

実務
教科書
「学ぶ」を応援!

トランジスタ技術
SPECIAL 増刊



基本

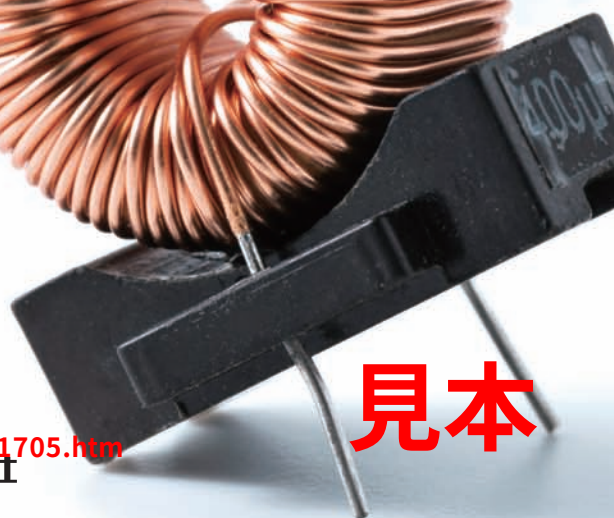
IoT時代の
答えが見つかる



電子部品 大事典

回路の製作や実験に役に立つ

編著 宮崎 仁

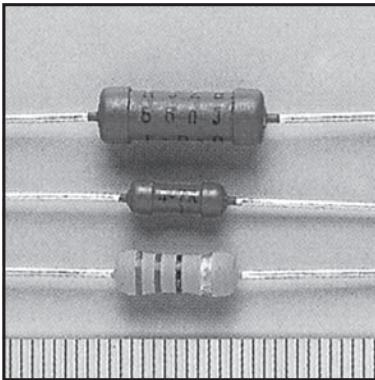


ご購入はこちら。

<http://shop.cqpub.co.jp/hanbai/books/MSP/MSPZ201705.htm>

CQ出版社

見本



第1章

抵抗器の大分類

とりあえずの汎用/実験用から超小型、精密品、パワー用まで

● 抵抗の大分類

主な抵抗器の分類を図1に示します。抵抗器には機能や形状、抵抗体材質、用途の組み合わせにより、さまざまなものがあります。

機能としては、回路の中に組み込まれて使われる**固定抵抗器**、回路の微調整に使われる**半固定抵抗器**、ラジオのボリュームのように抵抗値を変えて使われる**可変抵抗器**などがあります。

固定抵抗器の形状には、リード線を持つ**リード付きタイプ**と持たない**面実装タイプ**があります。さらに、面実装タイプは**角形**と**円筒形**に分けられます。そのほか封止材質により、**樹脂モールド・タイプ**、**セラミック・ケース・タイプ**などがあります。

抵抗体材質では、**炭素皮膜**(通称、カーボン)、**ニクロム**を主体とした**金属皮膜**(通称、キンピ)、**酸化金属皮膜**(通称、サンキン)、酸化金属とガラスのコンポジットである**メタル・グレーズ**などの皮膜タイプと、金

属板や金属線、金属箔を用いたもの、酸化金属セラミックスを用いた**ソリッド・タイプ**などがあります。

そして用途では、**抵抗値許容差**や**温度特性**が高精度なもの、**高電圧**や**サージ**(異常な高電圧)に強いもの、**温度**により抵抗値が変わるもの、**ヒューズ機能**を併せ持つものなどがあります。抵抗器を使用する際には、これらの組み合わせの中から目的に合わせて、またコストも考慮して選ばなくてはなりません。

① 固定抵抗器

主な固定抵抗器の特徴は次のとおりです。

● 角形チップ固定抵抗器

抵抗体は**メタル・グレーズ皮膜**と**金属皮膜**に大別できます。メタル・グレーズ皮膜は耐環境性に優れており、金属皮膜は**抵抗値許容差**や**抵抗温度係数**、**電流雑**

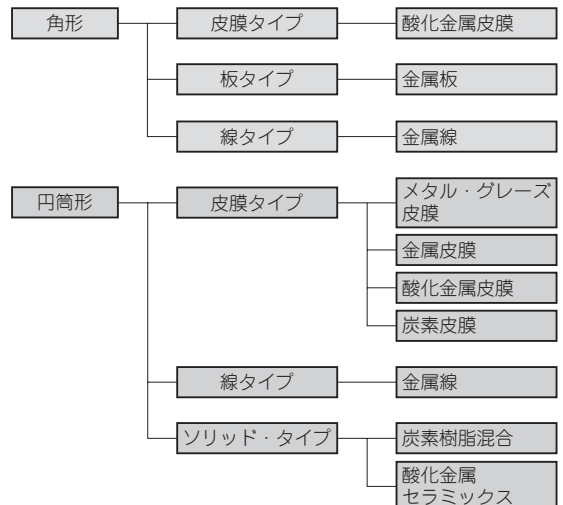
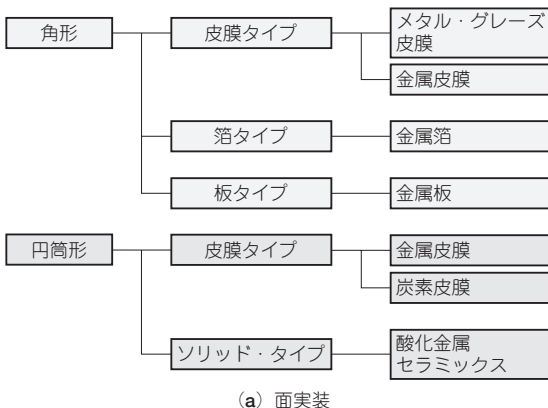


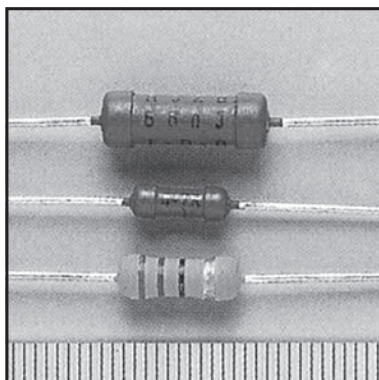
図1 主な固定抵抗器の分類

(b) リード付き

第2章

一番よく使う
チップ抵抗器のいろいろ

小型/低コスト/多種類/高周波特性向きなど



● チップ抵抗とは…

表面実装タイプのチップ抵抗が登場してから約30年になります。その間に機器の小型化に伴って電子部品の表面実装化が進み、今では抵抗器も表面実装が主流になっています。外観を写真1に示します。

チップ抵抗は、目的や用途に合わせたさまざまなタイプが開発されています。その性能を十分に引き出すためには、抵抗器個々の特徴を理解して使うことが大切です。

大分類と実装の基礎

■ 分類

チップ抵抗の分類を表1に示します。チップ抵抗は、

形状や抵抗体のタイプ(材質)、外装(封止)などで分類されます。本章では特に明記しない限り抵抗とは固定抵抗器を指します。

● 角形チップ・タイプ

通称角チップと呼ばれる角形チップ抵抗と、メルフ(MELF)と呼ばれる円筒形チップ抵抗に分けられます。角形チップ抵抗のサイズは0402(0.4mm×0.2mm)、0603、1005、1608、2012、3216、3225、5025、6432などが規格化されています。1005サイズは民生機器に、1608サイズは民生機器から産業機器、車載機器など広範囲に使われています。0402、0603サイズは特に小型の携帯機器を中心に使われています。

円筒形チップ抵抗は、リード付き抵抗器のリード線を取り除いた形で、金属のキャップが電極になってい

表1 形状や抵抗体による抵抗器の分類

形 状	抵抗体タイプ	主な用途	抵抗体材質	外 装
角形	皮膜	汎用	メタル・グレーズ膜	樹脂塗装またはガラス膜
		高精度	金属膜	樹脂塗装
	はく	電流検出	金属はく	樹脂モールド
	板		金属板	樹脂塗装、樹脂モールド、セラミック・ケース
円筒形	皮膜	汎用	炭素膜	樹脂塗装
		高精度	金属膜	
		高耐圧	酸化金属膜	セラミック・ケース
	ソリッド	耐パルス、耐サージ	酸化金属セラミックス	樹脂塗装



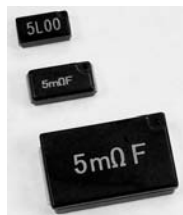
(a) 角形チップ抵抗



(b) 円筒形チップ抵抗



(c) 金属板タイプ



(d) 樹脂モールド・タイプ



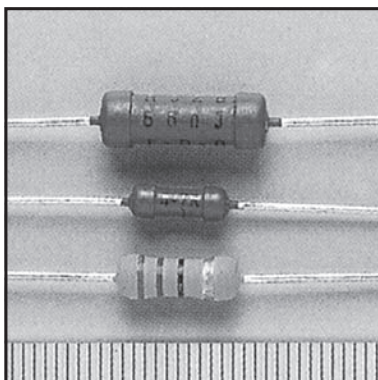
(e) セラミック・ケース封入タイプ

写真1 抵抗器の形状の違い(KOA)

第3章

実際の抵抗器の
定数と組み合わせ方

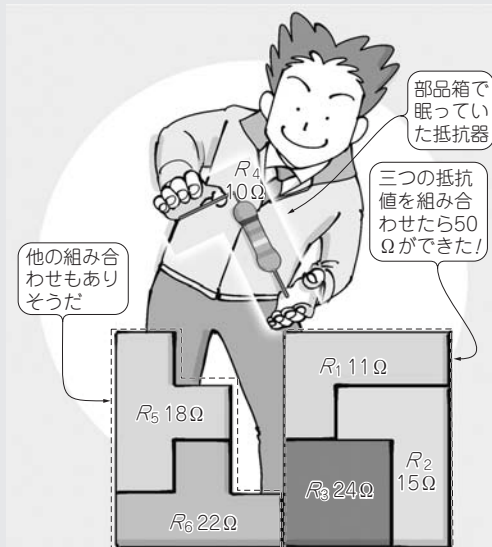
アンプやアッテネータのゲインや精度を狙いどおりに



電子回路の抵抗値やコンデンサの容量値としてどのような値を取りそろえるかは、JIS(Japanese Industrial Standards)で規格化されています。これをE系列またはE標準数と呼びます。各メーカーもそれに合わせて製品を作っています。

回路設計でE系列にない値を選ぶと、実際に回路を作るときに部品が見つけれられません。けれどもE6列などメジャーな系列を選べば、在庫部品の種類を減らせます。

E系列を知って使いこなすのは、電子技術者の第一歩と言えます。

2.2Ω, 82Ω, 47kΩ…
抵抗器の値の由来

■ 1～10の間を等比数列でばらしてある

抵抗 R 、コンデンサ C の値は、 $10^{1/3} \approx 2.2$ を基本とした等比数列であるE標準数に従って作られています(図1)。

もともと、抵抗値や容量値は1, 10, 100…, というように10倍刻みで等間隔に並んでいると便利です。さらに1と10の間, 10と100の間…, を等間隔に分割しようとする、対数目盛りで考えることが必要です。

1と10の間を分割するために、2と5に目盛りを取ることを考えてみます。1に対して2は2倍、5に対して10は2倍なので、対数目盛り上では、1と2の間、5と10の間は同じ距離です。2に対して5は2.5倍なので、2と5の間だけ距離がちょっと離れますが、ほぼ三つに分割できています。可変抵抗の値などには、1, 2, 5, 10の系列も使われています。

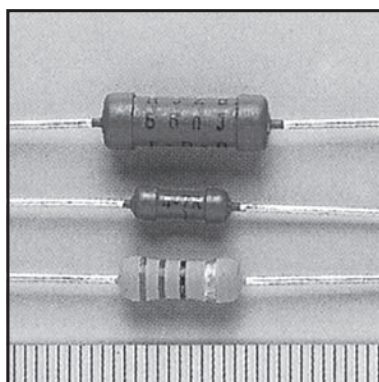
● 1から10の間を等間隔に分割したE3列, E6列, E12列, E24列

E標準数は、1と10の間をもっと細かく等間隔に分割します。まず、 $10^{1/3} \approx 2.2$, $10^{2/3} \approx 4.7$ によって大きく3等分し、さらに2等分を繰り返していきます。1と $10^{1/3} \approx 2.2$ の間は $10^{1/6} \approx 1.5$, $10^{1/3} \approx 2.2$ と $10^{2/3} \approx 4.7$ の間は $10^{3/6} \approx 3.3$, $10^{2/3} \approx 4.7$ と10の間は $10^{5/6} \approx 6.8$ となります。これは、1と10の間を6等分したもので、E6列と呼びます。中間をさらに2等分していけばE12列, E24列などができます。

■ 等比数列の計算値を調整して現実合わせ

E3列～E24列は、すべて2桁の数で表されます(図2)。これは、 $10^{m/n}$ に近い2桁の値を選んだものですが、最も近い値ではない部分があります。

見本



第4章

電子回路の性能を引き出す 上手な抵抗器の選び方

パワー回路/計測回路から
RF/インターフェース回路まで

表1 使う前に必ずチェック! 抵抗の主要パラメータ

目的に応じて考慮しなければならないパラメータはさまざま。内容をおさえてエレキの性能をアップさせる

用途	項目	単位	説明	備考
① 電力回路	定格電力	W	定格温度で連続的に消費できる電力の最大値	定格温度以上では低減が必要
	カテゴリ温度範囲	℃	連続使用できる周囲温度範囲。消費電力によらずこの範囲を超えて使用することはできない	上限だけでなく下限温度もある
	定格温度	℃	定格電力を加えて連続使用できる抵抗周囲温度の最高値	個別規定がない場合は70℃
	軽減曲線	%	連続して消費できる電力の最大値と周囲温度の関係を示す曲線。通常は定格電力との比率で表す	定格電力は定格温度以上で直線的に軽減される
	素子最高電圧 (最高使用電圧)	V	連続して加えることができる直流電圧または商用周波数の交流電圧の実効値	瞬間的に加わる素子最高電圧以上の仕様は耐パルス・サージ・ESD特性などで規定される
	耐パルス特性	—	素子最高電圧や定格電力を超えるパルス波形にどこまで耐えられるかを表す指標	JIS C5201-1の試験のほかに限界電力曲線で表す場合もある
② 高精度計測回路	抵抗値許容差	%	公称抵抗値に対する偏差の許容値	許容差によってほかのパラメータも変わることが多い
	抵抗温度係数	ppm/K	規定の温度間における単位温度当たりの抵抗値変化率	温度に対する変化率が一定とは限らない
	抵抗電圧係数	%/V	規定電圧の10%と100%を加えたときの抵抗変化率。規定電圧は定格電圧または素子最高電圧のいずれか小さい方	消費電力による温度変化で発生する温度係数は含まれない
③ インターフェース回路	耐サージ特性	—	パルス波形を加えた後の抵抗値変化が、規定の範囲に入るための限界値	限界電力曲線で表されることが多い
	耐ESD特性	—	人体モデルやマシン・モデルで静電気を加えた後の抵抗値変化率ESD限界電圧などで表されるときもある	抵抗でのエネルギー消費の関係から10k~100kΩが抵抗値変化の影響を受けやすい
④ 広帯域回路	周波数特性	—	終端用抵抗のときはVSWRやリターン・ロスで規定。シャント用低抵抗では直列インダクタンス成分で規定	汎用抵抗ではあまり規定されていない

● 抵抗のパラメータ

表1はトラブルの原因になりやすい抵抗の主要なパラメータです。電力回路、高精度回路、外部接続回路、広帯域回路など用途に応じて分類しています。

電子部品としては比較的古い歴史のある抵抗ですが、技術の進歩や国際規格との整合性などから最近でも規格は改定されています。本章に記載していること以外にも、ヒートシンクや取付金具のある抵抗における端子との絶縁抵抗や絶縁電圧、巻き線抵抗を想定したりアクタンス、雑音などいろいろなパラメータがあります。

① 電力回路

● 要点① 条件次第で上限まで使ってよいとは限らない「定格電力」

定格電力は、定格温度において、その抵抗で連続消費できる最大電力です。定格温度は特に規定がなければ通常は70℃です。

ここで気を付けなければならないのは、抵抗周囲の温度です。写真1のように周りに何もなければ問題ありません。しかし、写真2のように電圧降下を

第5章

抵抗器の
やっちゃった伝説集

地雷はいっぱい!
ちょっとした気配りがあなたを救う

■ バックアップ電源に プルアップ抵抗は禁物

● リチウム・コイン電池が1年もたない

図1に示すのは、スリープ・モードでリチウム・コイン電池(BT₁)によるバックアップ電源に切り替える回路です。

メイン電源がONすると、IC₁が“H”となり、Tr₁とTr₃がONして、+5Vの電圧がTr₁を通じてマイコンに供給されます。BT₁の電圧はTr₂によって遮断されています。メイン電源がOFFすると、IC₁の出力は0V、Tr₃はOFF、Tr₁はOFF、そしてTr₂がONになって、BT₁の出力がマイコンに供給されます。

図1の回路は次のような問題点をはらんでいます。

- ①メイン電源 OFFでBT₁が1カ月もたない
- ②メイン電源 OFFの状態でBT₁を交換すると、勝手にマイコンが起動して1日でBT₁がなくなる
- ③スリープ・モードに移行する前にリセットがかかる

③の不安定要因は電解コンデンサC₂にあります。リチウム・コイン電池は内部抵抗が大きいので、容量の大きいコンデンサを接続すると立ち上がりが遅くなり、

バックアップ・モードに移行する間に電源がいったん0Vに落ちてしまいます。

● 原因と対策

BT₁が消耗する原因は、R₅やR₆などのポートのプルアップ抵抗がバックアップ電源につながっているからです。スリープ・モードでは、ポート回路はアクティブではなくR₅やR₆のプルアップ抵抗には電流が流れます。図2のようにバックアップ電源とプルアップ用の電源を区別します。プルアップ抵抗は、すべてメイン電源(+5V)に接続します。IC₃は、リセット電圧をBT₁の電圧以下に設定し、バックアップ移行時にリセットが掛からないようにします。IC₂は、BT₁交換時にバックアップに入らないようにするために必要です。

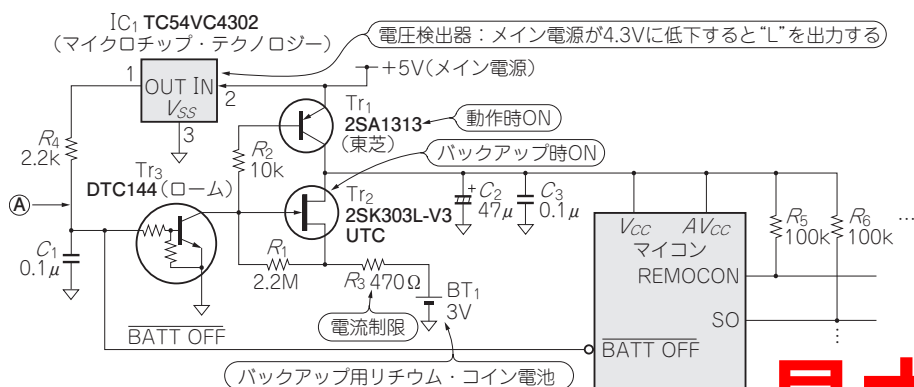
〈漆谷 正義〉

■ CMOS ロジックの入力を V_{CC}/2で安定させてはいけない

● 微小に変化する信号をロジック・レベルに変換

微小なアナログ信号でCMOSロジック・カウンタなどを駆動するときには、図3に示すような回路を利

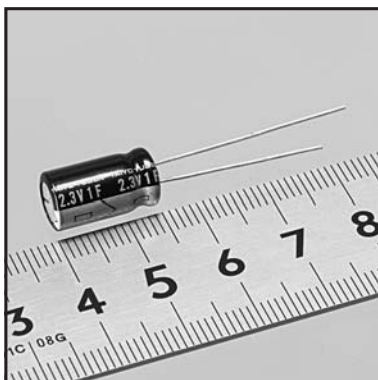
図1
メイン電源(+5V)をOFFするとマイコンに供給される電源がバックアップ電源に切り替わる回路



第1章

電気をためる基本部品 「コンデンサ」のふるまいと性質

相手の気持ちになって上手に使いこなそう



電気をためる部品コンデンサ

キャパシタ (capacitor) は日本では一般にコンデンサ (condenser) と呼ばれています。本章では英語の capacitor のカナタナ表記のキャパシタとなるべく表記します。

■ 基本特性

● キャパシタはバケツ！ 水を入ると水位が上がる

キャパシタの動作イメージを図1に示します。図1ではキャパシタをバケツで表しています。ピーカーや水筒など水を入れる容器であれば、イメージは伝わると思います。

水を入ると水位が上昇し、水量に細かな変動があっても水位はそれほど変動しません。これがキャパシタの基本動作です。

大小サイズの違うバケツに同じ水量の水を入れた場合、流れ込む水量が同じならば、小さいバケツのほうが、より短い時間でバケツの水位は上昇します。

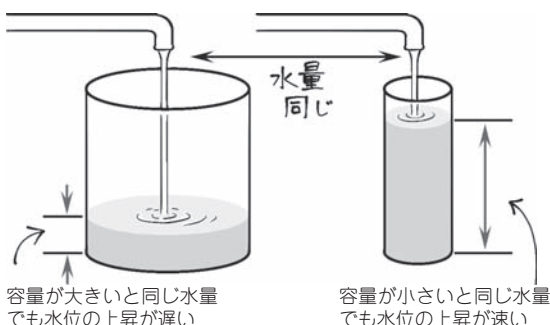


図1 キャパシタ(コンデンサ)は…電気をためるバケツ！

● 電気だと…流れ込んだ電流の総量に比例して電圧が徐々に上がる

今度はキャパシタの動作のイメージを、電気に置き換えてみましょう。水量をキャパシタの電流、水位をキャパシタの電圧と置き換えます。

バケツには水が注がれ、その結果、水がたまっていく、という様子を数式で示してみます。キャパシタ電流 I_C 、キャパシタ電圧 V_C 、キャパシタの容量つまりキャパシタンスを C とすれば、次のように書けます。

$$V_C = \frac{1}{C} \int I_C dt \dots\dots\dots (1)$$

キャパシタに電流 i が流れると、キャパシタ電流 I_C が積分され、キャパシタ電圧 V_C が徐々に増加します。キャパシタンス C が大きいとキャパシタ電圧 V_C の変化は緩やかで、キャパシタンス C が小さいとキャパシタ電圧 V_C の変化は速くなります。

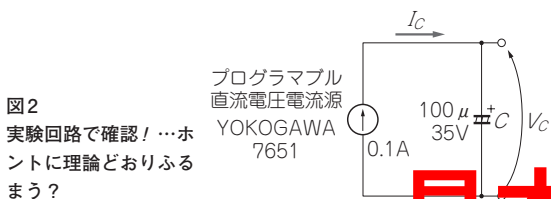
● 実験解説！ ホントに理論どおり振る舞う？

さて本当に式(1)のようになるのでしょうか、簡単な実験で確認してみました。実験回路は図2です。DC電流源を用意して $100 \mu\text{F}$ の電解コンデンサを充電してみます。

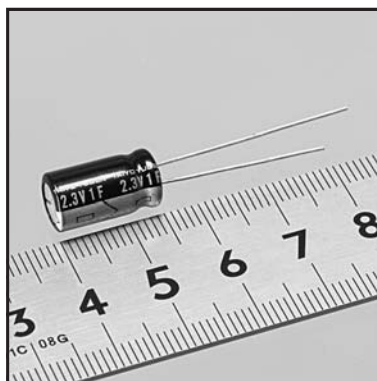
このとき式(1)は、キャパシタ電流 I_C がDC、つまり一定の値であるので簡単に積分計算ができます。

$$V_C = \frac{I_C}{C} t \quad \because I_C = \text{DC (一定)} \dots\dots\dots (2)$$

式(2)は、キャパシタを一定なDC電流で充電すると、



見本



第2章

よく使うコンデンサ① 積層セラミック・コンデンサ

半導体/誘電体/圧電体/焦電体/絶縁体/透光体/
磁性体など

基礎知識

■ あらまし

● 小型・大容量化している

近年、積層セラミック・コンデンサの静電容量増大は目覚しく、特に1990年代後半からの小型大容量化の流れは、ムーアの法則*に匹敵するほどのハイペースです。1980年代には単位体積当たりの静電容量がタンタル電解コンデンサの約10分の1でしたが、2000年には100 μF の大容量品を量産できるようになり、図1に示すように積層セラミック・コンデンサの静電容量体積比はタンタル電解コンデンサの約2分の1までに縮まっています。

この流れとともに積層セラミック・コンデンサは、すべての電子機器に搭載されているといっても過言ではないほど普及してきました。そして生産数量では、図2に示すように電子機器用コンデンサ全体の80%以上を占めるに至っています⁽¹⁾。

この市場拡大は、積層セラミック・コンデンサの電気的特性、信頼性の高さが市場に認められた結果であり、今後のより一層の拡大が期待できます。

積層セラミック・コンデンサは、電解コンデンサなどとは異なった電気的特性を示すため、性能を100%引き出すには、その特徴をよく理解して使用することが必要です。ここでは、積層セラミック・コンデンサの長所を最大限に発揮するための電気的特徴や取り扱い方法について解説します。

● 位置付け

今日、電子機器で主として使用されているコンデンサには、積層セラミック・コンデンサのほかに、タンタル電解コンデンサ、アルミ電解コンデンサ、フィルム

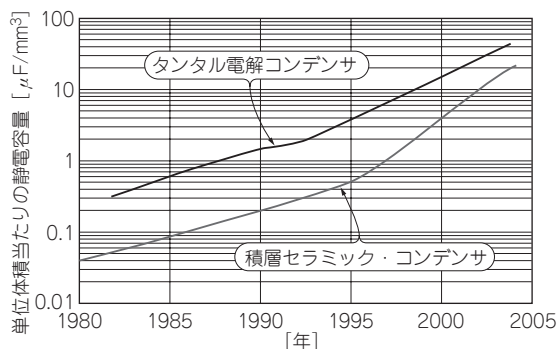


図1 積層セラミック・コンデンサとタンタル電解コンデンサの静電容量体積比

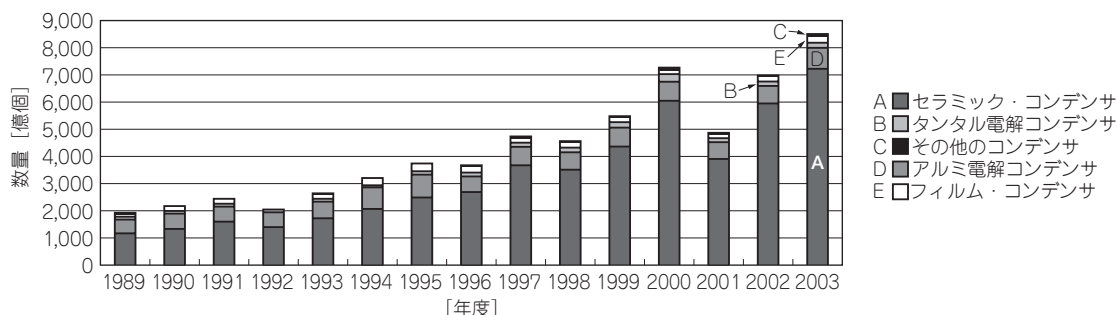


図2 世界の電子機器用コンデンサの生産状況 (World Capacitor Report/EIA Market Research)

第7章

トラブル対策集

極性/容量から使い所まで

電解コンデンサの極性を逆にして使ってはいけない

● 電解コンデンサの逆接は発見が難しい

多くの回路設計者は、電解コンデンサの耐圧については注意されても「電解コンデンサの極性を間違っ

てはいけない」とはあまり言われないでしょう。当たり前すぎるからです。しかし事故は実際に起こります。

私が愛用しているDVDプレーヤで、電解コンデンサ

の逆接続を発見したことがあります。そして実際に購

入してから1年くらいで不具合の症状が出始めました。

このように、電解コンデンサの逆接による不具合の

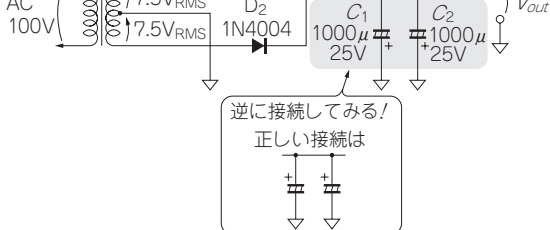


図1 電源回路の電解コンデンサの極性を逆に接続すると何が起きる？(C₁とC₂の極性を逆にして電源を投入)

症状はたいていすぐには出ません。ですから、入念な確認作業をしている大メーカーの品質管理部門でもたやすくパスしてしまうのです。

● 電解コンデンサは逆接でも動いてしまう!?

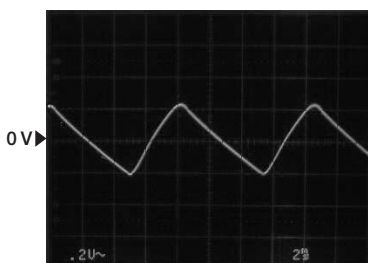
では図1に示す電源回路の電解コンデンサをわざと逆につないでみましょう。

電源投入初期はかなり発熱しますが、爆発するようなことはありません。写真1(a)に示すように、出力電圧(V_{out})に含まれるリプル電圧がかなり大きい状態(400 mV_{p-p})ですが、コンデンサとしてはある程度機能します。電解コンデンサを正しい方向に接続した場合のリプル電圧は1 mV以下です。

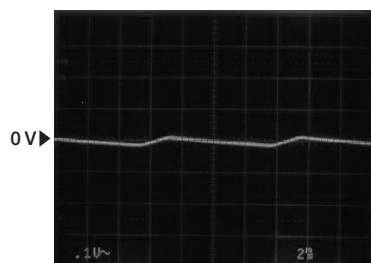
写真1(b)に示すのは、エージング後(1時間経過後)のリプル波形です。発熱は30分くらいで収まり、1時間経過するとリプルは20 mVまで小さくなります。

このあとは1年くらい経過してから、電解コンデンサの正電極と負電極間の絶縁不良が起きたり、最悪の場合は短絡したりします。

図2に示すのは、逆接した電解コンデンサに流れる電流(リーク電流)を実測した結果です。発熱は30分ほどで収まり、1時間経過後はリークは1 mA以下になります。このあとの寿命は1年以下と考えられます。

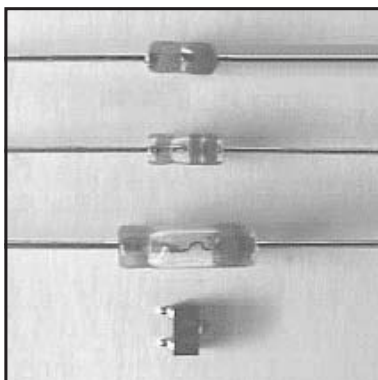


(a) 初期(200 mV/div.)



(b) エージング後(100 mV/div.)

写真1
実験回路(図1)の出力電圧リプルの時間変化(2 ms/div.)
初期は400 mV_{p-p}の大きなリプルが出るが、1時間ほど経過すると収まって



第1章

小信号用ダイオードの基礎と応用

アナログ信号やデジタル信号の流れを整える

図1(a)に示すように、電線の場合、電流は電位の高いほうから低いほうに流れます。①点のほうが②点より電位が高ければ左から右へ、②点のほうが①点より電位が高ければ右から左へ電流が流れます。ここで、電線を切ってダイオードを挿入すると、電流は左から右には流れますが、右から左には流れなくなります。このように、ダイオードは電流の流れる方向を一方に制御する素子です。

将棋の駒でいえば歩兵に当たる極めて単機能的な素子ですが、それゆえにたくさんの用途があり、電子機器には必ずと言っていいほど使われています。使い方次

第で、^{金将以上}の働きをしてくれる大切な部品です。

ダイオードとは

● 構造

トランジスタに代表される半導体を材料にして作られた電子部品は、半導体素子または半導体部品と呼ばれます。その中でもダイオード(diode)は最も基本的な構造を持ち、その多くはP型半導体とN型半導体を接合した2端子の半導体素子です。ダイ(di-)とは「二つの」、オード(-ode)とは「電極(electrode)」の意味があります。このPN接合のN型半導体の端子側を「カソード」、一方のP型半導体の端子側を「アノード」と呼び、アノードからカソードへは電流が流れやすく、逆にカソードからアノードにはほとんど電流が流れないという特性を持っています。これを整流特性と呼び、一般的な電子回路で整流やスイッチングなどの用途に数多く使われています。

図2に代表的なダイオードの構造図を、写真1に実際の素子の外観を示します。ほとんどのダイオードは、P型半導体とN型半導体を接合させた(a)のシリコンPN接合型ですが、半導体と金属の接合による(b)の

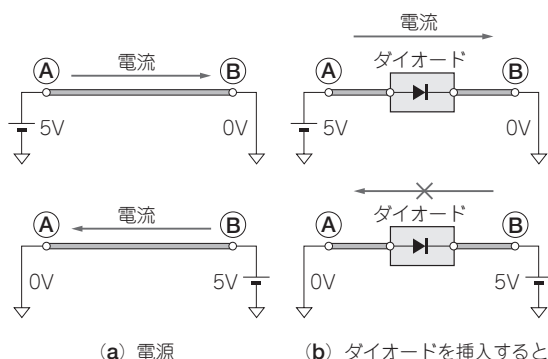
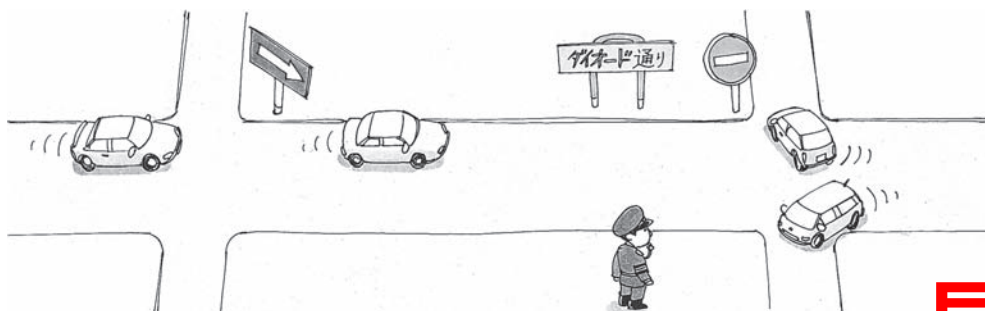


図1 ダイオードを電線に挿入すると電流は一方にしか流れなくなる

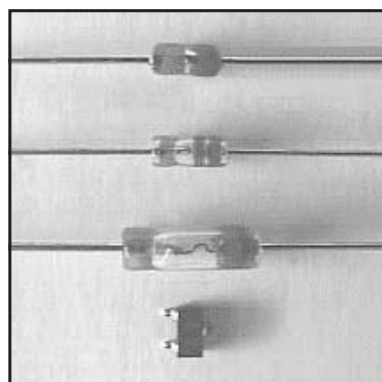
ダイオードは電子の一方通行道路



第2章

パワー・ダイオードの
基礎と応用

電源回路やモータ・インバータ作りに



パワー・ダイオードは、小信号用ダイオードに比べて扱う電力が比較的大きいため、回路の動作をよく理解し、素子を適切に使用しないと、故障しやすく信頼性の低いシステムを作ることになります。最近には特にスイッチング電源などの高速スイッチング回路用途が多く、サージ電圧や逆電流などによる素子破壊にも気を付けなければなりません。そのためにも、回路やデバイスの特性をよく理解する必要があります。

本章では、順方向電流が数～数十A以上のパワー回路用ダイオードの使い方の基礎を、実際の応用回路を示しながら解説します。

パワー・ダイオードとは

パワー・ダイオードは、0.5 A程度以上の大きな電流を整流する目的で使用する素子です。一般にRF信号などを整流するダイオードのことを検波ダイオードと呼びますから、整流用ダイオードはパワー回路用と考えてよいと思います。

■ 3種類に分類できる

● 一般整流用ダイオード

主に商用周波数(50/60 Hz)を整流する回路に使います。比較的安価です。逆電圧は100～1500 V程度で、逆回復時間は $30\mu\text{s}$ ～ $100\mu\text{s}$ 程度です。逆回復時間が遅いため、高速スイッチング回路に使用すると、大きな逆電流が流れて、発熱したり破損します。また、大きな逆電流によりノイズを発生します。

● 高速整流用ダイオード

ファスト・リカバリ・ダイオード(以下、FRD)とも言います。主にスイッチング電源などの高速スイッチング回路に使います。逆電圧は100～1500 V程度、

逆回復時間は $0.5\mu\text{s}$ ～ $3\mu\text{s}$ 程度です。さらに逆回復時間の短い超高速整流用ダイオード(Super Fast Recovery Diode: SFRD)もあり、逆電圧は400～1000 V程度、逆回復時間は100 n～300 ns程度です。

超高速整流用ダイオードをもっと高速にし、順電圧を小さくした高効率ダイオードもあり「ロー・ロス・ダイオード」(LLD)と呼ばれています。逆電圧は200～600 V程度、逆回復時間は35 n～100 ns程度です。

以下、高速整流用/超高速整流用/高効率ダイオードは、すべて高速整流用ダイオードとして扱います。

● ショットキー・バリア・ダイオード

以下、SBDと呼びます。金属と半導体の接合による整流性を利用したダイオードで、ショットキー氏が提唱しました。多数キャリア素子のため、原理的には逆回復時間がなく、高速なスイッチングが得意です。主な用途はスイッチング電源などの2次側整流回路です。パワー・ダイオードの中で最も順電圧が小さく、逆回復時間が短いため、高速スイッチング回路によく使われます。ただし、逆電圧が30～90 V程度とあまり高くないため、低電圧の整流回路での使用が中心です。

■ パッケージと内部接続

写真1に示すように、リード・タイプ、表面実装タイプ、自立タイプ、モジュール・タイプがあります。パッケージの名称は、JEDEC(米国業界団体の規格)やEIAJ(日本電子機械工業会規格)などの他に、各メーカー独自の寸法や呼び方があります。DO- $\times\times$ やTO- $\times\times$ がJEDECで、SC- $\times\times$ がEIAJの名称ですが、TO-3PはJEDECには存在せず、EIAJのSC-65となります。また、DO-15とSC-39は同じものです。ダイオードに限らず半導体のパッケージ名称は非常に複雑です。

第1章

振動子と発振器の基礎知識

10⁻²のシリコン・タイプから
10⁻¹³の超高精度セシウム原子時計まで

振動子のいろいろ

●シリコン振動子(これから精度向上が見込まれるマイコン内蔵振動子)

振動子の周波数精度を図1に示します。この中で、近年のマイコンにはクロック用のシリコン振動子が内蔵されることが増えています。マイコンと同じシリコン・チップ上に発振回路を形成しているため、極めて小型かつ低コストで実現できます。

精度は一般的に数%で、発振周波数は回路方式に依存します。自由度が高いためGHzオーダの周波数まで、用途に応じてさまざまな振動子をシリコン・チップ上に作り込めます。

温度や電源電圧などの動作条件によって周波数の変動が大きく、ジッタも大きいため、高精度のタイミング生成や高速通信のクロック源としては向きません。将来的には、回路技術の向上やMEMS技術の進歩などによって性能が上がっていくでしょう。

●セラミック振動子(精度0.1%、発振周波数 数百k～数十MHz)

圧電セラミック材料を共振器として用いた振動子で

す(写真1)。水晶振動子よりは精度が悪いですが、小型で安価です。精度は0.1%程度です。発振周波数は数百k～数十MHz程度です。

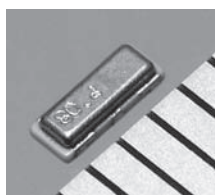


写真1 セラミック発振子
セラロック CSTCR_G(村田製作所)



写真2 恒温槽付水晶発振器(OCXO)
OG2525CCN(エプソン)



写真3 水素メーザ原子時計
2016年12月現在は特機品扱いのSAOD05A(アンリツ)。より小型の原子時計が作られている

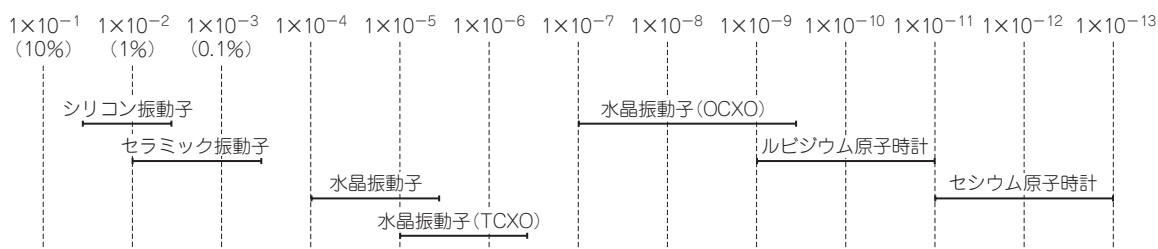
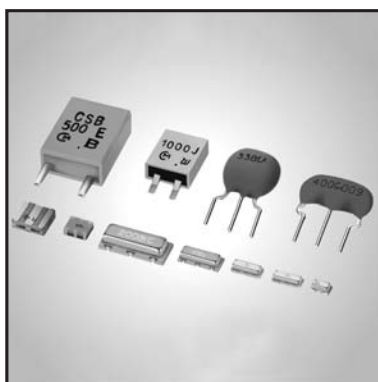


図1 振動子の種類と精度

第2章

水晶振動子のいろいろ

MHzタイプ, kHzタイプ, チップ・タイプ,
リード・タイプ

1880年にフランスのキュリー兄弟は結晶板に圧力を加えると両面に逆極性の電荷が生じる「圧電効果」を発見しました。また1881年にリップマンが結晶板に電界を掛けると機械的なひずみまたは力が生じる「逆圧電効果」を予想し、その年の暮れにキュリー兄弟の実験により確認されました⁽¹⁾⁽²⁾。

水晶振動子は、水晶の「圧電効果」と「逆圧電効果」を利用しています。水晶はほかの結晶に比べ Q が高いので安定な振動が得られるため、水晶振動子は昔から無線通信にはなくてはならない電子部品です。最近のデジタル機器にも欠かせないものとなっています。

用途と特徴

● 用途

水晶振動子は、その周波数安定性を生かして、通信機器、電子機器、コンピュータとその周辺機器、カー・エレクトロニクス、音響映像機器、時計、玩具などの信号源、クロック源に利用されています。

安定なものでは放送局用の高安定発振器、携帯電話のローカル・オシレータ、コンピュータや周辺機器のクロック源、ゲーム機にも利用されています。

このことからデジタル機器の鼓動を担う心臓部として、また移動体通信機器のキー・パーツとして活躍しています⁽³⁾。

● 特徴

▶ 人工水晶で作られている

昔はブラジルなどから輸入した水晶塊から切り出して加工していましたが、現在はほぼ100%人工水晶を利用しています。

人工水晶の原料はラスカと呼ばれる水晶小片です。特殊鋼製のオートクレーブに種水晶をつるして、溶液

に浸し、高温高压で1カ月以上かけて再結晶化します。再結晶化したものがアズグローン(人工水晶)で、これをウェハ状に加工して利用しています。

このため天然の水晶に比べ不純物が少なく、双晶と呼ぶ結晶軸の異なった部分もなく、工業的に加工しやすく、材料の無駄を少なくできます。

▶ セラミック振動子との比較

水晶のほうが Q が高く、安定した周波数を維持できます。また広い温度範囲で周波数偏差が小さい特徴を持っています。水晶の Q は数万から数十万です。 Q が高いということは、一度振動すると振動が長時間減衰せずに振動し続けることを意味しますが、実際には抵抗分の損失によって減衰していきます。

▶ 主にATカット水晶板が使われる

水晶振動子は、水晶のカット角によって温度特性が異なります。主に使用されるのは厚み滑り振動で発振するATカットの水晶板です。

図1(a)にATカット水晶板の電荷分布モデルを、図1(b)に振動偏位モデルを示します。

ATカットの水晶振動子の温度特性(図2)は3次曲線で、目的とする温度範囲に入るようなカット角を選定します。

腕時計用として使われる振動子は+5°Xカットで音叉形をしており、温度特性は2次曲線です。

▶ 水晶振動子の電気的特性

図3(a)は、IECやJISで決められた電気記号です。

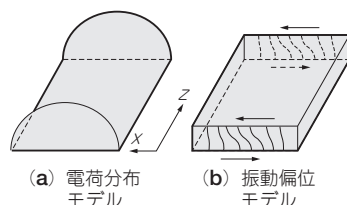


図1 ATカット水晶板のモデル

第3章

水晶発振回路の作り方

振動子が気持ちよく振動し続ける条件を探す

水晶振動子の等価回路を図1に示します。表1に、水晶振動子の特性を表したり製品カタログに書かれる特性などを表す用語を示します。

水晶振動子には独自の記号や意味があるので覚えておきましょう。

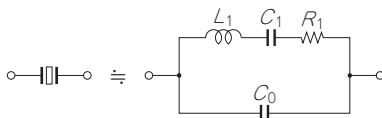
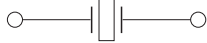


図1 水晶振動子の等価回路(注)

注▶水晶振動子の記号は、IEC規格やJIS規格が変更されていて、現在では下記となっている。



一番オーソドックスな CMOS水晶発振回路

図2が標準的な基本波CMOSインバータ水晶発振回路です。発振回路に求められる特性によって回路定数が変わり、それぞれの部品ごとに役割を持っています。

● 五つの部品で構成できる

▶Inv(インバータ)

R_f を接続して反転アンプとして使用します。アンバッファ・タイプ(後述)以外は水晶発振回路に使用できません。

▶Buf(バッファ)

発振用と同じインバータを使う場合やシュミット・

表1 水晶振動子に関する主な用語(参考文献を参照)

用 語	記号	意 味
直列容量	C_1	等価回路の直列アームのキャパシタンス
直列インダクタンス	L_1	等価回路の直列アームのインダクタンス
直列抵抗	R_1	等価回路の直列アームの抵抗値
並列容量	C_0	等価回路の直列アームに並列接続されたキャパシタンス
共振周波数	f_r	直列共振点付近における位相零点の周波数
反共振周波数	f_a	並列共振点付近における位相零点の周波数
負荷時共振周波数	f_L	共振周波数が負荷容量によって変化した周波数
周波数	f_{nom}	公称周波数
オーバートーン次数	OT	奇数次の振動モード(1, 3, 5, 7, ...)
負荷容量	C_L	水晶振動子の負荷時共振周波数を決定するための外部容量
周波数許容偏差	f_{tol}	室温における公称周波数を基準とする最大周波数偏差
周波数温度特性	f_{tem}	25℃の値を基準とした指定温度範囲における周波数偏差
励振レベル	DL	発振している水晶振動子の内部で消費される電力
動作温度範囲	T_{use}	周波数温度特性を満足できる温度範囲
動作可能温度範囲	T_{opr}	恒久的なダメージを受けることのない動作温度範囲
保存温度範囲	T_{stg}	水晶振動子にダメージを与えることなく保存できる温度範囲
頂点温度	T_j	2次曲線温度特性を持つ水晶振動子の温度特性の頂点温度
2次温度系数	B	2次曲線に近似された水晶振動子の周波数温度特性
周波数経時変化	f_{age}	基準温度におけるエージングによって最初の1年間に变化する水晶振動子の周波数

見本

第4章

水晶発振回路トラブル
原因と対策

止まることは許されないのだ…

● 絶対に止まらない水晶発振回路はない

水晶振動子は、電圧を加えるとある一定の周期で伸び縮みを繰り返しはじめます。この周期はとても正確で安定しているので、電子回路の大切な基準信号源として利用されています。

この水晶発振回路は、突然発振なくなることがあります。水晶発振回路の設計を誤ったことが原因の場合もあれば、水晶振動子自体に発振停止の原因がある場合もあります。これらはある日突然にやって来る疫病のようなものですが、原因別に対策をたてて回路を設計することで、トラブルを減らせます。

水晶発振回路の主な不発振の原因を表1に示します。本稿ではこれらの原因とその対策について整理して解説していきます。MHz帯は主に3 MHz以上、kHz帯は主に32.768 kHzの水晶発振回路を指すことにします。

① 発振周波数で十分なゲインを持たないインバータICを選んでいた

■ MHz帯の振動子の場合

水晶発振回路にはアンバッファ・タイプのCMOSイ

ンバータICを使います。このとき、発振させたい周波数で十分なゲインがないICを使うと、発振しない場合があります。水晶発振回路には発振周波数帯に適した伝搬遅延時間のICを使う必要があります。

ゲイン不足でもともと止まりやすいギリギリの状態で発振していたために、回路のゲインが何らかの原因で減少して発振が停止することもあります。

● 原因 動作周波数が遅いインバータICを選んでいた

表2は水晶発振回路に適した汎用インバータです。それぞれに適した発振周波数帯があります。図1に示すのは、10 MHz以上の発振には適さないICと20 MHz水晶振動子を組み合わせってしまった例です。

反転増幅器のゲイン(増幅度)や回路定数によって変化します。CMOS水晶発振回路の負性抵抗は一般的に図2のような周波数特性を持っています。一般的にCMOS水晶発振回路の負性抵抗は温度上昇とともに値が減少します。ここで、負性抵抗とは水晶振動子を発振させるための回路側の能力のことで、抵抗の逆の意味として負性抵抗と呼ばれます。

図2の点①の条件(20 MHz)で発振しているとしま

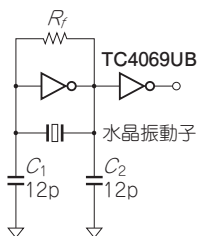


図1 10 MHz以下の発振に適さないCMOSインバータを使った20 MHz水晶発振回路

表1 水晶発振回路が不発振になる主な原因

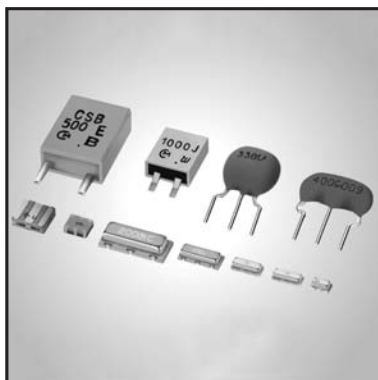
MHz帯は主に3 MHz以上、kHz帯は主に32.768 kHzの水晶発振回路のこと。DLD(Drive Level Dependence)不良とは励振電流に依存する不良のこと

分類	原因
回路設計上の誤り	① ICが発振させたい周波数に適していない(MHz帯/kHz帯)
	② ICの焼損(MHz帯)
	③ 回路定数の選定ミス(MHz帯/kHz帯)
	④ 音叉振動子の破損(kHz帯)
	⑤ 電源バスコンの付け忘れ
ICの不具合	⑥ 発振回路が起動条件を満たさない(MHz帯)
	⑦ ゲインの温度特性異常(MHz帯)
	⑧ ICばらつきによる単純なゲイン不足(MHz帯/kHz帯)
水晶振動子の不良	⑨ MHz帯水晶振動子に異物が付着(DLD不良)
	⑩ 共振抵抗の温度特性ディップ

第5章

水晶発振器モジュールの
いろいろ

メーカー製だからつないで電源を加えるだけ！
振動子と回路のワンパッケージ・タイプ



水晶発振器は、水晶振動子と発振回路を内蔵しています。電源を供給して負荷を接続するだけで、通信、情報処理システムなどで必要とされる、 $\pm 1 \times 10^{-4} \sim \pm 2 \times 10^{-9}$ 程度の安定した周波数偏差の信号を取り出せます。

水晶振動子は、抵抗、コンデンサなどの受動素子と比べて、規格や諸特性が複雑です。このため、必要とする周波数や周囲環境条件、発振回路方式などの違いにより、設計の注意点が異なります。このため安定に発振させることが比較的難しい電子部品です。

そこで、一部の量産品を除けば水晶振動子を購入して、発振回路の設計と組み立て、試験および品質管理を自社で行うよりも、メーカーから水晶発振器を購入するほうが、総合コストが抑えられます。

分 類

水晶発振器は、水晶振動子の共振回路の Q 値が高い性質を利用して正確な周波数の信号を得ています。

● 周波数安定度で分類

水晶発振器は、周波数安定度の違いにより表1のように分類できます。

周波数を安定化する方式としては、

- (1) 水晶振動子の特性をそのまま利用する
 - (2) 温度特性を補償して利用する
 - (3) 温度を一定に制御して利用する
- があります。

また、外部電圧による発振周波数の電圧制御機能が付加したものもあります。

表2に、水晶発振器の動作温度範囲と周波数安定度を示します。表からわかるように必要な周波数安定度から発振器の種類が決定します。

● 水晶振動子の特性をそのまま利用する

周波数偏差が $\pm 3 \times 10^{-6} \sim \pm 100 \times 10^{-6}$ の仕様では、水晶振動子の特性をそのまま利用しているSPXO (Simple Packaged Crystal Oscillator) タイプ(図1)が

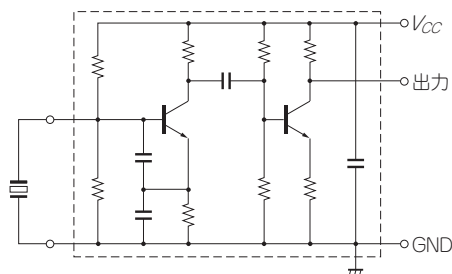


図1 SPXOのブロック図

表1
水晶発振器の分類

機能	発振機能		周波数電圧制御機能付き	
基本デバイス 水晶の特性をそのまま利用	SPXO		VCXO	
周波数温度特性を補償して利用	TCXO	直接補償	VC-TCXO	直接補償
		間接補償		間接補償
	DTCXO	デジタル補償	VC-DTCXO	デジタル補償
恒温槽中で温度制御して利用	OCXO		VC-OCXO	

第6章

とにかく安い！ セラミック発振子

ワンチップ・マイコンやリモコン用のお手軽部品

マイコンなどのICは内部のプログラムを動作させるために基準クロック信号を必要とします。この基準クロックを作るセラミック発振子は、圧電性を持つセラミックスの機械的共振を利用したものであり、一定周期のパルス信号(クロック信号)を作り出すために広く使われています(写真1)。ここでは、セラミック発振子の特徴と使い方を紹介します。

基礎知識

● 焼き固めたばかりのセラミックスは電荷の偏りが
ない強誘電体

セラミックスは一般的に細かい結晶の集まりで、個々の結晶は正の電荷を持つ原子と負の電荷を持つ電子から構成されています。セラミックスの多くはこの正と負の電荷の釣り合いが取れた状態になっていますが、誘電体セラミックスの中には自然状態でも結晶中の正負の電荷の釣り合いが取れておらず、電荷の偏り

(自発分極)を生じている「強誘電体」があります。焼き固めたばかりの強誘電体セラミックスでは、この自発分極の向きがばらばらでセラミックス全体としては見掛け上電荷の偏りがないように見えます(図1)。

▶ 強誘電体に高い電圧を加え分極処理を行うと圧電体セラミックになる

高い電圧を加えると、自発分極の向きが一様の方向にそろい、電圧を取り除いても元に戻らなくなります。このように自発分極の向きをそろえることを分極処理といい、強誘電体セラミックスに分極処理を行うと、圧電体セラミックスが誕生します(図2)。

● セラミックスはなぜ振動するのか

圧電体セラミックスに外部から電圧を加えると、セラミックス内部の正負それぞれの電荷の中心が外部電荷と引き合ったり、退け合ったりして、セラミックス本体が伸びたり縮んだりします(図3)。

また、圧電体セラミックスに圧力を加えると、片面には正の、他面には負の電荷が現れます。逆に引っ張ると、両面には圧力を加えたときは反対の電荷が発生します。このように圧電体セラミックスは結晶の分極を利用して、電気エネルギーと機械エネルギーを交換できます。

圧電性物質としては古くからロッシェル塩や水晶などの単結晶が知られています。ですが、セラミック発

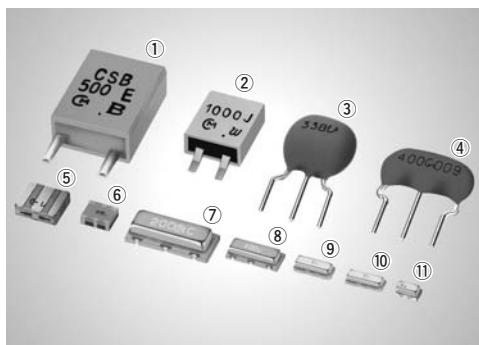


写真1 セラミック発振子あれこれ(村田製作所, ①CSBLA_E, ②CSBFB_J, ③CSTLS_X, ④CSTLS_G, ⑤CSTCV_X, ⑥CSTCW_X, ⑦CSTCC_G, ⑧CSTCR_G, ⑨CSTCE_G, ⑩CSTCE_V, ⑪CSTCG_V,) 3端子タイプは負荷容量を内蔵する

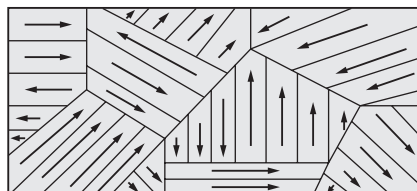


図1 焼き固めたばかりの強誘電体セラミックス

第1章

インダクタの基礎と使い方

電源や無線回路のキー・パーツ

①「コイル」と「インダクタ」の違い

電子部品のコイルとインダクタはまったく同じ物です。正式名称はインダクタンス回路素子です。

インダクタ・メーカの多くは製品名として「インダクタ」を使っています。海外のメーカは「Inductor」としています。また、機能を表す名称として「チョーク・コイル」「平滑コイル」なども使われています。

コイルとは、ぐるぐる巻きにした状態を指します。本章では一般名称は「インダクタ」とし、機能や形態を表すときには「コイル」を使うこともあります。

インダクタとは、導線を同心円状、または渦巻き(スパイラル)状に巻き線した電子部品です。

図1のように導線をコイル状にして電流を流すと磁束が発生します。そして、電流が変化すると磁束が変化し、その磁束の変化を打ち消す方向に磁束が発生して逆起電力が発生します。

このことから、コイルは電気エネルギーを磁気エネルギーに変えて蓄積します。この電流の変化と起電力の比が誘導係数(インダクタンス)です。記号で表すと L で、単位はHです。式で表すと式(1)となります。

$$L = -e(dt/dI) \dots\dots\dots (1)$$

ただし、 e ：起電力

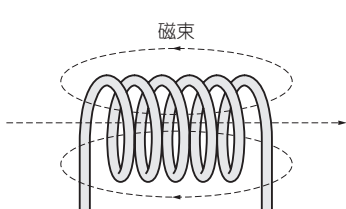


図1 導線をコイル状にして電流を流すと磁束が発生する

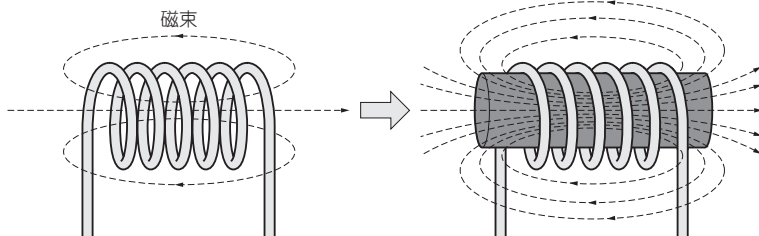


図2 透磁率 μ は磁束を集める力の強さ。透磁率 μ が大きいと多くの磁束が通る。

インダクタは、このインダクタンス L を持った回路素子といえます。

② インダクタンスの決まり方

コイルのインダクタンス L は式(2)で表されます。

$$L = k \times \mu \times n \times n \times S \times 1/l \dots\dots\dots (2)$$

ただし、 k ：長岡係数、 μ ：透磁率 [H/m]、
 n ：コイルの巻き数、 S ：コイル輪の面積 [m²]、
 l ：コイルの長さ [m]

インダクタンス(以下、 L 値)を大きくするには、コイルの巻き数を多くする、コイルの輪の面積を広くする、透磁率 μ の値を大きくするのいずれかが有効です。

コイルの巻き数を増やすのもコイルの輪の面積を広くするのもインダクタを大型にします。大きさを変えないで大きな L 値にするには透磁率 μ を大きくします。 μ は磁束を集める力の強さのことで、図2のように多くの磁束を通します。

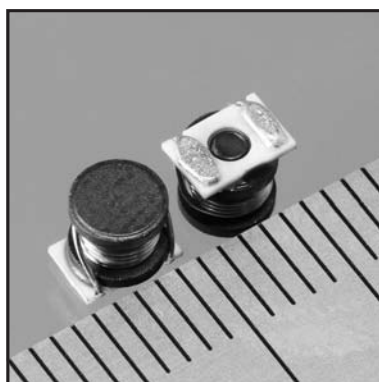
透磁率の大きな物質を強磁性体と呼び、鉄、ニッケルなどの金属、パーマロイやセンダストなどの合金およびフェライトがあります。

フェライトは酸化鉄を主原料にして銅、マンガン、亜鉛などとともに焼き固めた磁器の一種です。コイル

第2章

チップ・コイルの基礎知識

小型低背のポータブル機器で作るために



■ 小型低背コイルの市場動向

● デジタル機器の多機能化と消費電力の増加

携帯電話、デジカメなどのデジタル機器が広く普及し、その販売台数は年々増加傾向にあります。デジタル機器における高性能化、多機能化は日進月歩で変化し続けています。

携帯電話を例にとれば、初期モデルは通話機能に限られていましたが、その後多機能化が図られ今日に至っています。そして、多機能化に比例して、機器の消費電力は確実に増加しています。

● 小型低背コイル登場の背景

携帯電話にスイッチング方式のDC-DCコンバータが使用されるようになったのは2003年ごろです。それまでの電源は、バッテリーから直接供給するか、シリーズ・レギュレータを介して目的の電圧に降圧して供給していました。ところが、前述のとおりデジタル機器の多機能化が進むにつれて、バッテリーの持ち時間が問題視されるようになってきました。

このような背景から、バッテリーの長時間使用を目的に、高効率な電源設計を目指した結果、コイルを使用

したスイッチング方式のDC-DCコンバータが広く使用されるようになりました。

携帯電話をはじめとするモバイル機器は小型であることから、使用されるコイルも小型低背を求められています。定義はありませんが、「小型低背コイル」と称するサイズは床面積が $\square 4 \sim 2 \text{ mm}$ 、高さ寸法は $1.0 \sim 1.5 \text{ mm}$ の範囲が一つの目安です。

これらのコイルはモバイル機器を背景にここ数年で新規に生まれた需要であり、今後ますます増加の一途をたどると考えられます。

■ 低ノイズ化が求められる小型低背コイル

● 閉磁路タイプとハーフ磁気シールド・タイプの漏洩磁束

モバイル機器に搭載される電子部品は、高密度な実装を施されています。モバイル機器における電源系コイルは、圧倒的に閉磁路タイプ(図1参照)が使用されていますが、その理由は、コイルに電流が流れたときに発生する磁束によるノイズの影響を周辺に与えないためです。構造上、磁束を漏洩しないように組み込まれているのがリング・コアで、その材質はドラム・コアと同様に焼成体のフェライトです。

最近では、閉磁路と開磁路の中間に位置するハーフ磁気シールド・タイプ(写真1参照)の電源系コイルを、

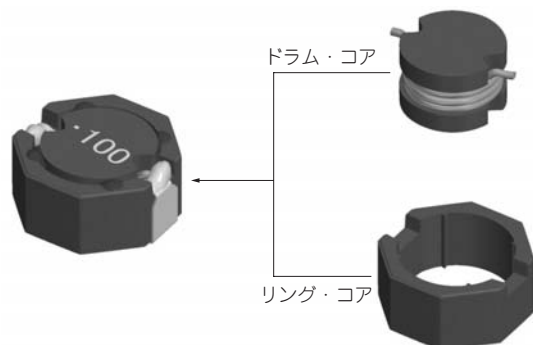


図1 閉磁路タイプのコイルの構造図

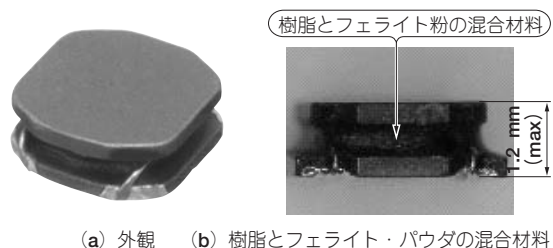


写真1 ハーフ磁気シールド・タイプの電源系コイル
磁気シールド機能は樹脂とフェライト・パウダの混合材料

第1章

安全確保！ リレーの基礎知識

異常発生！電力供給緊急停止！

■ リレーの種類

● 2種類ある

リレーには有接点リレーと無接点リレー(SSR：Solid State Relay)があります。

▶有接点リレー：負荷を開閉させるために接点を有し、それを機械的に開閉させ信号や電力の“入”“切”を行う

▶無接点リレー(SSR)：機械的な可動部を持たず、内部はトライアック、抵抗器などの半導体、電子部品で

構成されており、信号や電力の“入”“切”は電子的に行う

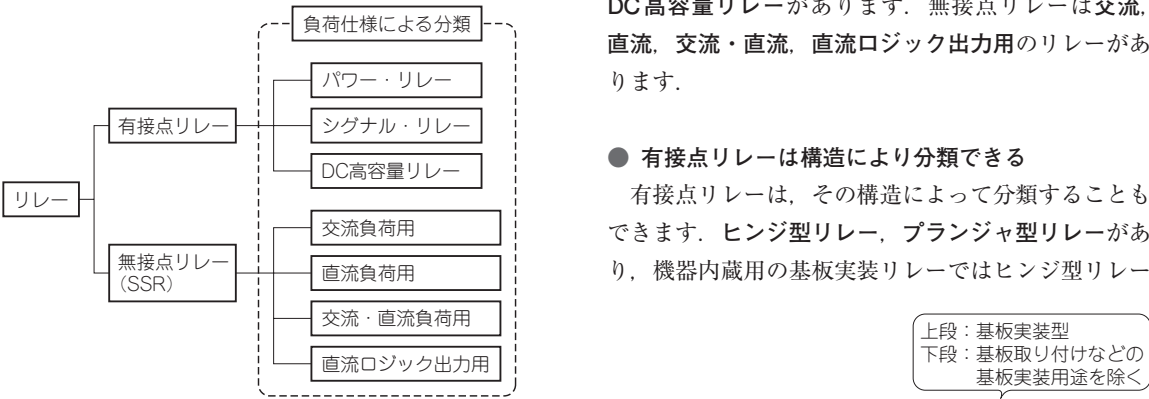
分類を図1に示します。分類には、以下に示すいろいろな方法があります。

● 負荷仕様による分類

有接点リレーは、主にパワー系の負荷を開閉するパワー・リレーと、微小負荷の信号や高周波を開閉するシグナル・リレー、高電圧/高電流の直流負荷を遮断するDC高容量リレーがあります。無接点リレーは交流、直流、交流・直流、直流ロジック出力用のリレーがあります。

● 有接点リレーは構造により分類できる

有接点リレーは、その構造によって分類することもできます。ヒンジ型リレー、プランジャ型リレーがあり、機器内蔵用の基板実装リレーではヒンジ型リレー



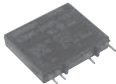
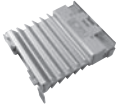
有接点リレー			無接点リレー(SSR)			
パワー・リレー	シグナル・リレー	DC高容量リレー	交流負荷用	直流負荷用	交流・直流負荷用	直流ロジック出力用
 形G2R-1A	 G6J(U)-2FS-Y	 形G9EA-1-B	 形G3MC-202 PL-VD-1	 形G3TB-OD 201P	 形G3DZ-2R6PL	 形G3TB-IAZRP02P-US
			 形G3PE-215B	 形G3NA-D210 B-UTU	 形G3RZ-201SLN	 形G3TA-IAZR02S

図1 リレーの分類(オムロンの場合)

第2章

マイコン直でON&OFF! 半導体リレー

交流信号のON/OFFから電力制御まで

● はじめに…光カプラから半導体リレーへ

半導体リレーは、内部に光伝達構造を持つことによって、入出力間(1次と2次の間)の絶縁性を確保します。同時に出力段にパワー・スイッチング素子を使い、負荷を開閉したり信号の伝達を行います。

実際の使用機器では、

- 安全規格への適合
- 耐ノイズ性向上
- 駆動回路が簡素化できるためハイサイド・スイッチ用

などでメカニカル・リレーとともに半導体リレーが活用されています。

表1に半導体リレーと光カプラの特徴を示します。小型化、高容量化が進んでいる半導体リレーは、アイソレータとして使用されている光カプラ類と同形状でありながら、直接負荷を制御できます。そのため、機器の小型化や機能向上に使われています。

● 半導体リレーの種類

大きく分けてMOSFET出力(以降、フォトMOSリレー)とトライアック出力(以降、SSR)があり、おのの特徴を生かした用途があります。

フォトMOSリレーは品種も多く、パワーMOSFET技術の向上によって、負荷機器を単に開閉するだけでなく、さまざまな用途に使用されています。

SSRは負荷の範囲が狭く、商用電源であるAC100V/200V負荷専用として使われます。家電、産業機器などで大規模な市場が存在します。

両者ともに特徴があり、MOSFET出力とトライアック出力の使い分けだけでなく、それぞれのシリーズや品番によっての使い分けも必要です。

半導体リレー① フォトMOSリレー

出力スイッチング素子にパワーMOSFETを使った半導体リレーで、機械式リレーの高絶縁、高耐圧、出力リニアリティと、半導体の高寿命、高信頼性、高感

表1 半導体リレーと光カプラ比較

種 類		適 用 負 荷	用 途
光カプラ	フォト・カプラ	▶ DC負荷専用 数十V～、数十mA ▶ 直接負荷を開閉しない	▶ DC機器のアイソレーション ・トランジスタのドライバ ・信号入力
	フォト・トライアック・カプラ	▶ AC負荷専用 AC100/200V、数十mA ▶ 直接負荷を開閉しない	▶ AC機器のアイソレーション ・トライアック、サイリスタのドライバ ・小型(数W程度)の負荷制御
半導体リレー	フォトMOSリレー	▶ AC、DC、アナログ負荷 ～1500V、～4A ▶ 幅広い負荷、アナログ信号に使える	▶ 負荷制御 モータ、ソレノイド ▶ 信号制御 計測：信号取り込み部(アナログ、高電圧など) アナログ通信：フック・スイッチ、回線切り替え デジタル通信：T1やT3回線
	SSR(トライアック出力)	▶ AC負荷専用 AC100/200V、～数十A ▶ 幅広い負荷電流で使用できる	▶ 家電機器 ヒータ、ソレノイド、ファン・モータ制御 ▶ 産業機器 ヒータ、モータ、ソレノイド制御

第1章

過電流保護素子の基礎知識

異常が発生した回路を電源から切り離す

異常時に切れる保護素子ヒューズ

ヒューズとは…

電子機器では、ユーザの誤使用や機器の故障による火災や漏電などの2次災害のリスクを最小限にとどめることが求められます。本章で紹介するヒューズは、過電流に対して、溶断が起きて断線します。一度切れたら戻りません。薄膜、モールド、セラミックなどのタイプがありますが、それぞれ過電流で溶断する部分(ヒューズ・エレメント)を持ちます。

製品が寿命を終えるまで、ヒューズがその役割を果たさない方が望ましいため、高い信頼性が求められます。

構造

● 3種に分類できる

表面実装型のヒューズには、写真1のようにいくつかのタイプがあります。写真1(a)は薄膜型といわれるヒューズで、チップ抵抗などと同じ外観です。写真1(b)は、チップ・ダイオードのように、樹脂モールドの両端から下に回りこむような形状の端子が出てい

ます。基板がひずんでも金属端子が変形してヒューズ本体に力が伝わりにくいようになっています。写真1(c)はセラミック・ケースの両端に金属の端子があるタイプです。一般のセラミック・ヒューズを小型化して、表面実装できるように角張った外観をしています。

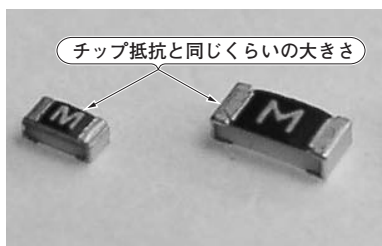
薄膜ヒューズは最も小型で、チップ抵抗と同様に1005から3216までのサイズがあります。モールド・タイプは薄膜よりも少し大きく、3216サイズかそれ以上のサイズが多くなります。セラミック・ヒューズはさらに大きい品種が多く、高電圧や1次側回路にも使用できるものもあります。

● 内部構造：必ずヒューズ・エレメントを持つ

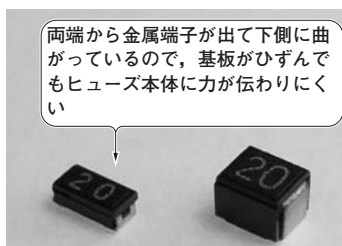
各タイプのヒューズの構造を図1に示します。薄膜ヒューズは、セラミックや樹脂ベースの表面に金属の薄膜でヒューズ・エレメントを形成し、保護膜で覆っています。

モールド・タイプは、金属線のヒューズ・エレメントを樹脂でモールドしています。

セラミック・ヒューズは、セラミック・ケースの中に金属線のヒューズ・エレメントが内蔵されています。高電圧に耐えられるように、電極間が広く、ヒューズ・エレメントは空中に浮いた状態になっています。



(a) 薄膜



(b) モールド



(c) セラミック

写真1 表面実装ヒューズには応力に強いタイプが用意されている(KOA)

見本

第2章

過電圧保護素子の基礎知識

ツェナー・ダイオードやバリスタ、抵抗器で対策できる

ESD保護用ツェナー・ダイオード

ESD保護用ツェナー・ダイオードとは…

外來サージによる機器の誤動作、破壊から機器を保護するために使います。ツェナー・ダイオードは「定電圧ダイオード」とも呼ばれ、電圧安定化回路などで使われます。それ以外に、半導体の降伏(ある電圧で急激に電流が流れる)特性を利用して過電圧リミッタや突発的なサージの吸収にも優れた効果を発揮します。特に、このような目的に特化したものをESD保護(サージ吸収)用ツェナー・ダイオードといいます(写真1)。

特性

● ある電圧を超えないように電流を流す

接合型ダイオードはP型半導体とN型半導体を接合

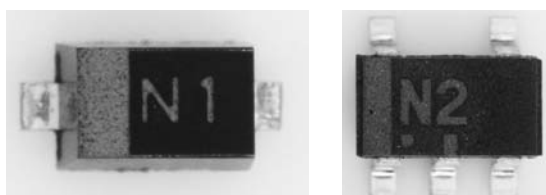


写真1 ESD保護用ツェナー・ダイオード

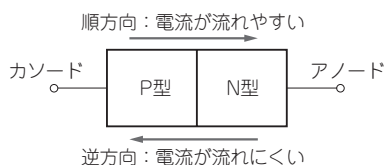


図1 接合型ダイオードの構造

した構造となっています(図1)。通常、ダイオードはアノード側(P型半導体)に電圧(順電圧)を印加すると電流(順電流)が流れますが、カソード側(N型半導体)に逆電圧を印加しても逆電流はほとんど流れません。

図2はダイオードの電圧-電流特性を示したものです。順方向領域、飽和領域、降伏領域に大別されます。通常、ダイオードは順方向領域での動作を行います。逆方向の降伏特性を利用したものがツェナー・ダイオードです。飽和領域で逆電圧を大きくすると逆電流は徐々に増加し、ある逆電圧を超えると急激に増加し、この現象を降伏と呼びます。

PN接合型の小信号ダイオード、例えばスイッチング・ダイオードでは降伏電圧が30V～60Vとなりますが、ツェナー・ダイオードでは用途・目的に応じて2V～数十V(製品によっては100V超)となっています。ツェナー・ダイオードはこの降伏領域で動作させ、降伏電圧をツェナー電圧 V_Z と呼び、ツェナー・ダイオードを選択する際の重要な要素となります。

● 入力部に入ると外來サージから回路を保護できる

前述の通り、ツェナー・ダイオードは定められた電

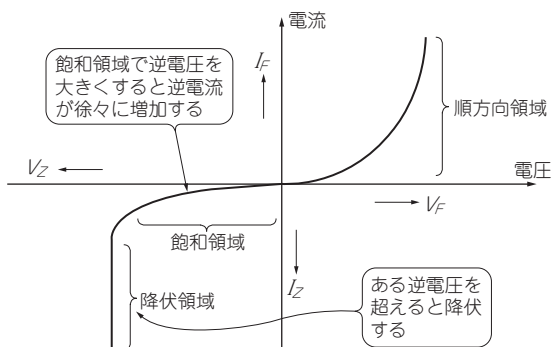


図2 ツェナー・ダイオードは加えられる電圧がある値を保つように電流を流す

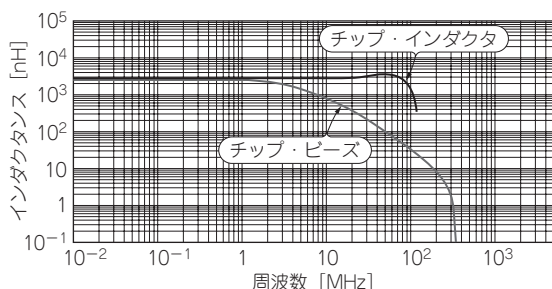
第3章

ノイズ対策部品の基礎知識

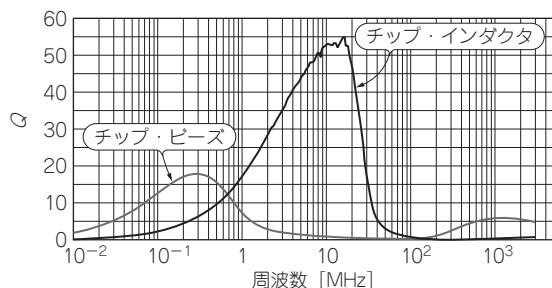
デジタル信号やアナログ信号の汚れを
綺麗に洗い落とす

表1 インダクタとビーズの電気的特性の違い

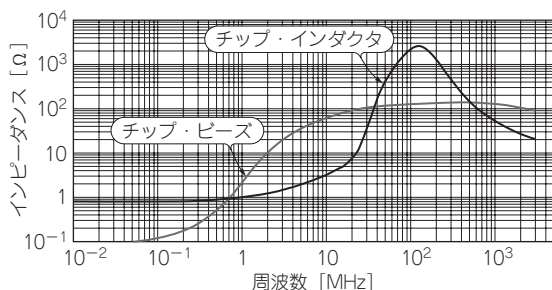
	インダクタ	ビーズ
主特性	インダクタンス [H]	インピーダンス [Ω]
Q値	大きい	小さい
高周波損失	小さい	大きい



(a) インダクタンス特性



(b) Q特性



(c) 高周波損失特性

図1 インダクタとビーズの電気的特性例
部品特性解析ソフトウェア SEAT (TDK) による

チップ・インダクタと チップ・ビーズ

役割

積層タイプのチップ・インダクタとチップ・ビーズの外観(写真1)や製造方法、内部構造は、ほとんど同じです。

大きな違いは、構成している材料と電気的特性です。電気的特性の比較を表1に示します。図1に代表的な電気的特性の例を示します。

この特性の違いが用途の違いになっています。

● チップ・インダクタの特性

チップ・インダクタは、インダクタンス特性を利用した電子部品です。特性が良いチップ・インダクタは、Q特性は大きく、広い周波数範囲で一定のインダクタンス特性を持ちます。Q特性は、ビーズと比較して約3倍の大きさになっています。

高周波損失は高周波帯における抵抗成分です。インダクタの高周波損失は、高周波帯で急に大きくなって、狭い周波数領域しか持続していません。インダクタの高周波損失は単峰高山形です。

● チップ・ビーズの特性

チップ・ビーズの高周波損失は、低い周波数帯から増加します。そして高くなった高周波損失が広い周波



(a) チップ・ビーズ
MMZ1005 (TDK)



(b) チップ・インダクタ(コイル)
MLF1005 (TDK)

写真1 チップ・ビーズとチップ・インダクタ(コイル)の外観

圧倒の型番数 必要な部品を1個から お届け致します

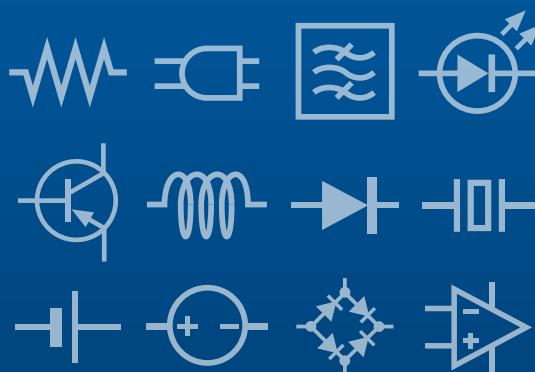
国内12営業拠点

仙台／秋葉原／静岡／浜松／名古屋
金沢／福井／京都／大阪／博多

法人・大学・学校関連のお客様へ

請求書支払い OK

校費支払い OK



開発設計者を 徹底支援いたします

- ☒ 在庫品は当日出荷*
- ☒ 定格表で瞬間検索
- ☒ BOM 一括検索&見積機能
- ☒ 回路設計からのものづくり

*18時までのご注文(日曜は16時)

マルツオンライン

www.marutsu.co.jp

03-6803-0209

5,000 円(税抜)以上のお買上げで送料無料

雑誌 16712-05

Ⓒ 2017.8.10



4910167120571

03000

見本