

電子情報工学実験報告

実験 4 アクティブ・フィルタ

報告者：5D-25 永安 佑希允
共同実験者：林直輝，吉澤泰士
指導教官：市毛教官

実験日：2000年05月15日
第1回提出日：2000年05月22日
第2回提出日：2000年10月26日
第3回提出日：2000年10月27日

1 目的

アクティブ・フィルタの原理および特性を実験を通して理解する。また、ネットワークアナライザの使い方を学ぶ。

2 概要

2.1 フィルタ回路

アナログ回路技術は電子回路の基本といえ、またアナログ回路技術の基本として増幅回路とフィルタ回路が挙げられる。増幅回路は信号の電圧などの振幅成分を、フィルタ回路は信号の周波数成分を選択するものである。ここでは、フィルタ回路について実験を行うものとする。

フィルタ回路は、使用する素子の種類によってパッシブフィルタやアクティブフィルタに分類される^{注1}。また、特性によってバターワース特性(振幅最大平坦特性)・チェビシェフ特性(波状振幅特性)・ベッセル特性(位相直線特性)などに分類される。さらに、利用目的によってバンドパスフィルタやバンドエリミネーションフィルタに分類され^{注2}、バンドパスフィルタにはローパスフィルタとハイパスフィルタがある。

今回実験で使用するのは、バターワース特性を持ったアクティブフィルタで、ローパスフィルタである。

2.2 ネットワークアナライザ

ネットワークアナライザとは、電子部品や電子機器などの反射係数や透過計数を測定する装置であり、個々のインピーダンスを測るより回路全体の特性を測るために使われる。

図1は測定の基本原理を示したものである。掃引信号発生器から連続的に周波数を変化させた信号をパワースプリッタによって分岐して、その一方を被測定回路に入射する。これを透過した信号と他方に分岐した入射波をアナライザに入れ、その比をも止めれば伝送特性が得られる。また、被測定器の入力部に方向性結合器を入れ、反射波を取り出し、アナライザに入力すれば、反射特性が測定される。3チャンネルのオシロスコープ上に表示させると、伝送特性(透過特性)と反射特性を同時に測定できる。

伝送特性としては、振幅特性、位相特性、透過損失、透過係数などが、反射特性としてはインピーダンス、電圧定在波比、反射係数、反射損失などが測定される。

3 実験

実験ではカットオフ周波数 f_c が 1kHz のバターワース型 2 次ローパス・フィルタに対して行う。ここで、バターワース特性の場合 $Q = 1/\sqrt{2}$ とする必要がある、これにより各素子の値を求めると、次のようになる。

注1 受動素子(抵抗・コイル・コンデンサ)のみで構成されたものがパッシブフィルタで、能動素子(トランジスタ・ダイオード・オペアンプなど)が構成要素に含まれるものをアクティブフィルタという

注2 バンドパスフィルタとは、ある特定の周波数よりも高い周波数か低い周波数の成分をカットするものである。バンドエリミネーションフィルタとは、ある特定の狭い周波数帯域のみを選択するものである。

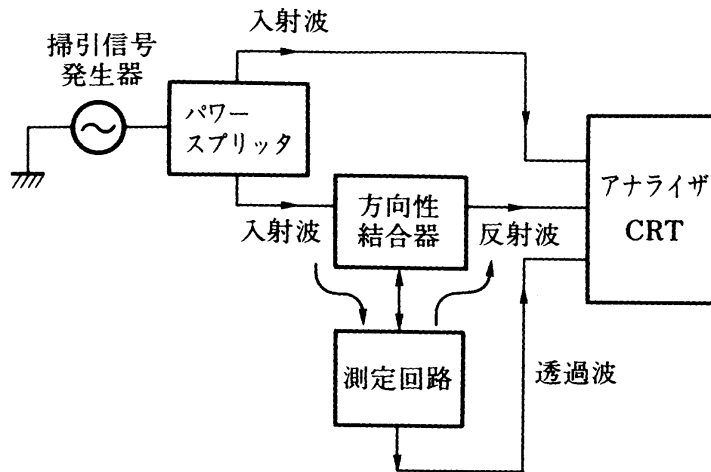


図 1: ネットワーク・アナライザの基本原理

$$R_1 = R_2 = R_f = 22.5 [\text{k}\Omega] \quad C_1 = \frac{1}{\sqrt{2}\pi f_c R_f} [\mu\text{F}] \quad C_2 = \frac{C_1}{2} = 0.005 [\mu\text{F}] \quad (1)$$

3.1 波形観測

ローパス・フィルタへの入力信号を正弦波・矩形波とし，周波数を 100Hz, 1kHz, 10kHz と変化させたときの入出力波形を観察する。

3.2 アクティブ・フィルタの振幅・位相特性

ネットワークアナライザにより，アクティブ・フィルタの振幅・位相特性を測定する。

ノーマライズ，セットアップ，振幅測定，位相測定の順に行う。振幅と位相を同時に表示した状態で，プロッタを使って印刷を行う。

4 実験結果

波形観測の結果については図 4 および図 5.3 に，ネットワークアナライザによる振幅・位相特性は図 6 に示す。

5 課題

5.1 実験結果についての考察

5.1.1 結果についての詳細

正弦波については，100Hzだと入力と出力は同じであり，1kHzだと位相のずれが見られ，10kHzだとそれに加えて振幅が大幅に減衰する。

矩形波の場合は，100Hzの場合入力と出力はほぼ同じになるが，出力の信号が変化するところで波が発生している。これは，矩形波の高周波成分が一部は完全にカットされ，一部は位相が変化していることが原因である。矩形波は低周波から高周波までの正弦波の集まりなので，このようなことが起きる。

さらに 1kHz の場合，三角波に近い形になり，10kHz にするとつぶれた形になる。これは直流回路の過渡現象に近い波形である。つまり，今回利用したアクティブ・フィルタも，RC 回路により実現できるパッシブ・フィルタと，同じような特性を持っていることがわかる。

5.1.2 実験の意義

実験結果は，一見して普通のローパス・フィルタである。予定通りパワース特性であり，同じような波形は増幅器やフィルタの周波数特性として，慣れ親しんだものである。

ローパス・フィルタは，受動素子のみの RC 回路でも実現可能なものである。ではローパス・フィルタを，パッシブ・フィルタとして実現した場合と，アクティブ・フィルタとして実現した場合の違いは何であろう。今回使用した演算増幅器には $30[V_{PP}]$ の電源電圧を印加しているが，これだけのことをするメリットがあるのだろうか。

パッシブ・フィルタの場合，減衰特性を急激にするためには多段接続する事になるが，このときカットオフ特性が悪くなってしまうという欠点がある。

アクティブ・フィルタは，この欠点を解消する動機で開発されたものである。カットオフ特性は向上し，低域のフィルタもコイルを使用せず作れるため，省スペースとコスト削減が実現できる。今回使用した演算増幅器以外にも能動素子は多数あり，組み合わせることで実に様々な特性を実現できるのが，アクティブ・フィルタの強みである。

今回の実験は，そのようなアクティブ・フィルタの特徴を出し切ったとはいえないが，その可能性の一端を垣間見ることは出来る。

5.2 ハイパス・フィルタの伝達関数の導出

アクティブ・フィルタとして実現されたハイパス・フィルタ(図2)は，ナレータとノーレータのモデル(図3)として近似できる。

ナレータ ナレータがある部分は，電圧も電流も 0 であるとする。

ノーレータ ノーレータがある部分は，電圧も電流も任意でよい。

これを，ローパス・フィルタと同じように解くと，

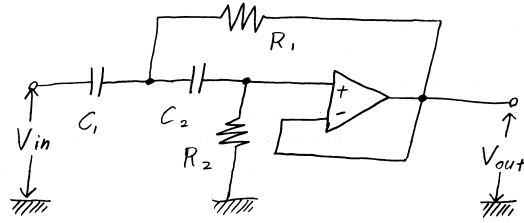


図 2: ハイパス・フィルタ

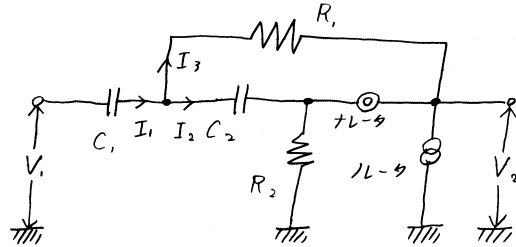


図 3: ハイパス・フィルタの等価回路

$$I_1 = I_2 + I_3 \quad (2)$$

$$I_3 R_1 = I_2 \frac{1}{sC_2} \quad (3)$$

$$V_{OUT} = I_2 R_2 \quad (4)$$

$$V_{IN} = I_1 \frac{1}{sC_1} + I_3 R_1 + V_{OUT} \quad (5)$$

$$V_{IN} = (I_2 + I_3) \frac{1}{sC_1} + I_2 \frac{1}{sC_2} + V_{OUT} \quad (6)$$

$$= I_2 \frac{1}{sC_1} + I_2 \frac{1}{R_1 s C_1 s C_2} + I_2 \frac{1}{sC_2} + V_{OUT} \quad (7)$$

$$\frac{V_{OUT}}{V_{IN}} = \frac{I_2 R_2}{I_2 \frac{1}{sC_1} + I_2 \frac{1}{R_1 s C_1 s C_2} + I_2 \frac{1}{sC_2} + I_2 R_2} \quad (8)$$

$$= \frac{s^2}{s \frac{1}{R_2} \left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \right) + \frac{1}{R_1 R_2 C_1 C_2} + s^2} \quad (9)$$

となる。

5.3 正弦波入力に対する振幅・位相特性

ここでは，正弦波入力に対する振幅・位相特性を求め，理論値との比較を行う。

まず実験結果の波形から得られた値は，表 1 に示す。

表からは，周波数が 100Hz では入力と出力はほぼ同じなのに対し，1kHz だと目に見えて出力電圧と位相が変化し，10kHz ともなると出力はほとんどなくなってしまうことが分かる（このときの位相はほぼ逆転し

入力周波数	入力電圧	出力電圧	電圧比	位相差
100 Hz	200 mV _{PP}	200 mV _{PP}	0 dB	0.07π
1 kHz	200 mV _{PP}	150 mV _{PP}	-2.5 dB	0.41π
10 kHz	200 mV _{PP}	5 mV _{PP}	-28 dB	0.97π

表 1: 正弦波入力に対する振幅・位相特性

ている。

理論値との比較は 1kHz の周波数に対して行うが、この周波数はカットオフ周波数 f_c である（3 参照）。この f_c は、電圧比が次のようになる周波数のことである。

$$\left| \frac{V_{\text{OUT}}}{V_{\text{IN}}} \right| = \frac{1}{\sqrt{2}} = -3 \text{ dB} \quad (10)$$

$$\angle \frac{V_{\text{OUT}}}{V_{\text{IN}}} = 0.5\pi = 45^\circ \quad (11)$$

実際の値と比較してみる。

振幅に関しては、理論値が -3 dB に対して実際の値は -2.5 dB となった。それほど大きくは変わらないものの、実際には理論ほど振幅が低下していないことになる。今回はフィルタなので、これは好ましくない傾向である。

位相に関しては、理論値が 0.5π なのに対して実際には 0.41π となった。これは 2 割程度のずれであるが、実際には理論ほどずれていないことがわかる。

参考文献

[1] 南谷晴之・山下久直『よくわかる電気電子計測』(ISBN 4-274-13077-0)

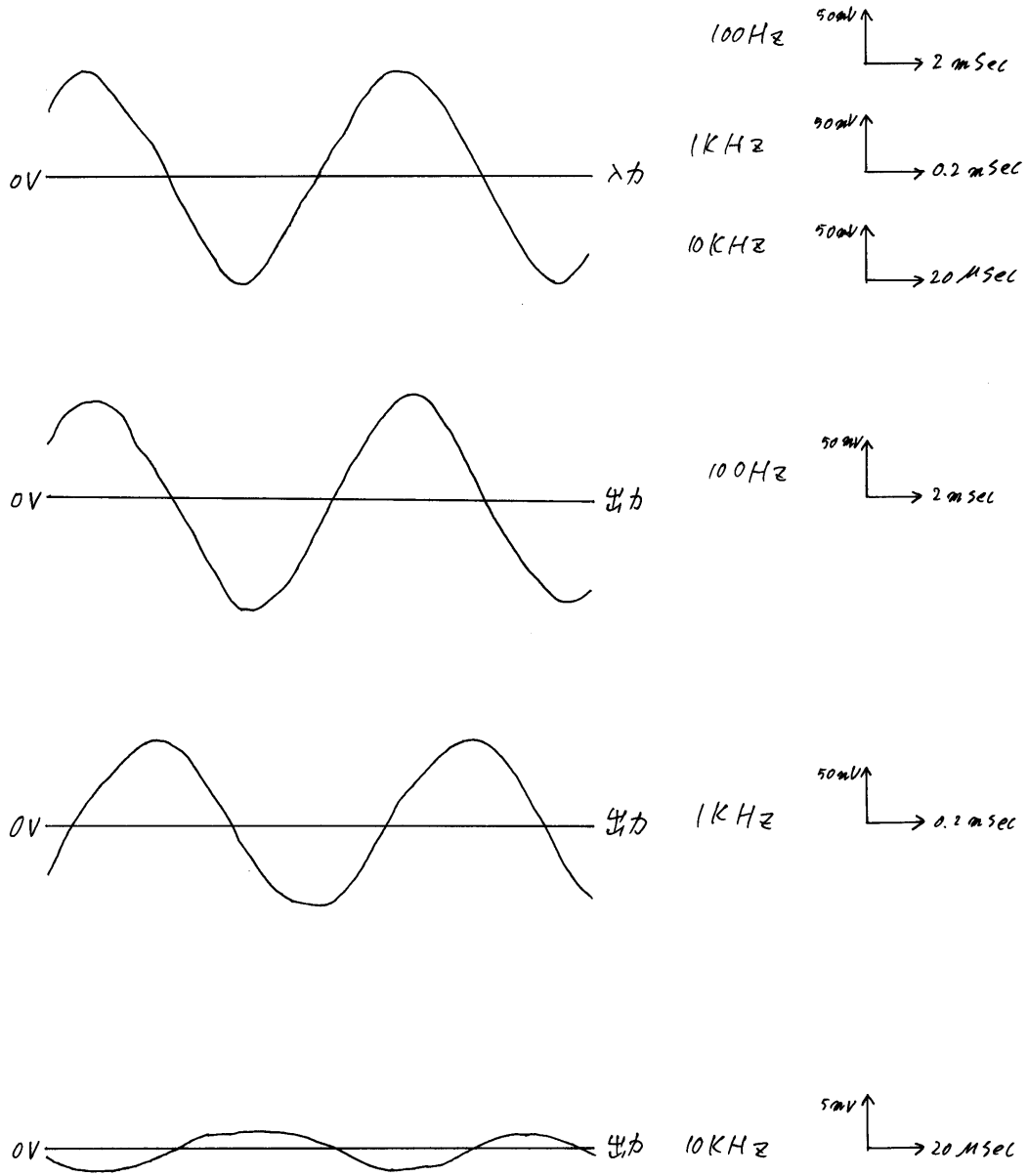


図 4: 正弦波入力に対する出力波形

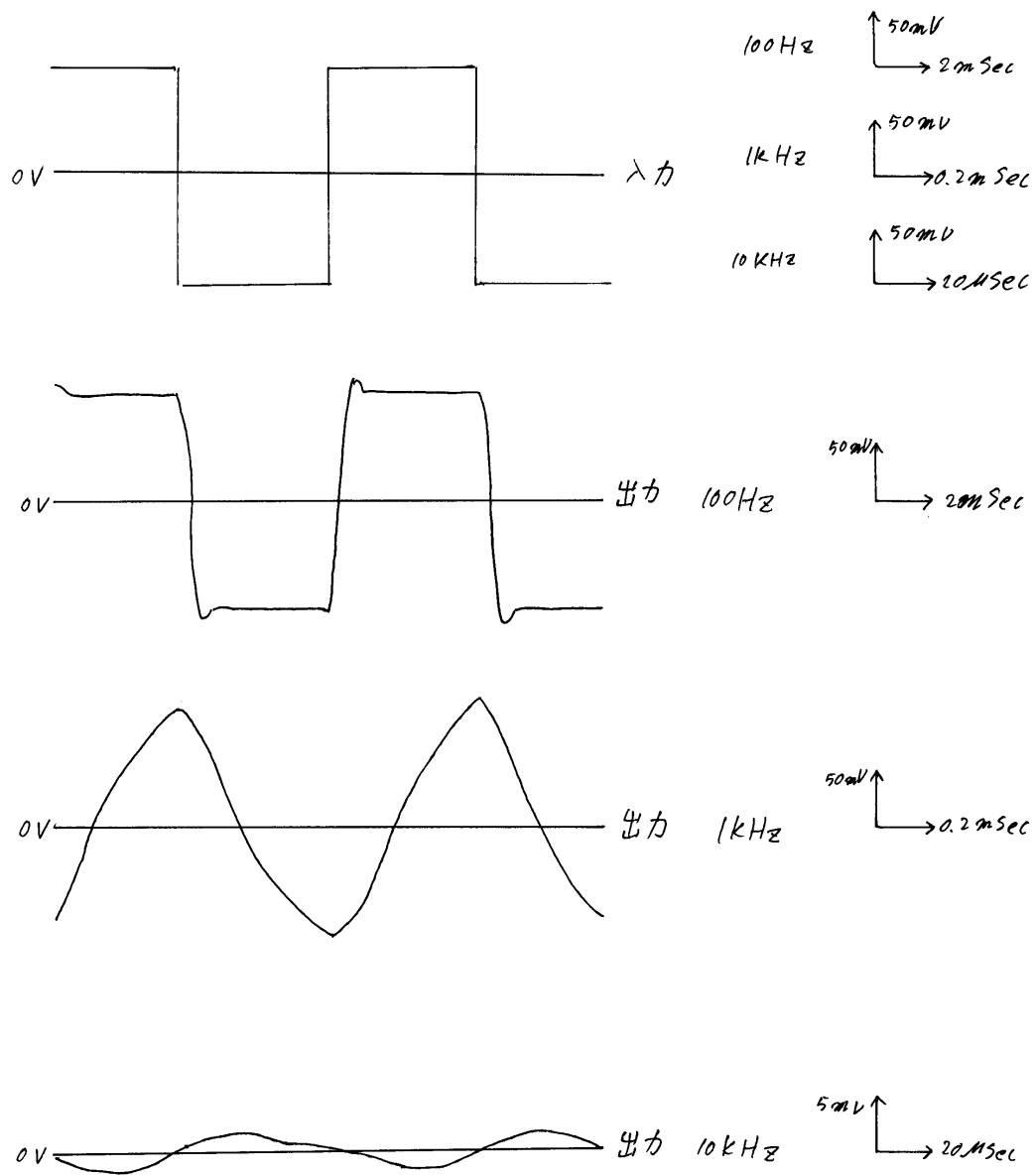


図 5: 矩形波入力に対する出力波形

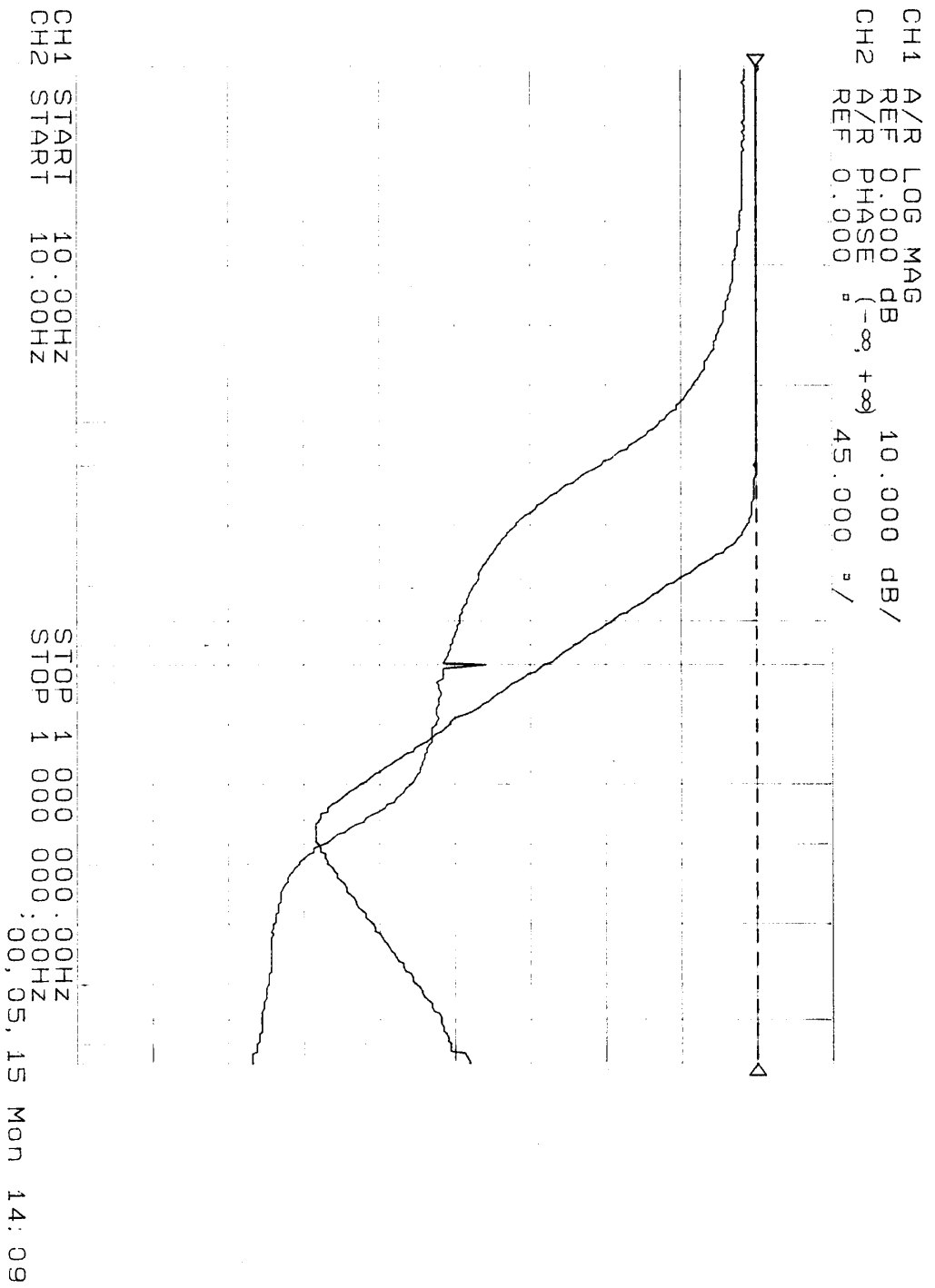


図 6: ネットワーク・アナライザによる解析結果