

回路の素

パターン・マッチングで読み解く!

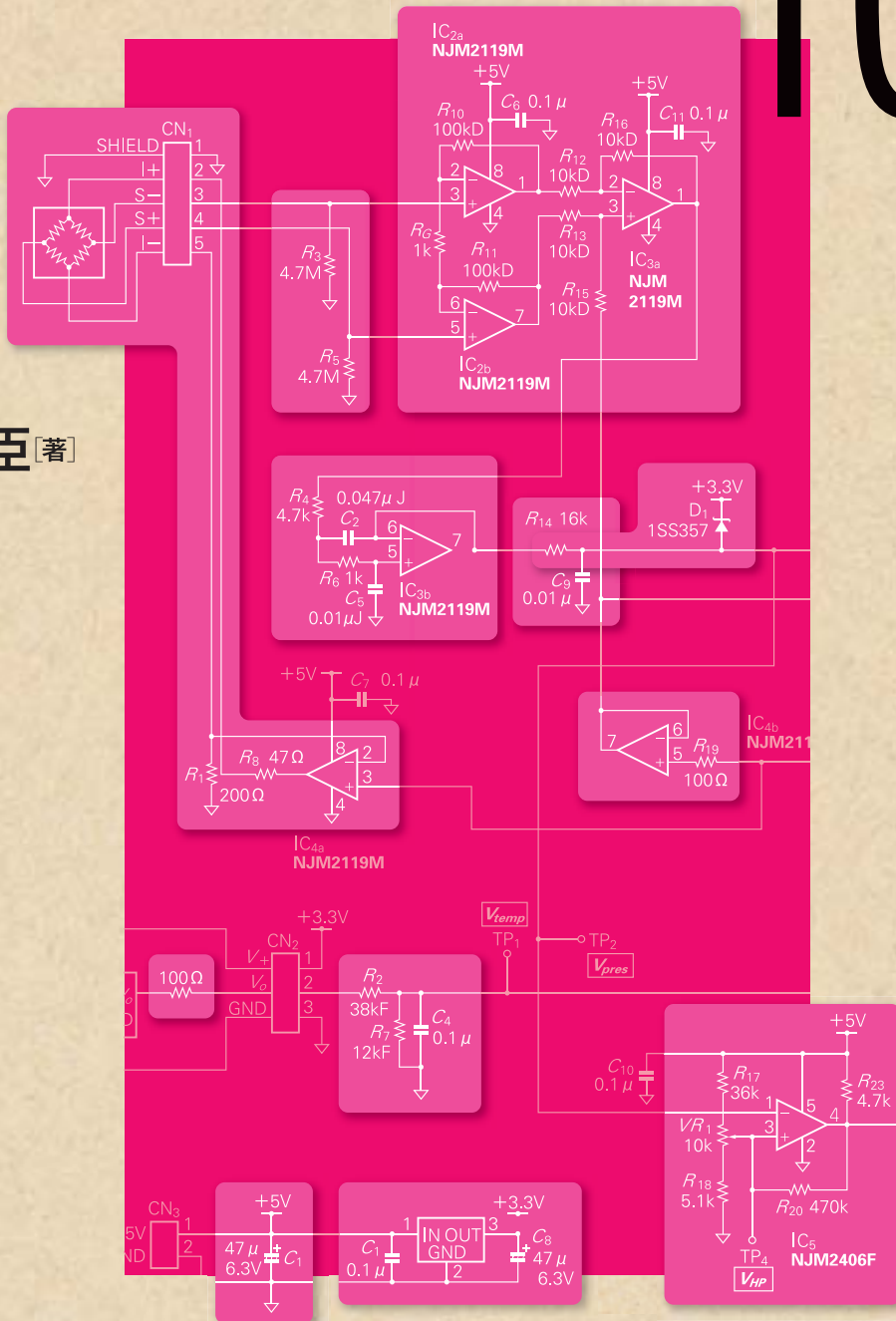
101

見本



ライブラリ・シリーズ
てっとり早く
答えが見つかる

鈴木雅臣 [著]
Masaomi Suzuki



イントロダクション

回路図を読み解く第一歩

最初は抵抗値やICの型名はみなくていい

ハードウェアの設計はソフトウェアのプログラミングと似ているところがあります。規模の大きなプログラムを組む場合、プログラム行数の少ないソフトウェア・パーツやサブルーチンを寄せ集めて大きなプログラムに仕上げます。この手法はハードウェアを設計する場合もまったく同じです。動作がシンプルで検証しやすい小さな回路ブロックを寄せ集めて大規模な回路に仕上げられています。大規模でかつ複雑な動作をしているように見える回路でも、実際はシンプルな動作の小さな回路ブロックの集まりなのです。

図1は大規模な回路の例です。マイコン周辺のいろいろなアナログ回路が複雑に絡み合っているため、その動作を読み取るのはたいへん難しいことのように思

われます。

図2は図1の回路を小さな回路ブロックに分けたものです。このようにどんな大きな回路でも、シンプルな動作の小さな回路ブロックに分けることによって回路全体の動作を読み解くことができます。

本書は、アナログ回路を構成する最小単位の機能ブロック-回路の素-を集めた回路ライブラリです。とくによく使われる回路は、実際に動作させてオシロスコープの波形や周波数特性などの実測データを載せて解説しています。さらに、応用回路やより深く知りたいときのために参考文献も充実しています。ベテランの方は辞書代わりに御利用ください。

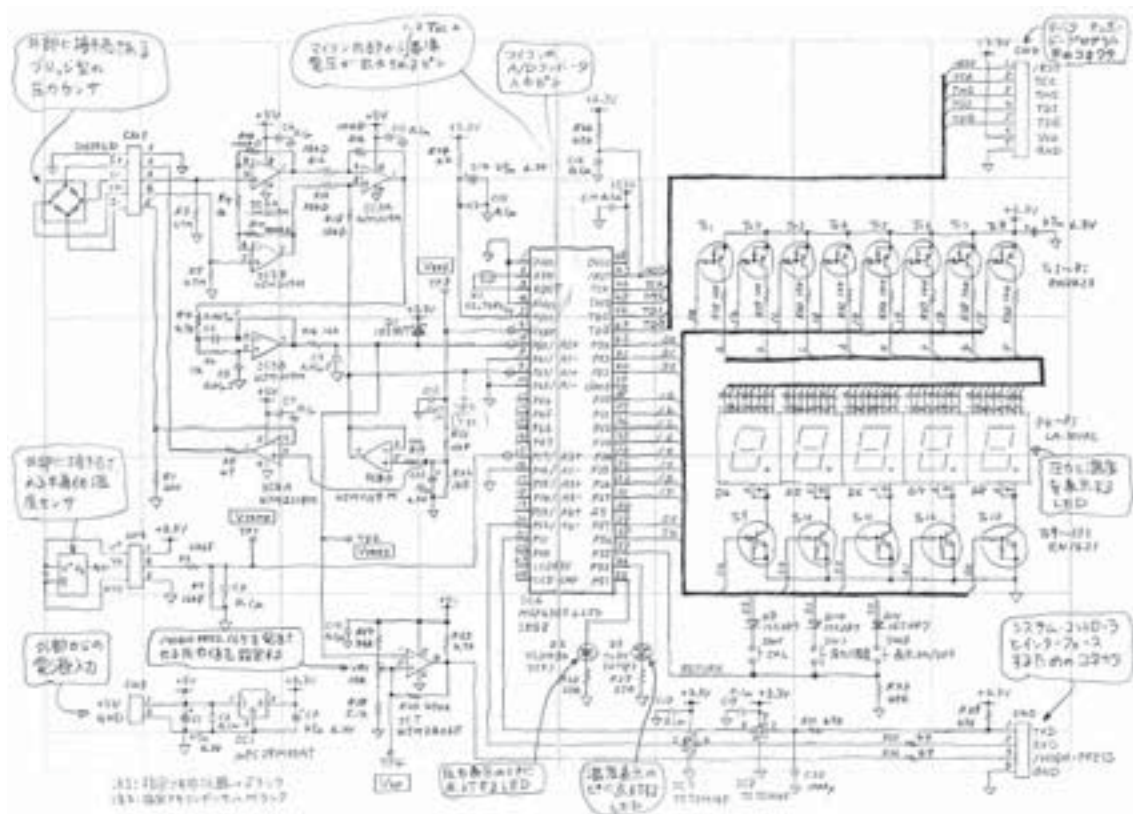


図1 大規模な回路の例

FA(Factory Automation)分野で使われる高精度圧力検出回路。マイコンを中心にしていろいろなアナログ回路や表示器が複雑に絡み合っているように見える

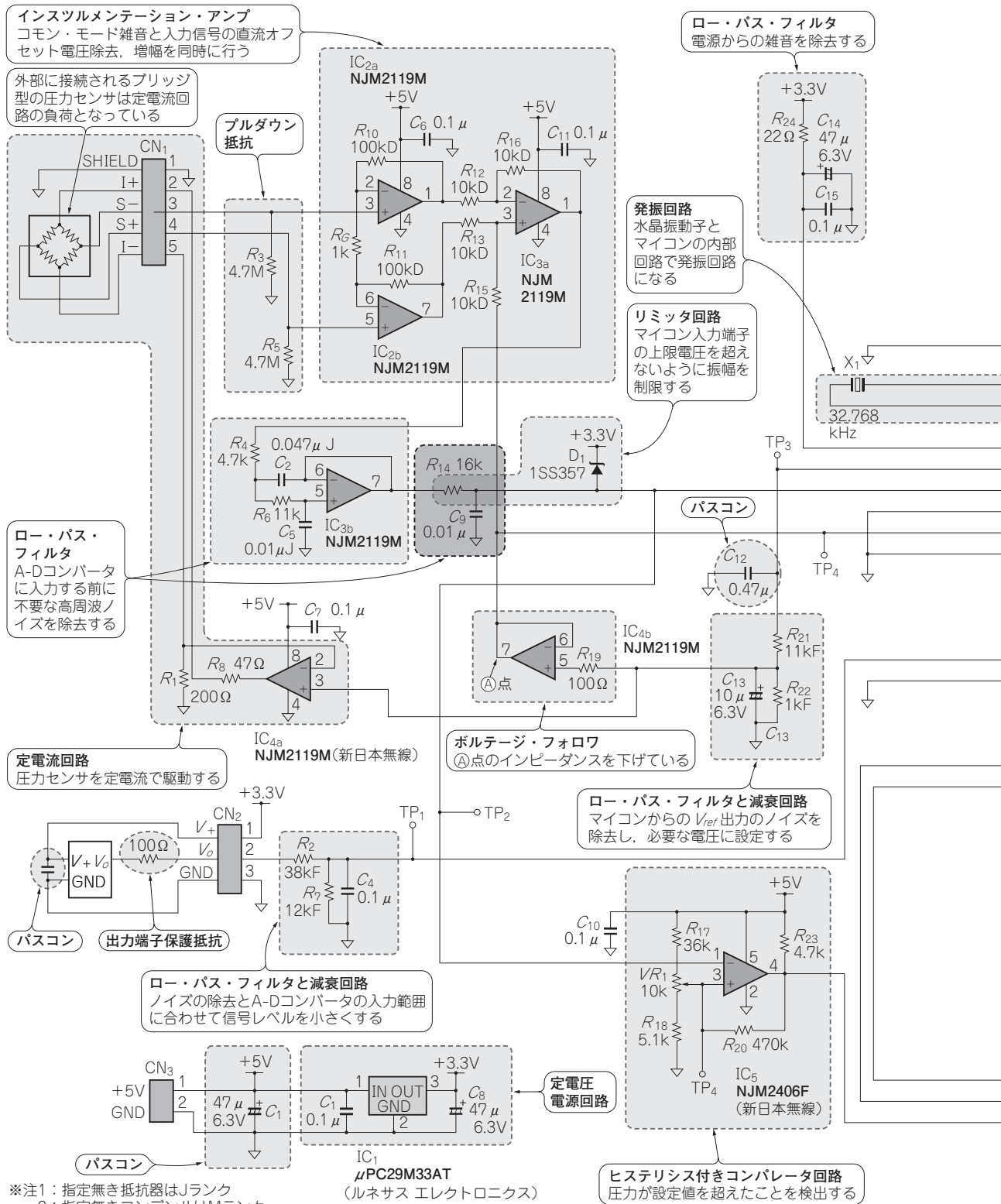
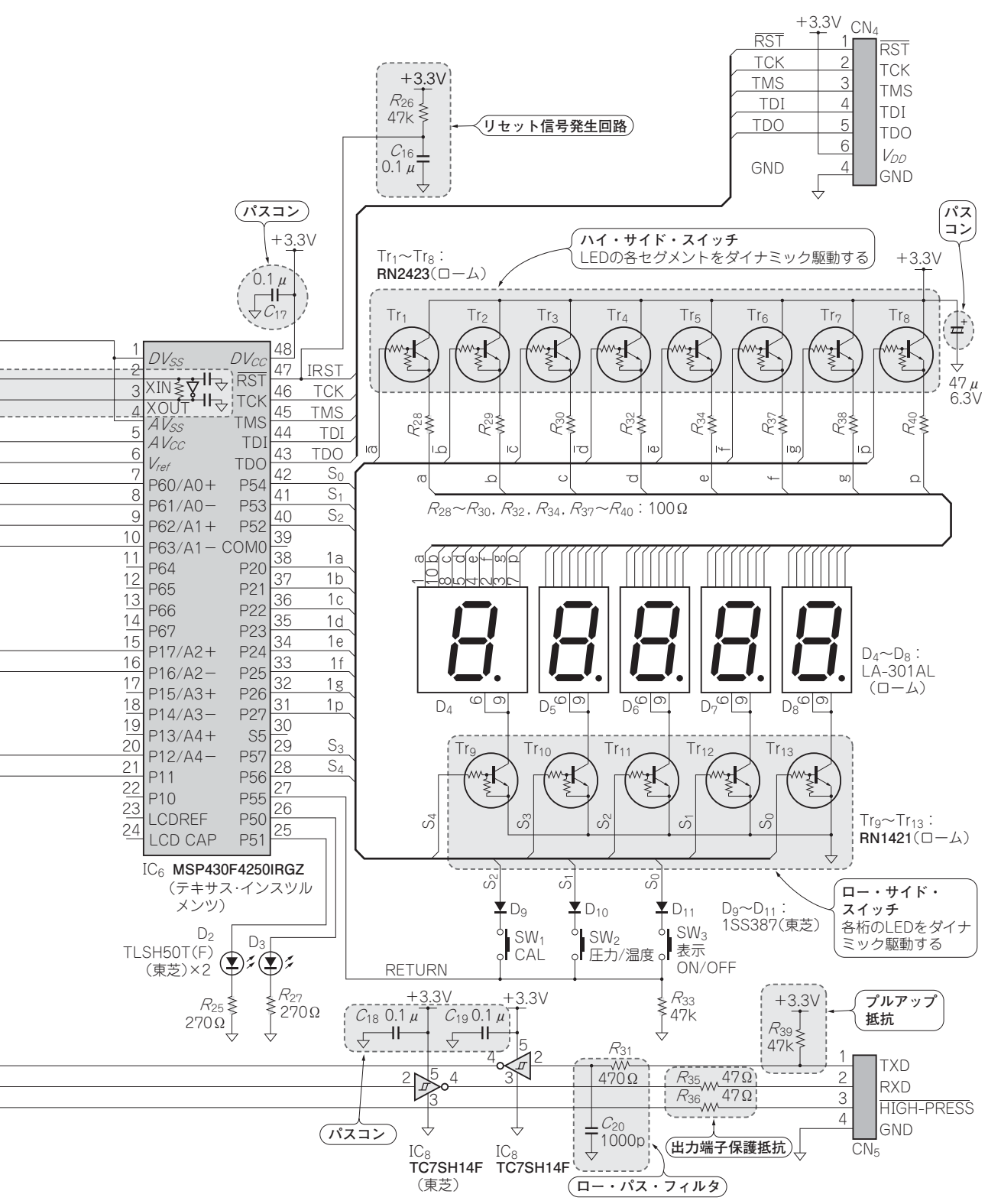


図2 図1をブロック分けした例(どんなに大きな回路も回路ブロックに分けることで全体の動作を読み解くことができる)
 回路の動作: ブリッジ型圧力センサ(ロード・セル)の差動出力と計測部の温度を測る半導体温度センサの出力をマイコンのA-Dコンバータで取り込んでいます。マイコン内部で温度処理を行った圧力データと温度データは、設定した以上の圧力になったことを表すHIGH-PRESS信号といっしょにシステム・コントローラへ転送される



● 回路をブロック分けする三つのルール

経験豊富なベテランのエンジニアは多くの回路ライブラリが頭の中に入っているの、実際の回路図とライブラリをパターン・マッチングさせていくことで、短時間で確実にブロック分けできます。

しかし、頭の中に入っている回路の数が少ないビギナが同じことをすると、かえって時間がかかってしまいます。そこで、以下ではビギナが回路をブロック分けするときに使えるとても便利な三つのルールについて説明します。

ルール① インピーダンスが大きく変わる箇所を見つけ出せ！
 要点▶ 出口と入口の波形が同じところで切つてよい。

● 低出力インピーダンス/高入力インピーダンス

回路ブロック間で信号を受け渡す箇所では、たいてい、電圧振幅の減衰や位相回転を少なくするために、出力インピーダンス(出力端子-GND間の等価的なインピーダンス)を低くし、入力インピーダンス(入力端子-GND間の等価的なインピーダンス)を高くしています。

図3は回路ブロック間の信号接続の例です。出力インピーダンス $Z_{out}(=R_{out})$ の送信側ブロックで、入力

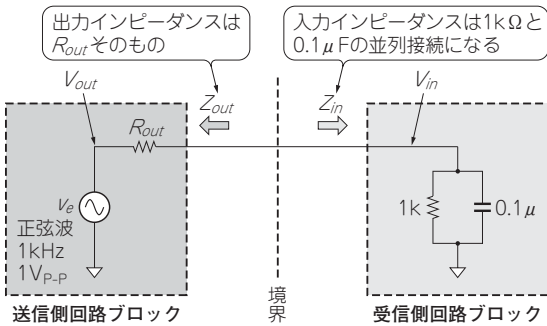


図3 ブロック間の信号接続
 信号を受け渡される回路の境界部では送信側のインピーダンスは低く、受信側の入力インピーダンスは高くなっている

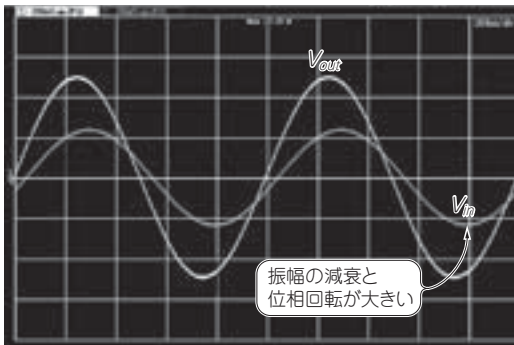
インピーダンス Z_{in} が $1\text{ k}\Omega$ と $0.1\text{ }\mu\text{F}$ の並列接続で構成される受信側ブロックを駆動しています。送信する信号 v_e は、 $1\text{ V}_{P-P}/1\text{ kHz}$ の正弦波です。

図4(a)は、 R_{out} を受信側と同じ抵抗値 $1\text{ k}\Omega$ としたときの送信波形 v_{out} と受信波形 v_{in} です。 v_{in} は、振幅が減衰して位相も回転していることが分かります。これは、 Z_{out} と Z_{in} がロー・パス・フィルタを形成するからです。

図4(b)は、 R_{out} を受信側の入力インピーダンスと比べて低い抵抗値 $100\text{ }\Omega$ としたときの送受信波形です。 v_{in} は、振幅の減衰が小さく、位相回転もたいへん小さいことが分かります。 Z_{out} をさらに低くするか、または Z_{in} をさらに高くすれば、 v_{in} の減衰と位相回転はさらに小さくなります。

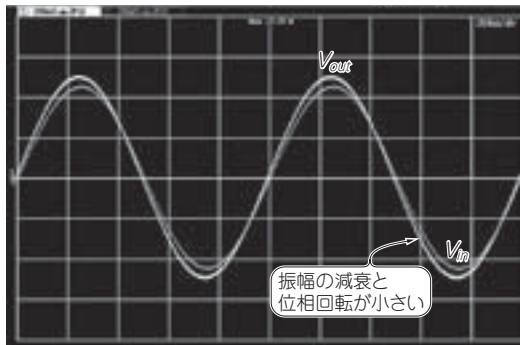
実際の回路でも、信号の送受信による振幅の減衰や位相回転を小さくするため、送信側の出力インピーダンスは低く、受信側の入力インピーダンスは高く設定されています。したがって、出力インピーダンスが低い場所、または入力インピーダンスが高い場所が回路ブロックの境界になります。

つまり、低出力インピーダンスまたは高入力インピーダンスの場所で回路を分割すればよいのです。



(a) $R_{out} = 1\text{ k}\Omega$ の場合

信号がそのままの形で伝わっていない例



(b) $R_{out} = 100\text{ }\Omega$ の場合

信号がそのままの形で受け渡された例

図4 図3の送受信波形

出力インピーダンス R_{out} が入力インピーダンス Z_{in} と同じときは送信波形に対する受信波形は減衰して位相も回転してしまう。 $R_{out} \ll Z_{in}$ のときは減衰も位相回転も小さい

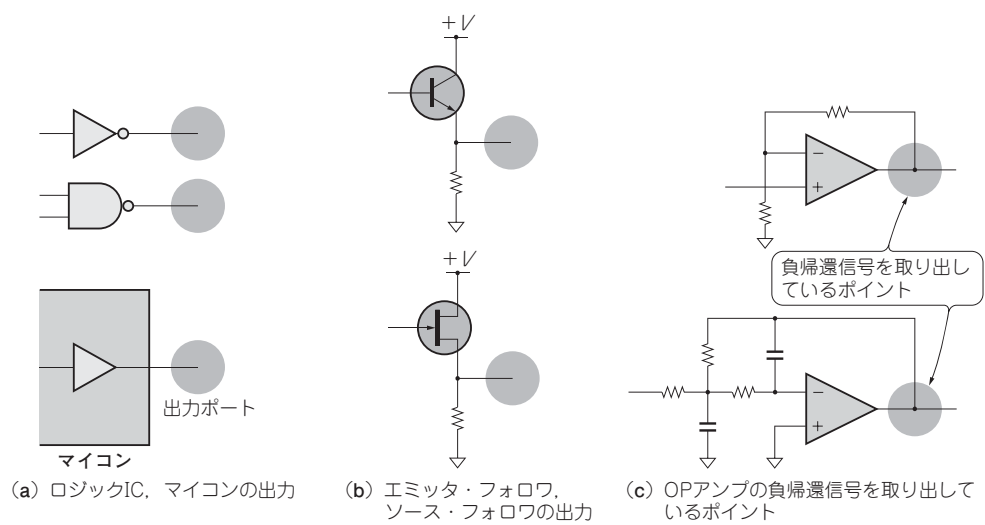


図5 低出力インピーダンスの場所
 ●は出力インピーダンスが低い場所

● 低出力インピーダンスの場所

図5は回路の中で低出力インピーダンスになる場所の例です。

図5(a)は、CMOSロジックICの出力端子やマイコンの出力ポートです。これらは、電源電圧に応じたLow/Highの論理信号を低出力インピーダンスで出力します。

図5(b)は、エミッタ・フォロワまたは、ソース・フォロワの出力です。これらの回路の出力インピーダンスは、数十mΩ～数十Ω(使用する素子や回路によって決まる)程度の低インピーダンスになります。

図5(c)は、負帰還をかけるための信号を取り出しているポイントです。このポイントは負帰還の力によ

って低出力インピーダンスになります。ここではOPアンプ回路を例として示していますが、どのような回路でも負帰還を取り出しているポイントは低出力インピーダンスになります。

● 高入力インピーダンスの場所

図6は回路の中で高入力インピーダンスになる場所の例です。

図6(a)は、CMOSロジックICの入力端子やマイコンの入力ポートです。これらの端子には電流がほとんど流れないので、入力インピーダンスはたいへん高くなります。

図6(b)は、エミッタ・フォロワとソース・フォロ

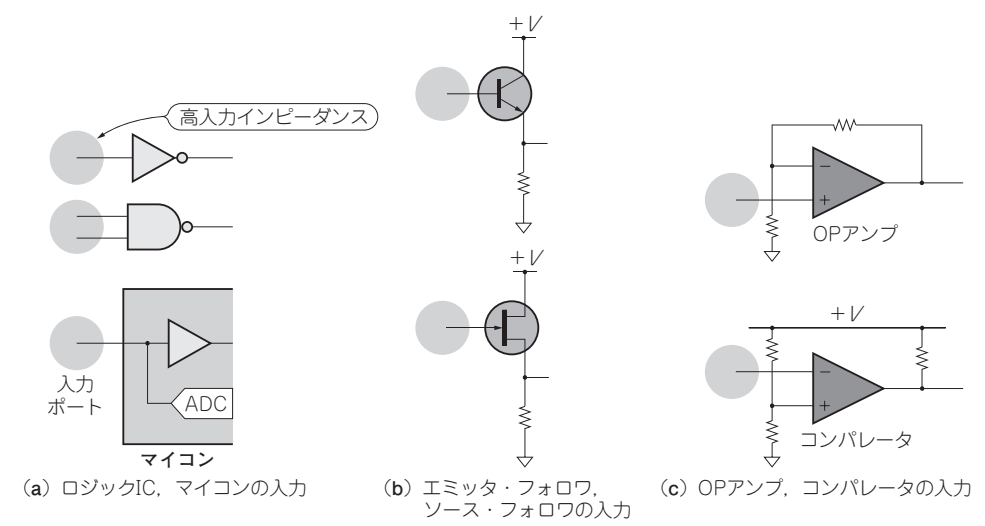


図6 高入力インピーダンスの場所
 ●は入力インピーダンスが高い場所

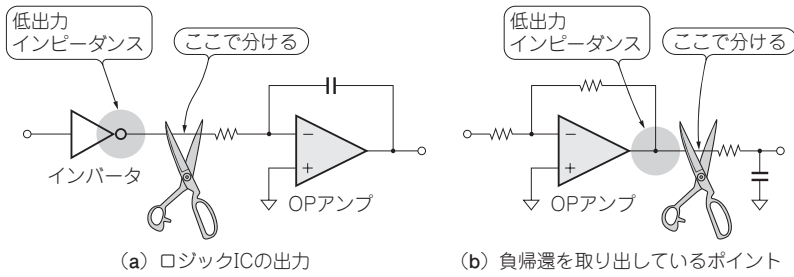


図7 ブロック分けの例①…低出力インピーダンスの場所に着目する

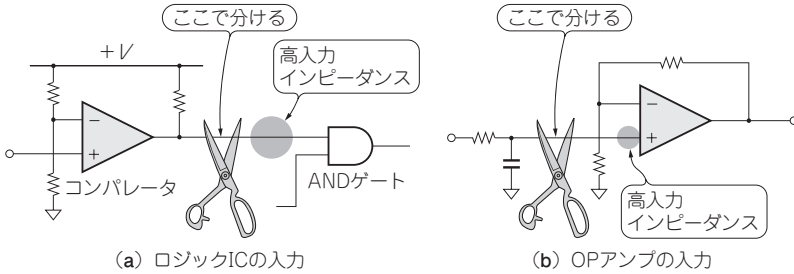


図8 ブロック分けの例②…高入力インピーダンスの場所に着目する

ワの入力です。これらの回路の入力インピーダンスは、数kΩ～数百MΩになります。

図6(c)は、OPアンプやコンパレータの入力です。これらのICの入力端子は、電圧が加わっても電流がほとんど流れません。入力インピーダンスはMΩオーダーになります。

● 実際の回路で境界を見つけてみる

図7は、回路中の低出力インピーダンスのポイントに着目してブロック分けした例です。

ロジックICであるインバータの出力、OPアンプの負帰還信号を取り出しているポイントが低出力インピーダンスになるので、その場所を回路ブロックの境目と考えます。

図8は、回路中の高入力インピーダンスのポイントに着目してブロック分けした例です。

ANDゲートの入力、OPアンプの入力が高入力インピーダンスになるので、その場所を回路ブロックの境目と考えます。

ルール②	帰還ループは分割しない
要点▶帰還ループの途中を切ってはダメ。	

● 帰還ループを含めて一つの回路ブロックと考える

回路中に帰還ループがある場合は、そのループの中に低出力インピーダンスまたは高入力インピーダンスのポイントがあっても、そこでは回路を分割しません。

信号がループ内をぐるぐる回ることによって所望の機能を実現しているので、帰還ループを切断して回路の機能を考えることができないからです。帰還ループがある場合は、そのループを含めて一つの回路ブロックとして考えます。帰還ループは、発振回路やフィルタ回路に多く見られます。

● ループのできている回路の例

図9(a)は、正弦波発振回路です。この回路でA点は高入力インピーダンス、B点は低出力インピーダンスのポイントですが、帰還ループの内部なのでこれらのポイントでは回路を分割しません。

図9(b)は、バンド・パス・フィルタ回路です。この回路ではA点、B点、C点が分割ポイントと考えられますが、いずれも帰還ループの内部にあるので、ここでは分割しないで全体を一つの回路ブロックとして考えます。

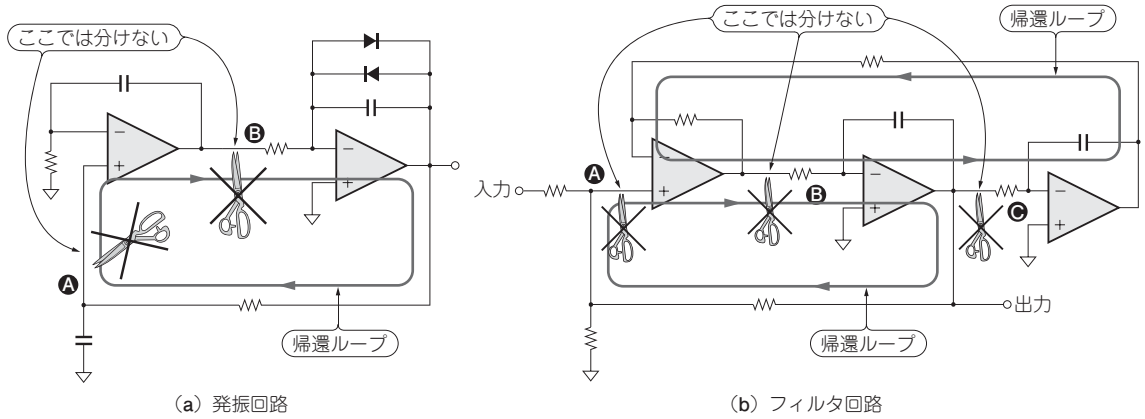


図9 帰還ループのある回路例
 帰還ループの途中では切ることができない

ルール③

複数ブロックで同じ回路を共有することがある

要点 ▶きれいに切り分けられないこともある。

部品点数を削減するため、前後する回路ブロック間で抵抗やコンデンサなどの回路素子を重複して使う場合があります。この場合、回路ブロックの一部がオーバーラップします。

図10は二つの回路ブロックがオーバーラップしている例です。ロー・パス・フィルタのブロックとリミッタのブロックが接続されていますが、直列抵抗を二つのブロックで共用しているため、この部分がオーバーラップします。

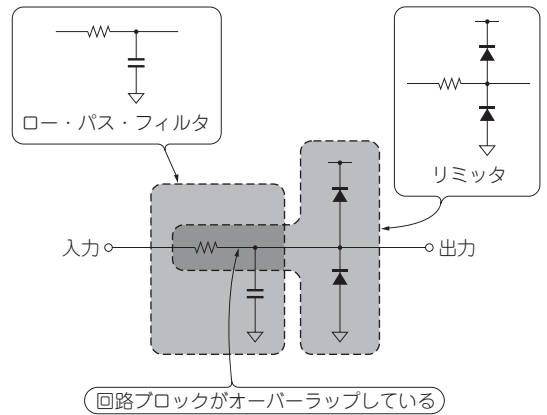


図10 回路ブロックがオーバーラップしている例
 複数回路ブロックが同じ回路を共有することがある

第1章

アンプ

信号の振幅を大きくしたり、次の回路を力強く駆動する

本章で取り上げる回路は、信号を増幅するアンプです。アンプは、その用途から小信号アンプとパワー・アンプの2種類に分けることができます。

小信号アンプは、小レベルの信号を扱うアンプで、後段の回路が扱いやすいレベルまで増幅したり、後段の回路を駆動できるインピーダンスに変換するなどの目的で使われます。小信号アンプの入力ソースはセンサや外部から伝送されてきた信号などで、出力はA-Dコンバータやフィルタ、計算用のアナログ回路、リミッタ、コンパレータ、マイコンなどに接続されます。

パワー・アンプは、出力に接続される負荷に大きな電力を供給するためのアンプです。パワー・アンプの入力ソースはD-Aコンバータやフィルタ、計算用のアナログ回路、マイコンなどで、出力はモータやアクチュエータ、スピーカなどに接続されます。

回路の素 001

ボルテージ・フォロワ

要点▶ 出力インピーダンスの高い信号源出力の受信部に使われる。入力と出力の電圧波形がまったく同じ。

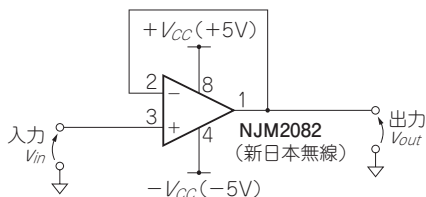


図1 回路図

計算式

電圧ゲイン $A_v = 1$ 倍

参考文献 (1), (2), (3), (5), (6), (7), (8), (23)

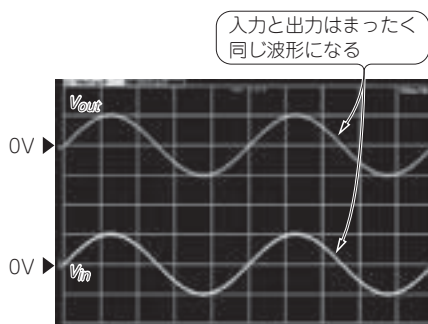


図2 入出力波形(0.5 V/div, 200 μ s/div)
入力は1 V_{p-p}/1 kHzの正弦波

● 基本形

図1は電圧ゲイン A_v が1倍の増幅器、ボルテージ・フォロワです。OPアンプ以外に抵抗などの外付け部品を必要としないシンプルな回路ですが、負帰還量が多いため、出力インピーダンスがたいへん低いという特徴があります。

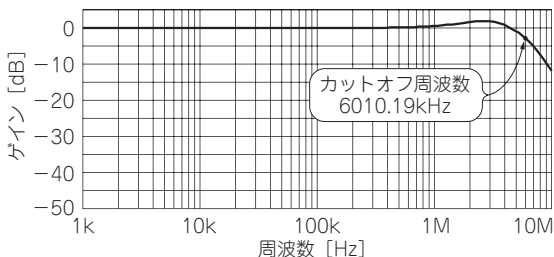


図3 図1の回路における電圧ゲイン A_v の周波数特性

▶ 動作波形

図2は1 V_{p-p}/1 kHzの正弦波を入力した場合の入出力波形です。 $A_v = 1$ なので、入力と出力はまったく同じ波形になります。

▶ 周波数特性

図3は A_v の周波数特性です。高い周波数領域の特性は、使用するOPアンプによって決まります。ボルテージ・フォロワは、種々のアンプの中でもっとも広帯域な(周波数特性が高い領域まで伸びる)回路です。

● 改良またはアレンジされた回路の例①

図4はコンデンサを含む容量性負荷を駆動する回路です。

出力直列抵抗 R_{out} でOPアンプの出力端子と容量性負荷を分離して、回路の動作を安定化します。入力直列抵抗 R_{in} は、入力部の配線による浮遊容量やインダ

要点 ▶ 減衰率 20 dB/dec の低域通過型。シンプルな回路構成。低周波から高周波まで使われる。

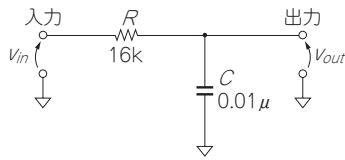


図1 回路図

計算式

- カットオフ周波数 $f_c = \frac{1}{2\pi CR}$ [Hz]
- 通過域の電圧ゲイン $A_{vp} = 1$ 倍

参考文献 (10), (14), (15), (16), (17)

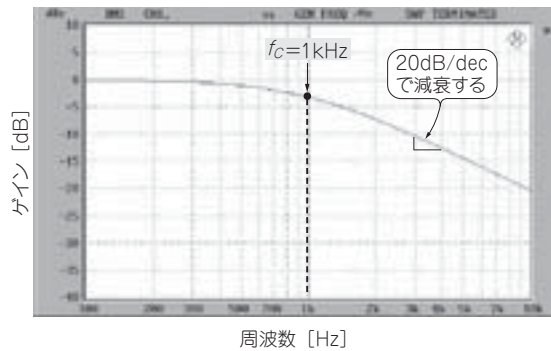
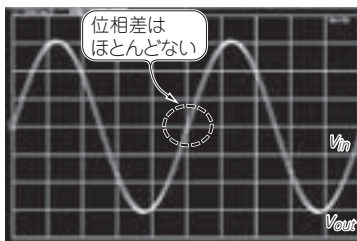
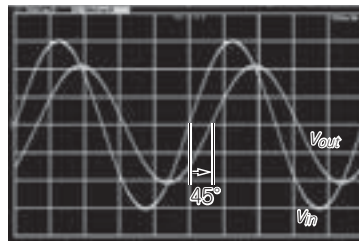


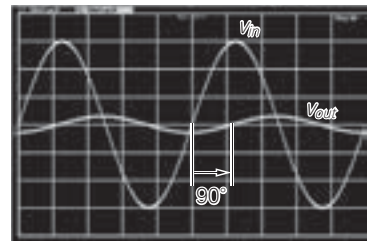
図2 電圧ゲインの周波数特性



(a) 100Hz(2ms/div)



(b) 1kHz(200μs/div)



(c) 10kHz(20μs/div)

図3 入出力波形(0.5 V/div)

入力は $3V_{p-p}$ の正弦波

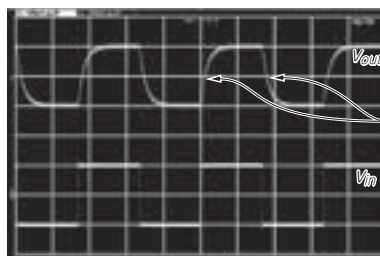


図4 方形波応答
(0.5 V/div, 1 ms/div)
入力は $1V_{p-p}/300\text{Hz}$ の
方形波

● 基本形

図1は、電源を必要としないシンプルなロー・パス・フィルタ回路です。カットオフ周波数 f_c は C と R で決まり、 C または R の値が大きいほど f_c が低くなります。通過域の電圧ゲイン A_{vp} は1倍 (= 0 dB) です。

▶ 周波数特性

図2は電圧ゲインの周波数特性です。 f_c は 1kHz ($\approx 1/(2\pi \times 0.01\ \mu\text{F} \times 16\ \text{k}\Omega)$) です。 f_c より高い周波数を20 dB/decの傾きで減衰(周波数が10倍になると振幅が1/10になる)させる1次ロー・パス・フィルタ特性です。

▶ 動作波形

図3は $3V_{p-p}$ の正弦波を入力した場合の各周波数に

おける入出力波形です。通過域の100 Hzでは、出力振幅の減衰はほとんどなく、入出力の位相差もほとんどありません。カットオフ周波数の1 kHzでは、出力は入力の約0.7倍(-3 dB)に低下し、位相が45°遅れます。減衰域の10 kHzでは、出力は約0.1倍(-20 dB)に低下し、位相が約90°遅れます。

▶ 方形波応答

図4は $1V_{p-p}/300\text{Hz}$ の方形波を入力した場合の入出力波形です。ロー・パス・フィルタに方形波を入力すると、出力の立ち上がり/立ち下がり部分がなまって緩やかになります。1次ロー・パス・フィルタは、出力の立ち上がり/立ち下がり部分にオーバーシュートや振動が発生しないことが特徴です。

第4章

電圧-電流/電流-電圧変換

電圧から電流,電流から電圧へ信号の形を変える

一般的な電子回路では、扱う信号をオシロスコープで観測できるような電圧のカタチで扱います。しかし、一部の用途ではオシロスコープの電流プローブやテストの電流レンジでなければ観測できない電流のカタチで信号を扱う場合があります。電圧-電流/電流-電圧変換回路は、信号のカタチを相互に変換する回路です。

電圧-電流変換回路はセンサやアクチュエータの駆動などに使われます。電流-電圧変換回路はフォト・ダイオードのような電流出力型センサや電流出力型D-Aコンバータなどの出力を受ける回路として使われます。

回路の素 040

電圧-電流変換 反転アンプ型

要点 ▶ アクチュエータやセンサなど接地した負荷を電流駆動できる。入力電圧が正のとき出力電流を負荷から吸い込む。

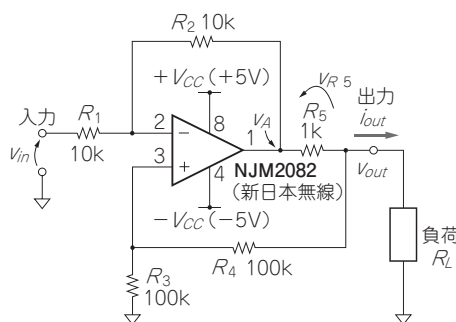


図1 回路図

計算式

$$\text{出力電流 } i_{out} = -\frac{R_2}{R_1 R_5} v_{in} \text{ [A]}$$

ただし、 $\frac{R_4}{R_3} = \frac{R_2}{R_1}$ とする

※ i_{out} の極性は負荷へ流出する方向をプラスとする

参考文献 (5), (6), (23)

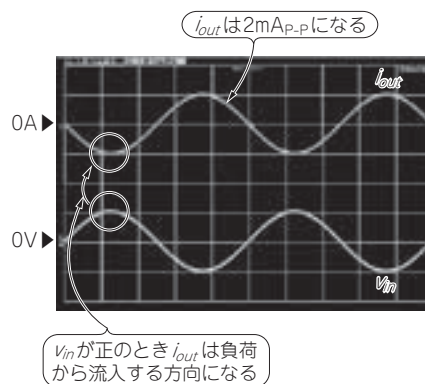


図2 入出力波形 (v_{in} : 1 V/div, i_{out} : 1 mA/div, 200 μ s/div)
入力 は 2V_{p-p}/1kHz の正弦波

● 基本形

図1は入力電圧に比例した電流を出力する電圧-電流変換回路です。OPアンプを反転アンプの形で使っているので、入力 v_{in} が正電位のとき出力 i_{out} は負荷から流入する方向になります。

この回路は、OPアンプ出力の直列抵抗 R_5 に v_{in} に比例した電圧を発生させることで i_{out} の大きさが決まります。そのため、 i_{out} は出力端子に接続した負荷の影響をまったく受けません。 i_{out} の大きさは $R_4/R_3 = R_2/R_1$ とすると、 v_{in} と R_1 , R_2 , R_5 によって決まります。

▶ 動作波形

図2は 2V_{p-p}/1 kHz の正弦波を入力し、負荷 R_L を 1 k Ω とした場合の入出力波形です。 i_{out} は 2 mA_{p-p} (= 10 k Ω / (10 k Ω × 1 k Ω) × 2 V_{p-p}) で、 v_{in} が正のときに負荷から流入する方向になります。

図3は 2V_{p-p}/1 kHz の正弦波を入力し、 R_L を変えた場合の各部の動作波形です。負荷の大きさが変わってもOPアンプの出力電圧 V_A と回路の出力電圧 v_{out} が変化して、 R_5 両端の電圧 V_{R5} を一定にするように動作します。このため、 i_{out} は R_L の影響をまったく受けません。

●回路図を読もうとすると、部品が複雑に絡まりあっていて、どこからどう読めばよいのかわかりません。でも、あせりは禁物です。どんなに大きい回路図も、小さな「回路の素」の集まりです。そして回路の素の動作はシンプルなものです。

●本書では、プロのエンジニアが頭の中にしてある101個の回路の素を、波形や計算式とともに紹介します。

ISBN978-4-7898-4530-4

C3055 ¥2400E

CQ出版社

定価：本体2,400円（税別）



9784789845304



1923055024007


見本

このPDFは、CQ出版社発売の「回路の素101」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/45/45301.htm>

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

 **ライブラリ・シリーズ**
てっとり早く答えが見つかる

回路の素 101

パターン・マッチングで読み解く!

