

E

復刻版

エレクトロニクス
実務シリーズ

E l e c t r o n i c s

ユニット化による構成の自由化と再現性を重視した

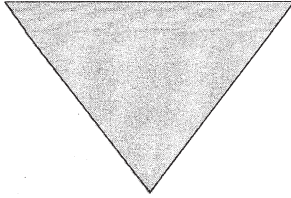
精選アナログ実用回路集

稲葉保^[著]

見本

CQ出版社

第 1 章



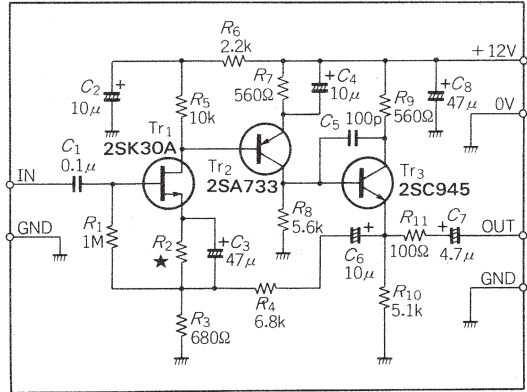
低周波小信号增幅回路

1-1

ディスクリート部品で構成した 高入力インピーダンス・プリ・アンプ

●回路の目的

増幅しようとする信号源のインピーダンスが極めて高い容量性のセンサでは、高入力抵抗で受けないと信号源に悪影響を与え好ましくありません。本回路は、ディスクリート部品で構成した高入力インピーダンス AC プリ・アンプで、FET を自己バイアス動作で使用し、ゲート抵抗をソース帰還点に接続することにより、ブート・ストラップ効果を得て大きな入力抵抗を確保しています。



●回路の動作

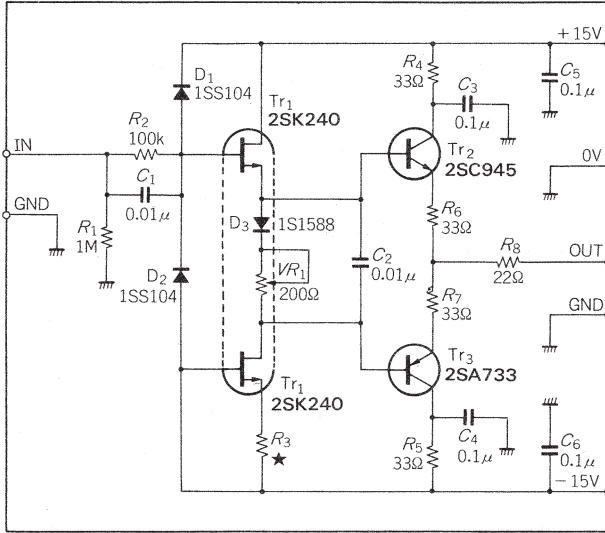
増幅回路は $Tr_1 \sim Tr_3$ で構成され、3 段直結回路として少しでも結合コンデンサを減らしています。 Tr_1 は約 $100\mu A$ で動作させるため、ソースに抵抗 R_2 を入れる自己バイアス回路で、FET のバラツキを受けやすいので調整を要し、 Tr_3 のエミッタ電圧が $5 \sim 6V$ 位になるよう抵抗を設定します。 Tr_2 と Tr_3 は、約 $1mA$ でバイアスするよう定数設定を行っています。

回路の利得は、ほぼ $1 + (R_4/R_3)$ で決まり約 10 倍 (20dB) で、用途に応じて R_4 を変更しますが、利得を下げるため R_4 を小さくすると、エミッタ・フォロワ Tr_3 の負荷が低くなり大きな出力振幅を得られなくなります。

部品番号	使用部品	個数	部品番号	使用部品	個数
Tr_1	J-FET, 2SK30A	1	$R_{7,9}$	$\frac{1}{4} \pm 1\%$ 金属皮膜抵抗, 560 Ω	2
Tr_2	トランジスタ, 2SA733	1	R_8	" , 5.6k Ω	1
Tr_3	" , 2SC945	1	R_{10}	" , 5.1k Ω	1
R_1	$\frac{1}{4} W \pm 1\%$ 金属皮膜抵抗, 1M Ω	1	R_{11}	" , 100 Ω	1
R_2	" , (★)	1	C_1	50V, 0.1 μF , マイラ型	1
R_3	" , 680 Ω	1	$C_{2,4,6}$	25V, 10 μF , アルミ電解型	3
R_4	" , 6.8k Ω	1	C_5	25V, 100pF, セラミック型	1
R_5	" , 10k Ω	1	C_7	25V, 4.7 μF , アルミ電解型	1
R_6	" , 2.2k Ω	1	$C_{8,8}$	25V, 47 μF "	2

1-2

入力抵抗 1M Ω 、出力抵抗 50 Ω の インピーダンス変換回路



●回路の目的

センサの信号源抵抗が高い場合、長いケーブルを接続するとケーブル容量のため信号源に影響を与えます。こんなときインピーダンス変換回路を用いて、長いケーブルを駆動すると好結果が得られます。本回路では、デュアルFETを用いて直流安定度を改善し、過大入りに耐えられるようにクランプ・ダイオードを付加しました。

●回路の動作

FETのゲートは直流的につながっていないとゲート・バイアスを与えられないので、 R_1 にて接地します。 R_2 は過大な直流電圧が印加されたとき、クランプ・ダイオード D_1 と D_2 に流れる電流を制限するためのものです。デュアルFETの下側は定電流回路として動作し、動作電流はソース抵抗 R_3 で設定し、FETのドレイン飽和電流 I_{DSS} に応じて決定します。

D_3 と VR_1 は、出力トランジスタにベース・バイアスを与えるためのもので、 D_3 は V_{BE} の温度補償用で本来は2本直列にすべきですが、これでは電流が大きくなるため VR_1 で調整することにしました。

出力段はプッシュプルのエミッタ・フォロワなので、低い負荷抵抗を駆動することがで

きます。

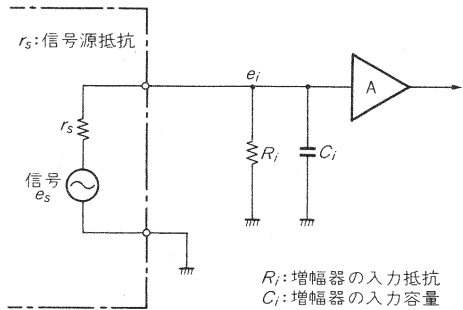
部品番号	使用部品	個数	部品番号	使用部品	個数
Tr ₁	デュアル FET, 2SK240	1	R ₃	¼ W ±5%カーボン抵抗, (★)	1
Tr ₂	トランジスタ, 2SC945	1	R ₄ ~R ₇	" , 33Ω	4
Tr ₃	" , 2SA733	1	R ₈	" , 22Ω	1
D _{1,2}	低リーク・ダイオード, 1S104	2	VR ₁	半固定抵抗器, RJ6P-200Ω	1
D ₃	シリコン・ダイオード, 1S1588	1	C _{1,2}	50V, 0.01μF, マイラ型	2
R ₁	¼ W ±5%カーボン抵抗, 1MΩ	1	C ₃₋₆	25V, 0.1μF, セラミック型	4
R ₂	" , 100kΩ	1			

コラム

◆信号源抵抗◆

信号を増幅する場合、信号源（増幅器の入力からセンサなどの出力を見たとき）の抵抗またはインピーダンスがどのような値になっているかが重要です。

右図において信号を電圧源とした場合、直列等価抵抗が信号源抵抗 r_s と定義す



ることができます。もし増幅器の入力抵抗が R_i とすれば、入力端における信号電圧 e_i は、

$$e_i = e_s (R_i) / (r_s + R_i)$$

に減衰してしまいます。減衰を小さくするには、 $R_i \gg r_s$ とする必要があります。

一方、入力端における周波数特性の変化は入力容量（実際には配線などのストレ容量も加算する）によって決定され、カットオフ周波数 f_c は、

$$f_c = 1 / (2\pi C_i \cdot r_s // R_i) \quad \because \quad r_s // R_i \text{ は 並列合成抵抗の意味}$$

に低下してしまいます。

信号源抵抗が未知の場合に簡単に測定する方法は、まず増幅器の入力を開放 ($R_i = \infty$) したときの電圧を e_o 、入力端を R_i (R_i の値はおよそ r_s の値とする) で終端したときの電圧を e_i とすれば、信号源抵抗 r_s は、

$$r_s = R_i (e_o - e_i) / e_i$$

として求めることができます。

1-3

入力抵抗が 1M Ω , FET 入力 AC インピーダンス変換回路

●回路の目的

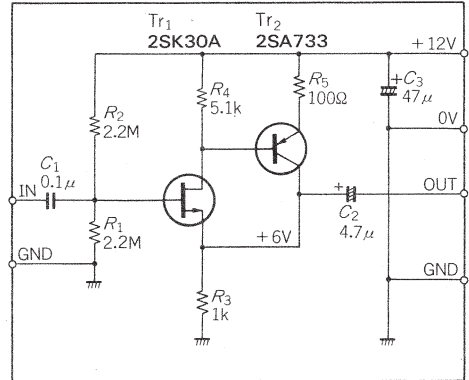
測定しようとする信号系のインピーダンスが高いと、測定ケーブルの静電容量のため周波数特性が悪化し、信号源の状態も並列容量のため変化することになります。

こんなとき入力抵抗が高く、入力容量の少ないバッファ・アンプを経由して、測定ケーブルを駆動することにより好結果が得られます。本回路では入力段に FET を使用し、100%の負帰還をかけることにより直流バイアスが安定化され、出力インピーダンスを下げるができます。

●回路の動作

N チャネル J-FET と PNP トランジスタを直結することにより、電源電圧利用率の高い回路を実現できます。直流動作点の設定は、ゲート・バイアス抵抗の R_1 と R_2 で決まり、 Tr_2 のコレクタ電圧が約 $V_{cc}/2$ になるよう分圧比を決定します。開ループ利得は、 Tr_1 で約 5 倍、 Tr_2 はエミッタに 100Ω 、コレクタ負荷が $1k\Omega$ なので約 10 倍で、トータルで 50 倍 (34dB) になり、34dB の負帰還がかかるので低歪で広帯域な周波数特性が得られます。

低域の周波数特性は入力コンデンサ C_1 で決め、 $C_1 \geq 1/2\pi f_{cl}(R_1 // R_2)$ の定数とし、入力抵抗が高い入力回路なので、タンタルやアルミ電解コンデンサは絶縁抵抗が高くないため、



使用しないように注意してください。

出力インピーダンスをさらに低くしたい場合は、 Tr_2 の出力にエミッタ・フォロワ Tr_3 を付加します。低負荷抵抗では、 Tr_3 のエミッタ抵抗を低く設定し、大きなコレクタ電流でバイアス (10mA 以上では $560\Omega \sim 330\Omega$ くらい) します。

部品番号	使 用 部 品	個数
Tr_1	J-FET, 2SK30AGR	1
Tr_2	トランジスタ, 2SA733	1
$R_{1,2}$	1/4 W $\pm 1\%$ 金属皮膜抵抗, 2.2M Ω	2
R_3	" , 1k Ω	1
R_4	" , 5.1k Ω	1
R_5	" , 100 Ω	1
C_1	50V, 0.1 μ F, マイラ型	1
C_2	25V, 4.7 μ F, アルミ電解型	1
C_3	25V, 47 μ F, "	1

1-4

入カインピーダンスの高い
AC バッファ・アンプ

●回路の目的

信号源インピーダンスが数10k Ω 以下なら、普通に設計したアンプで入力できますが、数100k Ω 以上では信号源回路にアンプの入力インピーダンスが並列接続されるので誤差を生じ、正しい増幅ができません。本回路は、交流信号への応用に限り高入力インピーダンスで、出力用のエミッタ・フォロウ出力よりブート・ストラップされているのが特長です。

●回路の動作

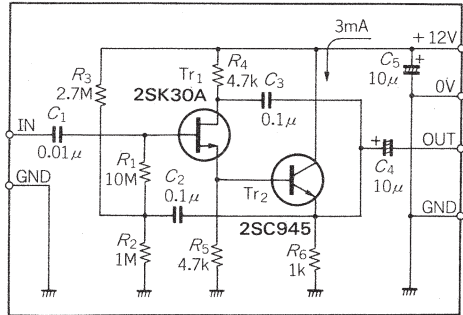
高入力インピーダンス回路ですぐに思いつくのはFETを使ったアンプで、本回路ではソース・フォロウ接続し、さらにバイポーラ・トランジスタをエミッタ・フォロウで動作させ、出力インピーダンスを下げてあります。FETのゲートにはバイアス抵抗が必要で、この抵抗が入力インピーダンスを制限するので、エミッタから正帰還をかけてさらに高インピーダンス化しています。

直流動作点の設定は、固定バイアス抵抗 R_3 にて行い、 Tr_2 に 3mA 流すとすれば、 R_3 は約 2.7M Ω となります。

直流阻止コンデンサ C_1 は、入力抵抗が高いため小さな値でよいことになります。出力側

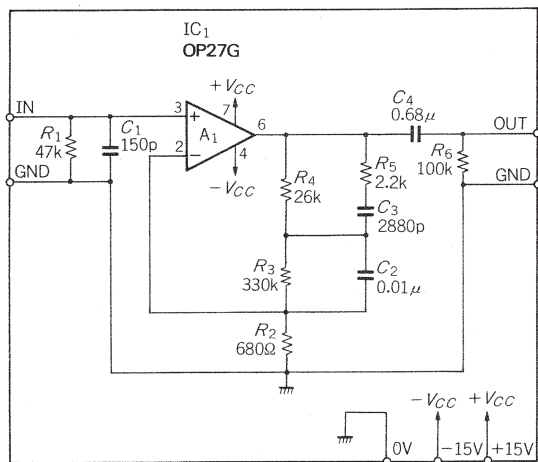
の直流阻止コンデンサ C_4 は負荷抵抗 R_L により異なり、 -3dB 低下する周波数を f_c とすれば、 $C_4 \geq 1/2\pi f_c \cdot R_L$ に設定します。

低レベル回路用として使用する場合は、入力回路素子 (Tr_1 , C_1 , R_1 など) の雑音特性に注意し、また入力抵抗が高いため、回路全体をシールド・ボックスに入れて対処します。



部品番号	使用部品	個数
Tr_1	J-FET, 2SK30AGR	1
Tr_2	トランジスタ, 2SC945	1
R_1	$\frac{1}{4}$ W $\pm 1\%$ 金属皮膜抵抗, 10M Ω	1
R_2	" , 1M Ω	1
R_3	" , (2.7M Ω)	1
$R_{4,5}$	" , 4.7k Ω	2
R_6	" , 1k Ω	1
C_1	50V, 0.01 μ F, マイラ型	1
$C_{2,3}$	50V, 0.1 μ F, マイラ型	2
$C_{4,5}$	25V, 10 μ F, アルミ電解型	2

1-5

低雑音 OP アンプを使用した
RIAA イコライザ・アンプ

●回路の目的

レコード盤の録音は高域を増強して、再生時に補償・増幅しています。再生周波数特性は、米国レコード工業会(RIAA)で決められたものが標準になっています。RIAA イコライザ・アンプは、カートリッジに誘起される微弱な信号を増幅するため、雑音について十分な配慮が必要です。本回路は、低雑音 OP アンプの帰還ループに CR 直列回路網を接続して、補償・増幅しています。

●回路の動作

一般のカートリッジは MM 型(ムービング・マグネット)と呼ばれるもので、50kΩ 前後で受け高周波でインピーダンスを下げるため、150pF を並列接続しています。OP27 は、低雑音の精密 OP アンプでオフセット電圧が小さく、ドリフトも少なくなっています。このため、帰還ループは直流結合として低域特性を改善しています。

イコライザ回路網の設計は、3 種の時定数で決められていますので、CR の値は自由に選べます。

$$T_1 = 75\mu\text{s} = C_3 \cdot R_4$$

$$T_2 = 318\mu\text{s} = (C_2 + C_3) R_4 // R_3$$

部品番号	使用部品	個数	部品番号	使用部品	個数
IC ₁	低雑音 OP アンプ, OP27G	1	R ₆	¼ W ±1% 金属皮膜抵抗, 100kΩ	1
R ₁	¼ W ±1% 金属皮膜抵抗, 47kΩ	1	C ₁	50V, 150pF, マイカ型	1
R ₂	" , 680Ω	1	C ₂	50V, 0.01μF, スチロール型	1
R ₃	" , 330kΩ	1	C ₃	50V, 2700pF//180pF, "	1
R ₄	" , 26kΩ	1	C ₄	100V, 0.68μF, 積層フィルム型	1
R ₅	" , 2.2kΩ	1			

$$T_3 = 3180 \mu s = C_2 \cdot R_3$$

これより最も容量の大きい C_2 を $0.01 \mu F$ と仮定して計算すると,

$$R_3 = 3180 \times 10^{-6} / 0.01 \times 10^{-6} = 318 \times 10^3 \approx 330 k\Omega$$

$$R_4 // R_3 = (T_2 - T_1) / C_2 = 24.3 k\Omega \text{ より } R_4 = 26 k\Omega$$

$$C_3 = 75 \times 10^{-6} / 26 \times 10^3 = 2880 pF$$

となり, R_5 は帰還回路網のインピーダンスが高周波で小さくならないよう, $C_3 \cdot R_5$ の時定数が数 μs となる値とします。

レコード盤にそりがあると, 超低周波の信号となりますから, コンデンサ C_4 で低域遮断周波数を決定し, その定数は抵抗 R_6 と負荷抵抗の並列抵抗により決めます。また OP アンプのオフセット・ドリフトをこのコンデンサで除去する目的も兼ねています。

抵抗 R_2 は利得設定のための抵抗で, 通常 $F = 1 \text{ kHz}$ にて $50 \sim 100$ 倍になるよう R_2 の値を設定しますが, 680Ω では約 50 倍です。

●部品の選定

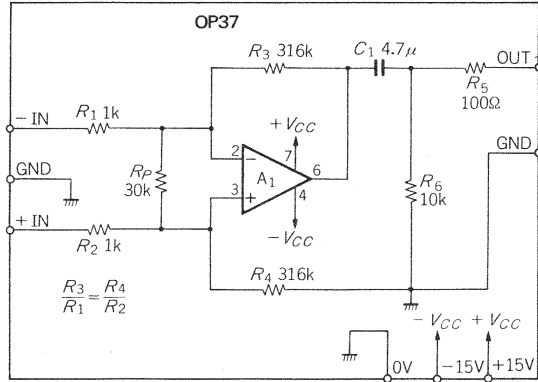
イコライザ回路では, 精度の高い抵抗とコンデンサが必要です。抵抗については $\pm 1\%$ 誤差のものは入手が楽ですが, コンデンサについては $\pm 5\%$ のものから, $\pm 2\%$ 以内のものをセレクトします。品種はスチロールかポリプロピレン型が良く, $2880 pF$ については $2700 pF$ と $180 pF$ を並列接続します。

回路の直流利得が 500 倍以上となりますから, オフセット電圧が 500 倍されて A_1 出力に現れます。直流阻止コンデンサはオフセット電圧が正または負となるので無極性の積層フィルム・コンデンサを使用します。

●調整

イコライザ回路では補償周波数特性が重要で, 一般に 1 kHz を基準とした相対利得偏差で表され, 規格で決められている値から $\pm 0.5 \sim \pm 0.2 \text{ dB}$ に収まっていることを確認します。本回路では充分なループ・ゲインが確保されているので, 誤差が大きい場合, 抵抗やコンデンサの値がずれていると判断し値をチェックします。

1-6

トランスを使用しない
平衡入力マイクロフォン・アンプ^(*)

●回路の目的

平衡入力回路として従来より平衡入力トランスが使われていますが、それなりのメリットをもっています。周波数特性といった面から見ると、低周波まで特性を伸ばそうとするとインダクタンスを大きく設計し、大きなトランスが必要になります。

本回路はマイク・アンプに限らず、低入力インピーダンスの平衡入力回路として応用でき、低雑音 OP アンプの特長を活かせます。

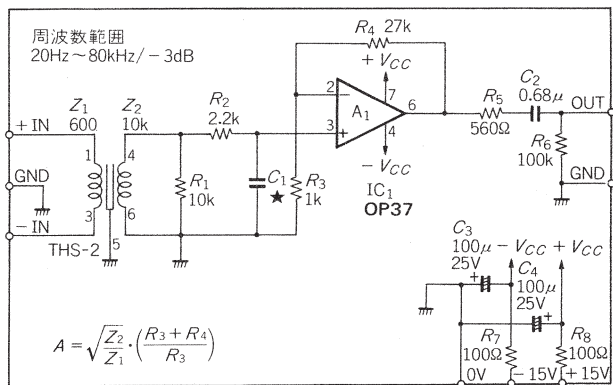
●回路の動作

OP アンプ 1 個で構成した入力抵抗(2kΩ)の低い差動増幅器で、信号源抵抗を 200Ω 以下で使用します。電圧利得は316倍(50dB)ですが、OP37 は位相補償を内蔵していないので、入力開放時に100%のフィードバックがかかり発振します。これを防止するため、入力端子間に抵抗 R_p を接続して閉ループ利得を10倍にして発振を防止します。

この回路の雑音特性は、OP アンプよりも入力抵抗である R_1 および R_2 によって制限されます。 R_1 、 R_2 はそれぞれ $4nV/\sqrt{Hz}$ の雑音を発生し、OP アンプは $3.2nV/\sqrt{Hz}$ の雑音を発生します。トータル雑音は $6nV/\sqrt{Hz}$ で、20kHz のノイズ・バンド幅で $0.9\mu V$ です。

部品番号	使用部品	個数
IC ₁	低雑音 OP アンプ, OP37G	1
R _{1,2}	¼ W ±0.1% 金属皮膜抵抗, 1kΩ	2
R _{3,4}	″, 316kΩ	2
R _p	¼ W ±1% 金属皮膜抵抗, 30kΩ	1
R ₅	″, 100Ω	1
R ₆	″, 10kΩ	1
C ₁	50V, 4.7μF, フィルム型	1

1-7

平衡入力回路で同相雑音を抑えた
マイクロフォン・アンプ

●回路の目的

OPアンプは同相信号除去比が大きく、容易に平衡入力回路を作ることができますが、周波数が高くなるにしたがい同相除去比が小さくなる傾向があります。このため、高周波ノイズの影響を受けやすく、本回路では同相除去を平衡トランスで行い、増幅回路は一般的な非反転増幅回路としてあります。

マイクロフォン増幅ではケーブルが長く、外来ノイズが誘導されますが、平衡伝送をすることにより優れた同相雑音除去能力をもたせることができます。またロックイン・アンプの入力ヘッド・アンプなどの用途にも応用でき、信号源のインピーダンスに適合した入力トランスを選定する必要があります。

●回路の動作

同相信号除去比は入力トランスで決まってしまうので、平衡度の良いもの(周波数が上昇すると悪化するので要注意)を選定または製作し、伝送周波数範囲を考慮して昇圧比を決めます。昇圧比は1次と2次の巻数比で、終端インピーダンスの平方根比として表されます。

この例では市販品(THS-2)を使用したため、600Ω:10kΩになっており、昇圧比は $\sqrt{10 \times 10^3 / 600} \approx 4$ 、つまり12dBの電圧利得をもち、入力換算雑音の点で有利になります。抵抗 R_1 はトランスの2次インピーダンスの終端用で、10kΩである必要はありませんが、抵抗値によってトランスの周波数特性が変化するので特性を実測して決めます。

ISBN978-4-7898-5215-9

C3055 ¥3300E

CQ出版社

定価：本体3,300円（税別）



9784789852159



1923055033009

読者のみなさまへ

復刻版「エレクトロニクス実務シリーズ」につきまして

●小社は1964年の雑誌「トランジスタ技術」創刊以来、半導体ならびにエレクトロニクスの応用技術に関する書籍を多く発行してまいりました。しかしながら過去においては、限られた印刷技術により、相応の部数を確保できないと見なした書籍につきまして、採算面の都合から重版を行わず、「重版未定」といたしました。

●近年になってデータのデジタル化および印刷技術の進歩により、少数数での印刷・製本がある程度可能となりました。オンデマンド印刷と呼ばれております。

●一方、ご存知のようにエレクトロニクス技術の進歩は著しく、「トランジスタ技術」創刊のころ主流であったトランジスタやICによるアナログ回路技術、デジタル回路技術は、マイコンの登場以来、ブラックボックス化したり、抽象化して扱う傾向が多くなりました。扱うシステム規模が大きくなってきた所以でもあります。結果、近年の読者の方には、エレクトロニクス創生の頃にあったアナログ回路やデジタル回路技術などの詳細を説明する書籍がたいへん少なくなり、説明不足のお叱りを受けるケースもございました。

●以上のことから、過去多くの好評をいただいた書籍の中から、現代においても十分有用と思われる記事を収録しました書籍に関してのみ、このたび原著作権者の許諾を得て、復刻版として発行することいたしました。みなさまにご活用いただけると幸いです。

このPDFは、CQ出版社発売の「精選アナログ実用回路集【オンデマンド版】」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/52/52151.htm>

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

……………この本はオンデマンド印刷技術で復刻しました……………

本書は、過去に小社が発行・販売いたしました書籍を光学式スキャナで読み取り、デジタル化したのち、オンデマンド印刷技術によって復刻版として用意したものです。諸々の事情により、一般書籍としての刊行時とは装丁や価格が異なり、印刷が必ずしも明瞭でなかったり、左右頁にズレが生じていることがあります。また、一般書籍最終版を概ねそのまま再現していることから、記載事項や文章に現代とは異なる表現が含まれている場合があります。事情ご賢察のうえ、ご了承くださいませようお願い申し上げます。

見本