

AVR314 : DTMF発生器

要点

- PWM(パルス幅変調)を使用する正弦波生成
- DTMF信号のための差動正弦波合成
- アセンブリ言語と高位C言語でのコード
- STK500のアダプタとしての設計
- コード量260バイト/定数表容量128バイト
- 参照表の使い方

序説

この応用記述はPWMとSRAMを持つどのAVRマイクロコントローラを使用してもDTMF(Dual-Tone Multiple Frequencies)信号を生成できる方法を記述します。電話のような応用はダイヤル情報を送るのにDTMF信号を使用します。有効なDTMF信号を生成するために低い周波数(f_b)と高い周波数(f_a)の2つの周波数が共に加えられます。表1.は異なる周波数がDTMF音調形式にどう混合されるかを示します。

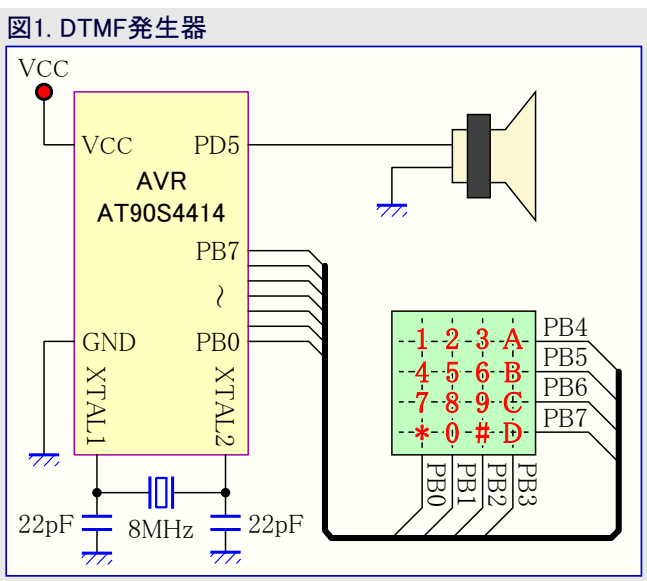


表1. DTMF音調配列

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

表1.で示される列は低(群)周波数を表し、一方行は高(群)周波数の値を表します。例えばこの配列は桁5が $f_b=770\text{Hz}$ の低群周波数と $f_a=1336\text{Hz}$ の高群周波数によって表現されることを示します。2つの周波数は式1.を用いてDTMF信号に変換されます。

$$f(t) = A_a \sin(2\pi f_a t) + A_b \sin(2\pi f_b t) \dots\dots\dots \text{式1.}$$

ここで2つの間の振幅比は以下であるべきです。

$$A_b/A_a = K, \quad 0.7 < K < 0.9 \dots\dots\dots \text{式2.}$$



8ビット AVR[®]
マイクロコントローラ

応用記述

本書は一般の方々の便宜のため有志により作成されたもので、ATMEL社とは無関係であることを御承知ください。しおりのはじめにでの内容にご注意ください。

Rev. 1982B-05/02, 1982BJ1-12/13

動作の理屈

PWMの使い方についての一般的な概要から始め、これはPWMで正弦波生成を可能にする方法が示されます。次の段階に於いて、PWMの基礎周波数と違う周波数がどう生成され得るかで序説が与えられます。そしてDTMF信号それ自身での原理的な導入に近づき、実装が説明されます。

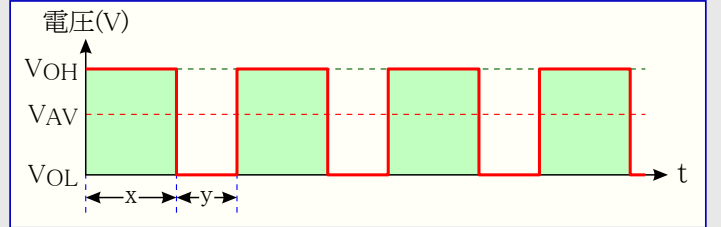
正弦波生成

PWMの出力ピンでのHighレベルとLowレベル間の関係に従い、このピンに於ける平均電圧が変化します。両レベル間の関係を一定に保つことが一定の電圧レベルを生成します。図2.はPWM出力信号を示します。

その一方で式3.はこの電圧レベルの計算方法を示します。

$$V_{AV} = \frac{xV_{OH} + yV_{OL}}{x + y} \dots\dots\dots \text{式3.}$$

図2. 一定の電圧レベル生成



PWMによって生成された平均電圧がPWM周期毎に変更される場合に正弦波が生成され得ます。HighとLowのレベル間の関係は各々の時間に於ける正弦波の電圧レベルに従って調整されなければなりません。図3.がこの仕組みを図示します。調整するPWMの値はPWM周期毎に計算するか、または参照表(LUT)に格納することができます。

図3.は基礎正弦波の周波数と見本量間の依存性も示します。より多数の見本(Nc)が使用されると、より高い出力信号精度を得ます。(しかし、)同時に周波数は低下します。式4.はこの相関を示します。

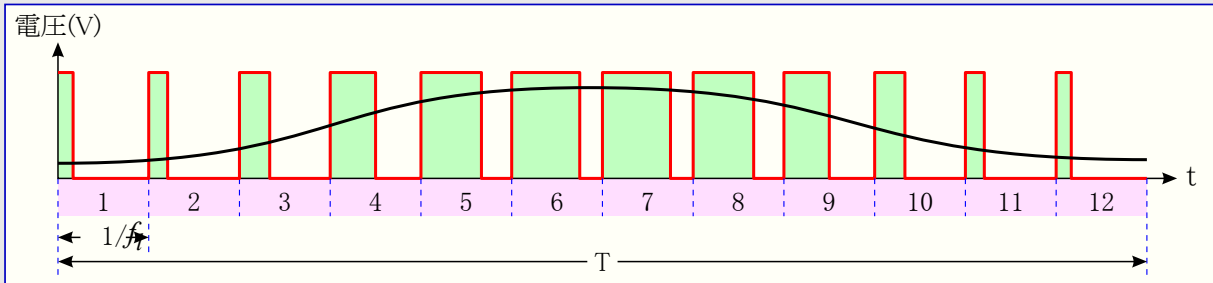
$$V_{AV} = \frac{f_1}{N_c} = \frac{f_{CK} \div 510}{N_c} \dots\dots\dots \text{式4.}$$

- f : 正弦波周波数(1/T)
- f_1 : PWM周波数($f_{CK}/510$)
- T : 基礎正弦波の周期
- f_{CK} : タイマ/カウンタのクロック周波数
- N_c : 1周期の見本数(図3.では12)

PWM周波数はPWM分解能に依存します。8ビット分解能に対してはタイマ/カウンタのTOP値が\$FF(255)です。(PWM動作では)タイマ/カウンタが上昇と下降で計数するので、この値は2倍にされなければなりません。PWM周波数は510でタイマ/カウンタクロック周波数(f_{CK})を割ることによって計算することができます。この筋に従い、8MHzのタイマ/カウンタクロックは15.6kHzのPWM周波数を生成します。

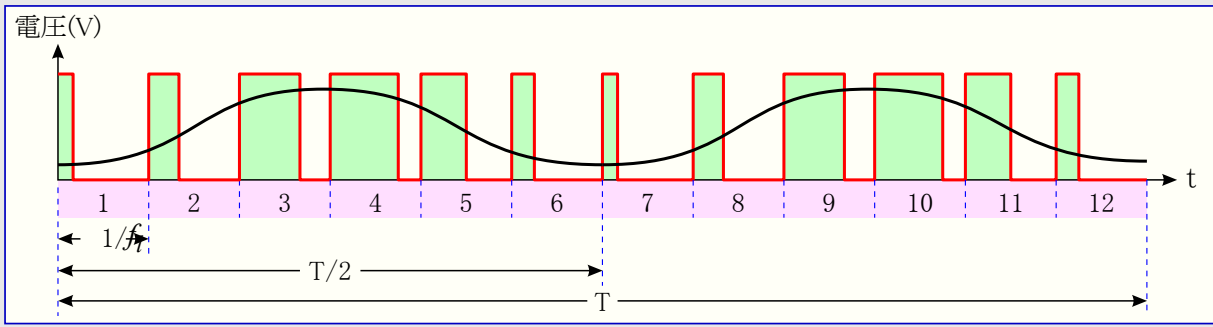
正弦波の周波数変更

図3. PWMでの正弦波生成



PWMを調整するための正弦曲線見本が参照表からの連続的規則ではなく、丁度2つ目の値毎に読まれると仮定しましょう。同じ見本周波数に於いて出力信号が2倍の周波数で生成されます(図4.をご覧ください)。

図4. 出力周波数の2倍化(X_{SW}=2)



2つ目毎ではなく3、4、5、～毎の見本を使用することで1/THz～0Hzの範囲で Nc が異なる周波数を生成することが可能です。**注**:これ以上の高い周波数については正弦波でなくなります。見本間の歩み間隔は X_{SW} によって指定されます。**式5.**がこの関連を説明します。

$$X_{SW} = f \frac{Nc}{f_1} = \frac{Nc f \times 510}{f_{CK}} \dots\dots\dots \text{式5.}$$

PWMがPWM周期(タイマ/カウンタ溢れ)毎に調節されなければならない実際の値を計算する方法が**式6.**で示されます。直前の周期の値(X'_{LUT})に基き、新しい値(X_{LUT})は歩み間隔(X_{SW})を加算することで計算されます。

$$X_{LUT} = X'_{LUT} + X_{SW} \dots\dots\dots \text{式6.}$$

X'_{LUT} : 参照表の直前位置
 X_{LUT} : 参照表の今回位置

DTMF信号への2つの異なる周波数の加算

DTMF信号は**式1.**と**式2.**に従って生成されなければなりません。これはレジスタの簡単なシフトで達成することが容易なため、 $K=3/4$ の K 係数が選ばれています。**式6.**を使用することによってPWM調整に関する次の値の参照表位置は次のように計算することができます。

$$f(X_{LUT}) = f(X_{LUTa}) + \frac{3}{4} f(X_{LUTb}) \dots\dots\dots \text{式7.}$$

$$X_{LUTa} = X'_{LUTa} + X_{SWa} \text{ と } X_{LUTb} = X'_{LUTb} + X_{SWb} \text{ で}$$

$$f(X_{LUT}) = f(X'_{LUTa} + X_{SWa}) + \frac{3}{4} f(X'_{LUTb} + X_{SWb}) \dots\dots\dots \text{式8.}$$

DTMF発生器の実装

この応用に於いてDTMF音調発生器は8ビットPWM出力の1つ(OC1A)と各々が $n=7$ ビットで $Nc=128$ 見本の正弦曲線表を使用して構築されます。以下の式はこの依存性と参照表(LUT)の要素の計算法を示します。

$$f(x) = 63 + 63 \times \sin\left(\frac{2\pi x}{128}\right) \quad x \in [0 \sim 127] \dots\dots\dots \text{式9.}$$

7ビット使用に於ける利点は高群と低群の周波数の要点に1バイトで適合することです。DTMF音調一式全部を支援するのに各DTMF周波数に対して1つで8つの X_{SW} 値を計算し、それらを表内に配置しなければなりません。

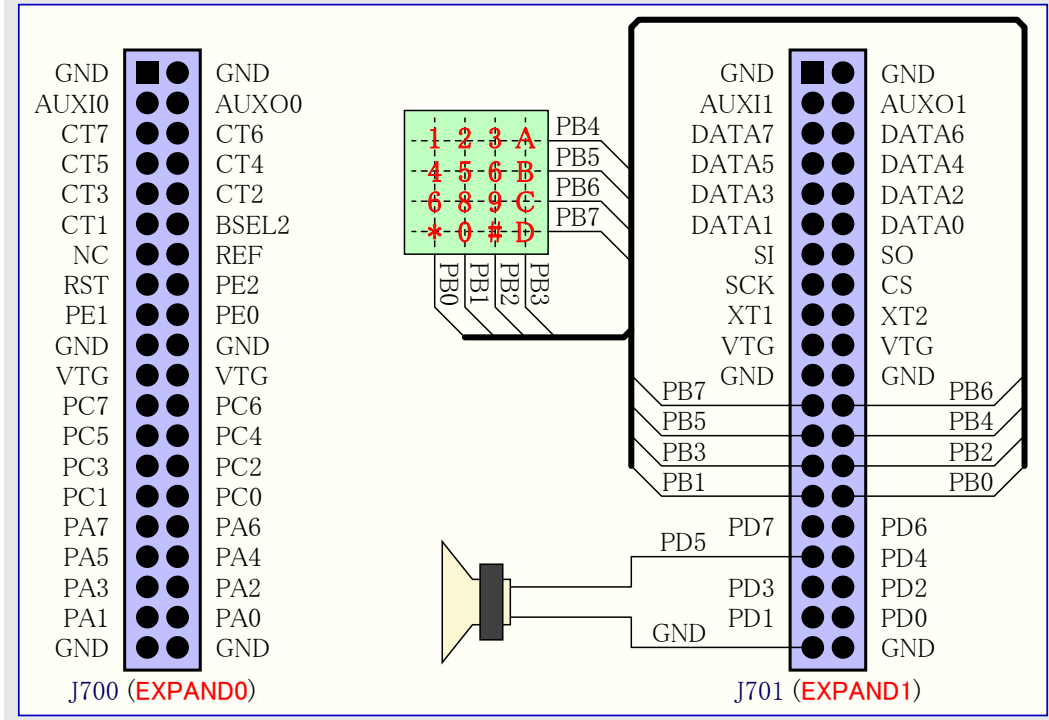
より高い精度を達成するために以下の解決策が実装されています。**式5.**の後で計算される X_{SW} 値は(精度を保った場合に)5バイトを必要とします。8バイト全てがより低い丸め誤差を持つように使用するため、これらの値は8倍されます。参照表に対する位置指示子は同じ規則で保存されます。しかし、これで実際に8倍の値を格納するのに2バイトが必要とされます。これは参照表内の正弦値に対する位置指示子としてそれらを使用する前に、3回の右シフトで Nc を含む操作が実行されなければならないことを意味します。**式10.**が完全な依存性を示します。

$$X_{LUTa,b} = \text{丸め(四捨五入)}\left(\frac{1}{8} \left(X'_{LUTa,bExt} + \frac{8 \times Nc f \times 510}{f_{CK}} \right)\right) \dots\dots\dots \text{式10.}$$

$X_{LUTa,b}$: 参照表(LUT)内要素の現在位置(実形式)

$X'_{LUTa,bExt}$: 参照表(LUT)内要素の直前位置(拡張形式)

図5. STK500上乗せ部の回路図



PWM信号はOC1A(PD5)ピンに出力されます。追加の出力濾波器が良好な正弦曲線達成を手助けします。PWM周波数が減少される場合、良好な結果を得るために急峻な濾波器を実装する必要があります。

キーパッドとの接続は図1.で示されます。キーパッドの機能は押されたキーがどう評価されなければならないかを決めます。これは2段階で行われます。

1. 押されたキーの列の判定

- ・ポートBの下位ニブルを出力/0値として定義してください。
- ・ポートBの上位ニブルをプルアップ付き入力として定義してください。
- ・上位ニブルのLowビットが列を決めます。

2. 押されたキーの行の判定

- ・ポートBの下位上位ニブルを出力/0値として定義してください。
- ・ポートBの下位ニブルをプルアップ付き入力として定義してください。
- ・下位ニブルのLowビットが行を決めます。

注: STK200ではポートBヘッダピンとデバイス自身のPB5, PB6, PB7ピンの間に直列抵抗があります(より多くの詳細についてはSTK200の回路図をご覧ください)。これはキーパッドがポートBヘッダに接続された場合に問題を引き起こすでしょう。

図6.は押されたキーを検知するためのルーチンの機能を見えるようにします。どのキーが押されたかによって歩み間隔値を決めます。割り込みルーチンはDTMF音調の2つの正弦波に対するPWM設定を計算するのにこの値を用います。割り込みルーチンは図7と図8.で示されます。

割り込みルーチンは次のPWM周期に対する比較値を計算します。割り込みルーチンは最初に参照表(LUT)内の次の見本値の位置を計算し、そして格納されたそれらの値を読みます。

LUT内の見本の位置は歩み間隔によって決められます。歩み間隔自体は生成されるべき周波数によって決められます。

式7.を使用して両方のDTMF周波数の見本値を結合することがPWMの最終的な比較値を与えます。

図6. Main関数

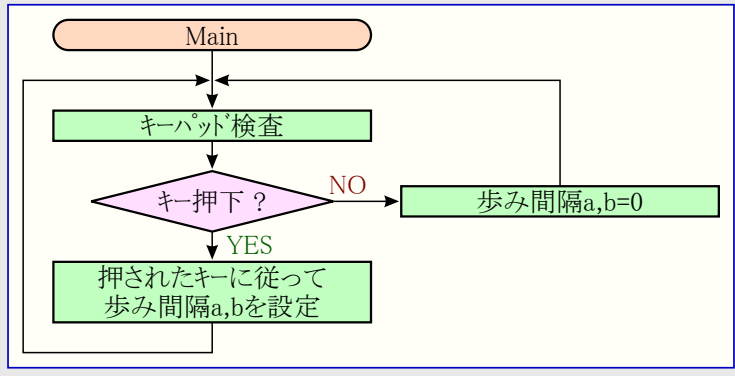


図7. タイマ/カウンタ溢れ割り込み処理ルーチン

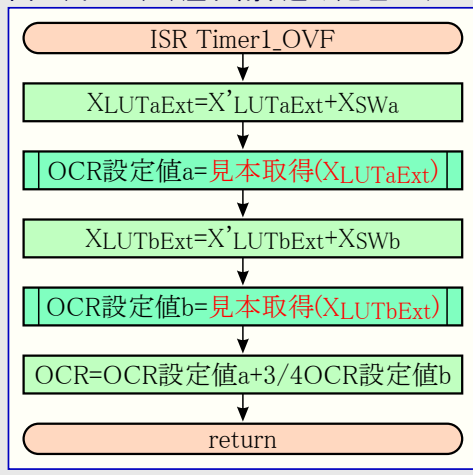
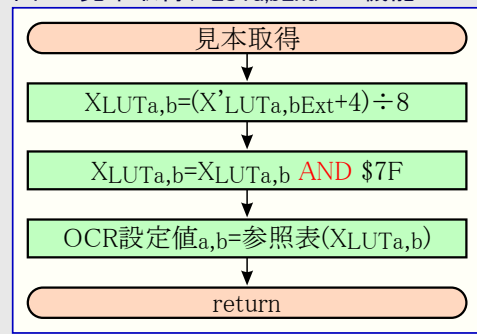


図8. "見本取得(XLUTa,bExt)"の機能



(訳注) 本応用記述に関する試供ソフトウェアは基本的に比較機能付きのタイマ/カウンタ1を持つ全てのAVRに適用可能ですが、そのままの状態ではAT90S4414/8515(またはATmega8515)用になっています。他のデバイスで動かすには一般的に以下の点に関して確認/修正を必要とします。

- ポートBとポートDの確認。PB7~0とPD5を使用します。これらが利用できない場合は他を使用するように修正してください。
- タイマ/カウンタ1の制御レジスタ定義確認。AT90S4414と異なる制御構成のデバイスはレジスタ及びビットの位置を修正してください。
- 割り込みビット位置確認。AT90S4414と異なる割り込み制御構成のデバイスはレジスタ及びビットの位置を修正してください。

また、使用ポート以外のポート(ビット)が初期化されていけませんので、入力のままになります。これは好ましくないので、未使用ポート(ビット)は出力またはプルアップ付き入力に固定化すべきでしょう。



本社

Atmel Corporation

2325 Orchard Parkway
San Jose, CA 95131, USA
TEL 1(408) 441-0311
FAX 1(408) 487-2600

国外営業拠点

Atmel Asia

Unit 1-5 & 16, 19/F
BEA Tower, Millennium City 5
418 Kwun Tong Road
Kwun Tong, Kowloon
Hong Kong
TEL (852) 2245-6100
FAX (852) 2722-1369

Atmel Europe

Le Krebs
8, Rue Jean-Pierre Timbaud
BP 309
78054 Saint-Quentin-en-Yvelines
Cedex
France
TEL (33) 1-30-60-70-00
FAX (33) 1-30-60-71-11

Atmel Japan

104-0033 東京都中央区
新川1-24-8
東熱新川ビル 9F
アトメル ジャパン株式会社
TEL (81) 03-3523-3551
FAX (81) 03-3523-7581

製造拠点

Memory

2325 Orchard Parkway
San Jose, CA 95131, USA
TEL 1(408) 441-0311
FAX 1(408) 436-4314

Microcontrollers

2325 Orchard Parkway
San Jose, CA 95131, USA
TEL 1(408) 441-0311
FAX 1(408) 436-4314

La Chantrerie
BP 70602
44306 Nantes Cedex 3
France
TEL (33) 2-40-18-18-18
FAX (33) 2-40-18-19-60

ASIC/ASSP/Smart Cards

Zone Industrielle
13106 Rousset Cedex
France
TEL (33) 4-42-53-60-00
FAX (33) 4-42-53-60-01

1150 East Cheyenne Mtn. Blvd.
Colorado Springs, CO 80906, USA
TEL 1(719) 576-3300
FAX 1(719) 540-1759

Scottish Enterprise Technology Park
Maxwell Building
East Kilbride G75 0QR
Scotland
TEL (44) 1355-803-000
FAX (44) 1355-242-743

RF/Automotive

Theresienstrasse 2
Postfach 3535
74025 Heilbronn
Germany
TEL (49) 71-31-67-0
FAX (49) 71-31-67-2340

1150 East Cheyenne Mtn. Blvd.
Colorado Springs, CO 80906, USA
TEL 1(719) 576-3300
FAX 1(719) 540-1759

Biometrics

Avenue de Rochepleine
BP 123
38521 Saint-Egreve Cedex
France
TEL (33) 4-76-58-47-50
FAX (33) 4-76-58-47-60

文献請求

www.atmel.com/literature

© Atmel Corporation 2002.

ATMEL製品は、ウェブサイト上にあるATMELの定義、条件による標準保証で明示された内容以外の保証はありません。本製品は改良のため予告なく変更される場合があります。いかなる場合も、特許や知的技術のライセンスを与えるものではありません。ATMEL製品は、生命維持装置の重要部品などのような使用を認めておりません。

本書中の®、™はATMELの登録商標、商標です。

本書中の製品名などは、一般的に商標です。

© HERO 2013.

本応用記述はATMELのAVR314応用記述(doc1982.pdf Rev.1982B-05/02)の翻訳日本語版です。日本語では不自然となる重複する形容表現は省略されている場合があります。日本語では難解となる表現は大幅に意識されている部分もあります。必要に応じて一部加筆されています。頁割の変更により、原本より頁数が少なくなっています。

必要と思われる部分には()内に英語表記や略称などを残す形で表記しています。

青字の部分はリンクとなっています。一般的に赤字の0,1は論理0,1を表します。その他の赤字は重要な部分を表します。