

13、増幅器の周波数特性

(1) オシロスコープ操作つまみの機能の確認



この実験で用いるオシロスコープ(日立 V-252 型)のフロントパネルを示す。まず、操作つまみの機能を確認する。

電源

POWER: オシロスコープ電源スイッチ。Power を Off 状態にして、電源コードをライン・コンセントに接続する。実験(2)へ移るまでは Off にしておくこと。

Braun 管系

TRACE ROTATION: 外部磁界の影響で水平輝線が水平軸と平行でなくなったときに用いる(普通は調整の必要なし)。

INTENSITY(輝度): 輝度調整ボリュームで、輝度は時計方向まわりで増大する。

FOCUS: 集束電圧を変えて輝点の焦点を調節する。

垂直軸系

INPUT: 2 現象オシロスコープのための、チャンネル 1 とチャンネル 2 の 2 つの垂直信号入力(後述の X-Y オシロスコープ動作のときは、CH1 は X 軸入力、CH2 は Y 軸入力となる)。

AC-GND-DC: DC では直流測定入力、AC では交流測定入力。GND では、入力回路が接地され Y 軸の零レベルがチェックできる。

VOLTS/DIV: 10 段の入力増幅器で、次の **VARIABLE** を時計方向いっぱいに戻した CAL のとき、垂直偏向感度が 1 目盛(DIV) 当りの電圧で較正されており、電圧を直読できる。

VARIABLE: このつまみを反時計まわりに回すと垂直偏向感度を連続的に 1/2.5 まですで減衰させることができる。

▲ **POSITION**: 輝点の垂直軸上の位置を調整する。

MODE: CH1; CH1 に加えられた信号の像が得られる。CH2; CH2 入力信号の像が得られる。ALT; CH1、CH2 の像が交互に写る。CHOP; CH1、CH2 の像が同時に写る。ADD; CH1 入力信号と CH2 入力信号の代数和の像が見える。

較正器系

CAL: 約 1kHz で電圧 $0.5 \text{ V}_{p-p} \pm 5\%$ の矩形波が発生している。垂直軸の感度を較正するとき用いる(本実験では使用しない)。

水平軸系

TIME/DIV: 掃引時間切換スイッチ。0.2 $\mu\text{s}/\text{DIV}$ から 0.2 s/DIV の間 19 段の挿引時間が設定できる。X-Y 位置にセットすると CH1 を X 軸、CH2 を Y 軸とする X-Y オシロスコープ動作をする。

SWP VAR: 掃引時間の微調節つまみ。時計方向にいっぱい回した **CAL** のとき、**TIME/DIV** の目盛が校正されている。

◀▶ **POSITION**: 輝点の水平位置調整つまみ。

同期系

MODE: AUTO; 自動的に同期動作が行なわれる。NORM; 信号が入力されたときだけトリガー同期動作が行なわれる。

LEVEL: 周期を取るための同期トリガー信号を発生させる直流レベル設定つまみ。このつまみで入力繰り返し信号のどの部分で掃引を開始するかを定める。

SOURCE: 同期信号源の選択スイッチ。INT; CH1 または CH2 の入力信号(により選択) からトリガー信号をつくる。LINE; 電源周波数 (50 Hz) に同期した信号を観測するとき使う。EXT: TRIG IN コネクターより加えられた外部信号によって同期をかける場合に使う。

TRIG IN: 外部信号によって同期を行なう場合の入力。

TRIG INT: CH1 または CH2 の入力信号を同期信号にする。

その他

GND: 接地端子、アース。

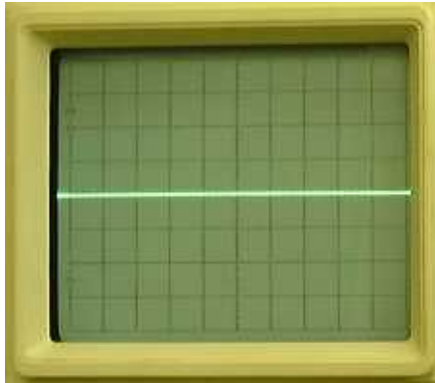
(2) 輝線の出し方と波形観察の準備

各操作つまみを次のように設定する。

FOCUS: 中央、AC-GND-DC: GND、**VOLTS/DIV**: 5mV、**VARIABLE**: 時計方向にいっ

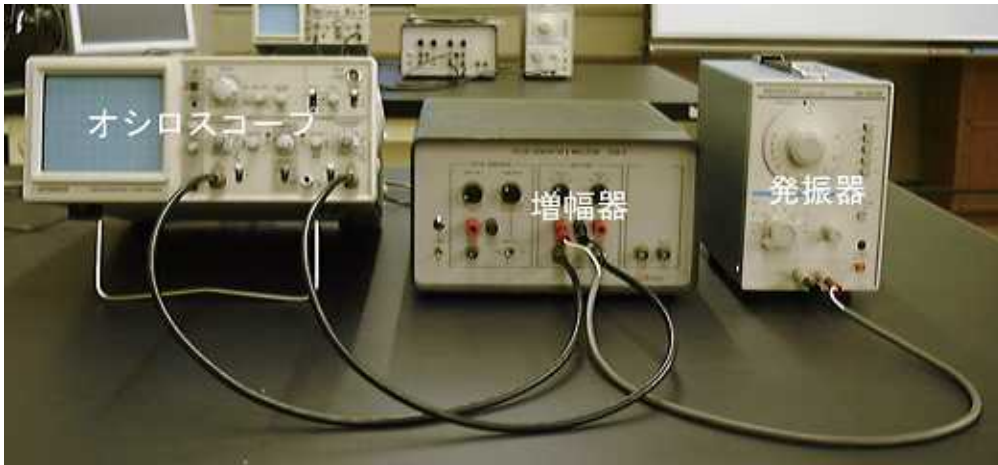
ぱい、▲ **POSITION**: 中央、**MODE**: CH1、**TIME/DIV**: 1 ms、**SWP VAR**: 時計方向にいっ
ぱい、◀▶ **POSITION**: 中央、**MODE**: AUTO、**LEVEL**: 中央、**SOURCE**: INT。次に
POWER スイッチを on にする。POWER ランプが点灯し、約 15 秒以上経過してから
INTENSITY つまみを回して輝線がはっきり見える程度に明るくする(明るくし過ぎると
Braun 管の蛍光体が焼けるので、明るくし過ぎない)。**FOCUS** つまみを動かして輝線

が細くてはっきりと見えるようにする。POSITION  を動かして、[輝線が中央に来るように調整する](#)。



(3) 波形の観察

オシロスコープ、増幅器、発振器を写真のように結線し、CH1側のVOLTS/DIVを0.2Vに、AC-



GND-DCをACに、TIME/DIV(掃引時間)を1msに合せる。発振器の発振周波数を500Hzの正弦波(～)に合せて、ATTENUATOR(減衰器)を-20dB、AMPLITUDE(振幅)つまみを中央に回し電源をonにする。波形が止まって見えなければ、LEVELつまみを調整して止まって見えるようにする。この信号の電圧を読み、周波数を確かめよ。次にVOLTS/DIV、TIME/DIV、POSITIONなどのつまみを動かして波形の見え方がどのように変わるか観察せよ。また、発振器の周波数レンジをいくつか変え、それに見合ったTIME/DIVを選んで、波形を観察してみる。



(4) 増幅器の周波数特性

まず、CH1とCH2のAC-GND-DCをGNDにし、MODEをCH1にして輝線を中央にする。次にMODEをCH2にして輝線を中央にする。それから、CH1とCH2のAC-GND-DCをAC、CH2のVOLTS/DIVを2Vに合せて、増幅器をonにする。発振器の出力波形はCH1に、増幅器の出力波形はCH2にうつる(MODEをCH1、CH2に切り替えればどちらかわかる)。増幅器のハイパスフィルタ(低周波遮断回路)つまみ、ローパスフィルタ(高周波遮断回路)つまみ(右の写真)が、
(i)ハイパスフィルタ: $C_H=3.2\ \mu\text{F}$ 、ローパスフィルタ: OUT(C_L なし)、
(ii)ハイパスフィルタ: $C_H=0.8\ \mu\text{F}$ 、ローパスフィルタ: $C_L=820\ \text{pF}$ 、
(iii)ハイパスフィルタ: $C_H=0.165\ \mu\text{F}$ 、ローパスフィルタ: $C_L=3200\ \text{pF}$ 、
の3通りの組合せについて、増幅器の増幅度Gの周波数依存性を測定する。具体的には発振器の周波数を変えていって、各周波数について入力電圧振幅 V_{in} と出力電圧振幅 V_{out} を測定し、増幅率を求める。

入力電圧振幅 V_{in} は一定にして測定した方が増幅度の変化がわかりやすい。CH1

の VOLTS/DIV を 50 mV にして、 V_{in} が 0.2 V になるよう発振器の AMPLITUDE つまみを調節する。このとき、CH2 の出力電圧振幅 V_{out} は VOLTS/DIV の 2 V のレンジに収まるはずである。出力電圧振幅 V_{out} を測定する。確認したら測定は波形のピークを POSITION ◀ ▶ を用いて中央の細かい目盛線まで水平移動させて読む。 V_{out} が小さいときは CH2 の VOLTS/DIV の値を小さくして波形を拡大して精度良く読む。周波数を変えると発振器の出力電圧が変化するので、**毎回入力電圧値を確認**し外れている場合は AMPLITUDE つまみで調整すること。

いずれの場合も f_H より低い周波数から f_L より高い周波数にわたって、周波数を変えて測定すること。例えば、

(i) の場合は、

20 Hz、30 Hz、50 Hz、70 Hz、100 Hz、200 Hz、300 Hz、500 Hz、1 kHz、2 kHz、5 kHz、10 kHz、20 kHz、50 kHz、100 kHz、200 kHz、500 kHz、1 MHz。

(ii) の場合は、

50 Hz、70 Hz、100 Hz、200 Hz、300 Hz、500 Hz、1 kHz、2 kHz、5 kHz、10 kHz、20 kHz、30 kHz、50 kHz、100 kHz、200 kHz、500 kHz、700 kHz。

(iii) の場合は、

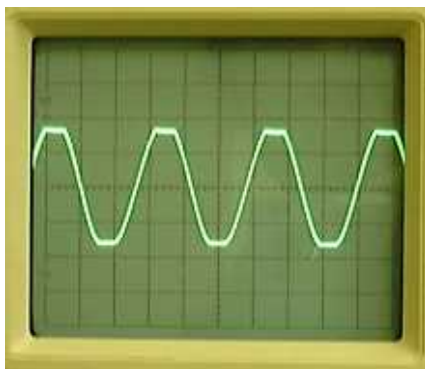
300 Hz、500 Hz、700 Hz、1 kHz、2 kHz、3 kHz、5 kHz、7 kHz、10 kHz、20 kHz、30 kHz、50 kHz、70 kHz、100 kHz、200 kHz、

で行う。周波数によって TIME/DIV を測定しやすい位置に切り換えること。

注意

記録は必ず、実験ノートに取ること。

V_{in} が 0.2 V であれば出力電圧が歪むことはないが、万が一歪んでいる場合は入力が矩形波になっているか、あるいは V_{in} が 0.2 V 以上である可能性がある。もしも歪んでいるときは再測定すること。

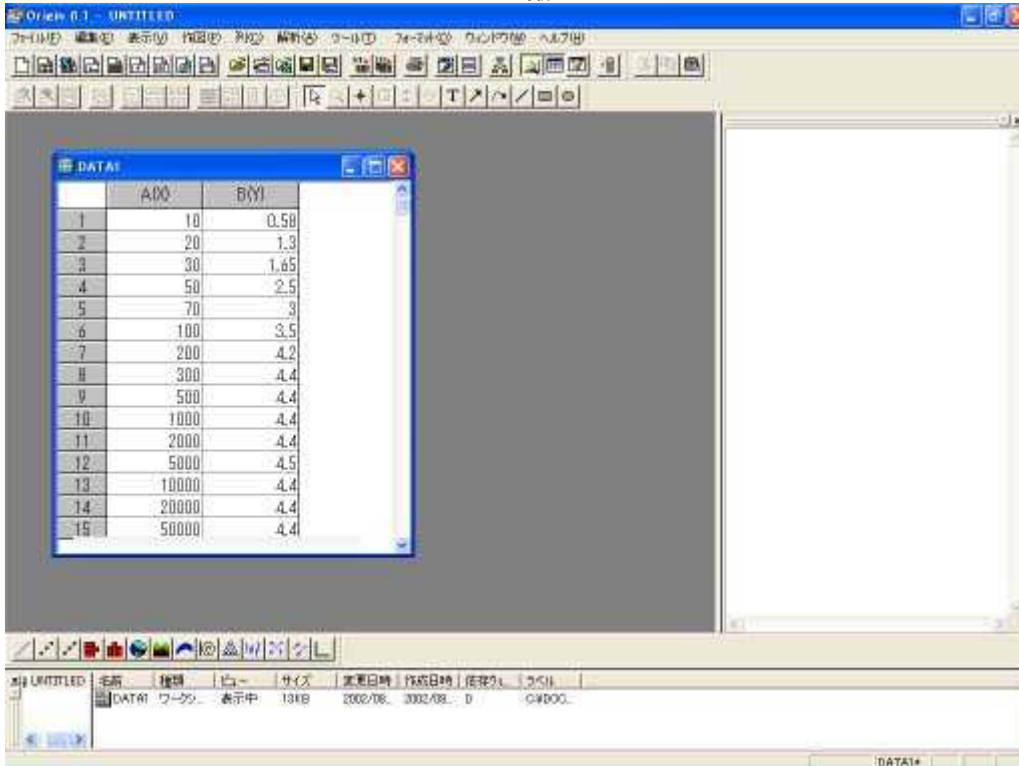


コンピューターによる増幅器の周波数依存性の解析

(1) Origin を使って (i)、(ii)、(iii) の各周波数における出力電圧 V_{out} から [増幅度 G\(dB\)](#) を計算する。

増幅率の計算

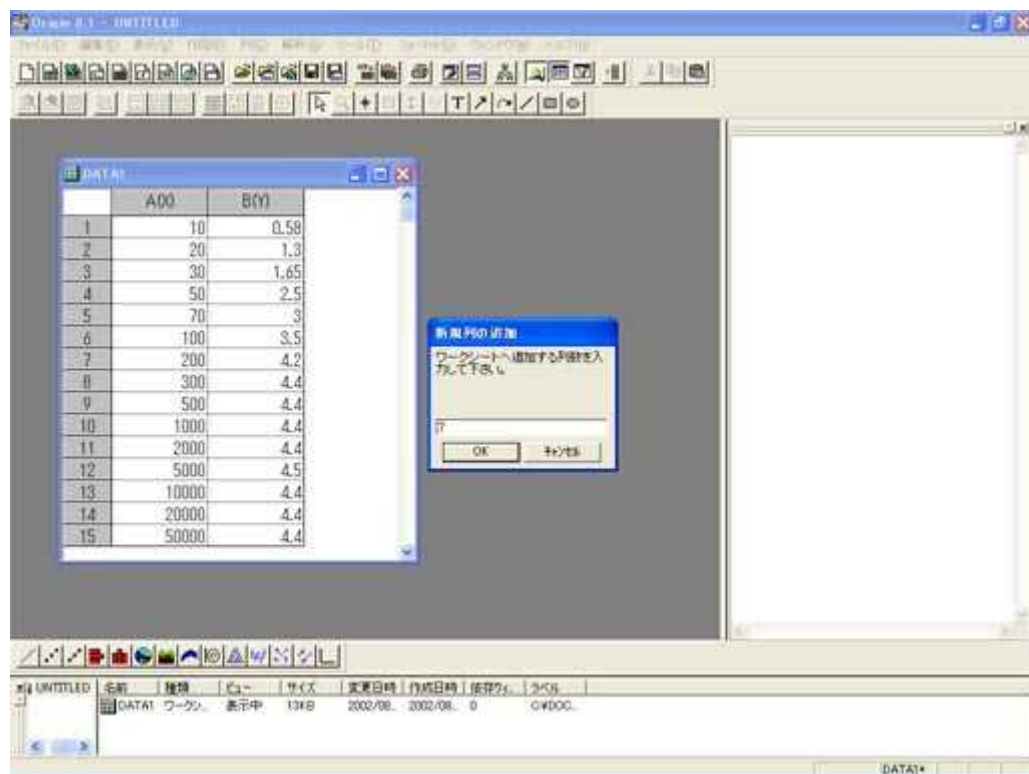
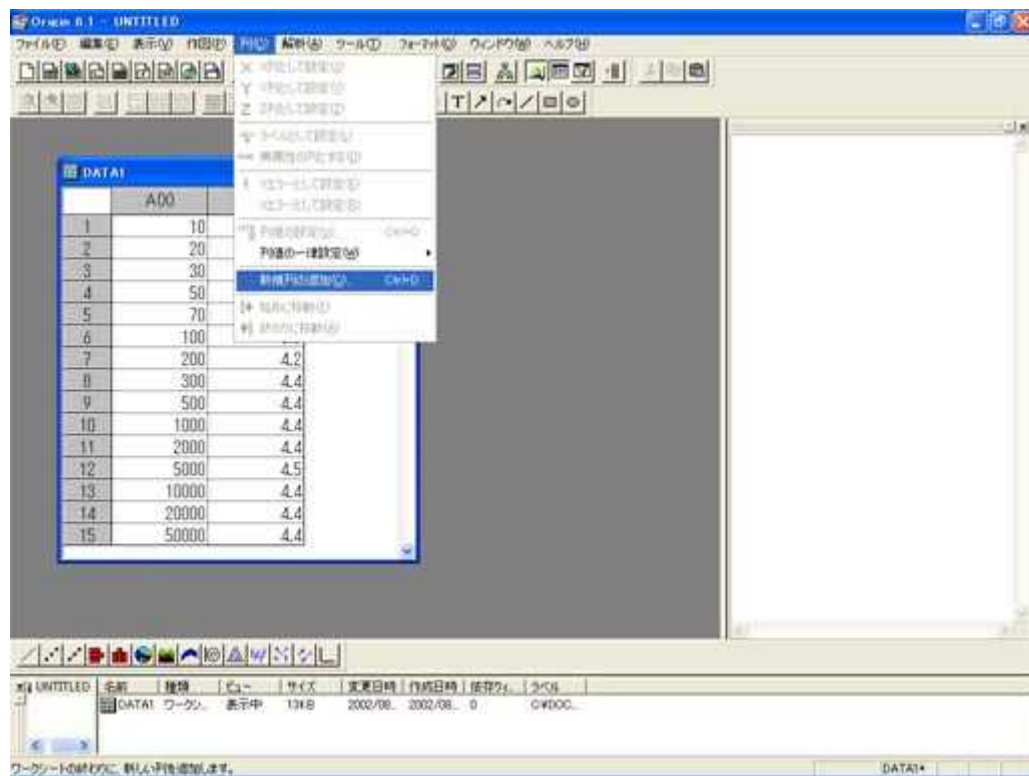
1. Origin の表に周波数 f と出力電圧 V_{out} の値を入力する。



The screenshot shows the Origin 6.1 software window with a data table titled 'DATA1'. The table has two columns: 'A(D)' for frequency and 'B(V)' for output voltage. The data is as follows:

	A(D)	B(V)
1	10	0.58
2	20	1.3
3	30	1.65
4	50	2.5
5	70	3
6	100	3.5
7	200	4.2
8	300	4.4
9	500	4.4
10	1000	4.4
11	2000	4.4
12	5000	4.5
13	10000	4.4
14	20000	4.4
15	50000	4.4

2. 列が足りなければ新規列を加える。



3. データを入力する.

Origin 8.1 - UNTITLED

ファイル 編集 表示 挿入 分析 ツール ヘルプ

DATA1

	A(Y)	B(Y)	C(Y)	D(Y)	E(Y)	F(Y)
1	10	0.58	30	0.47	200	1
2	20	1.3	50	1.2	300	1.4
3	30	1.65	70	1.55	500	2.2
4	50	2.5	100	2.1	700	2.7
5	70	3	200	3	1000	3.3
6	100	3.5	300	3.8	2000	4.1
7	200	4.2	500	4.1	3000	4.3
8	300	4.4	700	4.3	5000	4.3
9	500	4.4	1000	4.3	7000	4.4
10	1000	4.4	2000	4.4	10000	4.4

UNTITLED 名前 種類 単位 サイズ 実測日時 作成日時 保存形式 サイズ
DATA1 ワークブック 表示中 11KB 2002/08/ 2002/08/ 0 CSVDOC

DATA1.D DATA1* 92.0K

4. G(dB)を計算するため、空白の列を選ぶ。

Origin 8.1 - UNTITLED

ファイル 編集 表示 挿入 分析 ツール ヘルプ

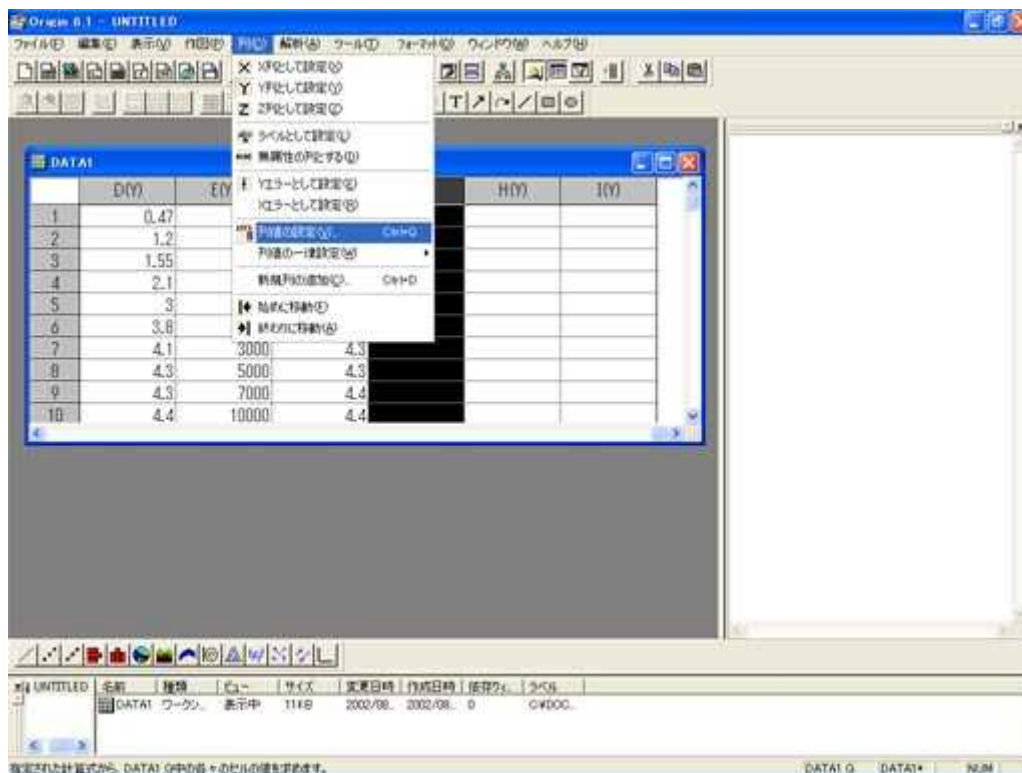
DATA1

	D(Y)	E(Y)	F(Y)	G(Y)	H(Y)	I(Y)
1	0.47	200	1			
2	1.2	300	1.4			
3	1.55	500	2.2			
4	2.1	700	2.7			
5	3	1000	3.3			
6	3.8	2000	4.1			
7	4.1	3000	4.3			
8	4.3	5000	4.3			
9	4.3	7000	4.4			
10	4.4	10000	4.4			

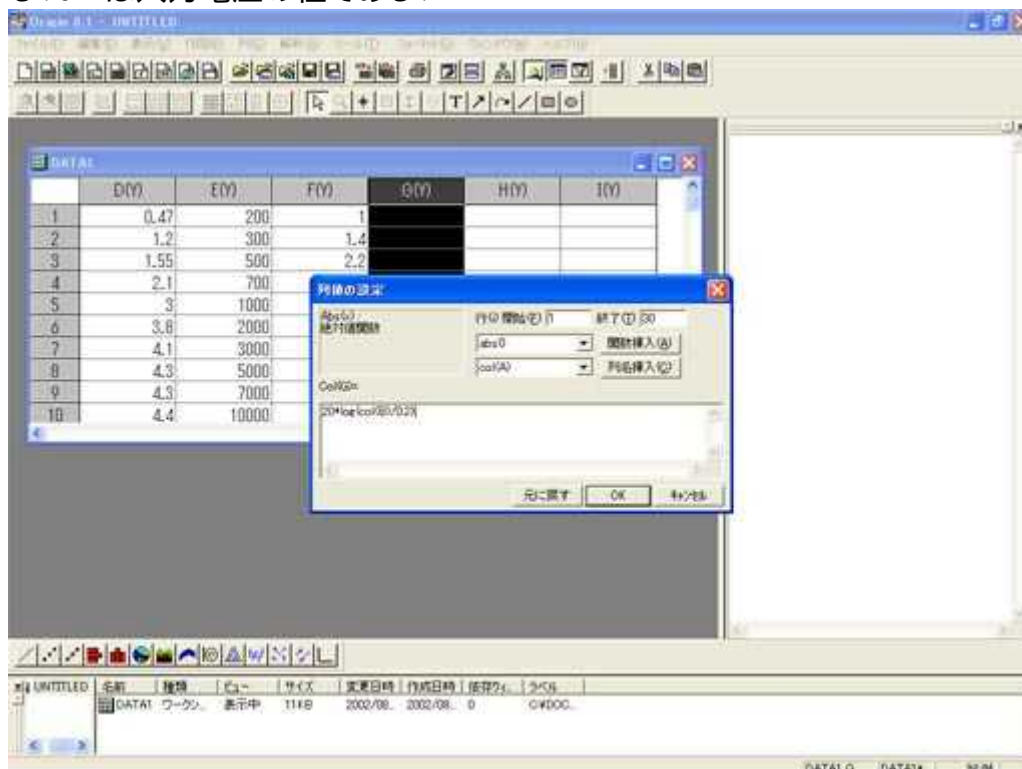
UNTITLED 名前 種類 単位 サイズ 実測日時 作成日時 保存形式 サイズ
DATA1 ワークブック 表示中 11KB 2002/08/ 2002/08/ 0 CSVDOC

DATA1.G DATA1* 92.0K

5. 「列値の設定」を選ぶ。



6 . G(dB)を計算するため、「 $20 \cdot \log(\text{Col}(B)/0.2)$ 」と入力したら、OK ボタンをクリックする .0.2 は入力電圧の値である .



7 . G(dB)が計算される .

Origin 8.1 - UNTITLED

ファイル 編集 表示 作成 印刷 解凍 ツール ヘルプ

DATA1

	D(N)	E(N)	F(N)	G(N)	H(N)	I(N)
1	0.47	200	1	9.24796		
2	1.2	300	1.4	16.25827		
3	1.55	500	2.2	18.32908		
4	2.1	700	2.7	21.9382		
5	3	1000	3.3	23.52183		
6	3.8	2000	4.1	24.86076		
7	4.1	3000	4.3	26.44439		
8	4.3	5000	4.3	26.84845		
9	4.3	7000	4.4	26.84845		
10	4.4	10000	4.4	26.84845		

UNTITLED 名前 種類 単位 サイズ 変更日時 作成日時 保存方法 サイズ
DATA1 ワークブック 表示中 11KB 2002/08/ 2002/08/ 0 G*DOC

DATA1 G DATA1* 92.04

8. 同様に、他の組合せのG(d B)も計算する。

Origin 8.1 - UNTITLED

ファイル 編集 表示 作成 印刷 解凍 ツール ヘルプ

DATA1

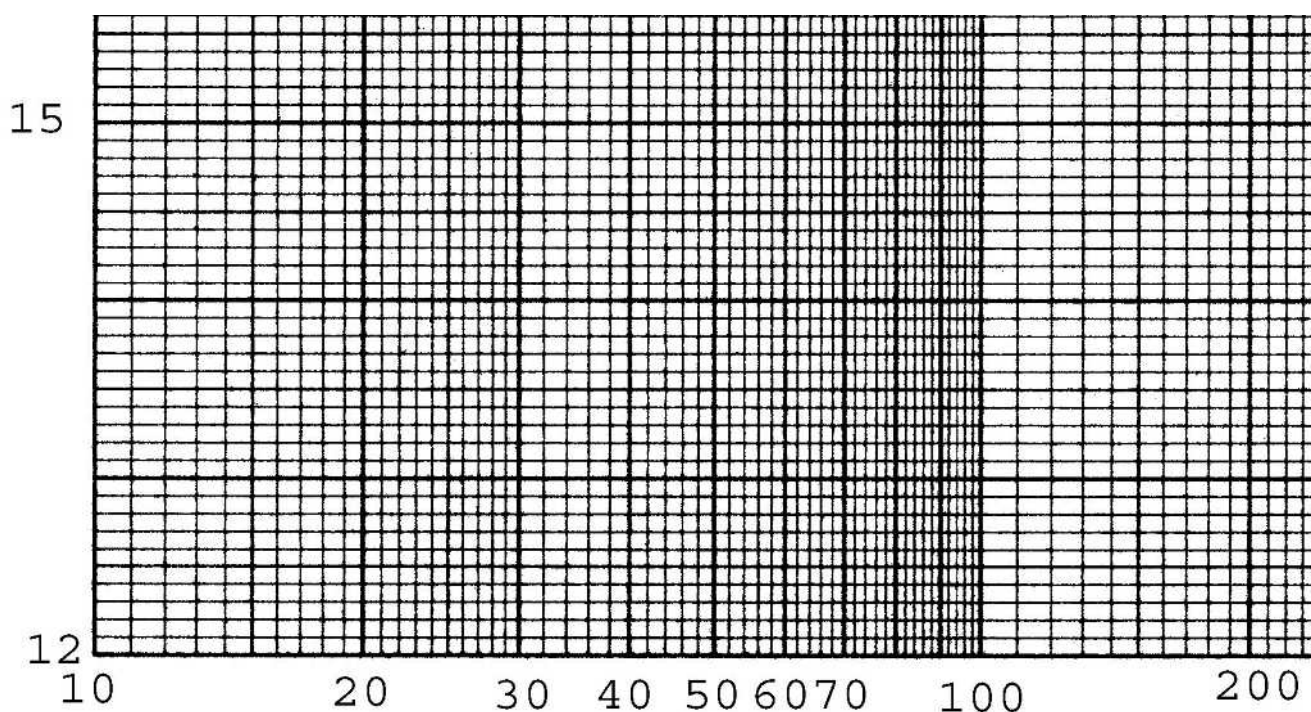
	D(N)	E(N)	F(N)	G(N)	H(N)	I(N)
1	0.47	200	1	9.24796	7.42136	13.9794
2	1.2	300	1.4	16.25827	15.56303	16.90196
3	1.55	500	2.2	18.32908	17.78603	20.82785
4	2.1	700	2.7	21.9382	20.42379	22.60668
5	3	1000	3.3	23.52183	23.52183	24.34968
6	3.8	2000	4.1	24.86076	25.57507	26.23506
7	4.1	3000	4.3	26.44439	26.23508	26.64877
8	4.3	5000	4.3	26.84845	26.64877	26.64877
9	4.3	7000	4.4	26.84845	26.64877	26.84845
10	4.4	10000	4.4	26.84845	26.84845	26.84845

UNTITLED 名前 種類 単位 サイズ 変更日時 作成日時 保存方法 サイズ
DATA1 ワークブック 表示中 11KB 2002/08/ 2002/08/ 0 G*DOC

DATA1* 92.04

(2) 得られた(i)、(ii)、(iii)のGの実験値をテキスト図 13-2 のような1つの片対数グラフに表す。(i)、(ii)、(iii)の区別が付くように色を変えるか、○、△、□ というように記号を変えて記入する。

片対数グラフの目盛の読み方



(3) (i)、(ii)、(iii)の特性曲線の、増幅率が一定になったときの値($= 20\log_{10}A_1 \cdot A_2$) より - 3 dB だけ増幅率が小さくなった周波数から f_H 、 f_L を求め、ノートに記録せよ。
 $20\log_{10}A_1 \cdot A_2$ の値もノートに記録せよ。

(4) (i)、(ii)、(iii)の特性曲線の、増幅率が一定になったときの値を $20\log_{10}A_1 \cdot A_2$ として、Gの理論式、

$$G(\text{dB}) = 20\log_{10} A_1 A_2 + 20\log_{10} \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{1}{R_H C_H \omega} \right)^2}} \quad (3.2 \text{ } \mu\text{F} - \text{OUT の場合}) \quad (1)$$

4)

$$G(dB) = 20\log_{10} A_1 A_2 + 20\log_{10} \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{1}{R_H C_H \omega} \right)^2}} + 20\log_{10} \frac{1}{\sqrt{1 + (R_L C_L \omega)^2}} \quad (0.8 \mu F$$

- 820 pF、0.165 μF - 3200 pF の場合) (15)

から、様々な f の値に対して理論値を計算し、理論曲線を先の片対数グラフに記入せよ。このとき、(i)、(ii)、(iii)の区別が付くように線の色などを変えて記入する。Origin への式入力方法は、実験テキスト p.205 の「13.5 の 2」を参照($\omega = 2\pi f$ であることに着目せよ)。

(5) (i)、(ii)、(iii)の特性曲線の、増幅率が一定になったときの値($= 20\log_{10} A_1 \cdot A_2$)より - 3dB だけ増幅率が小さくなった周波数が、 $f_H = 1/2 C_H R_H$ 、 $f_L = 1/2 C_L R_L$ となることを確かめよ。