
AVR42778 : tinyAVR® 1系の形態設定可能な注文論理回路を使用するコアから独立したブラシレスDCファン制御

要点

- ・形態設定可能な注文論理回路(CCL)を使用するコアから独立したブラシレスDC電動機(BLDC)の整流と沈黙時間挿入を実行するための基本構成設定
- ・制御、監視、通信のような付加作業に対する初期化後にCPUを100%利用可能
- ・アナログ比較器(AC)と形態設定可能な注文論理回路(CCL)を使用してホール感知器信号に基づく電動機整流
- ・アナログ比較器(AC)、事象システム(EVSYN)、16ビット タイマ/カウンタB型(TCB)を使用してホール感知器に基づく沈黙時間挿入
- ・16ビット タイマ/カウンタA型(TCA)を使用するパルス幅変調(PWM)した信号生成
- ・Microchip ATtiny817 Xplained Mini用の構成設定例を提供

序説

外囲器寸法が減って、電力消費値が増えるため、現代の電子設計に於いて温度管理は益々重要な要素になります。多分、最も簡単な温度管理は強制対流、即ち、熱源の内側と周辺の空気を移動することによって熱の放散増加です。これはBLDC電動機によって駆動されるファンを使用して最も都合良く行われます。BLDC電動機は電氣的に転流(整流)され、ブラシの機械的な弱さのような問題を無くしますが、電磁妨害(EMI:Electro-Magnetic Interference)も減らします。最も素直なファン設計は単に全速でファンの回転子を回しますが、とは言えファン数は故に雑音と電力消費を増しがちです。多くの場合、雑音と電力消費を最小に保つことが望ましいでしょう。これは次に環境の条件や他の外部的な要素に従ってファンの速度を調整するための要求を考案し得ます。

この応用記述は単純なBLDCファンを制御するのにAVR®デバイスを用いてコアから独立する方法を記述します。CPU動作から独立してBLDC電動機回路の二重駆動部へPWM信号を流すのと同時に、BLDC電動機転流(整流)と沈黙時間挿入を達成するために形態設定可能な注文論理回路(CCL)を許可して、多くの周辺機能が共に動くように形態設定されます。初期化後、PWMデューティサイクル設定で電動機を動かすのにCPU周期が全く必要とされず、割り込みに基づく形態設定と比べて最小処理遅延を達成します。

この応用記述で記述されるデバイス形態設定は自動速度制御と外部監視のような機能を持つ知的なBLDC電動機制御応用に対する開始点として扱うことができます。代表的な応用は冷却ファンの監視と制御かもしれません。

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、Microchip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。

目次

要点	1
序説	1
1. 関連デバイス	3
1.1. tinyAVR® 0系統	3
1.2. tinyAVR® 1系統	3
1.3. megaAVR® 0系統	3
2. デバイス特有実装詳細	4
3. 動作の理屈	4
3.1. 一般的なBLDCファン構造	4
3.2. BLDC電動機でのホール効果感知器	5
3.3. BLDC PWM動作	5
3.4. 沈黙時間挿入	5
4. CCL BLDCファン制御器実装	5
5. CCL BLDCファンハードウェア提言	7
6. CCL BLDCファン更なる開発	8
7. Atmel STARTからソースコード取得	8
8. 用語と略語	9
9. 改訂履歴	9
Microchipウェブ サイト	10
お客様への変更通知サービス	10
お客様支援	10
Microchipデバイスコード保護機能	10
法的通知	10
商標	11
DNVによって認証された品質管理システム	11
世界的な販売とサービス	12

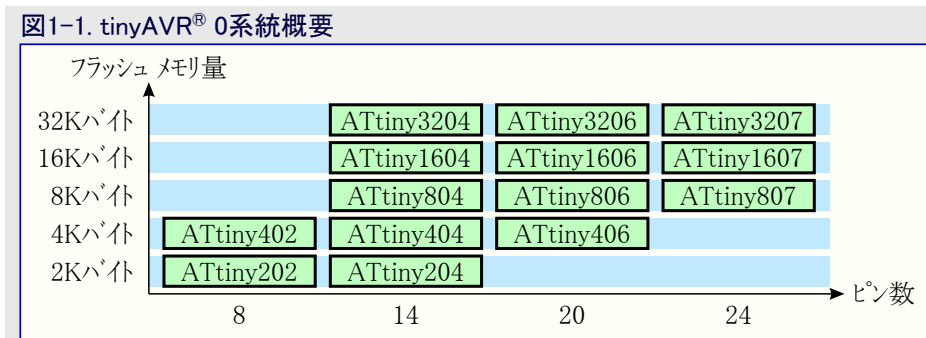
1. 関連デバイス

本章はこの応用記述に関連するデバイスを一覧にします。

1.1. tinyAVR[®] 0系統

下図はtinyAVR[®] 0系統を示し、ピン数の変種とメモリ量を提示します。

- これらのデバイスが完全にピンと機能が互換のため、垂直方向移植はコード変更なしで可能です。
- 左への水平方向移植はピン数、従って利用可能な機能を減らします。

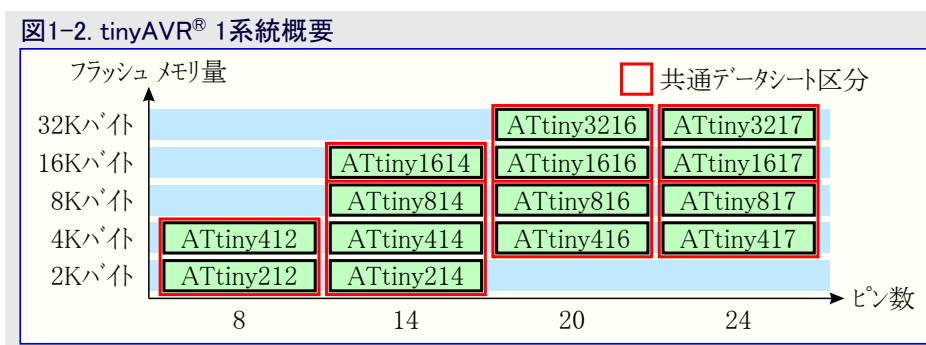


異なるフラッシュメモリ量を持つデバイスは一般的に異なるSRAMとEEPROMの量を持ちます。

1.2. tinyAVR[®] 1系統

下図はピン数の変種とメモリ量を展開してtinyAVR[®] 1系統を示します。

- これらのデバイスがピン互換で同じまたはより多くの機能を提供するため、垂直方向移植はコード変更なしに上方向に行うことができます。下方向移植はより少ない利用可能ないくつかの周辺機能の実体のためにコード変更が必要かもしれません。
- 左への水平方向移植はピン数、従って利用可能な機能を減らします。

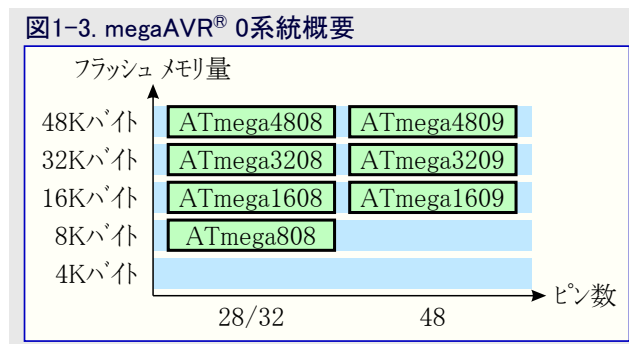


異なるフラッシュメモリ量を持つデバイスは一般的に異なるSRAMとEEPROMの量を持ちます。

1.3. megaAVR[®] 0系統

下図はmegaAVR[®] 0系統を示し、ピン数の変種とメモリ量を提示します。

- これらのデバイスが完全にピンと機能が互換のため、垂直方向移植はコード変更なしで可能です。
- 左への水平方向移植はピン数、従って利用可能な機能を減らします。



異なるフラッシュメモリ量を持つデバイスは一般的に異なるSRAMとEEPROMの量を持ちます。

2. デバイス特有実装詳細

いくつかの詳細は付随するコードが書かれるためのデバイスやデバイス群に対して特有で、故にそれらは他のデバイスに対して適用可能かもしれないし、または可能でないかもしれません。下で記述される詳細はtinyAVR® 1系統に適用されますが、必ずしもこれらに制限されません。

形態設定可能な注文論理回路

tinyAVR® 1系統の形態設定可能な注文論理回路(CCL)単位部は6つまでの入力を取り、2つまでの異なる出力を生成する2つの参照表(LUT:Look-up Table)を含みます。

I/Oピン制御器(PORT)とポート多重器(PORTMUX)

tinyAVR® 1系統に関してこの応用でホール感知器入力に使用されるピンはLUT1の既定出力ピンと共用されます。従ってポート多重器(PORTMUX)単位部の制御A(CTRLA)レジスタへ書くことによってLUT1-OUT用の代替ピンが使用されます。使用される特定ピンは下表で一覧にされます。

ピン	説明	信号	単位部
PA7	ホール感知器入力	P0	アナログ比較器 (AC)
PA4	PWM出力A	LUT0-OUT	形態設定可能な注文論理回路 (CCL)
PC1	PWM出力B	LUT1-OUT	

16ビット タイマ/カウンタA型(TCA)

この応用記述に付随するコードは3.33MHzのCLK_PERを与える20MHz CLK_MAINと6分周でのtinyAVR® 1系統の既定クロック設定を使用します。既定PWM周期は100計時器計数に設定され、既定PWMデューティサイクルは20計時器計数に設定されます。16ビットタイマ/カウンタA型(TCA)がクロック分周係数1で校正設定されるため、これは各々30 μ sと6 μ sに対応します。

16ビット タイマ/カウンタB型(TCB)

この応用記述に付随するコードは3.33MHzのCLK_PERを与える20MHz CLK_MAINと6分周でのtinyAVR® 1系統の既定クロック設定を使用します。既定沈黙時間は500計時器計数に構成設定されます。16ビットタイマ/カウンタB型(TCB)がクロック分周係数1で校正設定されるため、これは150 μ sに対応します。

3. 動作の理屈

この応用記述で提示される設計はホール感知器帰還を持つ簡単なBLDC電動機を使用するシステムの範囲に適用することができます。非常に共通する応用が冷却ファンのため、この応用記述は主にその特定の使い方に集中します。

3.1. 一般的なBLDCファン構造

基本的なブラシレスDC電動機は回転子と固定子の2つの主な部分に分割することができます。その名前によって含まれるように、回転子は回転する部分で、一方固定子は回転子が回る周辺の静的な構成物です。回転子は永久磁石を収納し、ファン電動機の場合ではそれにファンの羽根が付着されます。右図をご覧ください。

図3-1. 一般的なBLDCファン回転子



電動機の巻き線は固定子に収納され、正しく通電された時に電動機を回します。一般的な2相BLDC電動機には代表的に4つの巻き線があります。右図をご覧ください。

電動機を回すためのトルクは通電された電動機の巻き線と回転子内の永久磁石のそれらによって作成された磁界間の相互作用によって生成されます。どの時にどの電動機の巻き線が通電されるべきかは固定子に相対する回転子の角度位置によって与えられます。電動機を回すように正しい巻き線へ電流を印加する働きは転流(整流)と呼ばれます。回転子の向きについての情報は最も一般的な固定子に配置されたホール効果感知器による電動機制御器への帰還です。

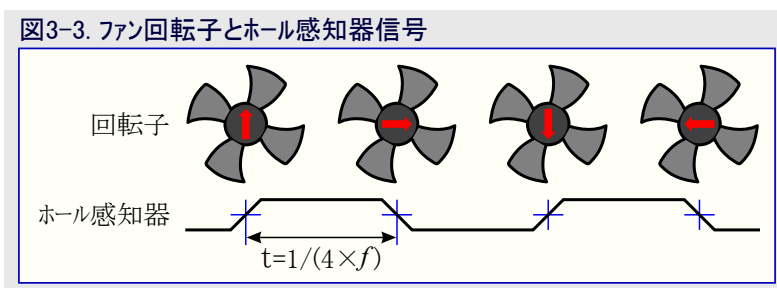
図3-2. 一般的なBLDCファン固定子



3.2. BLDC電動機でのホール効果感知器

(緩衝ホール効果感知器とも呼ばれる)デジタルホール効果感知器は現在存在するL磁界の強さを検出し、HighとLowの2つの可能な出力状態を持つ単一出力線を持ちます。BLDC電動機は固定子に対する回転子の向きについての情報を提供するため、一般的にホール効果感知器が装備されます。回転子とそれの永久磁石が移動する時に、ホール感知器によって検出される磁束が変化します。これは電動機を回すために順番に電動器のどの巻き線を活性にする時を制御器に知らせることができると、電動機制御器による転流(整流)のために使用することができます。

1つのホール感知器を持つ簡単なBLDC電動機については、感知器信号の周波数が電動機の回転周波数の2倍、レベル切り替えが電動機回転に対して4倍です。これは下図で図解されます。



3.3. BLDC PWM動作

ファン電動機を調整する基本的な方法はホール感知器信号に従って電動機の巻き線に直接供給電圧を絶えず印加することです。これは与えられた供給電圧に対してその達成可能な最大速度でファンを回転します。

多くの応用では、ファン速度を制御することが望まれるでしょう。定常状態のファン速度が平均印加電圧に密接に結び付けられるため、開路速度制御はPWM駆動信号とトランジスタを使用して印加電圧を高い周波数で供給レベルと接地間に切り替えることによって達成することができます。その後の平均印加電圧はPWM信号のデューティサイクルに比例し、ファン速度を操作するのに電動機制御器によって設定と調整をすることができます。

3.4. 沈黙時間挿入

1つの電動機駆動部駆動から別の駆動部へPWM信号を切り替える時の一瞬の間で、貫通とも呼ばれる供給電圧側の接地への回路短絡を避けるため、駆動部はかなりのPWM周期間不活性状態を保持されるべきです。これは沈黙時間挿入と呼ばれます。

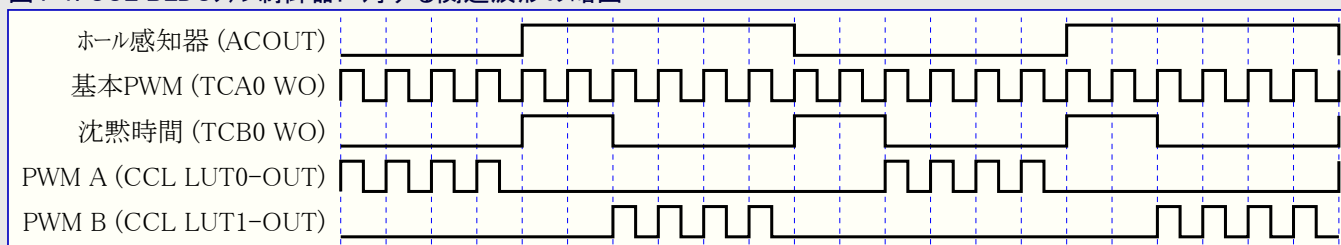
どの固定子巻き線に通電するかを決めるのにBLDC電動機制御器が代表的にホール感知器信号を使用するため、この信号は沈黙時間期間の挿入を起動するのにも使用されるべきです。

4. CCL BLDCファン制御器実装

マイクロコントローラでBLDC電動機を操作するのに度々必要とされるいくつかの基本的な要素と機能はPWM制御信号、ホール感知器入力信号、電動機転流(整流)、PWM沈黙時間挿入です。2つの駆動信号入力とホール感知器出力を持つ簡単なBLDCファン電動機に関して、電動機が回転する時に結果として生じる波形は下図で図解されるのと同じに見えるべきです。この図での波形の名前はこの資料で記述される応用の設計と実装に対して選ばれた特定単位部信号の名前です。

デバイスに提供されたホール感知器信号に基づいて概要波形を生成させることによって、それは簡単なBLDCファン制御器として働きます。応用記述が示唆する名前のように、形態設定可能な注文論理回路(CCL:Configurable Custom Logic)はこれの達成で主な役割を演じます。

図4-1. CCL BLDCファン制御器に対する関連波形の略図



形態設定可能な注文論理回路(CCL)単位部

形態設定可能な注文論理回路(CCL)単位部はデバイスのピン、事象、周辺機能に接続することができる設定可能な論理回路周辺機能です。これは部品表(BOM)費用を減らす、PCBでの簡単な接続用論理回路機能用外部論理回路ゲートを取り除くことを使用者に許します。各参照表(LUT)は3つの入力、真理値表、濾波器/端検出器から成ります。各LUTは3つの入力を持つ使用者設定可能な論理式として出力を生成することができます。

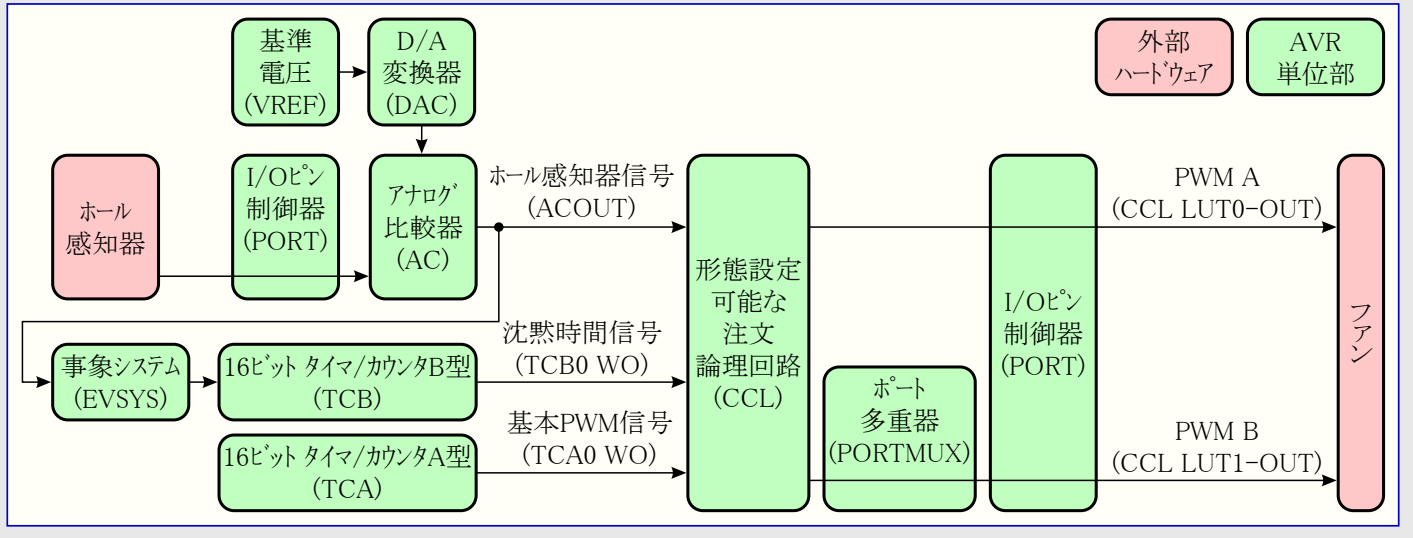
実装概要

上図で波形を調べることから、PWM AとPWM Bの信号の論理的な値が各々他の3つの信号の論理的な値の組み合わせによって与えられることを見ることができます。これは入力としてホール感知器信号、基本PWM信号、沈黙時間信号を使用することによって2つの望む信号を生成することができるCCL単位部用の代表的な使用事例を表します。

ホール感知器信号波形はアナログ比較器(AC)に物理的なホール感知器を接続することによって生成することができ、一方で16ビットタイマ/カウンタA型(TCA)は「パルス列」とも呼ばれる基本PWM信号を生成するのに適します。2つのデバイス単位部を組み合わせることによって、沈黙時間信号を作成することも可能です。アナログ比較器(AC)からの信号は事象システム(EVSY)を通して16ビットタイマ/カウンタB型(TCB)に配線することができます。16ビットタイマ/カウンタB型(TCB)では形態設定可能な注文論理回路(CCL)単位部で沈黙時間信号を表す方形波を起動するのに使用することができます。

関連する単位部の概要が下で表されます。これらを正しく形態設定することによって、CPUを使用することなく、電動機の転流(整流)と沈黙時間挿入を実行する簡単なBLDCファン用制御器を実現することができます。各種単位部がどう構成設定されるかのより多くの特定記述は以降の項で提示されます。

図4-2. 利用されるデバイス単位部と信号の概要



形態設定可能な注文論理回路(CCL)構成設定

LUTまたは真理値表としても参照される2つの設定可能な参照表は独立した2つのPWM信号を出力するのに必要とされます。LUTの許可とパッドへの出力送出は各LUTの制御A(CTRLA)レジスタへ書くことによって行われます。両出力信号の値がホール感知器信号、沈黙時間信号、基本PWM信号の組み合わせによって与えられるため、両LUTはそれら各々の制御B(CTRLB)と制御C(CTRLC)のレジスタへ書くことによってこれら3つの入力を取るように構成設定されます。

各LUTの動きはそれら各々の真理値表(TRUTH)レジスタへ書くことによって構成設定されるその真理値表によって決められます。この応用のためにTRUTHレジスタに書かれる16進値は下表で示されるようにLUT0に対して\$02、LUT1に対して\$08であるべくTRUTH7~0から決められます。表に後続する2つの図は論理ゲートを使用して2つのLUT構成設定を図解します。どの信号がどのLUT入力に配線されるかは下の表と図から見ることができます。

表4-1. 同じ入力選択を持つLUT0とLUT1用の真理値表

IN2, TCB WO	IN1, ACOUT	IN0, TCA WO	CCL LUT0 OUT	CCL LUT1 OUT
0	0	0	0 (TRUTH00)	0 (TRUTH00)
0	0	1	1 (TRUTH01)	0 (TRUTH01)
0	1	0	0 (TRUTH02)	0 (TRUTH02)
0	1	1	0 (TRUTH03)	1 (TRUTH03)
1	0	0	0 (TRUTH04)	0 (TRUTH04)
1	0	1	0 (TRUTH05)	0 (TRUTH05)
1	1	0	0 (TRUTH06)	0 (TRUTH06)
1	1	1	0 (TRUTH07)	0 (TRUTH07)

図4-3. LUT0論理回路

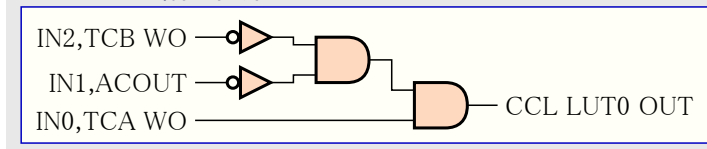
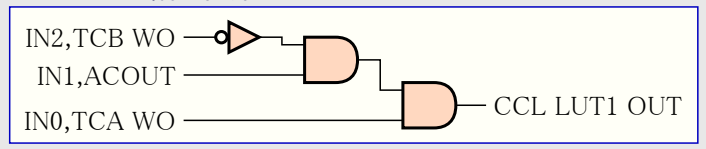


図4-4. LUT1論理回路



2つのTRUTHレジスタの値は本章の序説で図解された波形に従ってLUTに対して望む動きを実装します。LUT0の出力は沈黙時間信号がLowでホール感知器信号がLowである限り、基本PWM信号に従い、一方LUT1出力は沈黙時間信号がLowでホール感知器信号がHighである限り、基本PWM信号に従います。

アナログ比較器(AC)、基準電圧(VREF)、D/A変換器(DAC)の構成設定

ファン回転子の位置を示す接続されたホール感知器の状態を提供するには、アナログ比較器(AC)がその正入力ピンで物理的なホール感知器信号を、その負入力としてD/A変換器(DAC)を取るよう構成設定されます。これはアナログ比較器(AC)単位部の多重器制御A(MUXCTRLA)レジスタ経由で構成設定されます。

D/A変換器(DAC)の出力は初期入力値を設定して基準電圧を選ぶことによって固定レベルに設定されます。これは各々この単位部のデータ(DATA)レジスタと基準電圧(VREF)単位部の制御A(CTRLA)レジスタへ書くことによって行われます。

アナログ比較器(AC)出力のACOUTは物理的な感知器信号がD/A変換器(DAC)出力以上の時にHigh、それ以下の時にLowです。これは本章の序説で図解された波形と提携します。

注: 基準電圧(VREF)とD/A変換器(DAC)の単位部は、D/A変換器(DAC)出力が物理的なホール感知器の上位側と下位側の安定状態電圧出力レベル間にあるよう構成設定されることが必要です。

16ビット タイマ/カウンタB型(TCB)と事象システム(EVSY)の構成設定

この応用記述で概説されるようにCCLを用いるPWM沈黙時間挿入は指定された沈黙時間期間の間にPWM出力が不活性を保持すべき時を示す信号が必要です。ホール感知器信号がそのレベルを切り替えることによって示される、1つの駆動部信号から別の駆動部へPWM出力が切り替えられる時に沈黙時間が挿入されるべきなので、この挿入はそれらがホール感知器出力のエッジ(端)で同時に起こるようにACOUT信号のエッジ(端)によって起動されるべきです。

16ビット タイマ/カウンタB型(TCB)単位部はそれの事象入力信号でのエッジ(端)検出で単一計数作業を開始する「単発」動作を持ちます。これはその後そのTOP値に達するまで計数して停止します。計時器出力信号のTCB WOは計数中にHighでさもなければLowで、事象入力としてACOUT信号を使用することによってそれを沈黙時間信号として極めて適切にします。

事象チャネルの入力としてACOUTを選択し、16ビット タイマ/カウンタB型(TCB)を同じ事象チャネルの使用部に割り当てることによって、ACOUT信号は事象システム(EVSY)経由で16ビット タイマ/カウンタB型(TCB)に配線されます。この応用に於いて、これは各々、事象システム(EVSY)の非同期チャネル0発生部選択(ASYNCCH0)と非同期使用部チャネル入力選択0(ASYNCUSER0)のレジスタへ書くことによって構成設定されます。更に、16ビット タイマ/カウンタB型(TCB)は計時器の制御B(CTRLB)と事象制御(EVCTRL)のレジスタへ書くことによって2重事象端検出で非同期単発動作に形態設定されます。沈黙時間持続時間は比較/捕獲(CCMP)レジスタを通して構成設定されます。

16ビット タイマ/カウンタA型(TCA)構成設定

基本PWM信号はホール感知器信号入力に応じてPWM AまたはPWM Bのどちらかに出力するPWM信号を表します。16ビット タイマ/カウンタA型(TCA)は、PWM出力の周期とデューティサイクルがこの単位部で構成設定されなければならないことを暗に示し、この応用でこの目的に使用されます。

この計時器はこれの制御B(CTRLB)レジスタへ書くことによって基本的な単一傾斜PWM生成動作を使用するよう形態設定され、同時にPWM周期とデューティサイクルは各々、定期(PER)と比較0(CMP0)のレジスタに望む値を書くことによって構成設定されます。TCA WOは形態設定可能な注文論理回路(CCL)単位部への入力として直接使用されます。その後接続されるBLDC電動機の開路速度制御はデューティサイクルを計時器周期の0~100%間調整することによって達成することができます。

I/Oピン制御器(PORT)とポート多重器(PORTMUX)の構成設定

入力と出力はI/Oピン制御器(PORT)単位部を構成設定することによってデバイスの外部ピンに送られます。デバイスの様々な信号がその既定ピンの代わりに代替ピンへ接続することができます。これはポート多重器(PORTMUX)単位部で形態設定されます。この応用を構成設定するのに必要なピンはホール感知器へ接続されるべきアナログ比較器(AC)用の正入力ピンと、2つの制御入力に接続されるべき形態設定可能な注文論理回路(CCL)からの2つの出力ピンです。

5. CCL BLDCファン ハードウェア提言

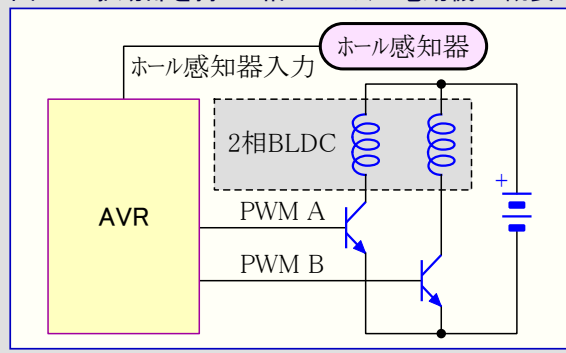
付随コードはATtiny817 Xplained Miniの基板上卸でPWMデューティサイクルを調整するための支援を含みます。これ以外にこの応用記述に対して提供されるまたは記述される特定のハードウェアはありません。この理由とBLDC電動機とそれらの制御回路が多くの変種で来ることの事実のため、記述されるデバイス構成設定に合致する2つの特定ファン ハードウェア配置が以下で概説されます。

2つの制御入力を持つ2相BLDCファン

この応用記述で記述される構成設定が1つのホール感知器入力を取り、2つのPWM制御信号を出力するように設計されるため、簡単な取り組み方は右図で図解されるように単一ホール感知器出力と各相に接続された1つの駆動部要素を持つ2相BLDCファン電動機を使用することです。駆動部とホール感知器は示されるようにデバイスへ接続されるべきです。

この形態設定について、両駆動部が活性の場合に貫通が全く起こらず、故に沈黙時間は事実上0に減らされるか、または取り去ることができます。

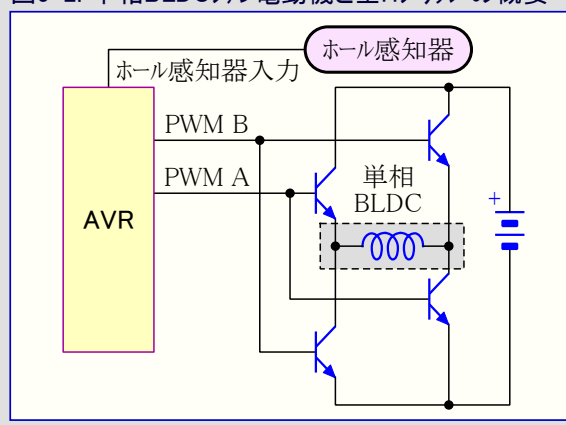
図5-1. 駆動部を持つ2相BLDCファン電動機の概要



全Hブリッジ制御を持つ単相BLDCファン

上で図解されたより基本的な形態設定に加えて、記述される応用は右図で概説されるようにデバイスを接続することによって全Hブリッジ駆動部回路を持つ単層BLDCファン電動機を制御するのに適合されます。この形態設定については両PWM信号が活性の場合に貫通が起き、故にPWMパルスが送られる出力間を切り替える時に沈黙時間が必要とされます。

図5-2. 単相BLDCファン電動機と全Hブリッジの概要



6. CCL BLDCファン更なる開発

この応用記述はより多くの高度な機能や制御を追加するための開始点として働くことができるコアから独立したBLDCファン動作の基本的な構成設定を提示します。いくつかの例は以下のように有り得ます。

- **温度に基づくファン速度制御**：これはADC経由で温度感知器を接続して測定した値に基づいてPWMデューティサイクルを設定することによって実装することができます。
- **閉路速度制御**：これはホール感知器信号切り替え速度からファン速度を推定して制御算法に対する入力としての値を使用することによって実装することができます。
- **失速/停止検出**：これはホール感知器信号切り替えの不足検出によって実装することができます。
- **アナログ基準入力**：これはADC入力に変抵抗器を接続して速度または温度の制御部に対する設定点として出力値を使用する、または単にPWMデューティサイクルを直接設定することによって実装することができます。
- **直列通信**：SPI単位部を使用することによって、遠隔での監視と制御を追加することができます。これはファンがいくつかのより高位の制御の仕組みを持つより大きな系に統合されるべき場合に非常に有用で有り得ます。

7. Atmel | STARTからのソースコード取得

コード例は画像使用者インターフェース(GUI)を通して応用コードの形態設定を許すウェブに基づくAtmel | STARTを通して利用可能です。コードは下の直接コード例リンクまたはAtmel | START先頭頁のBROWSE EXAMPLES(例検索)を介してAtmel Studio 7.0とIAR Embedded Workbench®の両方に対してダウンロードすることができます。

Atmel | STARTウェブ ページ : <http://microchip.com/start>

コード例

AVR42778 BLDCファン制御 (AVR42778 BLDC Fan Control)

- http://start.atmel.com/#example/Atmel%3Aavr42778_blcd_fan_control%3A1.0.0%3A%3AApplication%3AAVR42778_BLDC_Fan_Control%3A

例プロジェクトについての詳細と情報に関してはAtmel | STARTでUser guide(使用者の手引き)を押下してください。User guideはAtmel | STARTプロジェクト形態設定部内の一覧画面でプロジェクト名をクリックすることにより、例閲覧部で見つけることができます。

Atmel Studio

DOWNLOAD SELECTED EXAMPLE(選んだ例をダウンロード)をクリックすることにより、Atmel | STARTで例閲覧部からAtmel Studio用.atzipファイルとしてコードをダウンロードしてください。Atmel | START内からファイルをダウンロードするには、EXPORT PROJECT(プロジェクトをエクスポート)に続いてDOWNLOAD PACK(一括ダウンロード)をクリックしてください。

ダウンロードした.atzipファイルをダブルクリックしてください。プロジェクトがAtmel Studio 7.0に導入されます。

IAR Embedded Workbench

IAR Embedded Workbenchでプロジェクトをインポートする方法の情報についてはAtmel | START使用者の手引きを開き、Using Atmel Start Output in External Tools(外部ツールでAtmel START出力を使用)とIAR Embedded Workbenchを選んでください。Atmel | START使用者の手引きへのリンクは共に頁の右上隅に置かれたAtmel | START先頭頁からAbout(これについて)またはプロジェクト形態設定部内のHelp And Support(手助けと支援)をクリックすることによって見つけることができます。

8. 用語と略語

表8-1. 字引き

句/略語	説明
BLDC	ブラシレス直流 (Brushless Direct Current)
PWM	パルス幅変調
沈黙時間	2つの電圧レベルの回路短絡を避けるために異なる電圧に接続されたトランジスタを許可する間の緩衝時間
EMI	電磁妨害
デューティサイクル	パルス幅変調された信号のON区間の持続時間を記述するのに使用
ホール効果感知器	電動機巻き線に現在印加される電流のためにブラシレスDC電動機の回転子の角度位置を示すために一般的に使用される磁気感知器
転流(整流)	それを回すために電氣的な電動機の正しい巻き線に電流を印加する行為
安定状態	その(速度、電流などのような)状態が安定にされている時の動的システムの状態
開路制御	帰還に基づいて自動的に制御器出力を調整する制御閉路を作成するように、システム状態や制御されるべき状態についての情報が制御器へ帰還されない制御の仕組みに対して使用される用語
PCB	印刷された回路基板
I/O	入出力。デバイスへとからの入力と出力の信号に対する総称として使用
貫通	潜在的にトランジスタに損傷を与える供給電圧と接地間をトランジスタで回路短絡することについて一般的に使用される用語

9. 改訂履歴

資料改訂	日付	注釈
42778A	2016年10月	初版資料公開
42778B	2016年11月	「デバイス特有実装詳細」章で些細な修正
A	2017年8月	<ul style="list-style-type: none"> Microchip形式に変換してAtmel®資料番号42778を置き換え 「関連デバイス」と「Atmel STARTからソースコード取得」を追加 関連する所でtiny817参照をtiny AVR 1系統に変更 刊行物変種で開始するための直接例プロジェクトのリンクを追加
B	2018年2月	tinyAVR 0系統とmegaAVR 0系統も含むように「関連デバイス」章を更新

Microchipウェブ サイト

Microchipは<http://www.microchip.com/>で当社のウェブ サイト経由でのオンライン支援を提供します。このウェブ サイトはお客様がファイルや情報を容易に利用可能にする手段として使用されます。お気に入りのインターネット ブラウザ[®]を用いてアクセスすることができ、ウェブ サイトは以下の情報を含みます。

- **製品支援** – データシートと障害情報、応用記述と試供プログラム、設計資源、使用者の手引きとハードウェア支援資料、最新ソフトウェア配布と保管されたソフトウェア
- **一般的な技術支援** – 良くある質問(FAQ)、技術支援要求、オンライン検討グループ[®]、Microchip相談役プログラム員一覧
- **Microchipの事業** – 製品選択器と注文の手引き、最新Microchip報道発表、セミナーとイベントの一覧、Microchip営業所の一覧、代理店と代表する工場

お客様への変更通知サービス

Microchipのお客様通知サービスはMicrochip製品を最新に保つのに役立ちます。加入者は指定した製品系統や興味のある開発ツールに関連する変更、更新、改訂、障害情報がある場合に必ず電子メール通知を受け取ります。

登録するには<http://www.microchip.com/>でMicrochipのウェブ サイトをアクセスしてください。”Support”下で”Customer Change Notification”をクリックして登録指示に従ってください。

お客様支援

Microchip製品の使用者は以下のいくつかのチャネルを通して支援を受け取ることができます。

- 代理店または販売会社
- 最寄りの営業所
- 現場応用技術者(FAE:Field Application Engineer)
- 技術支援

お客様は支援に関してこれらの代理店、販売会社、または現場応用技術者(FAE)に連絡を取るべきです。最寄りの営業所もお客様の手助けに利用できます。営業所と位置の一覧はこの資料の後ろに含まれます。

技術支援は<http://www.microchip.com/support>でのウェブ サイトを通して利用できます。

Microchipデバイスコード保護機能

Microchipデバイスでの以下のコード保護機能の詳細に注意してください。

- Microchip製品はそれら特定のMicrochipデータシートに含まれる仕様に合致します。
- Microchipは意図した方法と通常条件下で使用される時に、その製品系統が今日の市場でその種類の最も安全な系統の1つであると考えます。
- コード保護機能を破るのに使用される不正でおそらく違法な方法があります。当社の知る限りこれらの方法の全てはMicrochipのデータシートに含まれた動作仕様外の方法でMicrochip製品を使用することが必要です。おそらく、それを行う人は知的財産の窃盗に関与しています。
- Microchipはそれらのコードの完全性について心配されているお客様と共に働きたいと思います。
- Microchipや他のどの半導体製造業者もそれらのコードの安全を保証することはできません。コード保護は当社が製品を”破ることができない”として保証すると言ったことを意味しません。

コード保護は常に進化しています。Microchipは当社製品のコード保護機能を継続的に改善することを約束します。Microchipのコード保護機能を破る試みはデジタル ミレニアム著作権法に違反するかもしれません。そのような行為があなたのソフトウェアや他の著作物に不正なアクセスを許す場合、その法律下の救済のために訴権を持つかもしれません。

法的通知

デバイス応用などに関してこの刊行物に含まれる情報は皆さまの便宜のためにだけ提供され、更新によって取り換えられるかもしれません。皆さまの応用が皆さまの仕様に合致するのを保証するのは皆さまの責任です。Microchipはその条件、品質、性能、商品性、目的適合性を含め、明示的にも黙示的にもその情報に関連して書面または表記された書面または黙示の如何なる表明や保証も**しません**。Microchipはこの情報とそれの使用から生じる全責任を否認します。生命維持や安全応用でのMicrochipデバイスの使用は完全に購入者の危険性で、購入者はそのような使用に起因する全ての損害、請求、訴訟、費用からMicrochipを擁護し、補償し、免責にすることに同意します。他に言及されない限り、Microchipのどの知的財産権下でも暗黙的または違う方法で許認可は譲渡されません。

商標

Microchipの名前とロゴ、Microchipロゴ、AnyRate、AVR、AVRロゴ、AVR Freaks、BeaconThings、BitCloud、CryptoMemory、CryptoRF、dsPIC、FlashFlex、flexPWR、Heldo、JukeBlox、KeeLoq、KeeLoqロゴ、Kleer、LANCheck、LINK MD、maXStylus、maXTouch、MediaLB、megaAVR、MOST、MOSTロゴ、MPLAB、OptoLyzer、PIC、picoPower、PICSTART、PIC32ロゴ、Prochip Designer、QTouch、RightTouch、SAM-BA、SpyNIC、SST、SSTロゴ、SuperFlash、tinyAVR、UNI/O、XMEGAは米国と他の国に於けるMicrochip Technology Incorporatedの登録商標です。

ClockWorks、The Embedded Control Solutions Company、EtherSynch、Hyper Speed Control、HyperLight Load、IntelliMOS、mTouch、Precision Edge、Quiet-Wireは米国に於けるMicrochip Technology Incorporatedの登録商標です。

Adjacent Key Suppression、AKS、Analog-for-the-Digital Age、Any Capacitor、AnyIn、AnyOut、BodyCom、chipKIT、chipKITロゴ、CodeGuard、CryptoAuthentication、CryptoCompanion、CryptoController、dsPICDEM、dsPICDEM.net、Dynamic Average Matching、DAM、ECAN、EtherGREEN、In-Circuit Serial Programming、ICSP、Inter-Chip Connectivity、JitterBlocker、KleerNet、KleerNetロゴ、Mindi、MiWi、motorBench、MPASM、MPF、MPLAB Certifiedロゴ、MPLAB、MPLINK、MultiTRAK、NetDetach、Omniscient Code Generation、PICDEM、PICDEM.net、PICkit、PICtail、PureSilicon、QMatrix、RightTouchロゴ、REAL ICE、Ripple Blocker、SAM-ICE、Serial Quad I/O、SMART-I.S.、SQI、SuperSwitcher、SuperSwitcher II、Total Endurance、TSHARC、USBCheck、VariSense、View Sense、WiperLock、Wireless DNA、ZENAは米国と他の国に於けるMicrochip Technology Incorporatedの商標です。

SQTPは米国に於けるMicrochip Technology Incorporatedの役務標章です。

Silicon Storage Technologyは他の国に於けるMicrochip Technology Inc.の登録商標です。

GestICは他の国に於けるMicrochip Technology Inc.の子会社であるMicrochip Technology Germany II GmbH & Co. KGの登録商標です。

ここで言及した以外の全ての商標はそれら各々の会社の所有物です。

© 2018年、Microchip Technology Incorporated、米国印刷、不許複製

DNVによって認証された品質管理システム

ISO/TS 16949

Microchipはその世界的な本社、アリゾナ州のチャンドラーとテンペ、オレゴン州グラシャムの設計とウェハー製造設備とカリフォルニアとインドの設計センターに対してISO/TS-16949:2009認証を取得しました。当社の品質システムの処理と手続きはPIC[®] MCUとdsPIC[®] DSC、KEELOQ符号飛び回りデバイス、直列EEPROM、マイクロ周辺機能、不揮発性メモリ、アナログ製品用です。加えて、開発システムの設計と製造のためのMicrochipの品質システムはISO 9001:2000認証取得です。

日本語© HERO 2018.

本応用記述はMicrochipのAN2522応用記述(DS00002522B-2018年2月)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。



MICROCHIP

世界的な販売とサービス

米国	亜細亜/太平洋	亜細亜/太平洋	欧州
本社 2355 West Chandler Blvd. Chandler, AZ 85224-6199 Tel: 480-792-7200 Fax: 480-792-7277 技術支援: http://www.microchip.com/support ウェブアドレス: www.microchip.com アトランタ Duluth, GA Tel: 678-957-9614 Fax: 678-957-1455 オースチン TX Tel: 512-257-3370 ホストン Westborough, MA Tel: 774-760-0087 Fax: 774-760-0088 シカゴ Itasca, IL Tel: 630-285-0071 Fax: 630-285-0075 ダラス Addison, TX Tel: 972-818-7423 Fax: 972-818-2924 デトロイト Novi, MI Tel: 248-848-4000 ヒューストン TX Tel: 281-894-5983 インディアナポリス Noblesville, IN Tel: 317-773-8323 Fax: 317-773-5453 Tel: 317-536-2380 ロサンゼルス Mission Viejo, CA Tel: 949-462-9523 Fax: 949-462-9608 Tel: 951-273-7800 ローリー NC Tel: 919-844-7510 ニューヨーク NY Tel: 631-435-6000 サンホセ CA Tel: 408-735-9110 Tel: 408-436-4270 カナダ - トロント Tel: 905-695-1980 Fax: 905-695-2078	オーストラリア - シドニー Tel: 61-2-9868-6733 中国 - 北京 Tel: 86-10-8569-7000 中国 - 成都 Tel: 86-28-8665-5511 中国 - 重慶 Tel: 86-23-8980-9588 中国 - 東莞 Tel: 86-769-8702-9880 中国 - 広州 Tel: 86-20-8755-8029 中国 - 杭州 Tel: 86-571-8792-8115 中国 - 香港特別行政区 Tel: 852-2943-5100 中国 - 南京 Tel: 86-25-8473-2460 中国 - 青島 Tel: 86-532-8502-7355 中国 - 上海 Tel: 86-21-3326-8000 中国 - 瀋陽 Tel: 86-24-2334-2829 中国 - 深圳 Tel: 86-755-8864-2200 中国 - 蘇州 Tel: 86-186-6233-1526 中国 - 武漢 Tel: 86-27-5980-5300 中国 - 西安 Tel: 86-29-8833-7252 中国 - 廈門 Tel: 86-592-2388138 中国 - 珠海 Tel: 86-756-3210040	インド - ハンガロール Tel: 91-80-3090-4444 インド - ニューデリー Tel: 91-11-4160-8631 インド - フネー Tel: 91-20-4121-0141 日本 - 大阪 Tel: 81-6-6152-7160 日本 - 東京 Tel: 81-3-6880-3770 韓国 - 大邱 Tel: 82-53-744-4301 韓国 - ソウル Tel: 82-2-554-7200 マレーシア - クアラルンプール Tel: 60-3-7651-7906 マレーシア - ペナン Tel: 60-4-227-8870 フィリピン - マニラ Tel: 63-2-634-9065 シンガポール Tel: 65-6334-8870 台湾 - 新竹 Tel: 886-3-577-8366 台湾 - 高雄 Tel: 886-7-213-7830 台湾 - 台北 Tel: 886-2-2508-8600 タイ - バンコク Tel: 66-2-694-1351 ベトナム - ホーチミン Tel: 84-28-5448-2100	オーストラリア - ウェルズ Tel: 43-7242-2244-39 Fax: 43-7242-2244-393 デンマーク - コペンハーゲン Tel: 45-4450-2828 Fax: 45-4485-2829 フィンランド - エスポー Tel: 358-9-4520-820 フランス - パリ Tel: 33-1-69-53-63-20 Fax: 33-1-69-30-90-79 ドイツ - ガルピング Tel: 49-8931-9700 ドイツ - ハーン Tel: 49-2129-3766400 ドイツ - ハイムブロン Tel: 49-7131-67-3636 ドイツ - カールスルーエ Tel: 49-721-625370 ドイツ - ミュンヘン Tel: 49-89-627-144-0 Fax: 49-89-627-144-44 ドイツ - ローゼンハイム Tel: 49-8031-354-560 イスラエル - ラーナナ Tel: 972-9-744-7705 イタリア - ミラノ Tel: 39-0331-742611 Fax: 39-0331-466781 イタリア - ハドバ Tel: 39-049-7625286 オランダ - デルネン Tel: 31-416-690399 Fax: 31-416-690340 ノルウェー - トロンハイム Tel: 47-7289-7561 ポーランド - ワルシャワ Tel: 48-22-3325737 ルーマニア - ブカレスト Tel: 40-21-407-87-50 スペイン - マドリッド Tel: 34-91-708-08-90 Fax: 34-91-708-08-91 スウェーデン - イェテボリ Tel: 46-31-704-60-40 スウェーデン - ストックホルム Tel: 46-8-5090-4654 イギリス - ウォーキングム Tel: 44-118-921-5800 Fax: 44-118-921-5820