmachen können und so der Subton-Squelch von Relaisfunkstellen geöffnet werden kann.

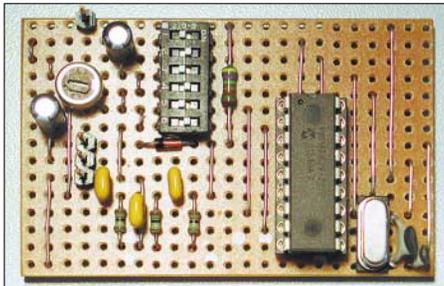


Bild 1: Versuchsaufbau des CTCSS-Moduls auf einer Lochrasterplatte

Seit einiger Zeit werden nicht nur in der Schweiz mehr und mehr Relaisfunkstellen für das Subton-Squelch-Verfahren (CTCSS, Continuous Tone Coded Squelch System) umgerüstet. Der Grund liegt darin, dass vermehrt starke Störungen, die z.B. durch Computerkassen oder Webcamssysteme erzeugt werden, an ihren Standorten auftreten. Die trägergetasteten Repeater wurden durch sie dauernd auf Senden gehalten. Das CTCSS-Verfahren vermeidet durch den gleichzeitig zur Sprache auszusendenden Ton, dass Träger ohne Subtonmodulation die Repeater auftasten können. Doch viele ältere Geräte und solche, die speziell für den europäischen Markt her-

gestellt worden sind, besitzen lediglich die Möglichkeit, einen 1750-Hz-Rufton auszugeben. Die CTCSS-Funktion, die in Nordamerika sehr verbreitet ist, fehlt oft. Das war auch bei meinem ansonsten gut funktionierenden 2-m-Transceiver IC-271H so. Um das fehlende Feature nachzurüsten, habe ich eine Schaltung entwickelt, durch die ich mir kein neues Gerät kaufen musste und trotzdem wieder über die mir sonst verschlossenen gebliebenen Relais arbeiten kann.

Das gesamte Projekt lässt sich an einem Wochenende realisieren. Vielleicht kann es schon von der Größe her als Motivation für Bastellwillige dienen, wieder einmal den Lötcolben aufzuheizen. Die Schaltung besteht eigentlich nur aus einem Mikrocontroller (PIC), der rechteckförmige, pulsweitenmodulierte Impulse generiert. Ein nachgeschaltetes Tiefpassfilter demoduliert das gewünschte Sinussignal. Mit dem Trimpotenzimeter R5 lässt sich der Signalpegel auf einen FM-Hub von maximal ± 250 Hz einstellen. Über die sechs DIL-Schalter können bis zu 64 verschiedene Frequenzen eingestellt werden. Die genaue Zuordnung der Töne von 33,0 bis 254,1 Hz gibt die Tabelle an.

Die eingestellte Frequenz wird sofort nach dem Verändern der DIL-Schalter ausgegeben. Ein Neustart des Controllers ist somit nicht erforderlich.

■ Pulsbreitenmodulation

Damit sowohl die Schaltung als auch die Abläufe des Mikrocontrollerprogramms besser zu verstehen sind, möchte ich kurz an einem Beispiel erläutern, was Pulsbrei-

tenmodulation (Puls Width Modulation, PWM) ist. Wenn wir ein beliebiges analoges Signal in pulsweitenmodulierte Impulse verwandeln wollen, geht das am einfachsten mit einem Komparator. Ich will dies an dem Beispiel in Bild 4 zeigen: Am ersten Eingang des Komparators liegt ein Dreieckssignal (grün) mit konstanter Frequenz, hier 2 kHz, an. Das analoge Signal, hier ein Sinus (rot), wird über den zweiten Eingang des Komparators eingespeist. Ist der Pegel des analogen Signals größer als der des Dreieckssignals, dann beträgt die Ausgangsspannung des Komparators 1 V, ansonsten -1 V. Das Ausgangssignal des Komparators ist das PWM-Signal (blau).

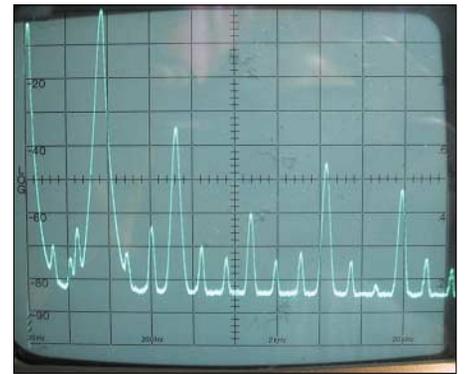


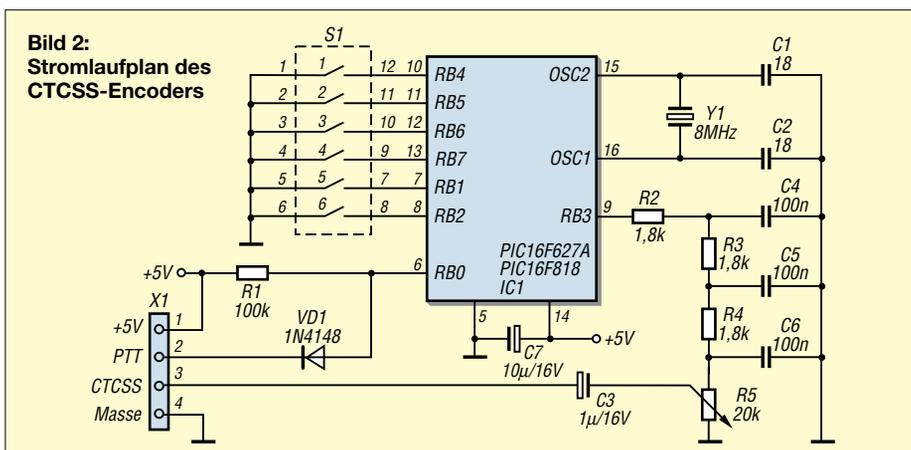
Bild 3: Frequenzspektrum des Ausgangssignals bei einem Subton von 88,5 Hz

Für den CTCSS-Tongenerator wollen wir Sinussignale mit vordefinierten Frequenzen generieren. In meiner Schaltung erzeugt ein Mikrocontroller ein solches PWM-Signal, das mit einem Sinus der gewünschten CTCSS-Frequenz, z.B. 88,5 Hz, moduliert ist. Der Vorteil dieser Methode ist, dass nur ein einziger Ausgang am Controller benötigt wird und man ohne D/A-Umsetzung auskommt.

■ Pulsbreitendemodulation

Damit wir das gewünschte analoge Signal aus den PWM-Impulsen wieder zurückgewinnen können, muss das PWM-Signal demoduliert werden. Durch Mittelwertbildung mit einem Tiefpassfilter kann das analoge Nutzsignal wieder aus dem PWM-Signal gewonnen werden. Die Schaltung für unsere Anwendung enthält ein dreistufiges RC-Tiefpassfilter.

Dass dies auch tatsächlich funktioniert, will ich anhand des im Abschnitt vorher generierten 2-kHz-PWM-Signals zeigen. Das Beispiel in Bild 5 zeigt das PWM-Signal (blau) und jeweils die Signale nach der ersten (rot), der zweiten (grün) und der dritten RC-Tiefpassfilterstufe (schwarz). Das rote dargestellte Signal zeigt noch deutlich die Lade- und Entlade-Phasen des ersten Kondensators. Bereits nach der zweiten Filterstufe sieht das Signal unserm ursprünglichen Sinus recht ähnlich.



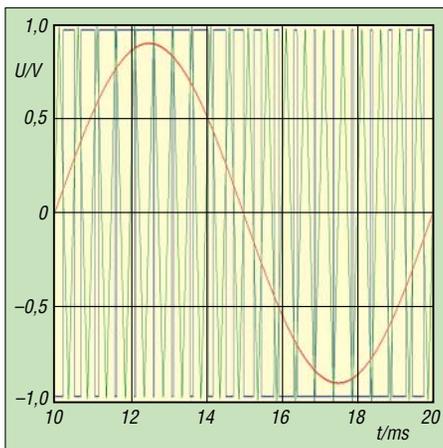


Bild 4: Erzeugtes PWM-Signal aus einem Dreieck- und dem sinusförmigen Nutzsignal

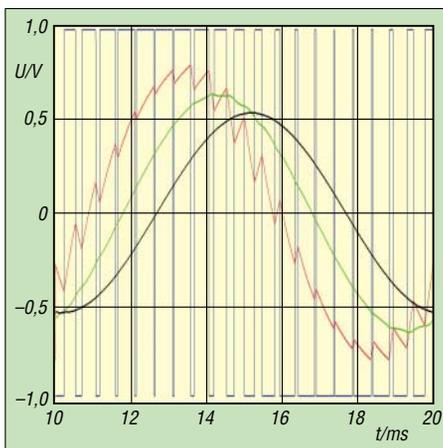


Bild 5: Demodulation des Nutzsignals aus dem PWM-Signal

Je größer das Verhältnis zwischen den beiden Frequenzen, also dem Dreieck- und dem Analogsignal, ist, desto einfacher kann das Tiefpassfilter konstruiert werden und desto kleiner ist der Amplitudeneinfluss des Tiefpassfilters auf das analoge Nutzsignal. Das Ergebnis ist bestechend, wenn man die Einfachheit der Schaltung in Betracht zieht – die spektrale Reinheit ist dabei für unsere Zwecke vollends erfüllt.

Bild 3 zeigt das Frequenzspektrum bei einer erzeugten CTCSS-Frequenz von 88,5 Hz. Der Frequenzbereich erstreckt sich von 0 bis 500 Hz (linear 50 Hz/Raster). In der Vertikalen ist der Signalpegel mit 10 dB/Raster abgebildet. Die erste Oberwelle bei 177 Hz ist gegenüber der Nutzfrequenz um 35 dB schwächer bzw. die Spannung ist etwa 56-mal kleiner als der Pegel des Nutzsignals. Alle weiteren Oberwellen sind noch niedriger. Diese Werte müssen den Vergleich mit einer kommerziellen Schaltung nicht scheuen.

■ Aufbau der Schaltung

Zum Aufbau der Schaltung habe ich eine Methode gewählt, welche wohl bei vielen ein Lächeln hervorruft. Die Streifenleiterplatte, auch als Veroboard bekannt, ist fast in Vergessenheit geraten. Und doch sind diese Lochplatten für einfache Schaltungen, wie die hier vorgestellte, genau richtig. Das PC-Programm *Loch Master* [1], zu dem auch eine Demo-Version auf der Webseite des Herstellers verfügbar ist, erleichtert das Entwerfen des Layouts sehr.

Anschließend sind auf der Lochrasterplatte zuerst die Leiterbahnen gemäß Bild 6 mit einem kleinen Fräser zu durchtrennen. Eventuell können zur Sicherheit mit einem Ohmmeter oder Durchgangsprüfer die Trennstellen getestet werden. In den folgenden Arbeitsschritten lötet man die Bauteile in der Reihenfolge ihrer Bauhöhe ein, d.h. Lötbrücken, Widerstände, Diode, Kondensatoren usw.

■ Einbau und Inbetriebnahme

Die Schaltung benötigt eine Gleichspannung von 5 V. Meistens ist diese Spannung im Funkgerät für die Logik-ICs bereits vorhanden. Die zusätzlich erforderlichen rund 3 mA bringt in der Regel jedes Gerät ohne Probleme auf.

Der CTCSS-Tonausgang wird nach dem Mikrofonverstärker mit dem FM-Modulator, eventuell über einen Widerstand, ver-

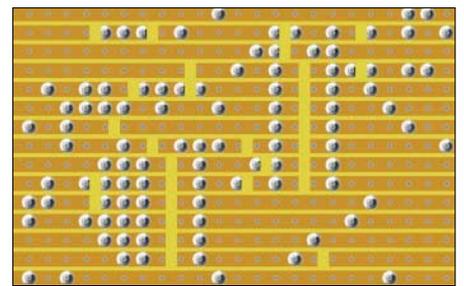


Bild 6: Trennstellen auf der Lochrasterleiterplatte von unten gesehen; Darstellung in Loch Master Fotos, Screenshots: HB9GAA

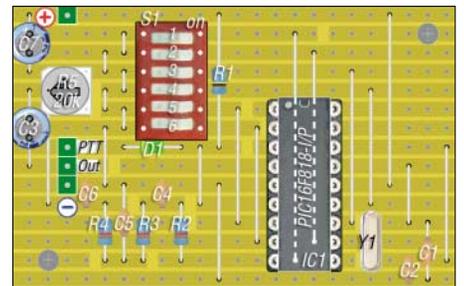


Bild 7: Komplett bestücktes CTCSS-Modul im Programm *Loch Master*; die Brücken unter dem PIC wurden ergänzt.

bunden. Viele Geräte sind bereits für CTCSS vorbereitet, wie dies bei meinem IC-271H auch der Fall war. Dann gestaltet sich der Einbau sehr einfach. Der PTT-Eingang des CTCSS-Tongenerators ist low-aktiv. Er ist daher so zu beschalten, dass beim Senden dieser Anschluss auf 0 V gezogen wird. Er kann selbstverständlich auch dauerhaft mit Masse verbunden werden – dann wird der Subton immer mit ausgesendet. Mit dem Trimpotenzimeter ist der Pegel so einzustellen, dass sich ein maximaler Hub von ± 250 Hz ergibt. Hat man kein Hubmeter zur Hand, muss die Einstellung durch Ausprobieren gefunden werden. Dabei sollte der CTCSS-Pegel nur so hoch gewählt werden, dass das Relais sicher anspricht!

Beim Entwurf der Platine wurde nicht auf Miniaturisierung Wert gelegt. Die Leiterplatte ist daher 37 mm × 59 mm groß und eignet sich so für ältere Heimstationen, bei denen es noch reichlich Platz in den Gehäusen gibt. Für Transceiver, die etwas häuslicher mit dem Platz umgehen, gibt es die Möglichkeit, die Schaltung als SMD-Platine zu fertigen. Sollte sich ein genügend großer Bedarf dafür abzeichnen, kann ich sie herstellen lassen. Das gesamte für die Baugruppe erforderliche Material kann für 40 CHF (3 Stück für 100 CHF), der programmierte Mikrocontroller für 27,50 CHF jeweils plus Versandkosten bei mir erworben werden. *hb9gaa@arrl.net*

Literatur und Bezugsquelle

[1] Abacom Ingenieurgesellschaft: Loch Master 3.0. www.abacom-online.de; Bezug über FA-Leser-service LOCHM-3

Erzeugte CTCSS-Frequenzen bei verschiedenen DIL-Schalterkombinationen																				
f/Hz	6	5	4	3	2	1	f/Hz	6	5	4	3	2	1	f/Hz	6	5	4	3	2	1
33,0	●	●	●	●	●	●	74,4	○	●	●	●	●	●	127,3	○	●	●	●	●	●
35,4	●	●	●	●	●	○	77,0	○	●	●	●	●	○	131,8	○	●	●	●	○	○
36,6	●	●	●	○	○	○	79,7	○	●	●	○	○	○	134,4	○	●	●	○	○	○
37,9	●	●	○	○	○	○	82,5	●	●	○	○	○	○	136,5	○	●	○	○	○	○
39,6	●	●	○	○	○	○	85,4	●	○	○	○	○	○	141,3	○	●	○	○	○	○
44,4	●	○	○	○	○	○	88,5	○	○	○	○	○	○	146,2	○	○	○	○	○	○
47,5	●	○	○	○	○	○	91,5	○	○	○	○	○	○	151,4	○	○	○	○	○	○
49,2	●	○	○	○	○	○	94,8	○	○	○	○	○	○	156,7	○	○	○	○	○	○
51,2	●	○	○	○	○	○	97,4	○	○	○	○	○	○	159,8	○	○	○	○	○	○
53,0	●	○	○	○	○	○	100,0	○	○	○	○	○	○	162,2	○	○	○	○	○	○
54,9	●	○	○	○	○	○	103,5	●	○	○	○	○	○	165,5	○	○	○	○	○	○
56,8	●	○	○	○	○	○	107,2	●	○	○	○	○	○	167,9	○	○	○	○	○	○
58,8	●	○	○	○	○	○	110,9	●	○	○	○	○	○	171,3	○	○	○	○	○	○
67,0	○	○	○	○	○	○	114,8	○	○	○	○	○	○	173,8	○	○	○	○	○	○
69,3	●	○	○	○	○	○	118,8	●	○	○	○	○	○	177,3	○	○	○	○	○	○
71,9	●	○	○	○	○	○	123,0	●	○	○	○	○	○	179,9	○	○	○	○	○	○

● = Schalter geschlossen, ○ = Schalter offen