

AT04204 : XMEGA Eでの降圧変換器設計

Atmel AVR XMEGA E

要点

- Atmel® AVR® ATxmega32E5マイクロ コントローラ
- 降圧変換器のハードウェア紹介
- 降圧変換器のパラメータを計算する使用者を手引き
- XMEGA® Eで降圧変換器を実装する使用者を手引き

説明

応用記述は降圧変換器の動作原理を紹介してハードウェアとソフトウェアの両面に於いてXMEGA Eデバイスで降圧変換器を設計する方法の手引きを与えます。応用記述は降圧変換器のパラメータを計算する使用者も手引きします。

目次

1. 関連項目	3
2. 概要	3
3. 降圧変換器パラメータ計算	4
3.1. コイル選択	4
3.2. 出力コンデンサ選択	4
3.3. フリーホイールダイオード選択	5
3.4. 出力電圧選択	5
3.5. 入力コンデンサ選択	5
4. 降圧変換器実装	6
4.1. パルス幅変調	7
4.2. パルス周波数変調	8
5. コード例	10
6. 改訂履歴	10

1. 関連項目

以下の一覧は降圧変換器に最も関連する資料へのリンクを含みます。

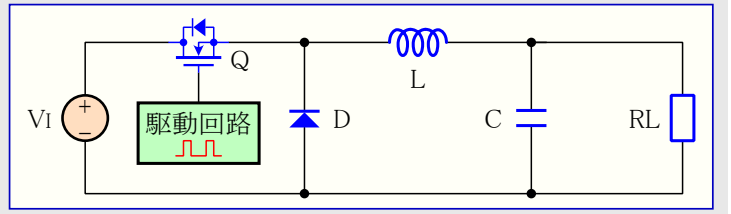
- [ATxmega32E5/ATxmega16E5/ATxmega8E5データシート](#)
ATxmega32E5がこの解決策で使用されるマイクロ コントローラです。
- [Atmel AVR XMEGA 手引書](#)
この資料はAtmel AVR XMEGA Eマイクロ コントローラ系統に含まれる全ての単位部の完全で詳細な記述を含みます。
- [Atmel AT04022:XMEGA EでのDALI従装置ハードウェア使用者の手引き](#)
この応用記述はATxmega32E5でのLED列用の降圧変換器ハードウェアを記述します。
- [Atmel AT03922:XMEGA EでのDALI従装置 - ソフトウェア使用者の手引き](#)
この応用記述はATxmega32E5でのLED列用の降圧変換器ソフトウェアを記述します。
- [AVR1612:PDIプログラミングドライバ](#)
プログラムとデバッグのインターフェース(PDI)は外部書き込み器とデバイスのチップ上デバッグ用のAtmel占有インターフェースです。この応用記述はPDIプログラミングの実装方法を記述します。
- [Atmel Studio 6](#)
Atmel Studio 6はAtmelマイクロ コントローラ用のC/C++とアセンブラのコードの開発をするための無料Atmel IDEです。
- [Atmel JTAGICE3](#)
JTAGICE3はソースレベル シンボル デバッグ用チップ上デバッグ、(デバイスによって支援されていれば)Nano追跡、デバイスプログラミングを持つAtmel 8と32ビットAVRマイクロ コントローラ用中位開発ツールです。

2. 概要

降圧変換器は降圧DC/DC変換器です。これは電圧源を同じ極性でより低く調整された電圧に変換し、入力と出力間は分離されません。入力電流は毎回の切り替え周期で0から出力電流へ(パルスで)脈動する電力切り替えMOSFET電流のため不連続です。出力コイルとコンデンサの組み合わせによって電流が供給されるため出力電流は連続です。図2-1は降圧変換器の単純化した構成図を示します。

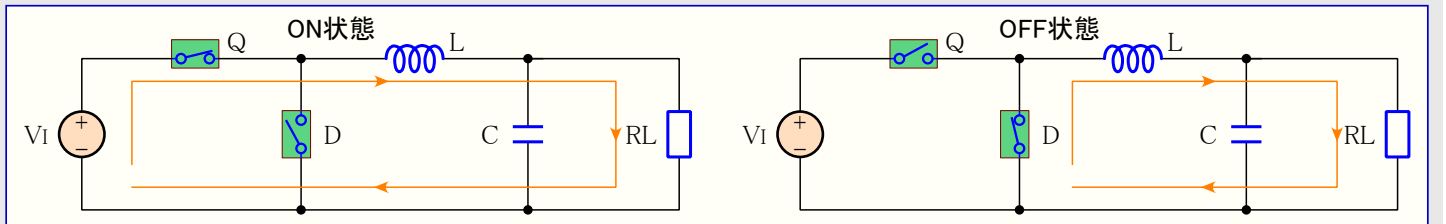
降圧変換器は電力切り替えMOSFET、ダイオード、コイル、いくつかのコンデンサを用いてエネルギーの小包を転送します。NとPの両チャネルのMOSFETが動作でき、使用者はそれらの実際の応用でどちらの形式の回路が適用されるのを必要とするかを決定することができます。ダイオード(D)は通常フリーホイール ダイオードと呼ばれます。コイル(L)とコンデンサ(C)は出力濾波器を構成します。抵抗器(RL)は降圧変換器出力によって見られる負荷を表します。駆動回路はMOSFETをON/OFF駆動する駆動信号を生成します。

図2-1. 降圧変換器の構成図



降圧変換器は切り替え周期毎に動作する、MOSFET完全ON状態とMOSFET完全OFF状態の2つ主な状態を仮定します。完全ON状態はQがONでDが遮断の時です。完全OFF状態はQがOFFで、LとRLを通して流れる順方向電流でDがONの時です。2つの状態の各々に対する開路構成図が図2-2で示されます。橙矢印は電流の流れを示します。

図2-2. 降圧変換器の状態構成図



MOSFET(Q)が完全にONの間、MOSFET(Q)はONに切り替わってそのドレインからソースへ低抵抗を示して小さな電圧降下を持ちます。これはコイルの等価DC抵抗を渡って小さな電圧降下も持ちます。ダイオード(D)はこれが逆バイアスされるためにOFFです。コイル(L)の右側で印加される電圧が出力電圧です。入力電源(VI)からの電流はMOSFET(Q)、コイル(L)を通して出力コンデンサと負荷抵抗(RL)の組み合わせに流れます。コイル(L)は負荷へ電流を配給します。コンデンサ(C)はLの電流変化を負荷に対する安定な電圧に平滑します。この時中、エネルギーが磁界の形式でコイル内に蓄えられます。

一旦MOSFETが完全にOFFすると、MOSFET(Q)はOFFに切り替わってそのドレインからソースへ高インピーダンスを示します。電圧源は他の回路から分離され、故に出力電流降下します。コイルは電磁成分でコイルの電流の流れは瞬時に変わることができません。故にコイルは電流の変化と戦おうとします。入力元が失われた時に電流を維持するために、コイルは電圧源の場所を取ってその電圧を逆にすることによって電流の流れを保ちます。例えコイル上の電流が完全ON状態と同じとは言え、コイル(L)の左側は負に振れ、逆にされます。故にフリーホイール ダイオード(D)がONに切り替わってコイル上の電流を流す経路を提供します。Lの右側に印加される電圧は未だ出力電圧です。電流はGNDからダイオード(D)とコイルを通して出力コンデンサ(C)と負荷抵抗(RL)の組み合わせに流れます。コイルは負荷への電流を維持します。

3. 降圧変換器パラメータ計算

下は部品の値を計算する降圧変換器の回路図です。図3-1は降圧変換器設計回路図を示します。以下は降圧変換器計算で鍵となるパラメータです。

- 入力電圧 (V_{in})
 - 出力電圧 (V_{out})
 - 最大出力電流 (I_{load})
 - 切り替え周波数 (f_{sw})
- 最大デューティサイクルは以下です。

$$D = V_{out} / V_{in}$$

リップル電流を定義してください。コイルリップル電流は設計の始めでコイルが未知のため計算することができません。一般的にコイルのリップル電流は最大出力電流の30%に制限されます。

$$I_{ripple} = 0.3 \times I_{load}$$

通常の順序として、コイルと出力コンデンサが先に計算され、その後にフリーホイールダイオード、入力コンデンサ、MOSFETを決めるべきです。

3.1. コイル選択

コイルの範囲が全く与えられない設計に対して、正しいコイルに関して次式が良い推定です。

$$L = V_{out} \times (V_{in} - V_{out}) / (I_{ripple} \times f_{sw} \times V_{in})$$

再整理と代替の後が以下です。

$$L = D \times (V_{in} - V_{out}) / (I_{ripple} \times f_{sw})$$

インダクタンスに関して、適切な線の直径のコイルが選ばれるべきです。設計の最大出力電流がコイルの線の直径を決めます。次式は最大出力電流を得るための参照基準を与えます。

$$I_{max} = I_{load} + (I_{ripple} / 2)$$

コイルの過負荷を避けるため、コイルの電流定格は最大電流を網羅すべきです。我々が知るように、より高いインダクタンスはリップルを減らして降圧変換器の出力品質を改善します。けれども、より高いインダクタンスは常により大きな大きさを意味します。これは常に性能と大きさの二律背反です。設計者はそれらの実際の応用でそれを処理して平衡することが必要です。

3.2. 出力コンデンサ選択

出力コンデンサを渡る電圧リップルは3つの部分の総和です。1つはコンデンサの等価直列抵抗(ESR)のため、その他はコンデンサの等価直列インダクタンス(ESL)のため、3つ目はコイルが放電される時にコンデンサによって供給されなければならない負荷電流のための電圧降下です。コンデンサのESR値は製造業者の目録から選ぶことができます。しかしESLは通常、製造業者によって指定されません。湯瀬に設計に於いてはESL値が0と仮定します。

注: 指定したESLは切り替え周波数増加の時にもっと重要になります。

コンデンサに対して、

$$\Delta V = I_{ripple} \times ESR + (I_{ripple} \times T_{on} / C_{out}) + (I_{ripple} \times ESL / T_{on})$$
$$T_{on} = D / f_{sw}$$

前で言及したように、ESL=0と仮定し、式を簡単化します。

$$\Delta V = I_{ripple} \times ESR + (I_{ripple} \times T_{on} / C_{out})$$

再整理します。

$$C_{out} = [(I_{ripple} \times D / f_{sw}) / (\Delta V - I_{ripple} \times ESR)]$$

C_{out} は最小出力コンデンサです。

I_{ripple} は推定したコイルリップル電流です。

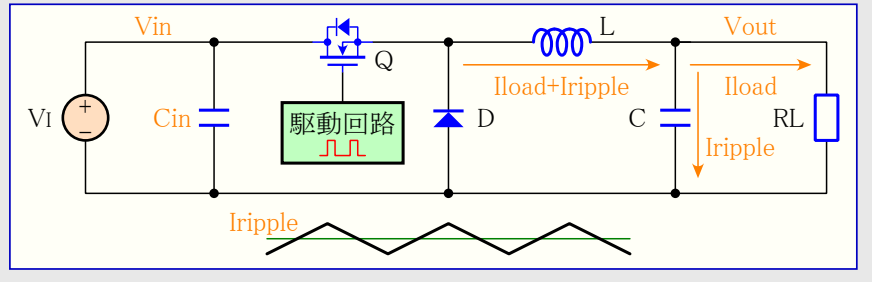
ΔV は望む出力電圧リップルです。

D は降圧変換器のデューティサイクルです。

f_{sw} は駆動回路によって生成された降圧変換器の最小切り替え周波数です。

再整理した式の分母内の項の $(\Delta V - I_{ripple} \times ESR)$ はコンデンサ値よりもコンデンサのESR定格がもっと重要なことを示します。選んだESRが大きすぎる場合、電圧リップルは目標出力電圧リップルと等しいかまたは超えるでしょう。しかし分母は0に等しくすることができず、それは分限大の出力コンデンサが必要とされることを意味します。従って、低ESRコンデンサを選ぶことが出力電圧でのリップルを最小にすることを助けします。

図3-1. 降圧変換器設計回路図



3.3. フリーホイール ダイオード選択

フリーホイール ダイオードについては、順方向電流定格とダイオードの電力消費が考慮されるべき鍵となる面です。

ダイオードの最大逆電圧は V_{in} です。

ダイオードの平均電流はダイオードが伝導する負荷電流と等価です。ダイオードの導電割合は $(1-D)$ です。ダイオード電流を推定してください。

$$I_D = I_{load} \times (1 - D)$$

I_D はフリーホイール ダイオードの平均順方向電流です。

D はデューティ サイクルです。

I_{load} は最大出力電流です。

ダイオードの電力消費は以下と等価です。

$$P = I_D \times V_F$$

V_F はダイオードの順方向電圧です。

切り替え損失を減らすため、ショットキー ダイオードも使用されます。より高い切り替え周波数では、ダイオードの逆回復時間が考慮されるべきです。

3.4. 出力電圧選択

降圧変換器の出力電圧は帰還電圧によって決められます。抵抗分圧網は出力側から帰還電圧を容易に得ることができます。これは殆どの降圧変換器でも広く使用されます。与えられた帰還電圧の V_{fb} と帰還バイアスの I_{fb} とで電圧分圧器を計算することができます。

図3-2.は出力電圧を設定するための抵抗を示します。

バイアス電流の影響を避けるため、抵抗分圧器を通る電流は帰還バイアス電流の最低100倍大きい必要があります。

$$I \geq 100 \times I_{fb}$$

しかし大きすぎる電流は分圧抵抗での余分な電力損失を導き、設計者によって妥当な値が選ばれるべきで。

抵抗器の R_{up} と R_{bt} は下のように計算されます。

$$R_{bt} = V_{fb} / I$$

$$R_{up} = R_{bt} \times [(V_{out} / V_{fb}) - 1]$$

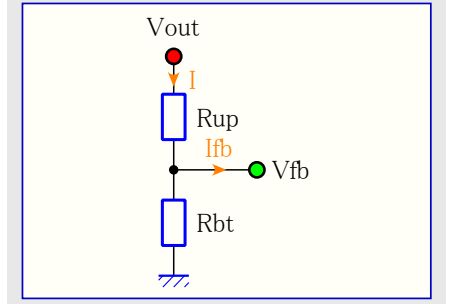
R_{up} と R_{bt} は抵抗分圧器の抵抗器です

V_{fb} は駆動ICのデータシートで見つけることができる帰還電圧です。

I は抵抗分圧器の R_{up} と R_{bt} を通してGNDに流れる電流です。

V_{out} は望む出力電圧です。

図3-2. 出力電圧設定用抵抗分圧器



3.5. 入力コンデンサ選択

まさに上で言及された出力コンデンサと同じで、入力コンデンサ選択は電圧リップルの必要条件下で主にESRによって決定されます。

入力コンデンサの最小値は切り替え電源の先頭最大電流必要条件のために入力電圧を安定化するのに必要です。最悪の場合、降圧変換器の入力でのリップル電流は負荷電流の約半分です。

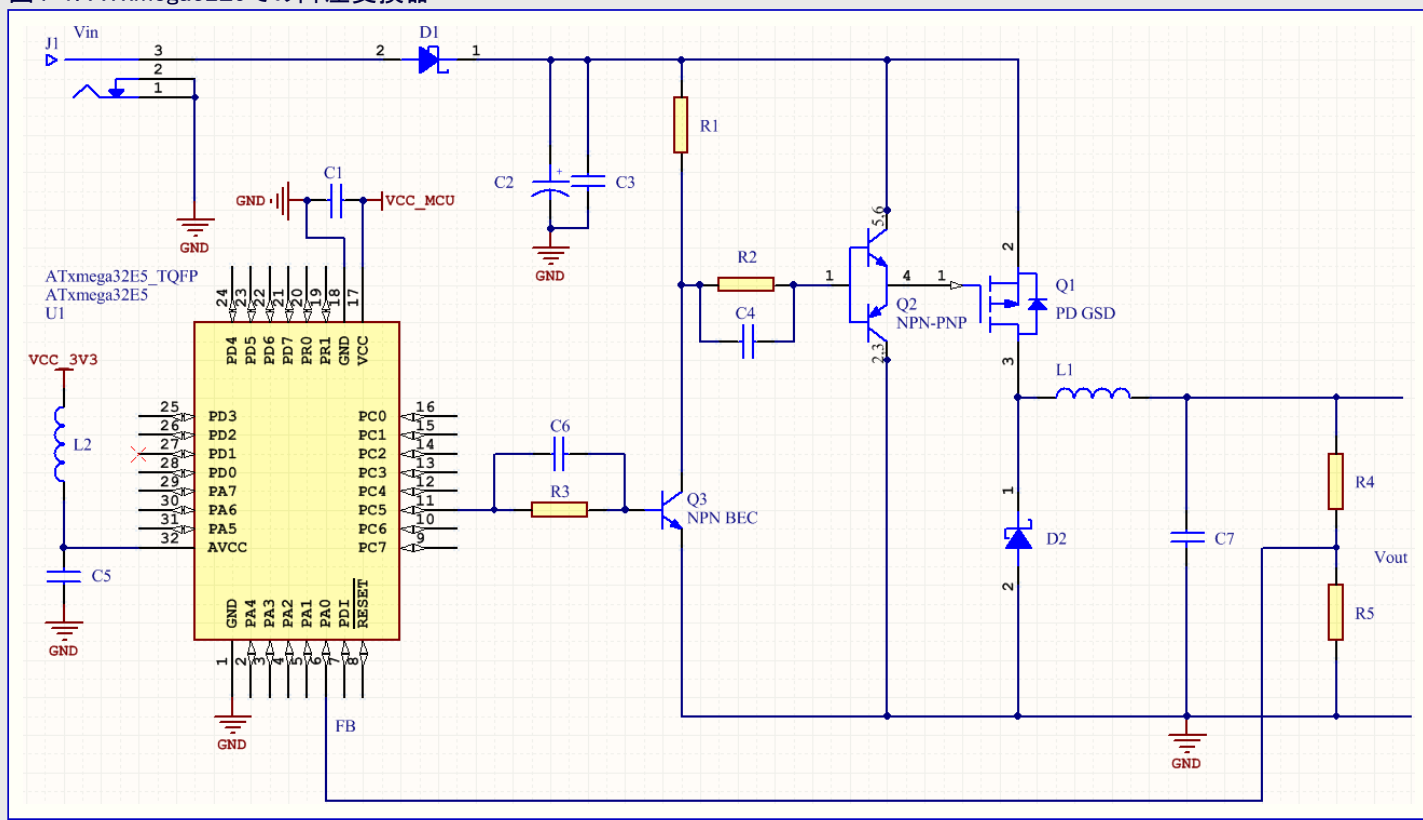
入力コンデンサの計算を得るには3.2.項を参照してください。

4. 降圧変換器実装

XMEGA Eデバイスを用いる降圧変換器実装には2つの方法があります。2つの方法間の鍵となる違いは周波数の動きです。1つの方法は固定周波数を使用し、他方は負荷の変化に従う可変周波数です。固定周波数法はパルス幅変調と呼ばれ、可変周波数法はパルス周波数変調と呼ばれます。

図4-1.はATxmega32E5での降圧回路のハードウェア回路を示します。

図4-1. ATxmega32E5での降圧変換器



上の回路で記されるように、PチャネルのMOSFET(Q1)、コイル(L1)、フリーホイール ダイオード(D2)、コンデンサ(C7)が降圧変換器を構成します。抵抗(R1,R2,R3)、コンデンサ(C4,C6)、トランジスタ(Q2,Q3)はMOSFET(Q1)用の駆動回路を構成します。C4とC6は加速(スピードアップ)コンデンサ回路と呼ばれ、加速コンデンサの値は通常、非常に小さいです。これらはトランジスタの完全ONまたは完全OFFのどちらかを加速するのに使用されます。コンデンサのC2とC3は降圧回路に対する濾波器と蓄積回路を構成します。抵抗のR4とR5は電圧帰還閉路を構成します。コイル(L2)、コンデンサ(C1,C5)、MCU U1のATxmega32E5が最小MCUシステムを構成します。

XMEGA Eでの降圧回路でMOSFET駆動信号の切り替え周波数は最大数百kHzや数MHzです。故にフリーホイール ダイオードの逆回復時間を考慮することが必要です。逆回復時間が長すぎる場合、コイルでの逆電流が非常に大きくなります。

電圧や電流の帰還閉路は帰還閉路として使用することができます。この場合、電圧帰還閉路が使用されます。MCUが予め設定した電圧よりも高い帰還電圧を検出すると、MCUは帰還電圧が設定した帰還電圧よりも小さくなるまで直ちにMOSFETの駆動信号をOFFにし、その後に負荷に対して電力を供給するためにMOSFETをONにするのにMOSFETの駆動信号をONにします。

この降圧回路の容易な実装はチップ上のハードウェア単位部、ATxmega Eで事象システム制御器単位部を障害拡張単位部へ繋ぐことから利益を得ます。これはいくつかのレジスタの形態設定を除いて余分なファームウェア消費を必要としません。使用者は降圧回路を走らせるためにアナログ比較器レジスタ、障害拡張レジスタ、事象システムレジスタ、計時器/計数器を形態設定することだけが必要です。

次項はパルス幅変調とパルス周波数変調でMCUのレジスタを形態設定する方法を使用者に手引きします。

4.1. パルス幅変調

この変調に関して、MCUに固定切り替え周波数を設定することだけが必要で、MOSFETのパルス幅の駆動は帰還閉路の帰還に従って変更されます。

レジスタ構成設定例:

```
int main (void)
{
/* システム クロック設定 */
OSC. CTRL |= OSC_RC32MEN_bm;
while(!(OSC. STATUS & OSC_RC32MRDY_bm));
CCP = CCP_IOREG_gc;
CLK. CTRL = CLK_SCLKSEL_RC32M_gc;

/* I/Oポート設定 */
PORTA. OUT = 0x00;
PORTA. DIR = (1 << 7);
PORTA. PIN7CTRL = PORT_OPC_PULLDOWN_gc | PORT_ISC_INPUT_DISABLE_gc;

PORTC. OUT = (1 << 1);
PORTC. DIR = (1 << 5) | (1 << 1);
PORTC. PIN1CTRL = PORT_OPC_PULLDOWN_gc | PORT_ISC_INPUT_DISABLE_gc;
PORTC. PIN5CTRL = PORT_OPC_PULLDOWN_gc | PORT_ISC_INPUT_DISABLE_gc;

PORTD. OUT = 0x00;
PORTD. DIR = (1 << 5) | (1 << 4) | (1 << 3);
PORTD. PIN3CTRL = PORT_OPC_PULLDOWN_gc | PORT_ISC_INPUT_DISABLE_gc;
PORTD. PIN4CTRL = PORT_OPC_PULLDOWN_gc | PORT_ISC_INPUT_DISABLE_gc;
PORTD. PIN5CTRL = PORT_OPC_PULLDOWN_gc | PORT_ISC_INPUT_DISABLE_gc;

/* 計時器/計数器レジスタ設定 */
PR. PRGEN = PR_RTC_bm
                | PR_XCL_bm
                | PR_EDMA_bm;
PR. PRPA = PR_ADC_bm
                | PR_DAC_bm;
PR. PRPC = PR_TWI_bm
                | PR_USART0_bm
                | PR_SPI_bm
                | PR_HIRES_bm
                | PR_TC4_bm
                ;
PR. PRPD = PR_TWI_bm
                | PR_USART0_bm
                | PR_SPI_bm
                | PR_HIRES_bm
                | PR_TC4_bm
                ;
TCC5. PER = 31;
TCC5. CCB = 25;
TCC5. CTRLA |= TC45_CCBMODE_COMP_gc;

TCC5. CTRLB = TC45_BYTEM_NORMAL_gc
                | TC45_CIRCEN_DISABLE_gc
                | TC45_WGMODE_SINGLESLOPE_gc;
TCC5. CTRLA = (0 << TC5_SYNCHEN_bp)
                | (0 << TC5_EVSTART_bp)
                | (0 << TC5_UPSTOP_bp)
                | TC45_CLKSEL_DIV1_gc;
TCC5. CTRLD = TC45_EVACT_FMODE1_gc
                | TC45_EVSEL_CHO_gc;
```

```

/* 障害拡張レジスタ設定 */
FAULTC5.CTRLD = FAULT_KEEPB_bm
                | FAULT_SRCB0_bm;

/* アナログ比較器レジスタ設定 */
ACA.ACOMUXCTRL = AC_MUXPOS_PIN0_gc
                | AC_MUXNEG_SCALER_gc;

ACA.CTRLB = 18;
ACA.ACOCTRL = AC_INTMODE_RISING_gc
                | AC_ENABLE_bm;

/* 事象システムレジスタ設定 */
EVSYS.CHOMUX = EVSYS_CHMUX_ACA_CHO_gc;

While(1)
(
)
}

```

4.2. ハルス周波数変調

この変調に関して、MOSFETの駆動信号の最小ON時間を設定することだけが必要で、MOSFETの駆動信号のハルス幅と切り替え周波数は帰還閉路の帰還に従って変更されます。

レジスタ構成設定例:

```

int main (void)
{
/* システムクロック設定 */
OSC.CTRL |= OSC_RC32MEN_bm;
while(!(OSC.STATUS & OSC_RC32MRDY_bm));
CCP = CCP_IOREG_gc;
CLK.CTRL = CLK_SCLKSEL_RC32M_gc;

/* I/Oポート設定 */
PORTA.OUT = 0x00;
PORTA.DIR = (1 << 7);
PORTA.PIN7CTRL = PORT_OPC_PULLDOWN_gc | PORT_ISC_INPUT_DISABLE_gc;

PORTC.OUT = (1 << 1);
PORTC.DIR = (1 << 5) | (1 << 1);
PORTC.PIN1CTRL = PORT_OPC_PULLDOWN_gc | PORT_ISC_INPUT_DISABLE_gc;
PORTC.PIN5CTRL = PORT_OPC_PULLDOWN_gc | PORT_ISC_INPUT_DISABLE_gc;

PORTD.OUT = 0x00;
PORTD.DIR = (1 << 5) | (1 << 4) | (1 << 3);
PORTD.PIN3CTRL = PORT_OPC_PULLDOWN_gc | PORT_ISC_INPUT_DISABLE_gc;
PORTD.PIN4CTRL = PORT_OPC_PULLDOWN_gc | PORT_ISC_INPUT_DISABLE_gc;
PORTD.PIN5CTRL = PORT_OPC_PULLDOWN_gc | PORT_ISC_INPUT_DISABLE_gc;

/* 計時器/計数器レジスタ設定 */
PR.PRGEN = PR_RTC_bm
          | PR_XCL_bm
          | PR_EDMA_bm;

PR.PRPA = PR_ADC_bm
        | PR_DAC_bm;

PR.PRPC = PR_TWI_bm
        | PR_USART0_bm
        | PR_SPI_bm
        | PR_HIRES_bm
        | PR_TC4_bm;

PR.PRPD = PR_TWI_bm
        | PR_USART0_bm

```



```

        PR_SPI_bm
        PR_HIRES_bm
        PR_TC4_bm; TCC5.CTRLB = TC45_BYTEM_NORMAL_gc
        TC45_CIRCEN_DISABLE_gc
        TC45_WGMODE_SINGLESLOPE_gc;
TCC5.CTRLC |= TC5_POLB_bm;
TCC5.CTRLD = TC45_EVACT_FMODE2_gc
        (0 << TC5_EVDLY_bp)
        TC45_EVSEL_CHO_gc;
TCC5.CTRLE = TC45_CCDMODE_DISABLE_gc
        TC45_CCCMODE_DISABLE_gc
        TC45_CCBMODE_COMP_gc
        TC45_CCAMODE_DISABLE_gc;

TCC5.PER = 320;
TCC5.CCB = 6;
TCC5.CTRLA |= (0 << TC5_SYNCHEN_bp)
        (0 << TC5_EVSTART_bp)
        (0 << TC5_UPSTOP_bp)
        TC45_CLKSEL_DIV1_gc;

/* 障害拡張レジスタ設定 */
FAULTC5.CTRLA = FAULT_RAMP_RAMP1_gc
        (0 << FAULT_FDDBD_bp)
        FAULT_PORTCTRL_bm
        (0 << FAULT_FUSE_bp)
        (0 << FAULT_FILTERE_bp)
        FAULT_SRCE_DISABLE_gc;
FAULTC5.CTRLD = (0 << FAULT_SOFTB_bp)
        FAULT_HALTB_DISABLE_g
        (1 << FAULT_RESTARTB_bp)
        (0 << FAULT_KEEPPB_bp)
        FAULT_SRCB_CHN1_gc;
FAULTC5.CTRLE = (0 << FAULT_CAPTB_bp)
        (0 << FAULT_FILTERB_bp)
        (0 << FAULT_BLANKB_bp)
        (1 << FAULT_QUALB_bp);

/* アナログ比較器レジスタ設定 */
ACA.ACOMUXCTRL = AC_MUXPOS_PINO_gc
        AC_MUXNEG_SCALER_gc;
ACA.CTRLA = AC_ACOOUT_bm;
ACA.CTRLB = 16;
ACA.ACOCTRL = AC_INTMODE_RISING_gc
        AC_INTLVL_OFF_gc
        AC_HYSMODE_SMALL_gc
        AC_ENABLE_bm;

/* 事象システムレジスタ設定 */
EVSYS.CHOMUX = EVSYS_CHMUX_ACA_CHO_gc;

PORTCFG.ACEVOUT = PORTCFG_ACOUT_PA_gc
        PORTCFG_EVOUT_PC7_gc
        PORTCFG_EVASYEN_bm
        PORTCFG_EVOUTSEL_1_gc;

While(1)
(
)
}

```

5. コード例

例応用はAtmel Studio 6に含まれるAtmelソフトウェア枠組みに基づきます。Atmelソフトウェア枠組みは以下で独立したオンライン一括として見つけることができます。

<http://www.atmel.com/tools/avrsoftwareframework.aspx>

コード例についてのより多くの情報に関しては[Atmel AT03922:XMEGA EでのDALI従装置 – ソフトウェア使用者の手引き応用記述](#)をご覧ください。

6. 改訂履歴

資料改訂	日付	注釈
42183A	2013年9月	初版資料公開

Atmel Corporation

2325 Orchard Parkway
San Jose, CA 95131
USA
TEL (+1)(408) 441-0311
FAX (+1)(408) 487-2600
www.atmel.com

Atmel Asia Limited

Unit 01-5 & 16, 19F
BEA Tower, Millennium City 5
418 Kwun Tong Road
Kwun Tong, Kowloon
HONG KONG
TEL (+852) 2245-6100
FAX (+852) 2722-1369

Atmel Munich GmbH

Business Campus
Parking 4
D-85748 Garching b. Munich
GERMANY
TEL (+49) 89-31970-0
FAX (+49) 89-3194621

Atmel Japan

141-0032 東京都品川区
大崎1-6-4
新大崎勧業ビル 16F
アトメル ジャパン合同会社
TEL (+81)(3)-6417-0300
FAX (+81)(3)-6417-0370

© 2013 Atmel Corporation. / 改訂:42183A-AVR-09/2013

Atmel®, Atmelロゴとそれらの組み合わせ、AVR®, Enabling Unlimited Possibilities®, XMEGA®とその他は米国及び他の国に於けるAtmel Corporationの登録商標または商標です。他の用語と製品名は一般的に他の商標です。

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、または利益と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。

© HERO 2017.

本応用記述はAtmelのAT04204応用記述(Rev.42183A-09/2013)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。