

合点! トランジスタ回路 超入門

[手計算] - [LTspiceでシミュレーション] - [実験] で完全制覇!

庄野和宏 [著]

Bipolar Junction Transistor

Junction Field-Effect Transistor

Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistor

pnp / npn

Small-Signal Model

Large-Signal Model

Bias Design

Static Characteristics

Distortion

Emitter / Collector / Base

Source / Drain / Gate

Push-Pull Circuit

Transistor

Negative Feedback

Output Transformer-Less

Differential Amplifier

はじめての人もチャレンジしよう トランジスタってなに？

● 暮らしを支えるトランジスタ

私達の身の回りには、さまざまな電子機器があります。地上波デジタル・テレビ、携帯電話、パーソナル・コンピュータの他、自動車には数多くの電子機器が搭載され、電車などの大きなものも、電子制御されています(図1)。それらは、デジタル回路であってもアナログ回路であっても、トランジスタが欠かせません。



● トランジスタとは何か？

トランジスタは、3本足のデバイスである、ということはご存じの通りです。一言で説明するために筆者なりに表現をすれば、「トランジスタとは中に抵抗器があり、その端子が二つ外に出ていて、その抵抗値を残りの1本の端子で制御するデバイスである」となります。「トランジスタ(transistor)」の由来にはいくつかの説があって、そのうち、transfer(伝達する)と、resistor(抵抗器)から出来た造語であるといわれているものがあります。トランジスタには次の2種類があ

ります。

- ① 制御端子に電流が流れてしまうのが少し厄介？だが、制御端子に流れる電流によって、内蔵されている抵抗器に流れる電流が、制御端子の電流に比例するように働くバイポーラ・トランジスタ(図2)
 - ② 制御端子に電流が流れなくて嬉しい？けれども、その反面、制御端子の電圧によって、内蔵されている抵抗器が出力端子の電流を、電圧に比例でなく、2乗に比例するように働くFET(図3)
- ①②の両者を満たすような、制御端子に電流が流れ

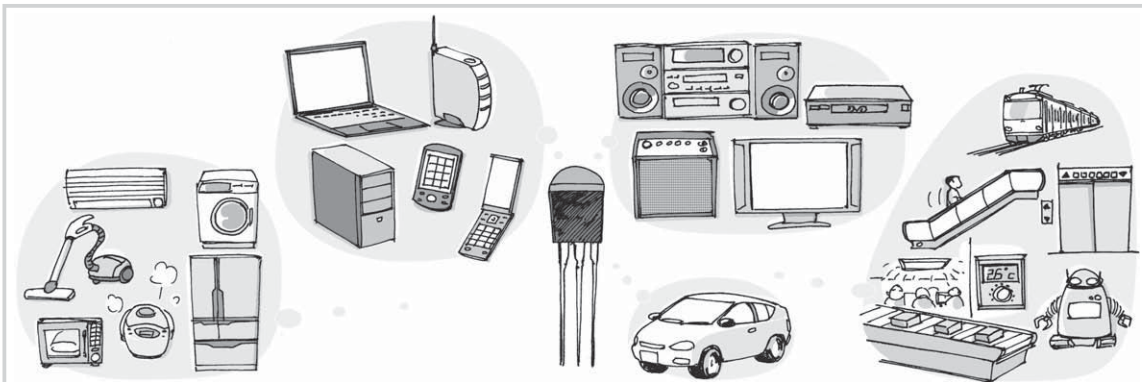


図1 「トランジスタ」は、いろいろな電子機器、自動車などに使用されている
家電機器だけでなく、電車などの大きな物も電子制御されるようになった。多くの場面でトランジスタが使われている。

ず、制御端子の電圧と内蔵されている抵抗器に流れる電流が完全に比例するトランジスタがあればよいと思うのですが、そういった夢のようなトランジスタは残念ながらありません。しかし、複数のトランジスタを組み合わせることで「回路」とすることで、ここで考えるような理想的なものをかなり正確に実現することができます。こういった何らかの要求を満たすものが、トランジスタ回路といえます。

実用化された順番が、①②であったという歴史的背景があることもあり、通常の電子回路の教科書では、バイポーラ・トランジスタについては詳しく書かれているのですが、FETについてはおまけ程度に書かれている、というものが多く感じます。

実は、バイポーラ・トランジスタをよく理解してしまえば、FETの扱いは非常に楽です。FETのみしか

知らないと、バイポーラ・トランジスタを扱えませんが、その反対に、バイポーラ・トランジスタについて知っていれば、FETの回路はすぐ作れるようになります。

● さまざまなトランジスタ増幅回路

トランジスタを使うアナログ回路には、さまざまなものがありますが、初歩の段階においては、次のものを考えておけばOKです。

- ① 電圧を増幅することを目的とした増幅器。あまり電流は取り出せない。
 - ② 利得が低い、例えば1倍の増幅器。電流をたくさん取り出せる。
- ①の増幅器は、電圧の増幅率(利得という)が大きいです。②の増幅器は、電流の増幅率(利得という)が大きいです。①の増幅器は、電圧を増幅することを目的とした増幅器。あまり電流は取り出せない。②の増幅器は、電流を増幅することを目的とした増幅器。電圧を増幅率(利得という)が低いです。電流を増幅率(利得という)が低いです。電圧を増幅率(利得という)が低いです。電流を増幅率(利得という)が低いです。

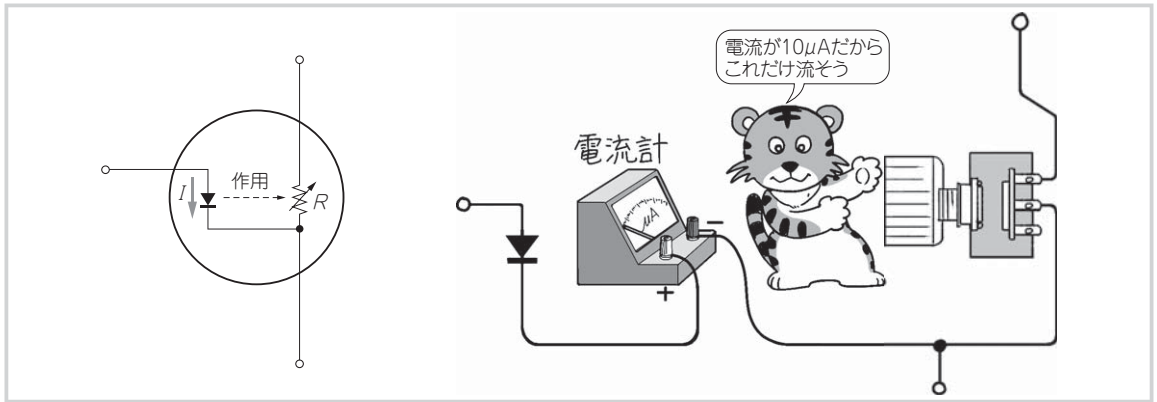


図2 バイポーラ・トランジスタのイメージ

制御端子に電流が流れてしまうのが少し厄介？だが、制御端子に流れる電流によって、内蔵されている抵抗器が、出力端子の電流に比例するように働く。

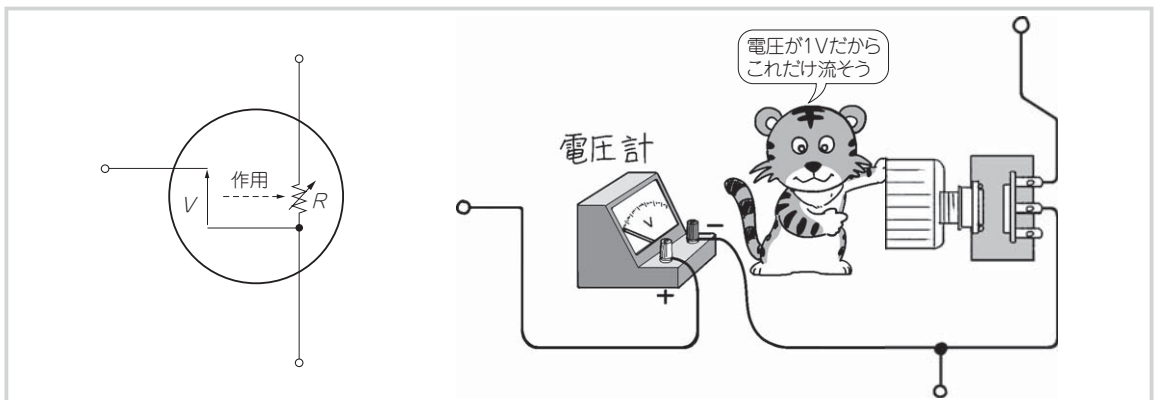


図3 FETのイメージ

制御端子に電流が流れなくて嬉しい？けれども、その反面、制御端子の電圧によって、内蔵されている抵抗器が出力端子の電流を、電圧に比例でなく、2乗に比例するように働く。

第1章

簡単な回路で増幅作用を体感

トランジスタの種類と基本動作を理解しよう

本章では、さまざまなトランジスタの分類について説明します。また、簡単な回路を通して、増幅回路を構成します。

さらに、大きな電力を扱うパワー・アンプなどを作る際に問題となる放熱についても説明するとともに、実験に適した回路の作り方や測定器を紹介します。

1-1 トランジスタの種類

● トランジスタの外観

写真1-1にさまざまなトランジスタを示します。

トランジスタは基本的に3本足のデバイスです。

左側のものはバイポーラ・トランジスタ(Bipolar Transistor, またはBipolar Junction Transistor, BJT)と呼ばれるもので、通常、トランジスタといえば、こちら側を指します。

右側のものは電界効果トランジスタ(FET: Field-^{エフ・イー・ティー}Effect Transistor)

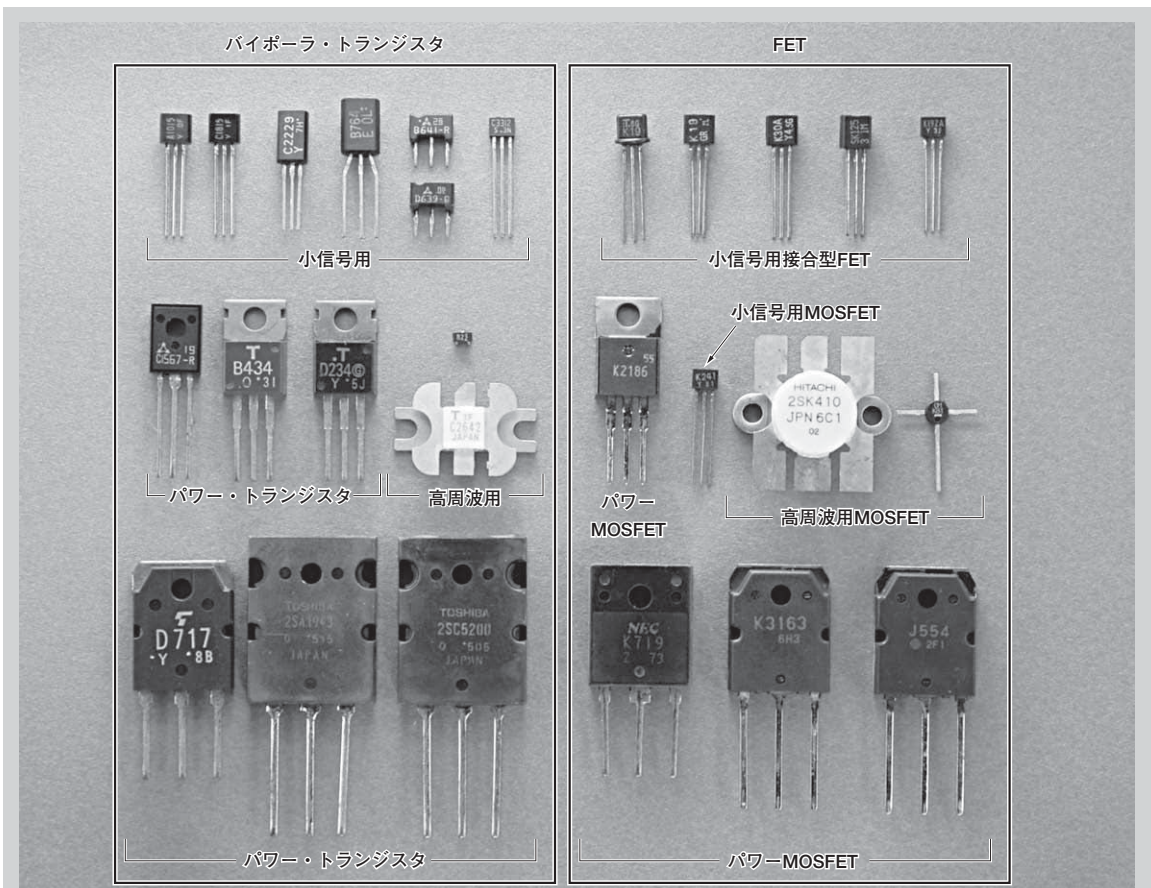


写真1-1 さまざまなトランジスタ

トランジスタは基本的に3本足のデバイスで、小信号用と電力用トランジスタがある。小信号用はサイズが小さく、電力用のものはサイズが大きい。高周波用トランジスタは特別な形をしている。これは実装方法を考慮していることによる。

第3章

トランジスタの特性とバイアス条件がかき
増幅動作のしくみを
理解しよう

本章では、トランジスタの静特性(直流特性)について説明するとともに、実際に測定を行います。

さらに、最もたいせつなバイアスの考え方について述べ、初歩的な考えに基づく増幅回路を実際に設計して動作させます。

3-1
トランジスタの I_C - I_B 特性

第1章で、トランジスタは、onとoffの中間の状態があることを述べました。それでは具体的にトランジスタは、どのような特性を持っているのでしょうか。図3-1の回路により、 I_C - I_B 特性を測定しましょう。

● 電流源と電圧源

▶ 電流源

図3-1に含まれている直流電流源 I_B は、図3-2のように、相手がどのような状況であっても定められた電流を流すものです。

$I = 1 \text{ mA}$ 、 $R_L = 1 \text{ k}\Omega$ の場合、抵抗の両端の電圧を V_{out} とすると、 $V_{out} = 1 \text{ V}$ となります。 R_L を $10 \text{ k}\Omega$ とすると、 $V_{out} = 10 \text{ V}$ となります。 $R_L = 0$ とすると、 $V_{out} = 0$ となりますが、このような状況においても、電流源からは 1 mA の電流が流れます。

今度は R_L を取り去ってしまうと、 R_L は無限大になってしまうわけですが、電流源は何も存在しないところに 1 mA の電流を流そうとします。このとき、電流

源の両端の電圧は無限大になってしまいます。従って、相手の状況によっては、非常に高電圧になることがあります。実際に、電流源の両端を何もつなげなければ、理論的には無限大の電圧となります。

ただし、現実の部品で実現した電流源は、内部の電源電圧がありますので、ある程度の電圧で止まるようになっていきます。

ある程度回路が分かるようになると、どのように電流源を実現するのが気になって、理解が先に進まない、という方も多くいます。コラム2-1(p.41)の電圧電流発生器があれば、容易に定電流源を利用できますが、個人で用意することが難しいといえます。

気になる方のために、3-7節でOPアンプを利用した電流源を詳しく説明します。この回路は、出力電圧が入力電圧に比例します。従って、この回路は電圧制御電流源(VCCS)ということになります。直流定電流源が欲しい場合は、入力に定電圧を加えます。

▶ 電圧源

電圧源は身近にある電池などから想像が付き、容易にイメージが分かります。電圧源は、相手がどのような状況であっても、定められた電圧をかけます。

従って、相手の状況によっては、非常に大きな電流が流れることがあります。ただし、実際の電圧源は、先ほどの電流源と同じように、ある一定の電流で止まるようになっています。

● I_C は I_B に比例する

図3-3に、よく用いられる I_C - I_B 特性を測定するための回路を示します。 V_{CE} を 5 V に固定し、 V_{BB} を 0 V から少しずつ上げていき、そのときの I_B と I_C を記録します。この方法は、学生実験でよく用いられている方法です。

I_B を横軸、 I_C を縦軸にとると、図3-4の特性が得られます。これは、写真2-A(p.41)に示した電圧電流

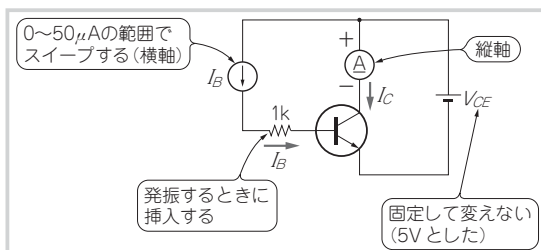


図3-1 I_C - I_B 特性を測定する回路

静特性を測定し、特性が不自然な形で急激に変化している場合は発振していることが多い。このようなときは、ベースに $1 \text{ k}\Omega$ 程度の抵抗器を接続すると発振が止まる。本書の実験においても発振がみられたので $1 \text{ k}\Omega$ の抵抗器を挿入した。

第5章

固定バイアス/電圧帰還バイアス/電流帰還バイアス回路の安定性の解析と実験
 実用的なバイアス回路を理解しよう

バイアス回路には、固定バイアス、電圧帰還バイアス、電流帰還バイアスの三つがあります。最も安定性が優れた回路は、最後の電流帰還バイアス回路です。

バイアス回路の実用性は、温度や製造ばらつきによって生じるデバイスのパラメータ変動に対する安定性を数学の知識を使って調べることによって確かめることができます。

理論と実験により、これらを確認します。さらに、バイアス設計法についても説明します。

5-1
 バイアス回路の安定性

● 製造ばらつきや温度によって変動する V_{BE} と h_{FE}

バイアス点はコレクタ電流 I_C で決まります。従ってバイアスの安定性を調べるには、パラメータが変動したとき I_C がどのくらい変動するか調べればよい、ということになります。

製造ばらつきや温度によって変動するトランジスタのパラメータとして V_{BE} と h_{FE} があります。

V_{BE} は、温度に対して $-2 \text{ mV/}^\circ\text{C}$ の温度係数(例えば 50°C の温度上昇で V_{BE} が最初 0.6 V なら、 0.1 V 下がって 0.5 V になる性質)を持っています。

h_{FE} は、2SC1815 の場合、第3章の表3-1(p.45)で示したように、同一ランクで最大と最小が2倍程度となるばらつきがあり、さらに $25 \sim 100^\circ\text{C}$ で $50 \sim 100\%$ 程度増加すると言われています [参考文献(13)]。従って、かなり大幅な変動があると考えておくべきです。

● 安定性を示す指標「安定指数」

変動するパラメータがいくつかある場合、影響を調べたいもののうち、一つだけを動かしてほかのものは固定して考える手段が有効です。

安定性を示す指標として、次式で表される安定指数があります注5-1。

$$S_{V_{BE}} = \frac{\partial I_C}{\partial V_{BE}} \dots\dots\dots (5-1)$$

注5-1：コレクタ遮断電流 I_{CO} (第3章参照) に対する安定性も紹介している教科書が多いが、小信号用シリコン・トランジスタの I_{CO} は nA オーダと常に小さく、安定性への影響が小さいため省略した。

$$S_{h_{FE}} = \frac{\partial I_C}{\partial h_{FE}} \dots\dots\dots (5-2)$$

上式は偏微分です。偏微分と言うと難しいですが、ただ I_C を V_{BE} や h_{FE} で微分するだけでOKです。

V_{BE} と h_{FE} が変化したとして、その変動量をそれぞれ ΔV_{BE} と Δh_{FE} で表すと、 I_C の総合の変動量 ΔI_C は、次のようになります。

$$\Delta I_C \approx S_{V_{BE}} \Delta V_{BE} + S_{h_{FE}} \Delta h_{FE} \dots\dots\dots (5-3)$$

上式の近似 \approx は、例えば ΔV_{BE} が小さいと仮定すれば、図5-1のように、微分で近似することができることを意味しています。

● ΔV_{BE} や Δh_{FE} による I_C の変動率

上式の形は若干使いにくいので、 V_{BE} や h_{FE} の変化、つまり ΔV_{BE} や Δh_{FE} による I_C の変化率を求めましょう。 ΔV_{BE} に対しては、次のようになります。

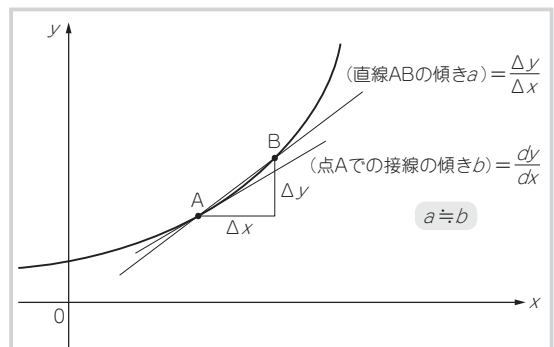


図5-1 微分による近似

本来は、例えば V_{BE} や h_{FE} が 1% 変動したとき、 I_C が何%変動するかを知りたいわけであるが、そのような計算は差分となるので計算が煩雑となる。そこで、これらの変動量を無限小に仮定したときの変動、つまり微分を使って計算するようになると計算が容易になる。

第7章

特性図を使った設計手順のABC 接合型FETを理解しよう

本章では、電圧制御型デバイスの一つである接合型FETについて説明します。近年、接合型FETが使われる場面は減っていますが、第12章で述べるOTL回路の入力段などにおいて、現在でもわずかながら需要があります。もう一つのFETとして、現在広く用いられているMOSFETがあります(第8章で説明)。MOSFETには、よく使われるエンハンスメント型と、最近あまり使われなくなったデプリーション型のものがあります。後者の静特性は、接合型FETのそれに極めて似ており、それらの回路設計方法も同じものとなります。また、接合型FETの直流および小信号等価回路は、エンハンスメント型、デプリーション型を問わず、MOSFETのそれと同一なので、本章で述べる考え方は十分に参考になるはずです。

本章は、第1章～第6章で述べたバイポーラ・トランジスタの説明を接合型FET向けに集約した内容になっています。ポイントは、①静特性やそれを利用したバイアス回路の設計法、②直流および小信号等価回路、③ソース接地・ドレイン接地・ゲート接地回路、④それらの周波数特性の比較です。将来新しいデバイスを使うときも、これら四つのポイントを押さえることで、デバイスのかんりのことを理解できるといえます。接合型FETやMOSFETを使った回路の設計は、バイポーラ・トランジスタと異なり、特性図を使った設計が主なものになります。このような方法を図式解法と呼びます。

Field-Effect Transistor)の構造を示します。接合型トランジスタは、^{ソースドレインゲート}S、D、Gの三つの端子を持っており、それぞれ、バイポーラ・トランジスタのE、C、Bに相当します。

また、ここに示していませんが、2SJ、3SJ^{注7-1}で始まるpチャネルFETがあります。これらは、電流と電圧の向きが反対になるだけです。

▶ FETは電圧制御デバイス

接合型FETは、ゲートとソース、ドレインがダイオードのようになっていますが、ここは逆方向バイアスになるように使います。このように使えば、ゲートにはダイオードの飽和電流に相当するわずかな電流(数nA程度)しか流れません。

ドレイン電流がゲート-ソース間電圧で制御されるのですが、ゲートに電流が流れないため、FETは電圧制御デバイスであると言えます。

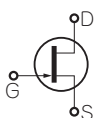
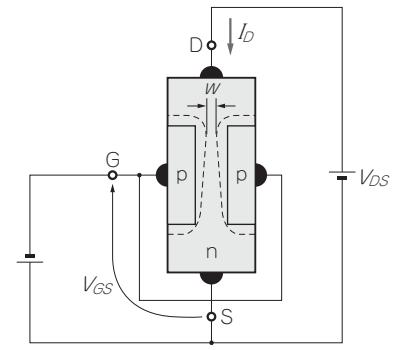
なお、バイポーラ・トランジスタは、ベースに流れ

7-1

接合型FETの構造と特徴

● 接合型FETの構造

表7-1に、接合型FET(電界効果トランジスタ：

種別	回路記号	構造とバイアス方法
表7-1 接合型FETの構造とバイアス方法 S、D、Gの三つの端子をもつ。接合型FETはゲート-ソースのpn接合が逆バイアスになるように使うので、その電流はnAオーダーとなる。つまり、ゲート端子の電流は流れないと考えてよい。		

第9章

パワー・アンプへのアプローチ A級電力増幅回路を理解しよう

これまでに述べた増幅回路は、電圧の増幅を目的としているので、スピーカなどの重い負荷に電力を供給するのは電力効率の点から、たいへん不利なものとなります。

そこで本章では、A級電力増幅回路を説明します。オーディオ用途においては、良好な周波数特性をもつトランスが入手困難であるということから、あまり使われることのない回路ではありますが、高周波の分野では、今もなおよく使われる回路形式の一つです。また、回路構造が簡単で理解しやすいという特徴を持っています。

負荷線や特性図を使ったバイアス設計、トランジスタの損失への配慮、放熱、電力効率など、トランジスタ回路を構成する上で必要不可欠な要素が多く含まれています。

9-1 A級電力増幅回路

● 動作原理

図9-1にA級電力増幅回路を示します。第10章で述べるプッシュプル電力増幅回路との違いを強調する場合、A級シングル電力増幅回路と呼ばれることがあります。エミッタ接地増幅回路が原形になっていますが、これまでと異なるところは、トランスがコレクタ側に入っている部分です。 R_B はバイアス供給用の抵抗器です。信号は、灰色で示されているように結合コンデンサ C を通してベース端子から供給します。簡単のため、固定バイアス回路としていますが、実現に際しては直流バイアスの安定化の観点から、電流帰還バイアスなどとするようになります。

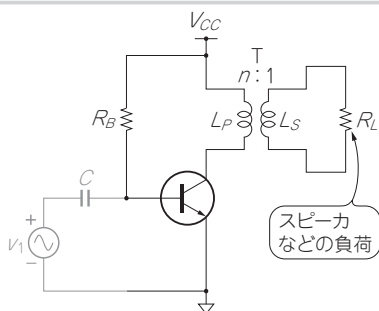


図9-1 A級電力増幅回路

スピーカなどの重い負荷を駆動するのに適している。基本はエミッタ接地増幅回路であるが、負荷の取り付け方が今までと異なる。抵抗器 R_B はバイアス供給用の抵抗器である。信号を入力する場合、結合コンデンサ C を介してベース端子に inputs。

コラム9-1のように、抵抗器 R_L と巻数比 $n:1$ のトランス T からなる回路は、一次側から見ると n^2R_L の抵抗器とインダクタ L_P の並列接続になります。その結果、図9-2のように表すことができます。

正弦波などのような上下対称の信号が入力されたとき、 L_P が十分に大きいとすると、このインダクタは無信号時の直流電流 I_{CQ} を流す直流電流源として働きます。そもそもインダクタは、流れる電流が急激に変化しないように働くという性質があり、 L_P が大きいほどその性質は顕著になります。言い換えれば、入力信号によってトランジスタが騒ぎ出しても、 L_P は入力信号と無関係に、無信号時の I_{CQ} を静かに流し続ける直流電流源として働くようになります。

トランスによるインピーダンス変換機能が必要ない場合、 $n=1$ となり、出力トランスは必要なくなりますが、その代わりにコイルを用います。この用途に用いられるコイルを、チョーク・コイルと呼びます。このような構成は、比較的小電力の高周波電力増幅回路に見られます。チョーク・コイルは、利用する周波数において十分に高いインピーダンスを持つものを選びます。もちろん、音声信号の周波数帯域で利用可能な数Hの大きなインダクタンスを持つチョーク・コイルがあれば、音声帯域に応用できます。

図9-2から、次式が成り立ちます。

$$\begin{aligned} V_{CE} &= V_{CC} - n^2R_L(I_C - I_{CQ}) \\ &= V_{CC} + n^2R_L I_{CQ} - n^2R_L I_C \dots\dots\dots (9-1) \end{aligned}$$

I_{CQ} は定数なので、上式から負荷線の傾きが $1/(-n^2R_L)$ となることが分かります。

第10章

電力効率を改善

プッシュプル電力増幅回路を理解しよう

A級電力増幅回路は、非常にシンプルですが、電力効率が悪いという問題を持っています。この問題を解決するものとして、プッシュプル電力増幅回路があります。ここでは、その動作原理と設計法を説明します。前章のシングルA級電力増幅回路と同様、トランス結合のプッシュプル電力増幅回路は、特に音声帯域においては、ほとんど用いられることはありませんが、トランジスタを一つ増やすだけで、出力電力を大きくすることができますという特徴があります。高周波の分野では、大出力の高周波用リニア・アンプとして現在でも広く用いられています。

10-1 トランス結合A級プッシュプル電力増幅回路

● プッシュプル電力増幅回路の働き

前章で述べたA級電力増幅回路を二つ用意し、図10-1のように背中合わせに接続してみます。二つのトランジスタの特性が揃っているとし、トランス T_1 を使って入力信号として、互いに逆相の信号を加えると、二つの回路は互いに電流を増減しあうように働きます。このような動作から、この回路をプッシュプル電力増幅回路と呼び、出力トランスを用いたものを、トランス結合A級プッシュプル電力増幅回路と呼びます。

互いに逆相となる信号の生成には、さまざまな方法

がありますが、図のようなトランスを使う方法が最も簡単です。

● 負荷抵抗は $n^2 R_L / 2$

設計方法は、第9章のA級電力増幅回路と同じです。出力トランスを二つのトランジスタで共用することになるので、トランジスタから見た負荷抵抗は、「巻数が半分、つまり巻数比が $n/2 : 1$ になったわけだから、トランジスタから見た負荷抵抗は $n^2 R_L / 4$ である」というように単純に考えてはならないことが分かります。それでは、どのようになるのでしょうか。

図10-2に出力トランスを示します。トランジスタは電圧源として表現しています。簡単のため、出力トランスを理想トランスとします。全体の巻数比を $n : 1$ とすると、図のように中間タップにより、巻数比が

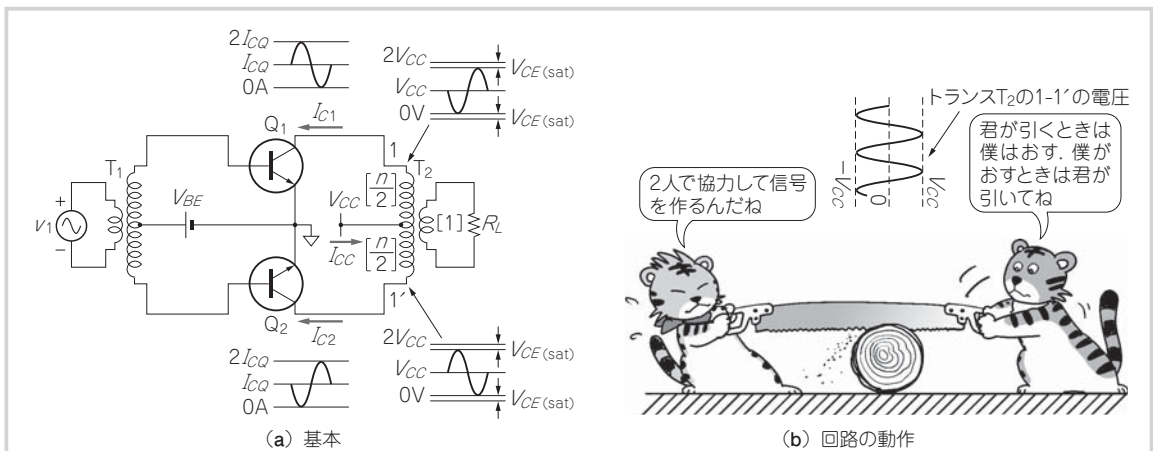


図10-1 A級プッシュプル電力増幅回路

A級電力増幅回路を二つ用意し、出力トランスに接続する。それぞれの増幅器に逆相の信号を入力すると、A級プッシュプル電力増幅回路となる。

第11章

増幅器の広帯域化のかぎ 帰還増幅回路を理解しよう

トランジスタ回路において広く用いられている帰還増幅器について説明します。増幅器の出力を入力に戻すことを、帰還をかけると言います。特に利得が下がる方向に帰還をかけた増幅器を負帰還増幅器と呼び、トランジスタの特性変動による利得の変動が抑えられると共に、周波数特性や、ひずみ率を改善することができます。帰還は、現在においても広く用いられている価値の高い技術です。トランスを使った電力増幅器に負帰還をかけ、周波数特性やひずみ率がどの程度改善されるかを調べます。

11-1 帰還

● 帰還とは

帰還とは、増幅器の出力の一部を入力に戻すことです。このようにした増幅器を、帰還増幅器と呼びます。その原理を図11-1に示します。 μ は増幅器を表しています。 β は帰還率と呼ばれ、普通これを構成する回路は、抵抗器やコンデンサなどからなる受動回路です。

図11-1から、次式が得られます。

$$\left. \begin{aligned} v_i &= v_{in} - \beta v_{out} \\ v_{out} &= \mu v_i \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (11-1)$$

上式から v_i を消去し、 v_{out} について解くと、次のようになります。

$$v_{out} = \frac{\mu}{1 + \mu\beta} v_{in} \dots\dots\dots (11-2)$$

上式において、 μ を開ループ利得、 $\mu/(1 + \mu\beta)$ を開ループ利得、 $1 + \mu\beta$ を帰還量と呼びます。OPアン

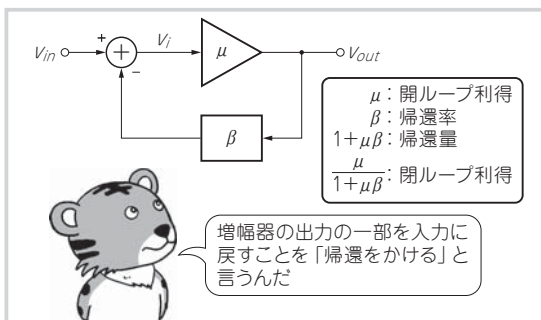


図11-1 帰還増幅回路

出力の一部を入力に戻すようにしたものを、帰還増幅回路と呼ぶ。トランジスタの特性変動に対して利得があまり変わらないようにしたり、周波数帯域を広くすることができる。

プのように、 μ が十分に大きい場合、

$$v_{out} = \frac{1}{\beta} v_{in} \dots\dots\dots (11-3)$$

となります。上式は、回路全体の特性が、 μ によらず β だけで決まることを意味しています。 μ はトランジスタを使った増幅器なので、特に温度依存性や製造ばらつきの影響を受けて変動します。これに対し、受動部品で構成された β は、変動がずっと小さいので、回路全体の利得変動は小さなものになります。

OPアンプのように、 μ が十分に大きくない場合でも、帰還をかけることによって、回路全体としての利得変動をある程度低く抑えることができます。

● 負帰還と正帰還

ここで、式(11-2)について考えます。 $1 < |1 + \mu\beta|$ のとき、開ループ利得に対して回路全体の利得が低くなります。このようにすることを、負帰還をかけると言います。多くの場合、負帰還が用いられます。

反対に、 $|1 + \mu\beta| < 1$ とすると、 μ よりも利得が高くなります。このようにすることを、正帰還をかけると言います。

● 増幅器における正帰還の応用例

増幅器としての用途における正帰還の実用例は、ほとんどありません。これまでの積極的な実用例として、写真11-1に示す再生式ラジオがあります。このラジオは、高周波増幅回路に正帰還を施してあり、選局ダイヤルの他に、帰還量を調整するための再生調整つまみがついています。このつまみを発振前になるとすると、最も高い感度で放送を受信することができます。もちろん、このつまみで音量も変化します。

再生調整つまみをうまく調整しないと、発振してし

第12章

本格的なパワー・アンプ OTL 電力増幅回路を理解しよう

これまでトランスを用いた電力増幅回路を扱ってきました。これらは、現在では音声帯域に用いられることは、ほとんどありませんが、高周波増幅回路においてよく用いられる回路方式です。本章では、OTL回路について説明します。この回路は、音声帯域などの比較的低い周波数領域でよく利用されます。トランスを用いないため多量の帰還をかけることができ、低域から高域にかけて、たいへん良好な特性を持ちます。このような理由からこの回路方式は、現在のオーディオ・アンプに多く用いられています。

12-1 バイポーラ・トランジスタによる OTL 電力増幅回路

● OTL回路とは

OTLは、Output Transformer-Lessの略で、出力トランスを廃した回路を指します。図12-1にOTL回路を示します。この回路もプッシュプル電力増幅回路の仲間です。 V_{BE} は Q_1 、 Q_2 に直流バイアスを供給するための電源です。 Q_1 、 Q_2 の特性が揃っているとします。このようなトランジスタを、コンプリメンタリ・トランジスタといいます。パーツ店では、選別を行い、コンプリメンタリ・ペアとして販売している場合があります。

● B級動作の場合

B級動作の場合、半周期ごとにトランジスタが動作します。このとき、図12-2のように、トランジスタは、エミッタ・フォロワとして働きます。負荷抵抗に、 Q_1 、 Q_2 の出力が合成されて伝わるので、全体として線形

な増幅器として働きます。このようにすると、出力トランスが不要となるので、装置が軽量化されます。

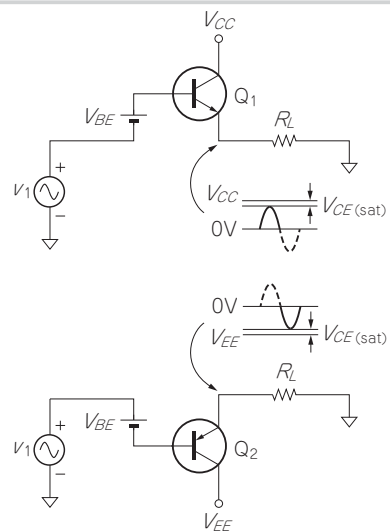


図12-2 B級動作における各トランジスタの働き
トランジスタはエミッタ・フォロワとして動作する。

図12-1 B級OTL電力増幅回路

エミッタ・フォロワを二つ使い、特性の揃ったトランジスタを使うと、OTL電力増幅回路を構成することができる。

見本

ISBN978-4-7898-4598-4

C3055 ¥2700E

CQ出版社

定価：本体2,700円（税別）



9784789845984



1923055027008

このPDFは、CQ出版社発売の「合点!トランジスタ回路超入門」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 <http://shop.cqpub.co.jp/hanbai/books/45/45981.htm>

購入方法 <http://www.cqpub.co.jp/order.htm>

ト

ランジスタは、電子機器に欠かせない半導体部品の一つです。本書はアナログ信号の増幅回路を「設計法」「シミュレーション」「実験による測定」という三

つの視点からとらえ、それらを通じて、トランジスタ回路設計の基礎のより深い理解を目指すものです。半導体の基礎と性質からバイポーラ・トランジスタおよびFETの使い方と応用回路までを詳細に論じています。LEDのドライブくらいにしかトランジスタを使ったことがない方、一度学校で電子回路を勉強したけれども、結局よく分からなかった方などを対象に、市販の電子回路の教科書と少し違った視点で、これまでにない実験を交えながら説明しています。トランジスタ回路を基礎からしっかり学ぶことのできるように構成されています。全体は次の4部分から構成されています。「第1部 トランジスタの基礎」「第2部 バイポーラ・トランジスタによる増幅器」「第3部 FETによる増幅器」「第4部 電力増幅と帰還」。これらは以下を含む内容によって説明されます。

「トランジスタの種類と基本動作」「トランジスタのしくみ」「増幅動作のしくみ」「トランジスタの特性とバイアス条件」「固定バイアス／電圧帰還バイアス／電流帰還バイアス回路の安定性の解析と実験」「エミッタ接地、コレクタ接地、ベース接地を使い分ける」「特性図を使った設計手順」「MOSFETの構造と特徴」「A級電力増幅回路」「プッシュプル電力増幅回路」「帰還増幅回路」「OTL電力増幅回路」。