

DTMF Generator

Michael Forstner OE5FML

Wenn man sich einen neuen Allmode-Transceiver leistet, stellt man häufig fest, dass es keine Möglichkeit gibt DTMF zu generieren. Auch bei alten Geräten kann es vorkommen, dass man kein DTMF-Mikrofon mehr bekommt oder es vielleicht gar keines gegeben hat. Aus diesen Umständen wurde die Idee geboren einen eigenständigen DTMF Generator zu entwickeln.

1. *Einleitung*

Es stellt sich die Frage, warum man so einen großen Aufwand treibt um einen DTMF Generator zu entwickeln, wenn doch bei fast jedem kommerziellen Amateurfunkgerät ein DTMF-Mikrofon mitgeliefert wird. Diese Aussage stimmt leider nur teilweise, weil bei neueren Allmode-Geräten auf die Funktion verzichtet wurde. Bei einem KW-Transceiver ist dies noch verständlich, aber bei einem Allmode-Geräte nicht mehr. Es sollten doch Echolink, aber auch mittlerweile D-STAR bedient oder Relais ferngesteuert werden.

Als zweiter Grund für die Entwicklung ist zu nennen, dass bei vorhanden sein eines DTMF-Handmikrofons zwischen diesem und einem Stationsmikrofon umgesteckt werden muss, was selbstverständlich sehr umständlich ist.

Für mich ein eher unwesentlicher Grund war den DTMF Generator auch für ältere Funkgeräte einsetzen zu können, wo es einfach kein Zubehör mehr zu kaufen gibt oder überhaupt kein DTMF-Mikrofon entwickelt wurde.

Entstanden ist dann ein Gerät, welches sehr kompakt ist und über die Zubehörbuchse ACC an den Transceiver angeschlossen werden kann. Der Aufbau wurde so gewählt, dass dieses Gerät auch an anderen Transceivern als nur beim IC-9100 von ICOM Inc., für welches die Entwicklung hauptsächlich stattgefunden hat, betrieben werden kann. Es muss dazu nur die Pinbelegung am Zubehörstecker geändert werden.

2. *DTMF Grundlagen*

Der Begriff DTMF (Dual-tone multi-frequency) ist eigentlich im englischsprachigen Bereich häufiger zu finden (WIKIPEDIA-Mehrfrequenzwahlverfahren, 2004). In unserem Raum ist eher die Bezeichnung Mehrfrequenzwahlverfahren (MFV) bekannt, was aber meistens nur mit der Telefonvermittlung zur Übertragung der Rufnummer in Zusammenhang gebracht wird. Die Technik hinter diesen zwei Ausdrücken, wie auch der dritte Ausdruck Touch Tone aus dem englischen Sprachraum ist somit vollkommen gleich. Ich werde allerdings DTMF in diesem Text verwenden, weil dies im Amateurfunk die alleinige Bezeichnung ist.

Das Funktionsprinzip von DTMF ist sehr einfach. Es werden grundsätzlich zwei sinusförmige Tonsignale im hörbaren Bereich addiert. Wenn man nun jeweils vier Töne in

einer Spalte und einer Zeile hat, kann man damit 16 Zeichen erzeugen. Wie in Tabelle 1 gezeigt wird, repräsentiert ein tiefer Ton dabei eine Zeile und der hoher Ton eine Spalte. Die Amplitude der hohen und tieferen Töne darf dabei eine gewisse absolute Größe nicht überschreiten, weil diese vom Empfänger sonst nicht erkannt werden kann. Ein Problem stellt dabei manchmal die Pre-Emphasis der Funkgeräte dar, welche eine Anhebung hoher Frequenzen vornimmt, um das Rauschen zu minimieren (WIKIPEDIA-Pre-Emphasis, 2004), wenn die De-Emphasis nicht die gleiche Zeitkonstante hat.

	1209 Hz	1336 Hz	1477 Hz	1633 Hz
697 Hz	1	2	3	A
770 Hz	4	5	6	B
852 Hz	7	8	9	C
941 Hz	*	0	#	D

Tabelle 1: Tastenbelegung

Dieses Signalisierungsverfahren wurde entwickelt, weil es sehr einfach in Hardware implementierbar ist. Es werden dazu nur zwei abstimmbare Sinusoszillatoren und eine Operationsverstärkerschaltung als Addierer benötigt. In heutiger Zeit braucht man dies jedoch nicht mehr diskret aufbauen, sondern es gibt schon komplette Chips, welche nur noch über eine digitale Schnittstelle angesprochen werden müssen.

Die Detektion der DTMF-Signale auf der Empfängerseite ist in Hardware nicht mehr so trivial und erfolgt daher häufig per Software mit speziellen Algorithmen. Eine Hardware-Lösung mit dem bekannten Chip, welcher die Detektion über Switch-Capacitor-Filter erledigt, ist MT8870D (ZARLINK-Datasheet-MT8870D, 2006). Zuerst wird das eingehende Signal von Oberwellen befreit und anschließend über zwei Bandpassfilter dritter Ordnung in die hohe und niedrige Frequenzgruppe geteilt. Danach benötigt man einen Filter sechster Ordnung, weil die Frequenzdifferenz minimal 73 Hz aufweist, um die einzelnen Frequenzen zu dekodieren. Dies geschieht für beide Frequenzbereiche. Über einen einstellbaren Komparator werden die erkannten Signale einer digitalen Logik zugeführt, welche die Signale in einen binären Wert überführt.

3. Funktionsprinzip

Um einen DTMF Generator mit so einem kleinen Gehäuse und einem 4x4-Keypad als Benutzerschnittstelle zu konstruieren, gibt es grundsätzlich drei Möglichkeiten. Die erste Methode wäre an jeder Spalte und Zeile einen Oszillator mit den entsprechenden Frequenzen zu installieren und die Signale anschließend zu addieren, wenn die jeweilige Taste gedrückt worden ist. Der Aufwand für diese Lösungsmöglichkeit ist sehr groß, weil neben den acht Oszillatoren noch eine Menge Operationsverstärker nötig wären.

Ein anderer Weg wäre einen Chip zu verwenden, welcher gleich eine Schnittstelle zu einem Keypad anbietet und eine DTMF-Einheit eingebaut hat. Solche Bauteile werden auch als Ton-Dialer-Chips bezeichnet. Die Typen BU8307CS / BU8307CF oder LR4087B / LR4087BN sind sehr schwer beschaffbar und daher wurde diese Möglichkeit verworfen, obwohl diese mit Abstand die einfachste wäre.

Die letzte Lösungsmöglichkeit ist die Verwendung eines Mikrocontroller, welcher alle einzelnen Komponenten anspricht, wie in Abbildung 1 erkennbar ist. Diese Methode hat den großen Vorteil, dass man durch die Programmierbarkeit sehr flexibel ist. Als zentrales Element wird ein ATmega88V von ATMEL eingesetzt, welcher durch sein TQFP-Gehäuse sehr klein ist, bei Vollast nur 8mA @ 5V benötigt und die nötige Anzahl von 14 Pins zur Verfügung stellt (ATMEL-Datasheet-ATmega88V, 2011). Die Programmierung geschieht über einen In-System-Programmer oder auch ISP genannt, was über ein serielles Interface SPI abgewickelt wird. Die Speicherung des Programms geschieht anschließend in einem Flash im Mikrocontroller selbst, was die Notwendigkeit von externen Komponenten weiter reduziert.

In der Entwicklungsphase jedes Programmes ist es immer wieder notwendig Details über die gerade abgearbeiteten Befehle zu wissen. Aus diesem Grund wurde noch eine Debugging-Schnittstelle auf UART-Basis (Universal Asynchronous Receiver Transmitter) implementiert. Mit einem passenden Pegelwandler sind dann auch am Computer die Zustände auslesbar, welche man im Programm gesetzt hat.

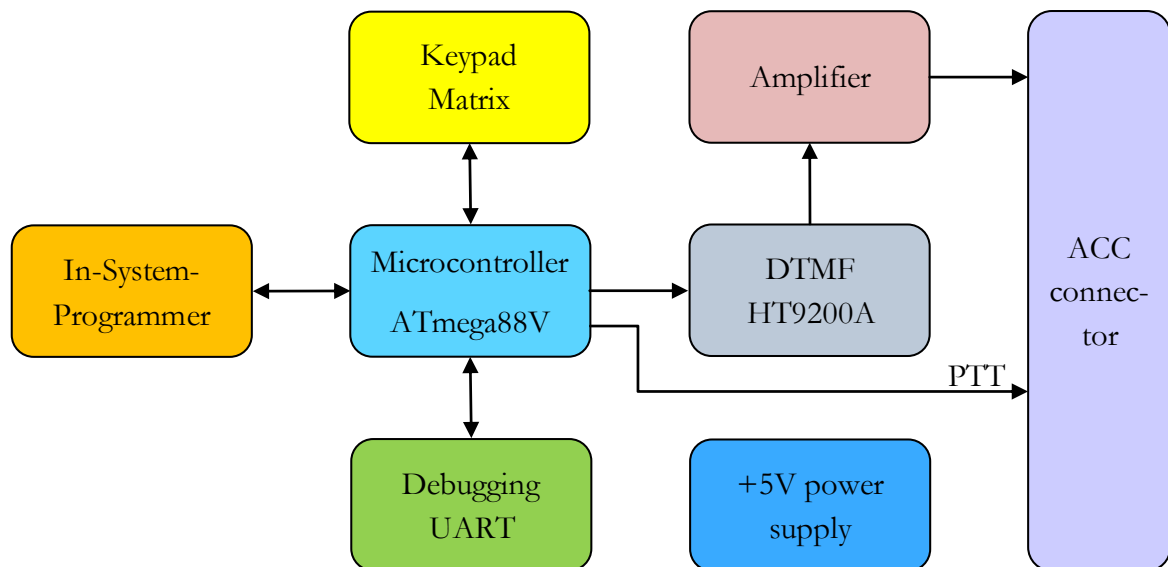


Abbildung 1: Blockdiagramm

Für das Auslesen der 4x4-Keypad-Matrix werden acht Leitungen benötigt, welche direkt zum Mikrocontroller geführt werden. Im Mikrocontroller wird dabei eine Seite auf einen Eingang mit Pull-up und die andere Seite auf einen Ausgang konfiguriert. Um zu erkennen, welche Taste gedrückt worden ist, wird regelmäßig jeweils ein Ausgang durchgeschaltet und anschließend überprüft, welcher Eingang den logischen Zustand 0 aufweist. Wenn keine Taste gedrückt worden ist, ist der logische Zustand aller vier Eingänge natürlich immer 1. In der Realität ist die Sachlage leider nicht so einfach, denn es müssen Dinge beachtet werden, wie die Tastenentprellung und der Fall, dass mehrere Tasten gleichzeitig gedrückt worden sind.

Weil der DTMF Generator die meiste Zeit nicht benutzt wird, wäre es sehr ineffektiv das Keypad dauernd abfragen zu lassen. Es wird damit nicht nur unnötig Energie umgewandelt sondern auch Störungen verursacht, weil das Keypad nicht geschirmt ist. Um die Störungen allerdings zu minimieren, wurden bei den Ein- und Ausgängen Filter angebracht. Um diese

Nachteile zu umgehen, wird der Mikrocontroller in den Power-down-Modus gebracht, wenn das letzte DTMF-Zeichen gesendet worden ist. Es wird dabei fast alles auch der Taktgenerator außer der Interrupt-Einheit abgeschaltet. Zuvor schaltet man allerdings einfach alle Ausgänge für das Keypad auf logisch 0 und wenn nun irgendeine Taste gedrückt worden ist, wird ein Interrupt ausgelöst, weil alle Keypad-Ausgänge auf einen Interrupt-Eingang angeschlossen sind. Anschließend muss nur noch durch einen Scan die gedrückte Taste bestimmt werden.

Wenn ein Tastendruck als richtig gefunden wurde, wird ein Befehl an den DTMF-Chip HT9200A geschickt, um die entsprechenden zwei Töne zu generieren. Es handelt sich dabei um einen hochintegrierten Baustein, weil nur ein Quarz benötigt wird und die Programmierung über eine Schnittstelle mit nur drei Pins geschieht (HOLTEK-Datasheet-HT9200A, 2009). Der Chip kann dabei alle 16 dualen aber auch die acht einzelnen Töne erzeugen. Die Signale mit nur einem Sinus werden jedoch für die Anwendung nicht benötigt.

Wie sich im Laufe der Entwicklung gezeigt hat, ist der DTMF-Ausgang des HT9200A sehr empfindlich. Wenn die kapazitive Last eine gewisse Grenze überschreitet, wird der Ausgang instabil und geht dabei in die Begrenzung oder fängt zu schwingen an. Eine Kapazität von ungefähr $1\text{ }\mu\text{F}$ muss jedoch ansteuerbar sein, weil diese immer im Längsweig in einem Funkgerät vorhanden ist, um den Gleichspannungsanteil zu unterdrücken. Um diese Problematik zu umgehen, wurde noch ein Endverstärker auf Basis eines Operationsverstärkers eingebaut, welcher auch gleichzeitig die Oberwellen vom HT9200A unterdrückt. Zusätzlich lässt sich mit einem Widerstand die Verstärkung einstellen und somit auf unterschiedliche Transceiver anpassen.

Als Schnittstelle zwischen DTMF Generator und Funkgerät dient der 13-polige Zubehörstecker ACC. Für den Transceiver IC-9100 werden alle notwendigen Signale, wie ein Modulationseingang, ein Signal zum Aktivieren des Senders (PTT) und eine Stromversorgung zur Verfügung gestellt (ICOM-Inc., 2011). Für andere Transceiver wurde die Pinbelegung nicht überprüft, aber lässt sich sicherlich entsprechend umverdrahten.

Der DTMF Generator hat keine eigene Taste um den Transceiver auf Sendung zu schalten, wie man es von DTMF-Mikrofonen gewöhnt ist. Der Sender wird daher eingeschaltet, wenn man eine Taste am Keypad drückt. Von den meisten Empfängern, wie auch Echolink wird ein Befehl aus mehreren Zeichen erst dann erkannt, wenn der Träger abgefallen ist. Es muss daher der DTMF Generator den Träger so lange halten, bis eine gewisse Zeit keine Taste mehr gedrückt worden ist. Im Moment hat man zwei Sekunden Zeit ein Zeichen auf dem Keypad einzugeben bis der Träger abfällt, was sich allerdings im Programm ändern lässt.

Für die Versorgung des Generators wird noch ein klassischer Spannungsregler für 5 V verwendet. Die relativ hohe Spannung wird benötigt, weil ein Operationsverstärker damit betrieben wird. Ein Regler wurde grundsätzlich eingebaut, weil auch andere Transceiver mit unterschiedlicher Versorgungsspannung betreibbar sein sollen.

4. Konstruktion

Für den DTMF Generator wurde ein Kunststoffgehäuse verwendet, was zwar aus Schirmungsgründen nicht ideal ist, aber das Gerät sollte durch ein Metallgehäuse nicht zu

monströs werden. Durch das Leiterplattendesign und die anschließende passende Programmierung wurden die Störungen sowieso auf ein Minimum reduziert, wie sich gezeigt hat. Auf der Oberseite des Kunststoffgehäuses wurde mittels einer Fräsmaschine ein Ausschnitt in der Größe des Keypads erzeugt, wie in Abbildung 2 erkennbar ist. Das Keypad wurde anschließend einfach mit einem Heißkleber im Gehäuse befestigt, nachdem diese zwei vorher auf der Oberseite plan ausgerichtet worden sind.

Auf dem Keypad sitzt die Leiterplatte, welche miteinander verlötet worden sind. Zur Stabilisierung der Verbindung ist zwischen den Beiden noch ein doppelseitiges Klebeband eingefügt worden. Dieses ist allerdings auch notwendig um die mechanische Belastung durch das Kabel aufnehmen zu können.

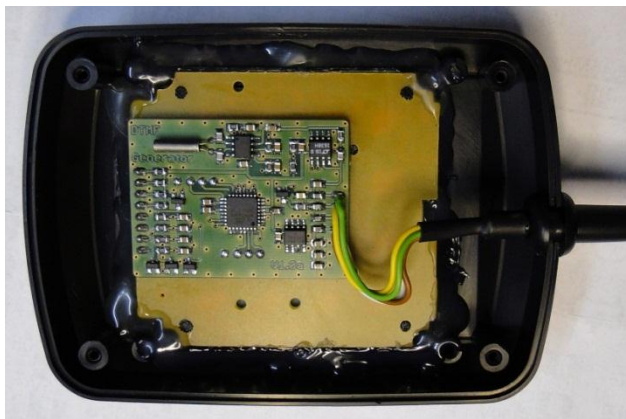


Abbildung 2: Innenaufbau

Im unteren Teil des Gehäuses, welches hier nicht abgebildet ist, wurde noch eine Metallplatte verbaut um den Schwerpunkt nach unten zu setzen. Das Gerät steht damit stabiler am Tisch, was zusätzlich durch Gummifüße verbessert wird.

Wenn das Gerät zusammengebaut ist, sieht es wie in Abbildung 3 aus. Mit einer Größe von ungefähr $110 \times 80 \times 35 \text{ mm}$ passt diese Gerät gut auf jeden Schreibtisch (Abbildung 4) und ist einfach mit einem Allmode-Transceiver zu bedienen.



Abbildung 3: Fertiggerät



Abbildung 4: DTMF Generator im Betrieb

5. Zusammenfassung und Ausblick

Im vorhergehenden Text wurde nicht nur die Funktionsweise von DTMF (Dual-tone multi-frequency) oder auch unter Mehrfrequenzwahlverfahren (MFV) kurz erklärt sondern auch die Notwendigkeit der Entwicklung eines DTMF Generators. Das Zubehörteile wurde mit einem Mikrocontroller aufgebaut, welcher mit den entsprechenden Bauteilen kommuniziert. Durch die einfache Umprogrammierbarkeit ist es möglich auf zukünftige Anforderungen flexibel zu reagieren. Sollte jemand Interesse an dem Gerät haben, kann ich die notwendigen Unterlagen, wie den Schaltplan, das Layout, die Software und die Stückliste jederzeit zur Verfügung stellen. Es ist nur eine Information per E-Mail an forstner-m@a1.net erforderlich. Zusätzlich möchte ich bemerken, dass durch meine begrenzte Freizeit ein Verkauf von Fertigeräten ausgeschlossen ist. Der Aufbau ist allerdings sehr einfach und muss sowieso noch leicht an den jeweiligen Transceiver angepasst werden.

6. Literaturverzeichnis

ATMEL-Datasheet-ATmega88V. 2011. [Online] Mai 2011. [Zitat vom: 30. Jänner 2013.] <http://www.atmel.com/Images/2545S.pdf>.

HOLTEK-Datasheet-HT9200A. 2009. [Online] 23. Februar 2009. [Zitat vom: 30. Jänner 2013.] <http://www.holtek.com.tw/pdf/comm/9200v141.pdf>.

ICOM-Inc. 2011. HF/VHF/UHF TRANSCEIVER IC-9100. Japan : ICOM-Inc., 2011. A-6871H-1EX.

WIKIPEDIA-Mehrfrequenzwahlverfahren. 2004. [Online] 4. April 2004. [Zitat vom: 2013. Jänner 30.] <http://de.wikipedia.org/wiki/Mehrfrequenzwahlverfahren>.

WIKIPEDIA-Pre-Emphasis. 2004. [Online] 21. März 2004. [Zitat vom: 30. Jänner 2013.] <http://de.wikipedia.org/wiki/Pre-Emphasis>.

ZARLINK-Datasheet-MT8870D. 2006. [Online] Oktober 2006. [Zitat vom: 30. Jänner 2013.] <http://www.zarlink.com/zarlink/mt8870d-datasheet-oct2006.pdf>.