

AVR496 : ATtiny861使用ブラシレスDC電動機制御

要点

- 感知器形態でのBLDC電動機制御
- タイマ/カウンタ1波形生成使用
- ハードウェア実装
- コード例

参考文献

- [1] ATtiny261/461/861データシート
 [2] AVR449:ATmega48/88/168を使う3相永久磁石電動機の正弦波状駆動
 [3] AVR430:MC300ハードウェア使用者の手引き
 [4] AVR469:MC301ハードウェア使用者の手引き

1. 序説

この応用記述はATtiny861 AVRマイクロコントローラを用いて感知器形態でブラシレスDC(BLDC)電動機制御を実装する方法を記述します。

ATtiny861のタイマ/カウンタ1を備えた高性能AVRコアは高速ブラシレスDC電動機応用の設計を許します。

この資料ではブラシレスDC電動機の動作原理の短い記述を与え、感知器形態でブラシレスDC電動機を制御する方法を詳述し、この応用記述で使われるATAVRMC301とATAVRMC300の基板の短い記述も与えます。

この応用記述は整流(転流)手順を制御するのにホール効果位置感知器を使うBLDC電動機制御応用だけを扱います。

2. 動作の理屈

ブラシレスDC電動機はそれらが多くの利点を持つため、益々多くの電動機応用で使われています。

それらは保守を少ししか必要としない、または全く必要としないようにブラシを全く持ちません。

それらはユニバーサルDCブラシ電動機よりも少ない音響的且つ電氣的な雑音しか発しません。

それらは(可燃性の製品と共に)危険な動作環境で使うことができます。

それらはまた良好な重さ/大きさの対電力比を持ちます。

このような電動機は小さな回転子慣性を持ちます。巻線は固定子に取り付けられています。整流(転流)は電気回路によって制御されます。整流(転流)時間は位置感知器または巻線逆起電力測定のものによって提供されます。

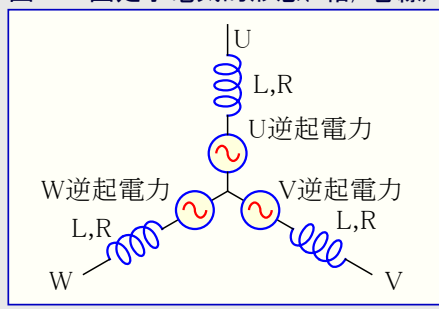
感知器形態では、通常、ブラシレスDC電動機は主な3つの部分、固定子、回転子、ホール感知器から成ります。

2.1. 固定子

基本の3相BLDC電動機の固定子は3つの巻線を持ちます。多くの電動機ではより小さなトルクの波紋を持つように巻線個数が複製されます。

図2-1.は固定子の電氣的回路図を示します。これは直列にインダクタンス、抵抗、1つの逆起電力の3つの要素を各々が含む3つの巻線から成ります。

図2-1. 固定子電氣的形態(3相,3巻線)



8ビット AVR[®]
マイクロコントローラ

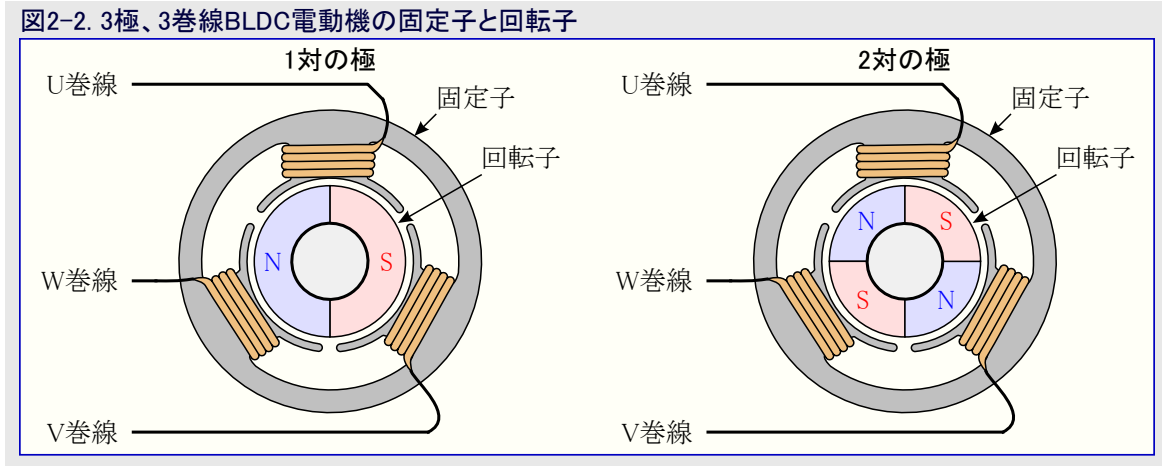
応用記述

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. 7827A-04/09, 7827AJ2-04/21

2.2. 回転子

BLDC電動機の回転子は偶数の永久磁石から成ります。回転子の磁極数も電動機の段階量とトルク波紋に影響を及ぼします。より多くの極は段階をより小さくしてトルク波紋を少なくします。永久磁石は1～5対の極になります。或る場合ではそれが最大8対の極になり得ます(図2-2)。

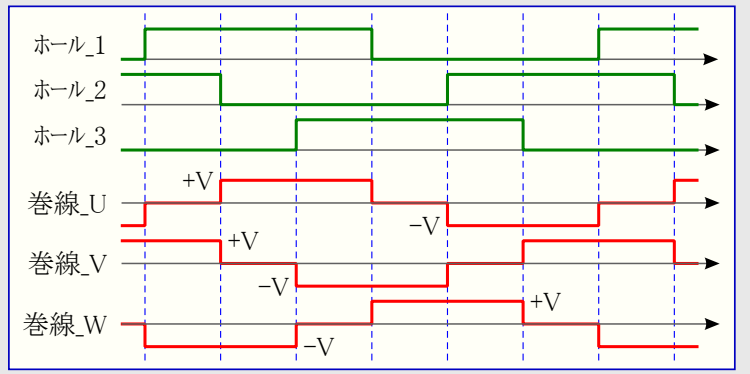


2.3. ホール感知器

ホール感知器は120°毎に配置されます。これらの感知器とで、6つの異なる整流(転流)が可能です。相整流(転流)はホール感知器の値に依存します。

ホール感知器値変化時に巻線への電力供給が変わります。正しい同期整流(転流)でトルクは殆ど一定且つ高くに留まります。

図2-3. CW回転に対するホール感知器信号



2.4. 相整流(転流)

3相BLDC電動機の実作法の説明を簡単化するため、3つの巻線だけを持つ代表的なBLDC電動機が考えられます。直前で示されたように、相整流(転流)はホール感知器値に依存します。電動機巻線が正しく給電されている時に磁界が生成されて回転子が動きます。BLDC電動機に使われる殆どの基本整流(転流)駆動法はON/OFFの仕組み、巻線が誘導または非誘導のどちらかです。同時に2つの巻線だけが給電され、3つ目の巻線は浮きです。電力への巻線接続と中立バスが電流の流れを誘導します。これは台形整流(転流)または塊整流(転流)として参照されます。

ブラシレスDC電動機に命じるために3つの半ブリッジで作られた電力段が使われます。下の図2-4は3つの半ブリッジ回路図を示します。

図2-4.

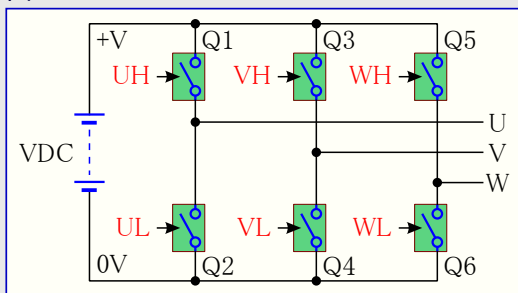


表2-1.

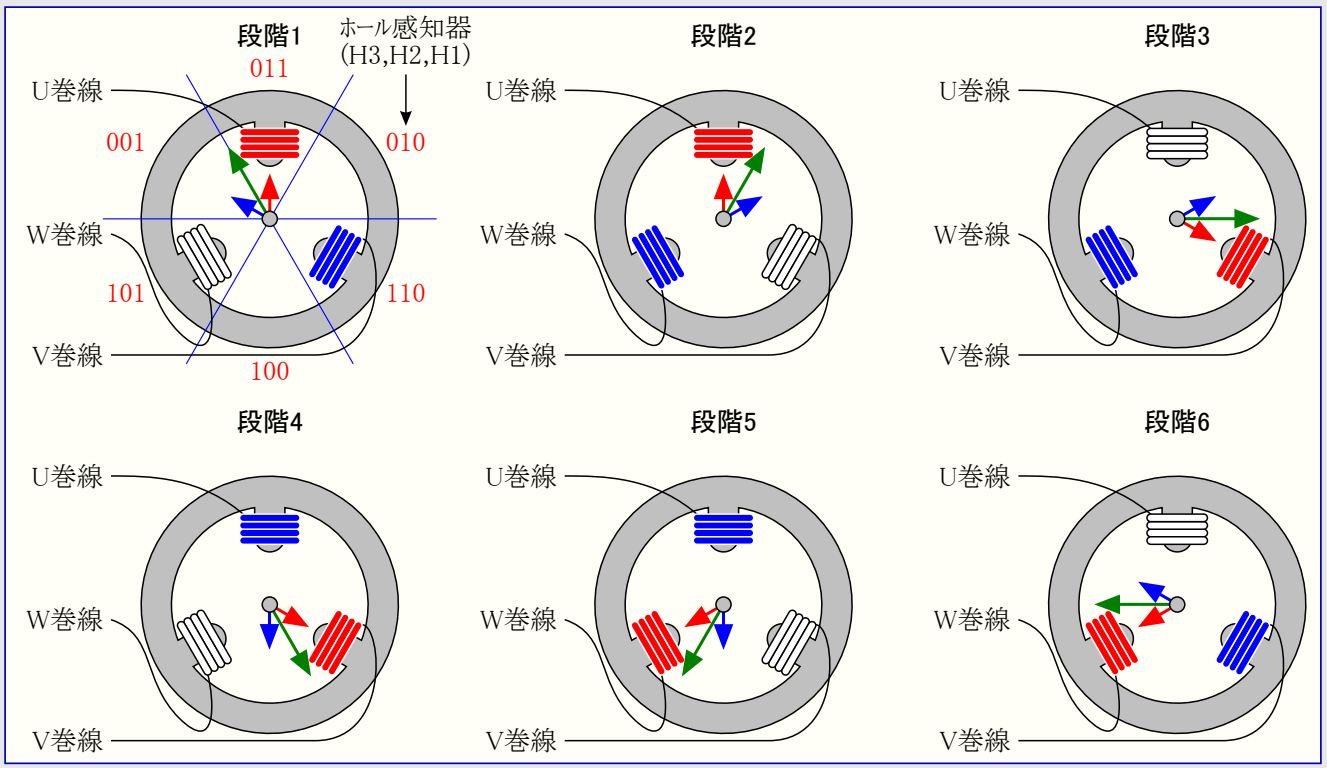
ホール感知器値(H3,H2,H1)	相	スイッチ
1 0 1	U-V	Q1:Q4
0 0 1	U-W	Q1:Q6
0 1 1	V-W	Q3:Q6
0 1 0	V-U	Q3:Q2
1 1 0	W-U	Q5:Q2
1 0 0	W-V	Q5:Q4

電氣的回転=機械的回転×P(極数)

2.5. 速度とトルクの制御

巻線の通る電流の流れを変えることにより、電動機の色度とトルクを調整することができます。電流の流れを制御する最も一般的な方法は巻線を通る平均電流の流れを制御することです。平均電圧とこれによる速度を含む平均電流を調整するのにPWM(パルス幅変調)が用いられます。例えば、PWM周波数は応用(トランジスタの最大切り替え周波数、電動機の色度的パラメータ、整流(転流)損失、可聴周波数など)に従って10k~200kHzの範囲が選ばれます。

図2-5.



整流(転流)は回転界磁を作成します。段階1のU相はスイッチQ1(図2-4.参照)によって+DCバス電圧に接続され、V相はスイッチQ4によって接続され、そしてW相は他のスイッチ(Q2, Q3, Q5, Q6)が開放のために無給電です。2つの磁束ベクトルはU相(赤矢印)とV相(青矢印)によって生成されます。この2つのベクトルの和は固定子磁束ベクトル(緑矢印)を与えます。そして回転子は固定子磁束に従おうとします。回転子が与えられた位置に達すると直ぐにホール感知器はその位置の新しい("010"から"011"へ)論理状態を与え、新しい電圧様式が選択されてBLDC電動機に印加されます。V相が無給電にされてW相がGNDに接続され、そして新しい固定子磁束ベクトル'段階2'に帰着します。

整流(転流)図の図2-3.と表2-1.で記述される切り替え手順は、6つの整流(転流)段階に対応する6つの異なる固定子磁束ベクトルを示します。この6段階が回転子の電色的1回転を提供します。

3. ATtiny861マイクロコントローラ

3.1. ATtiny261/461/861での沈黙時間付きPWM信号生成

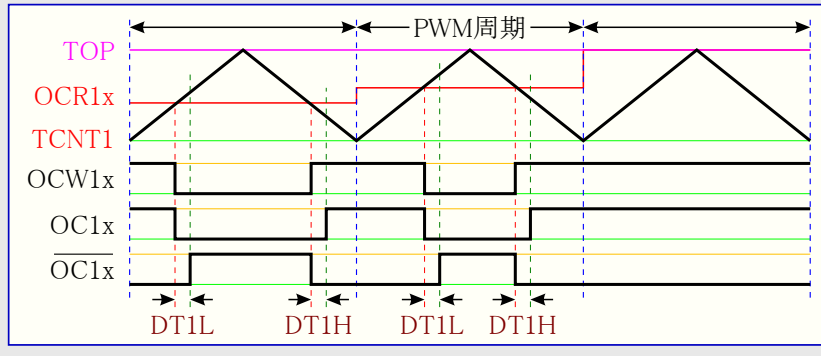
ATtinyX61系列のタイマ/カウンタ(TC1)は3相電動機の駆動に対して非常に上手く適合します。それは64MHzのPLLで走行することができ、10ビットの分解能を持ちます。構成設定可能な沈黙時間を持つ3つの補完出力対に群化される、6つのPWM出力はこの計時器から生成することができます。"PWM6"動作形態はブラシレスDC電動機の塊整流(転流)に対して完璧です。最大安全性に関して、ハードウェア誤り保護部はCPUからのどんな介入もなしにPWM駆動部を禁止することができます。

3つの半ブリッジ駆動段を制御するために、TC1の"位相/周波数基準PWM動作"が使われます。この動作形態では、ハードウェア沈黙時間挿入を持つ3つの補完PWM出力対を生成することができます。これはまさに3つの半ブリッジ駆動段とPWM生成で選ばれたものとで3相正弦状駆動波形を生成するのに何が必要とされるかです。

3つの補完出力対の1つの動きは図3-1.で見ることができます。計数器は上昇/下降計数動作形態で計数します。OCR1xレジスタが現在のデューティサイクルを指定します。図に於いてOCW1xとして記される中間波形は上昇計数時の比較一致で出力を解除し、下降計数時の比較一致で出力を設定することによって生成されます。この中間波形は、この波形から2つの出力を順に生成する沈黙時間生成器に供給します。OCW1xがHighになった後に指定した沈黙時間DT1Hが経過されるまでHighにならないのを除き、非反転出力OC1xはOCW1xに従います。OCW1xがLowになった後に指定した沈黙時間DT1Lが経過されるまでLowにならないのを除き、反転出力OC1xはOCW1xに従います。その結果が沈黙時間を持つ補完出力対です。

半ブリッジのデューティサイクルを制御するのに1つのレジスタOCR1xだけの変更が必要です。半ブリッジの平均出力電圧はこの信号に比例します。

図3-1. PWM信号生成



3.2. PWM基本周波数

タイマ/カウンタ1のクロックは以下に於いて $f_{CLKT/C1}$ として参照されます。タイマ/カウンタ1のクロック周波数の関数としてのPWM周波数は式3-1から計算することができます。

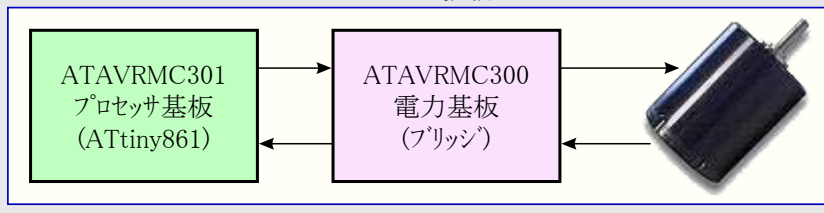
64MHzのタイマ/カウンタ1クロック周波数と10ビット分解能でのPWM周波数は従って31.28kHzです。

式3-1. 計時器クロック周波数の関数としてのPWM基本周波数

$$f_{PWM} = \frac{f_{CLKT/C1}}{2 \times TOP - 2}$$

4. ハードウェア説明

図4-1. ATAVRMC301 & ATAVRMC300接続



電力ブリッジ(Q1~Q6)は電動機DC電圧を調整するのにPWM信号によって変調されたUH,UL,VH,VL,WH,WLの6つの信号を通して制御されます。3頁の「速度とトルクの制御」をご覧ください。

図4-2.

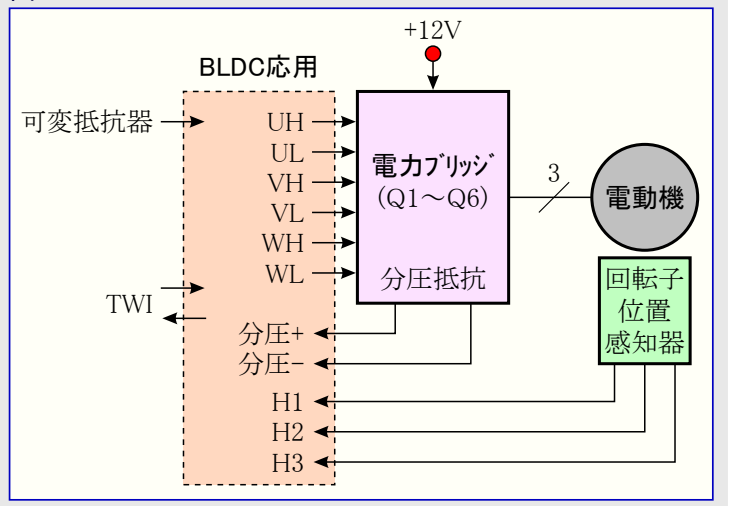


図4-3.

UL	PB0/OC1A	SDA/PA0	TWI/speed
UH	PB1/OC1A	ADC1/PA1	Speed
VL	PB2/OC1B	ADC2/SCL/PA2	TWI
VH	PB3/OC1B	AREF/PCINT3/PA3	Hall_1
VCC	VCC	AGND	AGND
GND	GND	AVCC	AVCC
WL	PB4/OC1D	ADC3/ICP0/PCINT4/PA4	Hall_2
WH	PB5/OC1D	ADC4/AIN2/PCINT5/PA5	Hall_3
Fault/Speed	PB6/ADC9/INT0	ADC5/AIN0/PCINT6/PA6	Shunt+
デバッグWIRE	PB7/RESET/ADC10	ADC6/LAIN1/PCINT7/PA7	Shunt-

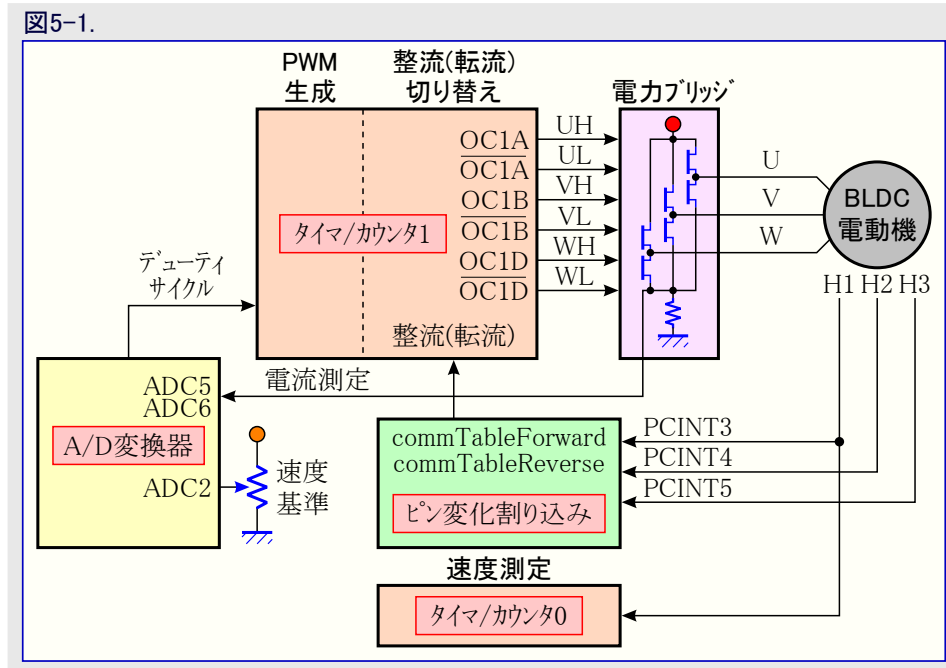
5. ソフトウェア説明

5.1. 前文

そしてAVR496ソフトウェア一括と共にHTML資料が配給されます。これはソースフォルダに配置された`readme.html`ファイルによって開くことができます。

- `main.c`
- `ushell_task.c`
- `USI_TWI_Slave.c`

5.2. BLDC電動機制御実装



5.3. 関数説明

```
void main(void):
void Commutate(void):
void SpeedMeasurement(vvoid):
void PLLInit(void):
void PWMInit(void):
void HallSensorInit(void):
void ADCInit(void):
void PortsInit(void):
void TWInit(void):
void MotorSetDutyCycle(uint16_t duty):
_interrupt void HallChangeISR():
_interrupt void ADCISR():
void Timer0Init(void):
_interrupt void ovfl_timer0(void):
```

5.4. CPUとメモリの用法

全ての測定は $f_{osc}=8\text{MHz}$ で実現されました。それらは電動機形式(極の対数)にも依存します。4対の極の電動機でホール感知器周波数は電動機周波数の4倍高くなります。

図5-1.の全ての結果は4対の極と6600rpmの最大速度を持つ3相BLDC電動機(ATAVRMC300キットで提供される電動機)で得られます。

表5-1. マイクロコントローラ利用率

関数	パラメータ	活動時間	活動間隔	使用率 (%)
HallChangeISR()	速度=6600rpm	10 μs	380 μs	2.7
ADCISR()	速度=6600rpm	4 μs	25 μs	16

同じ条件でマイクロコントローラとメモリの用法は次のとおりです。

- ・ TWIを通す通信規約を含み、1332バイトのコードメモリ (フラッシュメモリ占有率=17%)
- ・ スタックとTWIを通す通信規約を含み、153バイトのデータメモリ (SRAM占有率=30%)

6. ATAVRMC300&ATAVRMC301の構成設定と使い方

表6-1. ATAVRMC300ジャンパ設定

ジャンパ	位置	注釈
J1 (VHa)	1番ピンと2番ピンを短絡	VHa=+5V
J2 (VCC)	開放	VCC=+5V

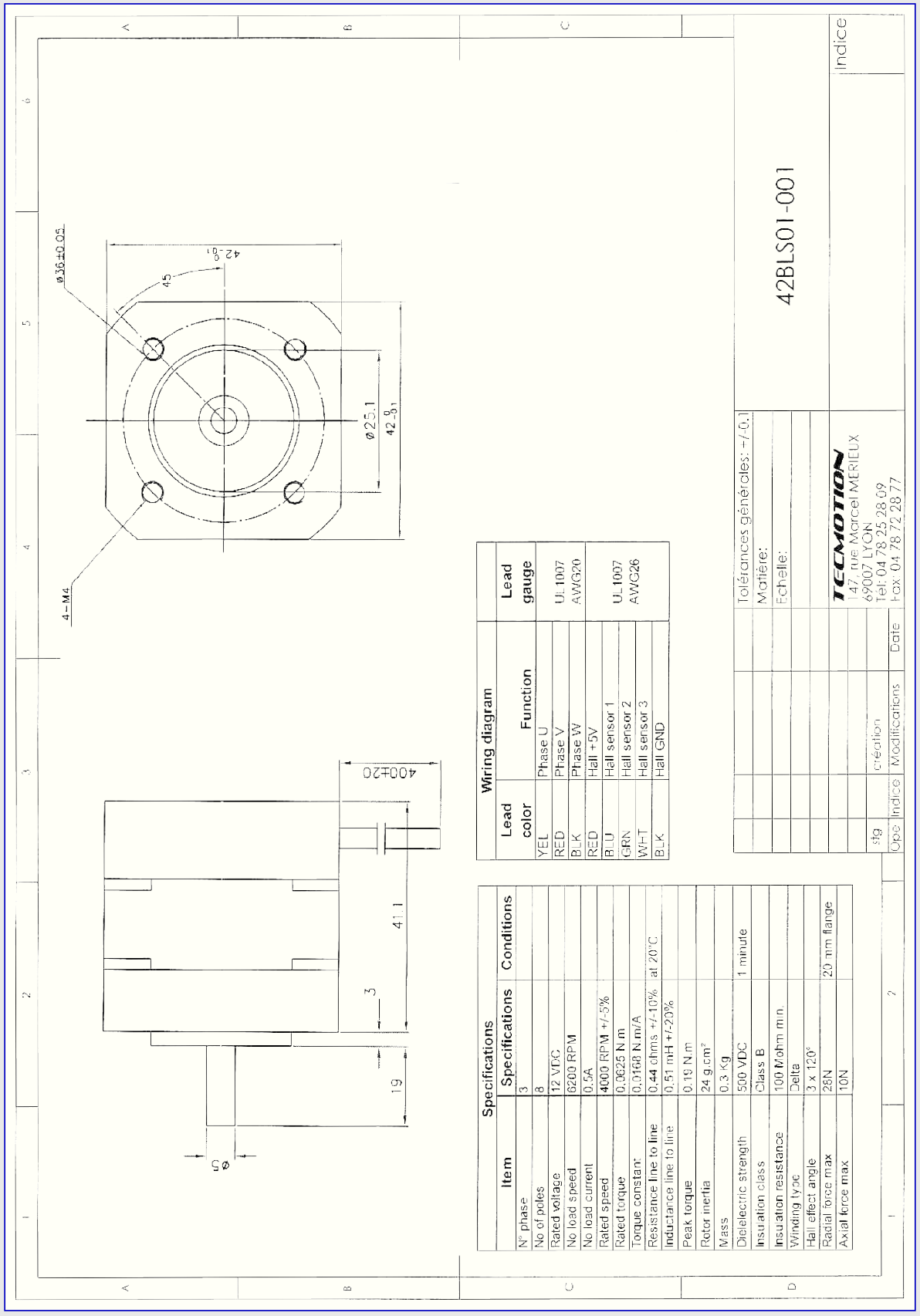
表6-2. ATAVRMC301ジャンパ設定

ジャンパ	位置	注釈
J8	速度⇒可変抵抗器 SCL⇒TWI	速度基準選択
J9	全て装着	PB0,1,2をUL,UH,VLに接続
J10	未装着	
J11	SH+	Shunt+をPA6に接続
J12	SH-	Shunt-をPA7に接続
J13	未装着	
J15	H1	H1をPA1に接続
J16	H2	H2をPA4に接続
J17	H3	H3をPA5に接続
J19	ハードウェア使用者の手引き参照	USB段用UVCC選択

7. 結び

8. 追補

図8-1. 42BLS01-001電動機特性





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

製品窓口

ウェブサイト

www.atmel.com

技術支援

avr@atmel.com

販売窓口

www.atmel.com/contacts

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のウェブサイトに位置する販売の条件と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。たとえば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 2009. 不許複製 Atmel®、ロゴとそれらの組み合わせ、AVR®、STK®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 2021.

本応用記述はAtmelのAVR496応用記述(doc7827.pdf Rev.7827A-04/09)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。