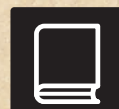
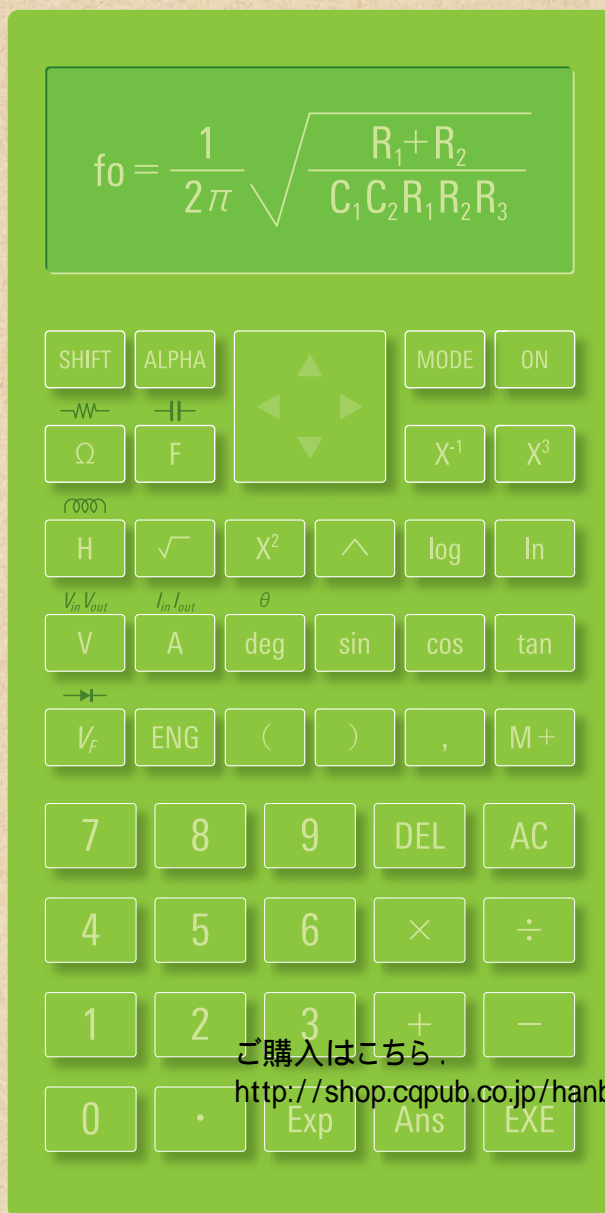


エレクトロニクス 数式事典

値がパッと出る!

馬場清太郎^[著]
Seitaro Baba



ライブラリ・シリーズ
てっとり早く
答えが見つかる

ご購入はこちら

<http://shop.cqpub.co.jp/hanbai/books/45/45311.htm>

見本

第1章

電気の基本法則

知っている便利な電気の公式とその使い方

マイコン・システムは電気で動いています。電気で動いている以上、設計や調整、トラブル対策に電気の公式の理解は必須です。これだけは覚えて使いこなしたい電気の公式といえば、オームの法則と重ね合わせの理、テブナンの定理の三つです。他の公式は覚えていなくても三つの公式から簡単に導くことができます。

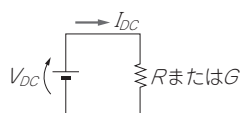
必要な電気の基本としては、電圧源と電流源の意味とその動作、 L (コイル/インダクタ) C (コンデンサ/キャパシタ) R (抵抗)を含むインピーダンス素子の意味と動作です。

ここでは、実用的な電気の基本を簡単に紹介します。

1-1

オームの法則

超重要!



$$\text{直流電流 } I_{DC} [\text{A}] = \frac{V_{DC}}{R} = GV_{DC}$$

$$\text{直流電圧 } V_{DC} [\text{V}] = I_{DC}R = \frac{I_{DC}}{G}$$

$$\text{抵抗 } R [\Omega] = \frac{1}{G} = \frac{V_{DC}}{I_{DC}}$$

$$\text{コンダクタンス } G [\text{S}] = \frac{1}{R} = \frac{I_{DC}}{V_{DC}}$$

$$\begin{aligned} \text{直流電力 } P_{DC} [\text{W}] &= V_{DC}I_{DC} = I_{DC}^2R = \frac{V_{DC}^2}{R} \\ &= \frac{I_{DC}^2}{G} = V_{DC}^2G \end{aligned}$$

■ 計算例

$V_{DC} = 5\text{V}$, $R = 4.7\text{k}\Omega$ とすると,

$$I_{DC} = \frac{V_{DC}}{R} = \frac{5}{4.7 \times 10^3} \approx 1.06\text{mA}$$

$$G = \frac{1}{R} = \frac{1}{4.7 \times 10^3} \approx 213 \mu\text{S}$$

$$P_{DC} = \frac{V_{DC}^2}{R} = \frac{5^2}{4.7 \times 10^3} \approx 5.32\text{mW}$$

図1-1 直流回路のオームの法則

電気回路の法則の中でオームの法則は、最も基本的な法則で応用範囲も広がっています。

図1-1に示す直流回路のオームの法則と、図1-2に示す交流回路のオームの法則の違いは、直流では抵抗またはコンダクタンスと電圧、電流の関係のところ、交流ではインピーダンスまたはアドミタンスと電圧、電流の関係になっているところです。

直流回路のオームの法則では、抵抗(またはコンダクタンス)と電圧、電流のうちどれか二つがわかれば、ほかの一つは図1-1中の式に示すように計算することができます。複雑に見える回路でも、抵抗と電圧、電流のどれか二つがわかる場合がほとんどで、オームの法則の適用範囲は広いです。抵抗とコンダクタンス

の関係は互いに逆数になっているので、どちらかがわかれば逆数計算で値は簡単に求められます。

交流回路のオームの法則では、インピーダンス(またはアドミタンス)と電圧、電流のうちどれか二つがわかれば、ほかの一つは図1-2中の式に示すように計算することができます。インピーダンスとアドミタンスの関係は互いに逆数になっているので、どちらかがわかれば逆数計算で値は簡単に求められます。なお、図中に直流の場合と違って電力 P の式がないのは、交流電力には有効電力と無効電力、皮相電力があるからです(詳細は1-13を参照)。

インピーダンスまたはアドミタンスは、図1-3に示すように複素数で与えられます。抵抗 R とコンダク

見本

第2章

ドライブ回路

LEDやリレー、モータなどをマイコンとつなぐ

マイコン・システムを考えた場合、マイコンだけで構成されることはほとんどありません。入力にはスイッチを含む各種センサが接続され、出力にはLEDなどの表示器やリレー、モータ、ブランチなどの各種アクチュエータが接続されています。

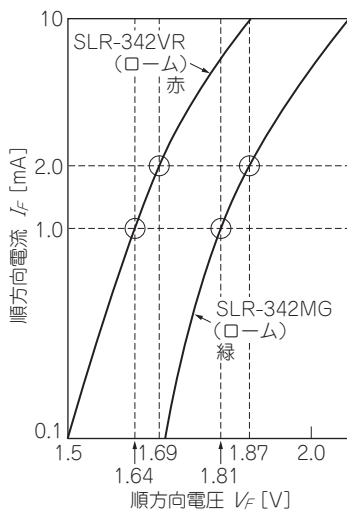
出力に接続される各種アクチュエータのドライブにはパワーが必要であり、マイコンの出力ポートで直接ドライブすることはまれです。

ここでは、各種アクチュエータのドライブ回路を紹介します。

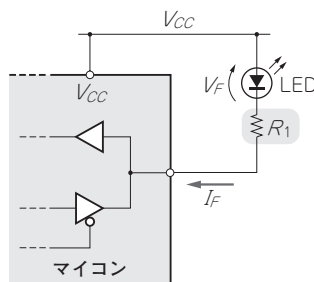
2-1

LEDの電流制限抵抗

LEDを
安全に
点灯する



(a) LEDの順方向電圧-電流特性例



■ 数式
 $V_F + R_1 I_F = V_{CC}$

■ 計算例
 $V_{CC} = 3.3\text{V}$ とする。
SLR-342VRを $I_F = 2\text{mA}$ で使用すると
(a)より $V_F = 1.69\text{V}$ なので、
LEDの電流制限抵抗 R_1 は次式で求まる。
$$R_1 = \frac{V_{CC} - V_F}{I_F} = \frac{3.3 - 1.69}{2 \times 10^{-3}} = 805\Omega$$
$$\approx 820\Omega \text{ (E12系列)}$$

このLEDの V_F の温度特性は約 $-2\text{mV}/^\circ\text{C}$ であるが、ここでは I_F が最大定格の $1/10$ 以下と小さいので無視している。 I_F が最大定格に近いときには考慮する必要がある。

照明用LEDの場合は大電流を流すため、 V_F 以外に内部抵抗の温度特性も考慮する必要があり、データシートでの確認が必要である。

(b) LEDの電流制限抵抗値の求め方

図2-1 回路と数式

図2-1にマイコンの出力ポートでLEDを直接ドライブする回路を示します。

LEDは定電圧性素子なので電圧源では直接ドライブできません。電圧源でドライブすると過電流が流れ、LEDが焼損します。

図2-1(a)に示す順方向電圧-電流特性をもつ高輝度LED SLR-342VR/MG(ローム)を、3.3V電源で動作するマイコンの出力ポートに接続したのが、図2-1(b)です。

高輝度LEDの順方向電流 I_F は4mA程度でも明るすぎるので、これ以下に抑えて使います。

マイコンによってはLED駆動ポート内蔵品もあります。LED駆動ポートを使えば大きな順方向電流を流せます。

マイコン内蔵のA-Dコンバータを同時に使う場合は、2-3項のように外部トランジスタを使ってLEDを駆動し、マイコンやIC内部のグラウンドに大電流を流さないようにします。LEDの大きな順方向電流がマイコンに流れ込むと、マイコンやIC内部のグラウンド配線の電圧降下が増加し、A-D変換誤差が大きくなる可能性があります。

見本

第3章

入出力保護回路

マイコン・システムを破壊から守る

マイコン・システムをプリント基板に組み込んだとき、外部入出力を必要としない場合はごくまれで、ほとんどの場合は外部入出力を必要とし、外部にセンサやアクチュエータが接続されます。マイコン入出力端子の配線を外部に引き出すと、外来サージによりマイコンが誤動作するばかりでなく、破損することもあります。また出力端子の配線がグラウンドやほかの出力端子と短絡することもあります。

ここでは、マイコンなどのICの破損を防止する、抵抗やダイオードを使用した入出力保護回路を紹介します。

3-1

半導体の保護用抵抗

ノイズや短絡による破損を防ぐ

図3-1に半導体の保護用抵抗を示します。

マイコン出力を基板外(ただし装置内)に引き出すときは、サージ・ノイズによる破壊や、電源またはグラウンドに短絡しての破壊を防止するため、図3-1(a)のように直列抵抗を入れます。

OPアンプ出力を基板外に引き出すときにも、図3-1(b)のように発振防止を兼ねた直列抵抗を入れます。

マイコンの出力ポートにつなぐ直列抵抗の値は経験上100Ω程度にします。マイコンの最大定格上100Ωでは保護しきれないはずですが、正常動作時の波形の乱れなどとの兼ね合いでこの値の採用が多く、実際に破壊防止に効果があります。

OPアンプの場合は、内部で短絡保護されています。

外付け抵抗は、外部からのサージ・ノイズに対する保護と、出力に浮遊容量を含むコンデンサが接続されたときの発振を防止する意味合いが強いです。

マイコンのデジタル出力を装置外に引き出すときは、外部からのサージ・ノイズによる破壊の危険が増すため、バス・ドライバやバス・トランシーバを抵抗で終端します。抵抗終端の回路はプルアップ/プルダウン抵抗と同じですが、抵抗値が大幅に小さくなります。バス・ドライバやバス・トランシーバの負荷駆動能力を超えて抵抗値を小さくしたいときは、プルアップ抵抗とプルダウン抵抗の両方を出力に接続する「テブナン終端」とします。

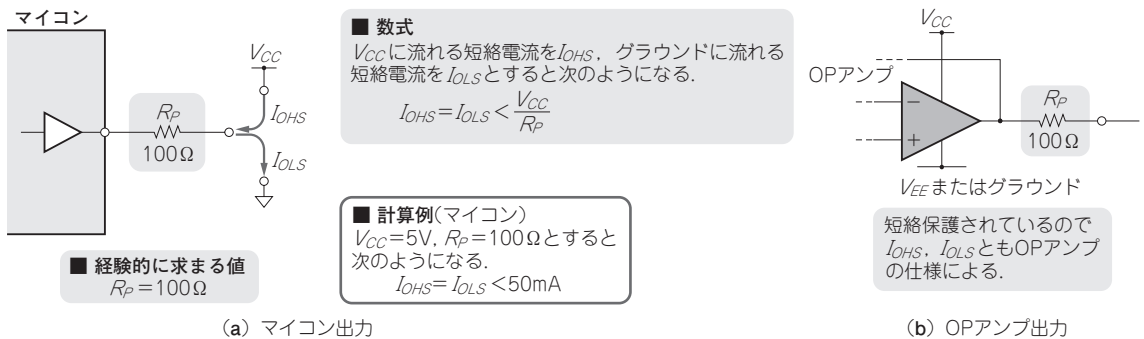


図3-1 回路と数式

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
付録

第5章

OPアンプによる信号増幅

直流ぶんを含むアナログ信号を正確に増幅する

マイコンにつなげられるアンプは直流アンプないし直結アンプです。このようなアンプを簡単かつ高性能に作るには、OPアンプICを使います。

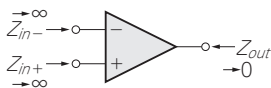
電子回路の教科書で最初に載っているアンプはトランジスタをエミッタ接地で使った交流アンプですが、マイコンを使う回路図でそのような回路を見た方はいないはず。その理由は、教科書回路そのままではマイコン内蔵のA-Dコンバータやコンパレータには適合しないからです。マイコンに適合した直流アンプを個別トランジスタで作るのは非常に難しく、OPアンプICを使ったほうが簡単で高性能にできます。

ここでは、OPアンプを使用した増幅回路の簡単で実用的な設計法を紹介します。

5-1

理想OPアンプの入出カインピーダンスとゲイン

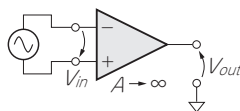
OPアンプを単純化する技



■ 数式

- 入力インピーダンス
 $Z_{in-} = \infty, Z_{in+} = \infty$
- 出力インピーダンス
 $Z_{out} = 0$

(a) 入出カインピーダンス



■ 数式

- ゲインA
 $V_{out} = AV_{in}$
 $A \rightarrow \infty$ とすると
 $V_{in} = 0$
これをバーチャル・ショートという。

(b) ゲイン

OPアンプ回路の簡単な解析法は、OPアンプを理想OPアンプとし、入力インピーダンスは無限大、出力インピーダンスはゼロ、オープン・ループ・ゲインは無限大とすることです。

理想OPアンプとすると、図5-1に示すように反転入力・非反転入力間は電位差ゼロ、すなわちバーチャル・ショート(virtual short; 仮想短絡)が成立します。オープン・ループ・ゲインが無限大であることとバーチャル・ショートが成立することは等価です。解析のときにバーチャル・ショートが成立することを条件に入れて考えれば、オープン・ループ・ゲインが無限大であることは条件に入れる必要はありません。

図5-1 回路と数式

OPアンプ回路の解析は、バーチャル・ショートを適用すれば簡単にできる

5-2

反転増幅回路のゲイン

正負反転して増幅する

図5-2に示すのは反転増幅回路です。バーチャル・ショートを適用してゲインを計算できます。

OPアンプ自体の入力インピーダンスは無限大と考えられるほど大きかったのに、反転増幅回路の入力インピーダンス(抵抗)は R_1 となって非常に低くなります。その点、非反転増幅回路(後述)の入力インピーダンスは無限大と考えられるほど大きいです。

反転増幅回路では、反転入力端子と非反転入力端子の電圧がほぼ0V(グラウンド電位)となるため、実際の回路では、非反転増幅回路に比べ同相除去比CMRR

が大きくなるというメリットがあります。また、第3章の図3-5に示したように、入力サージ電圧に対する保護も簡単に行うことができます。

● 誤差要因1…信号源インピーダンス

増幅回路の目的は、入力された信号源電圧を設定したゲインで正確に増幅することです。

図5-3(a)に示すように、反転増幅回路では入力インピーダンスが低くなるため、信号源インピーダンスが大きいかほど大きな誤差を生じます。図5-3(b)に示

見本

第6章

高性能アンプの設計

OPアンプICを使いこなしてアナログ信号を正確に増幅する

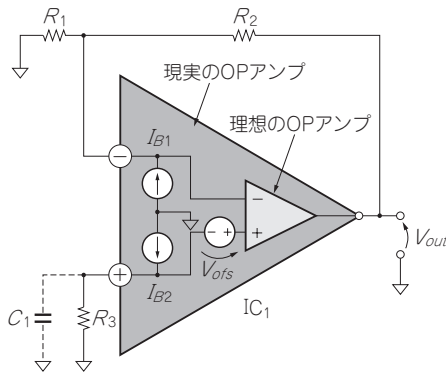
OPアンプ回路を設計するとき、現実のOPアンプICを理想OPアンプに近似して設計してある程度の性能は出せますが、現実のOPアンプICの特性を用いてゲイン誤差を最小にするよう設計すると、さらに高性能なアンプができます。

ここでは、理想OPアンプでは無視した特性である、入力オフセット電圧と入力バイアス/オフセット電流、雑音、ゲインの周波数特性について説明し、高性能アンプの設計法について述べます。

6-1

入力オフセット電圧と 入力バイアス/オフセット電流

直流
誤差の
原因



V_{ofs} : 入力オフセット電圧
 I_{B1} , I_{B2} : 入力バイアス電流
 $I_{ofs} = |I_{B1} - I_{B2}|$: 入力オフセット電流

■ 数式

V_{ofs} の V_{out} への影響は次のとおり。

$$V_{out}(V) = V_{ofs} \frac{R_1 + R_2}{R_1}$$

I_{B1} の V_{out} への影響は

$$V_{out}(I_{B1}) = |I_{B1}(R_1 // R_2) \frac{R_1 + R_2}{R_1}| = I_{B1} R_2$$

I_{B2} の V_{out} への影響は

$$V_{out}(I_{B2}) = I_{B2} R_3 \frac{R_1 + R_2}{R_1}$$

I_{ofs} の V_{out} への影響は

$$V_{out}(I) = V_{out}(I_{B2}) - V_{out}(I_{B1}) \\ = I_{B2} R_3 \frac{R_1 + R_2}{R_1} - I_{B1} R_2$$

ここで $R_3 = R_1 // R_2$ とすると

$$V_{out}(I) = I_{ofs} R_2$$

なお出力オフセット電圧は

$$V_{out}(ofs) = V_{out}(V) + V_{out}(I)$$

である。

■ 計算例(IC₁がNJM2904のとき)

$V_{ofs} = 7\text{mV}$, $I_B = 250\text{nA}$, $I_{ofs} = 50\text{nA}$, $R_1 = R_2 = 10\text{k}\Omega$,
 $R_3 = 5\text{k}\Omega$ とすると、次のようになる。

$$V_{out}(ofs) = 14.5\text{mV}$$

$R_3 = 0\Omega$ とすると

$$V_{out}(ofs) = 16.5\text{mV}$$

注：後述の抵抗雑音が無視できないときは $R_3 = 0\Omega$ とするが、 $C_1 = 0.1\mu\text{F}$ を R_3 に直列に接続する。

図6-1 実際のOPアンプは入力オフセット電圧と入力バイアス電流が誤差を生む

バイアス電流による影響がオフセット電圧による影響に比べて1/10以下になっていない場合は、バイアス電流の小さいOPアンプに変更するとよい

図6-1に、入力オフセット電圧と入力バイアス/オフセット電流による、出力オフセット電圧への影響(直流誤差)を示します。入力オフセット電圧は理想OPアンプの入力に直列に入り、入力バイアス電流は理想OPアンプの入力とグラウンド間に入ると考えます。入力オフセット電流は、反転/非反転入力に入る入力バイアス電流の差です。

入力オフセット電流が入力バイアス電流よりも大幅に小さいときは、図6-1の R_3 を接続すると、出力オフセット電圧への影響を少なくすることができます。ただし C_1 を入れないと、後述する抵抗の熱雑音の影響で出力雑音が増加します。入力バイアス電流による出力オフセット電圧への影響が入力オフセット電圧による影響に比べて小さいときは、 R_3 は不要です。

見本

第7章

アナログ演算回路

微分/積分から加減算, 圧縮, 検波, インピーダンス変換まで

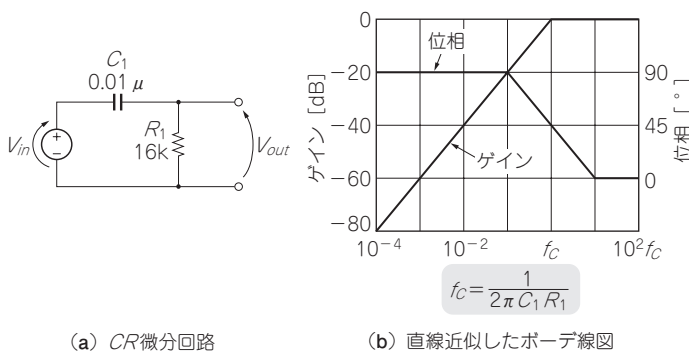
OPアンプは演算増幅器(operational amplifier)と呼ばれるように、もともとアナログ演算用の増幅器として開発されました。各種演算をアナログ信号のまま行うアナログ演算回路は、高速ですが高精度部品を必要とするため、最近ではほとんど見かけなくなりました。デジタル処理で行えば、アナログ演算で行う場合よりも安価で高性能なシステムを実現できます。最近の主流は、アナログ信号をA-D変換してからデジタル処理で演算することです。特にマイコンを使えば各種演算を簡単に行うことができます。

高精度を求めないアナログ演算回路は安価で簡単であり、マイコンを使うよりは高速です。ここでは、それほど精度を求めない、マイコンの内蔵A-Dコンバータの性能を大幅に拡張できるアナログ演算回路を紹介します。

7-1

抵抗とコンデンサによる微分回路の周波数特性

信号に含まれる交流分だけを通す



(a) CR微分回路
図7-1 回路と数式

(b) 直線近似したポード線図

■ 数式

$$G(j\omega) = \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{j\omega C_1 R_1}{1 + j\omega C_1 R_1}$$

$$|G(j\omega)| = \frac{\omega C_1 R_1}{\sqrt{1 + (\omega C_1 R_1)^2}}$$

$$\angle G(j\omega) = \tan^{-1} \frac{1}{\omega C_1 R_1}$$

■ 計算例

$f_c = 1\text{kHz}$, $C_1 = 0.01\mu$ とすると

$$R_1 = \frac{1}{2\pi f_c C_1} = \frac{1}{2\pi \times 10^3 \times 0.01 \times 10^{-6}} \approx 15915 \approx 16\text{k}\Omega$$

図7-1(a)に、抵抗とコンデンサだけのCR微分回路を示します。よくある用途は、周波数特性を利用して直流をカットして交流だけを通過させるACカップリング回路です。

CR微分回路は入力信号の時間変化ぶんを取り出すこともできます。急峻なパルス波形から立ち上がり/立ち下がりパルスを取り出すときにも使用できます。この用途の使用例が少ないのは、信号にサージ・ノイズが重畳されていると、微分値の大きなサージ・ノイズを取り出してしまい、誤動作の原因になるからです。使うときには十分な確認が必要です。

図7-1(b)に、CR微分回路の直線近似した周波数特性を示します。正確な特性は次項で示すCR積分回路の特性図7-3(b)を、 f_c で線対称にしたものとなります。

図7-1(a)で抵抗とコンデンサの電圧降下をそれぞれ V_R と V_C とすれば、 $V_{in} = V_R + V_C$ なので、本回路のステップ応答は $V_R = V_{in} - V_C$ となり、簡単に求められます。

次に示すCR微分回路の特徴を理解しておくと、フィルタなどの設計に役に立ちます。

- f_c より低い周波数では6 dB/octの上昇特性を示す
- f_c では位相が45°進み、低い周波数では90°まで進む
- $f_c/10$ 以下で微分回路として動作する

要するに、微分回路ではカットオフ周波数以下を使用し、交流増幅回路ではカットオフ周波数以上を使用します。

第8章

フィルタ回路

不要な雑音を除いて必要な信号を取り出す

フィルタは入力信号に含まれる雑音(ノイズ)の周波数成分を除去し、必要な信号の周波数成分だけを取り出す回路です。マイコン・システムの入りに接続されたセンサは雑音を拾うことが多く、フィルタを使用すれば、雑音を除去し必要なセンサ信号だけを取り出すことができます。

最近ではデジタル信号処理が多用されていて、アナログ信号をA-D変換してからデジタル・フィルタを用いて必要な処理を行うことが多いです。A-D変換すると、サンプリング周波数の1/2より高い入力信号は折り返されてデジタル・データに折り返し雑音(エイリアシング)を生じます。折り返し雑音はデジタル信号処理では取り除けないので、アンチ・エイリアス・フィルタと呼ばれる、サンプリング周波数の1/2で十分な減衰度を持つローパス・フィルタを使用して、A-D変換の前で折り返し雑音の発生を防止します。

一般的な雑音と言えばホワイト・ノイズですが、雑音レベル(実効値)が周波数帯域の平方根に比例するため、ローパス・フィルタで不要な帯域をカットして雑音を低下させることが多いです。このような理由で、フィルタの中で最も使用されているのがローパス・フィルタです。

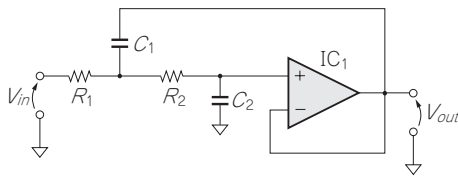
以前はインダクタとコンデンサによるLCフィルタを使用していましたが、最近では低周波信号に対しては抵抗、コンデンサとOPアンプによるアクティブ・フィルタを使用します。LCフィルタに対してアクティブ・フィルタは小型で設計が容易なため、使用可能な分野では多用されています。パワー・エレクトロニクスと高周波の分野ではアクティブ・フィルタが使用できないので、LCフィルタが使用されています。

ここではマイコンと組み合わせて使える各種のアクティブ・フィルタを紹介します。

8-1

2次ローパス・フィルタの値①

直流ゲイン
がピッタリ
1倍



・正規化テーブル($C_A \omega C = 1$, $R_A = 1$ のとき)

特性	C_{1S}	C_{2S}
バターワース	1.4142	0.7071
ベッセル	0.9066	0.6800

図8-1
回路と数式

図8-1に示すのは、直流ゲインが厳密に1倍のサレン・キー型の2次ローパス・フィルタです。コンデンサ C_1 と C_2 の値が異なります。

高周波で信号が減衰せずに出力されるフィードスルーがあります。フィードスルーの原因と対策については後述します。

■ 数式

$$R_1 = R_2 = R_A, \omega_c = 2\pi f_c,$$

$$C_1 = \frac{C_{1S}}{\omega_c R_A}, C_2 = \frac{C_{2S}}{\omega_c R_A}$$

■ 計算例

バターワース特性, $f_c = 10\text{kHz}$ のとき,

$R_1 = R_2 = R_A = 10\text{k}\Omega$ とすると次のようになる。

$$\omega_c R_A = 2\pi \times 10^4 \times 10^4 \approx 628.32 \times 10^6$$

$$C_1 = \frac{C_{1S}}{\omega_c R_A} \approx 2251\text{pF}, C_2 = \frac{C_{2S}}{\omega_c R_A} \approx 1125\text{pF}$$

フィルタに使用するコンデンサの値は、カットオフ周波数とその近傍の周波数特性に大きな影響を与えます。計算値に等しい精密なコンデンサは入手が困難です。フィルム・コンデンサか温度補償型のセラミック・コンデンサを何個か組み合わせ、必要な値になるように調節します。

見本

第9章

コンパレータ回路

入力信号の大小を高速に判別する

マイコンで入力信号の大小を判別するのに内蔵A-Dコンバータを使用すると、多くの機能レジスタを設定する必要があり、処理時間もかかり過ぎることが多いです。特に異常状態の検出では、高速に判別することが要求されます。コンパレータを使用すると、高速に判別することができます。

コンパレータは入力電圧と基準電圧を比較し、結果を“L/H”レベルで出力します。コンパレータはマイコン・システムとは非常に相性が良く、A-Dコンバータと違い処理時間が短くて、ソフトの負担も少ないです。ハードが固定されるため柔軟な変更はしにくいのですが、マイコンによっては基準電圧を変更できるコンパレータ内蔵品もあります。

ここでは、安価なマイコンに接続して処理時間の大幅な短縮や高性能化を可能とするコンパレータ回路を紹介します。

9-1

反転型と非反転型コンパレータの入力基準電圧

回路は簡単だが入力雑音に弱い

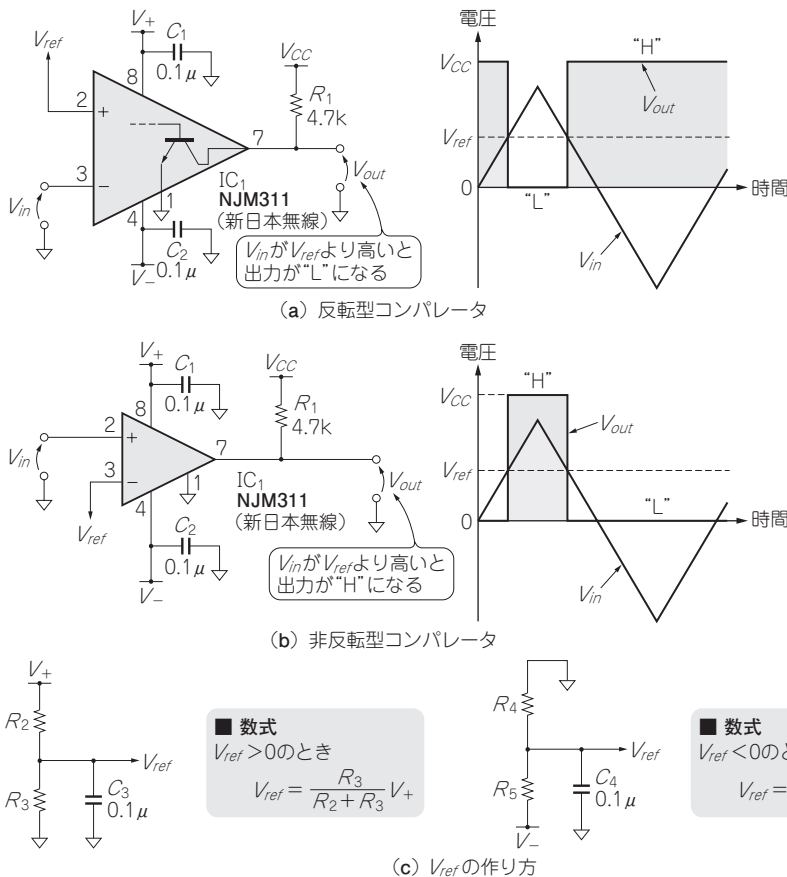


図9-1 回路と数式
入力電圧と基準電圧の大小を比べて“L/H”を出力する

第10章

ゲートICの応用回路

波形発生から立ち上がり／立ち下がり検出まで

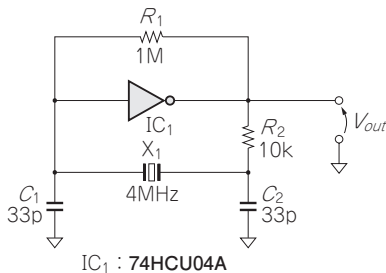
ゲートICの中でアンバッファ型のインバータは、電源の中心電位にバイアスすれば、高周波までのアナログ・アンプとして便利に使えます。

ここではマイコン・システムの補助回路や簡単なジグ製作に役立つように、主としてインバータを使った発振回路と立ち上がり／立ち下がり検出回路を紹介します。

10-1

水晶/セラミック発振回路

マイコンの
クロックに
使える



- R_1 : 帰還抵抗(IC₁をバイアスする)
X₁の周波数が低いときは大きくする
- R_2 : 出力抵抗
発振しにくいときは小さくする
- C_1 : 入力コンデンサ
発振周波数の微調整可
- C_2 : 出力コンデンサ
発振しにくいときは大きくする
- X₁ : 水晶振動子またはセラミック振動子

振動子は機械的な振動を電氣的に検出していて、電氣的等価回路は定量的ではなく定性的といえる。
したがって値を求める式はなく、振動子メーカー指定の値を採用することが、信頼性上望ましい。

図10-1 回路
マイコンのクロックに使える矩形波を出力する

表10-1 発振回路のいろいろと特徴

種類	周波数				価格
	初期精度	温度係数	長期安定性	可変範囲	
水晶振動子	± 0.001 %	1 ppm/°C以下	非常に良い	非常に狭い	高価
セラミック振動子	± 0.5 %	10 ppm/°C	良い	狭い	安価
LC型	悪い(LCの精度による)		悪い	中	安価
CR型	悪い(CRの精度による)		悪い	広い	最も安価

図10-1に示すのがインバータIC 74HCU04Aによる水晶発振回路またはセラミック発振回路で、サバロフ発振回路と呼ばれます。水晶振動子やセラミック振動子は、発振周波数ではインダクタンスとなります。動作原理はLC発振回路のコルピッツ発振回路と同じです。

水晶振動子またはセラミック振動子発振回路と、LC型、RC型の比較を表10-1に示します。水晶振動子発振回路が圧倒的に優れていますが、セラミック発振回路は高精度な時間や周波数が必要な用途以外では十分使えます。

図10-1で、インバータの入力では正弦波が観測でき、V_{out}ではロジック・レベルの出力波形が得られます。V_{out}の立ち上がりと立ち下がり時間がややかかるため、もう1段インバータを追加して方形波とし、後続の回路のクロックとしています。

C₁とC₂の値は水晶振動子またはセラミック振動子の仕様に従います。R₁とR₂については図中の指示に従います。C₁をトリマ・コンデンサと固定コンデンサを並列にしたものに置き換えると、調整範囲は非常に狭いですが発振周波数の微調整が可能です。

マイコンは発振回路用のR₁とR₂を内蔵して外部から調整できません。あり合わせの振動子を使って発振しにくいときはC₂を大きくしてみます。ただし、信頼性上の理由から、量産品にはマイコン・メーカー指定の振動子を採用し、C₁とC₂は振動子メーカー指定の値を採用します。C₁とC₂、特にC₂を大きくすると、振動子に加わる電力が増加して振動子の信頼性が低下します。振動子に加わる電力はメーカー指定の値を採用します。32.768 kHzの時計用水晶振動子は、特に許容電力が小さいため注意が必要です。

見本

第11章

パワー回路

マイコンで大電流アナログ出力を実現する

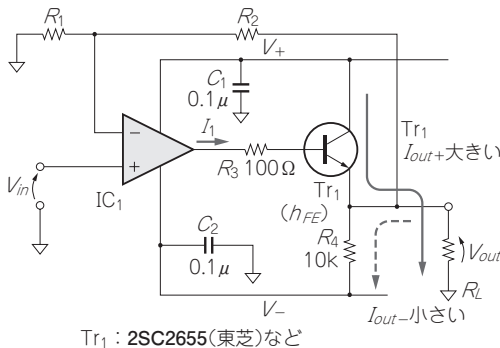
10mA以下の小電流を扱う場合は、マイコンと周辺デジタルIC、OPアンプICなどで容易にシステム構成が可能です。大電流出力可能なパワー OPアンプもありますが、出力電流以外の電気的特性は小電流出力のOPアンプに比べて劣ります。電気的特性の優れた小電流出力のOPアンプにエミッタ・フォロワの電流ブースタを付加した回路が價格的にも性能的にも優れています。

ここでは、10mA以上の電流を扱う電流ブースタを付加した、OPアンプ回路を重点的に取り上げて、応用回路の定電圧回路と定電流回路などともに、周辺回路の電圧⇄電流変換回路や基準電圧回路などを紹介します。

11-1

片極性電流ブースタの出力電流

片極性の出力電流を増やす



Tr1: 2SC2655(東芝)など

■ 数式

$$I_{out+pk} = I_{1max} h_{FE}$$

$$I_{out-pk} = \frac{V_- - V_{out-pk}}{R_4}$$

■ 計算例

$V_+ = 15V, V_- = -15V, V_{out-pk} = -10V, R_4 = 10k\Omega,$
 $I_{1max} = 10mA, h_{FE} = 100$ とすると、

$$I_{out+pk} = 10 \times 10^{-3} \times 100 = 1A$$

$$I_{out-pk} = \frac{-15 - (-10)}{10 \times 10^3} = -0.5mA$$

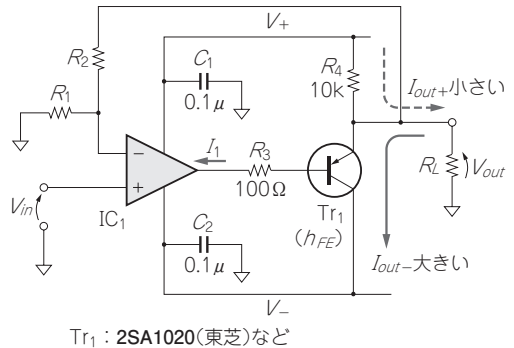
図11-1 吐き出し電流を増大する回路

OPアンプの最大出力電流以上の電流が必要な場合は、出力にエミッタ・フォロワを追加します。

吐き出し電流を増やすときは、図11-1に示すように、NPNトランジスタを追加します。

吸い込み電流を増やすときは、図11-2に示すように、PNPトランジスタを追加します。

図11-1の最大吐き出し電流と図11-2の最大吸い込み電流は、OPアンプIC₁の最大出力電流と追加し



Tr1: 2SA1020(東芝)など

■ 数式

$$I_{out+pk} = \frac{V_+ - V_{out+pk}}{R_4}$$

$$I_{out-pk} = I_{1max} h_{FE}$$

■ 計算例

$V_+ = 15V, V_- = -15V, V_{out+pk} = +10V, R_4 = 10k\Omega,$
 $I_{1max} = -10mA, h_{FE} = 100$ とすると、

$$I_{out+pk} = \frac{15 - 10}{10 \times 10^3} = 0.5mA$$

$$I_{out-pk} = -10 \times 10^{-3} \times 100 = -1A$$

図11-2 吸い込み電流を増大する回路

たトランジスタ Tr₁ の h_{FE} の積で決定されます。

トランジスタの電力損失も考慮する必要があります。例えば電源電圧 (V_+/V_-) を $\pm 15V$ として、 $V_{out} = +10V$ (図11-1)、 $V_{out} = -10V$ (図11-2) とすると、トランジスタの電力損失 P_D は、

$$P_D = (15 - 10V) \times 1A = 5W$$

となります。実用的に $\pm 1A$ の出力電流を得るには、トランジスタの許容損失と放熱を考慮します。

見本

第12章

電源回路

リニア・レギュレータからDC-DCコンバータまで

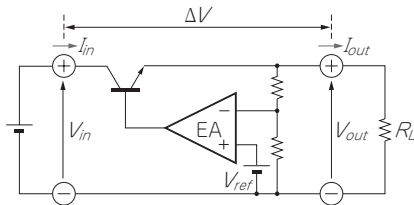
マイコン・システムだけでなくすべての電子回路を動作させるためには電源が必須です。電源回路は便利なICが数多く出されているため一見簡単そうですが、電力を扱うアナログ回路です。アナログ回路一般の問題としては、負帰還安定度や雑音があります。電力を扱うことから生じる問題として、熱として出てくる損失をいかに少なくするのか、いかに処理するのかということがあります。電源回路を安定に動作させるためには、これらの問題を解決する必要があります。

ここでは、便利な電源ICの選び方と周辺部品の改良技法を中心に説明します。

12-1

リニア・レギュレータの損失

電源は効率が大切



■ 数式

$$\text{入力電力 } P_{in} = V_{in} I_{in}$$

$$\text{出力電力 } P_{out} = V_{out} I_{out}$$

$$\text{内部損失 } P_{loss} = P_{in} - P_{out}$$

$$\text{入出力電位差 } \Delta V = V_{in} - V_{out}$$

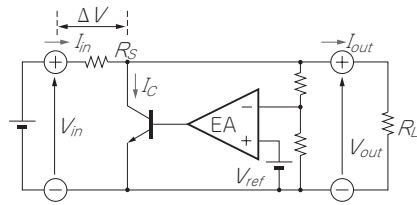
$$I_{in} = I_{out} \text{ とすれば}$$

$$P_{loss} = \Delta V I_{out}$$

$$\text{効率 } \eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{V_{out}}{V_{in}} = 1 - \frac{\Delta V}{V_{in}}$$

(a) シリーズ・レギュレータ

図 12-1 回路と数式



■ 数式

$$I_{in} = I_C + I_{out} \text{ で一定}$$

$$P_{in} = V_{in} I_{in} = V_{in} (I_C + I_{out}) \text{ で一定}$$

$$P_{loss} = R_S I_{in}^2 + I_C V_{out}$$

$$= R_S I_{in}^2 + (I_{in} - I_{out}) V_{out}$$

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{V_{out} I_{out}}{V_{in} (I_C + I_{out})} = \frac{V_{out}}{V_{in}} \frac{1}{(1 + I_C / I_{out})}$$

$I_{out \max}$ のとき、 $I_C = 0$ とする。このとき

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{R_L}{R_S + R_L}$$

$$\eta = \frac{V_{out}}{V_{in}}$$

となって η は最大となる。

(b) ショント・レギュレータ

図 12-1 に示すようにリニア・レギュレータには、大別してシリーズ・レギュレータとショント・レギュレータの 2 種類があります。リニア・レギュレータは、図に示すように基準電圧 V_{ref} と抵抗で分圧された出力電圧を比較し、その誤差を EA (Error Amplifier, 誤差増幅回路) で増幅してパワー・トランジスタに加え、出力電圧が一定になるように制御しています。

電源の重要なパラメータである効率は

$$(\text{効率}) = (\text{出力電力}) \div (\text{入力電力})$$

であり、電力はすべて有効電力です。入力電力は

$$(\text{入力電力}) = (\text{出力電力}) + (\text{内部損失})$$

であり、効率の向上には内部損失を少なくする必要があります。リニア・レギュレータの損失を考えると、図の EA 部分の損失は少なく無視できます。

シリーズ・レギュレータは、図 12-1 (a) に示すように制御用のパワー・トランジスタが負荷と直列 (series) に接続されるのでそのように呼ばれます。損失は、図 12-1 (a) に示すように入出力電位差 ΔV が支配的で、出力電流に比例します。入力電流は出力電流と制御回路部分の電流の和になり、出力電流が増加すれば増加します。出力が短絡すると大電流が流れ Tr_1

見本

三角関数

- 基本公式
- 倍角の公式
 $\sin(2\theta) = 2\sin\theta\cos\theta$
 $\cos(2\theta) = 1 - 2\sin^2\theta = 2\cos^2\theta - 1$
- 半角の公式
 $\sin\frac{\theta}{2} = \pm\sqrt{\frac{1-\cos\theta}{2}}$, $\cos\frac{\theta}{2} = \pm\sqrt{\frac{1+\cos\theta}{2}}$
- ピタゴラスの定理
 $\cos^2\theta + \sin^2\theta = 1$
- オイラーの公式
 $e^{\pm j\theta} = \cos\theta \pm j\sin\theta$
- n 倍角の公式
 $(\cos\theta + j\sin\theta)^n = \cos n\theta + j\sin n\theta$
 $\sin\theta = \frac{e^{j\theta} - e^{-j\theta}}{2j}$
 $\cos\theta = \frac{e^{j\theta} + e^{-j\theta}}{2}$
 $a\sin\theta \pm b\cos\theta = \sqrt{a^2 + b^2} \sin\left(\theta \pm \tan^{-1}\frac{b}{a}\right)$

図A-1 三角関数

交流信号を扱う場合に最も重要なことは、位相を正しく認識することです。位相の問題は図A-1に示す三角関数を用いて解くことができます。

三角関数で最も基本的なのはオイラーの公式で、ほかの公式はオイラーの公式から導くことができますが、いちいち計算しなくてもすむように重要な公式を掲載しました。

交流信号の位相は、周波数が等しい正弦波信号で問題になります。周波数が異なる正弦波信号では、ほとんど問題になりません。まずは周波数が等しい入出力正弦波信号の位相の変化を正しく認識することが重要です。

位相の問題は図A-1の三角関数の公式を用いて解けます。注意すべき点として、位相を問題にする正弦波信号は定常信号と考えます。つまり無限の過去から無限の未来まで、振幅と周波数が一定の正弦波信号と考えて位相を計算します。

正弦波信号の位相は時間的に先行する方向をプラス、遅れる方向をマイナスとしています。正弦波信号をオシロスコープで観測するときは、位相0°の基準の信

● 変換式

SI単位 非SI単位

$$\bullet 2\pi\text{rad} = 360^\circ$$

$$1\text{rad} = \frac{180^\circ}{\pi} \doteq 57.296^\circ, 1^\circ = \frac{\pi}{180}\text{rad} = 0.01745\text{rad}$$

● 特殊角に対する値

°	0	30	45	60	90	120	135	150	180
rad	0	$\frac{\pi}{6}$	$\frac{\pi}{4}$	$\frac{\pi}{3}$	$\frac{\pi}{2}$	$\frac{2\pi}{3}$	$\frac{3\pi}{4}$	$\frac{5\pi}{6}$	π
sin	0	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{\sqrt{2}}$	$\frac{\sqrt{3}}{2}$	1	$\frac{\sqrt{3}}{2}$	$\frac{1}{\sqrt{2}}$	$\frac{1}{2}$	0
cos	1	$\frac{\sqrt{3}}{2}$	$\frac{1}{\sqrt{2}}$	$\frac{1}{2}$	0	$-\frac{1}{2}$	$-\frac{1}{\sqrt{2}}$	$-\frac{\sqrt{3}}{2}$	-1
tan	0	$\frac{1}{\sqrt{3}}$	1	$\sqrt{3}$	∞	$-\sqrt{3}$	-1	$-\frac{1}{\sqrt{3}}$	0

$$\bullet \tan\theta = \frac{\sin\theta}{\cos\theta}$$

$$\bullet \cos(-\theta) = \cos\theta$$

$$\bullet \sin(-\theta) = -\sin\theta$$

$$\bullet \cos\left(\theta - \frac{\pi}{2}\right) = \sin\theta$$

号(一般に入力信号)を決めて、その信号が0V(平均値)から立ち上がるときを0°とします。ほかの信号(一般に出力信号)を見て、0Vから立ち上がる時が基準の信号の右側だったら遅れ、左側だったら進み位相とします。位相差は信号の1周期を360°として、基準の信号に対する立ち上がり時間の差を周期で割って、360°を掛ければ求まります。

問題は正弦波信号が周期関数波形であることです。同一位相といっても、360°遅れているとも、360°進んでいるともいえます。正確に求めるには入出力の伝達関数から計算する必要があります。同一位相だったら0°、反転していたら180°とします。180°の場合に+180°か-180°かはその後の位相変化で決めます。高次フィルタの伝達関数は平坦域の位相を0°または180°として周波数とともに連続的に変化するものとします。例えば、ロー・パス・フィルタでは超低周波で0°または180°とし、高周波で3次では270°遅れとして90°進みとはせず、4次では360°遅れとして0°とはしません。

●プロがよく使う回路を167個集め、部品定数や特性の値を求める数式を整理しました。回路は、動作を表す数式と、部品の知識があれば作れます。

●本書の特徴は次の通りです。

◎動作を表す式から製作に便利な式を導いているので、すぐに作れる

◎値の目安として、実際に動作する値の計算例を併記している

◎経験を基にした、具体的なトラブルシュートの方法を解説している

ISBN978-4-7898-4531-1

C3055 ¥2400E

CQ出版社


定価：本体2,400円（税別）



9784789845311

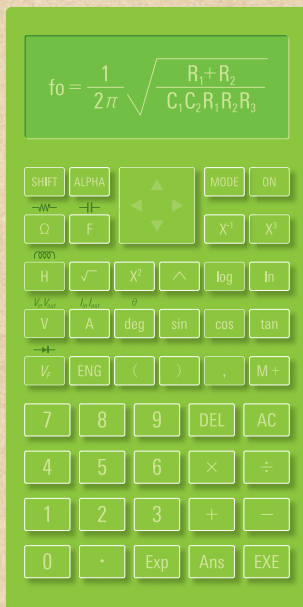


1923055024007

 ライブラリ・シリーズ
てっとり早く答えが見つかる

エレクトロニクス 数式事典

値がパッと出る!



見本