

---

---

## 特殊機能を実装するためのZCDの使い方

---

---

### 序説

著者: Gheorghe Turcan, Microchip Technology Inc.

MicrochipのAVR® DA MCU系統のマイクロコントローラは柔軟な入力選択、1つの外部部品だけを必要とし、構成設定可能な出力(上昇/下降または両端での割り込み、事象生成、出力反転)を持つ3つまでの0交差検出器(ZCD:Zero-Cross Detector)が特徴です。

この技術概説はZCDの概念と以下の使用事例でAVR DA系統のマイクロコントローラでその実装を説明します。

- 外部入出力に対する自由走行

この例はアナログ信号の0値に達した(例えば、商用AC電源の0交差)時を検出するためのZCDの使用法を示します。

- AC信号周波数検出

この例は最小のCPU介入でパルス持続時間やアナログ信号の周期を測定するために計時器と共にZCDを使う方法を記述します。

- 能動ブリッジ制御信号生成

この例は能動ブリッジを制御するため、交流(AC:Alternating Current)のパルス幅変調(PWM:Pulse Width Modulation)され、反転されたPWM表現を作成するのにCPUと共にZCDを使う方法を記述します。

**注:** コード例はAVR128DA48 Curiosity Nano基板を使って開発されました。

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

序説	1
1. 関連デバイス	3
1.1. AVR® DA系概要	3
2. 概要	3
3. 外部入出力に対する自由走行	4
4. AC信号周波数検出	6
5. 能動ブリッジ制御信号生成	7
6. 参考資料	8
7. 追補	8
8. 改訂履歴	11
Microchipウェブ サイト	12
製品変更通知サービス	12
お客様支援	12
Microchipデバイス コード保護機能	12
法的通知	12
商標	13
品質管理システム	13
世界的な販売とサービス	14

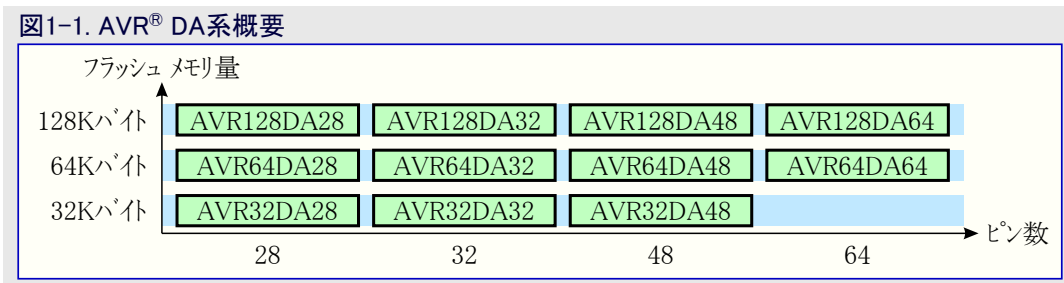
## 1. 関連デバイス

本章はこの文書に関連するデバイスを一覧にします。

### 1.1. AVR® DA系概要

下図はピン数の変種とメモリ量を展開してAVR® DAデバイスを示します。

- 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SRAM量も異なります。

## 2. 概要

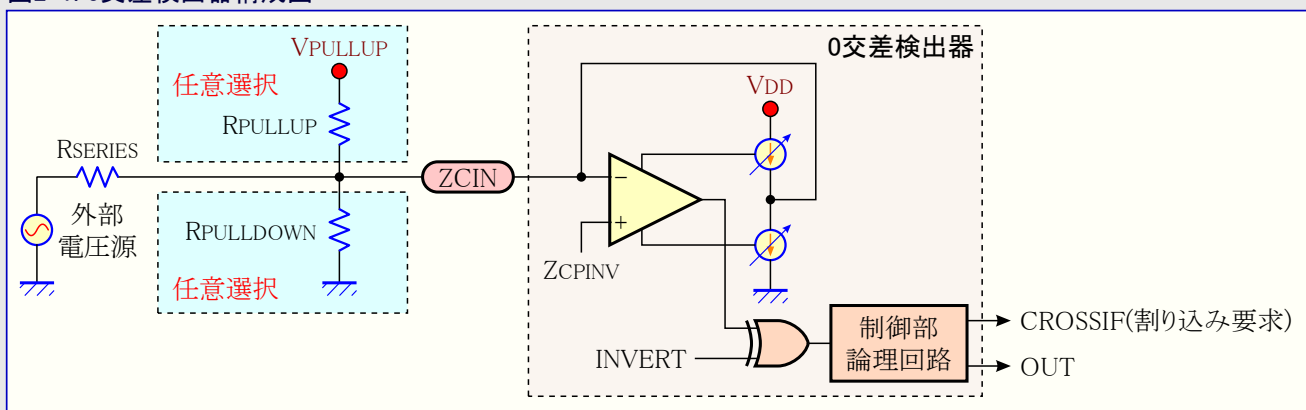
ZCDは交流電圧が接地電位近くの閾値電圧を通して交差する時を検出します。この閾値は0交差参照基準電圧(ZCPINV)です。ZCD入力ピン(ZCIN)から交流電圧への接続は直列電流制限抵抗(RSERIES)を通して行われなければなりません。ZCDはピンで一定電圧を維持するためにZCD入力ピンに対して吐き出しまたは吸い込みのどちらかの電流を印加し、それによってデバイス内の静電気放電(ESD)保護ダイオードの順方向バイアスからピン電圧を保護します。

印加した電圧が参照基準電圧よりも大きいと、ZCDは電流を吸い込みます。印加した電圧が参照基準電圧よりも小さいと、ZCDは電流を吐き出し、従って直列抵抗を通すだけで抵抗分圧なしに高電圧への接続を許します。

ZCDは以下の目的に対して交流波形を監視する時に使うことができますが、これに制限されません。

- 周期測定
- 正確な長期時間測定
- 調光位相遅延駆動
- 低EMI電力周波数切り替え

図2-1. 0交差検出器構成図



ZCDは外部電圧源と共に直列の電流制限抵抗(RSERIES)を必要とします。外部電圧源の頂上振幅(VPEAK)が安定と予測される場合、抵抗値は300 $\mu$ Aの抵抗電流が予測される頂上電圧と等しい電圧降下になるように選ばれなければなりません。抵抗の電力定格は少なくとも2乗平均電圧を抵抗値で除算されたものでなければなりません。状態(ZCDn.STATUS)レジスタのZCD状態(STATE)フラグは入力信号が参照基準電圧(ZCPINV)の上か下かを示します。既定で、STATEフラグは入力信号が参照基準電圧以上の時に'1'で、入力信号が参照基準電圧以下の時に'0'です。STATEフラグの極性は制御A(ZCDn.CTRLA)レジスタで反転許可(INVERT)ビットに'1'を書くことによって逆にすることができます。INVERTビットはZCD割り込み極性にも影響を及ぼします。

ZCDが状態を変える実際の電圧が0交差参照基準電圧です。この参照基準電圧が接地から僅かに偏移しているため、ZCDによって生成される0交差事象は真の0交差に対して早いか遅いかのどちらかで発生します。この偏移時間はZCD入力ピンにプルアップまたはプルダウンのバイアス抵抗を追加することによって補償することができます。図2-1.で示されるように、プルアップ抵抗は外部電圧源が接地に対して参照される時に使われ、プルダウン抵抗は外部電圧源がVDDに対して参照される時に使われます。

以下の式は外部部品値を計算するのに役立ちます。

#### 式2-1. 外部抵抗値計算

$$R_{SERIES} = \frac{V_{PEAK}}{3 \times 10^{-4}}$$

外部電圧源が接地に対して参照される時は、

#### 式2-2. ZCDプルアップ抵抗値計算

$$R_{pullup} = \frac{R_{SERIES}(V_{pullup} - ZCPINV)}{ZCPINV}$$

外部電圧源がVDDに対して参照される時は、

#### 式2-3. ZCDプルダウン抵抗値計算

$$R_{pulldown} = \frac{R_{SERIES}(ZCPINV)}{(V_{DD} - ZCPINV)}$$

アイドル休止動作で、ZCDは通常のように動作を続けます。

スタンバイ休止動作で、ZCDは既定で禁止されます。制御A(ZCDn.CTRLA)レジスタのスタンバイ時走行(RUNSTDBY)ビットが'1'を書かれる場合、ZCDは例えばスタンバイ休止動作でCLK\_PERが動いていなくても、割り込み生成、事象生成、ピンでのZCD出力と共に通常のように動作を続けます。パワーダウン休止動作では、ピンへの出力を含めてZCDが禁止されます。

ZCDは以下の事象を生成することができます。

表2-1. ZCD事象生成部

生成部名		説明	事象型	生成クロック領域	事象長
周辺機能	事象				
ZCDn	OUT	ZCD出力レベル	レベル	非同期	ZCD出力レベルによって決められます。

ZCDは事象入力がありません。

### 3. 外部入出力に対する自由走行

この例はZCD周辺機能の入出力ポートへの基本的な初期化と結合を示します。この例は正弦状AC信号のPWM表現を得るのに使われ、ZCDはCPUから独立して動いています。

#### 外部部品選択方法

AC信号はオシロスコープの信号生成能力で得られました。これは正弦状5Vの頂点間振幅とZCPINVに対して補償するために接地から1Vの変位を持ちます。式2-1を使い、選んだR<sub>SERIES</sub>値は概ね10kΩです。接続設定は図3-2で示されます。

#### 内部回路設定方法

基本的な動作については以下の手順が取られます。

1. PORT周辺機能で望む入力ピンを禁止されたデジタル入力緩衝部を持つアナログピンとして構成設定してください。内部のプルアップとプルダウンの抵抗も禁止されなければなりません。

0交差検出を許すには、入出力ピンを使ってZCD入力感知電圧に接続されなければなりません。このピンは可能な最高の入力インピーダンスを持つように、禁止されたデジタル入力緩衝部と禁止されたプルアップを持つことが必要です。AVR128DA48については下図で示されるようにポートDの1番(PD1)ピンがZCD0負入力として使われます。

図3-1. ZCD入出力接続

VQFN48/TQFP48	ピン名	特殊	ADC0	ZCD
3	PA7	CLKOUT		0,OUT 1,OUT 2,OUT
19	PC7			0,OUT 1,OUT 2,OUT
21	PD1		AIN1	0,ZCIN
33	PE3		AIN11	1,ZCIN

これは以下のコードに変換されます。

```
PORTD.PINCTRL |= PORT_ISC_INPUT_DISABLE_gc;
```

2. 任意選択: 制御A(ZCDn.CTRLA)レジスタの出力許可(OUTEN)ビットに'1'を書くことによって出力ピンを許可して望むピンを出力として設定してください。

AVR128DA48については、前の図で示されるように、ポートAの7番(PA7)ピンがZCD0出力として使われます。

これは以下のコードに変換されます。

```
ZCD0.CTRLA = ZCD_OUTEN_bm;
PORTA.DIRSET |= PIN7_bm;
PORTA.OUTSET |= PIN7_bm;
```

3. ZCDn.CTRLAの許可(ENABLE)ビットに'1'を書くことによってZCDを許可してください。

ZCDが許可された後、ZCDの出力が無効かもしれない間の始動時間があります。始動時間の代表的な値についてはデバイスのデータシートで「電気的特性」章を参照してください。

ZCDの許可は以下のコード行を使って行うことができます。

```
ZCD0.CTRLA = ZCD_ENABLE_bm;
```

この全てはコードを追いかけ易くするため1つの初期化関数(例えば、'ZCD\_Init')に封入することができます。

図3-3. のオシロスコープ測定はMCUの入出力ピンから測定した自由走行での動きとしてZCDの入出力を示します。

図3-2. 外部入出力へ自由走行として接続されたZCD

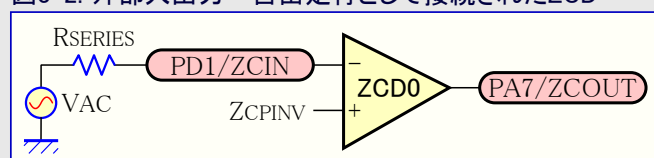
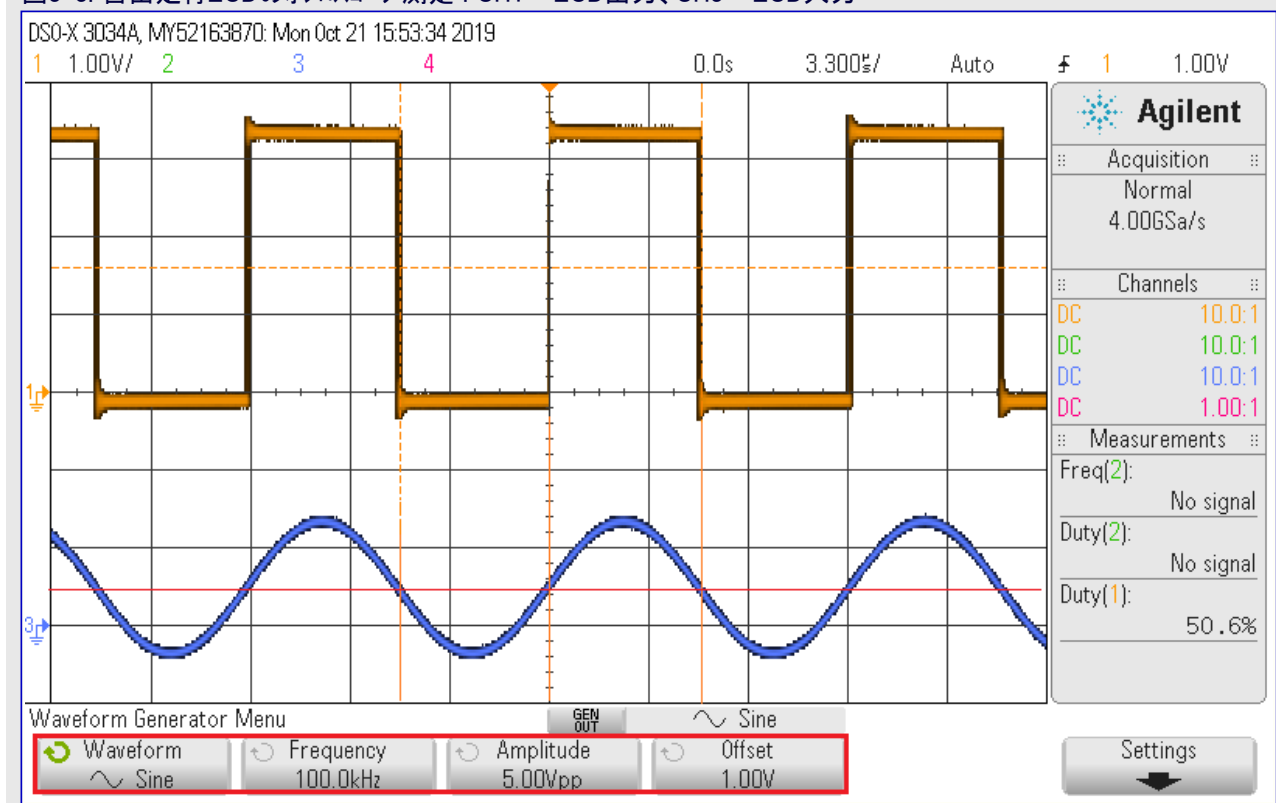


図3-3. 自由走行ZCDのオシロスコープ測定 : CH1 - ZCD出力、CH3 - ZCD入力



状態(ZCDn.STATUS)レジスタのZCD状態(STATE)ビットは入力信号が参照基準電圧(ZCPINV)の上か下かを示します。既定で、STATEビットは入力信号が参照基準電圧以上の時に'1'で、入力信号が参照基準電圧以下の時に'0'です。STATEビットの極性は制御A(ZCDn.CTRLA)レジスタで反転許可(INVERT)ビットに'1'を書くことによって逆にすることができます。INVERTビットはZCD割り込み極性にも影響を及ぼします。



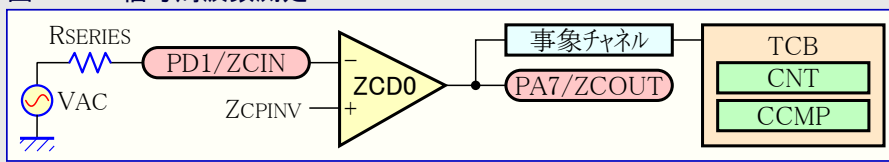
GitHubでコード例を見てください。  
 貯蔵庫を閲覧するにはクリックしてください。

## 4. AC信号周波数検出

AVR DAシステムは割り込みやCPUを使うことなく周辺機能相互通信を許す事象システム(EVSY)が特徴です。これは1つの周辺機能(事象生成部)での変化に事象チャンネルを通して他の周辺機能(事象使用部)での活動を起動することを許します。EVSYは周辺機能間で短い遅れ時間なしで予測可能な通信を提供し、節電のためにソフトウェアの複雑さ、大きさ、実行時間を減らすことができます。

次の応用例はマイクロコンピュータの力の最小使用でAC入力信号に対する持続時間/周波数測定の実装を示します。これは事象チャンネルを通してZCD出力からの信号をタイマ/カウンタB型(TCB)の事象入力へ配線するのにEVSYを使います。これを行うにはEVSYが正しく構成設定されなければなりません。この測定はアナログ比較器がその入力で負電圧を許さないため、ZCDでだけ行うことができます。

図4-1. AC信号周波数測定



EVSY構成設定での最初の段階はZCD出力をチャンネル0に対する事象生成部として設定することです。

図4-2. EVSY.CHANNEL - ZCD0出力をチャンネル0用事象生成部として設定

ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
アクセス種別	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
リセット値	0	0	0	0	0	0	0	0

- ビット7~0 - CHANNEL7~0 : チャンネル生成部選択 (Channel Generator Selection)

値	生成部		同期/ 非同期	説明	チャンネル可用性
	名称	出力			
\$30	ZCD0				
\$31	ZCD1 (注1)	OUT	非同期	ZCD出力レベル	全チャンネル
\$32	ZCD2 (注1)				

EVSYチャンネル0に対してチャンネル生成部選択(EVSY.CHANNEL0)レジスタは事象生成部としてZCD0を許可するように\$30を設定されなければなりません。

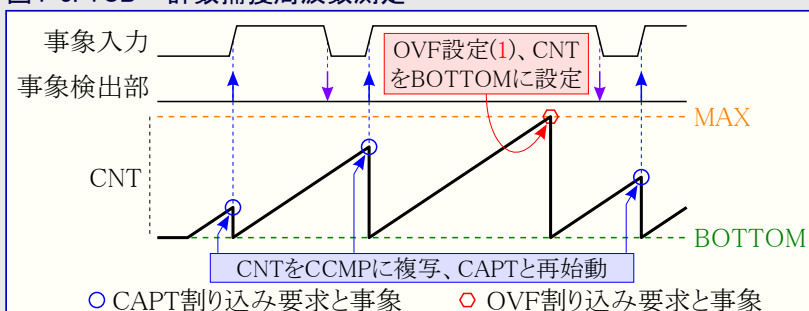
```
EVSY.CHANNEL0 = EVSY_CHANNEL0_ZCD0_gc;
```

TCB入力で事象を起動するにはTCB事象使用部がチャンネル0に接続されなければなりません。

```
EVSY.USERTCB0CAPT = EVSY_CHANNEL00_bm;
```

周波数測定を許可するため、TCBは入力として事象チャンネル0を通してZCD0出力をTCB事象入力に配線するのに使われるEVSYを持つ周波数測定動作で構成設定されます。計数捕獲周波数測定動作ではTCBが事象入力信号の正端または負端のどちらかで計数器値を捕獲して再始動します。捕獲割り込み(CAPT)フラグは比較/捕獲(TCBn.CCMP)レジスタの下位バイトが読まれた後、自動的に解除(0)されます。溢れ(OVF)の割り込みと事象は計数器(CNT)が最大値に達した時に生成されます。

図4-3. TCB - 計数捕獲周波数測定



以下のコードは入力としてEVSYを持つ周波数測定動作でのTCBの基本的な初期化を提供します。

```
void TCB_Init (void)
{
    TCB0.CTRLB = TCB_CNTMODE_FRQ_gc;
    TCB0.EVCTRL = TCB_CAPTEI_bm;
    TCB0.INTCTRL = TCB_CAPT_bm;
    TCB0.CTRLA = TCB_CLKSEL_DIV2_gc | TCB_ENABLE_bm | TCB_RUNSTDBY_bm;
}
```

この例に関してMCU内部クロックは4MHzに設定され、TCBのクロック選択は溢れを持つことなく40Hzまで計数することができるように2分周されます。20MHz内部クロックで同じ結果が必要とされる場合、その前置分周器でクロックを更に分周するのにタイマ/カウンタA型(TCA)を使うことができ、TCBへのクロック元としてTCAクロックを使ってください。

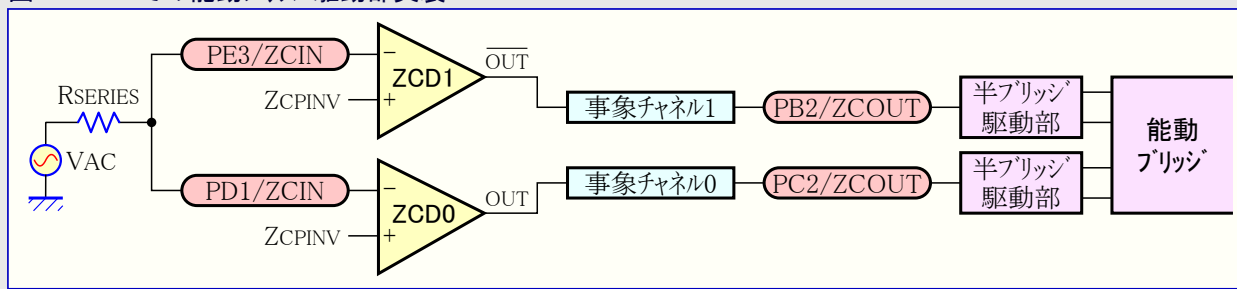


GitHubでコード例を見てください。  
 貯蔵庫を閲覧するにはクリックしてください。

## 5. 能動ブリッジ制御信号生成

この応用例はZCD周辺機能の手助けで駆動される能動ブリッジの実装を示します。図5-1をご覧ください。この解決策はCPU介在を使わず、内部アナログの接続と機能しかないので、周波数変化に適応することができます。ZCD出力からの信号を事象チャンネルを通して入出力ピンに配線するのにEVSYSを使います。これを行うのに、EVSYSは正しく構成設定されなければなりません。

図5-1. ZCDでの能動ブリッジ駆動部実装



EVSYS構成設定での最初の段階はZCD0出力をチャンネル0に対する事象生成部として設定することです。EVSYSチャンネル0に対してチャンネル生成部選択(EVSYS.CHANNEL0)レジスタは事象生成部としてZCD0を許可するように\$30を設定されなければなりません。同様に、EVSYSチャンネル1に対してチャンネル生成部選択(EVSYS.CHANNEL1)レジスタは事象生成部としてZCD1を許可するように\$31を設定されなければなりません。入出力ピンで事象を起動するため、EVSYS事象使用部はチャンネル0と1に接続されなければなりません。

```
EVSYS.CHANNEL0 = EVSYS_CHANNEL0_ZCD0_gc;
EVSYS.USEREVSYSSEVOUTB = EVSYS_CHANNEL00_bm;
EVSYS.CHANNEL1 = EVSYS_CHANNEL1_ZCD1_gc;
EVSYS.USEREVSYSSEVOUTC = EVSYS_CHANNEL01_bm;
```

その後に望むピンで入力と出力を許可することができます。

```
PORTE.PIN3CTRL = PORT_ISC_INPUT_DISABLE_gc;

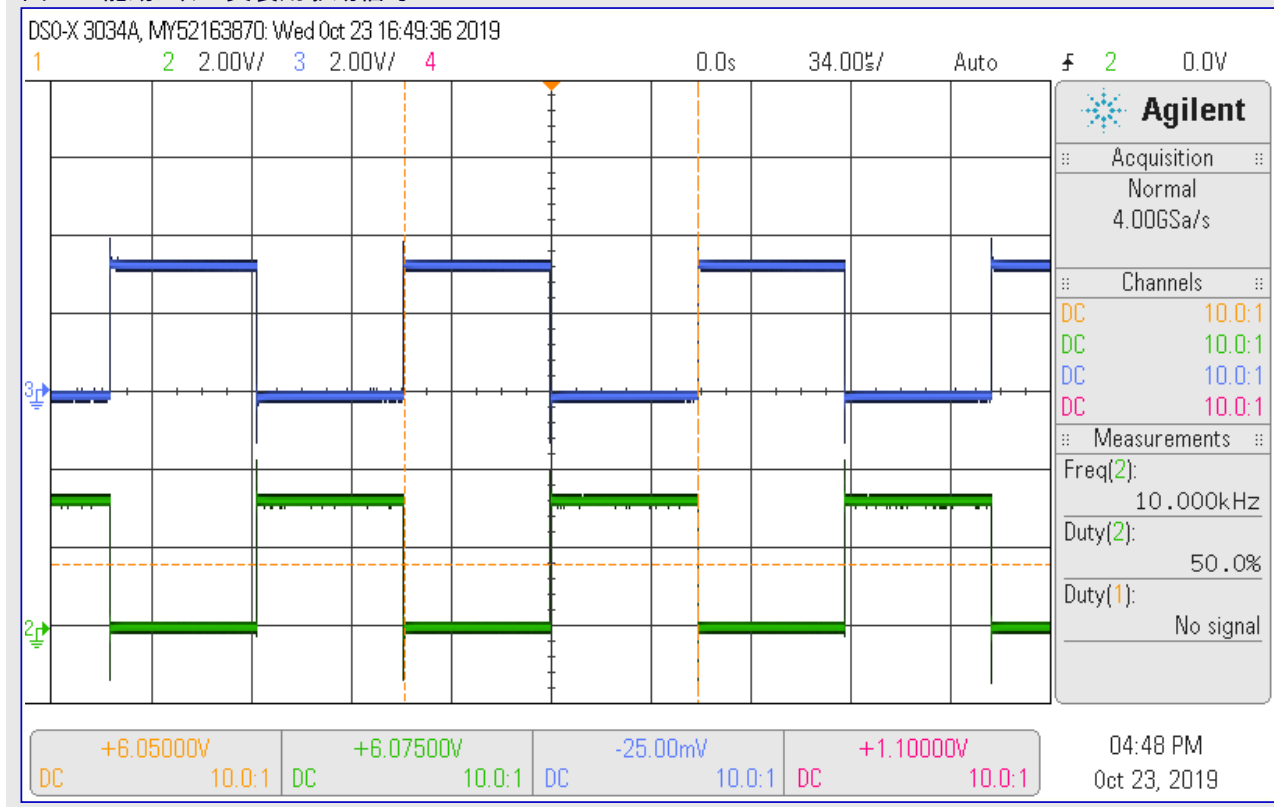
PORTD.PIN1CTRL = PORT_ISC_INPUT_DISABLE_gc;

PORTB.OUTSET |= PIN2_bm;
PORTB.DIRSET |= PIN2_bm;

PORTC.OUTSET |= PIN2_bm;
PORTC.DIRSET |= PIN2_bm;
```

オシロスコープ測定(図5-2参照)は周波数変化に直ぐに適応する成功した実装を示します。入出力ピンは直接トランジスタを駆動することができず、故に沈黙帯遅延能力を持つ半ブリッジまたは全ブリッジの駆動部が必要です。

図5-2. 能動ブリッジ実装用駆動信号



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. 参考資料

1. AVR128DA28/32/48/64暫定データシート
2. AVR128DA48 Curiosity Nano基板使用者の手引き

## 7. 追補

### 例7-1. ZCD自由走行コード例

```
#include <avr/io.h>

void ZCD0_Init(void);
void PORT_Init(void);

/* 0交差検出器の初期化 */
void ZCD0_Init(void)
{
    ZCD0.CTRLA = ZCD_ENABLE_bm          /* ZCD許可 */
                | ZCD_OUTEN_bm;        /* ZCDの出力を許可 */
}

void PORT_Init(void)
{
    /* PD1のデジタル入力緩衝器とプルアップ抵抗を禁止 */
    PORTD.PIN1CTRL |= PORT_ISC_INPUT_DISABLE_gc;

    /* 内部信号の中継器になるようにPA7を許可 */
    PORTA.DIRSET |= PIN7_bm;
    PORTA.OUTSET |= PIN7_bm;
}

```



```

int main(void)
{
    ZCDO_Init();
    PORT_Init();

    while(1)
    {
        ;
    }
}

```

#### 例7-2. ZCD周波数検出コード例

```

#include <avr/io.h>
#include <avr/interrupt.h>

uint16_t signal_frequency = 0;

void CLK_Init (void);
void PORT_Init (void);
void ZCDO_Init (void);
void TCBO_Init (void);
void EVSYS_Init (void);

void CLK_Init(void)
{
    /* 内部HF発振器を選択 */
    _PROTECTED_WRITE (CLKCTRL.MCLKCTRLA, CLKCTRL.CLKSEL_OSCHF_gc);
    /* 内部クロックを4MHzに設定 */
    _PROTECTED_WRITE (CLKCTRL.OSCHFCTRLA, CLKCTRL.FREQSEL_4M_gc);
}

void PORT_Init(void)
{
    /* PD1のデジタル入力緩衝器とプルアップ抵抗を禁止 */
    PORTD.PIN1CTRL = PORT_ISC_INPUT_DISABLE_gc;

    /* 内部信号の中継器になるようにPA7を許可 */
    PORTA.OUTSET |= PIN7_bm;
    PORTA.DIRSET |= PIN7_bm;
}

/* 0交差検出器の初期化 */
void ZCDO_Init(void)
{
    ZCDO.CTRLA = ZCD_ENABLE_bm           /* ZCD許可 */
                | ZCD_OUTEN_bm;         /* ZCDの出力を許可 */
}

/* 事象システムを通ずZCDからの入力でのパルス幅測定動作にTCBを初期化 */
void TCBO_Init(void)
{
    TCBO.CTRLB = TCB_CNTMODE_FRQ_gc;     /* 計数捕獲周波数測定動作 */
    TCBO.EVCTRL = TCB_CAPTEI_bm;        /* 事象入力許可: 許可 */
    TCBO.INTCTRL = TCB_CAPT_bm;         /* 捕獲または時間超過: 許可 */

    TCBO.CTRLA = TCB_CLKSEL_DIV2_gc /* CLK_PER/2(前置分周器) - 4MHzシステム クロックで40Hzまで計数するのに必要 */
                | TCB_ENABLE_bm       /* TCB許可: 許可 */
                | TCB_RUNSTDBY_bm;    /* スタンバイで走行: 許可 */
}

```

```

/* ZCDからの事象生成をTCBへ許可 */
void EVSYS_Init(void)
{
    /* 0交差検出器0出力を事象チャンネル0に結合 */
    EVSYS.CHANNEL0 = EVSYS_CHANNEL0_ZCD0_gc;
    /* TCBは事象チャンネル0を使用 */
    EVSYS.USERTCB0CAPT = EVSYS_CHANNEL00_bm;
}

int main(void)
{
    CLK_Init();
    TCB0_Init();
    EVSYS_Init();
    ZCD0_Init();
    PORT_Init();

    while(1)
    {
        ;
    }
}

ISR(TCB0_INT_vect)
{
    /* 周波数はCCMPレジスタに格納されます。
       Hzでの値に変換するのに式を使うことができます。 */
    signal_frequency = TCB0.CCMP;
}

```

### 例7-3. ZCD能動ブリッジ コード例

```

#include <avr/io.h>

void ZCD0_Init(void);
void ZCD1_Init(void);
void PORT_Init(void);
void EVSYS_Init(void);

/* 入出力ポートの初期化 */
void PORT_Init(void)
{
    /* PE3のデジタル入力緩衝器とプルアップ抵抗を禁止 */
    PORTE.PIN3CTRL = PORT_ISC_INPUT_DISABLE_gc;

    /* PD1のデジタル入力緩衝器とプルアップ抵抗を禁止 */
    PORTD.PIN1CTRL = PORT_ISC_INPUT_DISABLE_gc;

    /* PB2を出力として設定 */
    PORTB.OUTSET |= PIN2_bm;
    PORTB.DIRSET |= PIN2_bm;

    /* PC2を出力として設定 */
    PORTC.OUTSET |= PIN2_bm;
    PORTC.DIRSET |= PIN2_bm;
}

/* 0交差検出器の初期化 */
void ZCD0_Init(void)
{

```

```

    ZCD0.CTRLA = ZCD_ENABLE_bm;          /* ZCD0許可 */
}

void ZCD1_Init(void)
{
    ZCD1.CTRLA = ZCD_ENABLE_bm          /* ZCD1許可 */
                | ZCD_INVERT_bm;       /* ZCD1出力反転 */
}

/* ZCDからの事象生成を事象システムのI/Oピン出力へ許可 */
void EVSYS_Init(void)
{
    /* 0交差検出器0出力を事象チャンネル0に結合 */
    EVSYS.CHANNEL0 = EVSYS_CHANNEL0_ZCD0_gc;
    /* 事象システム出力B(PINB2)は事象チャンネル0を使用 */
    EVSYS.USEREVSYSEVOUTB = EVSYS_CHANNEL00_bm;

    /* 0交差検出器1出力を事象チャンネル1に結合 */
    EVSYS.CHANNEL1 = EVSYS_CHANNEL1_ZCD1_gc;
    /* 事象システム出力B(PINC2)は事象チャンネル1を使用 */
    EVSYS.USEREVSYSEVOUTC = EVSYS_CHANNEL01_bm;
}

int main(void)
{
    EVSYS_Init();
    ZCD0_Init();
    ZCD1_Init();
    PORT_Init();

    while(1)
    {
        ;
    }
}

```

## 8. 改訂履歴

文書改訂	日付	注釈
A	2020年2月	初版文書公開
B	2020年3月	貯蔵庫リンク更新
C	2020年3月	最新の商標により、AVR-DAをAVR <sup>®</sup> MCU DA (AVR-DA)に更新
D	2020年5月	最新の商標により、AVR <sup>®</sup> MCU DA (AVR-DA)をAVR <sup>®</sup> DA MCUに、AVR-DAをAVR DAに更新

---

## 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わ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製品を使うことが必要です。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”として保証するとい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

---

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、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、TempTracker、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。

APT、ClockWorks、The Embedded Control Solutions Company、EtherSynch、FlashTec、Hyper Speed Control、HyperLight Load、IntelliMOS、Liberio、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、BlueSky、BodyCom、CodeGuard、CryptoAuthentication、CryptoCompanion、CryptoController、dsPICDEM、dsPICDEM.net、Dynamic Average Matching、DAM、ECAN、EtherGREEN、In-Circuit Serial Programming、ICSP、INICnet、Inter-Chip Connectivity、JitterBlocker、KleerNet、KleerNetロゴ、memBrain、Mindi、MiWi、MPASM、MPF、MPLAB Certifiedロゴ、MPLAB、MPLINK、MultiTRAK、NetDetach、Omniscient Code Generation、PICDEM、PICDEM.net、PICkit、PICtail、PowerSmart、PureSilicon、QMatrix、REALICE、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。

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。

© 2020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 2020.

本技術概説はMicrochipのTB3233技術概説(DS90003233D-2020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