ＣＲ回路２

ローパスフィルタ回路

（１）用意するもの

　①コンデンサＣ（０．１ｕＦ）

　②抵抗Ｒ（１ｋΩ）

　③発振器

　④交流電圧計またはオシロ

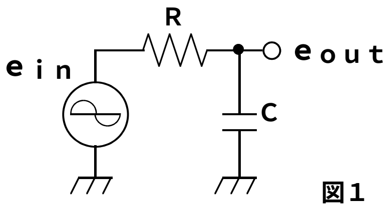


図１

（２）測定

　①発振器の出力を１Ｖｒｍｓ又は１Ｖｐｐに調整する。

　②発振器の周波数を１０Ｈｚから１００ｋＨｚまで変化させて
　　そのときの出力ｅｏｕｔを測定する。

　③測定結果をグラフにする。

（３）出力ｅｏｕｔを計算で求めてみる。

ｅｉｎとｅｏｕｔの関係を式で表すと次のようになる。ここでω＝２πｆ、ｊは虚数単位である。

$$\mathrm{eout} = \mathrm{ein} \times \frac{\frac{1}{j\omega C}}{R + \frac{1}{j\omega C}} = \mathrm{ein} \times \frac{1}{1 + j\omega CR}$$

一般に出力と入力の関係を式で表すとｅｏｕｔ＝ｅｉｎ×Ｇ（ω）となる。ここでＧ（ω）は増幅度または伝達特性を表す関数で、周波数ｆ(ω＝2πｆ)の関数であり、複素関数であって、その絶対値が振幅利得を表し、位相角が入力と出力の位相のずれを表す。上の例で計算すると、振幅利得Ｇｖ[倍]と位相角Φ[radian]は次のようになる。

$$Gv = \left| \frac{1}{1 + j\omega CR} \right| = \frac{1}{\sqrt{1 + (\omega CR)^2}} \qquad \text{...(A)}$$

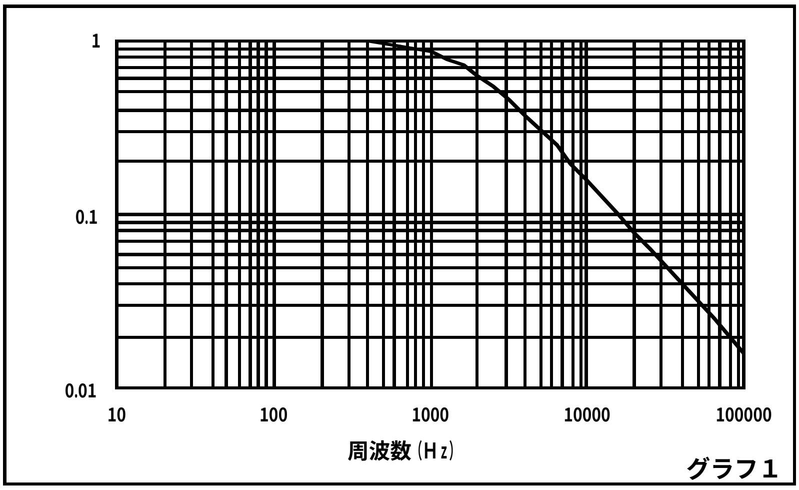
$$\Phi = -\arctan(\omega CR) \qquad \text{...(B)}$$

Ａ式によるＧｖの計算結果をグラフにすると右図のようになる。横軸は周波数を対数目盛りで、縦軸はＧｖを対数目盛りで示している。

ωＣＲ＝１となる周波数を遮断周波数またはカットオフ周波数 **f_C** という。ここでは f_C＝１．５９ｋＨｚである。その周波数において

　Ｇｖ＝0.707

となる。



グラフ１

周波数ｆ＞＞ｆｃでは、Ｇｖはｆに反比例する。両対数グラフでは傾きが－１の直線となる。

周波数ｆ＜＜ｆｃではＧｖ　１となる。

Ｂ式によるΦの計算結果をグラフにすると右図のようになる。横軸は周波数を対数目盛りで、縦軸はΦを度の単位で示している。

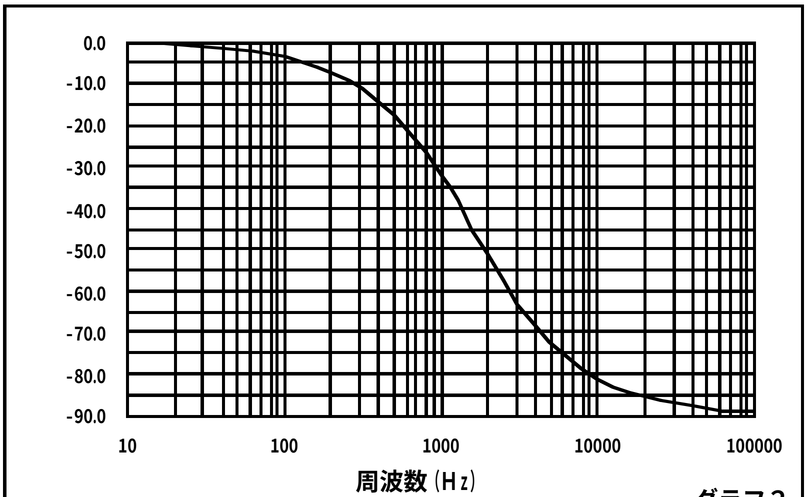
周波数**ｆｃ**＝１．５９ｋＨｚにおいて

Φ＝－４５度

となる。

周波数ｆ＞＞ｆｃでは、Φは－９０度に漸近する。

周波数ｆ＜＜ｆｃでは、Φは０度に漸近する。Φ＜０は位相遅れを表す。



グラフ２

このような、ＧｖとΦの周波数特性のことを図１の回路の周波数応答という。

周波数応答とパルス応答

別紙ＣＲ回路１で調べたパルス応答と、上の周波数応答の関係について考える。

（１）周期1ｍｓｅｃ（周波数１ｋＨｚ）のパルス波形には、基本波である周波数１ｋＨｚの正弦波以外に、３ｋＨｚ、５ｋＨｚ、７ｋＨｚ等の奇数倍の周波数の正弦波が含まれている。このパルス波形を図１の回路にｅｉｎとして与えると、グラフ１に示すように、各周波数成分によって異なる減衰を受けてｅｏｕｔに現われる。基本波である１ｋＨｚの正弦波は０．７０７倍に、３ｋＨｚの正弦波は０．４６９倍に、５ｋＨｚの正弦波は０．３０３倍になってｅｏｕｔに現われる。７ｋＨｚ以上の正弦波についても同様で、周波数が高い成分ほど減衰量が大きくなる。こうして得られるｅｏｕｔの波形は、以上の各正弦波を合成したものとなるが、入力波形に比べて、高調波成分の割合が少なくなっている。そのために、図２のような入力、出力波形となる。

（２）周期の短い（周波数の高い）パルス波形の場合を考える。周期０．１ｍｓｅｃ（周波数１０ｋＨｚ）のパルス波形には基本波である周波数１０ｋＨｚの正弦波以外に、３０ｋＨｚ、５０ｋＨｚ、７０ｋＨｚ等の奇数倍の周波数の正弦波が含まれている。このパルス波形を図１の回路にｅｉｎとして与えると、（１）と同様に、各周波数成分によって異なる減衰を受けてｅｏｕｔに現われるが、その減衰量は（１）の場合に比べてはるかに大きく、基本波である１０ｋＨｚの正弦波は０．１５９倍に、３０ｋＨｚの正弦波は０．０５３倍に、５０ｋＨｚの正弦波は０．０３２倍になってｅｏｕｔに現われる。ｅｏｕｔはこれらを合成した波形であるが、全体に減衰量が大きく、入力に対して出力は右の図３のようになる。

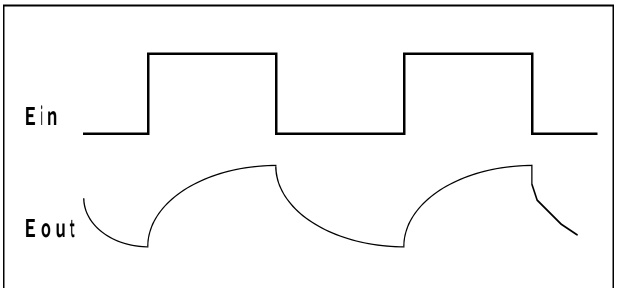


図2　　CR時定数　パルス幅

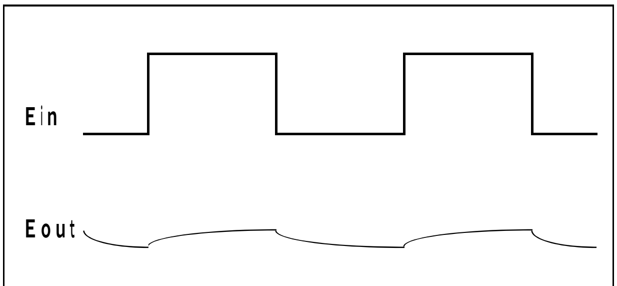


図3　　CR時定数＞＞パルス幅

（３）次に周期の長い（周波数の低い）パルス波形の場合を考える。周期１０ｍｓｅｃ（周波数１００Ｈｚ）のパルス波形には基本波である周波数１００Ｈｚの正弦波以外に、３００Ｈｚ、５００Ｈｚ、７００Ｈｚ等の奇数倍の周波数の正弦波が含まれている。このパルス波形を図１の回路にｅｉｎとして与えると、（1）と同様に、各周波数成分によって異なる減衰を受けてｅｏｕｔに現われるが、その減衰量は、基本波である１００Ｈｚに対しては０．９９８倍、３００Ｈｚに対して０．９８３倍、５００Ｈｚに対して０．９５４倍と、１ｋＨｚ以下の周波数成分はほとんど減衰せずに通過し、１ｋＨｚよりも周波数の高い成分だけが減衰を受ける。こうしてｅｏｕｔには、入力が少しだけなまった図４のような出力波形が現われる。

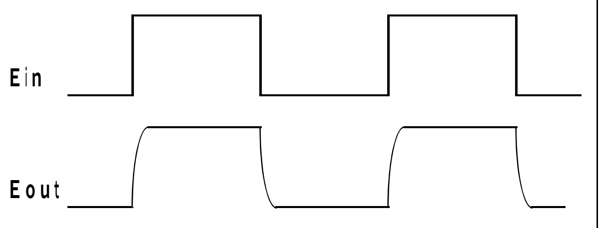


図4　　CR時定数＜＜パルス幅

一つの回路に対して、周波数を基準に出力応答を考えたものが周波数応答であり、時間軸を基準に出力応答を考えたものがパルス応答（又はステップ応答）である。両者は不可分の関係にあり、一方が決まれば他方も決まるから、周波数応答を調べることによりパルス応答を推定することが出来るし、また逆も可能である。オシロスコープで出力波形を観測すれば、時間軸を基準に出力応答を観ることができ、スペクトラムアナライザを使って周波数軸基準に出力波形を観測すれば、周波数応答を見ることができる。

ハイパスフィルタ回路

（１）用意するもの

①コンデンサＣ（０．１ｕＦ）

②抵抗Ｒ（１ｋΩ）

③発振器

④交流電圧計またはオシロ

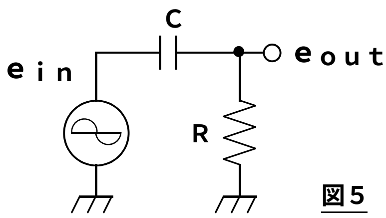


図５

（２）測定

①発振器の出力を１Ｖｒｍｓ又は１Ｖｐｐに調整する。

②発振器の周波数を１０Ｈｚから１００ｋＨｚまで変化させて
そのときの出力ｅｏｕｔを測定する。

③測定結果をグラフにする。

（３）出力ｅｏｕｔを計算で求めてみる。

ｅｉｎとｅｏｕｔの関係を式で表すと次のようになる。ここでω＝２πｆ、ｊは虚数単位である。

$$e_{out} = e_{in} \times \frac{R}{R+\frac{1}{j\omega C}} = e_{in} \times \frac{j\omega CR}{1+j\omega CR}$$

（１）と同様に振幅利得Ｇｖ[倍]と位相角Φ[radian]を求めると次のようになる。

$$Gv = \left| \frac{j\omega CR}{1+j\omega CR} \right| = \frac{\omega CR}{\sqrt{1+(\omega CR)^2}} \quad ...\ (C)$$

$$\Phi = \frac{\pi}{2} - \arctan(\omega CR) \quad ...\ (D)$$

Ｃ式によるＧｖの計算結果をグラフにすると右図のようになる。横軸は周波数を対数目盛りで、縦軸はＧｖを対数目盛りで示している。

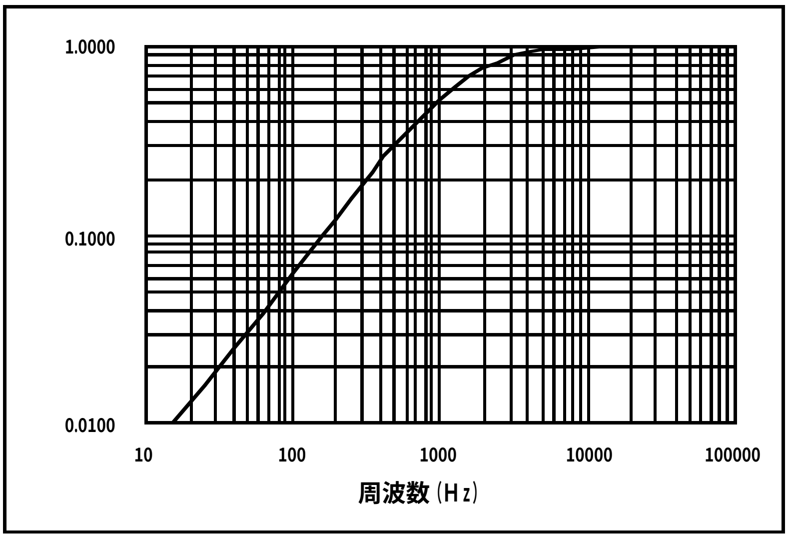
ωＣＲ＝１となる**カットオフ周波数ｆｃ**において

Ｇｖ＝0.707

となる。

周波数ｆ＜＜ｆｃでは、Ｇｖはｆに比例する。両対数グラフでは傾きが１の直線となる。

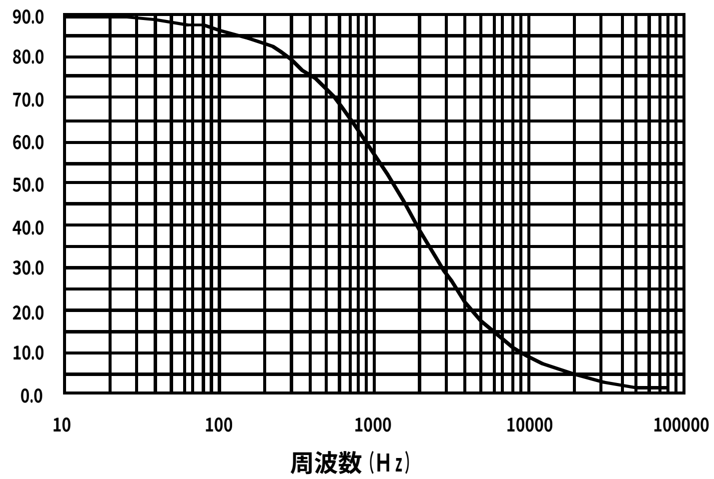
周波数ｆ＞＞ｆｃではＧｖ　１となる。



D式によるΦの計算結果をグラフにすると右図のようになる。横軸は周波数を対数目盛りで、縦軸はΦを度の単位で示している。
周波数**ｆｃ**＝１．５９ｋＨｚにおいて

Φ＝－４５度

となる。
周波数ｆ＜＜ｆｃでは、Φは９０度に漸近する。
周波数ｆ＞＞ｆｃでは、Φは０度に漸近する。
Φ＞０は位相進みを表す。



周波数応答とパルス応答

図５の回路のパルス応答と、周波数応答の関係について考える。

（１）周期０．１ｍｓｅｃ（周波数１０ｋＨｚ）のパルス波形に含まれるのは、基本波である周波数１０ｋＨｚの正弦波以外に、３０ｋＨｚ、５０ｋＨｚ、７０ｋＨｚ等の奇数倍の周波数の正弦波である。これらの周波数に対する図５の回路の減衰はほとんどないので、入力がほぼそのまま出力波形となる。（図は省略）

（２）周期１０ｍｓｅｃ（周波数１００Ｈｚ）のパルス波形には基本波である周波数１００Ｈｚの正弦波以外に、３００Ｈｚ、５００Ｈｚ７００Ｈｚ等の奇数倍の周波数の正弦波が含まれている。このうち、周波数１ｋＨｚ以下の成分は、周波数が低いほど大きな減衰を受け、逆に周波数３ｋＨｚ以上についてはほとんど減衰をうけない。そのために図６のような出力となる。

（３）周期１ｍｓｅｃ（周波数１ｋＨｚ）のパルス波形には基本波である周波数１ｋＨｚの正弦波以外に、３ｋＨｚ、５ｋＨｚ７ｋＨｚ等の奇数倍の周波数の正弦波が含まれている。基本波である１ｋＨｚの正弦波は０．７０７倍に、３ｋＨｚの正弦波は０．８８３倍に、５ｋＨｚの正弦波は０．９５３倍に減衰を受け、それよりも高い周波数についてはほぼそのまま通過する。ｅｏｕｔはこれらを合成した波形であるが、基本波の減衰量がもっとも大きく、入力に対して出力は右の図７のようになる。

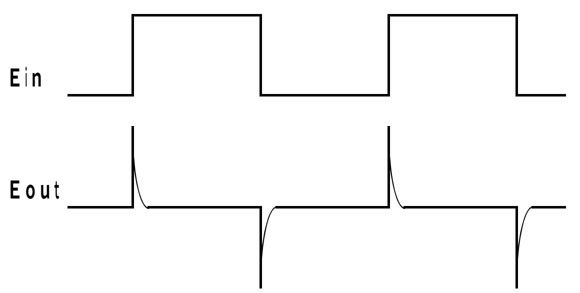


図6　　CR時定数＜＜パルス幅

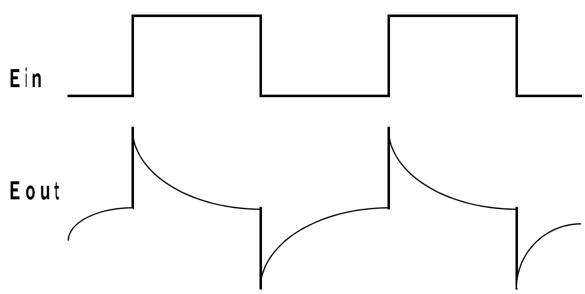


図7　　CR時定数　パルス幅

図１の回路では、入力に対して出力は波形がなまったが、図５の回路は周波数の高い信号はよく通すので、逆に急峻な変化をする部分はそのままで、一定のところが垂れ下がるような出力波形となる。