

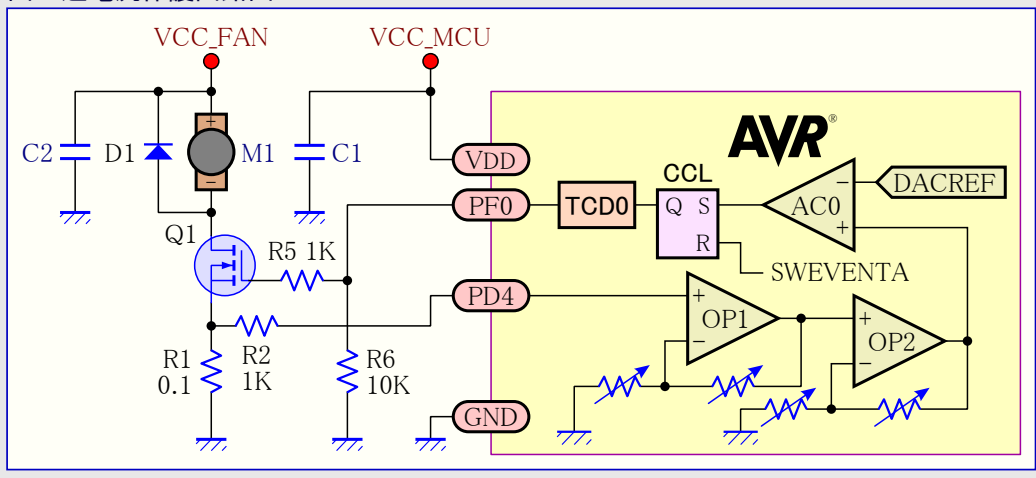
## AVR® DBに統合された演算増幅器を使う過電流保護

### 序説

著者: Johan Vaarlid and Martin Mostad, Microchip Technology Inc.

AVR® DBのタイマ/カウンタD型(TCD)は障害状況下で出力を停止するのに使うことができる非同期事象入力の特徴です。この応用記述は送風電動機障害を検出し、TCDの非同期事象入力への合図としてこの検出を送って負荷を停止するのに、構成設定可能な内部OPAMP(アナログ信号調整)とアナログ比較器を使うことによって過電流を検出する方法を実演して説明します。図1は動作原理を概説します。

図1. 過電流保護回路図



通常動作ではTCD出力がFETのゲート経路で送風器の速度を制御しています。アナログ比較器(AC)はマイクロコントローラに統合された演算増幅器を使って実装される電流検知増幅器を通して送風器電流を監視します。

R1は電動機を通過する電流から電圧を生成する電流分流器(電流検出)抵抗です。R2はR1上の尖頭高電圧の事象でマイクロコントローラへの電流を制限します。

ACは送風器電流が選んだ閾値を超えて上昇すると直ぐに事象を送るように構成設定されます。このような電流での尖頭電流の有り得る原因は機械的な障害によって停止される送風器です。デバイスの事象システムはACからの事象を構成設定可能な注文論理回路(CCL:Configurable Custom Logic)のRSラッチに配線し、これがTCD出力を停止します。

送風器障害で、上昇する電流はQ出力をHighにするRSラッチのS入力に事象を送るためのACを起動します。その非同期事象入力のため、TCDは送風器の駆動を中止して供給電流を停止します。

TCDによって送風器供給が中断された後、応用に応じて応用特有活動を実装することができます。いくつかの有り得る活動は再開試行、動作中止、障害合図を含みます。この例ではAVR128DB48 Curiosity Nano上の釦を押し放すことによって開始される簡単な再始動算法にしました。

この応用記述は機能安全の実装の1例です。送風電動機で尖頭電流が起き得る1つの方法は電動機が重い負荷を経験する時、例えば、指や物体を送風機の羽に押し付けたり、動けなくなった時です。このような出来事では傷害から最終使用者を守り、損害の機会を減らすため、自動停止を使うことができます。

この応用記述で記述された結果を置き換えるためのコード例はGitHubで利用可能です。



GitHubでコード例を見てください。  
貯蔵庫を閲覧するにはクリックしてください。

AC、TCD、CCL、OPAMP、デバイス性能、全般的な構成設定はデバイスのデータシートで入手可能です。

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。

---

## 要点

---

- 広範囲の標準負荷電流の流れに対するACの自動校正
- この解決策を更にもっと適応可能にする調整可能な利得のための内部梯子型抵抗を持つ統合された演算増幅器
- 少ない部品数とPCB実装領域
- 簡単化された開発と適応のために提供されるMPLAB® MINDI™モードと回路図

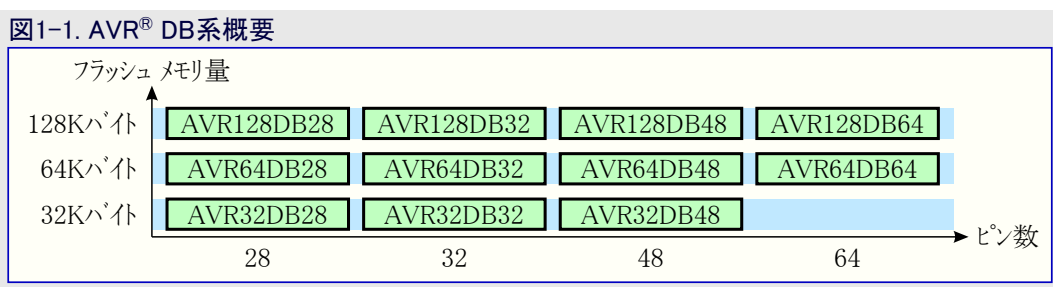
## 目次

序説	1
要点	2
1. 関連デバイス	4
2. 概要	4
3. ハードウェア構成設定	4
4. 尖頭電流検出コード	5
4.1. 動作コードの結果	5
4.2. 初期化	6
4.3. 電動機起動とAC校正	8
4.4. 検出と再始動	9
5. MPLAB® Mindi™	9
5.1. MPLAB®を使う模式化	9
5.2. AVR® DB構成部品	11
5.3. シミュレーション走行	11
6. 参考文献	12
7. 改訂履歴	12
Microchipウェブ サイト	13
製品変更通知サービス	13
お客様支援	13
Microchipデバイスコード保護機能	13
法的通知	13
商標	14
品質管理システム	14
世界的な販売とサービス	15

## 1. 関連デバイス

本章はこの文書に関連するデバイスを一覧にします。下図はピン数の変種とメモリ量を展開して各種系列デバイスを示します。

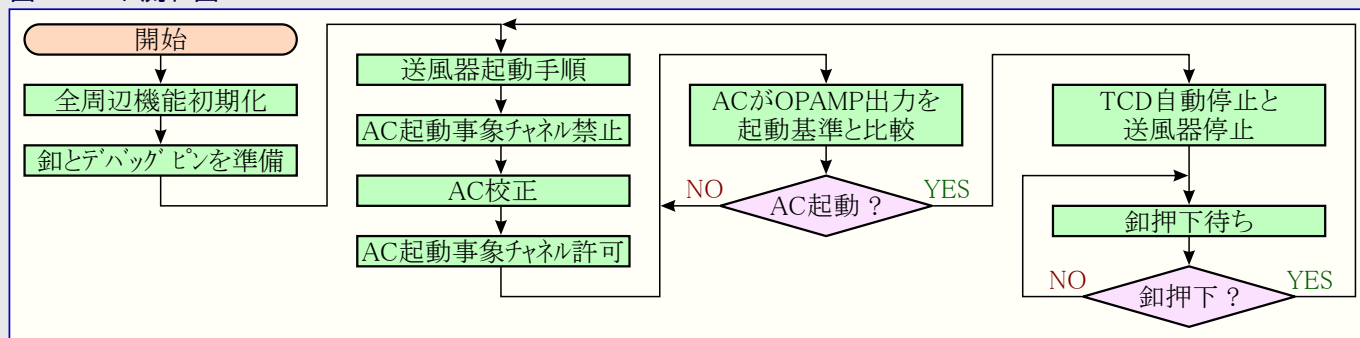
- これらのデバイスがピン互換で同じまたはより多くの機能を提供するため、垂直上方向移植はコード変更なしで可能です。
- 左への水平方向移植はピン数、従って利用可能な機能を減らします。
- 異なるフラッシュメモリ量を持つデバイスは一般的に異なるSRAMとEEPROMも持ちます。



## 2. 概要

この応用はCPUから独立して電動機電流を継続的に監視する尖頭電流検出器を作成します。起動で、デバイスは電流分流器(電流検出)抵抗を渡る最大電圧を測定します。偽警報を防ぎ、幾許かの許容誤差を提供するため、この電流限度は50mV増されます。尖頭電流が検出された場合、TCDは電動機を自動的に停止し、コードは再び電動機をONにするための釦押下を待ちます。

図2-1. コード流れ図



## 3. ハードウェア構成設定

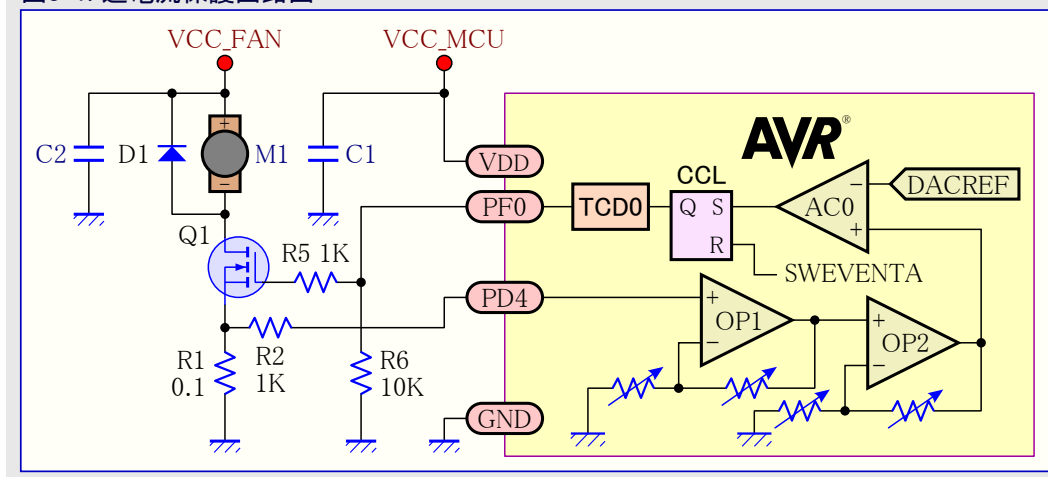
この応用記述はAVR128DB48 Curiosity Nano(EV35L43A)を使うと仮定します。この回路を準備するのにAVR128DB48 Curiosity Nanoと共にブレッドボードやストリップボード(万能基板)を使うことができ、以下の部品が必要とされます。

- AVR128DB48 Curiosity Nano評価キット
- 小型5VのPC用送風器または同等品 (M1)
- 1kΩ抵抗器×2 (R2, R5)
- 10kΩ抵抗器×1 (R6)
- 0.1Ω電流検出抵抗器×1 (R1)
- 0.1μFコンデンサ×2 (C1, C2)
- NチャネルMOSFETトランジスタ×1 (Q1)
- 信号用ダイオード×1 (D1)

**注:** C1はAVR128DB48 Curiosity Nano上で既に存在し、従って、このキット使用時に追加の必要はありません。

これらの部品は次の回路図で示されるように接続されなければなりません。

図3-1. 過電流保護回路図

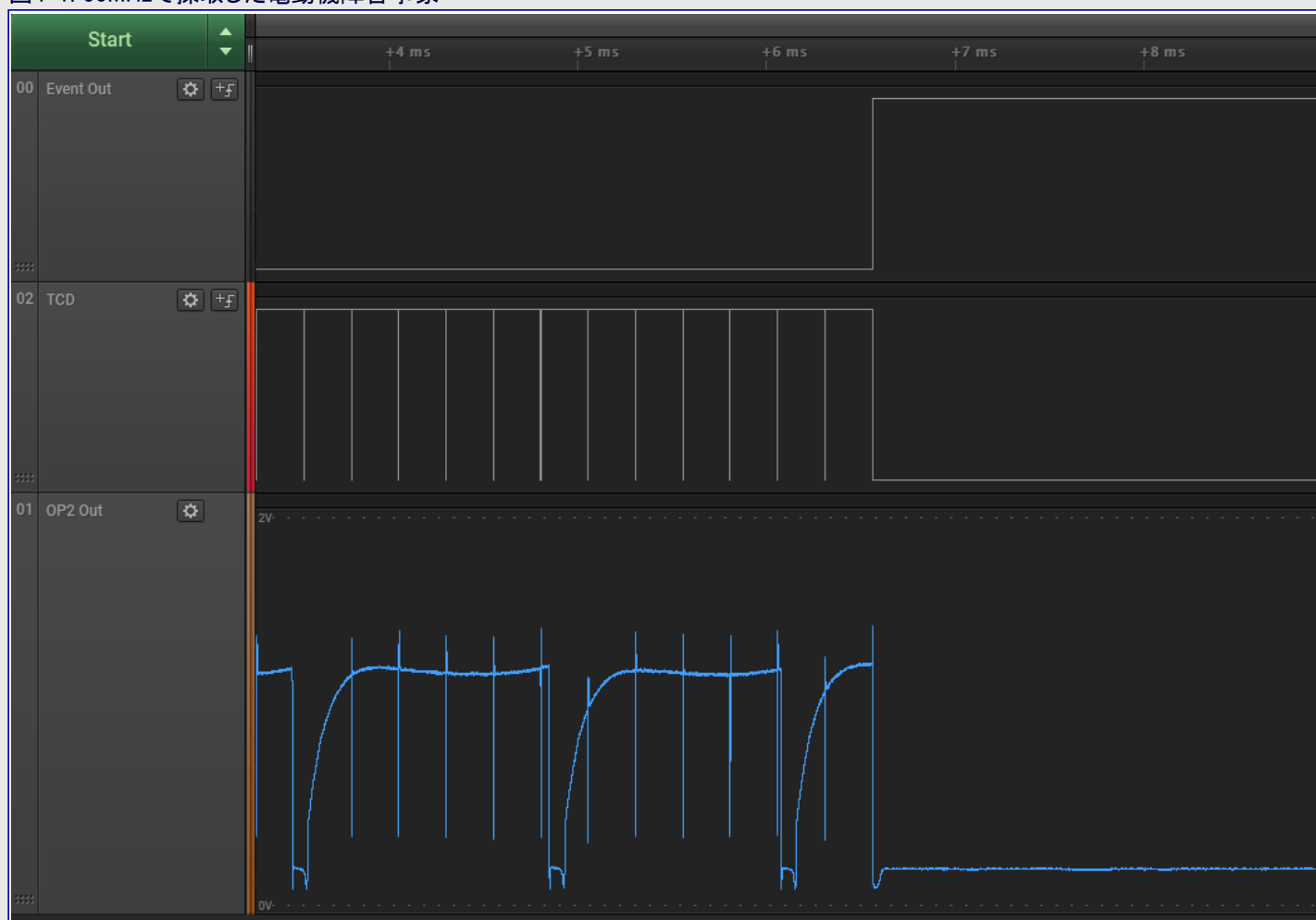


## 4. 尖頭電流検出コード

### 4.1. 動作コードの結果

ハードウェアが前の章で記述されたように準備されると、結果のTCD出力と電動機電流の流れは図4-1.のように見えるでしょう。異なる電動機は違う電流の流れ特性を持つかもしれませんが、”OP2Out”で見られる尖頭電流はTCD交互切り替えからの雑音のためです。この例ではTCDが1周期のLowと残りがHighの最大デューティサイクルで動きます。

図4-1. 50MHzで採取した電動機障害事象



## 4.2. 初期化

最初に、TCD、CCL、AC、OPAMPの周辺機能を使われるように初期化してください。

総利得60の2つの縦列接続された設定可能な非反転利得増幅器(PGA)としてOPAMPの構成を始めてください。この利得は開発中に使われた送風電動機の電流の流れによって生成された入力信号に基づいて選ばれます。電流の流れに応じて、あなたの応用に合うように高い、またはより低い利得を選ぶことができます。より低い雑音のため、縦列接続の最初の演算増幅器は最大、即ち16倍に設定される一方で、2つ目の演算増幅器は応用の求め、できれば容易な検出のために1~2Vの範囲の出力になる利得に調整することができます。違う構成が使われる場合、利得計算についてはAVR128DB48データシートを参照してください。右表は演算増幅器2梯子型抵抗多重器(OPAMP.OP2RESMUX)に対する可能な利得設定を示します。

表4-1. OPAMP.OP2RESMUX用利得設定

群構成設定	結果の総利得
OPAMP_OP2RESMUX_MUXWIP_WIP0_gc	約17
OPAMP_OP2RESMUX_MUXWIP_WIP1_gc	約18
OPAMP_OP2RESMUX_MUXWIP_WIP2_gc	約21
OPAMP_OP2RESMUX_MUXWIP_WIP3_gc	約32
OPAMP_OP2RESMUX_MUXWIP_WIP4_gc	約43
OPAMP_OP2RESMUX_MUXWIP_WIP5_gc	約64
OPAMP_OP2RESMUX_MUXWIP_WIP6_gc	約128
OPAMP_OP2RESMUX_MUXWIP_WIP7_gc	約256

```
void opamp_init(void)
{
    /* 演算増幅器出力ピンでの入力を禁止 */
    PORTD.PIN5CTRL = PORT_ISC_INPUT_DISABLE_gc;
    PORTE.PIN1CTRL = PORT_ISC_INPUT_DISABLE_gc;

    /* 演算増幅器構成設定 */
    OPAMP.CTRLA = OPAMP_ENABLE_bm;
    OPAMP.TIMEBASE = (uint8_t) ceil(CLK_PER*0.000001)-1; /* 1µsになる周辺機能クロック周期数 */

    // OP2構成設定
    OPAMP.OP2CTRLA = OPAMP_RUNSTBY_bm | OPAMP_ALWAYS_ON_bm | OPAMP_OP2CTRLA_OUTMODE_NORMAL_gc;
    OPAMP.OP2SETTLE = OPAMP_MAX_SETTLE_TIME; // 安定時間が未知のため、最大が設定されるべきです。
    OPAMP.OP2INMUX = OPAMP_OP2INMUX_MUXNEG_WIP_gc | OPAMP_OP2INMUX_MUXPOS_LINKOUT_gc;
    OPAMP.OP2RESMUX = OPAMP_OP2RESMUX_MUXWIP_WIP5_gc | OPAMP_OP2RESMUX_MUXBOT_GND_gc |
        OPAMP_OP2RESMUX_MUXTOP_OUT_gc;

    // OP1構成設定
    OPAMP.OP1CTRLA = OPAMP_RUNSTBY_bm | OPAMP_ALWAYS_ON_bm | OPAMP_OP1CTRLA_OUTMODE_NORMAL_gc;
    OPAMP.OP1SETTLE = OPAMP_MAX_SETTLE_TIME; // 安定時間が未知のため、最大が設定されるべきです。
    OPAMP.OP1INMUX = OPAMP_OP1INMUX_MUXNEG_WIP_gc | OPAMP_OP1INMUX_MUXPOS_INP_gc;
    OPAMP.OP1RESMUX = OPAMP_OP1RESMUX_MUXWIP_WIP7_gc | OPAMP_OP1RESMUX_MUXBOT_INN_gc |
        OPAMP_OP1RESMUX_MUXTOP_OUT_gc;
}
```

その後、PF0ピンを駆動して障害事象で停止するようにTCDを構成設定してください。現在、TCDは許可されていません。けれども、後で開始されます。

```
void tcd_init(void)
{
    PORTMUX.TCDROUTEA = PORTMUX_TCD0_ALT2_gc;
    PORTF.DIRSET=PINO_bm;

    TCD0.CTRLB = TCD_WGMODE_TWORAMP_gc;
    TCD0.CMPASET = 0; /* 比較A設定: 0 */
    TCD0.CMPACLR = 1001; /* 比較A解除: 1001 */
    TCD0.CMPBSET = 0; /* 比較B設定: 0 */
    TCD0.CMPBCLR = 1000; /* 比較B解除: 1000 */

    ccp_write_io((void*)&(TCD0.FAULTCTRL), 1 << TCD_CMPAEN_bp /* 比較A許可: 許可 */
        | 0 << TCD_CMPA_bp /* 比較A値: 禁止 */
        | 0 << TCD_CMPB_bp /* 比較B値: 禁止 */
        | 0 << TCD_CMPBEN_bp /* 比較B許可: 禁止 */
        | 0 << TCD_CMPC_bp /* 比較C値: 禁止 */
        | 0 << TCD_CMPDEN_bp /* 比較C許可: 禁止 */
        | 0 << TCD_CMPD_bp /* 比較D値: 禁止 */
        | 0 << TCD_CMPDEN_bp /* 比較D許可: 禁止 */);
}
```

```

TCD0. EVCTRLA = TCD_CFG_ASYNC_gc          /* 濾波器または非同期事象のどちらも許可されません。 */
    | TCD_ACTION_FAULT_gc                 /* 事象は障害を起動 */
    | TCD_EDGE_RISE_HIGH_gc              /* 事象の下降端かLowレベルが再起動か障害活動を生成 */
    | 1 << TCD_TRIGE1_bp;                /* 起動事象許可: 許可 */

TCD0. INPUTCTRLA=TCD_INPUTMODE_WAITSW_gc; // リセット指令待ち
TCD0. INPUTCTRLB=TCD_INPUTMODE_WAITSW_gc; // リセット指令待ち

while ((TCD0.STATUS & TCD_ENRDY_bm) == 0); // 許可準備可のHigh待ち

TCD0. CTRLA = 0 << TCD_ENABLE_bp         /* 許可: 禁止 */
    | TCD_CLKSEL_OSCHF_gc                /* */
    | TCD_CNTPRES_DIV1_gc                /* 1分周された同期クロック */
    | TCD_SYNCPRES_DIV1_gc;
}

```

ACは適切な水準で起動するように構成設定することが必要です。最初に、或る低い水準、ここでは1.1Vで起動するように設定してください。この基準は近い将来に電動機に合うように後で自動的に校正されます。

```

void ac_init(void)
{
    PORTA.DIRSET=PIN7_bm;
    VREF.ACREF = VREF_REFSEL_4V096_gc;

    AC0.MUXCTRL = 0 << AC_INVERT_bp       /* 反転AC出力: 禁止 */
        | AC_MUXNEG_DACREF_gc           /* DAC参照基準 */
        | AC_MUXPOS_AINP2_gc;          /* 正入力ピン0 */

    AC0.DACREF = ac_calculate_trigger_voltage(AC_TRIGGER_VOLTAGE_MV_INIT); /* DAC基準電圧: 0x64 */

    AC0.CTRLA = 1 << AC_ENABLE_bp        /* 許可: 許可 */
        | AC_HYSMODE_NONE_gc           /* ヒステリシスなし */
        | AC_POWER_PROFILE0_gc         /* 電力特性0、最低消費と最高応答時間 */
        | 1 << AC_OUTEN_bp             /* 出力緩衝部許可: 許可 */
        | 0 << AC_RUNSTDBY_bp;         /* スタンバイ動作で走行: 禁止 */
}

```

ac\_calculate\_trigger\_voltage(uint16\_t mV)補助関数はAC起動を設定するのに使われます。これはmVでの起動基準に対応するDACREF値を計算します。

```

uint8_t ac_calculate_trigger_voltage(uint16_t mV)
{
    uint8_t triggerVoltage = (((uint32_t)mV*256)/VREF_AC_MV);
    return triggerVoltage;
}

```

リセットまで過電流信号活性を保つため、CCLのLUT0とLUT1は図3-1.で示されるようにS入力としてAC0出力、R入力としてソフトウェア事象Aを持つRSラッチを形成します。

```

void ccl_init(void)
{
    CCL.SEQCTRL0 = CCL_SEQSEL_RS_gc;      // RSラッチ作成
    /* Set up LUT0 */
    CCL.LUT0CTRLB = CCL_INSELO_AC0_gc;    // AC0、他の全ビットを遮蔽
    CCL.TRUTH0 = 0x02;                    // ACがHighの時にHigh出力、さもなければLow出力
    CCL.LUT0CTRLA = CCL_ENABLE_bm | CCL_OUTEN_bm;
    PORTA.DIRSET = PIN3_bm;
    /* Set up LUT1 */
    EVSYS.USERCCLLUT1A = EVSYS_USER_CHANNEL1_gc;
    CCL.LUT1CTRLB = CCL_INSELO_EVENTA_gc; // 入力として事象A、他の全ビットを遮蔽
    CCL.TRUTH1 = 0x02;                    // 事象AがHighの時にHigh出力、さもなければLow出力
    CCL.LUT1CTRLA = CCL_ENABLE_bm;
}

```

```
CCL. CTRLA = CCL_ENABLE_bm;
```

最後に、釦とAC事象水準を示す信号が構成設定されます。

```
void button_init(void)
{
    PORTB. DIRCLR=PIN2_bm;
    PORTB. PIN2CTRL=PORT_ISC_FALLING_gc | PORT_PULLUPEN_bm;
    sei();
}
```

```
button_init();
PORTC. DIRSET = PIN4_bm | PIN5_bm;
PORTC. OUTCLR = PIN4_bm | PIN5_bm;
PORTD. DIRSET = PIN2_bm;
```

### 4.3. 電動機起動とAC校正

送風電動機を開始するには下で与えられるfan\_start()関数を利用してください。この関数は経時的に記述される一連の他の関数を呼び出します。

```
void fan_start(void)
{
    ac_trig_event_disable();
    tcd_enable();
    ac_calibration();
    ac_trig_event_enable();
}
```

ac\_trig\_event\_disable()はCCLのRSラッチからAC起動事象を切断し、尖頭電流検出器を禁止します。

```
void ac_trig_event_disable(void)
{
    ACO. INTCTRL &= ~AC_CMP_bm;
    EVSYS. CHANNEL0=EVSYS_CHANNEL0_OFF_gc;
    EVSYS. USERTCDOINPUTA = EVSYS_USER_OFF_gc;
    EVSYS. USEREVSYSSEVOUTD = EVSYS_USER_OFF_gc;
}
```

tcd\_enable()はその後にTCD周辺機能を許可することによって送風電動機をONにします。

```
void tcd_enable(void)
{
    TCDO. CTRLA = TCD_ENABLE_bm;
    TCDO. CTRLB = TCD_RESTART_bm;
}
```

ac\_calibration()は100ms内で起動が起きなくなるまで50mV増加でACの起動点を増します。これは最適検出条件を保証するのと擬陽性(偽検出)を避けるため、毎回の起動で行われます。いくつかの電動機の電流の流れは温度と他の物理的条件によって影響を及ぼされます。

```
void ac_calibration(void)
{
    PORTB. DIRSET = PIN3_bm;
    PORTB. OUTCLR = PIN3_bm;
    uint8_t calibrating = 1;
    uint16_t ac_trigger_voltage_mv=AC_TRIGGER_VOLTAGE_MV_INIT;
    ACO. INTCTRL = AC_INTMODE_NORMAL_POSEDGE_gc;
    while (calibrating)
    {
        ac_trigger_voltage_mv += 50;
        ACO. DACREF = ac_calculate_trigger_voltage(ac_trigger_voltage_mv);
        _delay_ms(100); // 合図を掲げる間の或る時間を提供
        if (!(ACO. STATUS & AC_CMPIF_bm))
        {
            calibrating=0;
        }
    }
}
```



```

    PORTB.OUTSET =PIN3_bm;
}
ACO.STATUS=AC_CMPIF_bm;
}
}

```

ac\_trig\_event\_enable()はCCLにAC起動事象を再接続し、系に尖頭電流事象の検出準備を整えさせます。

```

void ac_trig_event_enable(void)
{
    ACO.INTCTRL = AC_INTMODE_NORMAL_POSEDGE_gc | AC_CMP_bm;
    EVSYS.SWEVENTA = EVSYS_SWEVENTA_CH1_gc;
    EVSYS.CHANNEL0=EVSYS_CHANNEL0_CCL_LUTO_gc; // 起動としてRSラッチからの出力
    EVSYS.USERTCDOINPUTA=EVSYS_USER_CHANNEL0_gc;
    EVSYS.USEREVSYSSEVOUTD = EVSYS_USER_CHANNEL0_gc;
}

```

#### 4.4. 検出と再始動

検出した尖頭電流で、ハードウェアはどんなCPUの介在もなしに電動機を停止します。AVR128DB48 Curiosity Nano上のSW0釦押下はISR(PORTB\_PORT\_vect)割り込み処理ルーチン(ISR:Interrupt Service Routine)を起動し、これは送風電動機を再始動するためにfan\_start()を呼び出します。

```

ISR(PORTB_PORT_vect)
{
    fan_start();
    PORTB.INTFLAGS=0xff;
}

```

### 5. MPLAB® Mindi™

各種環境と送風器に対してこの応用の開発と調整を手助けするため、応用のMPLAB Mindiシミュレーションが作成されました。このシミュレーションは2つの部分から成ります。1つ目の部分は送風器を表しているDC電動機のモードです。2つ目の部分はAVR DBの機能を再現するのに必要とされる全ての部品です。演算増幅器部品だけはAVR DB内の回路の真の表現です。残りの部品はAVR DBの動きを模倣するのに必要とされる一般的な回路要素です。

#### 5.1. MPLAB®を使うモード化

DC電動機をモード化する伝統的な方法は2つの異なる式、下で示されるような機械的用の1つと電氣的力学用の1つとしてです。

$$J\ddot{\theta} + b\dot{\theta} = K_i$$

$$L\dot{i} + R_i = V - K\dot{\theta}$$

MPLAB Mindiは回路要素をシミュレートする能力だけで、従って機械的な式は等価回路表現に変換されます。これは $R_{los}=b/K^2$ 、 $L_l=J/K^2$ 、 $i_{emf}=\dot{\theta}K$ と表すことによって達成されます。これは次のような微分方程式を与えます。

$$L_l\dot{i}_{emf} + R_{los}i_{emf} = i$$

$$L\dot{i} + R_i = V - i_{emf}$$

DC電動機のモードは3つの部分、**電動機\_電氣的**、**電動機\_機械的**、**電動機\_負荷**から成ります。

##### 5.1.1. 電動機 - 電氣的

電動機の電氣的部分は上で説明された電氣的微分方程式を実装します。これはPWM信号によって制御されているDC電動機に対する電源として働く任意電圧源から成ります。電動機のEMFを表す電圧に対する機械的部分からの電流を変換するのに使われる任意電圧源もあります。

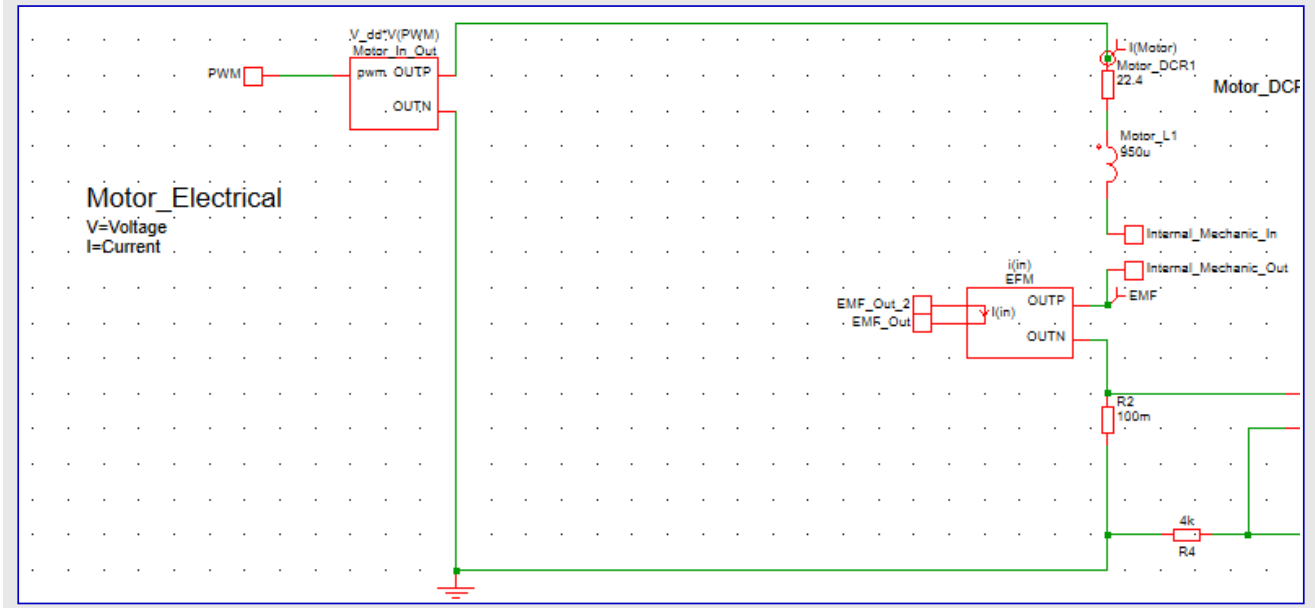
電動機の電氣的部分で2つの要素、(**Motor\_DCR1**と記される) $R$ と(**Motor\_L1**として記される) $L$ が電動機の動きを決めます。これらは次式を使って計算することができます。

$$R = \frac{V_{in}}{i_{stall}}$$

$$L = R\tau_e$$

ここでの $V_{in}$ はDC電動機に対する入力電圧、 $i_{stall}$ 電流と $\tau_e$ は電氣的系の時定数です。

図5-1. 電動機 - 電氣的



### 5.1.2. 電動機 - 機械的

電動機の機械的部分は上で説明された変換された機械的微分方程式を実装します。これは電氣的部分からの電流を電圧に変換するための任意電圧源と負荷用に表された損失のための任意電圧源から成ります。

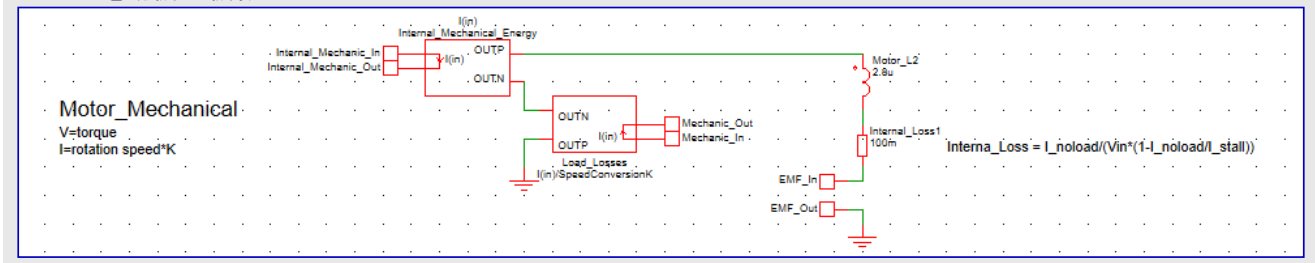
電動機の機械的部分では2つの要素、 $R_{loss}$ (*Intertia\_Loss1*)と $L_i$ (*Moter\_L2*)が電動機の動きを決めます。

$$R = \frac{i_{no\_load}}{V_{in} \left(1 - \frac{i_{no\_load}}{i_{stall}}\right)}$$

$$L = R_{loss} \tau_m$$

ここでの $i_{no\_load}$ は無負荷での電動機の電流の流れ、 $i_{stall}$ は失速電流、 $\tau_m$ は機械的系の時定数です。

図5-2. 電動機 - 機械的

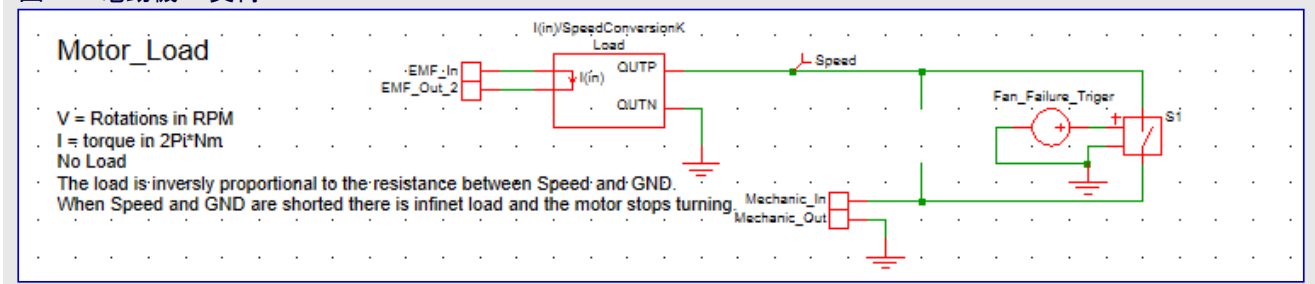


### 5.1.3. 電動機 - 負荷

電動機の負荷部分は負荷のための損失を表し、機械的部分からの電流をRPMでの速度に変換する任意電圧源から成ります。負荷用の損失は電圧源と接地間の抵抗に逆比例します。この例で使った送風器は定常的に電動機に接続され、故に送風器用損失は既に機械的部分で含まれています。通常動作では電圧源と接地間に無限抵抗があり(開回路)、無負荷を表します。

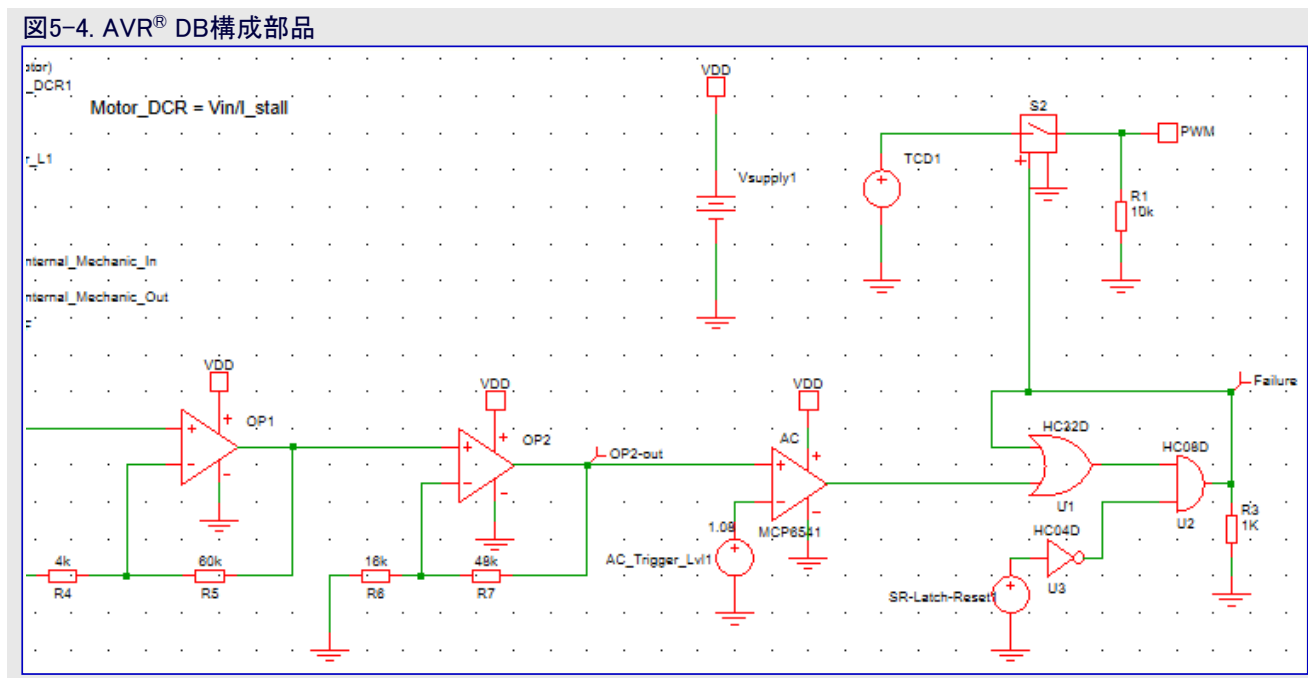
送風器に於いて失速する何かのような送風器障害をシミュレートするため、このモードは電圧源と接地を短絡する切替器も持ちます。この切替器は*Fan\_Failure\_Trigger*電圧源から来るパルスによって起動されます。

図5-3. 電動機 - 負荷



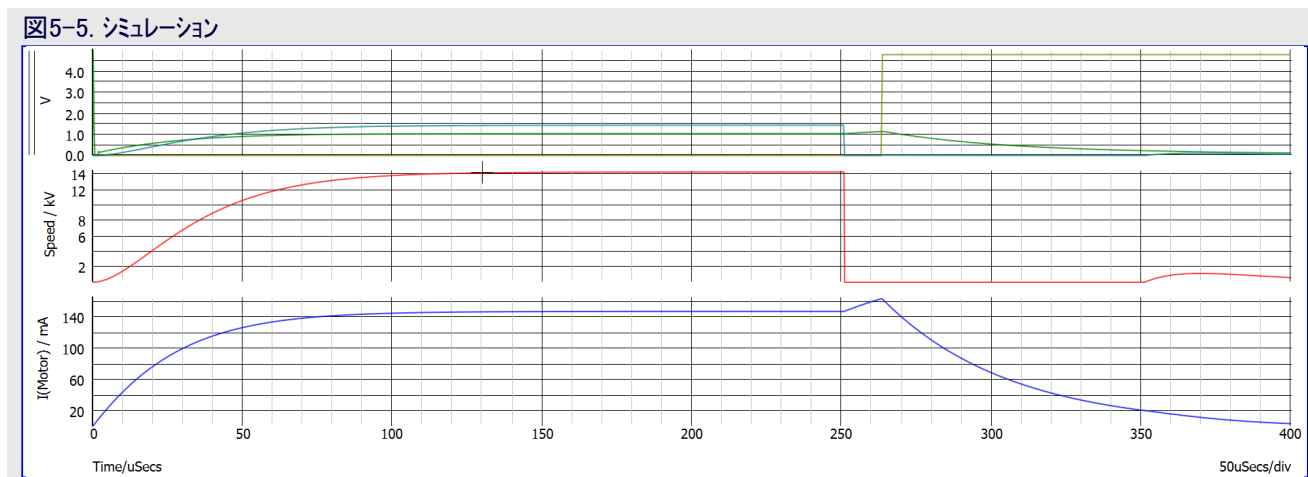
## 5.2. AVR<sup>®</sup> DB構成部品

AVR DB機能を表すため、2つのAVR DB演算増幅器はソフトウェアでのように縦列非反転PGAとして構成設定されます。OP2からの出力はAVR DBでACを表す一般的なアナログ比較器(AC)に接続されます。ACは障害事象用の起動基準を設定する電圧源のAC\_Trigger\_Lvl1にも接続されます。ACからの出力は実際のハードウェアでのように論理回路のゲートと反転器によって作成されるRSラッチに接続されます。RSラッチからの出力はPWM信号と電動機間の接続を中断する切替器に接続され、これは障害事象に対するTCD反応とOFFにすることを表します。



## 5.3. シミュレーション走行

このシミュレーションを走らせる前に、前の部分で検討した要素を意図するDC電動機に合うものに変更してください。Simulator(シミュレータ)⇒Run Schematic(回路図走行)を選ぶか、機能キーのF9を押すことによってシミュレートしてください。



結果の出力図表が上の図5-5.で示されます。青線は電流の流れで、赤線はRPMでの電動機速度、緑線は演算増幅器からの出力で、青緑線はEMF電圧、黄線は障害検出です。約250 $\mu$ sで、何かが送風器を妨害し、失速して尖頭電流にさせ、その尖頭電流が障害事象を起動して電動機がOFFされることがわかります。

Mindi模式用コードはこのGitHubで見つけることができます。



GitHubでコード例を見てください。  
貯蔵庫を閲覧するにはクリックしてください。

## 6. 参考文献

1. AVR128DB48製品頁: [www.microchip.com/wwwproducts/en/AVR128DB48](http://www.microchip.com/wwwproducts/en/AVR128DB48)
2. AVR128DB48データシート: [www.microchip.com/DS40002247](http://www.microchip.com/DS40002247)
3. AVR128DB48 Curiosity Nano製品頁: [www.microchip.com/DevelopmentTools/ProductDetails/PartNO/EV35L43A](http://www.microchip.com/DevelopmentTools/ProductDetails/PartNO/EV35L43A)
4. AVR128DB48使用者の手引き: [www.microchip.com/DS50003037](http://www.microchip.com/DS50003037)
5. AVR128DB48 Curiosity Nano回路図: [ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/AVR128DB48\\_Curiosity\\_Nano\\_Schematics.pdf](http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/AVR128DB48_Curiosity_Nano_Schematics.pdf)

## 7. 改訂履歴

文書改訂	日付	注釈
A	2021年2月	初版文書公開
B	2021年5月	新しい回路図と更新されたコード

## Microchipウェブ サイト

Microchipは[www.microchip.com/](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のに使われます。利用可能な情報のいくつかは以下を含みます。

- **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設計協力課程会員一覧
- **Microship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

## 製品変更通知サービス

Microchipの製品変更通知サービスは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[www.microchip.com/pcn](http://www.microchip.com/pcn)へ行っ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
- 組み込み解決技術者(ESE:Embedded Solutions 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ESE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[www.microchip.com/support](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われる時に、その製品系統が安全であると考えます。
- Microchipデバイスのコード保護機能を破ろうとする試みに使われる不正でおそらく違法な方法があります。当社はこれらの方法がMicrochipのデータシートに含まれた動作仕様外の方法でMicrochip製品を使うことが必要とされると確信しています。これらのコード保護機能を破ろうとする試みは、おそらく、Microchipの知的財産権に違反することなく達成することはできません。
- Microchipはそのコードの完全性について心配されている何れのお客様とも共に働きたいと思えます。
- Microchipや他のどの半導体製造業者もそのコードの安全を保証することはできません。コード保護は製品が”破ることができない”ことを当社が保証すると言う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

この刊行物含まれる情報はMicrochip製品を使って設計する唯一の目的のために提供されます。デバイス応用などに関す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。

この情報はMicrochipによって「現状そのまま」で提供されます。Microchipは非侵害、商品性、特定目的に対する適合性の何れの黙示的保証やその条件、品質、性能に関する保証を含め、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。

如何なる場合においても、Microchipは情報またはその使用に関連するあらゆる種類の間接的、特別的、懲罰的、偶発的または結果的な損失、損害、費用または経費に対して責任を負わないものとします。法律で認められている最大限の範囲で、情報またはその使用に関連する全ての請求に対するMicrochipの全責任は、もしあれば、情報のためにMicrochipへ直接支払った料金を超えないものとします。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、Mmicrochipロゴ、Adaptec、AnyRate、AVR、AVRロゴ、AVR Freaks、BesTime、BitCloud、chipKIT、chipKITロゴ、CryptoMemory、CryptoRF、dsPIC、FlashFlex、flexPWR、HELDO、IGLOO、JukeBlox、KeeLoq、Kleer、LANCheck、LinkMD、maXStylus、maXTouch、MediaLB、megaAVR、Microsemi、Microsemiロゴ、MOST、MOSTロゴ、MPLAB、OptoLyzer、PacKeTime、PIC、picoPower、PICSTART、PIC32ロゴ、PolarFire、Prochip Designer、QTouch、SAM-BA、SenGenuity、SpyNIC、SST、SSTロゴ、SuperFlash、Symmetricom、SyncServer、Tachyon、TimeSource、tinyAVR、UNI/O、Vectron、XMEGAは米国と他の国に於けるMicrochip Technology Incorporatedの登録商標です。

AgileSwitch、APT、ClockWorks、The Embedded Control Solutions Company、EtherSynch、FlashTec、Hyper Speed Control、Hyper Light Load、IntelliMOS、Libero、motorBench、mTouch、Powermite 3、Precision Edge、ProASIC、ProASIC Plus、ProASIC Plusロゴ、Quiet-Wire、SmartFusion、SyncWorld、Temux、TimeCesium、TimeHub、TimePictra、TimeProvider、Vite、WinPath、ZL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、Augmented Switching、BlueSky、BodyCom、CodeGuard、CryptoAuthentication、CryptoAutomotive、CryptoCompanion、CryptoController、dsPICDEM、dsPICDEM.net、Dynamic Average Matching、DAM、ECAN、Espresso T1S、EtherGREEN、IdealBridge、In-Circuit Serial Programming、ICSP、INICnet、Intelligent Paralleling、Inter-Chip Connectivity、JitterBlocker、maxCrypto、maxView、memBrain、Mindi、MiWi、MPASM、MPF、MPLAB Certifiedロゴ、MPLIB、MPLINK、MultiTRAK、NetDetach、Omniscient Code Generation、PICDEM、PICDEM.net、PICkit、PICKtail、PowerSmart、PureSilicon、QMatrix、REAL ICE、Ripple Blocker、RTAX、RTG4、SAM-ICE、Serial Quad I/O、simpleMAP、SimpliPHY、SmartBuffer、SMART-I.S.、storClad、SQI、SuperSwitcher、SuperSwitcher II、Switchtec、SynchroPHY、Total Endurance、TSHARC、USBCheck、VariSense、VectorBlox、VeriPHY、ViewSpan、WiperLock、XpressConnect、and 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。

Adaptecロゴ、Frequency on Demand、Silicon Storage Technology、Symmcom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。

© 2021年、Microchip Technology Incorporated、米国印刷、不許複製

## 品質管理システム

Microchipの品質管理システムに関する情報については[www.microchip.com/quality](http://www.microchip.com/quality)を訪ねてください。

日本語© HERO 2021.

本応用記述はMicrochipのAN3860応用記述(DS00003860B-2021年5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
<b>本社</b> 2355 West Chandler Blvd. Chandler, AZ 85224-6199 Tel: 480-792-7200 Fax: 480-792-7277 技術支援: <a href="http://www.microchip.com/support">www.microchip.com/support</a> ウェブアドレス: <a href="http://www.microchip.com">www.microchip.com</a> <b>アトランタ</b> Duluth, GA Tel: 678-957-9614 Fax: 678-957-1455 <b>オースチン TX</b> Tel: 512-257-3370 <b>ボストン</b> Westborough, MA Tel: 774-760-0087 Fax: 774-760-0088 <b>シカゴ</b> Itasca, IL Tel: 630-285-0071 Fax: 630-285-0075 <b>ダラス</b> Addison, TX Tel: 972-818-7423 Fax: 972-818-2924 <b>デトロイト</b> Novi, MI Tel: 248-848-4000 <b>ヒューストン TX</b> Tel: 281-894-5983 <b>インディアナポリス</b> Noblesville, IN Tel: 317-773-8323 Fax: 317-773-5453 Tel: 317-536-2380 <b>ロサンゼルス</b> Mission Viejo, CA Tel: 949-462-9523 Fax: 949-462-9608 Tel: 951-273-7800 <b>ローリー NC</b> Tel: 919-844-7510 <b>ニューヨーク NY</b> Tel: 631-435-6000 <b>サンホセ CA</b> Tel: 408-735-9110 Tel: 408-436-4270 <b>カナダ - トロント</b> Tel: 905-695-1980 Fax: 905-695-2078	<b>オーストラリア - シドニー</b> Tel: 61-2-9868-6733 <b>中国 - 北京</b> Tel: 86-10-8569-7000 <b>中国 - 成都</b> Tel: 86-28-8665-5511 <b>中国 - 重慶</b> Tel: 86-23-8980-9588 <b>中国 - 東莞</b> Tel: 86-769-8702-9880 <b>中国 - 広州</b> Tel: 86-20-8755-8029 <b>中国 - 杭州</b> Tel: 86-571-8792-8115 <b>中国 - 香港特別行政区</b> Tel: 852-2943-5100 <b>中国 - 南京</b> Tel: 86-25-8473-2460 <b>中国 - 青島</b> Tel: 86-532-8502-7355 <b>中国 - 上海</b> Tel: 86-21-3326-8000 <b>中国 - 瀋陽</b> Tel: 86-24-2334-2829 <b>中国 - 深圳</b> Tel: 86-755-8864-2200 <b>中国 - 蘇州</b> Tel: 86-186-6233-1526 <b>中国 - 武漢</b> Tel: 86-27-5980-5300 <b>中国 - 西安</b> Tel: 86-29-8833-7252 <b>中国 - 廈門</b> Tel: 86-592-2388138 <b>中国 - 珠海</b> Tel: 86-756-3210040	<b>インド - ハンガロール</b> Tel: 91-80-3090-4444 <b>インド - ニューデリー</b> Tel: 91-11-4160-8631 <b>インド - フネー</b> Tel: 91-20-4121-0141 <b>日本 - 大阪</b> Tel: 81-6-6152-7160 <b>日本 - 東京</b> Tel: 81-3-6880-3770 <b>韓国 - 大邱</b> Tel: 82-53-744-4301 <b>韓国 - ソウル</b> Tel: 82-2-554-7200 <b>マレーシア - クアラルンプール</b> Tel: 60-3-7651-7906 <b>マレーシア - ペナン</b> Tel: 60-4-227-8870 <b>フィリピン - マニラ</b> Tel: 63-2-634-9065 <b>シンガポール</b> Tel: 65-6334-8870 <b>台湾 - 新竹</b> Tel: 886-3-577-8366 <b>台湾 - 高雄</b> Tel: 886-7-213-7830 <b>台湾 - 台北</b> Tel: 886-2-2508-8600 <b>タイ - バンコク</b> Tel: 66-2-694-1351 <b>ベトナム - ホーチミン</b> Tel: 84-28-5448-2100	<b>オーストラリア - ウェルズ</b> Tel: 43-7242-2244-39 Fax: 43-7242-2244-393 <b>デンマーク - コペンハーゲン</b> Tel: 45-4485-5910 Fax: 45-4485-2829 <b>フィンランド - エスポー</b> Tel: 358-9-4520-820 <b>フランス - パリ</b> Tel: 33-1-69-53-63-20 Fax: 33-1-69-30-90-79 <b>ドイツ - ガルヒング</b> Tel: 49-8931-9700 <b>ドイツ - ハーン</b> Tel: 49-2129-3766400 <b>ドイツ - ハイムブロン</b> Tel: 49-7131-72400 <b>ドイツ - カールスルーエ</b> Tel: 49-721-625370 <b>ドイツ - ミュンヘン</b> Tel: 49-89-627-144-0 Fax: 49-89-627-144-44 <b>ドイツ - ローゼンハイム</b> Tel: 49-8031-354-560 <b>イスラエル - ラーナナ</b> Tel: 972-9-744-7705 <b>イタリア - ミラノ</b> Tel: 39-0331-742611 Fax: 39-0331-466781 <b>イタリア - ハドバ</b> Tel: 39-049-7625286 <b>オランダ - デルフト</b> Tel: 31-416-690399 Fax: 31-416-690340 <b>ノルウェー - トロンハイム</b> Tel: 47-72884388 <b>ポーランド - ワルシャワ</b> Tel: 48-22-3325737 <b>ルーマニア - ブカレスト</b> Tel: 40-21-407-87-50 <b>スペイン - マドリッド</b> Tel: 34-91-708-08-90 Fax: 34-91-708-08-91 <b>スウェーデン - イェテボリ</b> Tel: 46-31-704-60-40 <b>スウェーデン - ストックホルム</b> Tel: 46-8-5090-4654 <b>イギリス - ウォーキングム</b> Tel: 44-118-921-5800 Fax: 44-118-921-5820