

第 1 章

プロローグ
OPアンプ活用法をマスターするために

1-1 基本は増幅回路

電子回路は、デ・フォレスト(Lee de Forest)によるオーディオン(3極管)の発明(1906年)を先がけとします。この増幅機能をもつ能動素子の登場以来、現在に至る電子回路の発展が始まりました。

種々の電子回路をみると、ほとんどすべてといってよいほど「増幅する技術」が基本となっています。アナログ回路だけでなくデジタル回路も同様で、デジタルICの内部等価回路を見ると、コンプリメンタリ・ソース接地増幅回路が基本単位になっています。

デジタルIC内の増幅回路は、“1”と“0”が判別できるように増幅度が設定されており、この増幅回路を組み合わせてAND、ORなどの基本論理回路を得ています。デジタルICは、この基本論理回路を組み合わせて、複雑な論理演算機能を実現しているわけです。

デジタル回路の場合は、“1”と“0”が判別できる程度の、おおまかな精度の増幅度に設定すればよいのですが、アナログ回路の場合は、精度の高い増幅度が要求されます。取り扱う特性パラメータも多く、抵抗、コンデンサなどの部品も精度の高いものを使わなければなりません。

このように、アナログ回路を最適に設計するためには、ある程度の経験が必要です。本書では、まず増幅回路の設計法を実験を通して学び、その後で増幅機能を利用した種々の機能ブロックについて実験していきます。

1-2 トランジスタ回路が難しい理由

直流動作と交流動作を分けて考えなければならない

アナログ回路の代表的な例として、図1-1に示す簡単なトランジスタ1個の交流増幅回路を見てみましょう。

この回路の動作を理解するには、まず動作点を決定する直流動作を考えます。動作点は、直流バイ

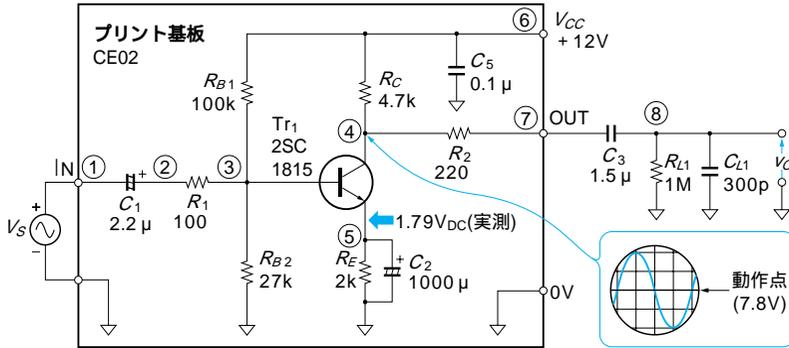


図1-1(11) トランジスタによる1石反転増幅器

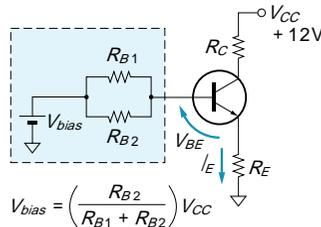


図1-2(11) 図1-1の回路の直流動作回路(無信号時の回路)

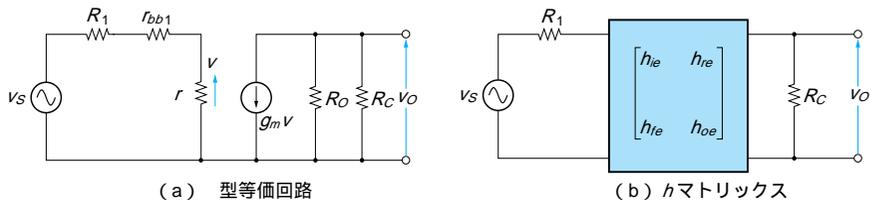


図1-3(11) 図1-1の回路の交流動作等価回路

アス(偏倚電圧)とも呼ばれ、図1-1に示すコレクタの信号波形の midpoint (平均値) の直流電圧であり、信号がないときのコレクタ電圧に等しくなります。

動作点を決定するときは、図1-2に示す直流動作回路を考えて、最も大きな交流出力電圧が得られるような、直流電位に設定します。交流の増幅作用を検証するときは、図1-3に示すような等価回路を使うことがあります。

このように、トランジスタによる増幅回路は、動作させるだけでも簡単ではありません。

パラメータが多く、ばらつきが多い

図1-4に示すのは、汎用のトランジスタ2SC1815のカタログに掲載されている、*h*パラメータと呼ばれる特性です。これを見ると、温度一定(25)の条件で測定されているにもかかわらず、ばらつきや変動がとても大きいことにびっくりします。

トランジスタは、パラメータが多すぎるばかりでなく、ばらつきや変動が大きすぎて、設計計算の

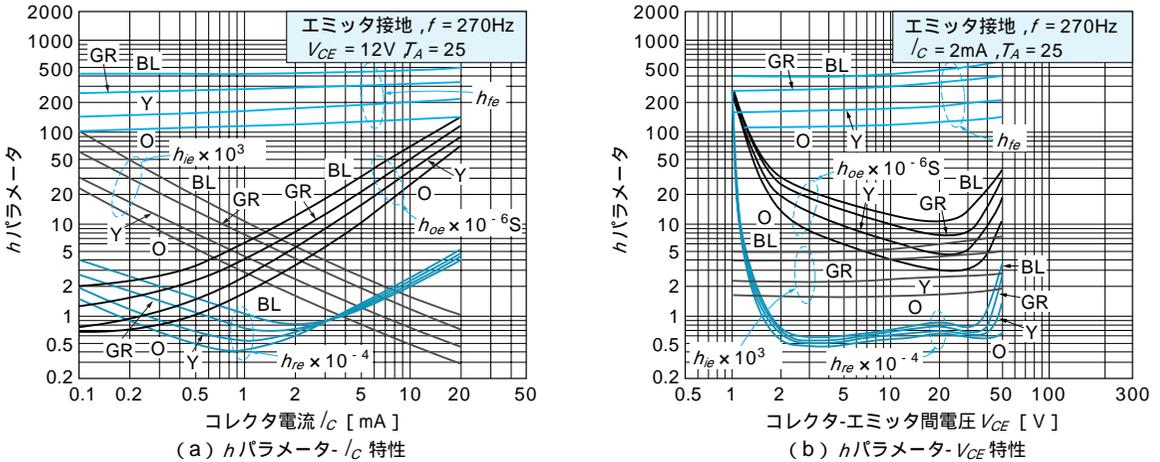


図1-4(29) 汎用トランジスタ2SC1815のhパラメータ

◀写真1-1
はじめてのトランジスタ回路設計
[CQ出版社]

ときどんな値を採用すべきかがわかりにくいのです。hパラメータを使用した計算も面倒です。

このように、経験がないとトランジスタ回路の設計はできません。

トランジスタ回路の理解は大切

それでも、アナログ回路設計をマスターするために、トランジスタ回路の知識を身につけることは必須です。

現在は、黒田 徹氏の「はじめてのトランジスタ回路設計」(写真1-1)などを読みながら、実験やシミュレーションを行えば、トランジスタ回路の設計技術を修得できるでしょう。しかし、読者のなかにはやさしそうな題名に惹かれて買ってはみたものの、難しくてよくわからなかったという人も多いのではないのでしょうか。

本書は、このような読者を対象にしており、トランジスタ回路ではなく、OPアンプ回路から解説をスタートします。ここでアナログ回路設計の基礎を学びながら、折に触れて同書を読めば、徐々に理解が深まり、トランジスタ回路設計能力も修得できるようになるでしょう。ただし、「コレクタ電流は

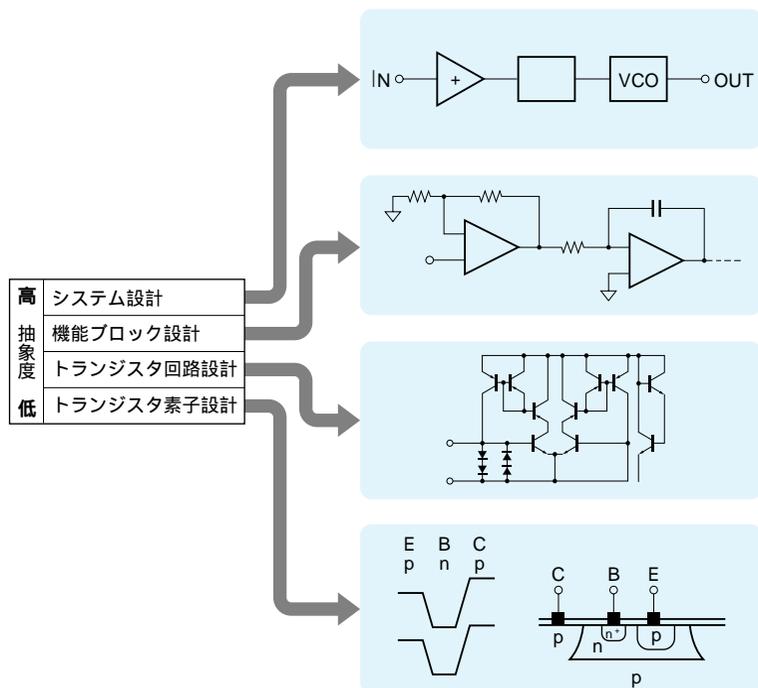


図1-5 回路設計の抽象化レベル

ベース電流の h_{FE} 倍である」,「 V_{BE} はほぼ0.6Vである」といったような、トランジスタの基本動作は理解しているものとします。

1-3 OPアンプ回路からはじめよう

回路設計を抽象化のレベルで分けると、図1-5のように四つになります。読者のほとんどは、半導体工学とトランジスタ回路は学んでいると思いますが、前述のように難しく、ほとんど身に付いていないのではないのでしょうか。これらは、シュレーディンガーの波動方程式から始まり、フェルミ準位が出てきて、「このトランジスタがONすると、次にこちらのトランジスタがOFFして...」というような初心者のレベルを遙かに越えています。また、学んで理解しても、実際の回路設計にすぐには役に立ちません。

システム・レベルの設計は、概念の設計で、高度な抽象化が必要です。ユーザの要求を電気用語に翻訳して、要求仕様にとめることから始めます。具体的な設計内容は対象ごとに異なりますから、これから学ぶ必要があります。

OPアンプ回路の設計は図1-5の「機能ブロック設計」に相当し、概念から具体的な設計に移行する最初の部分です。概念を機能ブロックに分割し、要求機能を実現するために、OPアンプなどの機能素子を用いて設計します。このレベルは適度に抽象化されていて、使用素子は半導体物性と切り離された

理想機能素子として考えます。初心者でも、理想機能素子を用いて機能を実現するための設計は可能です。高性能を求めなければ、ある程度実用的な設計が可能です。

真に実用的なアナログ電子回路設計をするには、半導体物性からシステム設計まで、すべてを理解して行う必要がありますが、このことに気がつくには実地の設計経験が必要です。

まず、設計しやすいOPアンプ回路の設計からはじめて経験を積み、必要に応じて半導体物性とトランジスタ回路を復習していけば、学生時代とは切実さが違ってモチベーションも高くなっていますから、必ず習得できます。それに合わせて、システム設計の経験を積んでいけば、実用的なアナログ回路設計を習得することができます。

OPアンプ回路設計からはじめるのが、アナログ電子回路設計習得の早道だと言えます。

●●● 単位の接頭語とギリシャ文字 ●●●

コラム

電子回路設計では、さまざまな単位で幅広い数値を扱います。表1-Aに、単位の接頭語として使われる記号とその読みを示します。

ギリシャ文字は や でなじみがありますが、そのほかの文字も数式のなかなどで変数を表す場合などに多用されます。表1-Bに、ギリシャ文字の大文字/小文字の表記とその読みを示します。

表1-A 単位

乗数	読み方	記号	乗数	読み方	記号
10^{24}	ヨタ	Y	10^{-1}	デシ	d
10^{21}	ゼタ	Z	10^{-2}	センチ	c
10^{18}	エクサ	E	10^{-3}	ミリ	m
10^{15}	ペタ	P	10^{-6}	マイクロ	μ
10^{12}	テラ	T	10^{-9}	ナノ	n
10^9	ギガ	G	10^{-12}	ピコ	p
10^6	メガ	M	10^{-15}	フェムト	f
10^3	キロ	k	10^{-18}	アト	a
10^2	ヘクト	h	10^{-21}	zepto	z
10^1	デカ	da	10^{-24}	ヨクト	y

表1-B ギリシャ文字

大文字	小文字	読み方	大文字	小文字	読み方
		アルファ			ニュー
		ベータ			クサイ
		ガンマ			オミクロン
		デルタ			パイ
		イプシロン			ロー
		ジータ			シグマ
		イータ			タウ
		シータ			ウプシロン
		イオタ			ファイ
		カッパ			カイ
		ラムダ			プサイ
	μ	ミュー			オメガ