
コアから独立した周辺機能を使う降圧変換器と帰還制御部

要点

- ・ コアから独立した周辺機能を使う降圧変換器用PWM帰還制御部の実装が提示されます。
- ・ 簡単な降圧変換器用ハードウェア設計の手引き
- ・ 降圧変換器用部品値計算
- ・ 誤差増幅器用部品値計算
- ・ コード例はAtmel STARTで利用可能

序説

著者: Viktor Aase, Microchip Technology Inc.

スイッチング電源は一般的な直線電圧調整器よりもDC-DC変換に於いてずっと効率的ですが、より高い複雑さとそれらに関連する費用のために度々見逃されることがあります。専用の制御器ICは一般的に予め決められた電圧範囲と切り替えパラメータでだけ動き、異なる使用事例では違う設計が使われなければなりません。AVR[®] DB系のマイクロコントローラのコアから独立した周辺機能を使うスイッチング制御器実装は高い柔軟性の系にして部品表に受動部品だけを追加し、それによってより高価なICの数を減らします。

この応用記述はAVR DB系デバイスのコアから独立した周辺機能を使って降圧変換器用の帰還切り替え制御部を実装する方法を示します。初期構成準備後、コアから独立した周辺機能はCPUから独立し、マイクロコントローラに並行して他のどんな作業を行うことも許します。

「2. コアから独立した周辺機能を使う閉路電圧制御」では帰還制御部の短い概要だけでなく、コアから独立した周辺機能を使ってそれを実装する方法も与えられます。降圧変換器の全般的な設計は「3. 部品選択 - 降圧変換器」で網羅されます。降圧変換器の出力電圧設定は「4. 出力電圧設定」で網羅される一方で「5. 部品選択 - 誤差増幅器」はPWM生成に対する原理と誤差増幅器補償網の設計を検討します。最後に、実装例で測定したいいくつかの特性が「6. 結果」で提示されます。

この応用記述は電流と電圧での効率性や時間変動、また配置の考慮のような面での詳細には入りません。下でリンクにされた他の応用記述がもっと詳細に入り、この主題のより深い理解を提供するために、この応用記述と併せて使うことができます。

- ・ [AN968 - 簡単な同期降圧調整器](#)
- ・ [CIP混成電力開始部キット使用者の手引き](#)

利用可能なCIP混成電力開始部キットの回路図は配置と部品選択の参照基準として使うことができます。

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。

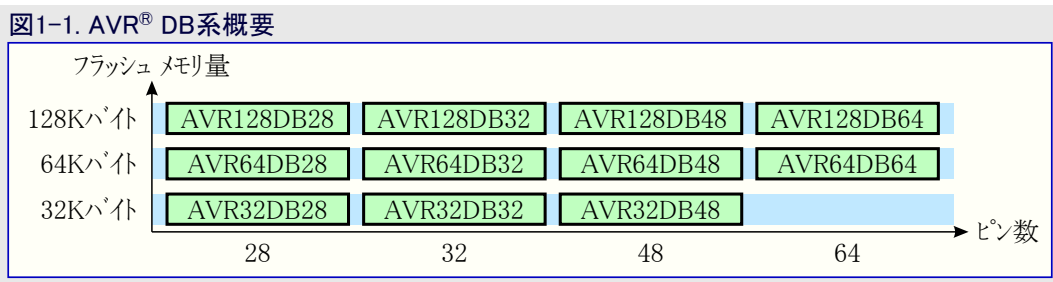
目次

要点	1
序説	1
1. 関連デバイス	3
2. コアから独立した周辺機能を使う閉路電圧制御	3
2.1. 周辺機能構成設定	3
2.1.1. 演算増幅器とDAC	4
2.1.2. アナログ比較器	4
2.1.3. タイマ/カウンタB型	4
3. 部品選択 - 降圧変換器	4
3.1. コイルと入出力コンデンサ	4
3.2. 整流器と切替器	5
4. 出力電圧設定	5
5. 部品選択 - 誤差増幅器	6
5.1. 極の重要性	6
5.2. PWM生成	6
5.3. 部品選択	7
6. 結果	7
6.1. 出力電圧特性	7
6.2. 最大定格	8
7. 改訂履歴	8
Microchipウェブサイト	9
製品変更通知サービス	9
お客様支援	9
Microchipデバイスコード保護機能	9
法的通知	9
商標	10
品質管理システム	10
世界的な販売とサービス	11

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. コアから独立した周辺機能を使う閉路電圧制御

降圧変換器は入力電圧(V_{in})を下げるために周期的な切り替えを使います。これはPWM信号を使って電力MOSFETを制御することによって達成されます。この信号のデューティサイクルが調整器の出力電圧を決めますが、降圧変換器の出力で電圧が本質的に負荷電流での違いに基づいて変わるため、PWM信号はこれを補償するため、何かの帰還調整された切り替え制御器が必要です。

図2-1はこのような制御器の基本的な配置を示します。これは出力からの帰還に基づいて降圧変換器での切り替えのデューティサイクルを調整するのに誤差増幅器、アナログ比較器、傾斜信号を使って実装されます。AVR[®] DB系マイクロコントローラの演算増幅器周辺機能の導入で、いくつかの外部の抵抗とコンデンサと共にコアから独立した周辺機能だけを使ってこの制御系を実装することが可能です。マイクロコントローラと共に系の電圧調整を組み合わせることで、専用制御ICの必要性をなくすことによって系の費用だけでなく、複雑さも減らすことができます。この制御器はソフトウェアで出力電圧を調整する能力も追加し、デジタル的に調整可能な電源と外部部品許容誤差に対する補償のための微調整に対する実用的な解決策にします。

図2-1. 3型誤差増幅器での閉路電圧制御

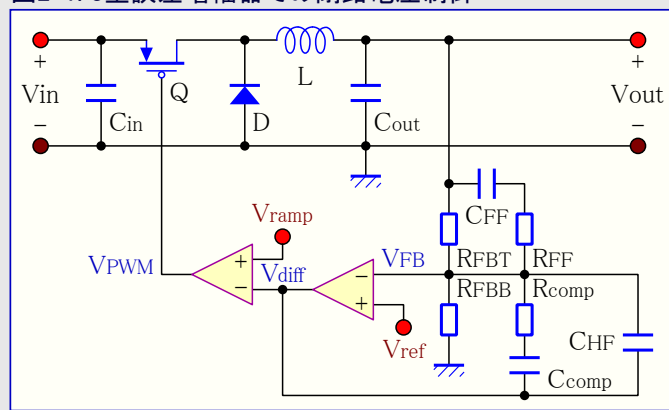


図2-2はこの制御器を実装するためのAVR DBでの内部と外部の接続を示します。周辺機能の構成設定用のコードはAtmel STARTを通して入手可能です。図2-3で見られるような追加部品は誤差増幅器だけでなく、PWM生成用傾斜電圧として使われる計時器の方形波出力を整形するのに使われる簡単なRC濾波器を通して正しい増幅と位相の補償を達成するのに必要とされます。

図2-2. コアから独立した周辺機能を使う閉路電圧制御

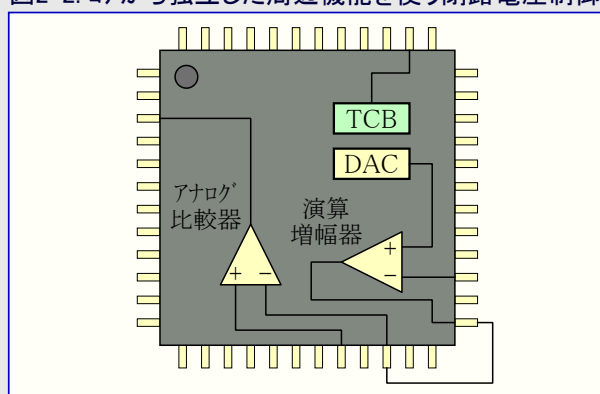
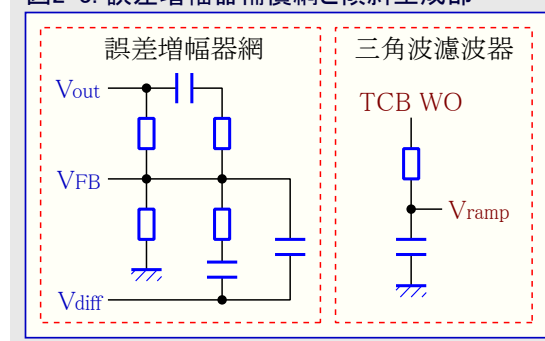


図2-3. 誤差増幅器補償網と傾斜生成部



2.1. 周辺機能構成設定

周辺機能を構成設定する時に重要な考慮のいくつかが下で言及されます。完全な手順についてはAtmel STARTでのコード例をご覧ください。

全ての周辺機能は未だ降圧変換器を調整している間に、利用可能な最も電力効率的な休止動作に入ることをマイクロコントローラに許すため、スタンバイ休止動作で動くように設定されます。

2.1.1. 演算増幅器とDAC

演算増幅器は独立型汎用演算増幅器として構成設定されます。降圧変換器で正しい帰還調整に必要とされる誤差増幅器構成設定をこの使用事例に対して指定するので、これに対する内部機能はありません。外部帰還網を実装するため、演算増幅器の負入力はピン入力として構成設定され、出力は許可されることが必要です。正入力は内部的にDAC出力に接続されます。

調整処理は活性で、周辺機能が”常にON”動作で構成設定されるのが必要なことを意味します。

DACは誤差増幅器のための参照基準電圧を設定するのに使われます。この電圧に対する値は演算増幅器に於いて両方向で良好な空き空間を提供するように設定されます。良い開始点はマイクロコントローラの供給電圧の半分近くに設定することです。

2.1.2. アナログ比較器

アナログ比較器(AC)は外部入力で電圧を比較するように構成設定されます。ACが切り替えトランジスタを制御するのに使われるPWM信号を生成するため、この出力はピンへ配線されます。比較器は高速応答時間を持たなければなりません。結果として、(AC)の電力特性設定が比較器を通して電流を制御するため、最短応答時間と最高消費電力を持つ電力特性設定が選ばれます。

2.1.3. タイマ/カウンタB型

タイマ/カウンタB型(TCB)周辺機能はこれがより低い消費電力を持つためにタイマ/カウンタA型(TCA)よりもこれが選ばれています。この周辺機能は50%のデューティサイクルを持つ8ビットPWM動作で構成設定され、出力はRC濾波器を通して濾波され、比較器がPWM信号を生成するための結果としての三角波を使うことができるように信号を整形します。この周辺機能で生成された波形の周波数が制御器の切り替え周波数(f_{sw})を設定します。

3. 部品選択 - 降圧変換器

図3-1.で示される降圧変換器で選ばれた部品は系の残りの必要性に基づいて正しく特性付けされなければなりません。安定した一定の出力電圧を生成するために、切り替え動作調整は本質的に不完全であるため、出力の電圧と電流についていくつかの変動が予測されるべきです。表3-1.は回路内の部品の値を計算するのに指定されなければならない要素を示します。系の必要性に基づき、設計者は動作電圧と電力定格と共にこれらの変化に対して受け入れ限度を決めます。

図3-1. 降圧変換器

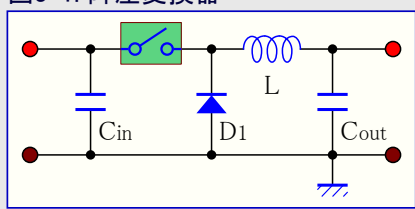


表3-1. 電源要素

項目名	記号
入力電圧	V_{in}
出力電圧	V_{out}
最大電力	P_{max}
出力リップル電圧	ΔV_{out}
コイルリップル電流	ΔI
切り替え周波数	f_{sw}

3.1. コイルと入出力コンデンサ

最初の部品選択はコイル(L)で、これは出力電圧を濾波するために出力コンデンサ(C_{out})と併せて使われ、出力電圧周辺で安定にします。この部品についての主な考慮は調整器でのリップル電流を制限することで、従って、その値は指定されたコイルリップル電流(ΔI)に基づきます。

$$L = \frac{V_{in} - V_{out}}{\Delta I} \times \frac{D}{f_{sw}}$$

ここで $D=V_{out}/V_{in}$ は切り替えのデューティサイクルです。入力電圧の範囲が必要とされる状況に於いて、これはリップル電流が最大の時のため、コイルは最高と評価される電圧に対して大きさを決められます。

次に出力濾波器を完成するために C_{out} が選ばれます。コンデンサでの充電は出力リップル電圧を打ち消し、従って、この値は最大出力リップル電圧(ΔV_{out})に従って決められます。この最小値は右式を使って計算することができます。

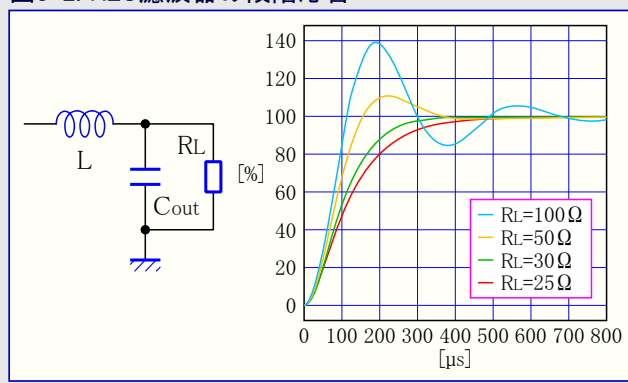
$$C_{out} = \frac{\Delta I \times D / f_{sw}}{\Delta V_{out}}$$

電圧を更に安定にするため、入力コンデンサを追加してください。この値は出力コンデンサと同じ様に計算することができますが、殆どの応用については10 μ Fのセラミックコンデンサで充分です。

上の計算で使われるデューティサイクルは負荷抵抗(R_L)での変化を考慮に入れておらず、これは図3-2.で見られるように出力濾波器の段階応答に影響を及ぼします。部品が全動作範囲に対して仕様内であることを確認するために、最大デューティサイクルに対して10~20%の余力を追加することができます。

注: 望む特性と計算した値に基づく部品選択に加え、全ての部品は回路に於いて最大の電流と電圧を扱うように大きさを決めなければなりません。

図3-2. RLC濾波器の段階応答



3.2. 整流器と切替器

整流ダイオードと切替トランジスタの選択はそれらが可能な限り理想的な切替の動きを示すような方法で行われます。以下は切替トランジスタを選ぶ時に考慮に入れるいくつかの点です。

切替トランジスタ

- 低い性能指数(FOM)
- 低いON抵抗
- 高い切替速度
- 尖頭電圧を扱うためのV_{DS}定格
- 制御器の論理基準を使う切替能力

降圧変換器の入力電圧がマイクロコントローラの論理基準よりも高い場合、信頼に足る切替を達成するのに追加回路が必要とされます。下図は切替制御器の論理基準をつかって切替トランジスタ動作要件を常に満足する切替回路に対し、そのような2つの任意選択を示します。NチャネルMOSFETは一般的にPチャネルMOSFETよりも低いON抵抗を持ち、**図3-4**が**図3-3**よりもより高い効率を持ちますが、支援回路に於いていくつかの付加的な複雑さの犠牲を意味します。

図3-3. PMOS切替での降圧変換器

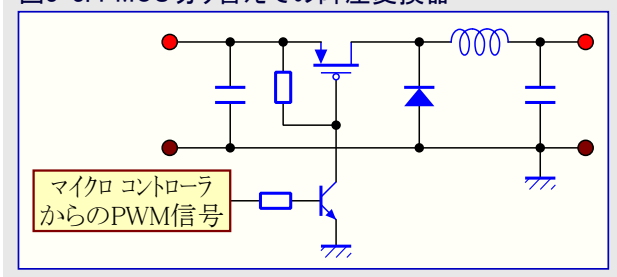
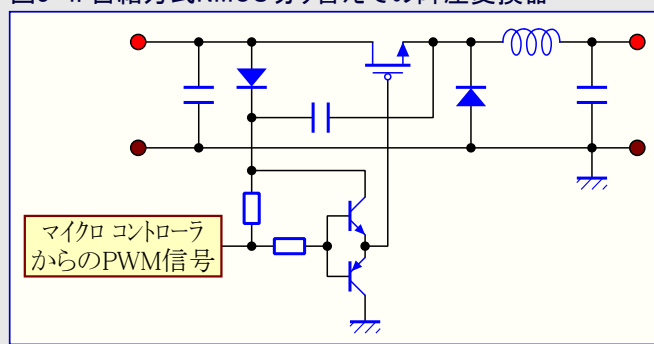


図3-4. 自給方式NMOS切替での降圧変換器



ダイオードでの電力損失が順方向電圧と駆動電流に比例し、電力損失が実質的に調整器のより高い電流配給になり得ることを意味するため、ダイオード選択は順方向電圧を最小にするように行われます。一般的に、良いダイオード選択は低い順方向電圧と十分な電力定格を持つショットキーダイオードです。

整流回路でより小さな損失を必要とする応用について、ダイオードをMOSFETで置き換えることによって同期解決策を実装することができます。切替トランジスタと整流MOSFETは決して同時にONになり得ないよう、沈黙(同時OFF)時間制御を導入するために付加的な論理回路が追加されなければなりません。けれども、この応用記述では簡単なダイオードを持つ最も基本的な解決策だけが概説されます。

4. 出力電圧設定

図4-1は必要とされる完全な帰還網を示します。コンデンサがDC電圧を防ぐため、帰還抵抗のR_{FBT}とR_{FBB}は降圧変換器出力電圧(V_{out})を減衰することによって帰還電圧(V_{FB})を設定します。この分圧の結果の帰還電圧(V_{FB})はV_{out}が望む基準の時に内部参照基準電圧(V_{ref})と等しくなります。抵抗と参照基準電圧間の結果としての関係は以下によって与えられます。

$$V_{out} = V_{ref} \times \frac{R_{FBT} + R_{FBB}}{R_{FBB}} \Rightarrow R_{FBT} = R_{FBB} \left(\frac{V_{out}}{V_{ref}} - 1 \right)$$

この帰還制御部は参照基準電圧として内部DACを使い、ソフトウェアで出力電圧を調節できることを意味します。けれども、増幅器がその供給電圧近くで望まれない特性を持つため、非常に大きな調整を許しません。

調整可能な出力調整器を使う応用について、下側抵抗(R_{FBB})は**図4-2**で見られるように可変抵抗器のような可変抵抗によって置き換えられます。これは上側抵抗(R_{FBT})が誤差増幅器の位相補償網の一部のため重要である一方で、R_{FBB}は系の極に影響を及ぼしません。

注: これらの抵抗の代表的な値は20~200k Ω の範囲に入ります。これよりも大きな値は演算増幅器の安定性に影響を及ぼし得る一方で、より小さな値は不必要な電流量を引き出してより低い効率に帰着します。

図4-1. 一定出力降圧変換器網

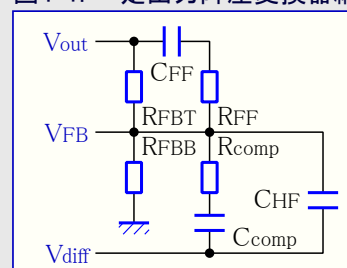
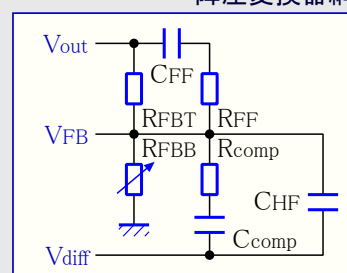


図4-2. 可変抵抗での可変出力降圧変換器網



5. 部品選択 - 誤差増幅器

5.1. 極の重要性

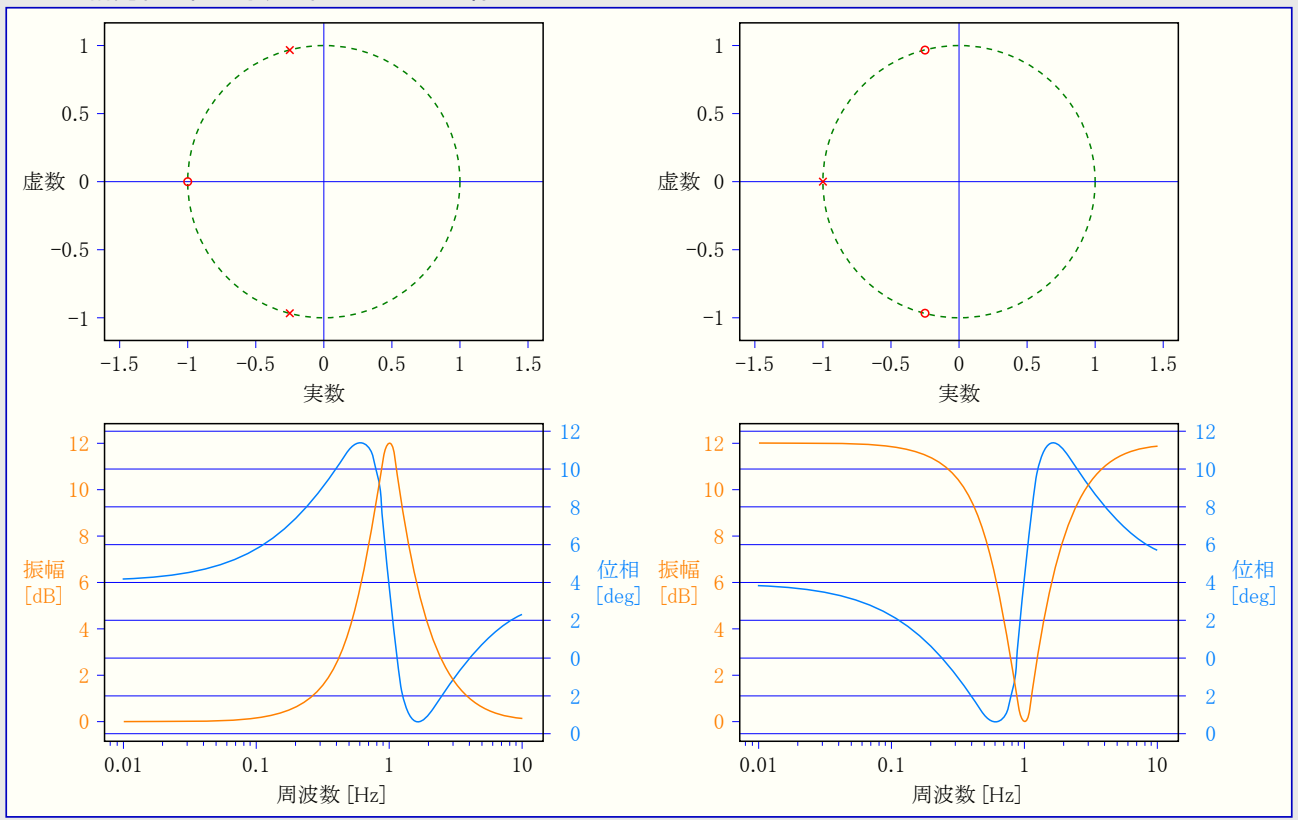
誤差増幅器の機能は出力電圧と参照基準電圧間の変動に比例する信号を出力することです。けれども、切り替え制御部でこの原理を使うには出力濾波器で位相の影響に対して補償することも必要です。これは切り替えが出力電圧(V_{out})ではなく、降圧変換器濾波器の入力での電圧での位相で反応することを保証します。出力濾波器によって生成された極と0だけでなく、帯域も識別することがこの補償網設計での最初段階で、以下によって与えられます。

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad \omega_z = \frac{1}{RESR \times C_{out}} \quad \omega_c = 2\pi \times \frac{f_{SW}}{10}$$

ω_0 はLC出力濾波器によって与えられる極です。 ω_z はRESRがコンデンサの等価直列抵抗である C_{out} によって与えられます。帯域(ω_c)は切り替え周波数(f_{SW})によって与えられます。

出力濾波器の極と0の影響は増幅器の0が出力濾波器の極と等しく、増幅器の極が出力濾波器の0と等しい設定によって相殺されます。図5-1はこの系の違う部分の影響を図解するため、極と0だけでなく、2つの補完系のポード線図も示します。降圧変換器の出力濾波器に対する補完の極と0は図2-3の帰還網で抵抗とコンデンサによって系に追加されます。

図5-1. 補完極0系に対する極-0図とポード線図



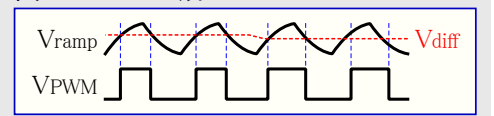
5.2. PWM生成

PWM信号は濾波されたTCBの波形出力によって生成された傾斜電圧と誤差増幅器を使って生成されます。図5-2で見られるように、演算増幅器の出力での誤差電圧(V_{diff})は傾斜電圧(V_{ramp})に比例してデューティサイクルを設定します。これは良い調整を達成することを意味し、従って、増幅係数はTCB波形生成部と濾波器によって生成された傾斜信号の振幅に比例して設定されなければなりません。 ω_c と ω_0 の影響を考慮に入れ、増幅係数(AVM)を設定することができます。

傾斜信号(V_{ramp})の生成は計時器の方形波出力をRC濾波器で濾波することによって行われます。信号の振幅はマイクロコントローラ内の演算増幅器の精度と応答性に基づいて決定され、演算増幅器でのより良い特性がもっと効率的な系に導く、より低い振幅を許します。これを知り、三角波濾波器用の部品は、図5-3で見られるRC回路でのコンデンサを充電するための式を使ってこのように設定することができます。

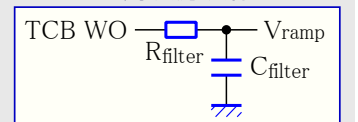
$$C_{filter} = \frac{1}{f_{SW} \times R_{filter} \times \ln(1 - V_{ramp}/V_{CC})}$$

図5-2. PWM生成



$$AVM = \frac{\omega_c}{\omega_0 \times V_{in}} \times V_{ramp}$$

図5-3. 三角波濾波器



ここで V_{CC} はマイクロコントローラの供給電圧です。切り替え周波数(f_{SW})は「2.1.3. タイマ/カウンタB型」で記述されるようにTCBでの周波数として設定されます。

5.3. 部品選択

極、0、それと適切な増幅係数を知ると、補償網の残りの部品を計算することができます。

利得はRcompとRFBT間の比率によって設定されます。RFBTとAVMは以前に設定されているため、Rcompはこれらの積として計算することができます。

$$R_{comp} = AVM \times RFBT$$

増幅器の最初の0の設定はCcompとRcompを使って行われる一方で、他方はCFFとRFBTによって設定されます。これらは出力濾波器の極に向けられ、以下のコンデンサ値に帰着します。

$$C_{comp} = \frac{1}{\omega_0 \times R_{comp}} \quad CFF = \frac{1}{\omega_0 \times RFBT}$$

増幅器の最初の極はCHFとRcompの組み合わせによって設定され、2つ目はRFFとCFFを使って設定されます。CHFとRcompからの結果としての極設定は切り替え周波数(f_{SW})の半分に等しく、CFFとRFFからの結果としての極は出力コンデンサによって生成された0に等しく、その直列抵抗がCFFとRFFに対する次式を与えます。

$$CHF = \frac{1}{2\pi \times f_{SW} / 2 \times R_{comp}} \quad RFF = \frac{1}{\omega_Z \times CFF}$$

注: 計算した値は一般的に部品に対する標準値から外れます。この場合、利用可能な最も近い標準値を選ぶことができます。計算した値からのより大きな変動は入力極と信号の調整が同期を外れるため、より遅い切り替え応答に帰着し得ます。系は未だ調整を処理しますが、より低い効率とより高い出力リップルが予測されます。

6. 結果

この応用記述で提供された試験結果はこのような系の能力の指標としてだけを意味します。配置、切り替え周波数、部品精度、その他のようないくつかの要素が最終結果に影響します。配置の考慮と部品の精度は経験の少ない設計者に対してより良い開始点を与えるため、試験に於いて意図的に最適化されておらず、これは損失を減らして安定性を増すように設計を最適化することによってより高い性能を達成するのが可能なことを意味します。

表6-1. 電源仕様

項目名	記号	値
入力電圧	Vin	5~24V
出力電圧	Vout	5V
最大電力	Pmax	5W
出力リップル電圧	ΔV_{out}	50mV
コイルリップル電流	ΔI	215mV
切り替え周波数	f_{SW}	100kHz

表6-2. 部品

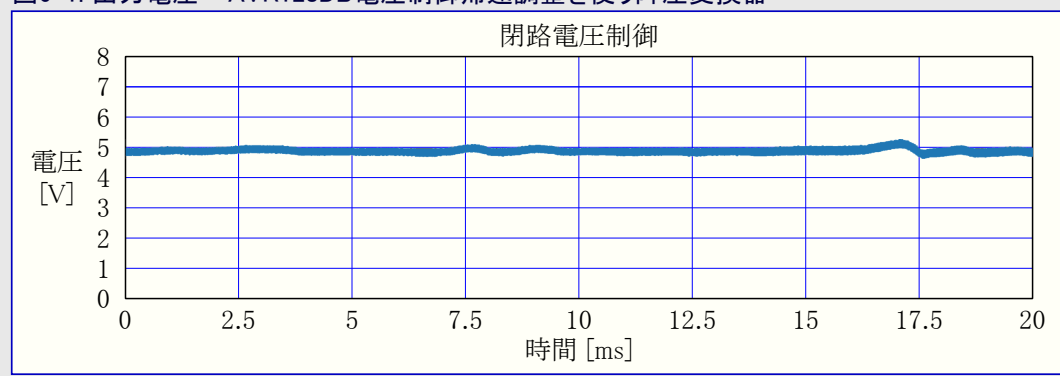
記号	理想値	使用値
L	220 μ H	220 μ H
Cout	10 μ F	10 μ F
RFBT	3.31k Ω	3.3k Ω
RFBB	1k Ω	1k Ω
Rcomp	84.9 Ω	85 Ω
Ccomp	0.5526 μ F	0.6 μ F
RFF	105.8 Ω	100 Ω
CFF	0.0142 μ F	0.015 μ F
CHF	0.0375 μ F	0.04 μ F

自給型でILB88721 NチャネルMOSFETがIN4007整流ダイオードと共に切り替え用に使われ、両方共にPmaxよりもっと大きな電力と評価されています。

6.1. 出力電圧特性

出力電圧は5.5~24Vの範囲の入力電圧と同時に負荷での3Wでの駆動に対して安定な水準を保ちます。いくつかのより大きなリップルが図6-1.で見ることができ一方で、殆どの雑音は雑音分離(テカップ)コンデンサや他の簡単な濾波方法を使って無くすることができる高周波数切り替え雑音です。例えより高い精度が必要とされるとしても、平均出力電圧は5Vの目標電圧の僅かに下で、これはRFBBを使って調節するか、または演算増幅器DAC参照基準を調整することができます。

図6-1. 出力電圧 - AVR128DB電圧制御帰還調整を使う降圧変換器



6.2. 最大定格

「6.1. 出力電圧特性」で言及したように、電源は24Vの最大入力電圧で出力が安定に留まることを検査されました。理論的な最大入力電圧は目標出力電圧とPWM信号の最小デューティサイクルによって決められます。

電源は12Vの入力電圧で5Wの最大出力電力でも検査されました。この負荷下の間、出力電圧は安定に留まりました。最適システム未滿ではトランジスタでかなり沢山の損失があり、良好な放熱が重要なことを意味します。これらの損失は回路での効率を減らします。より良い性能のため、低ON抵抗と高速切り替えを持つ切り替え技術を選んでください。

7. 改訂履歴

文書改訂	日付	注釈
A	2020年11月	初版文書公開

Microchipウェブ サイト

Microchipは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、PacTime、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。

© 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を訪ねてください。

日本語© HERO 2020.

本応用記述はMicrochipのAN3725応用記述(DS00003725A-2020年11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
本社 2355 West Chandler Blvd. Chandler, AZ 85224-6199 Tel: 480-792-7200 Fax: 480-792-7277 技術支援: www.microchip.com/support ウェブアドレス: www.microchip.com	オーストラリア - シドニー Tel: 61-2-9868-6733 中国 - 北京 Tel: 86-10-8569-7000 中国 - 成都 Tel: 86-28-8665-5511 中国 - 重慶 Tel: 86-23-8980-9588 中国 - 東莞 Tel: 86-769-8702-9880 中国 - 広州 Tel: 86-20-8755-8029 中国 - 杭州 Tel: 86-571-8792-8115 中国 - 香港特別行政区 Tel: 852-2943-5100 中国 - 南京 Tel: 86-25-8473-2460 中国 - 青島 Tel: 86-532-8502-7355 中国 - 上海 Tel: 86-21-3326-8000 中国 - 瀋陽 Tel: 86-24-2334-2829 中国 - 深圳 Tel: 86-755-8864-2200 中国 - 蘇州 Tel: 86-186-6233-1526 中国 - 武漢 Tel: 86-27-5980-5300 中国 - 西安 Tel: 86-29-8833-7252 中国 - 廈門 Tel: 86-592-2388138 中国 - 珠海 Tel: 86-756-3210040	インド - ハンガロール Tel: 91-80-3090-4444 インド - ニューデリー Tel: 91-11-4160-8631 インド - フォン Tel: 91-20-4121-0141 日本 - 大阪 Tel: 81-6-6152-7160 日本 - 東京 Tel: 81-3-6880-3770 韓国 - 大邱 Tel: 82-53-744-4301 韓国 - ソウル Tel: 82-2-554-7200 マレーシア - クアラルンプール Tel: 60-3-7651-7906 マレーシア - ペナン Tel: 60-4-227-8870 フィリピン - マニラ Tel: 63-2-634-9065 シンガポール Tel: 65-6334-8870 台湾 - 新竹 Tel: 886-3-577-8366 台湾 - 高雄 Tel: 886-7-213-7830 台湾 - 台北 Tel: 886-2-2508-8600 タイ - バンコク Tel: 66-2-694-1351 ベトナム - ホーチミン Tel: 84-28-5448-2100	オーストラリア - ウェルズ Tel: 43-7242-2244-39 Fax: 43-7242-2244-393 デンマーク - コペンハーゲン Tel: 45-4485-5910 Fax: 45-4485-2829 フィンランド - エスポー Tel: 358-9-4520-820 フランス - パリ Tel: 33-1-69-53-63-20 Fax: 33-1-69-30-90-79 ドイツ - ガルヒング Tel: 49-8931-9700 ドイツ - ハーン Tel: 49-2129-3766400 ドイツ - ハイムブロン Tel: 49-7131-72400 ドイツ - カールスルーエ Tel: 49-721-625370 ドイツ - ミュンヘン Tel: 49-89-627-144-0 Fax: 49-89-627-144-44 ドイツ - ローゼンハイム Tel: 49-8031-354-560 イスラエル - ラーナナ Tel: 972-9-744-7705 イタリア - ミラノ Tel: 39-0331-742611 Fax: 39-0331-466781 イタリア - パドバ Tel: 39-049-7625286 オランダ - デルフト Tel: 31-416-690399 Fax: 31-416-690340 ノルウェー - トロンハイム Tel: 47-72884388 ポーランド - ワルシャワ Tel: 48-22-3325737 ルーマニア - ブカレスト Tel: 40-21-407-87-50 スペイン - マドリッド Tel: 34-91-708-08-90 Fax: 34-91-708-08-91 スウェーデン - イェテボリ Tel: 46-31-704-60-40 スウェーデン - ストックホルム Tel: 46-8-5090-4654 イギリス - ウォーキングム Tel: 44-118-921-5800 Fax: 44-118-921-5820
アトランタ Duluth, GA Tel: 678-957-9614 Fax: 678-957-1455 オースチン TX Tel: 512-257-3370 ボストン Westborough, MA Tel: 774-760-0087 Fax: 774-760-0088 シカゴ Itasca, IL Tel: 630-285-0071 Fax: 630-285-0075 ダラス Addison, TX Tel: 972-818-7423 Fax: 972-818-2924 デトロイト Novi, MI Tel: 248-848-4000 ヒューストン TX Tel: 281-894-5983 インディアナポリス Noblesville, IN Tel: 317-773-8323 Fax: 317-773-5453 Tel: 317-536-2380 ロサンゼルス Mission Viejo, CA Tel: 949-462-9523 Fax: 949-462-9608 Tel: 951-273-7800 ローリー NC Tel: 919-844-7510 ニューヨーク NY Tel: 631-435-6000 サンホセ CA Tel: 408-735-9110 Tel: 408-436-4270 カナダ - トロント Tel: 905-695-1980 Fax: 905-695-2078			