電気電子工学実験 III　**「時間領域、周波数領域での伝達関数計測」 ver.2.5**

担当　情報通信システム第１　三輪

１回目 サンプリングと離散フーリエ変換　頁

１－１　サンプリングとは　..2

１－２　ナイキスト条件　..3

１－３　離散フーリエ変換　..4

１－４　実験システムの概要　..5

１回目課題　..6

２回目　フィルタ特性の時間領域、周波数領域での計測

２－１　線形システムの伝達関数　..7

２－２　１次 RC ローパスフィルタの伝達関数　..8

２－３　矩形パルスと SINC 関数　..9

２－４　インパルス応答によるフィルタ特性評価　..10

２回目課題　..11

仕様機器の解説　..12

１次 RC フィルタ試作の注意点　..15

目的

この実験の目的はサンプリング定理等、周波数スペクトル、伝達関数等の信号処理の基礎となる事項を、実験的に確認し、より直観的に理解することを目的としている。

概要

○実験は２人１組で実施。各回とも最初に説明を行い、実験指導書に従って実験を行う。

○各回ともその実習を基に考察する課題がある。考察には波形情報が必要であり、取得した波形を適宜プリンタにより印刷しておく必要があるので注意。

○各回終了後、考察に必要な実験結果が揃っているかを教員、TA に判断してもらい、その日の実験は終了とする。基本的に考察は実験時間外に行う。

○機器の操作、ソフトウエアの使い方についてわからない場合は教員、TA にすぐ聞くこと。

○２回目終了後、１ 週間の間にすべての考察を実習結果も含めてレポートとして提出すること（考察のみでよい、目的等は不要）。内容の不十分なレポートには再提出を求める。

実験までの注意点　この指導書を必ず読んでくること。当日は詳しい説明はしません。

実験に必要なもの　電卓

レポートの提出先　EL 棟１階下駄箱奥のレポート提出用ポスト（上段左から３番目）

１－１　サンプリングとは

音は 20kHz 以下の周波数の電気信号の振動をスピーカ等により、コーンの往復振動に変えて空気を振動させ、音波として音を伝えている。また、TV 映像については 2 次元画像を数百本の走査線 3 色分に分割して連続的な輝度信号を作り、1 秒間に約 30 回の速さで画面描画することにより映像を映し出している。これら、音楽や映像などを記録するためには、昔はレコードやカセットテープ、ビデオテープといった磁気記録装置がよく利用されていたが、電圧の強さを磁気の強さに置き換えて録音（録画）し、磁気の強さを読み出し電圧に置き換えることにより再生するアナログ式の記録方式であった。アナログ式の記録法では、読み出しの際のノイズによる影響を大きく受け、音や映像の劣化が起こる。一方、音や輝度信号といっても、時間的に信号の振幅が変化するだけのものであるので、時間を細かく区切り（サンプリング）、各区間の振幅も細かく区切って（量子化）離散的な数値に変換し、信号そのものではなく、数値データとして記録するデジタル方式が開発された。この方式はより高速に処理をする必要があるが、ノイズに強く映像の劣化が起こりにくい手法である。よく知られているように、CD、DVD、デジタル地上波放送、デジタルカメラ等はすべてデジタル方式で音、映像を取り扱っている。このようにデジタル技術はサンプリング技術、量子化技術に支えられているといってよい。

サンプリングや量子化を行うには Analogue-to-digital converter(AD コンバータ)が利用される。AD コンバータは連続的に変化するアナログ信号の電圧値をある bit 数の整数値で表現し、ある周期毎にそのデジタル値を出力する機能を持つ。

量子化はアナログ信号を決められた入力電圧範囲 Vs を M 個に等分割し、0 から M-1 までの整数値で Vs を表すため、階段状の波形となることが特徴である。たとえば、電圧レンジ±2.5 で 12bit の AD コンバータの場合、1bit に対応する電圧は(1)式のようになる。

$$\frac{2.5-(-2.5)}{2^{12}} = \frac{5}{4096} = 1.22 \text{ mV} \qquad (1)$$

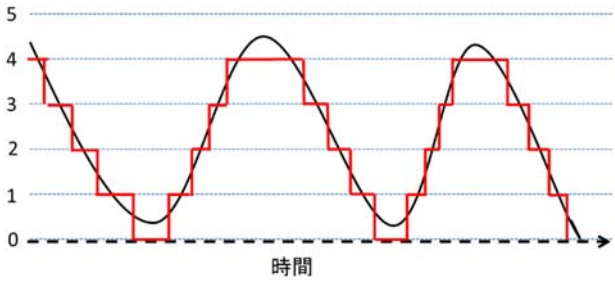


図 1 アナログ信号の量子化

サンプリングはある周期 T_s 毎に量子化された信号の瞬時値を取り出す。このときサンプリング周波数 f_s は(2)式のように表される。

$$f_s = \frac{1}{T_s} \qquad (2)$$

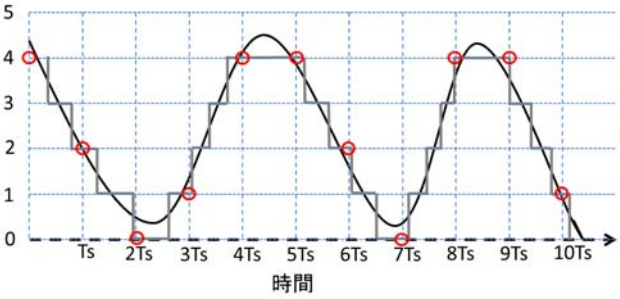


図 2 量子化信号の離散化

サンプリングの目的は連続的に変動する信号を離散的に表現する（デジタル化、データ量の削減）ことであり、デジタル化したデータから元の信号を完全に再現できることも必要である。

１－２　ナイキスト条件

それでは、サンプリングしたデータから元の信号を再現するためにはどんな条件が必要であろうか？サンプリング周期より早い変動の情報を再現できないことは直観的に理解できる（図 3）。また、我々はフーリエ変換の原理より、任意の信号はあらゆる周波数の正弦波の重ね合わせで表現できることを知っている。すると、信号の変動の速さは信号に含まれる最大周波数成分f_{max}に関連し、サンプリング周波数とf_{max}に何らかの条件があるはずである。

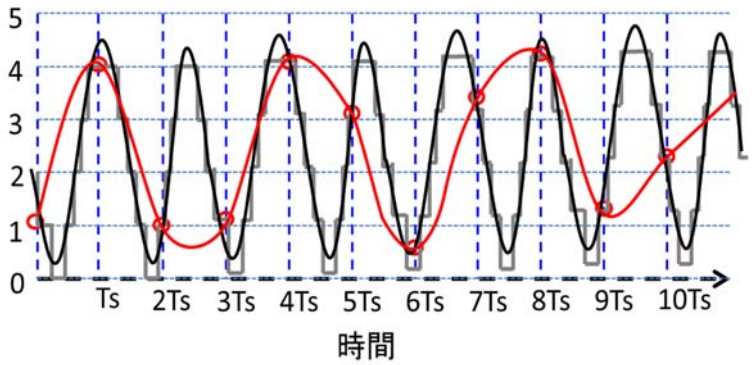


図 3 再現困難なサンプリング例

今、ある周波数 f_0 の正弦波をサンプリング周波数 f_s で N ポイントサンプリングする。サンプリングに要した全時間 T は以下で表される。

$$T = \frac{N}{f_s} \tag{3}$$

例えば、T を 1 秒とすれば N は f_s 個となる。周波数は 1 秒間に振動する回数であるので、T =1 秒間に f_0 回振動する正弦波をf_s 個でサンプリングすることになる。今、1 秒間に 1 回の振動を見るための最少のサンプリング個数を考えると、秒間 1 個のサンプリングでは絶対に秒間 1 回の振動を表現できない。一方、秒間 2 個サンプリングすれば秒間 1 回の振動を表現できる。一般に時間の伸縮で条件は変わらないので、以下の条件（**ナイキスト条件**）が予想される。

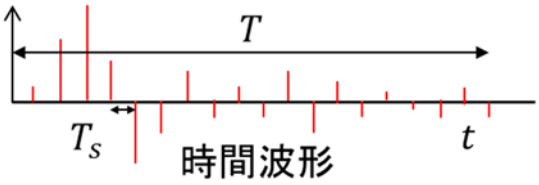
$$f_0 < f_s/2 \tag{4}$$

一般にサンプリング周波数の半分 $f_s/2$ を**ナイキスト周波数**と呼び、任意の信号であれば、その信号が持つ最大の周波数 f_{max} がナイキスト周波数より小さくなるように f_s を選ぶ必要がある。もし、$f_{max} > f_s/2$ のとき、**この信号はどのように表されるだろうか？これを時間波形、周波数スペクトルの両面から理解することが、この実験の目的である。**

１－３　離散フーリエ変換（Discrete Fourier Transformation）

サンプリングにより、元の信号の情報を正しく取得できているか？また、どのように元の情報が変化するかを知っておくことは重要である。今、振幅 A 、位相 θ , 周波数 f_0 の正弦波 $x(t)$ を考える

$$x(t) = Acos(2\pi f_0 t + \theta) \qquad (5)$$



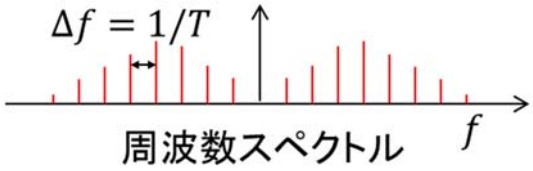
この波形をサンプリング周波数 f_s =1/T_s でサンプリングしたデータ列 x_n は(6)式となる。

$$x_n = Acos(2\pi f_0 n T_s + \theta) \qquad (6)$$

このようなデータ列 x_n がサンプリングの条件によりどうなるか考えよう。一般に、信号の特徴をとらえるために、時間領域で解析を行っても得られる情報は限られる。一方、時間波形をフーリエ変換することにより、周波数スペクトルを得ることができるが、このフーリエ解析と合わせて、時間領域—周波数領域を行ったり来たりする相互解析が、信号の本質を理解するために重要である。なぜなら、時間領域と周波数領域では信号の特徴を表す指標である基底関数（時間領域ではデルタ関数、周波数領域では正弦波）が互いに双対な特性を持っているためである。

データポイント数 N の離散信号 x_n のフーリエ変換 X_m はよく知られているように離散フーリエ変換（DFT）で表される。

$$X_m = \frac{1}{N}\sum_{n=0}^{N-1} x_n \exp(-\mathrm{j}\frac{2\pi mn}{N}) \qquad (7)$$



離散フーリエ変換は任意の離散データ列を周波数 m の複素振動 $\exp(-j2\pi mn/N)$の線形和（N 個のデータ内に m 波長の正弦波が入る。m は整数で-N/2+1 から N/2）で表そうとするものである。DFT では N 個の周波数スペクトルが得られるが、DFT 後の周波数スペクトルX_m の 1 離散間隔に対応する周波数 δf は計測時間波形のスパン（DFT に使用した波形の全時間幅 $T = NT_s$）の逆数で与えられるため、サンプリング周期を T_s とすれば(8)式のように与えられる。

$$\delta f = \frac{1}{NT_s} = f_s/N \qquad (8)$$

また、スパン T でサンプルされた信号 x_n の DFT により得られるスペクトルは、その信号が周期 T で無限に繰り返された周期波形の周波数スペクトルと等価である。**<u>これは負の周波数方向にも同様に繰り返される。</u>**したがって、x_n が周期 T_0 の周期波形の時、スパン T が T_0 の整数倍に取れば、x_n の DFT によるスペクトルは線スペクトルとなる。一方、スパン T が周期 T_0 の整数倍と異なる場合、波形繰り返し部分において不連続が生じ、正弦波をサンプリングした離散フーリエ変換であっても、線スペクトルにはならないことに注意が必要である。

１－４　実験システムの概要

波形のサンプリングには一般的にデジタルオシロスコープが使われるが、この実験ではサンプリングだけではなく、フーリエ変換や波形処理の演算を行うために市販の AD コンバータを使った PC ベースの簡易サンプラを使用する。使用する装置の概要を図 4 に示す。

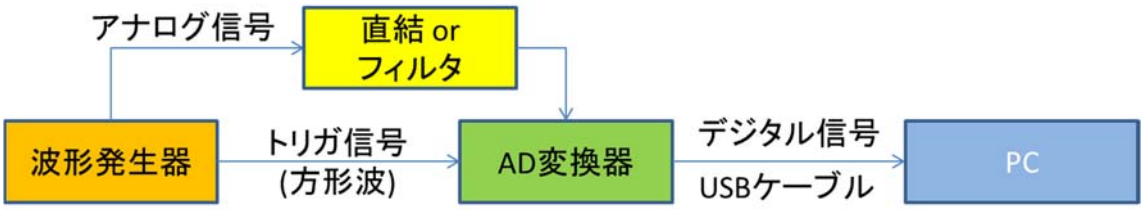


図 4 実験装置の概要

・波形発生器（FG-274）

サンプリングするための波形は波形発生器（ファンクションジェネレータ）で発生させる。本波形発生器は main 出力に正弦波、三角波、矩形波を生成でき、それぞれ、周波数、振幅、直流電圧成分を可変できる。さらに、TTL/CMOS 出力は main 出力で設定した周波数の矩形波(0-5V)を出力し、サンプリングを開始するための基準の信号（トリガ信号）として使われる。

・AD 変換器（TUSB－0412ADSM-S）

また、AD 変換器は量子化 12 bit, 4 チャンネル、最大サンプリング周波数 100 kHz・ch であり、USB ケーブルにより PC に取得データを転送する。受信チャンネルは 2 チャンネル使用する、波形発生器からの main 出力と TTL/CMOS 出力をそれぞれ、CH1、CH2 に接続する。2 週目の実験では main 出力を試作したフィルタに入力し、フィルタ通過後の波形をサンプリングすることもある。AD 変換器の入力限界は 10V までなので、接続時に誤って大電圧がかからないよう注意する。サンプリング周波数、データ取得点数等は PC のソフトウエアで指定する。

・データ取得ソフトウエア

取得したデジタル信号を表示させるにはパーソナルコンピュータを用いる。このソフトウエアは Microsoft Visual C++ 2010 Express Edition（フリー）をプラットフォームとして作成しており、三輪研で開発したグラフ作成 c 言語ライブラリ　**mlib 3.7**　を使用して、グラフ化している。このライブラリは無料で vector よりダウンロード可能(“mlib 3.7” で検索)であり、簡単に計測機等からの信号のリアルタイムグラフ化ができる。今回、学生実験用に作成した取り込みソフトウエアは 6 つの波形を同時に表示でき、さらにフーリエ変換や、波形の和、差などの演算が可能である。波形を画像としてコピーし、パワーポイント等に張り付ければ波形の印刷も可能である。

ソフトウエア使用法の詳細は 14 ページ以降に示している。

１回目課題

実習１

以下の指示に従って、波形をサンプリングする実験を行い、各波形をソフトウエアからコピーし、パワーポイントに貼り付けて整理せよ。その際、図から以下の考察ができるよう波形の表示範囲等に注意すること。

① サンプリング周波数を 50 kHz に設定する。データポイント数は 5000 ポイント。

② 出力周波数を 10 Hz から二倍ずつ増やしながら、20480 Hz までサンプリングせよ。

③ 次に、サンプリング周波数を 10 kHz、ポイント数 1000 に設定し、同様の実験をせよ。

考察１

波形から見える両者の違いについて述べ、何が起きているかナイキスト周波数、サンプリング周波数という言葉を使って説明せよ。

実習２

以下の実験を行い、パワーポイントに貼り付けた実験結果を整理せよ

① サンプリング周波数を 10 kHz、サンプリングポイント数を 1000 に設定

② 正弦波の周波数を 100 Hz から 3200 Hz まで二倍ずつ変えながらサンプリングし、時間波形をパワーポイントに張り付けて整理

③ 時間波形を離散フーリエ変換し、周波数スペクトルもパワーポイントで整理

④ ②の設定周波数 + 1 Hz の正弦波を発生させ、サンプリングを行い、時間波形、周波数スペクトルを同様に整理

考察２

周波数を 1 Hz 増やした場合、スペクトルに違いが出る理由について考察せよ。

実習３

実習１①において、周波数が 10240Hz のとき 0.1 秒間に 1024 個の波が表れることになるが、実習１③では 24 個しか観測できず、偽の波が発生していることになる。このような偽の周波数の波が表れる現象をエイリアシングと呼ぶ。

そこで、サンプリング周波数を 20 kHz、ポイント数 1000 に設定し、周波数を 2 kHz から 48 kHz 程度まで 2kHz 毎に増やしながらサンプリングし、周波数スペクトルをパワーポイントに貼り付け、整理せよ。また、設定した周波数とフーリエ変換により得られたピーク周波数の関係を図示せよ。

考察３

フーリエ変換では正と負の周波数スペクトルが存在する。離散フーリエ変換では負の周波数はどこに現れることになるか？設定した周波数とフーリエ変換により得られたピーク周波数の関係から考察せよ。

２－１　線形システムの伝達関数

ある入力に対してなんらかの出力を与えるものはシステムと呼べる。自動販売機はそのものがシステムであるし、ばねに加えた力とひずみの関係など実体的なものから物理的な関係も含めてシステムと呼べる。これらシステムには、システムの特性が時間的に変動するかしないかにより動的もしくは静的システムに分類され、入力と出力の関係によって線形もしくは非線形システムに分けられる。自動販売機は静的非線形システムであり、ばねは微小ひずみ領域では静的線形システムであるが、ひずみが塑性域になると非線形システムとなる。これらシステムの特徴を解析する上で基本となる理論が線形システム理論である。**これは時間的に変化せず、入力をｎ倍すれば出力もｎ倍になり、入力の和が出力の和となるようなシステム**である。この関係は、入力に時間的に変動する量を考えても成立しなければならない。

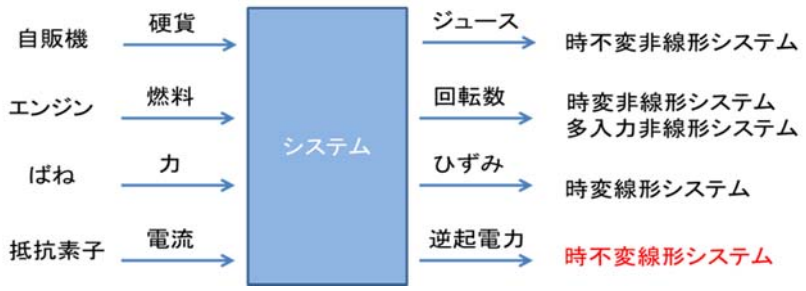


図 5 システムの例

微分演算や積分演算も線形システムの代表的な構成要素であり、積分演算であるフーリエ変換前後でも線形性は成立する。このことは、**ある正弦波を線形システムに入力したとき、出力にはその正弦波以外の周波数成分は絶対に現れないことを意味する**（逆に入力周波数以外の周波数が発生する場合、非線形システムと呼ばれる）。この性質を使うとある線形システムの特徴を知ることができる。

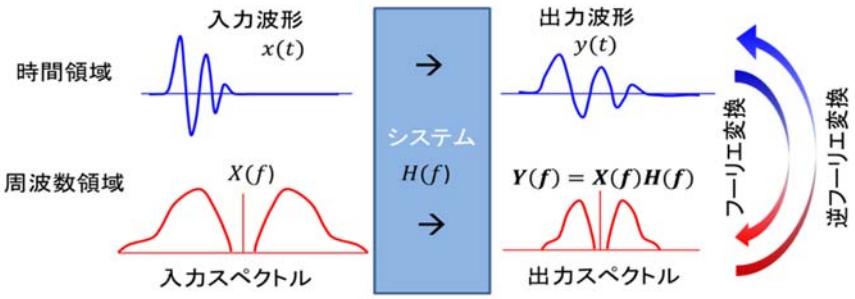


図 6 線形システムの応答

周波数を変えながらその入力 $X(f)$と出力$Y(f)$の関係を調べ、入力と出力の比を周波数の関数として表したシステムの特徴量$H(f)$は(9)式のように表される。

$$H(f) = \frac{Y(f)}{X(f)} \tag{9}$$

$H(f)$ は伝達関数と呼ばれ、高周波になるにつれ小さくなればローパス特性、大きくなればハイパス特性などと呼ばれる。

２－２　１次ＲＣローパスフィルタの伝達関数

我々はこれまで、電気回路の特徴として、回路中のコンデンサやコイルなどは微分回路、積分回路として働き、RLC 回路では入力した周波数以外の周波数は発生しないことを知っている。すなわち電気回路は線形システムの代表的な例である。その中でも、電子回路におけるフィルタは任意の電気信号をフィルタに通過させることにより、ある特定の周波数を通過させたり、また遮断させたりさせる働きをする。最も簡単なフィルタは図 7 に示すような抵抗とコンデンサで構成される 1 次 RC 回路である。この場合、コンデンサにかかる電圧 $V_1(f)$ はインピーダンスの分圧の原理から(10)式のように表される。

$$V_1(f) = \frac{\frac{1}{j2\pi fC}}{R + \frac{1}{j2\pi fC}} V_0 = \frac{V_0}{1 + j2\pi fCR} \qquad (10)$$

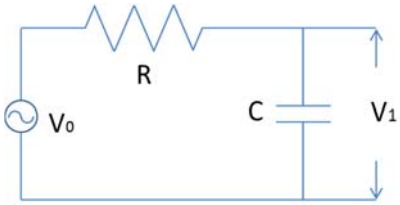


図 7　1 次 RC ローパスフィルタ

今、電源電圧 V_0 を入力とし、電圧 $V_1(f)$ を出力とするような線形システムを考えると、その伝達関数は以下のように表される。

$$H(f) = \frac{V_1(f)}{V_0} = \frac{1}{1 + j2\pi fCR} \qquad (11)$$

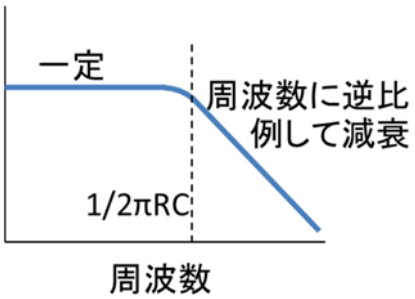


図 8　1 次 RC ローパスフィルタの伝達関数

このとき、$f \ll 1/2\pi CR$ では $H(f) = 1$

$f \gg 1/2\pi CR$ では $H(f) \propto 1/f$

である。

すなわち、図 8 のように $f_c = 1/2\pi CR$ を境に、低周波では一定、高周波側では周波数に逆比例し、小さくなる特性をもつ。このようなフィルタを 1 次 RC ローパスフィルタと呼んでいる。また、周波数 $f_c = 1/2\pi CR$ ではフィルタの電力利得が通過帯域の半分（電圧利得では $1/\sqrt{2}$）となるため、**カットオフ周波数**と呼ばれる。

一般に、伝達関数 $H(f)$ は周波数の関数なので、入力の周波数を変えながらシステムの出力を計測すれば、そのシステムの伝達関数を計測できる。この実験では電気回路の線形システムに関する事項を習得するために、ローパスフィルタを作成し、この伝達特性を周波数領域、時間領域で計測することを目的とする。

図 9　周波数領域での伝達関数計測

２－３　矩形パルスとＳＩＮＣ関数

単発矩形パルス波は図 10 のように時間幅 τ のみに一定の値を持ち、それ以外は 0 となる波形であり、信号処理においても重要な役割を果たす波形である。一般に面積を 1 に規格化するため、振幅は$1/\tau$で表し(12)式のように表される。

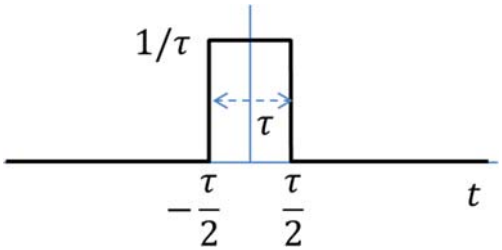


図 10　矩形パルスの例

$$\mathrm{rect}(t) = \begin{cases} 1/\tau & \left(-\frac{\tau}{2} \le t \le \frac{\tau}{2}\right) \\ 0 & \left(t < -\frac{\tau}{2}, t > \frac{\tau}{2}\right) \end{cases} \qquad (12)$$

このフーリエ変換による周波数スペクトルは理論的に(13)式のように表され、シンク(Sinc)関数と呼ばれる。

$$\mathrm{sinc}(f) = \int_{-\infty}^{\infty} \mathrm{rect}(t)\exp(-j2\pi f t)\,dt = \frac{1}{\tau}\int_{-\frac{\tau}{2}}^{\frac{\tau}{2}} \exp(-j2\pi f t)\,dt$$
$$= \frac{\sin(\pi\tau f)}{\pi\tau f} \qquad (13)$$

Sinc 関数は図 11 のようにパルス幅 τ により特徴的に変化するスペクトル分布を持つ。

① $f = 0$で最大値 1 を持つ
② 振幅が最大値の 70%となる幅（帯域幅）は $1/\tau$
③ $f = 1/\tau$ 毎に 0 となり、正負を繰り返す
④ 振幅の包絡線は $1/f$で低下する

また、τ を 0 に近づけた極限の波形は数学的にディラックのデルタ関数と呼ばれる特殊な関数であり、原点で振幅無限大、パルス幅が 0 となるような関数である。このような波形はインパルスともよばれる。

インパルスのフーリエ変換は (13)式より、$\sin(0)/0 = 1$なので、あらゆる周波数で 1 となる。すなわちインパルスはあらゆる周波数成分を、同じ振幅、位相で重ね合わせた波形である。

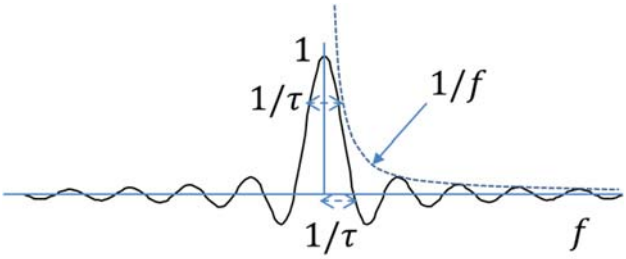


図 11　Sinc 関数の例

２－４　時間領域によるフィルタ伝達特性評価

時間領域と周波数領域はフーリエ変換、逆フーリエ変換により行き来できる。今、システムへの入力 $X(f)$ と出力 $Y(f)$ の関係が(9)式で表されるとき、システムへの波形 $x(t)$ を入力した際の、出力波形 $y(t)$ は(14)式のように表すこともできる。

$$y(t) = \int_{-\infty}^{\infty} Y(f)\exp(j2\pi ft)\,df = \int_{-\infty}^{\infty} H(f)X(f)\exp(j2\pi ft)\,df$$
$$= \int_{-\infty}^{\infty} h(t')x(t-t')dt' \tag{14}$$

ここで、$h(t)$ はシステムの伝達関数 $H(f)$ を逆フーリエ変換して得られる時間波形である。すなわち、周波数領域において $H(f)$ と $X(f)$ の積で表された出力 $Y(f)$ は時間領域 $y(t)$ においては $h(t)$ と $x(t)$ の畳み込み演算として表される。ここで、$x(t)$ が(12)のようなパルス幅 τ の矩形関数のとき、(15)式で表される。

$$y(t,\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} h(t')\mathrm{rect}(t-t')dt' = \frac{1}{\tau}\int_{t-\tau/2}^{t+\tau/2} h(t')\ dt' \tag{15}$$

τ を 0 に近づけた極限はインパルス（デルタ関数）であるため、インパルスをこのシステムに入力した応答は以下のように表される。

$$y(t) = \lim_{\tau\to 0} y(t,\tau) = \frac{1}{\tau}h(t)\left\{\frac{\tau}{2} - \left(-\frac{\tau}{2}\right)\right\} = h(t) \tag{16}$$

$y(t) = h(t)$ となるため、$h(t)$ をシステムのインパルス応答と呼び、$h(t)$ を計測し、フーリエ変換すればシステム伝達関数 $H(f)$ が得られる。インパルスを実際に作るのは困難であるが、実際には着目している $h(t)$ の変動に比べて十分短い単発のパルスを $x(t)$ として用いれば、$h(t)$ の推定は可能である。このように、**時間領域でインパルス応答 $h(t)$ を計測し、フーリエ変換することによってもそのシステムの伝達関数 $H(f)$ を推定できる。**

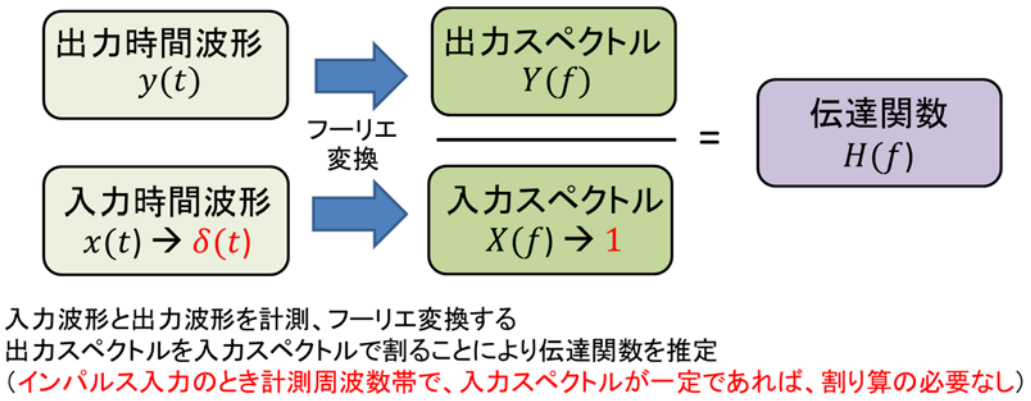


図 12　時間領域での伝達関数計測

２回目課題

実習４

カットオフ周波数を 100～500 Hz の間で、1 次の RC ローパスフィルタを設計し、ブレッドボードを使って試作せよ。ただし、フィルタ試作時に使用できる容量値、抵抗値は、自由に値を取れないことに注意。（実験指導書 15 頁フィルタ作成注意点を参照）

さらに、以下に指定した周波数で発振器から正弦波を出力し、試作したフィルタに通過させた後の時間波形をサンプリングし、パワーポイントにコピーして整理せよ。ただし、サンプリング周波数、ポイント数の設定は各自で考えよ。また、考察で波形の振幅情報を利用するため、振幅値を読み取れるよう電圧表示幅の設定を工夫しながら計測すること。

計測周波数 [Hz]　5,　10,　20,　50,　100,　200,　500,　1k,　2k,　5k,　10k,　20k

考察４

各周波数のフィルタ通過後の出力振幅（ピーク to ピーク値）からフィルタの伝達関数（出力振幅/入力振幅）を求めよ。ただし、横軸に周波数、縦軸に伝達関数のパワーのデシベル表示（伝達関数の振幅を A とすると$20\log_{10}A$）とする。

実習５

取り込みソフトの Delay[ms]は、取り込みのタイミング信号から実際に計測を開始するまでに指定した時間の遅延を与える機能である。波形発生器の wave ボタンで矩形波を選択し、Delay を変更することにより、以下のようなパルス幅を持つ単発矩形パルスを作成し、その時間波形とパワースペクトルをコピーして整理せよ。ただし、サンプリング周波数を 50 kHz とし、ポイント数、矩形波の周波数の設定は各自で考えよ。

パルス幅 [ms]　2.00,　1.00 ,　0.50 ,　0.20,　0.10 ,　0.02

考察５

パワースペクトルの形状が SINC 関数の特徴（９頁③、④）を持つこと確かめよ。

実習６

実習５からインパルスとなる波形を選び、その波形を試作したローパスフィルタに入力し、その出力波形（インパルス応答）をサンプリングせよ。また、その波形のフーリエ変換を行い、振幅を調整して伝達関数を求め、印刷せよ。

考察６

実習６で得られた伝達関数の図上に、考察４で得られた伝達関数の値をプロットし、両者を比較せよ。また、理論値どおりの特性が得られたかどうか考察せよ。

最後に、この実験の感想を自由に書いてください。レポートの評価とは無関係です。

仕様機器の解説

○ 波形発生器 FG-274

・”TTL”という文字がディスプレイ左上に出ていることを確認
・波形の切り替えは wave ボタンで行う。
・Main 出力から選択した周波数の波形が常に出力される。振幅は電圧つまみで設定。
・TTL/CMOS 出力端子からは設定した周波数の矩形波が出力される。
・周波数は設定ダイアル、桁移動ボタンや数値設定のボタンを直接操作し設定する。

○ ＡＤ変換機

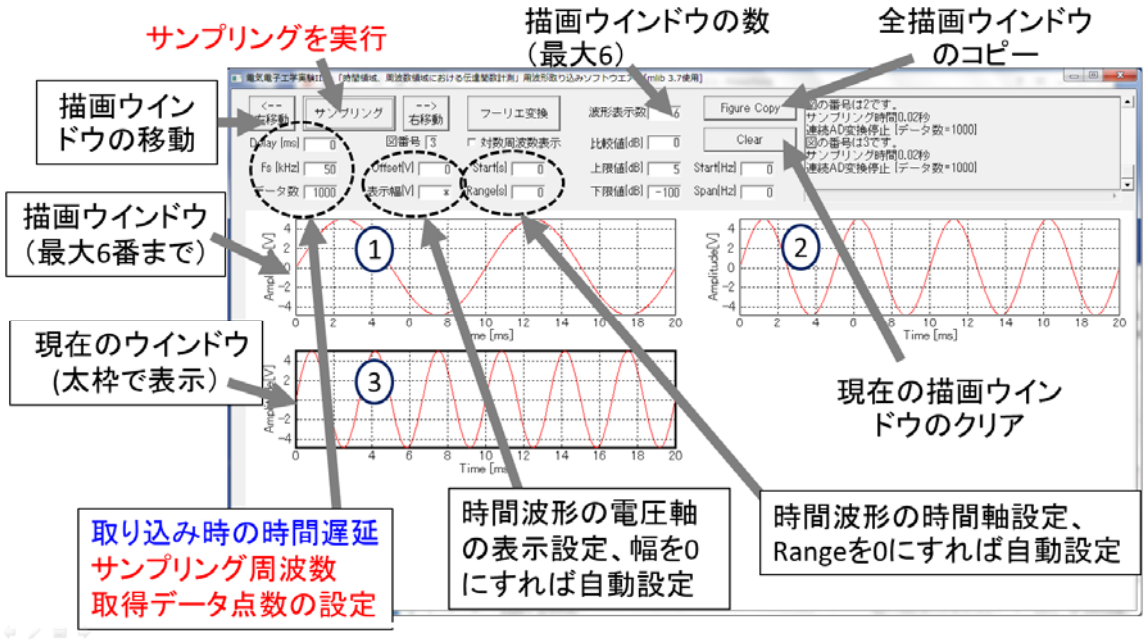
・このＡＤ変換機は変換したデジタル信号を PC に直接取り込むことができる。
・信号は USB ケーブルで伝送。正しく接続されていれば赤い LED が点灯する。
・入力信号は±10V まで、それ以上の電圧が絶対に入らないよう注意する。
・計測信号入力端子(CH1)に MAIN 出力からの同軸ケーブルを接続する。
・トリガー信号入力端子(CH2)に TTL/CMOS 出力からの同軸ケーブルを接続する。
・取り込みタイミングはトリガー信号がある電圧レベルを超えた時に開始する。
・最大サンプリング速度 50 kHz、2 CH 時
・電圧変換分解能　12bit

○ 取り込みソフトウエア

AD コンバータと本取り込みソフトウエアによって、フーリエ変換機能付きデジタルオシロスコープを実現している。

開始前

・AD コンバータの電源ランプが赤く点灯していることを確認
・波形発生器の電圧つまみが MIN 側にあることを確認

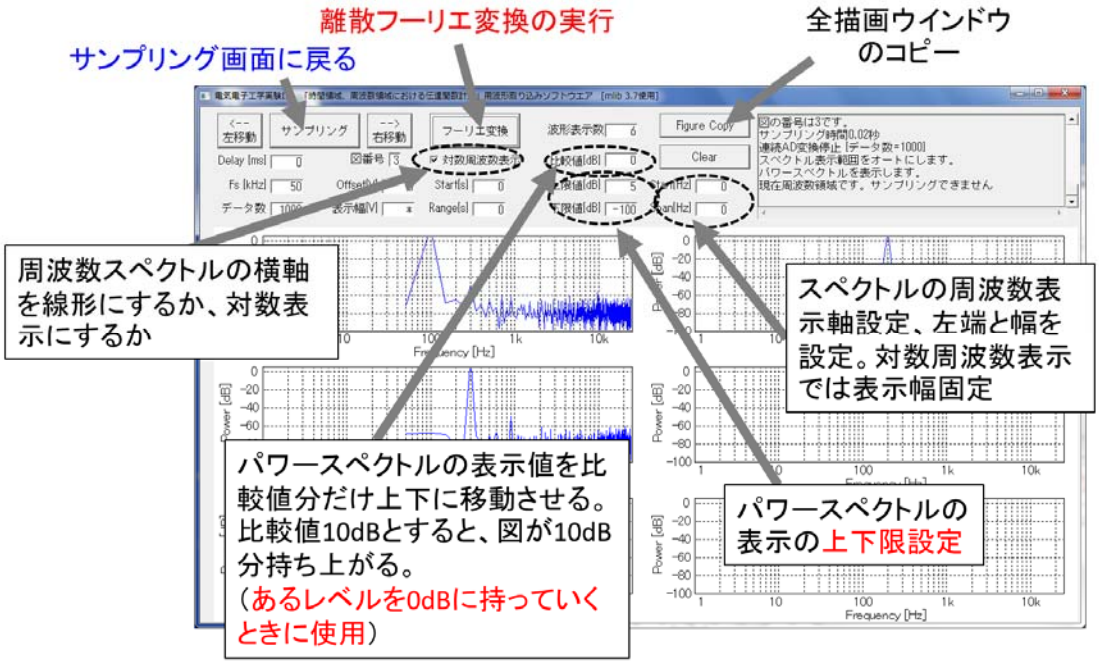


サンプリング

・サンプリング周波数、取得データポイント数を設定する。
・描画ウインドウには波形表示数で指定した数（最大 6 個）の波形データが描画可能
・描画ウインドウの移動ボタンにより描画ウインドウを移動できる
・サンプリングボタンを押すことにより、サンプリングを実行
・太枠で表される枠にサンプリングされた波形が表示

画面表示設定

・画面表示設定は新たにサンプリングされるデータに対して更新される
・すでに表示されたデータは新たにサンプリングし直さないと変更が反映されない
・Offset[V]　→ 時間波形の縦軸中央の電圧値を設定する
・表示幅[V]　→ 縦軸の表示電圧幅を決める。0 にすると波形の最大最少値で表示
・Start [s]　→ 時間波形の横軸のトリガ開始からの表示開始までの時間を設定する
・Range[s]　→ 時間波形の表示幅を決める。0 にするとサンプリングした全時間に設定



フーリエ変換

・フーリエ変換ボタンにより取得したデータを離散フーリエ変換する
・１番から６番まで順番に実行。データポイント数が 10000 以上では時間がかかる
・スペクトル表示画面ではサンプリング不可
・サンプリングボタンを押せば、時間波形が再表示され、サンプリング可になる

パワースペクトル画面設定

・縦軸、横軸の設定が可能。フーリエ変換ボタンで変更反映
・縦軸はパワースペクトル（振幅スペクトルを A とすると 20*log10(A) ）
・上限値、下限値→は縦軸の dB 値の設定
・Start [Hz]、 Span [Hz]はそれぞれ表示開始の左端および、周波数周波数の表示幅
・横軸を対数周波数表示にすることも可能

Figure copy ボタン

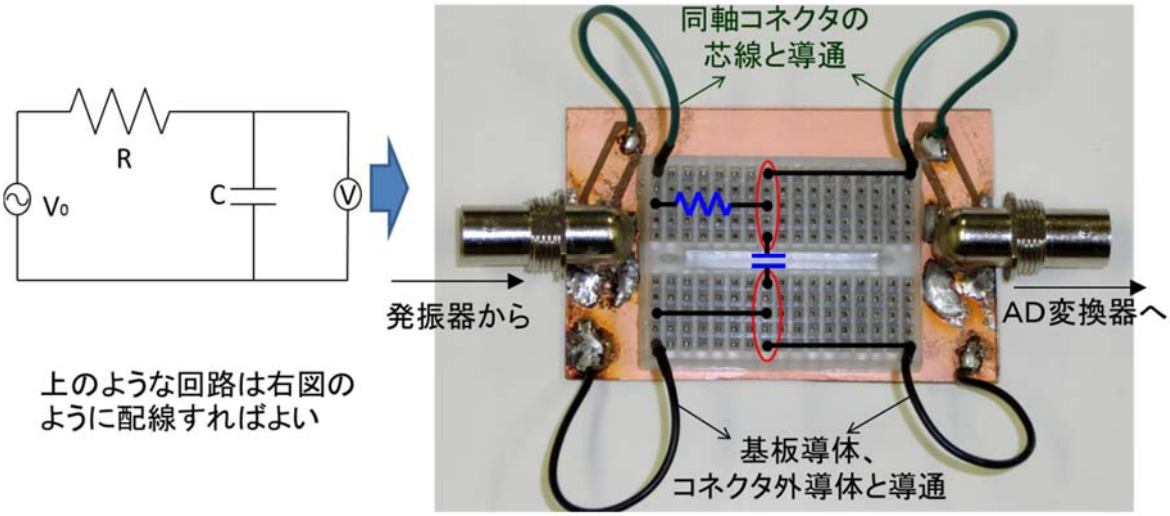
描画ウインドウをクリップボードにコピー。クリップボードとは Windows のアプリケーションで共通に利用可能な画像保存場所、例えばパワーポイントを起動し、画像を貼り付けることができる。

波形演算処理

・描画ウインドウに表示されたデータの和、差の演算を行う
・演算ボタン下部には演算に用いるデータの図番号を入れる
・ラジオボタンの選択で和か差を指定
・演算ボタンを押せば現在のウインドウに演算結果が表示される

RC フィルタ作成の注意

ローパスフィルタの作成にはブレッドボードを用いる。ブレッドボードは簡易に電気回路のテスト等が可能な、半田付けを必要としない基板である。
ブレッドボードは多数の穴が配置されており、縦に隣接する５個の穴の列（下図の赤線内の穴どうし）は内部で導通している。一方、横の穴どうしや、上部の穴のグループと、下部の穴のグループどうしは導通していない。



抵抗やコンデンサの接続は、足を穴に差し込むだけでよい。
使用できる抵抗値[Ω]は

10		15		22		33		47		68	
100		150	180	220	270	330	390	470	560	680	820
1k	1.2k	1.5k	1.8k	2.2k	2.7k	3.3k	3.9k	4.7k	5.6k	6.8k	8.2k
10k	12k	15k	18k	22k							

使用できるコンデンサの容量値[F]は

1.0n	1.5n	2.2n	3.3n	4.7n	6.8n
10.0n	15.0n	22.0n	33.0n	47.0n	68.0n
0.10μ	0.15μ	0.22μ		0.47μ	

M(メガ)	k(キロ)	m(ミリ)	μ(マイクロ)	n(ナノ)	p(ピコ)
10^{6}	10^{3}	10^{-3}	10^{-6}	10^{-9}	10^{-12}

注意事項
抵抗、コンデンサは再利用するので、最後に必ず元の場所に戻すこと