

AVR172 : ATAVRMC320とATmega32M1を使う ブラシレスDC電動機の感知器なし整流

要点

- 強力な感知器なし整流(転流)制御
- 立ち上げ手順

参考文献

- [1] ATmega32M1データシート
- [2] AVR194:ATmega32M1使用ブラシレスDC電動機制御
- [3] AVR430:MC300ハードウェア使用者の手引き
- [4] AVR470:MC310ハードウェア使用者の手引き
- [5] AVR471:MC320使用前の手引き
- [6] AVR928:BLDC電動機駆動のための量感知器なし法

1. 序説

この応用記述はATAVRMC320開発キットでブラシレスDC(BLDC)電動機の感知器なし整流(転流)を実装する方法を記述します。

ATmega32M1はBLDC応用で必要とされる外部部品数を減らす、統合された周辺機能が装備されます。ATmega32M1は感知器なし整流(転流)と更にホール感知器での整流(転流)にも適合しますが、この応用記述は感知器なし整流(転流)に集中します。

AVR928応用記述は感知器なし制御法の原理を記述し、念入り且つ先に読まなければなりません。

2. ハードウェア

ハードウェアはATAVRMC320開発キットの2つの部分である、ATAVRMC310とATAVRMC300の基板を含みます。

以下のATAVRMC300とATAVRMC310の使用者の手引きを参照してください。

- AVR430:MC300ハードウェア使用者の手引き
- AVR470:MC310ハードウェア使用者の手引き



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. 8306B-05/10, 8306BJ2-03/21



2.1. MC310ジャンパ設定

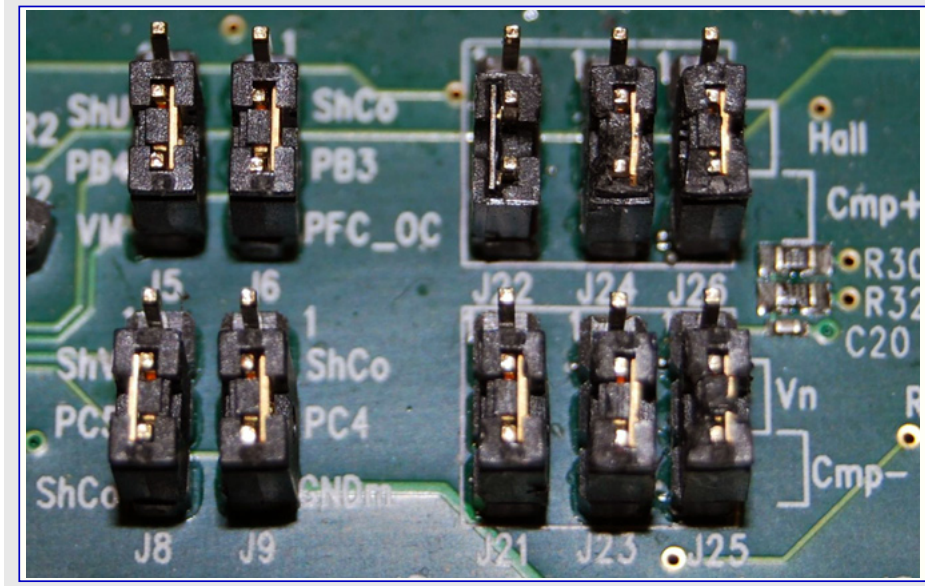
AVR172ファームウェアは以下のジャンパ設定で開発されました。

表2-1. 感知器なし制御用ATAVRMC310ジャンパ設定

指示名	設定	機能
J5	Vm	PB4をVm'に接続(必要ならば電動機電圧測定)
J6	PFC OC	過電流信号に接続
J7	なし	CAN応用によって使われます。
J8	ShCo	電流測定のためにPC5をShCoに接続
J9	GNDm	電流測定のためにPC4をGNDmに接続
J12	TxD	PD3をRS232駆動部に接続
	MOSIA	PD3をISPコネクタに接続 (ISP使用のため)
	RxDUSB	PD3をRxD1に接続 (USBインターフェース使用のため)
J13	RxD	PD4をRS232駆動部に接続
	SCK	PD4をISPコネクタに接続 (ISP使用のため)
	TxDUSB	PD4をTxD1に接続 (USBインターフェース使用のため)
J15	なし	終端抵抗を追加するためにCAN応用によって使われます。
J21	Cmp-	ACMP0-をV+W逆起電力(BEMF)状態に接続
J22	Cmp+	ACMP0+をU逆起電力(BEMF)状態に接続
J23	Cmp-	ACMP1-をU+W逆起電力(BEMF)状態に接続
J24	Cmp+	ACMP1+をV逆起電力(BEMF)状態に接続
J25	Cmp-	ACMP2-をU+V逆起電力(BEMF)状態に接続
J26	Cmp+	ACMP2+をW逆起電力(BEMF)状態に接続
J28	VCC	基板電源から基板上のUSBトングルへ供給

以下のMC310ジャンパ構成設定の写真もご覧ください。

図1. MC310ジャンパ構成設定



2.2. MC300ジャンパ設定

表2-2. 感知器なし制御用ATAVRMC300ジャンパ設定

指示名	設定	機能
J2	なし	ATAVRMC310基板に供給するための+5Vを提供

ATAVRMC300ではVmとVinのコネクタを同じ+12V/7A電源から供給することができます。それにも拘らずVin(プロセッサ供給電圧)に供給するのに独立した+12V/1Aを使うことができます。

2.3. 電源

このファームウェア例は電源 $V_m=12V$ に従って構成設定されています。
この電源は最大4Aの出力電流を提供できなければなりません。

2.4. 電動機

MC320内で提供されるBLDC電動機とMC300電動機制御キットは以下のような特性を持ちます。

製造業者	: TECMOTION
相数	: 3
極数	: 8 (4対)
定格電圧	: 24V
定格速度	: 4000rpm
定格トルク	: 62.5Nm
トルク定数	: 35Nm/A= k_{τ}
巻き線抵抗	: 1.8 Ω =R
逆起電力(BEMF)	: 3.66V/Krpm= k_e
絶頂電流	: 5.4A

$V_m=12V$ 時、定格速度は2000rpmです。

2.5. ATmega32M1構成設定

ATmega32M1は(対応するヒューズ'ビット'を設定して)PLLを使って16MHzで走行するように設定されなければなりません。

CKDIV8ヒューズは禁止されなければなりません。

拡張/上位/下位のヒューズ構成設定はFF/DF/F3です。

2.6. 技術的な助言

2.6.1. BLDC電動機の切断

BLDC電動機はそれが走行中、またはその巻き線が電流を運んでいる間に切断されてはなりません。PWMのデューティサイクルが0%で巻き線を通して電流が全く駆動されないように回転子が留まっている場合にBLDC電動機の切断が許されます。電源またはPWMを停止する時に高い慣性モーメントを持つBLDC電動機が相対的に長い時間走行し得ることに注意してください。

2.6.2. GNDと電力の配線

自身の基板の設計はGND配線と電力配線を大事にしなければなりません。プロセッサの電源と追加の信号調整部品(例えば、追加の高速比較器、演算増幅器など)は電動機電源と分離されなければなりません。GND接続は高電流のための電圧低下と雑音を防ぐために低抵抗且つ低インピーダンスでなければなりません。正しい動作のために多層基板内のGND面が推奨されます。

3. ファームウェア

例のファームウェアはAVR928応用記述で記載される感知器なし法に基づきます。

これはATmega32M1内部部品を使って感知器なし動作で動きます。

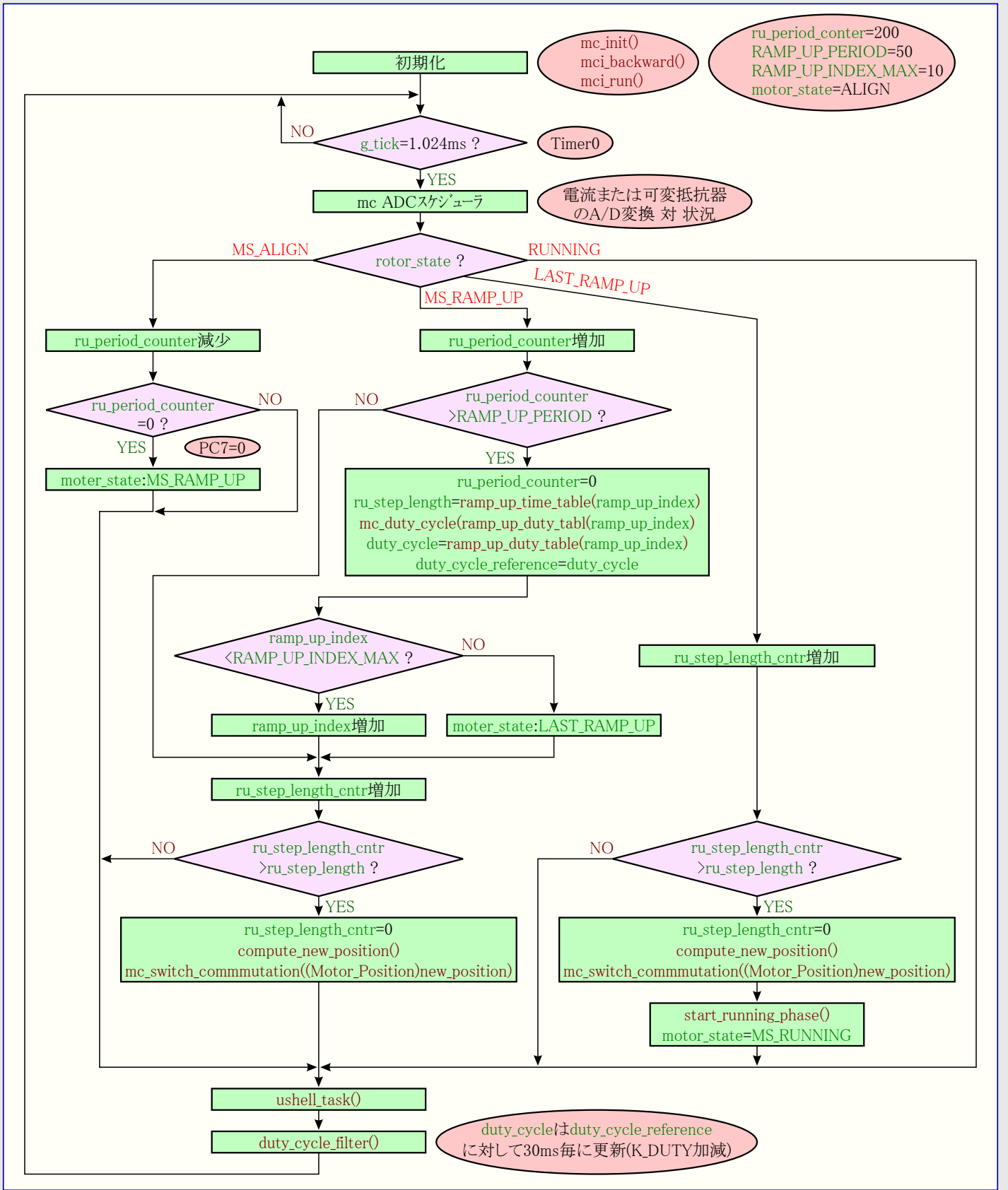
ソースファイルフォルダは[readme.html](#)ファイルを通して開くことができるHTML資料を組み込んでいます。

各種作業の原理はAVR928で詳述されます。ATmega32M1の応用は後続項で詳述されます。

3.1. 主流れ図

ファームウェアの主流れ図は下で記述されます。

図2. 主流れ図



各作業はタイマ/カウンタで1.024ms毎に生成されるg_tickによって計画化されます。

3.2. MS_ALIGN段階

ALIGN段階は電動機を特定位置に強制します。この段階の時間は`ru_period_counter`初期値(MC310電動機に対して200)である`ALIGN_TIME`定数で制御されます。

3.3. RAMP_UP段階

立ち上がり特性(デューティサイクルと時間)は以下のような2つの表に格納されます。

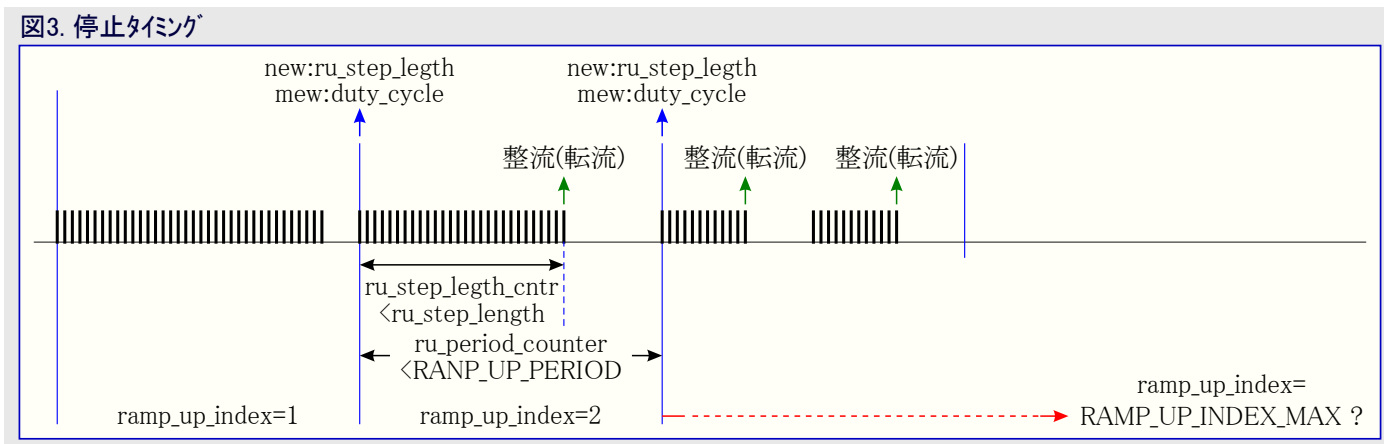
- `ramp_up_duty_table[]`: 段階のデューティサイクルを提供
- `ramp_up_time_table[]`: 段階の長さ(`ru_step_length`)を提供

これら2つの表は電動機と応用に対して特有です。

段階手順の走査と段階長の監視は以下のような3つの独立した計数器によって達成されます。

- `ru_step_length_cntr` : 通信時間(`ru_step_length`変数まで)を計数
- `ru_period_counter` : 段階長(`RAMP_UP_PERIOD`定数まで)を計数
- `ramp_up_index` : 段階番号(`RAMP_UP_INDEX_MAX`定数まで)を計数

下図は段階タイミングの波形を提供します。



3.3.1. 段階時間

段階時間は`RAMP_UP_PERIOD=50ms`です。

3.3.2. 段階数

パラメータ`RAMP_UP_INDEX_MAX=9`は10段階の立ち上がりを定義します。

3.3.3. パラメータ表

ファームウェア例ではキットで提供された電動機の特性に従って表が定義されています(「[2.4. 電動機](#)」項のパラメータをご覧ください)。

```
ramp_up_time_table[]={ 26, 23, 20, 17, 14, 11, 8, 5, 3, 2, 2};
ramp_up_duty_table[]={122, 124, 126, 129, 131, 133, 135, 137, 140, 143, 145};
```

3.3.4. Sp1/Pwm1

AVR928応用記述で定義された通常のパラメータは次のとおりです。

- `Pwm1=50%`
- `Sp1=Sp_max/60`

MC310のTECMOTION製電動機で定義されたパラメータは次のとおりです。

- `Pwm1=48%` (=122/256)
- `Sp1`:

`Sp1`は次のように`ru_step_length`の初期値によって定義されます。

```
ru_step_length=RAMP_UP_STEP_MAX=40
```

この変数は1つの整流(転流)が各々40msであることを決めます。

故に電気的な回転時間は120msです。電動機が4対の極を持つので、機械的な回転時間は480ms時間です。故に回転速度は $60 \div 0.48 = 125$ rpmです。

故に、`Sp1=Sp_max/32`です。

`ru_step_length`の2つ目の値は時間の表で26です。これは以降の整流(転流)時間を定義します。

3.3.5. Sp2/Pwm2

AVR928応用記述で定義された理論的なパラメータは次のとおりです。

- Pwm2=60%
- Sp2=Sp_max/6=Sp1/10

TECMOTION製電動機で定義されたパラメータは次のとおりです。

- Pwm2=57% (=145/256)
- Sp2:

Sp2は次のようにru_step_lengthの最終値(=2)によって定義されます。

この変数は1つの整流(転流)が各々4msであることを決めます。

故に電氣的な回転時間は12msです。電動機が4対の極を持つので、機械的な回転時間は48ms時間です。故に回転速度は $60 \div 0.48 = 1250$ rpmです。

故に、Sp2=Sp_max/3.2です。

これはAVR498応用記述で定義されたSp1とSp2間の通常の比率=10も追認します。

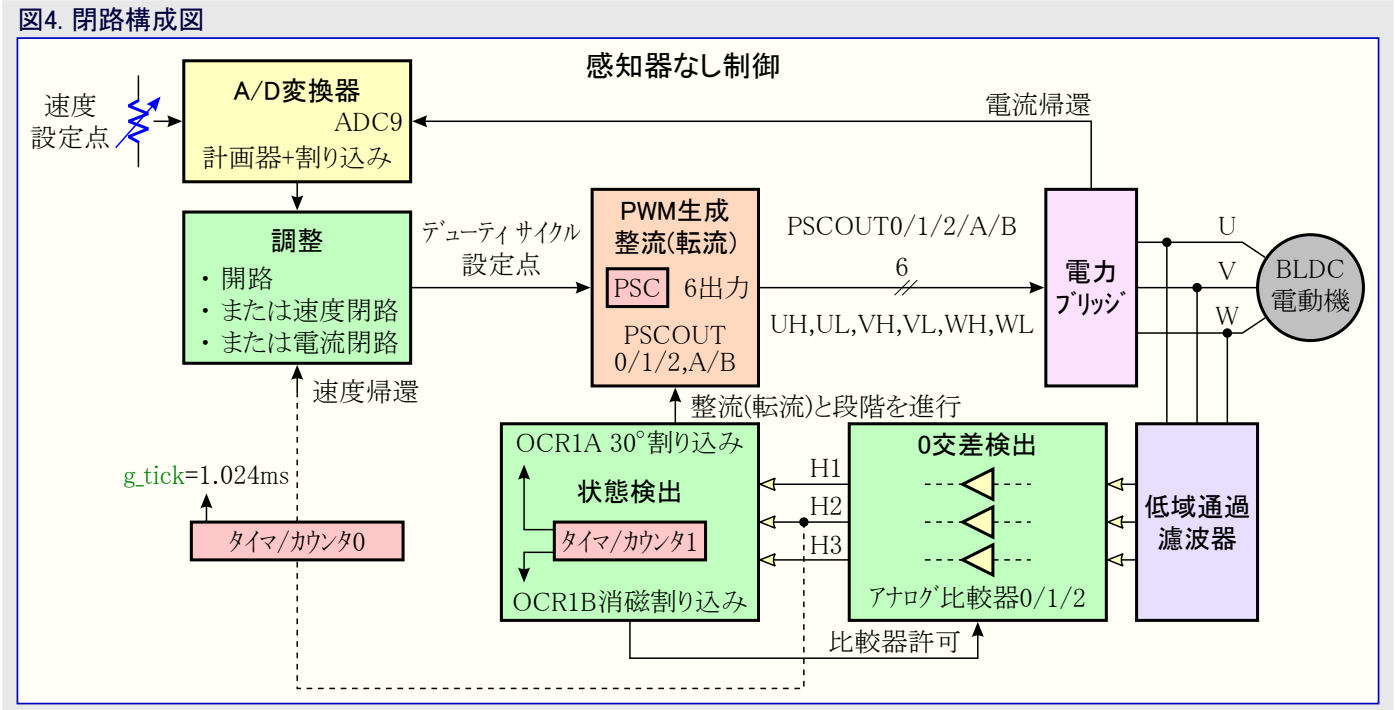
3.4. LAST_RAMP_UP段階

短絡した最終段階を避けるため、この段階はそれを保証するために最後の立ち上がり段階を監視し、閉路での走行前に正しく終了されます。

3.5. RUNNING段階

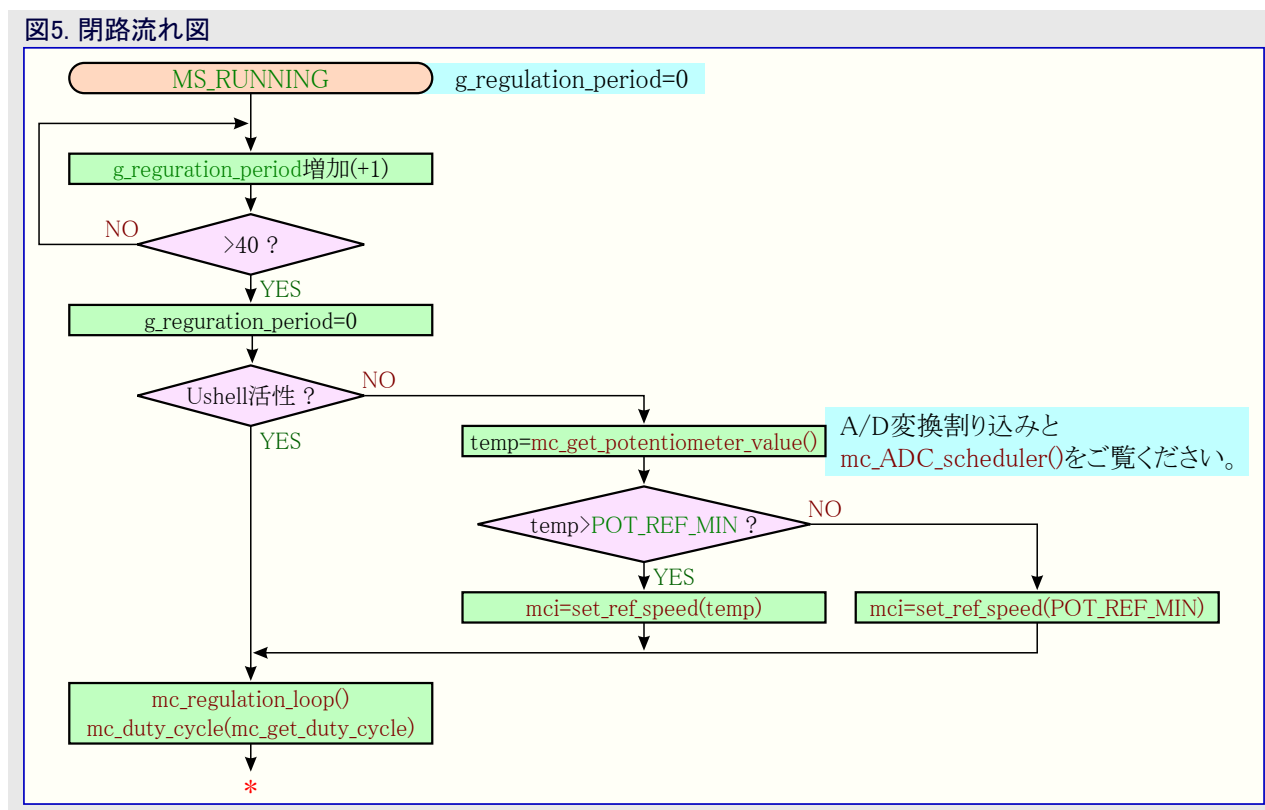
3.5.1. 閉路構成図

走行段階は以下の構成図の感知器なし閉路です。



3.5.2. 走行流れ図

この流れ図は以下のとおりです。



Motor_stateはMS_RUNNINGと等価を保ちます。

mci_set_ref_speed()関数は可変抵抗器調整または直列転送で受け取った速度命令に従って速度設定点を更新します。

mc_regulation_loop()関数に於いて、duty_cycle_referenceはPWM発生器を制御するデューティ サイクル変数です。この変数は以下の関数の結果です。

* OPEN_LOOPではmci_set_ref_speed()関数

* SPEED_LOOPではmc_control_speed(2*mci_get_ref_speed())関数

duty_cycle_referenceはref_speedとmci_get_measured_speed()の監視から計算されます。

$measured_speed = (KSPEED * 4) / mci_measured_period$

mci_measured_periodはアナログ比較器1の割り込みベクタで計算されます。この割り込みは周期を計算するのにタイマ/カウンタ0を使います。

* CURRENT_LOOPではmc_control_current(mc_get_potentiometer_value())関数

3.5.3. 感知器なし検知と整流(転流)管理

U,V,W相の0交差を検出するのにアナログ比較器0,1,2が使われます。

2つの連続的な0交差間の時間を監視するのにタイマ/カウンタ1が使われます。この時間は電動機の電氣的回転の1つの扇形に対応します。それは電動機の電氣的周期全体の60°と等価です。

0交差事象が起きると、タイマ/カウンタ1値が停止されます。そしてこの値は2で割られ(30°時間を提供)、タイマ/カウンタ1の比較Aレジスタに設定されます。その後この値は45°時間を供給するために自身の半分が加えられ、タイマ/カウンタ1の比較Bレジスタに設定されます。

タイマ/カウンタ1比較A事象は0交差後30°で起きます。それは次の整流(転流)状態を活性にして活性なスイッチが開放される時に段階の最後で生成されるインダクタンス(消磁)パルスの放電を避けるために0交差を遮蔽します。

電動機巻き線のインダクタンスのため、電圧は生成されたLdi/dtに等しく、消磁は電力ブリッジのダイオードを通して行われます。

タイマ/カウンタ1比較B事象は0交差の遮蔽を開放し、motor_step変数に従った比較器n割り込みを許可します。このタイマ/カウンタ1割り込みは消磁遮蔽遅延を提供します。

4. ファームウェアでのRS232通信

4.1. RS232インターフェースを使うためのATAVRMC310接続

直結ケーブルを通してPCのCOMポートをATAVRMC310のRS232コネクタに接続してください。

シリアル構成設定は以下のとおりです。

- 38400bps
- 8データビット
- 1停止ビット
- ハンドシェイクなし

4.2. PC応用

使用者は通常のPCシリアル通信応用(例えば、ハイパーターミナル)、またはAtmelのウェブ、URL:<http://www.atmel.com>からダウンロードすることができるAtmelの“電動機制御センター”応用で、RS232を通してファームウェアと通信することができます。

4.2.1. PC端末 : RS232メッセージと命令

通電で以下のようなこそメッセージが端末で受信されます。

“ATMEL Motor Control Interface”

ファームウェアに右の命令を送ることができます。

表4-1. 命令の一覧

命令	動作
ru	電動機走行
st	電動機停止
help	ヘルプ提供
fw	方向を正転に設定
bw	方向を逆転に設定
ss	速度設定(速度値が後続)
gi	識別子(ID)取得
g0	状態0取得
g1	状態1取得

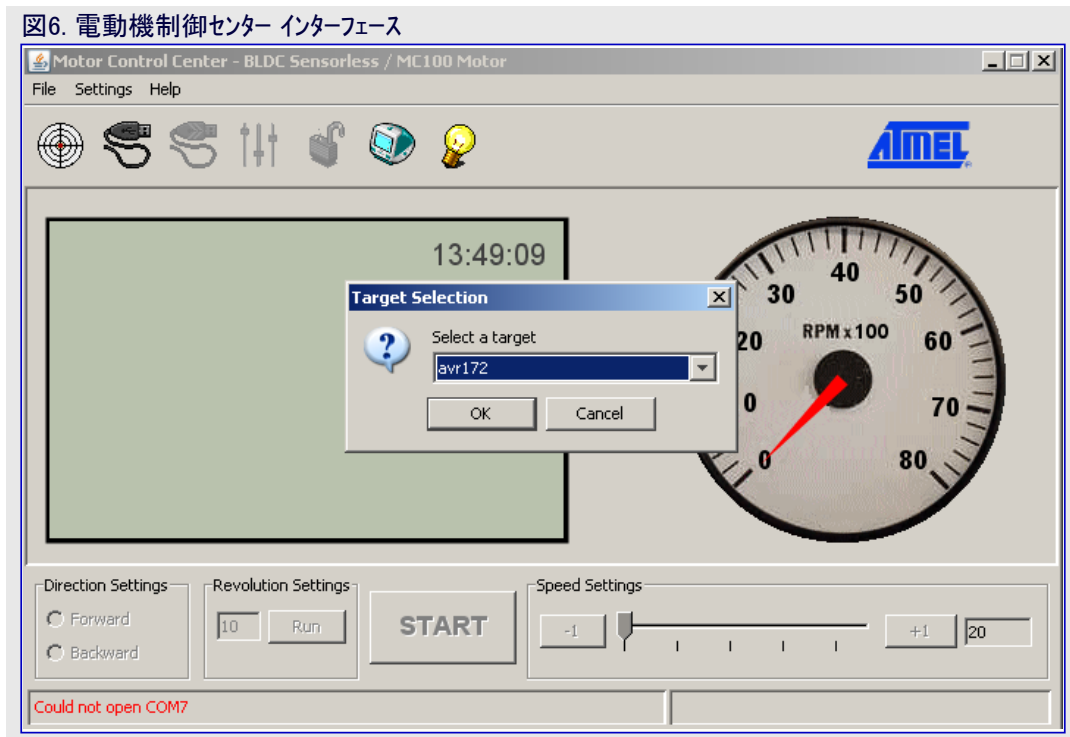
4.2.2. 電動機制御センター

使用者の手引きは以下のようなインストールフォルダで利用可能です。

C:\Program Files\Atmel\Motor Control Center\help\Overview.htm

正しい構成設定を得るため、最初にAVR172目的対象が選択されなければなりません。

目的対象を選択するにはFile⇒Select Target命令を実行、またはツールバーの 鈕をクリックしてください。以下のダイアログが現れます。



5. USB通信

通信はPCからMC310基板のUSBコネクタへ達することができます。

「AVR470:MC310ハードウェア使用者の手引き」が成し遂げるための構成設定を詳述します。

通信ポートは仮想COMポートになります。「4. [ファームウェアでのRS232通信](#)」章で記述されるのと同じツールがこの仮想COMポートを通して使えます。



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 2010. 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AVR172応用記述(doc8306.pdf Rev.8306B-05/10)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。