

## 1. 目的

GPIBを利用してデジタル計器をパソコンにより制御する方法を学習し、プログラミングによる自動計測ができることを目標としている。これまでの測定方法に関する知識を利用して、測定環境を構築できる能力を養う。

## 2. 実験の流れ

本実験では実験テキストを参考にして測定環境を構築し、プログラムを実行させる。ファンクションジェネレータ(発振器)とオシロスコープを利用して周波数特性を自動計測するシステムの構築を目指す。

2週に渡って実験を進めていくが、スムーズな進行のためには実験の準備が不可欠である。分からない点は周りに相談したり、担当教員まで質問に行くこと。なお、実験はオープンスペースで行う。

**【1週目】実験テキストの指示に沿って個々の測定器をコンピュータで制御する方法を学ぶ。**

- [学習上の要点]
- ・GPIBのプログラミングの概要を理解すること。
  - ・GPIBケーブルを手順に従って正しく接続できること。
  - ・デジタル計器の使用上の注意点を理解すること。
  - ・周波数特性の概要を理解し、自動計測システムを構築できること。

- [2週目までの課題]
- ・自動計測プログラムの改良点を考え、2週目に実行できるように準備すること。
  - ・課題回路となるフィルタ回路について調べておくこと。

**【2週目】自動計測プログラムシステムの改良を行う。課題回路の製作と周波数特性の測定を行う。**

- [学習上の要点]
- ・2つのフィルタ回路の測定結果を比較し、特徴を理解すること。
  - ・オシロスコープの測定精度について検討し、プログラムの改良を行うこと。

- [レポートのまとめ方]
- ・自分が実験で行った内容を要領よくまとめること。テキストを全部写す必要はない。
  - ・ワープロの使用を認める。ただし、コピーと認められる場合は手書きで再提出してもらう。  
ここでいうコピーとは、他人のレポートのコピーのほか、インターネット上の図表、文章をそのままコピーすることも含まれます。

## 3. GPIBの概要

GPIBは米国のHewlett Packard社(現Agilent Technology社)が開発したHP-IBという8ビットパラレルの自社測定器専用のデジタルバスであった。世界の計測器メーカ各社がHP-IBに対する測定器を開発するようになり、HP-IBはIEEE-488という公的な規格となった。これが一般にはGPIB (General Purpose Interface Bus)と呼ばれるものである。

GPIBは測定器をコンピュータにより制御、計測するために用いられる。コンピュータおよび測定器の間は24ピンで構成されるGPIBケーブルにより接続される。特徴は以下の通りである。

- ・最大15台の測定器を接続可能
- ・ケーブルの長さは測定器間で4 m以下、全長で20 m以下で用いる。
- ・コンピュータ、測定器間のつなぎ方は図3-1のように数珠つなぎ、スター型のどちらでも可
- ・理論最大転送速度は1 Mbyte/sec

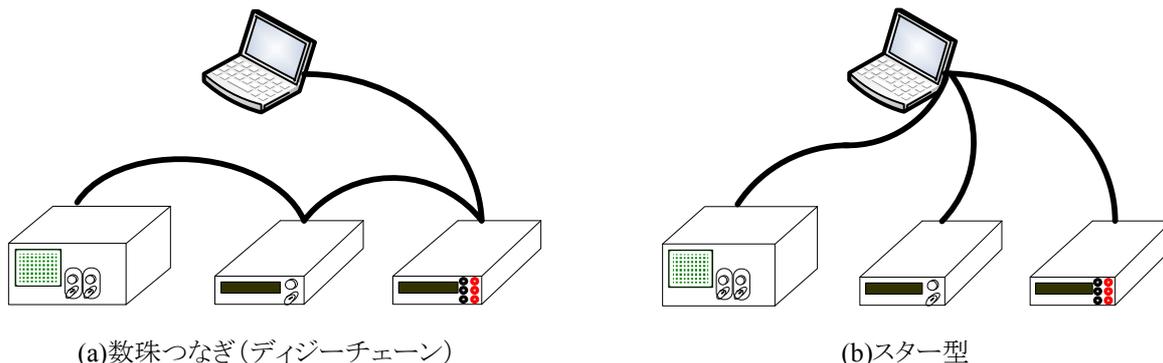
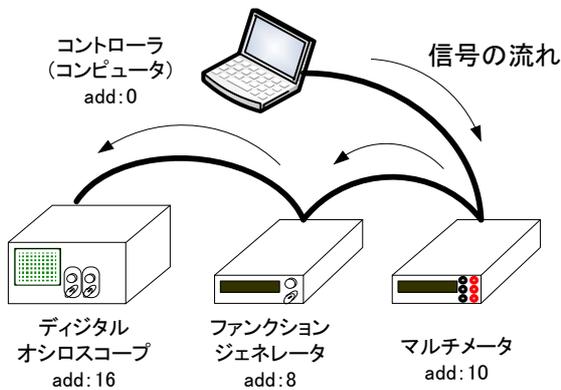


図3-1 コンピュータと測定器のつなぎ方

次に通信の概要について説明する。GPIBで結ばれた機器は、コントローラ、トーカー、リスナのいずれかの役割をもつ。

- コントローラはバスの制御を行ったり各機器へコマンドを送る役割をもつ。一般にコンピュータ(パソコン)を指す。ただし、コントローラはシステムに一台だけしか存在できない。
- トーカーはデータをデータバスへ送出する役割を持ち、同一時刻にバス上に1台しか存在できない。
- リスナはバスからデータを取り込む役割を持ち、同一時刻にバス上に複数存在できる。

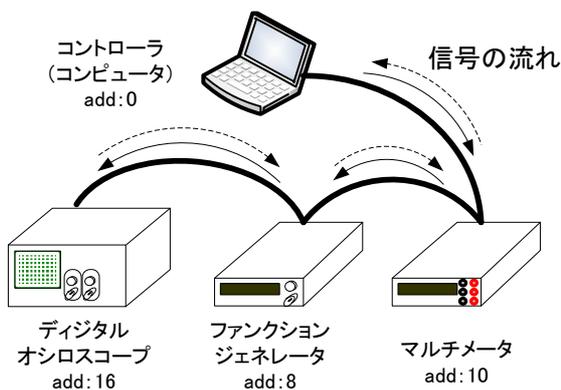
また、接続する測定器にはGPIBアドレスという識別番号が与えられる。アドレスは測定器のパネル上から設定できる。旧式の測定器ではディップスイッチで設定することが多い。GPIBアドレスにより接続されている機器を識別する。以上の状態を図3-2を用いて説明する。



例)コントローラからファンクションジェネレータに”sin波 1V 1kHz”の信号を出せ、と命令した場合  
状態)GPIBアドレスが”8”の測定器に対して命令を送る。

トーカー:コントローラ  
リスナ:ファンクションジェネレータ

このとき、デジタルオシロスコープとマルチメータにも信号は入力されるが、アドレスが異なるため無視される。



例)コントローラからデジタルオシロスコープに電圧”VPP”を測定しなさい、と命令した場合

状態)最初にGPIBアドレスが”16”の測定器に対して命令を送る。

トーカー:コントローラ  
リスナ:デジタルオシロスコープ  
次に、”16”の測定器からコントローラに測定値が送られる。  
トーカー:デジタルオシロスコープ  
リスナ:コントローラ

このとき、ファンクションジェネレータとマルチメータにも信号は入力されるが、アドレスが異なるため無視される。

図3-2 トーカーとリスナの関係

ここまで、GPIBの概要がある程度理解できたと思う。各計器はGPIB通信のために各命令や測定値を保持するためのメモリを持っていないなければならないことを付け加えておく。

次節で実際の通信についてももう少し詳しく触れる。ここでは最後にGPIBのピン配列について述べる。GPIBは冒頭でも述べたように8ビットパラレル通信なので8本のバス(信号線)があり、他に管理用のバス8本とグラウンドおよびケーブルシールド8本の合計24本で構成される。各バスの配置を図3-3に、意味を次ページの表3-1に示す。

蛇足ながら”1101”の信号を送る場合のパラレル通信とシリアル通信の違いについて図3-4にその説明をしめすので参考にすること。

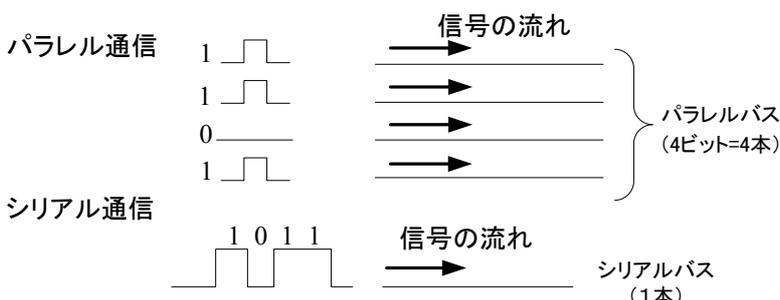


図3-4 パラレル通信とシリアル通信

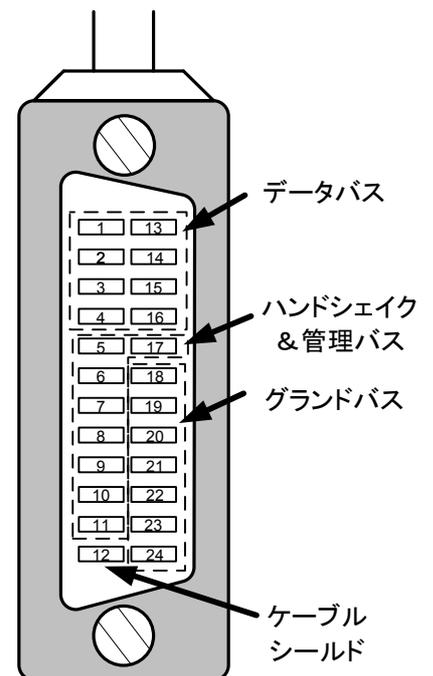


図3-3 GPIBケーブルの形状とピン配置

表3-1 GPIBバスの意味

ピンNo.	信号・記号	機能	
1	DIO1	データ (d <sup>1</sup> … bit 1)	
2	DIO2	データ (d <sup>2</sup> … bit 2)	
3	DIO3	データ (d <sup>3</sup> … bit 3)	
4	DIO4	データ (d <sup>4</sup> … bit 4)	
5	EOI	End or Identify	データ転送の終了
6	DAV	Data valid	データバス上のデータ有効
7	NRFD	Not ready for data	データの受信準備完了
8	NDAC	Not data accepted	データを受け取った
9	IFC	Interface clear	GPIB機器のインターフェース初期化
10	SRQ	Service request	コントローラへのサービス要求
11	ATN	Attention	コマンドとデータの識別
12	シールド	ケーブルシールド	
13	DIO5	データ (d <sup>5</sup> … bit 5)	
14	DIO6	データ (d <sup>6</sup> … bit 6)	
15	DIO7	データ (d <sup>7</sup> … bit 7)	
16	DIO8	データ (d <sup>8</sup> … bit 8)	
17	REN	Remote enable	リモート制御/ローカル制御の識別
18	グラウンド	DAV用	
19	グラウンド	NRFD用	
20	グラウンド	NDAC用	
21	グラウンド	IFC用	
22	グラウンド	SRQ用	
23	グラウンド	ATN用	
24	グラウンド	論理信号共通	

#### 4. GPIBの通信方式

GPIBでは送受信される信号は基本的にはASCIIコードと呼ばれる文字列である。実際のGPIBのコマンドで説明すると、

例) 周波数を100 Hzにしないで ⇔ ”FRQ 100Hz”

のように” ”で囲まれた文字列をアドレスで指定した測定器に送ることになる。実際には”F”から順番に、

”F”→”R”→”Q”→” ”→”1”→”0”→”0”→”H”→”z”

のように送られる。

このとき、文字列は表4-1のASCIIコードに変換される。データバスは8ビットであるが、最上位のビットは値としては意味を持たないので7ビット分の文字列となる。表より”F”は16進数では”0x46”であり、2進数で”1000110”となる。それぞれのビットに対応するデータバスの信号が”1”ならばHiとなり、”0”ならばLoとなれば通信できることが分かる。各文字列についても各自で確認すること。

表4-1 ASCIIコード

		上位3bit (d <sup>5</sup> ~ d <sup>7</sup> )							
16進		0	1	2	3	4	5	6	7
下位4bit (d <sup>1</sup> ~ d <sup>4</sup> )	0	NUL	DLE	SP	0	@	P	`	p
	1	SOH	DC1	!	1	A	Q	a	q
	2	STX	DC2	"	2	B	R	b	r
	3	ETX	DC3	#	3	C	S	c	s
	4	EOT	DC4	\$	4	D	T	d	t
	5	ENQ	NAC	%	5	E	U	e	u
	6	ACK	SYN	&	6	F	V	f	v
	7	BEL	ETB	'	7	G	W	g	w
	8	BS	CAN	(	8	H	X	h	x
	9	HT	EM	)	9	I	Y	i	y
	A	LF/NL	SUB	*	:	J	Z	j	z
	B	VT	ESC	+	;	K	[	k	{
	C	FF	FS	,	<	L	\	l	
	D	CR	GS	-	=	M	]	m	}
	E	SO	RS	.	>	N	^	n	~
	F	SI	US	/	?	O	_	o	DEL

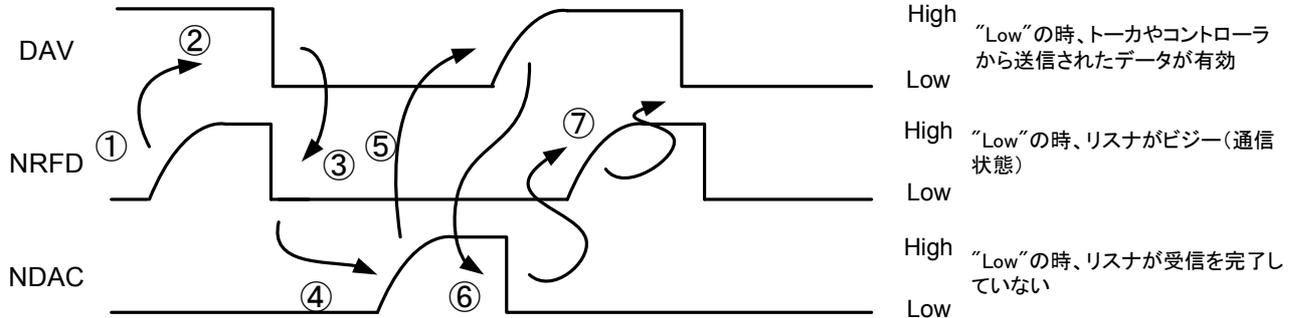
”F” (BIN) 0100 0110  
(HEX) 0x46  
 ”R” (BIN)  
(HEX)  
 ”Q” (BIN)  
(HEX)  
 ” ” (BIN)  
(HEX)  
 ”1” (BIN)  
(HEX)  
 ”0” (BIN)  
(HEX)  
 ”0” (BIN)  
(HEX)  
 ”H” (BIN)  
(HEX)  
 ”z” (BIN)  
(HEX)

なお、文字列の最後には自動的にデリミタと呼ばれるコマンドの終了を表す記号がつく。ASCIIコードの”CR”や”LF”または両方をつける場合もあるが、今回の実験では表3-1にある”EOI”信号を出すことにより終了を認識させている。

### 3線式ハンドシェイク

次に GPIB の特徴とも言える 3 線式ハンドシェイクについて説明する。これは確実にデータのやりとりをするために表3-1の3本の線”NRFD”、”DAV”、”NDAC”により、通信の状態を常に確認しながら行うことである。その動作を図4-1に示す。メッセージバイトごとにこの手順を繰り返し、確認しながら通信を行っている。

どのタイミングでデータが送信されているか考察課題で検討すること。



- ①各開アクセプタのデータ受信の準備ができたなら、最も遅い機器の受信準備完了のタイミングでNRFDラインがHighになる。
- ②ソースは、NRFDラインがHighになったら、DAVラインをLowにし、DIO1-8ライン上のデータ有効であることを、全てのアクセプタに知らせる。
- ③各アクセプタは、現在有効になっているデータの次に続くデータを受け付けないことを知らせるために、一旦、NRFDラインをLowにする。
- ④各アクセプタは、データを受信し、全てのアクセプタがデータを受信完了したら最も遅い機器の受信完了のタイミングでNDACラインをHighにする。
- ⑤ソースはすべてのアクセプタがデータを受信完了するまで(NDACラインがHighになるまで)DIOライン上のデータを保持している。全てのアクセプタがデータを受信完了し、NDACラインがHighになったらDAVラインをHighにし、DIO1-8ライン上のデータが無効になったことを、全てのアクセプタに知らせる。
- ⑥アクセプタは、DAVラインがHighになったら、NDACラインをLowにする。
- ⑦アクセプタである機器は、データ受信が完了したら、受信したデータにしたがって、必要であれば何らかの処理を行う。処理が完了したら、次に続くデータに対して①の動作を行う。

図4-1 3線式ハンドシェイクの動作原理

## 5. 基礎実験

GPIBを使うときは実際にはC言語などでプログラムを組む必要がある。しかし、それではプログラムの知識が必要になる。この負担を減らし、GPIBの使い方および自動計測に特化して作業を進めるために本実験はAgilent Technology社の計測制御用のプログラム言語であるAgilent VEEを用いる。

VEEは図5-1に示すようにオブジェクトと呼ばれるアイコンを線でつないでグラフィカルなプログラムを作成することができる。

その利点としては豊富なGUI環境を利用することで、ドライバやライブラリの組み込みといった面倒な作業を簡略化できることである。

さらに演算機能やグラフィックス機能も備えており、測定用途としては必要な機能は全てそろえている。

この節では自動計測システムの準備を行い、まずは手動による計測を行う。自動計測の理解のためには手動で同じことができ、計器の使い方を理解していることが前提となるためである。

本実験では図5-2のような周波数特性の測定を行う。x軸は対数になっていることに注意する。測定対象として最初は共振回路の特性を評価する。共振回路の周波数特性をあらかじめ予測しておくこと。

プログラムはデータで保存し、必要に応じてプリントアウトすること。これがないと実験を行った結果が残らないの注意すること。

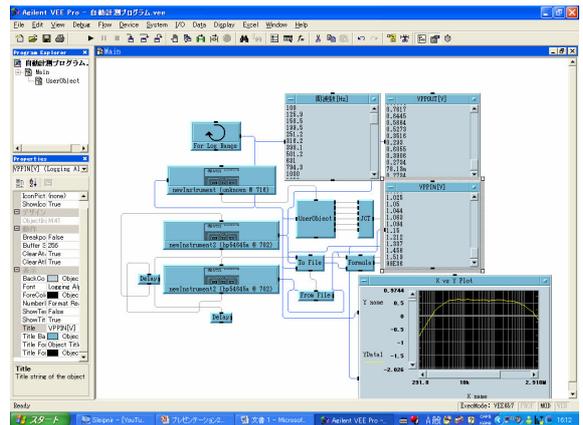


図5-1 VEEのプログラム画面

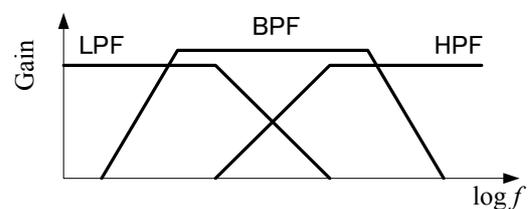


図5-2 周波数特性のグラフ

## 5-1 実験準備

注 パソコンと各測定器をGPIBケーブルで接続するときは測定器の電源を必ず切ること。  
電源が入ったままケーブルの抜き差しを行うと測定器が壊れる原因になります。

(1) 実験装置として以下のものを用意すること。実験はオープンスペースで行うので、実験前に取りに来ること。2週目も同じ構成で実験を行うので型番などをメモしておくこと。

- PC ( ) 1台
- ファンクションジェネレータ ( ) 1台 → GPIBアドレス ( )
- デジタルオシロスコープ ( ) 1台 → GPIBアドレス ( )
- USB/GPIBケーブル 1本
- GPIBケーブル 1本
- 電源の延長コード 1本
- 同軸ケーブル(BNC) 1本

これで1セットの装置となる。3セット用意してあるので3人編成の班であれば1人1セットの環境で実験を行えるが、4人の班は調整する。これ以外に必要なコードなどはその都度取りに行くこと。

(2) PC、ファンクションジェネレータ、デジタルオシロスコープをUSB/GPIBケーブルとGPIBケーブルで接続する。接続はデジチェーンで行うこと。

(3) 接続が確認できたらコンセントに電源ケーブルをつなぎ、電源スイッチを入れる。もし、エラーなどの異常がある場合は一度電源スイッチを切ってから確認すること。

(4) パソコンには”実験実習”でログインする。

(5) デスクトップにある”VEE pro”のアイコンをダブルクリックして起動すること。

(6) メニューバーより、[I/O]→[InstrumentManager]を選択し、図5-3のInstrument Manager ウィンドウを立ち上げる。

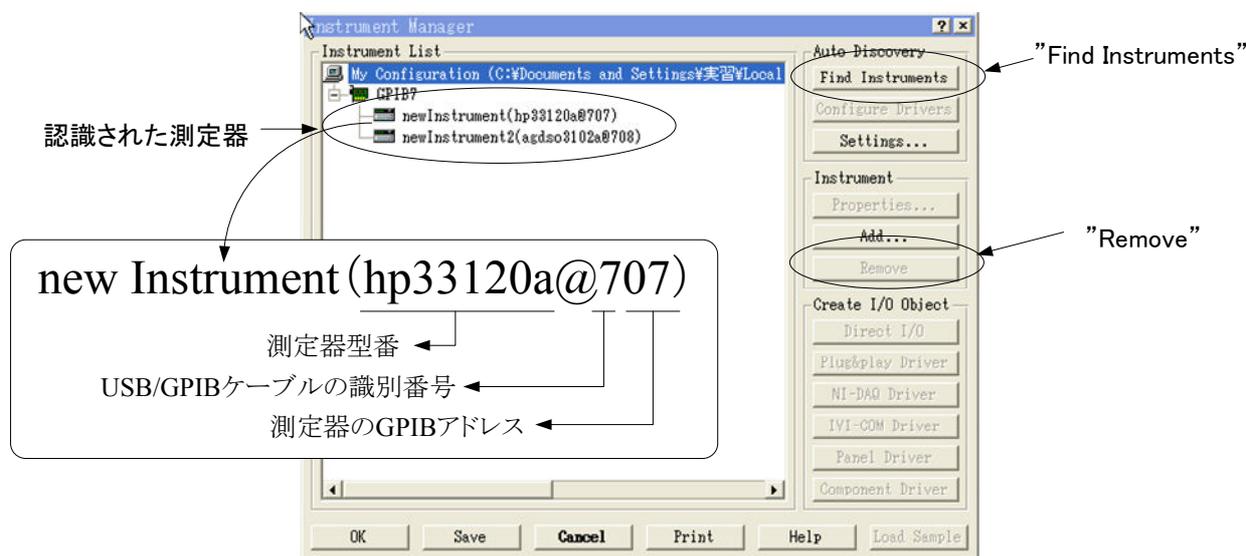


図5-3 Instrument Manager

(7) 立ち上げたときにまだ測定器は認識していないはずだが、図5-3のようにすでに測定器が認識されている場合もある。このときは、各測定器をクリックし、”Remove”ボタンを押して全ての測定器を削除してから(8)に進む。

(8) ”Find Instruments”ボタンを押して測定器を認識させる。このとき、図5-4のように”\*IDN?”信号を出して機器を識別するか問われるので”Yes”をクリックする。この作業は測定器の数だけ必要になる。

(9) 図5-3の画面の状態になったら、プログラム環境は整ったといえる。

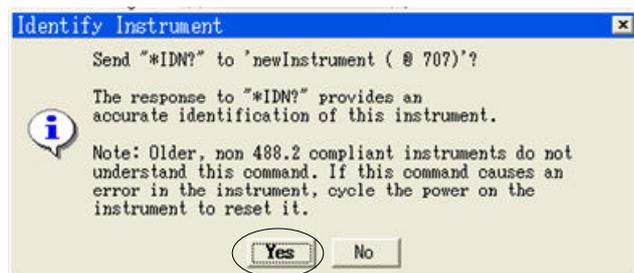


図5-4 Identify Instrument

## 5-2 基礎実験(手動による測定)

自動計測を行う前に、同様の作業を手動により行う。測定原理を理解し、デジタル計器の留意点を憶えること。

(1) 図5-5はLCR直列共振回路である。このオシロスコープのCh.1に入力波形を、Ch.2に出力波形を接続して周波数特性を測定すること。なお、測定は以下のように行うこと。

ファンクションジェネレータ(発振器)の出力周波数は100 Hzから1-2-4-7ステップで1 MHzまで変化させること。

オシロスコープでの測定はMeasure機能を利用する。“Measure”機能の“Voltage”ボタンによりCh.1とCh.2のpeak to peak電圧を測定すること。

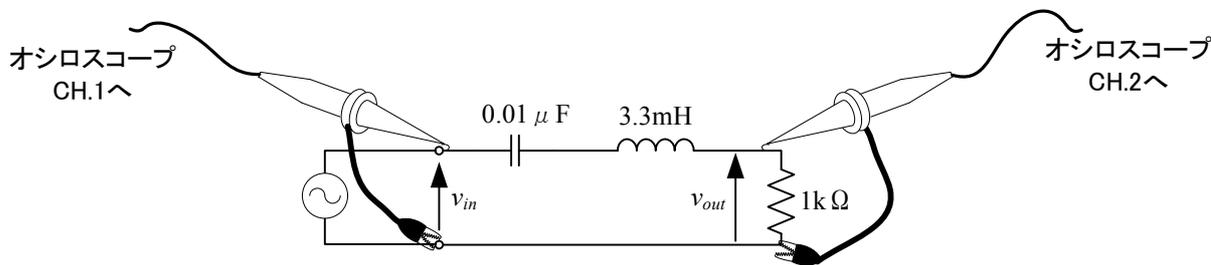


図5-5 LCR直列共振回路

(2) 入力電圧と出力電圧より利得(単位はdB)を求めること。

(3) 以下にオシロスコープ測定上の留意点をまとめる。以下の内容を理解していないと、正しく測定できないので参考にする

### ・トリガが適切にかかっているか

オシロスコープは入力波形に対して同期がとれていないとタイミングパルスが発生しないため、波形が静止して表示されない。図5-6にタイミングパルス発生原理を示す。これを参考にして波形が静止しない場合は以下の点を確認すること。

- ・トリガソースは適切か？ → 静止させたい信号(Ch.1またはCh.2)に合わせているか？ → Trig Menuにより設定
- ・トリガレベルは適切か？ → トリガレベルが波形の範囲内にあるか？ → Trig Levelにより設定
- ・入力信号が小さすぎないか？ → 入力信号を大きくするか、出力信号に合わせる。

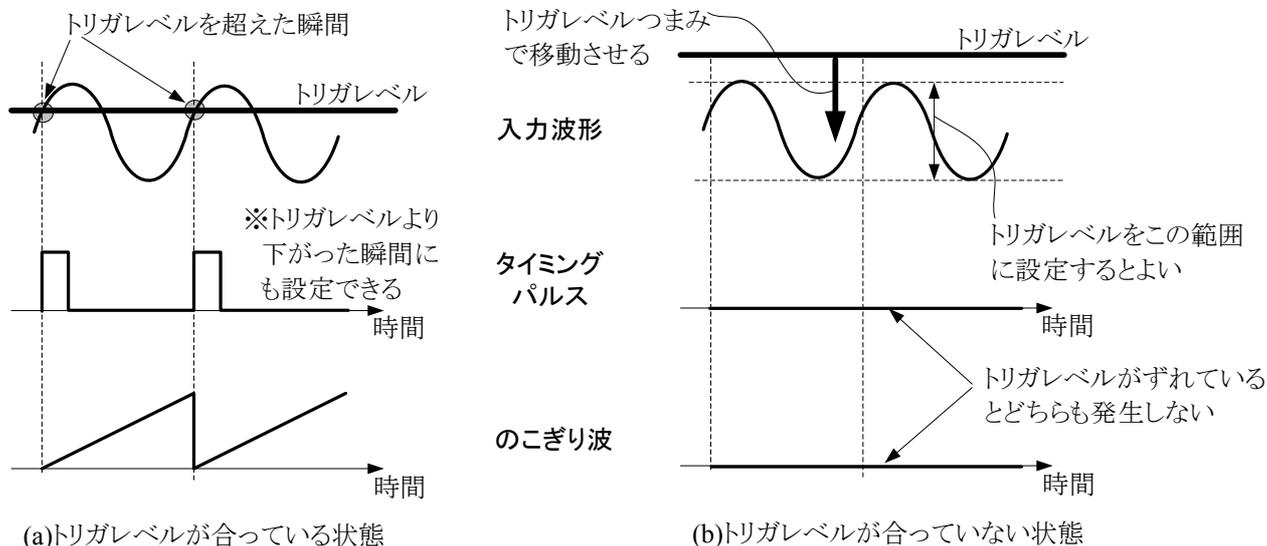


図5-6 タイミングパルス発生原理

### ・Measure機能について

オシロスコープはMeasure機能はVpp(peak to peak電圧)だけではなく、Vrms(実効値電圧)などのほか、周期や周波数まで測定できる。今回はその中でVppのみ測定している。測定上の注意点としては以下の点を確認すること。

- ・波形を画面上に1周期以上表示させること。
- ・常に波形を確認すること。

測定結果は、オシロスコープ内のメモリに格納され、自動計測ではこのVppの値をコンピュータで読み取る。きちんと画面上に表示されなければ、正しく測定されないことを理解すること。

## 6. 自動計測プログラミング

自動計測プログラムを作成し、周波数特性を測定する。以後のプログラムを行う前に、ファンクションジェネレータ(発振器)の出力とオシロスコプのチャンネル1を同軸ケーブルにより接続すること。

### 6-1 ファンクションジェネレータの制御

- (1)メニューバーより、[I/O]→[InstrumentManager]を選択し、図5-3のInstrument Manager ウィンドウを立ち上げる。
- (2)図6-1のようにファンクションジェネレータを選択し(青くなる)、“Direct I/O”ボタンをクリックする。
- (3)画面上の四角を適当な場所でクリックすると、図6-2の“newInstrument”オブジェクトが現れる。

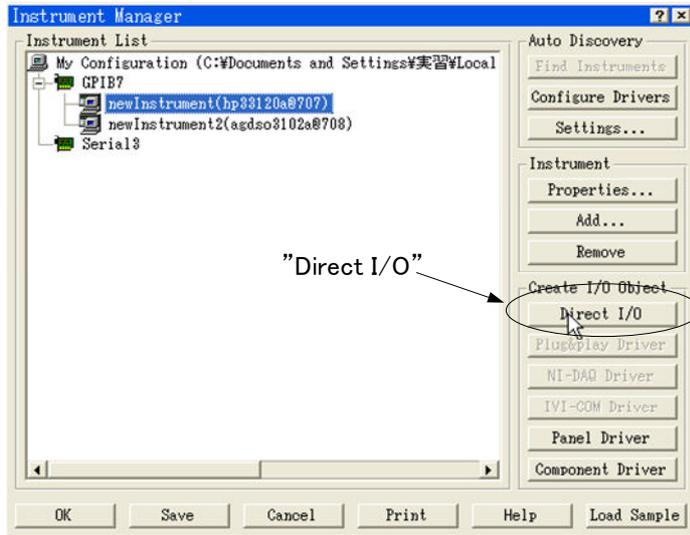


図6-1 Instrument Manager

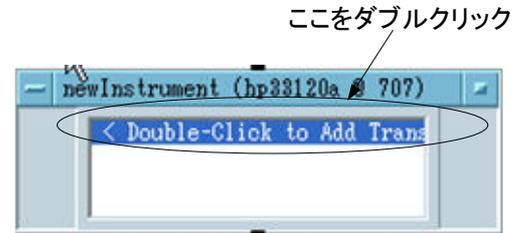


図6-2 “newInstrument” オブジェクト

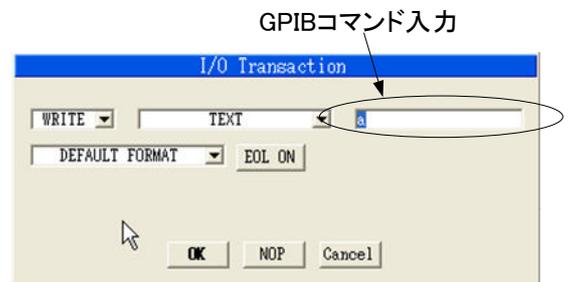


図6-3 “I/O Transaction”ウィンドウ

- (4)<Double-Click to Add Transaction>をダブルクリックすると、図6-3の“I/O Transaction”ウィンドウが開く。
- (5)ここで“I/O Transaction”ウィンドウの内容について説明する。ここでは選択した測定器に対して、

WRITEプルダウンメニュー： “WRITE”はコントローラは測定器に信号(文字列)を送信する。  
“READ”はコントローラは測定器からの信号(文字列)を受信する。

TEXTプルダウンメニュー： “TEXT”は文字列で GPIB のコマンドを送る(受ける)。

DEFAULT FORMATプルダウンメニュー： 送受信するデータの型。このまま使う。

EOL ONボタン： デリミタとして“EOL”を使う。このまま使う。デリミタとはコマンドの終了を意味する記号。

のような意味がある。これ以外の機能は基本的に使わないはずである。

- (6)現在、“a”と入力されている部分が GPIB の命令を書き込むところである。ここに、“ ”で囲まれた文字列を入力する。例として、ファンクションジェネレータに周波数を1 kHzにするように命令する。機種によって命令は異なるが、

“FREQ 1kHz” (機種によっては“FREQ”が“FRQ”となる)

と入力すること。スペースも文字として認識するので注意すること。

- (7)入力したら“OK”ボタンをクリックする。

図6-4の“newInstrument”オブジェクトに、

WRITE TEXT “FREQ 1kHz” EOL

が追加されていることがわかる。

- (8)これがプログラムの基本となる。このプログラムを実行するには 図6-5の実行ボタンをクリックする。

VEEはコンパイルを必要としないインタプリタ言語であるので 実行ボタンをクリックするだけでよい。

- (9)ファンクションジェネレータの周波数表示が1 kHzになっている ことを確認すること。

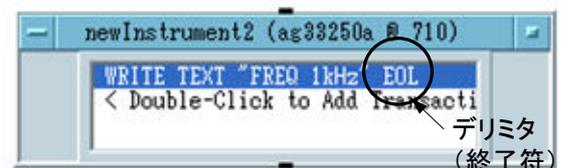


図6-4 “newInstrument” オブジェクト



図6-5 プログラムの実行

(10) 図6-6のようにもう一つ"newInstrument"ウィンドウを立ち上げる。前出と同じ手順で呼び出してもよいし、オブジェクトを右クリックして"Clone"より複製してもよい。

同じ測定器に対して、オブジェクトを分けて命令を与えてもよい。図6-6の上側のオブジェクトでは発振器の波形と振幅について設定している。詳細は別紙参照のこと。

この状態でプログラムを実行させ、発振器の表示およびオシロスコープの表示より、この通り実行されているか確認すること。

発振器およびオシロスコープが GPIB により Remote 状態である時は、パネルで操作できなくなる。この場合は測定器の LCL または Local キーを押して Remote 状態を解除すること。

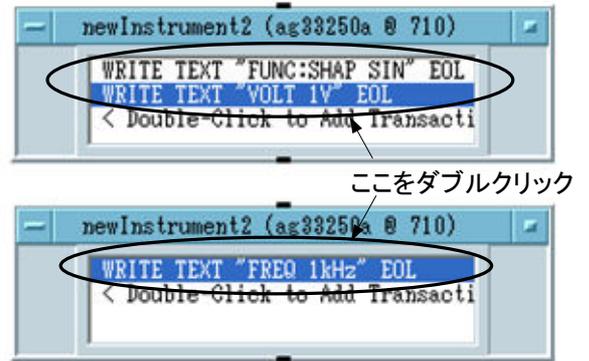


図6-6 "newInstrument" オブジェクト

(11) オブジェクト内の書き込みを訂正したい場合は、書き込んだ命令をダブルクリックすると図6-3の"I/O Transaction"ウィンドウが立ち上がり、コマンドを修正できる。同じく右クリックでメニューが現れるので命令の削除やコピーなどができる。

- Cut Transaction ... 削除
- Copy Transaction ... コピー
- Paste Transaction ... ペースト(貼付)
- Insert Transaction ... 挿入

## 6-2 デジタルオシロスコープの制御

(1) 5-2節で述べたようにメニューバーより、[I/O]→[InstrumentManager]より、今度はデジタルオシロスコープを選択して"Direct I/O"ボタンをクリックする。画面上の適当な場所でクリックすると、デジタルオシロスコープの"newInstrument"オブジェクトが現れる。

(2) 測定するためのオシロスコープの各設定を図6-7のようにする。要領は発振器の場合と同様である。以上の状態でプログラムを実行させ、設定通りになっているか確認すること。

(3) 次にオシロスコープで測定値を読み取る。もう一つオブジェクトを立ち上げ、図6-8のように設定する。

また、オブジェクトに出力端子を設定する。オブジェクトを右クリックし、メニューから[Add Terminal]→[Data Output]を選択するとオブジェクト右側にデータ出力端子ができる。(自動的に生成されている場合はこの操作は不要)

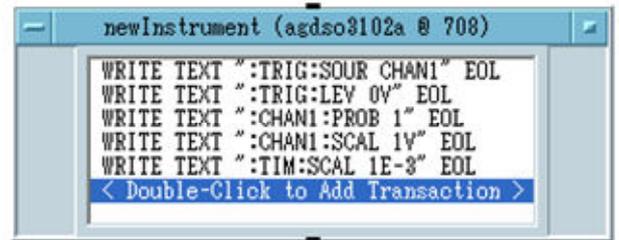


図6-7 オシロスコープの設定

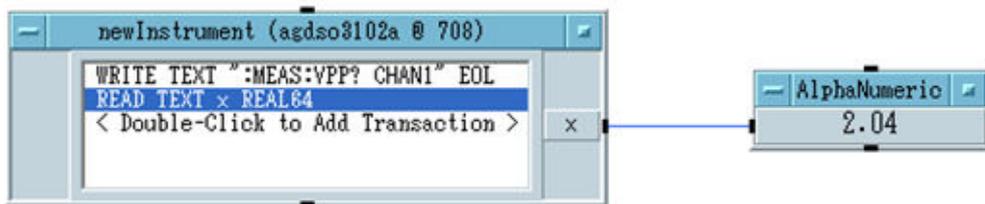


図6-8 オシロスコープの設定

- WRITE TEXT ":MEAS:VPP? CHAN1"
  - ...チャンネル1のVPPを測定する。
- READ TEXT x REAL64
  - ...オシロスコープから測定値を読み込み、変数xに格納する。

機種によっては以下のようになる。

- WRITE TEXT ":MEAS:SOUR CHAN1"
  - ...チャンネル1の波形を測定する。
- WRITE TEXT ":MEAS:VPP?"
  - ...指定したチャンネルのVPPを測定する。

(4) これだけだと測定値は表示されないなので、[Display]→[AlphaNumeric]より"AlphaNumeric"オブジェクトを呼び出す。

(5) オブジェクトのx出力ピンと"AlphaNumeric"オブジェクトの左側のピンを図6-8のように結ぶ。

(6) プログラムを実行させると図6-8のように"AlphaNumeric"オブジェクトに数値が入るはずである。ちなみに、発振器の電圧が1 Vならば2倍程度の電圧が表示されるはずである。この理由は考察課題とする。

(7) この状態でVPPをVRMSと変更し、プログラムを実行すると今度は実効値が測定されるはずである。結果より確認すること。

(8) オシロスコープの各設定がどのような意味を持つのか理解すること。特に、プローブ倍率はオシロスコープに接続するケーブルにより変更する必要があるので注意すること。

- 電圧レンジと時間レンジの設定 … 画面のどこを設定しているか？
- プローブ倍率 … 現在は1倍であるが、プローブを用いると10倍になる。その理由を説明できるか？
- トリガソースとレベルの設定 … きちんと同期がとれているか(トリガがかかっているか)？

### 6-3 オブジェクトのシーケンス制御

(1) ここまで作成したオブジェクトの実行順序を指定する。これをシーケンスという。オブジェクトの上下のピンはシーケンス制御のために用いられる(左右のピンはデータの入出力ピンで両者は使用目的が異なる)。任意のピンをクリックし、つなぎたいピンでクリックするとピン同士がラインで結ばれる。図6-9のように接続すると上から下に向かって順番に各オブジェクトが実行される。

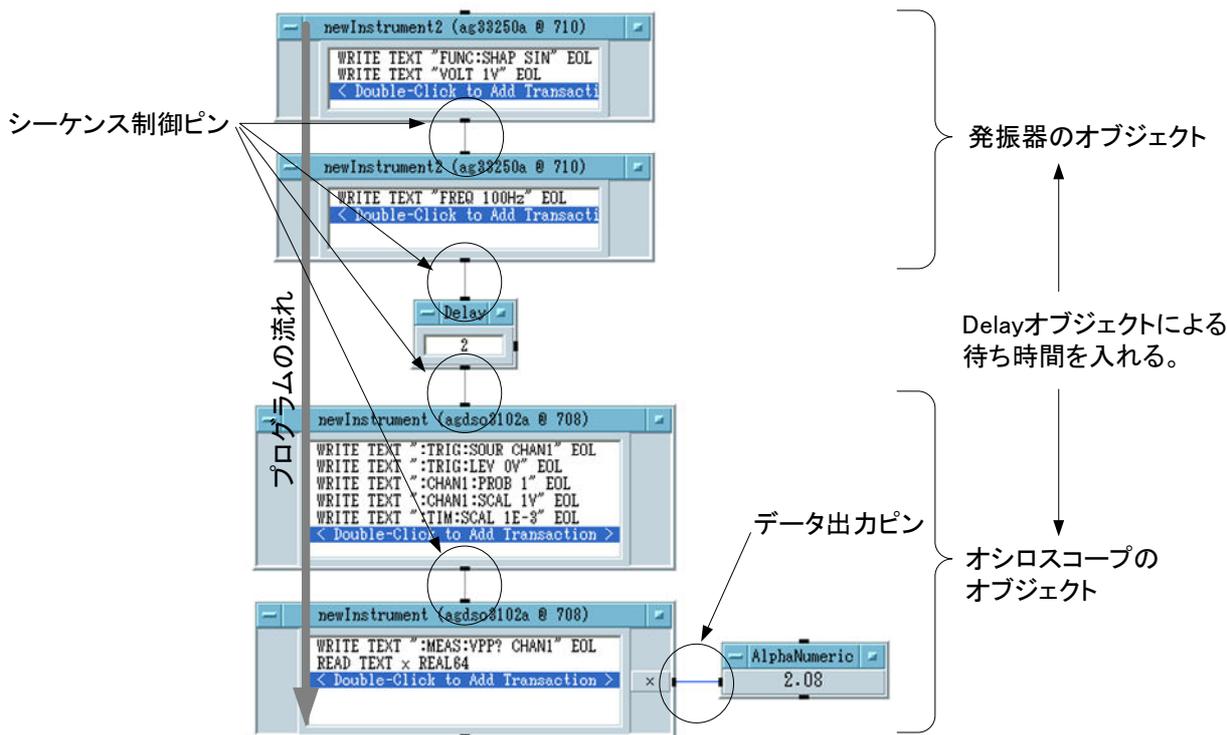


図6-9 オブジェクトのシーケンス制御

- (2) プログラムによっては測定器が命令を受信してから、測定値を送信するまでに時間がかかる場合がある。このタイムラグを考慮しないとエラーが発生する場合があります、 GPIBを利用した場合はよく起こることである。ここでは”delay”オブジェクトにより、待ち時間(ウェイトタイム)を意図的に挿入する方法について説明する。
- (3) [Flow]→[Delay]として”Delay”オブジェクトを呼び出す。  
”Delay”オブジェクト内の数字はウェイトタイムであり、単位は秒である。ここに適当な数字を入れる。一般的に1秒か2秒に設定するが、それでも動作しないときは3秒ならば動く場合もある。
- (4) プログラムを実行させるとこの順序に実行されることが分かる。特に確認を求めているが、各オブジェクト間に”Delay”オブジェクトを入れると動作は分かりやすい。
- (5) ラインをつなぎ間違えた場合などは、右クリックより”Delete Line”を選択するか、”Ctrl”+”Shift”+”Delete(DEL)”キーを押すことにより、画面上にはさみアイコンが表れ、ラインを切断することができる。
- (6) 画面上に図6-10のようなエラーメッセージが表示され、プログラムが途中で止まる場合は、プログラムのミスのほか、測定上のミスが多い。プログラムを確認してもミスがない場合は測定系の確認を行うこと。

- 発振器とオシロスコープが正しく接続されているか。
- オシロスコープのチャンネルの設定は合っているか。
- 発振器から信号が出力されているか。  
(OUTPUTボタンがある場合)
- オシロスコープに波形が表示されているか。
- オシロスコープに1周期以上表示されているか。



図6-10 エラーメッセージ



## 6-5 周波数特性測定プログラムの作成

図5-5のLCR直列共振回路について周波数特性の測定を行う。ファンクションジェネレータ、オシロスコープ、回路を図5-5の状態につなぎ直すこと。

プログラムはこれまでの内容に修正をしていくだけである。プログラムの全容は別紙資料を参照すること。

- (1) オシロスコープはチャンネル1で入力電圧を、チャンネル2で出力電圧を測定する。両チャンネルとも図6-14のように設定すること。今度はプローブを使って測定するのでプローブ倍率を10倍することを忘れないこと。
- (2) オシロスコープのチャンネル1とチャンネル2の測定は図6-15のようにして行うこと。測定に必要な時間を考慮して"Delay"オブジェクトを入れている。
- (3) 両者の結果は"Formula"オブジェクトにより演算を行う。"Formula"オブジェクトは[Device]→[Formula]より呼び出す。  
測定結果を入力できるように入力ピンを2つ加える。設定方法は前ページを参考にすること。

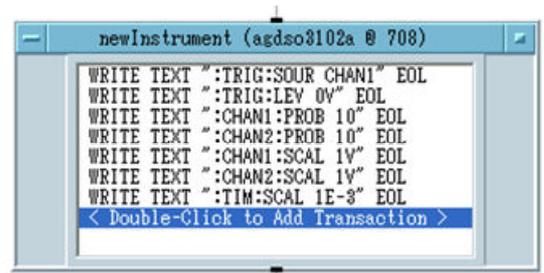


図6-14 オシロスコープの2チャンネル分の設定

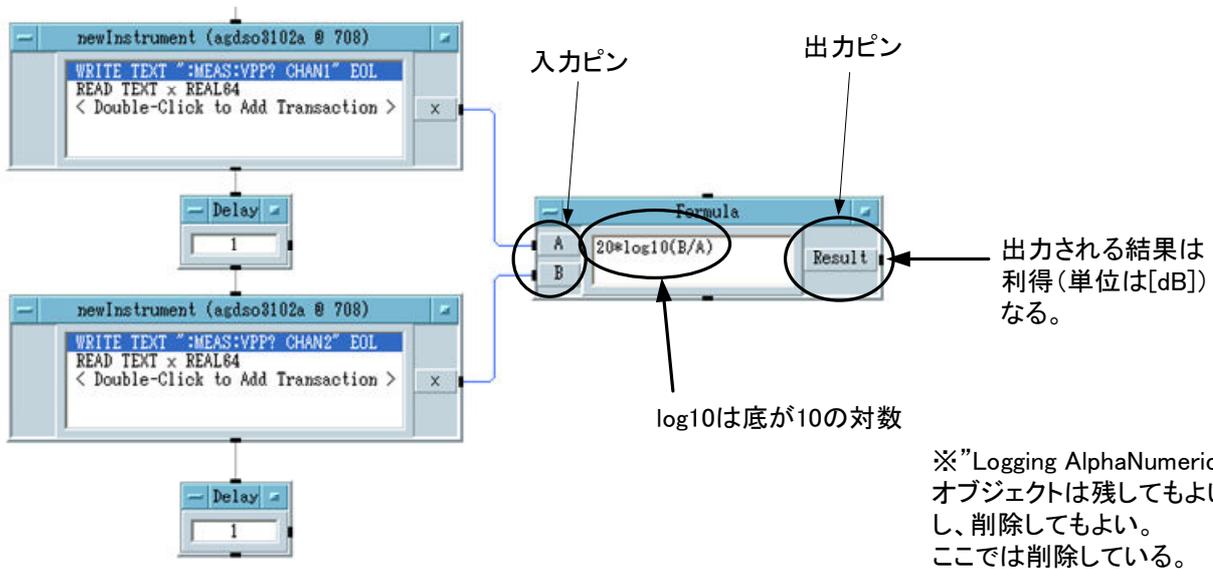


図6-15 オシロスコープの2チャンネル分の測定

- (4) "Formula"オブジェクトによる計算結果は"Result"ピン(出力ピン)から出力される。結果から"X vs Y Plot"オブジェクトによるグラフ表示を行い、"To File"オブジェクトによるファイル出力(データファイルの保存)を行う。
- (5) 図6-16の"X vs Y Plot"オブジェクトは[Display]→[X vs Y Plot]より立ち上げる。X軸入力ピンには"For Log Range"オブジェクトの出力をつなぎ、Y軸入力ピンには"Formula"オブジェクトの"Result"ピンからの出力をつなぐ。オブジェクト上の"X name"をクリックすると図6-17より軸の設定が行える。X、Y軸ともに名前を変更し、X軸のみログ表示にすること。

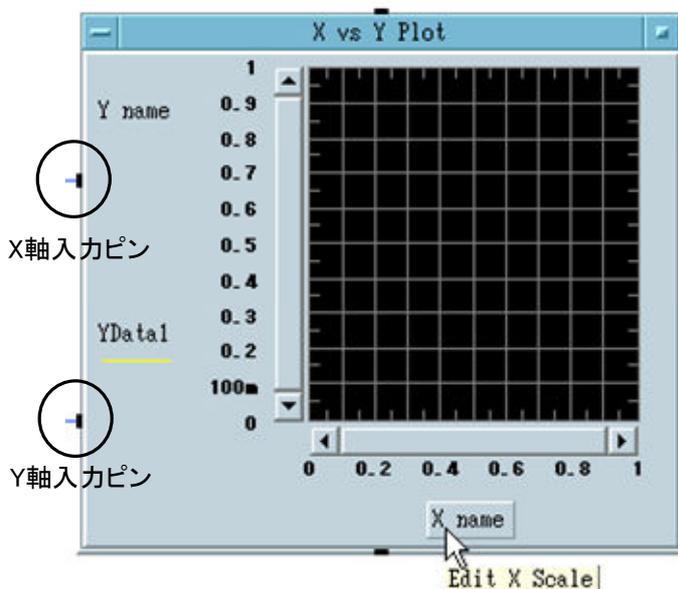


図6-16 "X vs Y Plot"オブジェクト

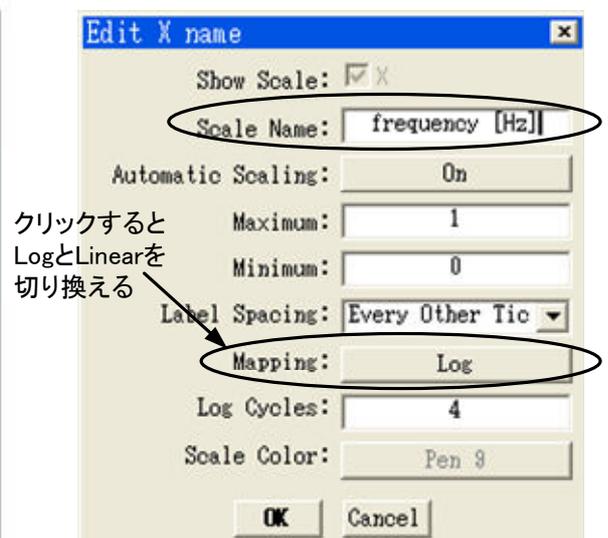


図6-17 軸の設定

- (6)次に図6-18の"To File"オブジェクトによるファイル出力(データファイルの保存)について説明する。"To File"オブジェクトは[I/O]→[To]→[File]で呼び出す。
- (7)ファイル名及び保存先は次のように行う。"myFile"ボタン(デフォルト設定)をクリックすると図6-19が立ち上がる。この場合、デスクトップ上に"2007mmdd-data1.txt"というファイルを保存するように設定している。保存されたファイルは図6-20のようにファイルが出力されるはずである。

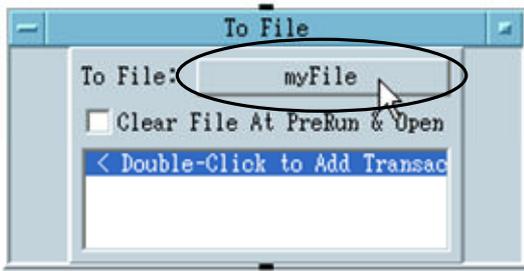


図6-18 "To File"オブジェクト



図6-20 出力されたファイル

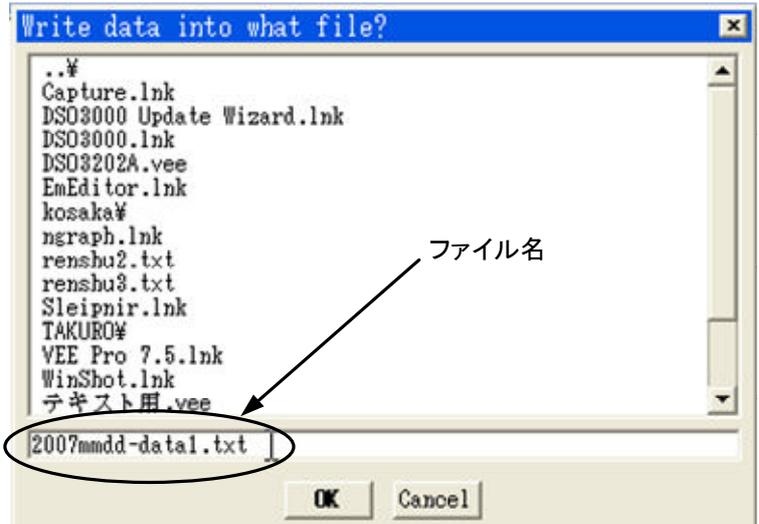


図6-19 ファイル保存先の設定

- (8)次にデータ保存形式の指定を行う。最初にオブジェクトの入力ピンを増やすこと。今回の場合は図6-21のように入力がAとBの2つ必要になる。入力ピンAに"For Log Range"オブジェクトの出力を、入力ピンBに"Formula"オブジェクトの出力をそれぞれつなぐと、変数Aは周波数、変数Bは利得のデータが取り込まれる。
- 以下のように"To File"オブジェクトに記入し、テキスト形式でデータを保存する。

WRITE TEXT A," ",B EOL ※ " "はデータ間に空白(スペース)を入れるため。

テキスト形式とはExcelだけではなく、メモ帳などでも読み込めるデータ形式である。この場合はA、Bの2つの入力結果が、

100	0.233	Aのデータ列	: 100→110→120→.....
110	0.256	Bのデータ列	: 0.233→0.256→0.278→.....
120	0.278		※列の順番に注意すること。
:	:		

のように書き込まれるはずである。

- (9)これでプログラムが完成した。プログラムを実行させて動作を確認すること。

プログラムの全容は別途示すので参考のこと。  
 プログラムはこの通りにしなければ動作しないということはない。各自でアレンジしても構わないが所定の動作を行うようにすること。

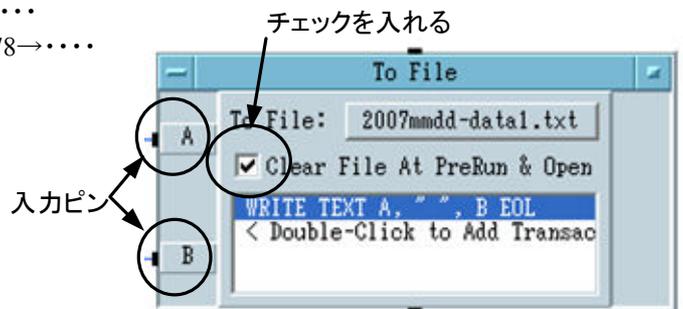


図6-21 "To File"オブジェクト

- (10)結果の整理

以上の結果より、同じ回路の周波数特性について①手動で測定した結果と②自動計測で測定した結果、および③理論計算の結果の3つを同じグラフに表示し、比較すること。

なお、2週目にプログラムを改良して測定する予定である。この結果も合わせて同じグラフに表示すること。

理論計算を行うときは各素子の定格値を用いてもよい。定格値とは図5-5の回路図の値である。ただし、各定格値は±5%の誤差を含んでいる点に留意すること。

ここまでのプログラムも結果として印刷し、レポートに添付すること。なお、プログラムの途中の課程は不要であるが、必要に応じて印刷し、レポートに添付しても構わない。

## 7. 課題実験

これまでの内容を応用して、以下の課題プログラムおよび課題回路について各自で調べてくること。2週目までに必ず準備しておくこと。分からない点や電子回路部品の在庫確認など遠慮せずに質問に来ること。

以下の課題についてプログラムは印刷し、レポートに添付すること。各回路図もレポートでは必要となる。測定結果はExcelファイル形式で保存し、グラフソフトで印刷すること。グラフもレポート添付とする。

グラフソフトはNgraphを推奨するがExcelのグラフでもきれいに書けていればよい。Ngraphの使い方は伊藤研究室ホームページを参考にするか、質問に来ること。

### 課題プログラム 周波数特性計測プログラムの改良せよ。

周波数特性計測プログラムは既に完成しているが、今度は測定の精度を上げるための工夫を行う。オシロスコープで測定の精度を上げるためには画面上にできるだけ大きく波形を表示する必要がある。

ここでは、"If/Then/Else"オブジェクトを利用して、周波数範囲毎にオシロスコープの電圧および時間レンジを変更することで精度を上げる。

"If/Then/Else"オブジェクトは[Flow]→[If/Then/Else]で呼び出され、いわゆるif文のように条件によりシーケンスを変更することができる。

別紙資料を参考にしながら、"If/Then/Else"オブジェクトを利用して図5-5の回路の周波数特性を再度測定すること。グラフは1週目の結果と併せて表示し、比較すること。

### 課題回路 パッシブフィルタとアクティブフィルタの比較をせよ。

#### 課題プログラム 課題回路の周波数特性をできるだけ精度よく測定せよ。

抵抗 $R$ とコンデンサ $C$ によるフィルタ(パッシブフィルタ)とOPアンプを使ったアクティブフィルタを同じ遮断周波数になるように設計すること。LPF、HPF、あるいはBPFのどれでもよいが、フィルタの特性を比較するために、両者は同じ特性のフィルタであること。

回路はブレッドボード上で組む。各部品の在庫状況はあらかじめ確認しておくこと。

両者の結果は比較しやすいように同じグラフにまとめること。また、理論計算を行い、併せてグラフに表示すること。

## 8. 考察課題

- (1) GPIBによる通信で"REQ 100Hz"とコマンドを送った場合、表3-1のDIO1～DIO8およびDAV、NRFD、NDACの各バスの信号についてタイムチャートを示すこと。
- (2) デジタルオシロスコープのA/D変換の性能は8bitが一般的である。今回用いたオシロスコープも8bitであるとし、分解能について検討しなさい。この結果を踏まえて、画面上に大きく表示すると何故精度が上がるのか説明しなさい。
- (3) 6-2節で述べたように、ファンクションジェネレータの出力を同軸ケーブルでオシロスコープに入力すると、ファンクションジェネレータの電圧表示の約2倍の大きさに測定される。この理由について説明せよ。
- (4) サンプリング周波数について述べよ。また、今回のオシロスコープのサンプリング周波数について調べ、測定できる最大周波数について検討せよ。

## 9. 考察のポイント

- (1) 図5-5の回路の周波数特性の各測定結果をもとに、デジタル計器の精度について検証すること。  
デジタル計器は測定部にA/D変換器を用いている。考察課題(2)を参考にして今回のデジタルオシロスコープの分解能から測定精度について検証すること。
- (2) パッシブフィルタとアクティブフィルタを比較し、それぞれの利点と欠点についてまとめてから結果について考察すること。特に、課題回路のパッシブフィルタとアクティブフィルタについて遮断特性を比較すること。理論式も導くこと。
- (3) 自動計測する利点は大量のデータを測定する場合やルーチンワークを行う場合にある。過去の実験テーマや卒業研究(4年次の工学(基礎)研究を含む)について例を挙げて自動計測システムを構築しなさい。全自動でなくてもよい。  
図を用いて説明すること。測定器の種類など分からない場合は担当教員まで相談に来ること。