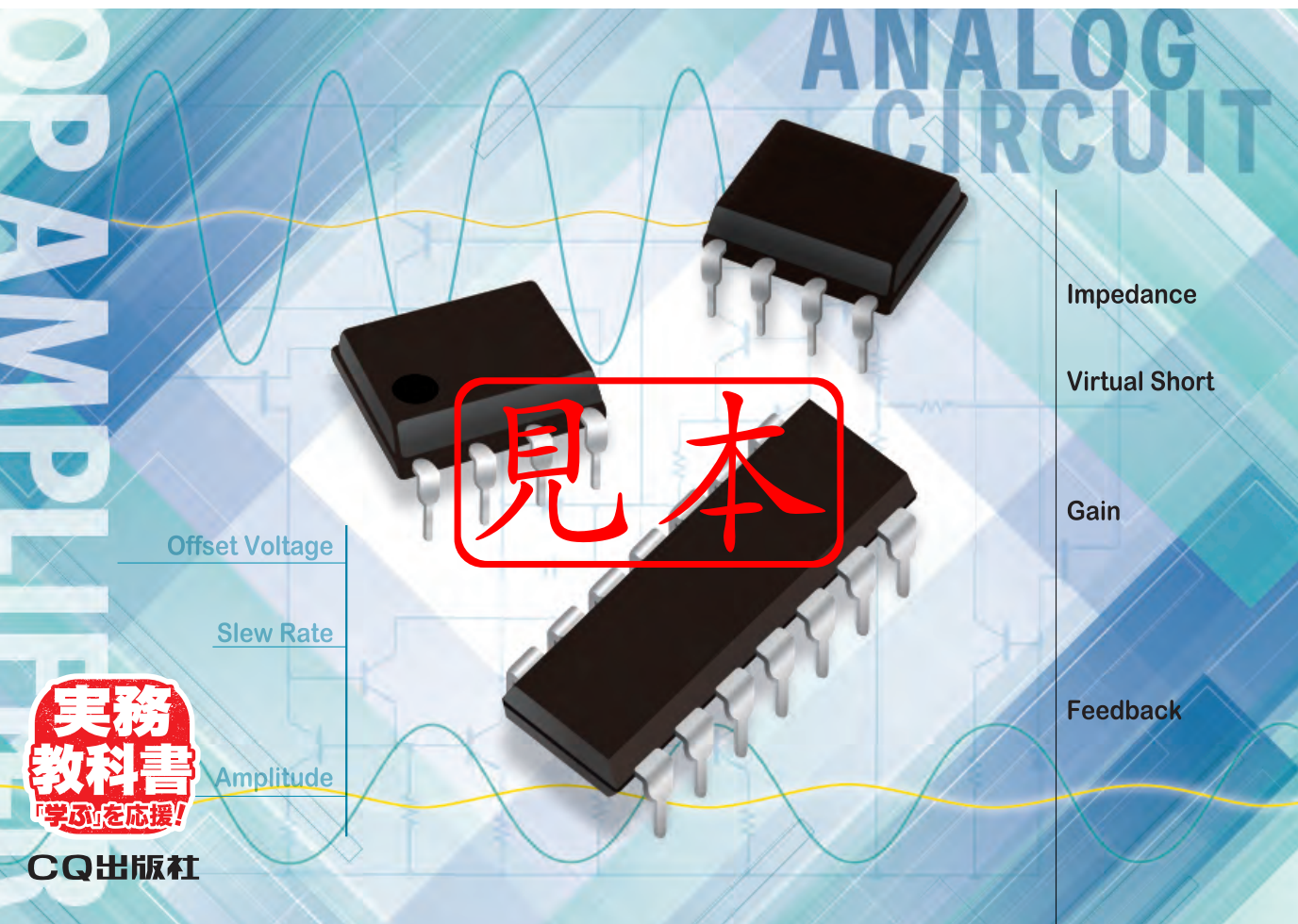


トランジスタ技術 SPECIAL

8ピン定番から実用単電源マイコン直結レール・ツー・レールまで

はじめの一歩! OPアンプ回路設計



**実務
教科書**
「学ぶ」を応援!

CQ出版社

アナログ回路は OPアンプからがオススメ

エンジニア Engeer

アナログ回路の基本を習得するためにははじめに手にとるべき部品としては、OPアンプをおすすめします。本章では、アナログ回路においてOPアンプがどのような特徴をもつ部品なのかを紹介します。

なぜOPアンプからはじめるべきか

アナログ回路においてOPアンプがどのような位置づけにあるのかを簡単に整理します。

● 半導体の代表…トランジスタとOPアンプ

アナログ回路の基本部品としてはトランジスタがあります。トランジスタはP型とN型の2種類の半導体によって構成された部品で、電流を増幅する作用をもちます。トランジスタの電流増幅作用はさまざまなア

ナログ回路で重要な役割を果たしており、個々の回路の詳細を把握しようとするのとトランジスタへの理解が必須となります。

● 実際のアナログ回路

一方で、近年ではさまざまな電子回路が集積回路として1チップ化されています。とくにアナログ回路の基本として教科書で学ぶような回路は、集積回路としてICチップに内蔵されているため、なかなか目にする機会がないというのが実情です。ここで座学と実務の間に乖離が生じてしまうわけです。

図1は回路設計の抽象化レベルを区分けしたものです。多くの回路設計者は、このうちのシステム設計、あるいは機能ブロック設計を業務として行っています。トランジスタ回路設計やトランジスタ素子設計につい

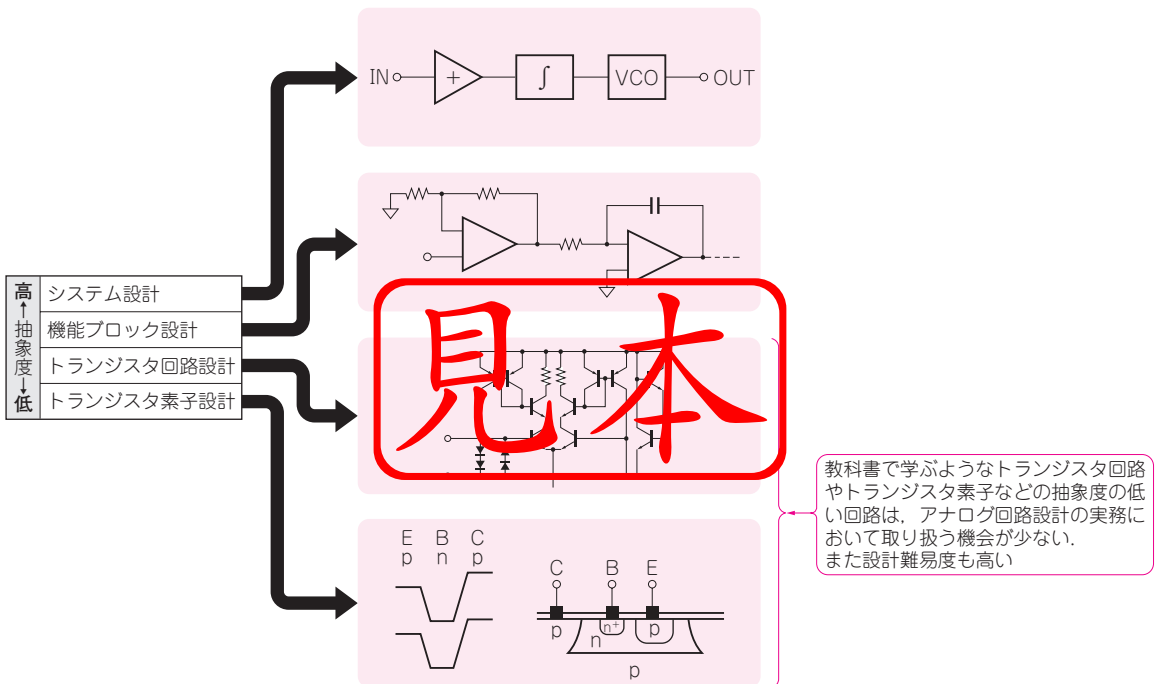


図1(1) 回路設計の階層と抽象度

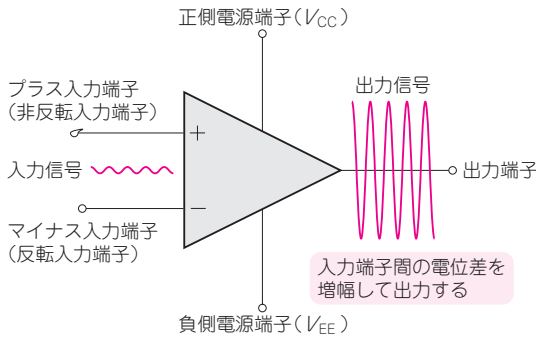


図2 OPアンプの動作概要と端子名

では、半導体デバイスの設計者が取り扱います。

このような状況でこれからアナログ回路を学んでいくときに、トランジスタからはじめるのは学習効率が低いとは言えません。これはトランジスタの学習が不要ということではなく、回路設計についてある程度の理解が深まってからトランジスタを学び直すほうが効率的ということです。

● OPアンプから学ぶメリット

それではトランジスタに代わって何からアナログ回路を学ぶべきかという点、OPアンプです。OPアンプは信号を増幅する作用をもつ半導体部品です。OPアンプを使ったアナログ回路では、アナログ回路特有の難しい部分がある程度抽象化されているため、いくつかの周辺部品を組み合わせることで比較的簡単に信号を増幅できます。

そもそもOPアンプとは

OPアンプ(オペアンプと読む)は、Operational Amplifierを略したもので、日本語では演算増幅器と訳されます。

● OPアンプの成り立ち

演算と増幅器が組み合わさった用語から作られるとおり、もともとはアナログ・コンピュータの演算用の素子として開発されました。現在のコンピュータはデジタル化されてしまいましたが、OPアンプが持つ演算機能や増幅作用は現代でも必要とされており、抵抗やコンデンサなどと同様の基本部品としてさまざまな回路で使用されています。

● OPアンプの端子構成

OPアンプの端子構成と動作概要を図2に示します。OPアンプは、2つの入力端子と1つの出力端子をもっており、入力端子間の電位差を増幅します。入力端子

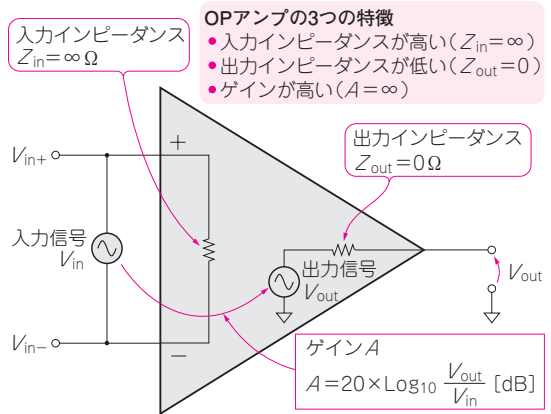


図3 OPアンプの3つの特徴

はプラス端子とマイナス端子があります。プラス入力端子を非反転入力端子、マイナス入力端子を反転入力端子と呼びます。

また、OPアンプは半導体の集積回路であるため電源が必要となります。OPアンプの電源端子はプラスとマイナスがあります。プラスの正側電源端子はV_{CC}、マイナスの負側電源端子はV_{EE}などの端子名が用いられます。

「理想的なOPアンプ」の特徴

理想的なOPアンプは、図3に示すような3つの特徴をもちます。

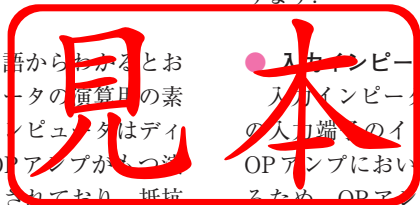
- 入力インピーダンスが高い ($Z_{in} = \infty$)
- 出力インピーダンスが低い ($Z_{out} = 0$)
- ゲインが高い ($A = \infty$)

理想的なOPアンプは現実には存在しませんが、OPアンプを使った回路を設計する場合に理想素子として捉えることで、単純化して回路を設計できるようになります。

● 入力インピーダンスが高い

入力インピーダンスは、信号源から見たOPアンプの入力端子のインピーダンスのことです。理想的なOPアンプにおいては入力インピーダンスが $\infty \Omega$ であるため、OPアンプの入力端子に電流が流れません。つまり微小な信号であっても、誤差なく入力端子間の電位差を検出できるということです(図4)。

OPアンプでは入力端子間の電位差を増幅して出力するため、微小レベルまで差を検出できるということは非常に重要です。また、入力インピーダンスが高いため、信号源での電圧降下の影響も受けなくなります。



現実のOPアンプの電気特性

エンジニア Engeer

前章では理想的なOPアンプの動作原理を紹介しましたが、現実のOPアンプには各種の制約があり、特性パラメータとして規定されています。OPアンプを正しく使うためには、特性パラメータについて理解しておくことが大切です。

そこで本章では、汎用OPアンプであるNJM741(日清紡マイクロデバイス)のデータシート⁽¹⁾をもとに、各特性の意味について解説します。OPアンプを使いこなす上で重要な特性が多数含まれています。

守らないといけない絶対最大定格

絶対最大定格(Absolute Maximum Ratings)は、臨時的であっても超えてはならないOPアンプの動作条件です。NJM741の絶対最大定格は、表1のように規定されています。絶対最大定格を超える条件で動作させると、特性が劣化したり、素子を破壊してしまいます。そのため、動作時に絶対最大定格を超えないように回路を設計する必要があります。実際には、絶対最大定格に対してある程度のマージン、いわゆるデイレージングをもたせて回路を設計します。

● 電源電圧(Supply Voltage) V^+/V^- , V_{CC}/V_{EE}

電源電圧は、OPアンプの正側電源端子(V_{CC})と負側電源端子(V_{EE})にかけられる電圧のことです。NJM741においては $\pm 18\text{V}$ となっているため、電源電圧がこの範囲に収まるように電源回路を設計します。

表1⁽¹⁾ NJM741の絶対最大定格(周囲温度 25°C)

項目	記号	定格	単位
電源電圧	V^+/V^-	± 18	V
同相入力電圧	V_{IC}	± 15 ^(注)	V
差動入力電圧	V_{ID}	± 30	V
消費電力	P_D	(Dタイプ)500 (Mタイプ)300	mW
動作温度	T_{opr}	$-40 \sim +85$	$^\circ\text{C}$
保存温度	T_{stg}	$-40 \sim +125$	$^\circ\text{C}$

(注)電源電圧が $\pm 15\text{V}$ 以下の場合には電源電圧と等しくなる

OPアンプは入力信号を増幅して出力する働きをもちますが、電源電圧以上に増幅することはできません。

● 同相入力電圧(Input Voltage) V_{IC}

同相入力電圧は、図1に示すように、2つの入力端子(反転入力端子と非反転入力端子)とGND間に入力可能な電圧の限界値を表したものです。

また、表1に注記として記載されていますが、このOPアンプの場合には電源電圧が $\pm 15\text{V}$ 以下の場合には同相入力電圧と電源電圧が等しくなります。

● 差動入力電圧(Differential Input Voltage) V_{ID}

差動入力電圧は、反転入力端子と非反転入力端子間に印加可能な最大電圧を表しています。この差動入力電圧は図2に示すように、2つの端子間の電位差を表したもので、いずれの端子の電圧を基準としてもよく、また極性も関係ありません。

● 消費電力 P_D

消費電力は、OPアンプが許容可能な電力を表したものです。同じシリーズでもパッケージ形状によって熱抵抗が異なるため、形状ごとに消費電力が規定されています。

注意すべき点としては、この消費電力が周囲温度 $T_a = 25^\circ\text{C}$ で規定された値だということです。つまり、この消費電力は周囲温度が 25°C のときに動作温度の上限 85°C を超えないように規定されたものであって、周囲温度が 25°C よりも高い場合には絶対最大定格の消費電力は小さくなります。

見本

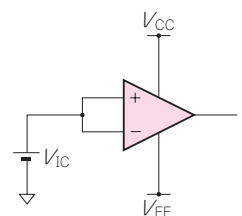


図1 同相入力電圧は2つの入力端子とGND間に入力可能な電圧を表したものの

OPアンプICの種類と選び方

エンジニア Engeer

OPアンプは、さまざまなメーカーから多種多様なラインナップで販売されています。そこで本章では、OPアンプを選ぶときに知っておくと役立つ、分類方法とそれぞれの特徴について説明します。部品選定の際の参考として活用してください。

パッケージによる分類

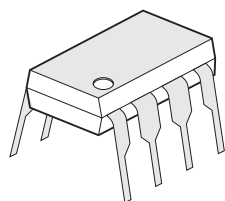
OPアンプをはじめとした集積化回路は、規格化されたパッケージに封止されて販売されています。パッケージは、目で見てわかるOPアンプの最も大きな違いです。

OPアンプに使用されるパッケージの代表的なものとしてDIP(Dual In-line Package)とSOP(Small Outline Package)があります。図1に示したのはNJM741の2つのパッケージの違いです。

● その1：DIP

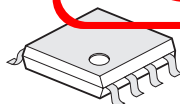
DIPは、比較的端子数の少ないICに使用されるパッケージです。端子がパッケージの両側面から出ており、プリント基板の挿入実装部品です。

端子数は4～64ピンでいろいろなバリエーションが存在しますが、OPアンプにおいては主に8ピンと14ピンが使用されています。パッケージが同じであれば、異なるメーカーにおいてもピン配置の互換性があります。



NJM741D

(a) DIP



NJM741M

(b) SOP

図1⁽¹⁾ NJM741におけるパッケージの違い

● その2：SOP

SOPは、DIPと同じくパッケージの両端から端子が出ているタイプのものです。DIPとの違いとしては、表面実装用タイプであることとピン・ピッチが狭いことが挙げられ、小型化に適したパッケージと言えます。

SOPは、DIPと比較して熱容量が小さくなります。前章で紹介したNJM741の場合、DIPでは消費電力が500 mWであったのに対して、SOPは300 mWです。

なお、SOPにはピン・ピッチやパッケージ幅が異なるものが数多く存在します。ピン配置の互換性があったとしてもフット・プリントの互換性がないために、別のOPアンプに置き換えられないことがあります。

回路数による分類

市販されているOPアンプは1個のパッケージの中に複数の回路が実装されており、1回路、2回路、4回路のタイプに分かれます。ここではDIPを例にして、回路数ごとのピン数とピン配置の関係を紹介します。

● 1回路入りOPアンプ

1回路入りのOPアンプは8ピンのDIPに封止されています。図2に示すように、2ピンが反転入力端子、3ピンが非反転入力端子、4ピンが負側電源端子、6ピンが出力端子、7ピンが正側電源端子と規定されています。

その他の端子はOPアンプの型式ごとに異なりますが、NJM741においては1ピンと5ピンがオフセット電圧の調整端子、8ピンはNC(Non Connection：未接続)となっています。

● 2回路入りOPアンプ

2回路入りのOPアンプも8ピンのDIPに封止されます。図3に示すように、2つのOPアンプに対して、OPアンプAの入力端子が3ピンと2ピン、出力端子が1ピンとなっています。また、OPアンプBについては5ピンと6ピンが入力端子、7ピンが出力端子です。残

見本

その①：反転増幅回路

エンジニア Engeer

本章では、OPアンプを使った回路のなかでも最も基本となる反転増幅回路の理論、設計(シミュレーション)、製作、測定を順に解説します。設計、製作、測定については、読者の手で再現できるように工夫しているので、ぜひ本書を片手に実験にチャレンジしてみてください。

反転増幅回路の理論

反転増幅回路は、図1に示すOPアンプと2つの抵抗によって構成され、入力信号の極性を反転して増幅する作用をもちます。極性というのは、直流回路においてはプラスとマイナスの符号を意味し、交流回路においては位相が180°変化することを意味します。

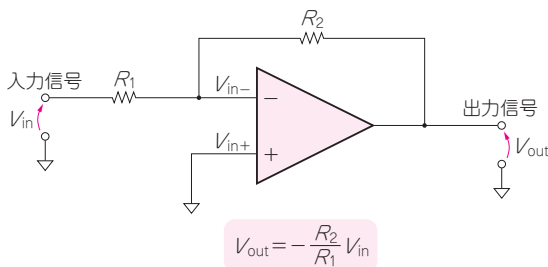


図1 反転増幅回路の構成

OPアンプと2つの抵抗で構成され、入力信号と出力信号の極性が反転する

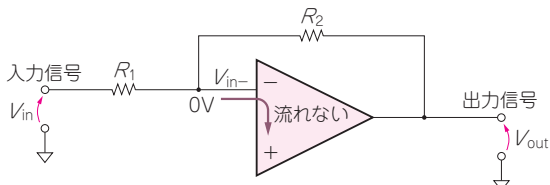
● 動作の概略

まずは数式ではなく、イメージ図をもとにして反転増幅回路の概略を理解します。

▶ バーチャル・ショート的作用

反転増幅回路では、OPアンプの反転入力端子に対して入力抵抗 R_1 を介して信号源が接続されます。このとき、OPアンプの入力インピーダンスは非常に高いため、図2に示すようにOPアンプ内部には電流が流れません。また、反転入力端子の電位はバーチャル・ショートによってGNDと同電位、つまり0Vとなります。

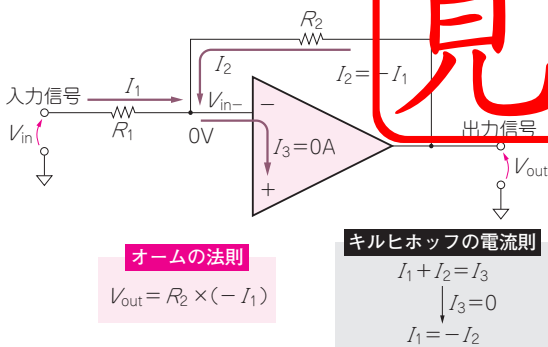
ここで、キルヒホッフの電流則(ある接点における電流の総和は0になる)に基づいて反転増幅回路の動作を考えると、点 V_{in-} には入力抵抗 R_1 と帰還抵抗 R_2 から同じ大きさで極性が異なる電流2つの電流 ($I_1 = -I_2$) が流れ込むことになります(図3)。



OPアンプの入力インピーダンスは非常に高いため電流は流れない。またバーチャル・ショートによって反転入力端子は0Vになる

図2 OPアンプの入力端子には電流が流れない

見本



オームの法則
 $V_{out} = R_2 \times (-I_1)$

キルヒホッフの電流則
 $I_1 + I_2 = I_3$
 $I_3 = 0$
 $I_1 = -I_2$

図3 反転増幅回路における電流の流れ方

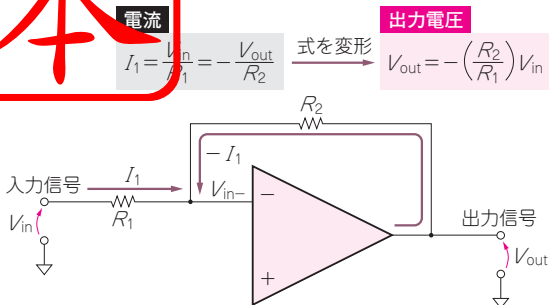


図4 反転増幅回路における出力電圧の求め方

その②：非反転増幅回路

エンジニア Engээр

OPアンプを使った基本回路として、非反転増幅回路の理論、設計(シミュレーション)、製作、測定を順に解説していきます。

非反転増幅回路の理論

非反転増幅回路は、図1に示すようにOPアンプと2つの抵抗によって構成されます。非反転増幅回路では信号源が非反転入力端子に接続されているため、入力信号と同じ極性で増幅された信号が出力されます。回路のゲイン G は、2つの抵抗の抵抗比に1を加えたものとなります。

● 動作の概略

▶ まずはバーチャル・ショート

非反転増幅回路においても、OPアンプのバーチャル・ショート的作用が重要な役割を果たします。反転

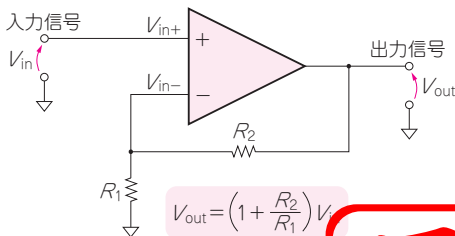


図1 非反転増幅回路の構成
OPアンプと2つの抵抗で構成され、入力信号の極性がそのまま増幅される

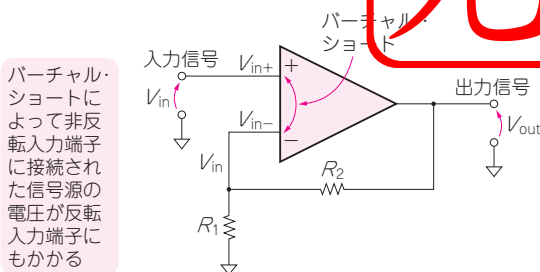


図2 非反転増幅回路の帰還抵抗に流れる電流

入力端子と非反転入力端子はバーチャル・ショート的作用によって、図2に示すように同電位となります。

つまり、非反転入力端子に信号源が接続されると、それと同じ電位が反転入力端子にかかるようにOPアンプが動作するという事です。

▶ 帰還回路の作用

このとき、抵抗 R_1 にはオームの法則に従って $I_1 (= V_{in}/R_1)$ の電流が流れます。理想的なOPアンプの入力インピーダンスは非常に高い($Z_{in} = \infty$)ため、電流 I_1 はOPアンプの出力端子から帰還抵抗 R_2 を介して流れます(図3)。そのため、出力信号 V_{out} は抵抗 R_1 と帰還抵抗 R_2 のそれぞれの電圧降下分だけの電圧をもちます。

▶ 分圧と出力電圧の関係

入力電圧 V_{in} が規定された状態においては、出力電圧 V_{out} はバーチャル・ショート的作用が働くため、抵抗 R_1 と帰還抵抗 R_2 の分圧比によって決まります(図4)。抵抗の分圧則の式を展開すると、出力信号 V_{out} は入力信号 V_{in} に対して $(1 + R_2/R_1)$ 倍の電位をもつことになります。

これが非反転増幅回路において、信号が増幅される原理です。非反転増幅回路の動作は、0Vを支点としたテコの動作のように捉えることができます。図5において、非反転増幅回路では抵抗 R_1 と帰還抵抗 R_2 が同一極性に並んでいるため、入力信号の極性をそのま

見本

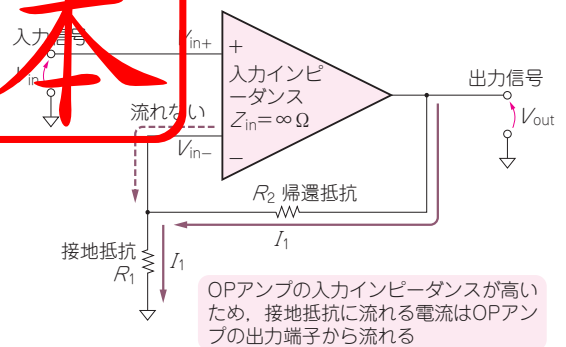


図3 非反転増幅回路における電流の流れ方

その④：加算回路

エンジニア Engineer

ここからはOPアンプを使った演算回路を取り上げます。演算回路においても理論だけでなく、回路シミュレーションによる検証と実際の回路の製作を行います。各種の演算回路のなかで、はじめに紹介するのは最も基本となる加算回路です。加算回路では、複数の入力信号に対してそれぞれにゲインを設定し、それらを足し合わせて出力できます。

加算回路の理論

OPアンプを使った加算回路には、反転増幅回路による方式と非反転増幅回路による方式の2通りが存在し、それぞれ反転加算回路と非反転加算回路と呼びます。いずれの方式においても、OPアンプの入力端子に複数の信号源を接続します。各信号源に対するゲインは、入力抵抗と帰還抵抗の比によって決まります。

● 反転加算回路

反転加算回路は図1に示すように、OPアンプの反転入力端子に複数の信号源を接続した回路です。反転増幅回路と同じく、帰還抵抗を出力端子と反転入力端子間に接続しています。各信号源の入力抵抗との比によってそれぞれのゲインが求まり、それらが足し合わされて出力されます。なお、出力信号の極性は入力信

号に対して反転します。

▶動作イメージ

反転加算回路の動作はOPアンプのバーチャル・ショート的作用をもとに理解できます。

非反転入力端子がGNDに接続されているため、図2に示すように反転入力端子の電位は0Vとなります。これに対して、各信号源からは入力抵抗を介して電流が流れます。この電流は、OPアンプの入力インピーダンスが非常に高いため帰還抵抗 R_F へと流れていき、 R_F による電圧降下が出力信号として観測されます。つまり、入力側の電流がすべて足し合わされて、出力端子に現れるということです。

▶ゲインの計算方法

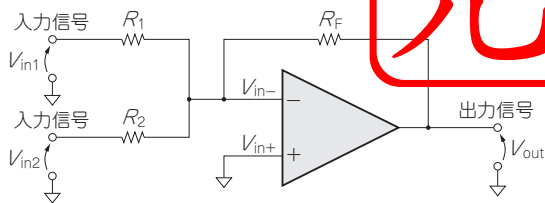
ここでは信号源が3つの場合を想定して、ゲインを計算してみます。

図3に示すように、信号源 V_1 、 V_2 、 V_3 には、それぞれ入力抵抗 R_1 、 R_2 、 R_3 が接続されており、帰還抵抗は R_F とします。バーチャル・ショートによって反転入力端子の電圧が0Vとなるため、各信号源の入力電流はオームの法則で計算できます。

$$I_1 = \frac{V_1}{R_1} \dots\dots\dots (1)$$

$$I_2 = \frac{V_2}{R_2} \dots\dots\dots (2)$$

見本



$$V_{out} = - \left(\frac{V_{in1}}{R_1} + \frac{V_{in2}}{R_2} + \dots + \frac{V_{inN}}{R_N} \right) R_F$$

図1 反転加算回路の構成
反転加算回路は反転増幅回路に複数の信号源を接続した構成

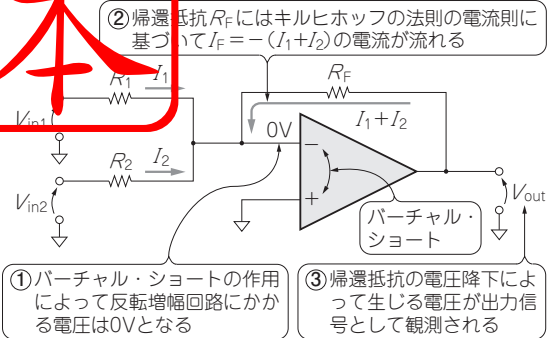


図2 反転加算回路における電流の流れ方

その⑥：ローパス動作 積分回路

エンジニア Engineer

積分回路は微分回路と反対の性質をもつ回路で、ローパス・フィルタとして機能します。アナログ回路におけるローパス・フィルタは、後段の回路に対してノイズの影響を取り除く働きをもつために非常によく使用されます。

積分回路の理論

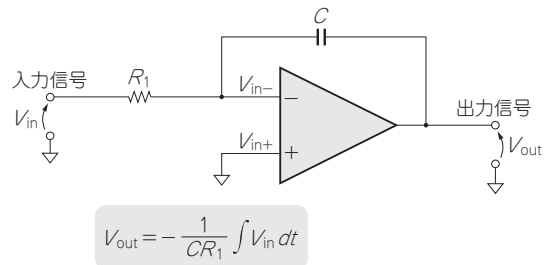
● 積分回路の概要

積分回路の構成は図1に示すように、反転増幅回路の帰還抵抗をコンデンサに置き換えたものです。周波数が低い領域では反転増幅回路として機能する一方で、周波数が高い領域では入力信号の変動が平均化されるため、ローパス・フィルタとして機能します。また、積分処理では入力信号の面積に応じて出力が変化するため、矩形波を三角波に変換できます。

積分回路では帰還容量のインピーダンスによって回路のゲインが変化するため、低い周波数と高い周波数で動作に違いが生じます。

● 低周波信号に対する動作イメージ

積分回路は、OPアンプのバーチャル・ショート的作用から動作を理解できます。図2に示すように、非反転入力端子はGNDと接続されているため、反転入



$$V_{out} = -\frac{1}{CR_1} \int V_{in} dt$$

図1 積分回路の構成

積分回路は反転増幅回路の帰還抵抗をコンデンサに置き換えた構成

力端子の電位もバーチャル・ショートによって0Vとなります。ここで、入力抵抗 R_1 にはオームの法則に基づいて電流が流れます。

$$I = \frac{V_{in}}{R_1} \dots \dots \dots (1)$$

OPアンプの入力インピーダンスは非常に高いため、抵抗 R_1 に流れる電流 I はコンデンサへと流れていきます。一方で、コンデンサに流れる電流の大きさは、静電容量 C と出力信号の時間変化によって決まります。

$$I = C \frac{d}{dt}(0 - V_{out}) = -C \frac{dV_{out}}{dt} \dots \dots \dots (2)$$

式(1)と式(2)より、出力電圧 V_{out} が求まります。

見本

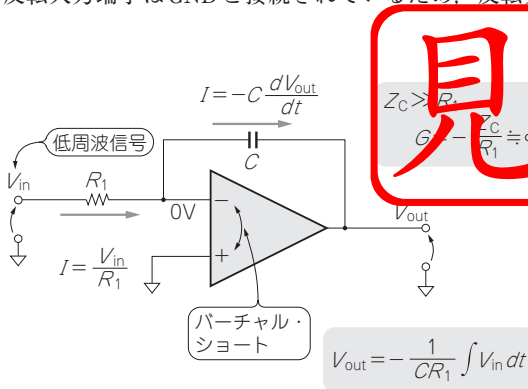


図2 低周波信号に対する積分回路の挙動
帰還容量のインピーダンス Z_C が高いためゲインが非常に大きい

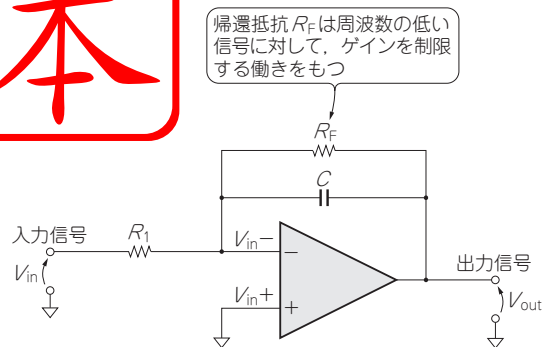


図3 実用的な積分回路の構成

いまどきのOPアンプ… 「単電源」&「レール・ツー・レール」とは

エンジニア Engeer

マイコンなどを使った電子回路においては5Vや3.3Vなどの単電源が使用されます。本章では、OPアンプを単電源で使用するうえで知っておくべき知識について解説します。また、単電源OPアンプを使用した各種回路の構成例も紹介します。

単電源OPアンプとは

● 両電源と単電源の違い

両電源と単電源の違いについて整理します。図1(a)のように、両電源はプラスの V_{CC} とマイナスの V_{EE} の2つの極性を持ちます。一方で、単電源は図1(b)に示すように、正側電源端子にはプラス V_{CC} が接続されますが、負側電源端子にはGNDが接続されます。つまりOPアンプの動作として考えると、単電源OPアンプは入出力の電圧範囲が V_{CC} ~GNDに制限されるということです。

両電源OPアンプにも負側電源端子をGNDに接続すれば単電源OPアンプのように動作するものも存在します。ただし、OPアンプ内部の構成が異なるため、入出力の電圧範囲が完全に一致するわけではありません。

● 入力電圧範囲が異なる理由

両電源OPアンプの入力部は図2(a)に示すように、トランジスタの差動増幅回路によって構成されます。一方で、単電源OPアンプの入力部は図2(b)に示すように、差動増幅回路が2段のトランジスタで構成されています。このようにすることで、カレント・ミラー回路による電圧降下の影響を受けなくなるため、単電源OPアンプでは0V付近の電圧が入力できます。

● バイアス回路の必要性

0V付近の電圧を取り扱える単電源OPアンプでは、動作点を定めるためのバイアス回路が必要となります。一般的な交流信号は0Vを基準に両極性の電圧を出力します。交流信号をそのまま単電源OPアンプに入力すると、負の電圧を取り扱うことができないため、図3に示すように片側がクリップされた波形が出力されてしまいます。また、出力信号の下限値も完全に0Vまでは低下しておらず、50mV程度のところでクリップされています。

このように、OPアンプを単電源で使用する場合には、両電源OPアンプの回路から単純にデバイスを置き換えるだけでは動作しません。ここでの問題は、入力信号に負極性が含まれていることです。そのため単

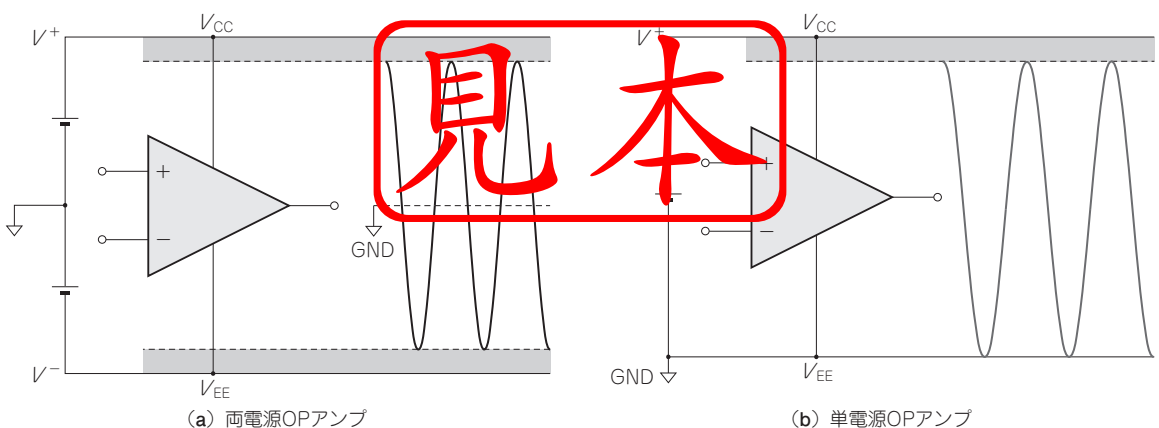


図1 両電源OPアンプと単電源OPアンプの動作電圧範囲の違い

マイコン直結OK! 5V単電源の温度測定回路

猪熊 隆也 Takaya Inokuma

OPアンプICは1960年代後半の登場以来、正負両電源(例えば±15Vなど)で使用するを前提に作られていました。しかし近年は単電源専用や低電圧向けのICも多く出現し、用途ごとに適したOPアンプが選べるようになってきています。また使う側としては、バッテリー駆動のポータブル機器では限られた電源条件をフル活用し、A-Dコンバータやマイコンとのインターフェースでは、接続先のデジタル機器の電圧に合わせてアナログ信号を扱う必要があります。

本稿では、OPアンプを+5V以下の単電源で使用するを前提に、応用上の課題と解決策を探ります。

OPアンプを低電圧動作させるときの課題

● 実際の動作電圧範囲を確かめる

5Vや3.3Vといった低電圧で動作する回路を組むとき気をつけなければならないことの1つに、OPアンプが電源電圧に対してどこまで大きい信号を入出力

できるかがあります。

図1は、OPアンプで使用されている電源電圧と実際の信号電圧の推移について整理したものです。当初のOPアンプの多くは最大電源電圧がほぼ±18Vくらい、よって±15V電源で使用するケースが多かったようです。これはターゲットがアナログ・コンピュータだったので、信号電圧は切りの良い±10V。したがって電源電圧は±15V…というあたりが理由のよう

です。
両電源用OPアンプの基準電位をシフトして単電源で使うことも多かったのですが、両電源用OPアンプには単電源用OPアンプと比べると、図1に示すように0V付近の電圧を入力することが難しいという欠点があります。

実際に、OPアンプの動作電圧範囲を確かめてみます。図2に示す電圧フォロワ回路を使い、入力信号と出力信号をオシロスコープでモニタします。この例では入力信号がどのくらいのレベルで電源電圧に引っかってクリップするかを見るために、交流信号を入力しています。図2のC₁はカップリング(結合)コンデンサと呼ばれるもので、入力信号の中の交流信号だけを通します。カップリング・コンデンサの後は交流信号の中心を0Vと5Vの中心である2.5Vで動作させるように、R₁とR₂で分圧してバイアスしています。

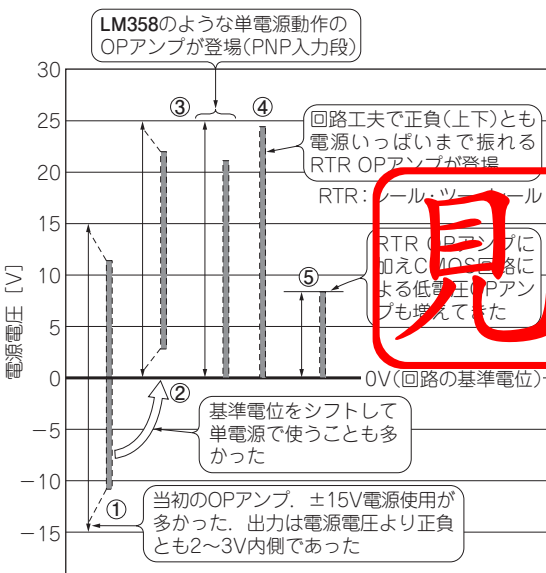


図1 OPアンプの電源電圧と動作電圧範囲の推移

見本

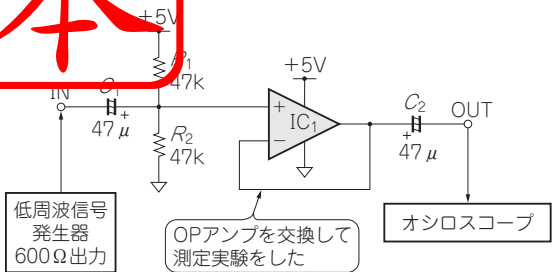


図2 単電源動作における出力波形の測定回路(電圧フォロワ回路)

オーディオ用 OP アンプ回路のポイント

猪熊 隆也 Takaya Inokuma

無料で使える回路シミュレータが多数出てきており、部品メーカからも個別製品のマクロ・モデルが供給される昨今では、趣味でも仕事でも回路シミュレーションが欠かせないツールになっています。ところがシミュレーションではうまく動いていたのに、実際に回路を組んで動かしてみると、思ったような結果が得られない…という経験はないでしょうか。

本稿では、回路シミュレータだけではなかなか検討することができない、ともしれば見落としがちなOPアンプのふるまいを考えてみます。

OPアンプの発熱

OPアンプで回路を組む場合、求める性能に応じて回路定数や使用部品の種類を検討すると思いますが、熱設計も忘れてはいけません。

意外と見落としがちなのがOPアンプ自体の発熱です。データシートには、絶対最大定格、ディレーティング・カーブなどが記されています。これらは絶対に超えてはならない温度であり、十分な余裕をもって使用しなければなりません。素子が熱いまま動作させ続けると、すぐには壊れないにしても、発熱のあおりを受けた電解コンデンサなど周辺回路の寿命を短くしたり、はんだ割れ(クラック)が発生したりするなど、長期間使用し続けた場合の信頼性に大きく影響します。

● 電気的な影響

例えば、NJM5532D(日清紡マイクロデバイス)は内部消費電流が大きく(最大16 mA)、電源電圧しがないと負荷に電流を流さなくてもかなりの熱さになります。

データシート⁽¹⁾の消費電流対周囲温度特性例によると、電源電圧が±15 Vのとき、周囲温度が25℃では消費電流が約9 mAです。周囲温度が50℃まで上がったときは9.5 mAに増加します。このICの消費電流の最大値は16 mAなのでばらつきが大きく、正の温度係数をもっているため、熱くなると電流が増え、発熱が増え、また電流が増えて…と最終的には部品が

壊れてしまう危険もあります。

また、周囲温度が高くなると、入力バイアス電流は小さくなります。周囲温度が0℃と50℃では20%ほどのずれが生じますので、DCオフセットの温度ドリフトにも注意が必要です。

● OPアンプの温度を測定してみた

▶電源電圧を変化させた場合

実際に、リード・タイプのNJM5532DD(8ピンDIP)と表面実装タイプのNJM5532MD(8ピンSOP)のボディ表面温度を測定してみました。ガラス・エポキシ基板に実装し、電源電圧を変化させて熱電対K-250CD(三和電気計器)を使って測定します。負荷はなし(オープン)、入力はショートで信号を入れずに電源電圧だけを変化させます。測定回路を図1に示します。

その結果が図2です。測定データは絶対値ではなく温度上昇値 ΔT で表しています。 $\Delta T=40℃$ ということは、周囲温度が35℃であればIC表面温度は75℃ということになります。

DIPパッケージはそれほどでもありませんが(とっても熱い!)、表面実装タイプのSMDパッケージは負荷に電流が流れていない状態といっても、電源電圧±20 V時には ΔT で40℃とかなり熱くなっています。

OPアンプの温度は内部損失と負荷による出力段の

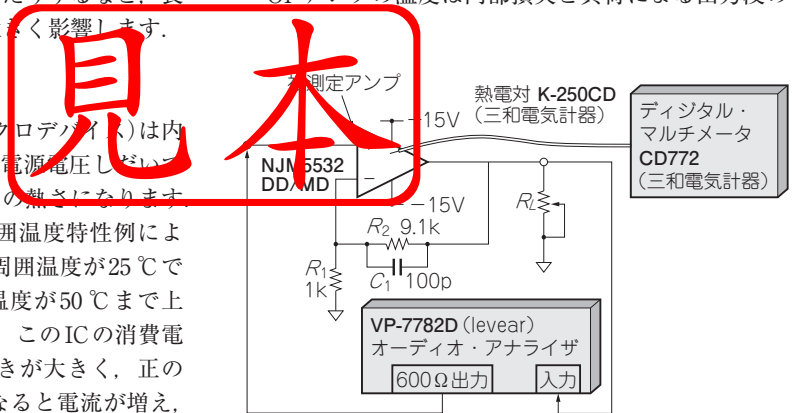


図1 OPアンプの温度上昇測定回路

このPDFは、CQ出版社発売の「トランジスタ技術SPECIAL No.167」の一部見本です。

内容・購入方法などにつきましては以下のホームページをご覧ください。

内容

<https://shop.cqpub.co.jp/hanbai/books/MSP/MSP202407.html>

購入方法

<https://www.cqpub.co.jp/order.htm>

見本