

AVR452 : AT90CAN32/64/128を用いる 3相ブラシレスDCモータの感知器に基づく制御

要点

- ホール感知器出力変化での3 μ s未満の応答時間
- 原理的に3478kRPM(電氣的RPM)の最大回転数
- 閉路調整と、過電流、停止、過負荷の検出を支援
- 通信に関してCAN,UART,TWI,SPIが利用可能

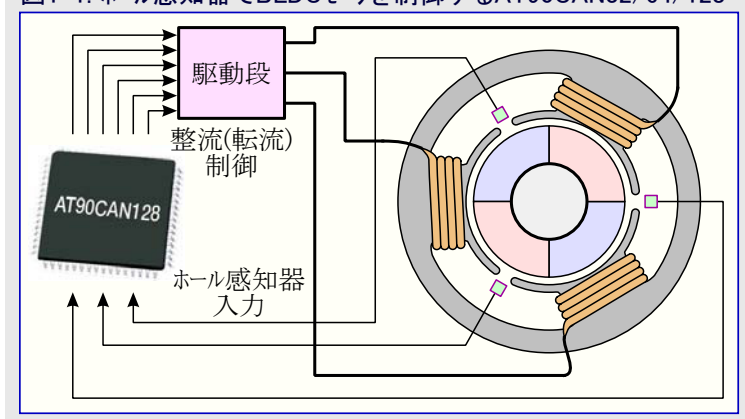
1. 序説

ブラシレスDC(BLDC)モータの使用は継続的に増加しています。その理由は明白で、BLDCモータが電力に比して良好な重量/大きさを持ち、素晴らしい加速性能を持ち、保守の必要性が全くまたは殆どなく、ユニバーサル(ブラシ型)モータよりも少ない音響的、電氣的な雑音を生じるからです。

ユニバーサルDCモータではブラシが正しい瞬間で物理的にコイルを接続することによって整流(転流)を制御します。電気構成物は整流(転流)する時についての情報を提供する位置感知器入力、またはコイルで生成される逆起電力の使用のどちらかを持ち得ます。位置感知器は始動トルクが大きく変化する応用や、大きな初期トルクが必要とされる応用で頻繁に使用されます。位置感知器はモータが位置決めで使用される応用でも度々使用されます。感知器なしBLDC制御は初期トルクがあまり変化しない時や、位置制御が注目されない場合、例えばファンに於いて、度々使用されます。

この応用記述は(単にホール感知器として参照される)ホール効果位置感知器でのBLDCモータの制御を記述します。この実装は両方向と開路速度制御を含みます。

図1-1. ホール感知器でBLDCモータを制御するAT90CAN32/64/128



2. 動作の理屈

位置感知器とでのBLDCモータの制御はA/D変換器(ADC)とPWM出力を持つタイマ/カウンタのように基本的なハードウェア周辺機能の特徴とする十分に強力なマイクロコントローラで実装することができます。ATMELのAT90CAN32/64/128はBLDCモータ制御に対する必要条件を良好に網羅し、未だ他の作業を可能にする資源を持ちます。他の関連作業は例えば、CAN,SPI,UART,TWI規約を使用して通信を行うことができます。

3相BLDCはいくつかのコイルを持つ固定子から成ります。基本的な3相BLDCモータは3つのコイルを持ちます(図2-1をご覧ください)。一般的にこの3つのコイルはU,V,Wとして参照されます。多くのモータでは、より小さな回転段階とより小さなトルク揺らぎを持つように基本コイル数が多重化されます。

BLDCモータの回転子は偶数の永久磁石から成ります。回転子の磁極数もモータの段階量とトルク揺らぎに影響を及ぼします。より多くの極がより小さな段階と少ないトルク揺らぎを生じます。図2-1は1組以上の基本コイルと多数の極を持つ各種モータの形態を示します。



8ビット AVR[®]
マイクロコントローラ

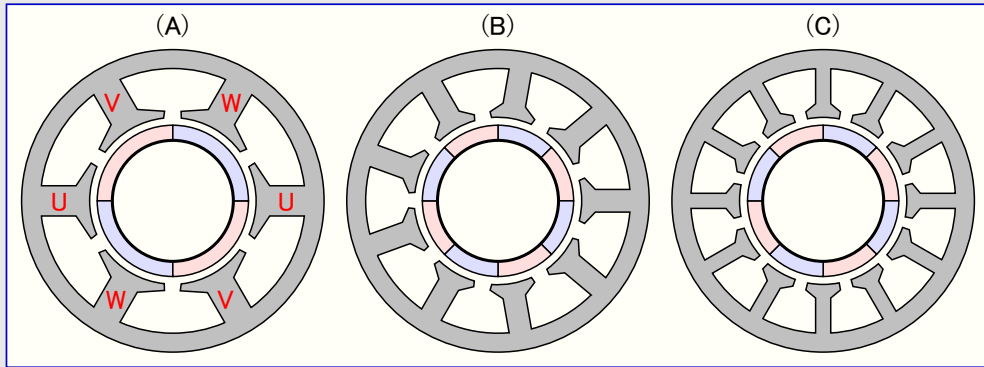
応用記述

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. 7616A-03/06, 7616AJ1-01/14

図2-1. BLDCモータの各種形式

モータ(A)は2組の基本コイルと4つの(磁)極を持ち、(B)は3組のコイルと8極を持ち、(C)は4組のコイルと8極を持ちます。



コイルが停まる一方で磁石が回転する事実はコイルが回転子に配置される伝統的なユニバーサルDCモータよりも軽いBLDCモータの回転子にします。

2.1. 基本BLDCモータの操作

3相BLDCモータをどう動かすかの説明を簡単にするため、3つのコイルと2つの磁極だけを持つ基本BLDCが考察されます。

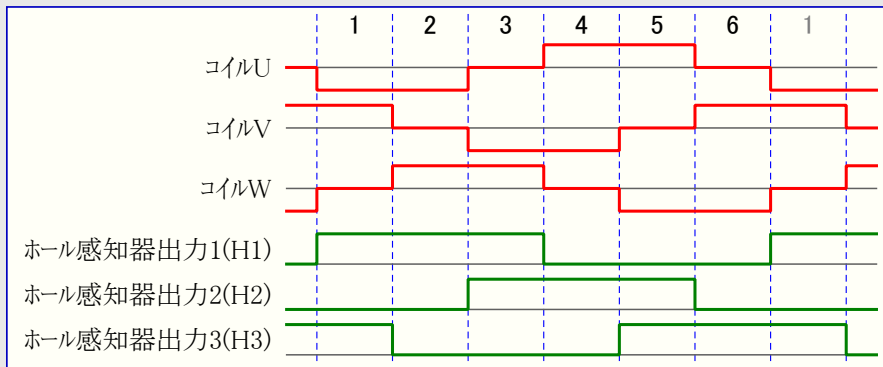
モータを回転させるためにコイルは予め定められた流れ(順序)で励磁(または活性化)され、時計回りと呼ぶ1方向でモータを回します。逆順での流れを行うと、モータは逆方向で動きます。この流れ(手順)がコイルに於ける電流の流れの方向を定義し、それによって磁界が個別コイルによって生成されることを理解すべきです。電流の方向はコイルによって生成される磁界の向きを決めます。磁界は回転子の永久磁石を引き付け、そして退けます。コイルでの電流の流れ、それによって正にその瞬間で磁界の極性を(正しい手順で)変更することによってモータは回転します。回転子を回すためのコイルを通る電流の流れ切り替えは整流(転流)として参照されます。

3相BLDCモータには6つの整流(転流)状態があります。整流(転流)に於ける6つ全ての状態が実行される時のその手順が回転を続けるために繰り返されます。この手順が完全な電氣的1回転を表します。多極モータについては電氣的な回転が機械的な回転に対応しません。4極BLDCモータは機械的な1回転のために電氣的な2回転周回を費やします。

BLDCモータに使用される最も基本的な整流(転流)駆動方法はON/OFFの仕組みです。コイルは(或るまたは別の方向で)導電するか、または導電しないかのどちらかです。コイルを電力に接続し、そして本来の主線が電流の流れを誘引します(駆動段を使用して達成されます)。これは正弦波整流(転流)または方形(ブロック)整流(転流)として参照されます。代わりの方法は正弦状波形を使用することです。この応用記述は方形(ブロック)整流(転流)法を網羅します。

磁界の強さがモータのトルクと速度を決めます。コイルを通る電流の流れを変えることにより、モータの速度とトルクを変えることができます。電流の流れを制御するための最も一般的な方法はコイルを通る(平均)電流の流れを制御することです。これはコイルに対する供給電圧のONとOFFを(高速で)切り替えることによって達成することができ、このためにON時間とOFF時間の間の関連がコイル上の平均電圧、そしてそれによる平均電流を定義します。

図2-2. BLDCモータ用の6つの整流(転流)状態に於ける、コイルを通る電流の流れ/U,V,Wのコイルによって生成される磁界。ホール感知器出力も示されます。

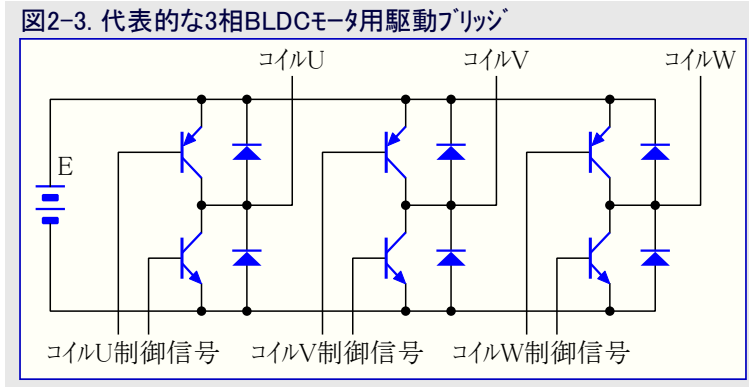


BLDCモータに関しては整流(転流)制御が電気構成物によって扱われます。整流(転流)を制御するための最も簡単な方法はモータ内側の位置感知器の組からの出力に従って整流(転流)することです。通常、ホール感知器が使用されます。ホール感知器は整流(転流)が変更されるべき時にそれらの出力を変えます(図2-2をご覧ください)。

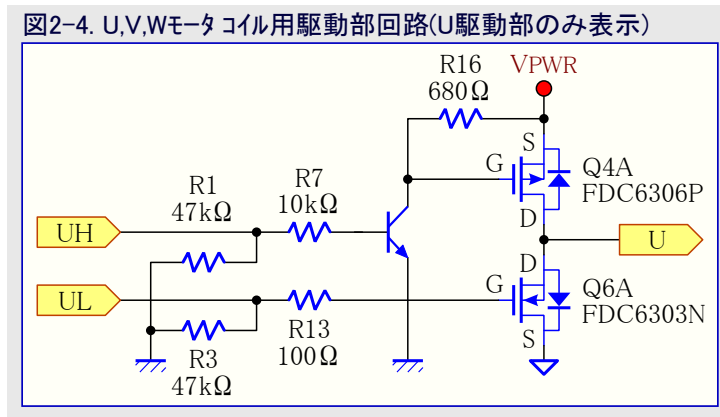
BLDCモータ制御応用に於ける電気構成物に関する2つ目の機能は開路または閉路のどちらかの制御によって望むような速度であることを保証することです。けれどもどちらの場合に於いても、停止検出(回転を妨げられたモータ)と過負荷検出を持つことが推奨されます。

2.2. 実装 - ホール感知器に基づくBLDCモータの制御

この実装は開路でのBLDCモータ制御です。停止と過負荷の状況に応答できるようにモータ速度が測定され、そしてモータ電流を監視することができます(未実装)。3つのPWMチャンネルがモータの速度を制御するための半ブリッジのLow側に接続されます。BLDCモータ用の代表的な駆動段は図2-3.で見ることができます。



AVRからの論理出力レベルでHigh側FETを直接制御することが不可能なことに適応するために、実際としては駆動段が僅かに異なって実装されます。図2-4.は各コイルに対する実際の駆動部実装を示します。望むなら、他の実装を用いることができます。駆動部の既定状態はOFFです。



OC1A,OC1B,OC1Cの3つのPWMチャンネルが駆動ブリッジのLow側(例えば、図2-4.でのUL)を制御します。これはタイマ/カウンタ資源の最小使用でハードウェアに基づくPWMを用いて電流の流れを制御する可能性を与えます。これはPWM出力のデューティサイクルを変えることによってモータの速度を制御し、モータの電流の流れとそれによる速度(トルク)が制御されます。

更にブリッジのHigh側もPWMに基づく制御が可能で、AT90CAN32/64/128のタイマ/カウンタ1に加えてタイマ/カウンタ3も必要です。この応用記述と共に配給される実装ではHigh側駆動部が汎用入出力によって制御されます。

能動ブレーキが使用される場合、FET上にもっと平等に電力損失を分配するように駆動部のHighとLowの両方の側にPWMチャンネルを用いることが望まれ得ます。けれども、殆どの応用でこれは必要とされません。

電流の流れを測定するのに1つのADCチャンネルを使用することができます(未実装)。A/D変換器(ADC)は10ビットの分解能を持ち、内部2.56V基準電圧を使用することができます。これは概ね2.4mVの精度を与え、そしてこれは0.22Ωの分圧(電流検出)抵抗上の電圧がそれを通して1A流れる時に220mVであるので、過電流検出に関して充分です。望むなら、ADCは与えられた採取周波数で、切り替えまたは継続的な走行でない時に電流を測定するためにPWMによって起動することができます。モータ速度を設定するための可変抵抗器電圧を測定するのに2つ目のADCチャンネルを使用することができます(モータの速度を制御するのにデジタル通信インターフェースが使用されない場合に有用です)。

ホール感知器出力は全てがレベル変化での割り込み(外部割り込み)を特徴とするポートEの3つのピンに接続されます。ホール感知器出力がそれらの論理レベルを変えた場合に割り込みが実行され、新しいホール感知器出力に対応する整流(転流)状態が決められます。

使用される資源の概要が表1.で一覧にされます。

CAN,UART,SPI,TWI通信に関するハードウェア資源が必要ならば未だ利用可能なことは言及する価値があります。通信応答時間での潜在的な影響が第一に考慮されないなら、通信に対して割り込みを使用することが推奨されないことに注意してください。

表1. モータ制御に使用される資源

資源	使い方
PB5,6,7 (タイマ/カウンタ1:OC1A/B/C)	Low側駆動部制御(UL,VL,WL)
PB2,3,4	High側駆動部制御(UH,VH,WH)
PE5,5,6	ホール感知器入力(A,B,C)

2.3. CANインターフェース

本実装はモータの速度と方向を制御するのにCAN網を使用し、それはモータの開始と停止が可能です。CAN網を通してモータの測定速度を取得するための特殊フレームもあります。表2.はファームウェアとインターフェースするためのフレーム内容を詳述します。

表2. CAN通信に使用するフレーム

形式	ID	データ	活動
データフレーム	\$120	(無効)	モータ走行
データフレーム	\$121	(無効)	モータ停止
データフレーム	\$122	HHLL	モータ速度設定(速度=\$HHLL)
データフレーム	\$123	XX	モータ方向設定(XX=0:CCW,XX=1:CW)
遠隔フレーム	\$124	DLC=2	測定された速度値取得

CAN通信はCANバスでの通信手続きのためのホーリング機構実装に良好であるべき高速のために、割り込み下で開発されています。平均CAN割り込み間隔は160マシン周期で、CAN割り込みは方向、速度を変更、または測定した速度を得るためにAT90CAN32/64/128へ新しい命令を送る時にだけ実行されます。

2.4. ソフトウェア説明

全てのコードは(4Kバイトまでのバイナリ出力で無料の)IAR EWAVR 4.11Aコンパイラを使用してC言語で実装されています。この実装で利用可能な関数が下で一覧にされます。最も重要な関数、ホール感知器出力での変化で整流(転流)変更を処理する外部割り込みルーチンは流れ図によって記述されます。

割り込み処理整流(転流)の高速実行を保証するため、この実装は或る変数に対して多数のレジスタを固定化します。コンパイラの文字列処理用標準ライブラリ使用時を除き、IARコンパイラはこれらの特定レジスタを減多に使用しません。例え衝突が出現したとしても、これは標準ライブラリを再コンパイルすることによって処理することができます。

`void Init_MC_timer1_pwm(void)`

タイマ/カウンタ1を高速PWM動作形態での走行に初期化します。

OC1xは比較一致で解除(0)されます。

`void Init_MC_Pin_Change_Interrupt(void)`

ホール感知器信号を感知するのに使用されるピンをピンのレベルが変化した(上昇と下降の両端)場合に割り込みを生成するように構成します。

`void Set_Direction(unsigned char direction)`

整流(転流)表位置指示子を時計回りまたは反時計回りの表のどちらかの点に設定します。先にモータの速度を減じることなく方向を変えることは推奨されず、完全に停止することが望まれます。

`void Set_Speed(unsigned int speed)`

PWM出力のデューティ サイクル、それによってモータの速度を制御するタイマ/カウンタ1の比較レジスタを更新します。使用される方法は全てのPWMチャンネルが同時に更新される(、そして同じデューティ サイクルを保つ)ことを保証します。

`void Init_Speed_Timer0(void)`

タイマ/カウンタ0をCLK_{I/O}/1024での溢れに初期化します。タイマ/カウンタ0(8ビット)は8MHzのクリスタルで32ms毎に溢れます。この時間基準はモータ速度の測定に使用されます。

`_interrupt void TIMER0_OVF_ISR(void)`

タイマ/カウンタ0割り込みは8MHzクリスタルで32ms毎に起き、それによってMeasured_speed変数が更新されます。

`void Run_motor(void)`

モータを走行するためにOC1x出力を許可します。

`void Stop_motor(void)`

モータを停止するためにOC1x出力を禁止し、駆動段へ接続されるAVRからの出力を浮かせませす。

`void Hall_ISR(void)`

駆動部のLow側を制御するPWM出力と駆動部のHigh側を制御するI/Oを更新します。最高の割り込み速度を保証するため、割り込みで使用される変数は(この目的だけに固定化され、)予約されたレジスタに置かれます。更に、整流(転流)を行うのに必要とされる情報は、変位(オフセット)としてホール感知器入力信号を用いて非常に効率的にアクセスすることができる表で配置されます。この割り込みは図2-5.内の流れ図によって記述されます。

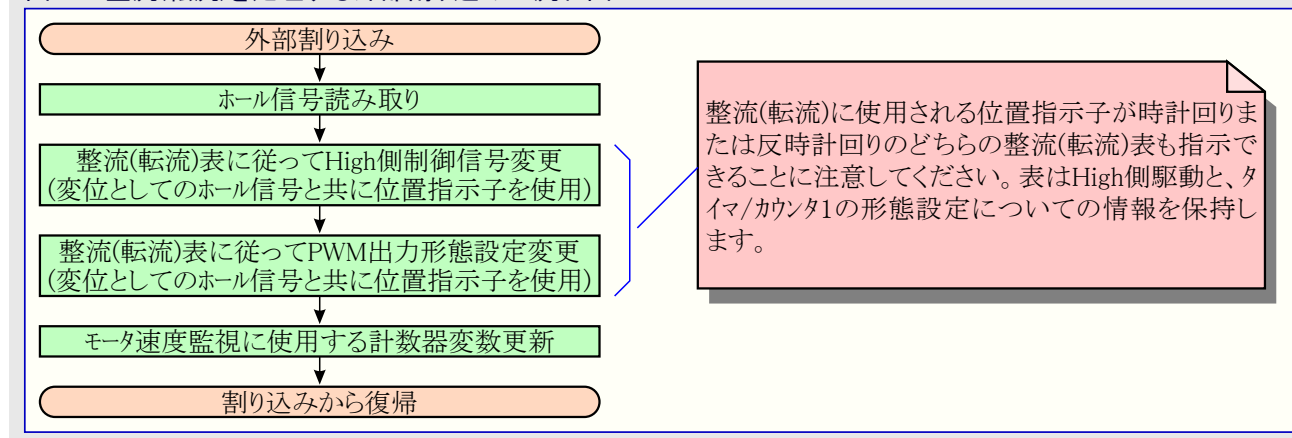
`void can_init(void)`

8MHzクリスタルで100kbps、CANチャンネル0が全フレームを受信、CANチャンネル1が測定した速度と共にフレームを送るようにCAN部署を初期化します。

`_interrupt void CAN_ISR(void)`

CAN割り込みサブルーチン、受信したCANフレームに関係する速度、方向の変数を更新し、測定した速度、モータの開始と停止を送り返します。

図2-5. 整流(転流)を処理する外部割り込みの流れ図



2.5. 現実装の性能

- ・ 速度制御に於ける10ビット分解能
- ・ 概ね1400バイトのコード量
- ・ ホール感知器信号変化に対する $5\mu\text{s}$ 以下の応答時間

外部割り込み(ホール感知器入力)ルーチンは概ね23CPU周期かかります。8MHzに於いてこれは電氣的な回転によって $17.25\mu\text{s}$ (23周期 \times 6整流(転流)状態)を与えます。これは1分間当たり3478k電氣的回転を生じます。4対の極のモータを使用する場合、(過電流制御と通信が考慮されなければ、)これは原理的に最大869k機械的RPMを与えます。



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

お断り: 本資料内の情報はATMEL製品と関連して提供されています。本資料またはATMEL製品の販売と関連して承諾される何れの知的所有権も禁反言あるいはその逆によって明示的または暗示的に承諾されるものではありません。ATMELのウェブサイトに表示する販売の条件とATMELの定義での詳しい説明を除いて、商品性、特定目的に関する適合性、または適法性の暗黙保証に制限せず、ATMELはそれらを含むその製品に関連する暗示的、明示的または法令による如何なる保証も否認し、何ら責任がないと認識します。たとえATMELがそのような損害賠償の可能性を進言されたとしても、本資料を使用できない、または使用以外で発生する(情報の損失、事業中断、または利益の損失に関する制限なしの損害賠償を含み)直接、間接、必然、偶然、特別、または付随して起こる如何なる損害賠償に対しても決してATMELに責任がないでしょう。ATMELは本資料の内容の正確さまたは完全性に関して断言または保証を行わず、予告なしでいつでも製品内容と仕様の変更を行う権利を保留します。ATMELはここに含まれた情報を更新することに対してどんな公約も行いません。特に別の方法で提供されなければ、ATMEL製品は車載応用に対して適当ではなく、使用されるべきではありません。ATMEL製品は延命または生命維持を意図した応用での部品としての使用に対して意図、認定、または保証されません。

© Atmel Corporation 2006. 全権利予約済 ATMEL®、ロゴとそれらの組み合わせ、AVR®とその他はATMEL Corporationの登録商標または商標またはその付属物です。他の用語と製品名は一般的に他の商標です。

© HERO 2014.

本応用記述はATMELのAVR452応用記述(doc7616.pdf Rev.7616A-03/06)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。