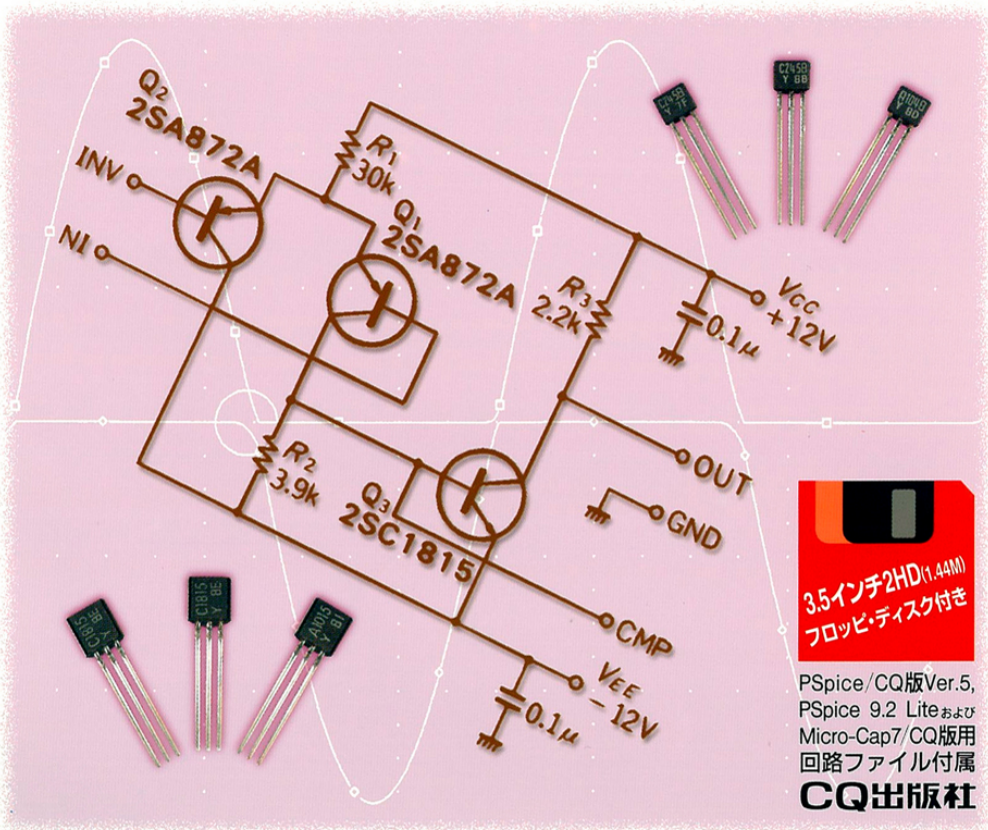


はじめての トランジスタ回路 設計

黒田 徹 著

回路を設計製作しSPICEで検証!



3.5インチ2HD(1.44M)
フロッピーディスク付き

PSpice/CQ版Ver.5,
PSpice 9.2 Liteおよび
Micro-Cap7/CQ版用
回路ファイル付属
CQ出版社

まえがき

なにかと暗い話の多い昨今、唯一明るい話題はパソコンの価格低下です。1000ドル・パソコンも東の間、今や500ドル・パソコンも射程圏内です。バラ売りのCPU、メモリ、マザー・ボードなどを集めて組み立てる自作パソコンならば、メーカ製品よりさらにコスト・パフォーマンスが向上します。ただ残念なのは、パソコンのボード類にかぎらず、最近の電子機器は中身の見えないブラック・ボックスになったことです。ボードを眺めても、わかるのはLSIの型名だけ。もちろん回路図はありません。

ICの誕生以前は家庭用のテレビにまで回路図が付属していました。当時はボード上の部品と回路図上の部品が1対1に対応していたので、プリント基板を眺めるたびに回路動作をもっと深く知りたいと意欲が沸いたものです。今、ベテランと呼ばれる年配の電子回路エンジニアは、少年時代のこうした体験をバネに回路設計のプロになれた幸せな人達です。

しかし今日、回路設計の多くは、出来合いのLSIを適当に組み合わせる無味乾燥な作業のように感じられます。また、趣味の電子工作を楽しむアマチュアや駆け出しのハード・エンジニア向けの参考書も乏しいため、現実の複雑な回路が教科書の基本回路からどのように発展してきたのか、その道筋を見渡すことも困難です。若い人の目には「回路設計は魅力がない」と映るかもしれません。これらの原因は、ICの登場により回路規模の制約がとりのぞかれ、システムがとめどなく巨大化したためです。しかし私は、現代の大規模回路の設計が個別トランジスタ時代の設計と根本的に違うとは思いません。会社組織が部署に分割され、各部が課に細分されるように、優れた電子回路は明確な階層構造をもっています。大企業といえども各課の人員は数人から数十人程度に収まるように、アナログLSIの内部回路の末端ブロックも数石から数十石程度のトランジスタで構成されます。そして、末端ブロックの回路設計に関しては、昔も今も基本的な相違はなく、末端ブロックの回路規模は、おおむねOPアンプICの内部回路程度です。

したがってOPアンプを設計できるぐらいの技術力を習得すれば、どんな複雑な回路であれ、向かうところ敵なしです。では、どんな方法で技術力をつければよいのでしょうか？ 実は技術力を養いながら回路設計の楽しさも味わえる、という一石二鳥の方法があります。その方法とは、個別トランジスタを使った小規模回路を実際に製作することです。

本書は、このような希望を込めて書いたトランジスタ技術 1996年4月号特集「7石のトランジスタ」に、誌面の都合で掲載できなかった二つの回路と新しく製作した次の6回路

を追加したものです。

- ・バンド・ギャップ型定電圧回路
- ・三角波→正弦波コンバータ
- ・低ひずみ率発振器
- ・フェーズ・シフタ
- ・シリーズ・レギュレータ
- ・チョップ増幅器

追加したぶんも含め、各回路は10石以内の個別トランジスタや個別FETで構成していますが、一部OPアンプや74HCタイプのCMOS ICを使用した回路も含まれています。

とりあげたすべての回路の設計と製作は、次の手順を踏みました。

- (1) 回路動作をSPICEでシミュレーションする
- (2) 実際にプリント基板を作る
- (3) 特性を測定し、動作を確認する

今回追加した内容は、とくに負帰還(ネガティブ・フィードバック)を重点的にとりあげ、その安定性については、くどいほど丁寧に解説しました。

低ひずみ率発振器の実測ひずみ率は0.0001%以下で、十分な実用性を備えています。三角波→正弦波コンバータの製作では、差動増幅器のひずみ率を理論と実験の両面から解析しました。チョップ増幅器では低周波トランスのシミュレーションやFETのスイッチング動作をとりあげました。Appendixには、プリント基板の簡単な作り方も紹介しました。

● 第6版以降の付属フロppy・ディスクについて

本書の回路ファイル(いわゆるネット・リスト)は、PSpice/CQ版(Ver. 5.1相当)での使用を想定していたので、現在のシミュレータではやや使いづらい面があります。そこで、第6版以降の付属フロppy・ディスクには、OrCAD Family Release 9.2 Lite Editionに含まれているPSpice 9.2 Lite用に修正した回路ファイルと、Micro-Cap7/CQ版用に修正した回路ファイルを追加しました。これらの使い方は本書のAppendix-1を参照してください。なお、OrCAD Family Release 9.2 Lite Editionは、棚木義則 編著「電子回路シミュレータPSpice入門編」[CQ出版(株)発行]の付属CD-ROMに収録されています。

また、最近ではネット・リストよりも回路図ファイルからのシミュレーションが一般的です。掲載回路の回路図ファイルはOrCAD Family Release 9.2LEなどで容易に作成できるでしょう。回路図ファイルの作成に役立つシンボル・ライブラリBG1.olbをモデル・ライブラリBG1.libとともに付属ディスクに収めましたので、どうぞご利用ください。

ご愛読者諸兄ならびに企画・編集にご尽力を賜った小串伸一氏、版を重ねていただいたCQ出版(株)に深く感謝いたします。

目次

イントロダクション	9
第1部 トランジスタの基本特性と1石・2石回路	17
第1章 トランジスタの基本特性	17
トランジスタの基本特性	17
PN接合ダイオードの構造と特性	17
トランジスタの種類、構造、特性、動作	22
〈コラム〉トランジスタの型名	24
〈コラム〉指数関数 $\exp(x)$	33
第2章 1石回路の設計と製作	35
もっとも簡単な1石増幅器	35
直流動作解析	36
交流動作解析	38
h パラメータ	44
3種類の接地形式	46
もっとも簡単な1石増幅器の欠点	48
1石反転増幅器 No.1	49
〈コラム〉 V と v	55
1石反転増幅器 No.2	57
交流負荷と直流負荷	64
〈コラム〉 V_{BE} と V_{EB}	66
コレクタ共通回路	67
サレン・キー型ハイパス・フィルタ	75
ツインT型正弦波発振器	79
〈コラム〉 $\log x$ と $\ln x$	83
逆さまトランジスタ	84
アバランシェ・モード弛張発振器	87
第3章 2石回路の設計と製作	89
2石反転増幅器	89
アーリー効果	95
2石非反転増幅器	97
ハイブリッド π 型モデル	104
2石で組むエミッタ・フォロワ	108

第2部	トランジスタの応用回路	113
第4章	3～5石回路の設計と製作	113
	3石で組むOPアンプ	113
	方形波発振器	118
	3石エミッタ・フォロワ	120
	4石広帯域増幅器	124
	電子ボリューム	128
	ブートストラップ付きエミッタ・フォロワ	132
	サレン・キー型ローパス・フィルタ	139
	5石OPアンプ	142
	5石OPアンプによるウィーン・ブリッジ型正弦波発振器	144
	〈コラム〉 デシベル(dB)	148
第5章	6石以上の回路設計と製作	149
	PWM回路	149
	6石エミッタ・フォロワ	152
	7石高速広帯域増幅器	156
	10石大出力電流増幅器	163
	8Wパワー・アンプ	170
	〈コラム〉 用語解説	182
	FET可変抵抗を使った低ひずみ率発振器	184
	〈コラム〉 熱雑音	193
	〈コラム〉 $\tan \delta$	194
	シリーズ・レギュレータ	199
	5石シリーズ・レギュレータ	201
	〈コラム〉 ボーデ?ボード?	226
	〈コラム〉 h_{FE} と h_{fc}	226
	フェーズ・シフタ	227
	〈コラム〉 伝達関数とラプラス変換	232
	三角波→正弦波コンバータ	243
	バンド・ギャップ型定電圧回路	253
	チョップ増幅器	261
	Appendix-1 PSpice 9.2 Lite および Micro-Cap 7/CQ 版による SPICE シミュレーション	274
	Appendix-2 プリント基板の手軽な作り方	280
	索引	285

付属ディスクの使い方は、フロッピー・ディスク中のReadme.txtを参照してください。

〈カバー・表紙デザイン〉アイドマ・スタジオ 〈本文イラスト〉神崎 真理子

◆ 参考・引用*文献 ◆

- (1) David Packard ; “The HP Way”, Harper Collins Publishers, Inc.
- (2) P. Antognetti & G. Massobrio ; Semiconductor Device Modeling with SPICE, pp. 41 ~ 46, McGraw-Hill, Inc., 1988.
- (3)* 前掲書(2)のp.102.
- (4) 株式会社日立製作所 ; 79 Semiconductor Data Book トランジスタ・ダイオード, p.99, 1979.
- (5) 前掲書(2)のp.52
- (6) Early, J.M. ; Effects of Space-charge Layer Widening in Junction Transistors, Proc. IRE, Vol. 40, pp.1401 ~ 1406, Nov., 1952.
- (7)* 米国半導体教育委員会著, 牧本次生訳 ; トランジスタの物理と回路モデル, 初版, p.42, 産業図書, 1969.
- (8) O. A. Horna ; 遅延時間 1ns の高速ボルテージフォロワ, 電子回路設計アイデア集, 1978年, p.18, 日経マグロヒル社.
- (9) Miller, J. M. ; Dependence of the Input Impedance of a Three-electrode Vacuum Tube upon the Load in the Plate Circuit, National Bureau of Standard (U.S.) Res. Papers, Vol.15, no.351, pp.367 ~ 385, 1919.
- (10) P. R. グレイ/R. G. メイヤ共著 ; 超LSIのためのアナログ集積回路設計技術(下), 初版, p.172, 培風館, 1990.
- (11) B. Gilbert ; A Precise Four-Quadrant Multiplier with Subnanosecond Response, IEEE Journal of Solid-State Circuits, Vol. SC-3, pp.365 ~ 373, December 1968.
- (12) 黒田徹 ; 実験トランジスタアンプ設計講座, ラジオ技術, 1989年10月号, p.102, アイエー出版.
- (13) M. E. Van Valkenburg, 柳沢健監訳, アナログフィルタの設計, 初版, pp.407 ~ 417, 秋葉出版, 1986.
- (14) 上掲文献(13)のpp.609 ~ 611, pp.618 ~ 621
- (15) 黒田徹 ; 実験トランジスタアンプ設計講座, ラジオ技術, 1991年10月号, pp.78 ~ 81, アイエー出版.
- (16) P. Antognetti & G. Massobrio ; Semiconductor Device Modeling with SPICE, pp.117 ~ 141, McGraw Hill, Inc., 1988.

- (17) 黒田徹；スイッチングひずみを捕えた，発生メカニズムと対策法を見つける，ラジオ技術，1983年7月号，pp.64～73，ラジオ技術社。
- (18)* 黒田徹；基礎トランジスタアンプ設計法(第2版)，p.235，ラジオ技術社，1990。
- (19)* P.R.グレイ/R.G.メイヤ共著；超LSIのためのアナログ集積回路設計技術(上)，初版，p.276，培風館，1990。
- (20) 前掲書(16)のp.128。
- (21) S.ローゼンスターク著，奥沢熙訳；フィードバック増幅器の理論と解析，現代工学社，初版，1987。
- (22)* 戸室晃一；トランジスタ直流増幅器(産報・電子科学シリーズNo.19)，第3版，pp.69～70，(株)産報，1969。
- (23)* Linear Databook Vol.1，pp.2～396，National Semiconductor Corp.，1987。

イントロダクション

今、なぜ個別トランジスタ回路か

「ええっどうして？」これが、本書の見出しをご覧になった方のお気持ちでしょう。じつは編集部からお話があったとき、私もそう思いました。今どき個別半導体で回路を組む人があるでしょうか。OPアンプがあるのに個別トランジスタを使って、どんなメリットを期待できますしょう？

ところが、詳しくお話を伺うと、次のようにおっしゃるのです。

「最近の若い人は、はんだごてを握り、実際に何か回路を製作するような面倒臭いことは好まないし、そもそも物をつくることに興味をもたないのです」

それは、そうですね。なんといっても世の中の流れは、ハードからソフトに移っていますから。

話は続きます。「年配のエンジニアは、皆さん子供の頃からエレクトロニクス工作が大好きで、当時のビギナ向けのラジオ雑誌(たとえば『初歩のラジオ』とか『ラジオの製作』など)に載っていた回路図や実体配線図を頼りに、いろいろな回路を自作したものですよね」

おっしゃるとおりです。私は団塊の世代で、子供時代は文字どおり何もなかったもので、実家の納屋にころがっていた古い真空管を使い、アンプやラジオを作ったものです。

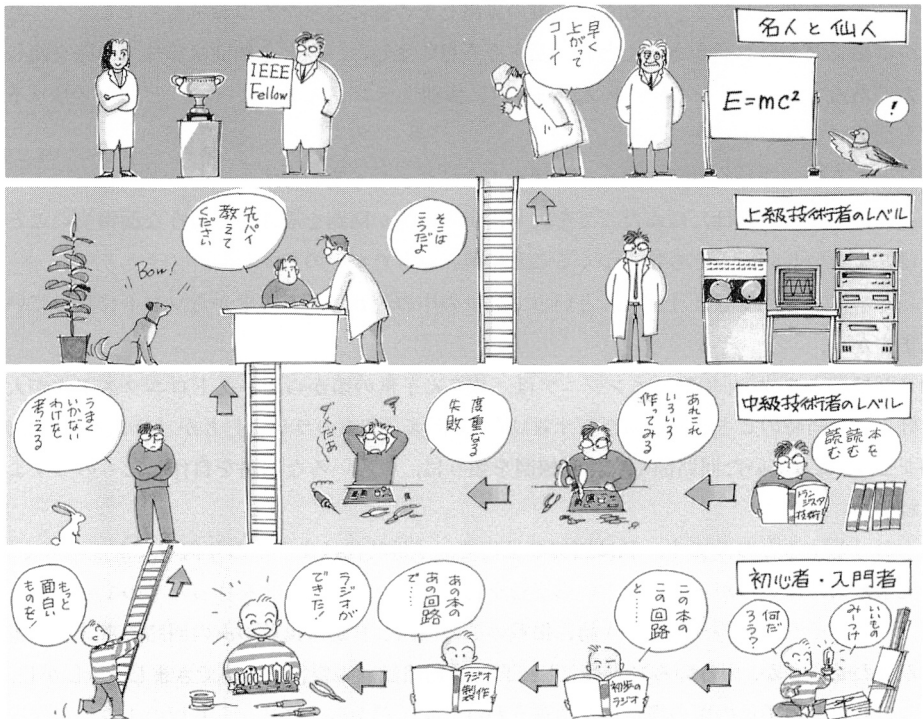
「そうそう。そのうちに、A誌に掲載のこの回路とB誌に掲載のあの回路を半分ずつ組み合わせるとか、いろいろアレンジして自然に回路設計の要領を体得できました。しかし、今の若い人の子供の頃の環境は全然違うわけです。だから、プリント基板の1枚すら作っ

たことのない人が、電子工学を専攻し、会社へ入って来るのです。そこで、そういう新人をアナログ回路設計に配属すると、計算上は問題ないのに、実際にはほとんど満足に動作しないような回路を作ってしまうのです。それで、本人も次第にヤル気を失い、ますますアナログ回路がイヤになるんです」

なるほど、そんな悪循環は早く断ち切らないといけません。

「そこでご相談ですが、アナログ回路未体験の人も含め、なんとなくアナログ回路に興味をもてない若い人に、アナログ回路設計の面白さをわかってもらい、さらに回路設計の要領というか、アナログ回路設計に特有のモノの見方・考え方を伝授していただきたいのです。もちろん、今は個別半導体の時代ではないことは承知しています。しかし、OPアンプを使うにしろ、その内部の回路動作を十分理解していなければ、何百何千もあるOPアンプの中から、どのOPアンプを選択したらよいか、その判断すらできないに違いあり

〈技術レベルと上達のはしご〉



ません。

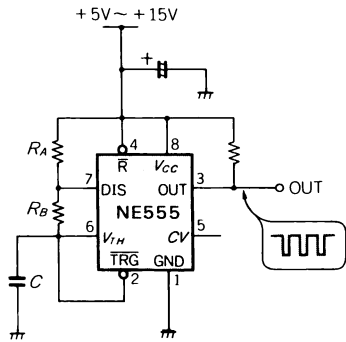
回り道のようにですが、もう一度個別半導体回路に戻り、1石・2石の基本回路から出発し、段階的に石の数を増やし、実用回路に近づけてゆくアプローチをとっていただきたいのです。それに、個別半導体回路を知らない若い人にとっては、わずか数石でこんなこともできるのかと、新鮮に感じられることと思います」

ざっとこういうお話で、それなら私も大賛成で、お引き受けさせていただきますと御返事申し上げた次第です。

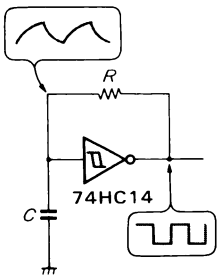
回路設計の楽しさ

回路を設計し、実際に作ることで得られる楽しみは、

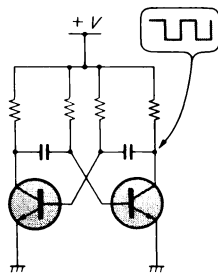
〈図1〉
トランジスタでもICと同じ
機能が実現できる



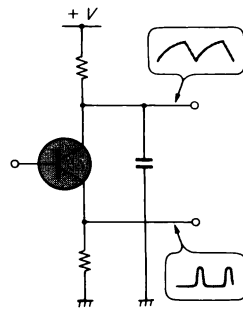
(a) タイマICで



(b) シュミット・トリガ型 CMOSインバータで



(c) 2石のトランジスタで



(d) 1石の逆さまトランジスタ

- (1) 考えること、プランを練ることの楽しみ
- (2) 工作の楽しみ
- (3) 完成した回路を動かす楽しみ

などがあげられます。

さらに大きな喜びは、自分の着想したアイデアの正しさが証明されることです。それが誰も考えなかった新奇のアイデアならば、特許の対象にもなります。また価値の高い新回路ならば、発明者の名は歴史に残ります。

一昔前には、新回路をひっさげ、企業を起こすこともザラにありました。よく知られている例は、ヒューレット・パッカード社です。創立者の W. Hewlett 氏と D. Packard 氏は、スタンフォード大学のターマン (F. E. Terman) 教授のもとで学び、有名な「ターマン型正弦波発振器」を開発・商品化して HP 社の基礎を築きました⁽¹⁾。

回路進化論

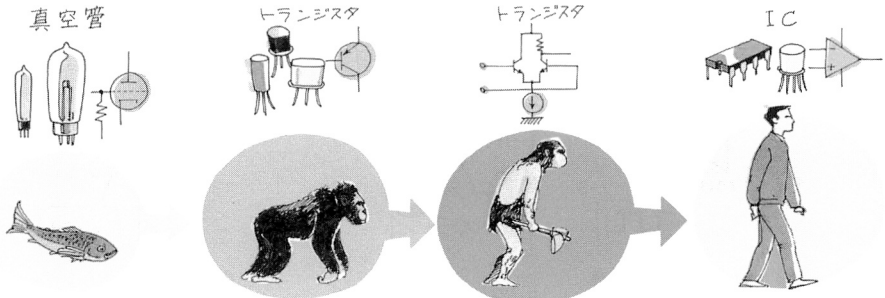
回路設計が楽しいと力説しても、設計の要領のわからない人には、絵に描いた餅も同然でしょう。

私は試行錯誤で設計法を学びましたが、マスターするために長い時間を費しました。それでは教科書の個別半導体回路を勉強すればよいかと言えば、これもおすすめできません。回路が古すぎます。回路は生き物ですから、時代とともに姿を変えてゆきます。

古い回路を学んでも、実際の役には立ちません。

じつは回路設計法を学ぶもっとも効率的な方法は、時代とともに姿を変えてゆく回路の

〈回路進化論〉



変身の理由を考えながら、自分でその回路を設計・製作することです。

もちろん、過去から現在に至るすべての回路の製作は不可能です。しかし、設計のコツを学ぶためには、それほど多くの回路にチャレンジする必要はありません。なぜなら、回路は一定の法則にしたがって発展するものであり——私はこれを回路進化論と呼んでいます——その発展法則にかなった回路だけを頭に入れておけばよいからです。

さて私が回路進化論と呼んでいるのは、次のような経験法則です。

- (1) 回路の進化の方向は非可逆的である。
- (2) 不合理な回路は淘汰される。
- (3) 能動素子(真空管やトランジスタなど)の主役が交代すれば、回路方式の主役も交代する。
- (4) 能動素子のもつ欠点を隠し、その長所を引き出せる回路だけが生き残る。
- (5) 一度断絶した系統が復活する可能性はきわめて低い。
- (6) 革新的な回路方式は突然変異的に生まれる。

過去30年間のトランジスタ回路方式の歩みは、この回路進化論で都合良く説明できます。

たとえば今日、低周波増幅回路にトランス(変成器)を使用しないわけは、トランスは真空管とセットで使用すべきものであり、法則(3)にしたがって排除されてしまったからです。だからトランスを使ったB級P.P.^{プッシュ・プル}回路を深く学ぶ必要はありません。

それに対し、差動増幅回路やカスコード回路は真空管時代から今日まで使用されています。その理由は、これらの回路が法則(4)を満たしているからです。

また、現在の回路方式を捨て、30年前の古典回路に戻るのには、退化と言えます。なぜなら、それは法則(1)に背くからです。

SPICEシミュレーションの活用

電子回路シミュレータ^{スパイス} SPICEは回路設計の学習にも非常に有用です。よく「デジタル1年・アナログ10年」と言われます。アナログ技術者の養成には10年かかる、という意味です。

アナログ回路は、注意深く設計してもどこかに見落としがあり、なかなか思いどおりに動作しないものです。いきおい、何度も作り直すことになります。

したがって、アナログ回路技術者の10年は、大半がはんだごてを握っている時間とも

ウィーン・ブリッジ型正弦波発振器	144
エミッタ共通回路	46
エミッタ接地の出力静特性	27
エミッタ・フォロワ	67
エミッタ電流の安定化	57
演算子法#ヘビサイドの～	231
演算増幅器	113
オーバーシュート	54
オープン・ループ利得	158, 183
オールパス・フィルタ	227
温度解析	29
温度係数# V_{BE} の～	255
温度特性#トランジスタの～	29

【か・カ】

開放除去	36
回路ファイル	20
型名#トランジスタの～	24
カットオフ周波数	70, 229
過電流保護回路	206
過渡インピーダンス	233
カレント・ミラー	115, 121
帰還率	183
記号法	234
基準電圧	202
逆バイアス	18
逆方向電流増幅率	85
局部帰還	191
許容電力損失	33
クロズド・ループ利得	183
クロスオーバーひずみ	167
ゲインと位相	213
ゲイン余裕	218
結合係数	265
ケミコン	53
広帯域増幅器	124
交流動作解析	38
交流負荷線	64
コレクタ共通回路	47, 67
コンプリメンタリ	109

【さ・サ】

サーキット・ファイル	20
最大定格#トランジスタの～	30
差動増幅回路	115

サレン・キー型ハイパス・フィルタ	74
サレン・キー型ローパス・フィルタ	138
仕上がり利得	158
自己インダクタンス	265
指数関数	33
弛張発振器#アバランシェ・モード～	87
周閉温度	33
周波数応答法	213
出力インピーダンス	182
出力抵抗	96
シュミット・トリガ回路	118
順バイアス	18
順方向伝達コンダクタンス	41
順方向電流増幅率	25
小信号等価回路	39
状態変数型正弦波発振器	189
シリーズ・レギュレータ	199
振幅の安定化	145
垂下型	206
スイッチングひずみ	179
ストレイ容量	53
スルーレート	159
スレッシュホールド電圧	164
正弦波発振器#ツイント型～	79
正弦波発振器#ウィーン・ブリッジ型～	144
接合型FET	163
セメント抵抗	176
全高調波ひずみ率	72
相互インダクタンス	41, 265
増幅器のゲインと位相	213
相補対称	109

【た・タ】

ダーリントン・エミッタ・フォロワ	201
ダーリントン接続	108, 206
耐圧	31
短絡除去	39
直流電流増幅率	25
直流動作解析	36
直流負荷線	38, 64
等価直列抵抗#電解コンデンサの～	219
チョッパ増幅器	261
ツイント・トランジスタ	257
ツイント型正弦波発振器	79
ツェナ・ダイオード	86, 202

定振幅移相回路	227
定電流回路	204
デシベル	148
電圧帰還型NFB	58
電圧制御電流源	41
電界効果トランジスタ	22
電子の電荷	19, 247
電子ボリューム	128
伝達関数	231
電流帰還型NFB	58
電力半値周波数	70
動作点	38
時定数	237
トランジション周波数	105
トランジスタの温度特性	29
トランジスタの型名	24
トランジスタの最大定格	30
トランジット時間	107

【な・ナ】

ナイキストの安定判別法	215
入力インピーダンス	182
入力抵抗	46
熱雑音	193
熱抵抗	33, 209
熱電圧	253
ネット・リスト	20
熱暴走	175
ノッチ・フィルタ	79

【は・ハ】

バイアス・ポイント	38
ハイパス・フィルタ#サレン・キー型	74
ハイブリッド π 型モデル	104
バイポーラ・トランジスタ	22
パワーワース特性	74
裸利得	100
発振対策	109, 212
パルス幅変調回路	149
バンド・ギャップ型定電圧回路	253
非安定マルチバイプレータ	119
ヒステリシス	118
ひずみキャンセル回路	186, 193
ひずみ率	72
ひずみ率の改善#NFBによる	65

ひずみ率の実測	154
ピンチ・オフ電圧	163
ファンクション・ジェネレータ	243
フィードバック・ループ	189
ブートストラップ	90, 94, 136, 153
フーリエ解析	71
フェーズ・シフタ	227
フォールデッド・カスコード回路	157
負荷線	38
複素ゲイン	213
複素周波数	232
復調	150
負性抵抗	111
フの字型	207
浮遊容量	53
ブレークダウン	86, 119
ペア・トランジスタ	130
ベース-エミッタ間コンダクタンス	40
ベース共通回路	47
ベータ遮断周波数	106
ヘビサイドの演算子法	231
方形波発振器	118
放熱器	209
放熱設計	173
飽和電流	19, 24, 247
ボデー線図	216
ボルツマン定数	19, 247

【ま・マ】

マクロ・モデル	258
ミラー効果	124
モデル#OPアンプの	195

【ら・ラ】

ラプラス変換	232
理想PN接合ダイオード	20
利得帯域幅積	105
リプル除去比	205
リングング	54
ループ	189
ループ・ゲイン	183, 190
ローパス・フィルタ	74, 138, 229
ローパス・フィルタ#サレン・キー型	138

〈著者略歴〉

黒田 徹 (くろだ・とおる)

1945年 兵庫県に生まれる
1970年 神戸大学 経済学部卒業
1971年 日本電音(株)入社、技術部勤務
1972年 同社退社
現在 黒田電子技研 所長

〈主な著書〉

・最新トランジスタ・アンプ設計法、
ラジオ技術社
・基礎トランジスタ・アンプ設計法、
ラジオ技術社

- 本書記載の社名、製品名について — 本書に記載されている社名および製品名は、一般に開発メーカーの登録商標です。なお、本文中では™, ®, ©の各表示を明記していません。
- 本書掲載記事の利用についてのご注意 — 本書掲載記事は著作権法により保護され、また工業所有権が確立されている場合があります。したがって、記事として掲載された技術情報をもとに製品化をするには、著作権者および工業所有権者の許可が必要です。また、掲載された技術情報を利用することにより発生した損害などに関して、CQ出版社および著作権者ならびに工業所有権者は責任を負いかねますのでご了承ください。
- 本書に関するご質問について — 文章、数式などの記述上の不明点についてのご質問は、必ず往復はがきか返信用封筒を同封した封書でお願いいたします。ご質問は著者に回送し直接回答していただきますので、多少時間がかかります。また、本書の記載範囲を越えるご質問には応じられませんので、ご了承ください。

〔R〕〈日本複写権センター委託出版物〉

本書の全部または一部を無断で複写複製(コピー)することは、著作権法上での例外を除き、禁じられています。本書からの複製を希望される場合は、日本複写権センター(TEL: 03-3401-2382)にご連絡ください。

はじめてのトランジスタ回路設計

3.5 インチ FD1 枚付き

1999年5月1日 初版発行
2005年8月1日 第7版発行
2010年12月1日 デジタル/CD-R版 rev.1

© 黒田 徹 1999-2005
(無断転載を禁じます)

著者 黒田 徹
発行人 増田 久喜
発行所 CQ 出版株式会社

〒170-8461 東京都豊島区巢鴨 1-14-2
☎ 03-5395-2123 (出版部)
☎ 03-5395-2141 (販売部)
振替 00100-7-10665

(定価はカバーに表示してあります)

乱丁、落丁本はお取りかえします

DTP・印刷・製本 三晃印刷(株)
Printed in Japan

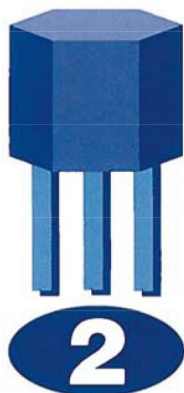
はじめてのトランジスタ回路設計 デジタル/CD-R版

SD32801

価格:本体1,762円(税別)

価格:1,850円(税込)5%

CQ出版社



本書は、1~2石のトランジスタ回路から出発し、最終的に10石程度で実現できる回路までを設計して製作します。さらにパソコン用アナログ回路シミュレータ“*S P I C E*”によって、設計どおりかどうかを検証し、回路の動作を体験的に学びます。特に回路設計に関しては、その回路構成の面白さや設計手法に重点を置いて解説します。

高性能で高機能なICやLSIがある今日でも、依然としてトランジスタが活躍しています。数石からなる回路を設計する能力は、回路を基本から理解する能力につながります。筆者はこの道40年のベテランです。特に高級オーディオ・アンプの設計やオーディオ信号のデジタル処理に関する造詣が深く、理論に基づいた精緻な設計手法には定評があります。

本書を読めば、トランジスタ回路設計がはじめてのあなたも、回路の動作を基本から理解して、自由に設計することができるようになるでしょう。
