

物理学実験 C: アナログ回路

ver. 2023 年 5 月 29 日

1. 目的

アナログ回路を自作し、信号を入力したときその入出力の信号波形をオシロスコープで観察する。オシロスコープの使い方を修得し、アナログ回路についての理解を深める。

2. オシロスコープとプローブの使い方について

テスターや電圧計で測定できる電圧は単位時間当たりの平均的な電圧である。それに対してオシロスコープは時間に依存した信号を見ることができる装置である。装置そのものの原理はここでは述べない。オシロスコープ (Kenwood CS-4125) のパネル面を図 1 に示す。

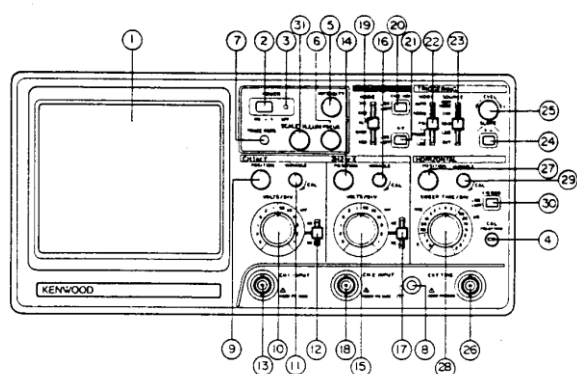


図 1 オシロスコープのパネル面

与えられた機種によってパネルや配置は異なるが、基本操作は同じである。今回用いるのは2現象オシロスコープといって2つの信号を同時に測定できるものである。

与えられたオシロスコープで見ることでできる最小・最大の電圧と時間について知ることは重要である。最大電圧以上の電圧を入力するとオシロスコープを壊してしまう。

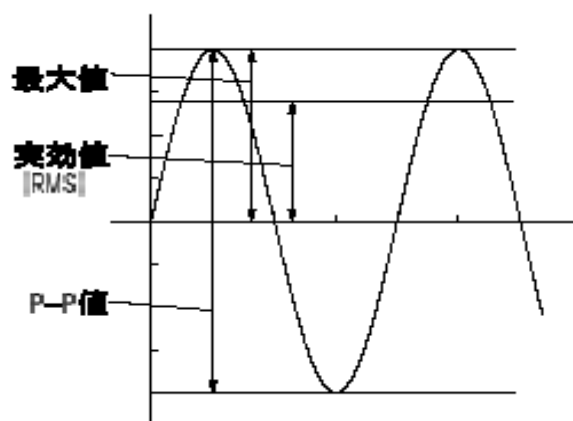


図 2 最大値、実効値、P - P (Peak to Peak)

問 1. 与えられているオシロスコープについて調べる。

(a) 測定可能な最小、最大電圧および最小時間を調べよ。

(b) 100 V の交流の波形を図 2 にならってノートに書き写し、最大値、実効値、p-p 値の値を求め記入せよ、それらの関係について説明せよ。周波数は 60 Hz とする。(以下の課題に共通であるが周期信号なので、1 周期以上を書くようにすること)

(c) 100 V 交流電源をオシロスコープで直接測定することは可能か？

まず測定前につまみを次のように設定する。

MODE	AUTO
SOURCE	VERT
VERT MODE	CH1 CH2 INVERT は OFF
SLOPE	+
TRIGGER LEVEL	中央
CH1 および CH2	
POSITION	中央
VARIABLE	CAL
VOLTS/DIV	5 V/DIV
AC-GND-DC	GND
HORIZONTAL	
POSITION	中央
VARIABLE	CAL
SWEEP TIME/DIV	0.2 ms/DIV
x10MAG	OFF

オシロスコープの電源コードを 100 V のコンセントを入れ、電源スイッチを入れる。INTEN と FOCUS つまみを回して輝度とフォーカスを調節する。(輝度を上げすぎると、ブラウン管の蛍光面が焼けて損傷するので注意。)

先に設定した条件(GND に設定してある)では中央に、横線が見えるはずである。ずれている場合には CH1 の Position つまみを動かして、中央に来るようにする。同様に VERT MODE を CH2 に切り替えて、中央になっていることを確認する。確認終了後、CH1 に戻しておく。

次に AC-GND-DC を DC にする。オシロスコープは時間に依存した信号をはかる装置である。従って横軸(HORIZONTAL MODE)は時間である。ある時刻から、画面上の表示を始めるが、その開始時刻を定めるのがトリガー(trigger)であり、設定したトリガーレベルの電圧を電気信号が横切った瞬間が時間の原点になる。トリガーの設定が適切でないと信号が画面に表示されないか、あるいは時間の原点がばらばらになった信号が表示される。交流の信号を測定している場合はトリガーつまみ(図 1 左の 25)が 0 付近に設定してあればよい。

プローブ（探針）：図 3

オシロスコープに接続し、回路の各点の電圧を測定するのに用いる。

回路中の電圧を調べるには、必ずプローブのワニ口部を回路のグラウンドに接続し、プローブの先端で測定したい場所をはさんで、電圧を測定する(BNC 側はオシロスコープに接続)。x 1 と x 10 と書かれた黄色の切り替えにより減衰比の変更ができる。x 10 の場合にはオシロスコープに表示される電圧は実際の値の 1/10 になる。今回の実験では適宜、選択して使用する。ノート、レポートにはどちらの減衰比で測定したかを明記すること。



図 3 プローブ

破損しやすいので注意して使うこと

3. 実験

3.1 電源

回路に使われる素子には抵抗、コイル、オペアンプ、トランジスタなど様々なものがあるが、これらの分類方法のひとつに受動（passive）素子と能動(active)素子という分類方法がある。前者は電源がなくとも機能するが、後者は電源がないと機能しない。実際のほとんどの回路においてはこれらを組み合わせるため、回路を製作する上でまず考えなければならないのは電源である。通常の 100 V 電源は交流(AC)であるが、実際に使用される装置の中では直流(DC)を用いることが多く、使用している電圧も 100 V でないことの方が多い。従って、本実験においても交流から直流へ変換する部分の製作から始める。作成する電源は以降の実験で使用する。

実際の電源回路図を図 4 に示す。破線で囲まれた部分は電源トランス部分（1 次電圧 100 V / 2 次電圧 15-0-15 V）と整流用ダイオードであり、本実験では準備されたものを使うため、破線以外の部分を自作することになる。

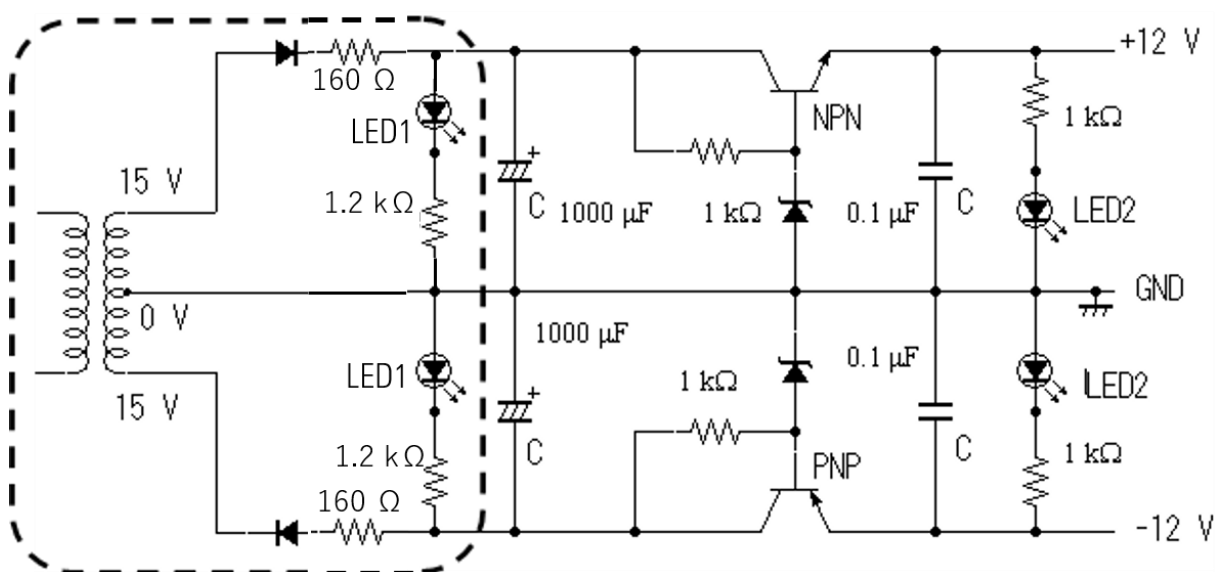


図 4 電源回路

必要な部品は表 1 にまとめてある。

表 1 電源回路部品リスト				
ユニバーサル基板				1 枚
ツェナーダイオード	12 V	1 W		2 ケ
発光ダイオード(LED)				2 ケ
電解コンデンサー	1000 μ F	50 WV (50 V 耐圧)		2 ケ
セラミックコンデンサー	0.1 μ F	50 WV (50 V 耐圧)		2 ケ
抵抗	1.0 k Ω	1/4 W		4 ケ
トランジスタ	2SC1815GR(NPN)			1 ケ
	2SA1015GR(PNP)			1 ケ

トランジスタ： トランジスタは n 型半導体と p 型半導体を npn または pnp の層状に接合させた素子である。今回使用するように特性が等しい NPN 型と PNP 型のトランジスタの対をコンプリメンタリ（ペア又は相補トランジスタ）という。

図 4 の電源回路ではツェナーダイオードで一定電圧を作り、トランジスタをコレクタ接地回路（エミッターフォロワと呼ばれる）で基準電圧を取り出す。トランジスタは出力電圧が一定になるように電流を調節している。トランジスタの回路図上での記号および本実験で使用するトランジスタの外観を図 5 に示す。図 5（右下）は足の出ている側から見たものであるので、上から見

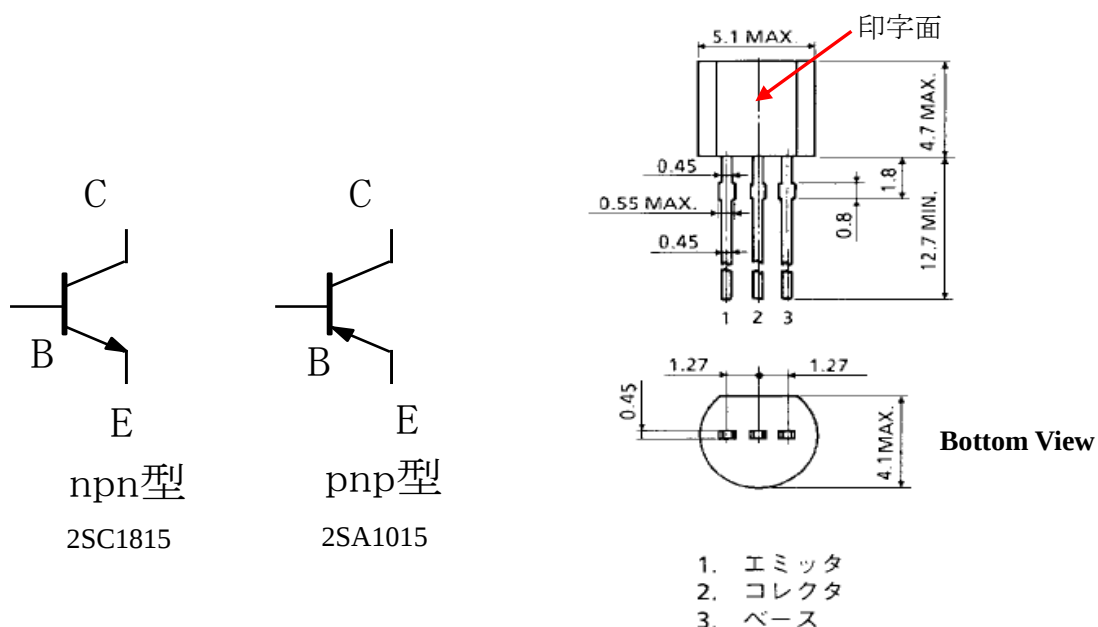


図 5 トランジスタ

た時の対応に注意して半田付けを行うこと。

実験課題 1. 電源トランスと整流用ダイオードの働き

電源トランスと整流用ダイオードに図 6 のように 1 k Ω の抵抗を 2 本接続し、電源（15 V）の波形をオシロスコープの CH1 に、抵抗の両端の間の電圧を CH2 に入力し、両波形をグラフ用紙に

記録せよ。波形の違いについて説明せよ。終了後は抵抗をとりはずす。

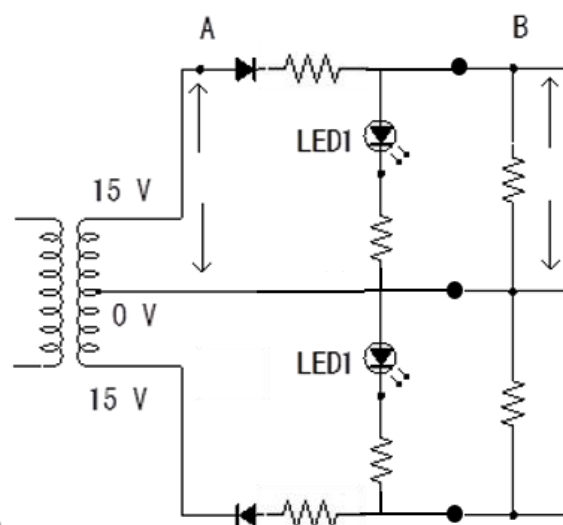
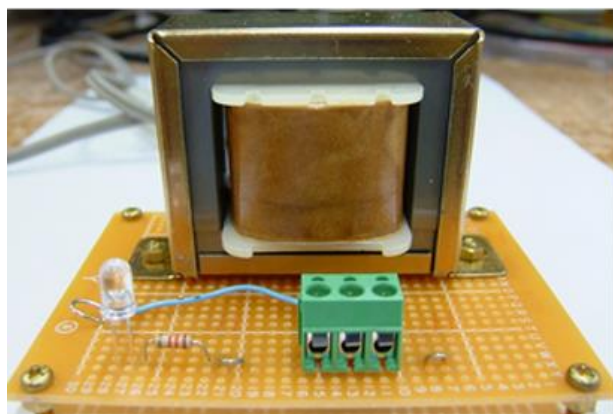


図6 トランス部分

左の写真ではB点とアース間の抵抗は接続されていない。
手前のターミナルブロック（緑色）を利用して抵抗を接続する。

問 2. LED に流れる電流

LED は過電流を流すと容易に壊れてしまう。図 4 の回路で LED と直列に接続されている抵抗 $1.2\text{ k}\Omega$ は電流値を適切な値にするために取り付けられている。LED1 には最大何 mA の電流が流れるか検討せよ。トランスの電圧を確認しダイオードに電流が流れ始める電圧（ 2 V とする）を考慮に入れて、検討せよ。

実験課題 2. 電源回路の製作

図 4 の電源回路を自作する。以下の注意をよく読み、作業手順に従って行うこと。

回路作成上の注意：

1. はんだを使用するので高温やけどに注意する。夏季でも長ズボンを奨励する。気になる場合は実験室にあるゴーグルをつけてもよい。
2. 感電に注意。
3. 疑問点は予め、自分で調べておくこと。
4. 半田ごての過熱を防ぐためこまめに電源を切ること。帰るときは特に忘れないようにする。
5. 部品には熱に弱いもの（特にトランジスタ、ダイオード）もあるので半田付けには注意する。
6. 工具・部品を破損した場合には教員または TA に申し出る。
7. 電解コンデンサーやダイオード類には極性があるので、正負の端子を確認し逆につけないように注意する。
8. 素手で半田をさわった後は手をよく洗っておく。
9. 空中配線をしない。

10. 配線はなるべく短くする。

作業手順

1. 基板の4隅に3φ15 mmのネジナットを取り付け、机から浮かせる。
2. はんだ付けを始める前に、実際に部品をどのように配置するかを表す実態図をノートに書いて検討する。特にトランジスタの配置に注意すること（図5参照）。
3. 電源に近いほうから作り始め、出力へと作成していくのが通常であるので、どの部分がどういう意味なのか注意して行う。
4. 基板を横長の方向に置き、中心にアース線（錫メッキ線を用いる）を貼る。
5. 回路製作終了後、まず自分で配線をひっぱってはんだ付けの不良部分がないか確認する。さらに同じグループの人同士で配線の確認を行う。レポートにはチェックしてくれた人の名前を記入する。
6. ツェナーダイオードの抵抗値をアナログテスター($\times 10 \Omega$ レンジを用いる)を用いて測定する。200 Ω 程度であればよいが、著しく異なる場合は破損と考えられるので教員またはTAに申し出ること。
7. トランスと接続し電源を入れる。発光ダイオードが両方とも光ることを確認する。発光ダイオードが光らない場合はすぐに電源を切って、もう一度回路を確認する。
8. ショートさせないように注意する。

コンデンサーによる平滑化

実際に回路を作成し接続すると、実験課題2の抵抗の代わりにコンデンサーが接続される。このコンデンサーの働きにより、より直流に近い状態になる。直流成分 V_{DC} と交流成分 V_{p-p} の比 V_{p-p}/V_{DC} は直流電源としての性能を示す。 V_{p-p}/V_{DC} が小さいほどよい直流電源となっている。

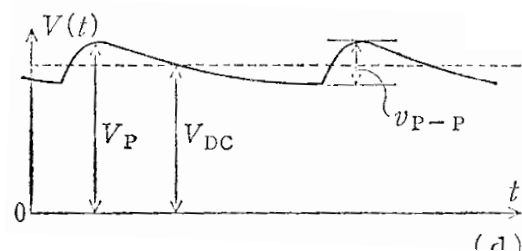
実験課題3 出力電圧の測定

回路ができたら正負の出力電圧を測定する。

(a) 直流分 (V_{DC}) をテスターで測定する。(オシロスコープで AC-GND-DC を DC 側にして測定してもよい。)

(b) 交流分 (V_{p-p}) をオシロスコープで測定する。

(AC-GND-DC を AC 側にすると交流分のみが測定できる。使用後は DC 側に戻しておく。)



実験課題4 ツェナーダイオード(Zener diode)の働き

ツェナーダイオードの両端の電圧を測定し、ツェナー電圧を求めよ。

これ以降の実験の回路はブレッドボード（図 7 参照）上に回路を組み立てる。信号源には発振器（function generator）を用い、信号の観測にはオシロスコープを用いる。

3.2 増幅

電気信号は、損失があるため回路中を伝わるにつれて弱くなる。微弱なシグナルを検出する場合などにも増幅は非常に重要で基本的な機構である。ここではオペアンプを使った増幅回路を製作し、その特性を調べる。

オペアンプ(Operational Amplifier)の日本語訳は演算増幅器であり、OP アンプとも書かれる)。回路図上での表記と実際の部品を図 8 に示す。パッケージ（外観）の異なるものもある。オペアンプは正と負の両方を使う電源（両電源）で動作させることが普通であったが、現在は正の電源（単電源）だけで動作させるものも出回っている。この実験では正負両電源で典型的 OP アンプの特性をもつ $\mu A741$ 相当品を用いる。

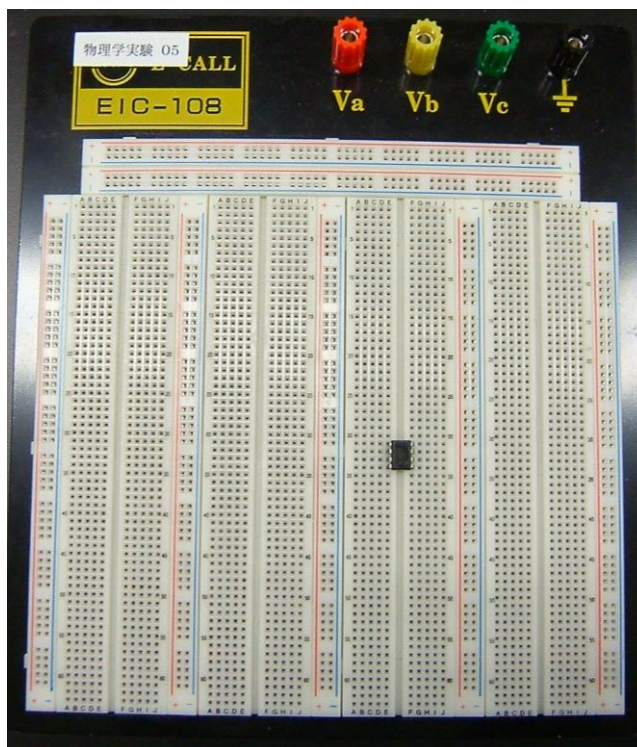


図 7 ブレッドボード
IC を取り付けた様子

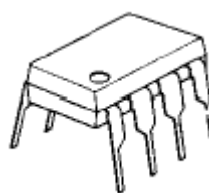
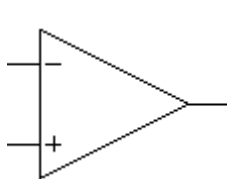


図 8 オペアンプの記号と実体図

図 8（右）のように表面には目印がついており、反時計回りに 1 番ピンから順にピン番号を読むようになっている。実際のピンにどのような信号をつなぐかを図 9 に示す。

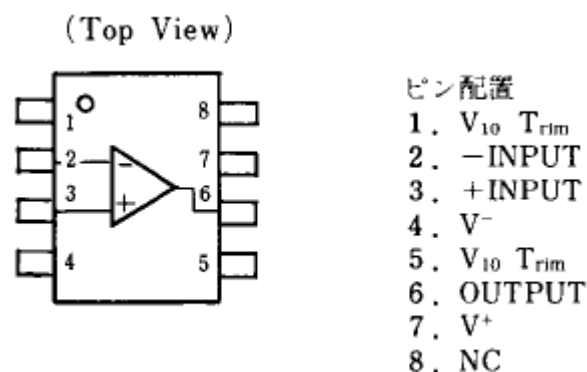


図9 オペアンプの配線

オペアンプの記号との対応から、どのピンがどれに対応するかは自明の部分もあるが、ピン配置を見ることで再確認できる。4, 7 番ピンには負と正の電源をつなぐことがわかる。電源からの配線を間違えるとオペアンプを壊してしまうので注意すること。なお、1,5 番ピンはオフセット調節に関係したピンであり、今回の実験では使用しない。また 8 番ピンは NC (Not Connected) とあるように、使われていない。

特性は次の通りである。

NJM741

■ 絶対最大定格 ($T_a=25^\circ\text{C}$)

項目	記号	定格	単位
電源電圧	V^+/V^-	± 18	V
同相入力電圧	V_{10}	± 15 (注)	V
差動入力電圧	V_{10}	± 30	V
消費電力	P_D	(Dタイプ) 500 (Mタイプ) 300	mW
動作温度	T_{op}	$-40 \sim +85$	$^\circ\text{C}$
保存温度	T_{stg}	$-40 \sim +125$	$^\circ\text{C}$

(注) 電源電圧が $\pm 15\text{V}$ 以下の場合は、電源電圧と等しくなります。

■ 電気的特性 ($T_a=25^\circ\text{C}$, $V^+/V^-=\pm 15\text{V}$)

項目	記号	条件	最小	標準	最大	単位
入力オフセット電圧	V_{10}	$R_s \leq 10\text{k}\Omega$	-	2.0	6.0	mV
入力オフセット電流	I_{10}		-	5	200	nA
入力バイアス電流	I_B		-	30	500	nA
入力抵抗	R_{IN}		0.3	2.0	-	M Ω
電圧利得	A_v	$R_L \geq 2\text{k}\Omega$, $V_O = \pm 10\text{V}$	86	110	-	dB
最大出力電圧 1	V_{O1}	$R_L \geq 10\text{k}\Omega$	± 12	± 14	-	V
最大出力電圧 2	V_{O2}	$R_L \geq 2\text{k}\Omega$	± 10	± 13	-	V
同相入力電圧範囲	V_{10R}		± 12	± 13	-	V
同相信号除去比	CMR	$R_s \leq 10\text{k}\Omega$	70	100	-	dB
電源電圧除去比	SVR	$R_s \leq 10\text{k}\Omega$	76.5	100	-	dB
消費電流	I_{CC}		-	1.7	2.8	mA
スルーレート	SR	$R_L \geq 2\text{k}\Omega$	-	0.5	-	V/ μs
過渡応答特性 (上昇時間)	t_R	$V_{IN}=20\text{mV}$, $R_L=2\text{k}\Omega$, $C_L=100\text{pF}$	-	0.3	-	μs
過渡応答特性 (オーバー・シュート)	t_O	$V_{IN}=20\text{mV}$, $R_L=2\text{k}\Omega$, $C_L=100\text{pF}$	-	5.0	-	%

3.2a 非反転増幅回路

オペアンプを用いた回路で最も基本的な非反転増幅回路の回路図は次の図 10 の通りである。

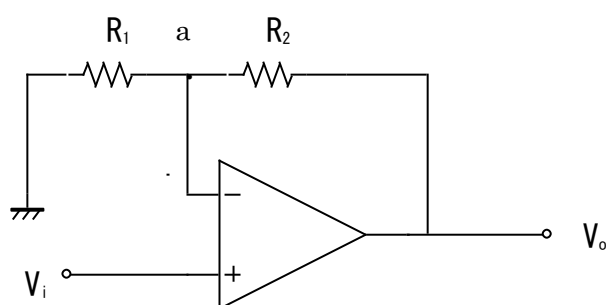


図 10 非反転増幅回路

V_i と V_o はそれぞれ入力電圧と出力電圧をあらわしている。オペアンプの+入力端子を非反転（同相）入力端子、-入力端子を反転（逆相）入力端子という。入力電圧がどちらにはいるかによって出力端子からの電圧が非反転か、反転かを現している。

通常の電子回路では、入力から出力へ向かって信号は流れていくが、出力端子から入力端子へ一部戻すことを帰還（フィードバック）という。図 10 では非反転入力端子に電圧 V_i を加えると、出力電圧は V_o となる。この電圧は抵抗を介して非反転入力端子に負帰還され、a 点に電圧 V_a が生じる。オペアンプの入力抵抗は非常に大きいと考えてよいので、非反転増幅回路の電圧利得 A_v は近似的に

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

と表せる。オペアンプの増幅率を G とすると

$$V_a - V_i = \frac{V_o}{G}$$

オペアンプの増幅率は無限大（非常に大きい）であるため、 $V_a = V_i$ となる。このように負帰還をかけたオペアンプ増幅回路では非反転・反転入力端子間には見かけ上、電位差が現れない。これをイマジナリショート（仮想短絡）という。

回路図には電源部分を省略して描くことが多いが、オペアンプは能動素子なので当然電源が必要である。今回作成する回路図は次の図 11 のようになるものである。単位のない数字はピン番号を表している。

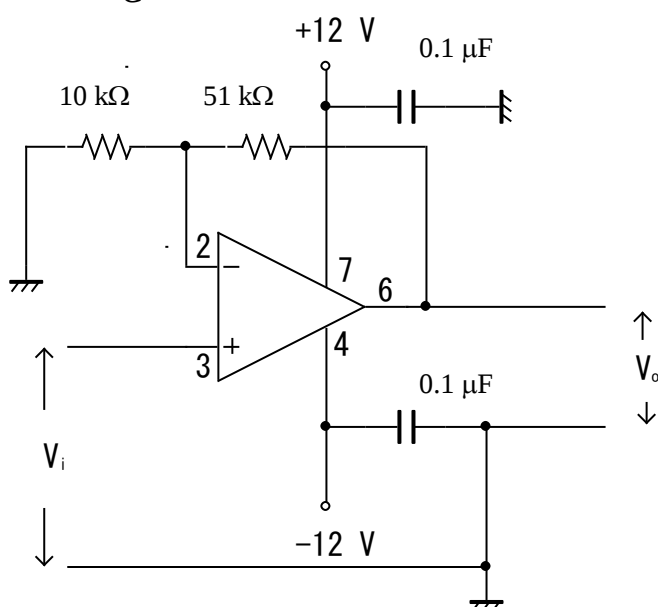


図 11 非反転増幅回路の実際の配線図

電源に入っている 0.1 μF のコンデンサーは電源からの配線途中で不要な雑音を入れない、または出さないために使われている。(デカップリングコンデンサーと呼ばれ、高級な装置には必ず使われている)。雑音に比べて信号が十分大きい場合は不要である。

デシベル(dB)の話

オペアンプなどの規格を見ると増幅率などがデシベル(dB)で表されていることがよくある。デシベルは音の大きさを表す際などに聞いたことがあるだろう。dB は音や電圧、電力などの増幅率、減衰率を表すのに用いられる無次元の単位である。ディービーという言い方もする。

定義は次のようになっている。

$$10\log_{10} \frac{P_o}{P_i} \quad (\text{dB})$$

P_i と P_o はそれぞれ入力・出力電力である。

抵抗 R に電圧 V が印加されて電流 I が流れている時の電力 P は

$$P = VI = \frac{V^2}{R} = RI^2$$

というよく知られた関係式で表すことができる。この関係を用いると電流、電圧の場合のデシベルは

$$20\log_{10} \frac{V_o}{V_i} \quad (\text{dB}) \quad \text{または} \quad 20\log_{10} \frac{I_o}{I_i} \quad (\text{dB})$$

となることがわかる。

デシベルを用いると回路中での複数段の増幅・減衰などを考えるのが容易になる。(掛け算の変わりに足し算ですむ上に、桁が違う値を扱いやすい) しかしながら回路に用いる素子に入力、出力可能な電力や電圧などを考慮していないと、全く使えない回路になってしまうので注意が必要である。

以上のようにデシベルは相対値を表すものであるが、デシベルを用いて絶対値を表すこともよく行われる。回路関係では dBm や dB μV が最も頻繁に扱うもので、0 dBm = 1 mW、0 dB μV = 1 μV の関係がある。3 dB や 10dB の増加で元の信号からどのくらい変化しているのか覚えておくと便利である。

問 3. 3 dBm の強さの信号を 10 dB 増幅したところ、得られた信号の絶対値はいくつか？ dBm および mW の単位で答えよ。もとの信号の何倍になったか？

発振器の使い方

この実験では発振器として function generator を使用する。図 12 にフロントパネルが示してあるので、参考にすること。

- ・ まず FG/FC となっているつまみが FG の方になっていることを確認し、電源を入れる。
- ・ FUNCTION が sin 波のマークのボタンが押されていることを確認する。
- ・ FREQUENCY でおおまかなレンジを選び、細かい周波数の設定は右上のつまみを回して設定する。
- ・ 信号の大きさ（振幅）の設定と 0 点からのずれの補正（オフセット）はつまみで調節する。

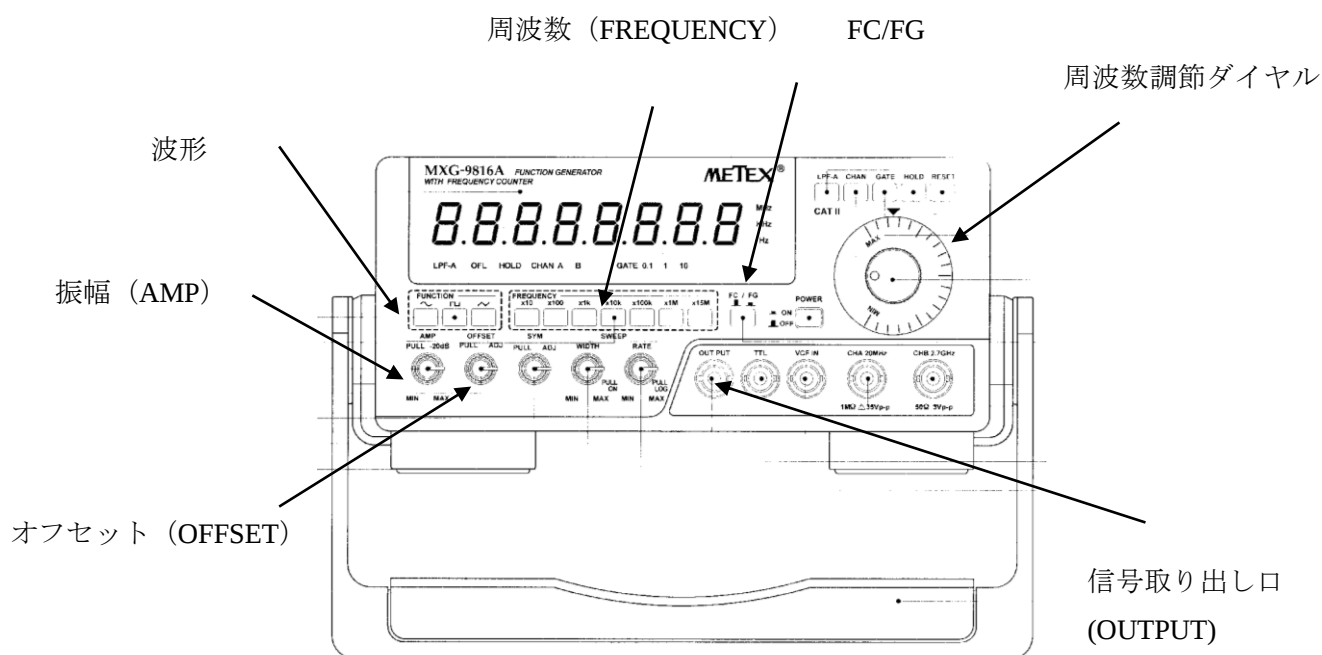


図 12 function generator

実験課題 5. 非反転増幅回路の製作とその周波数特性の測定

自作した電源を使用し図 11 の回路を組む。オペアンプの実験に共通の注意であるが、電源スイッチを入れる前に電源の配線をよく確認すること。間違っているとオペアンプを破壊してしまう。入力 $V_i = 0$ として出力電圧 V_o を測定し、 $V_o \neq 0$ であることを確かめよ。この様に入力が 0 の時に出力に現れる電圧をオフセット電圧という。オペアンプ内部の半導体のアンバランスにより生じる。前述したオフセット端子間に抵抗を入れると、オフセット電圧を最小にすることができる。

次に発振器から入力に 1 Vp-p, 1 kHz の正弦波をいれ（最初にオシロスコープで 1 Vp-p となっていることを確認しておく）、出力の振幅、位相を測定し、オシロスコープ上の入力・出力波形をグラフ用紙に記録せよ。観測された電圧から電圧利得を求め理論値と比較せよ。理論値と異なる場合には理由を考察せよ。更に入力信号の周波数を 10 kHz, 100 kHz として同様の測定を行い、その結果を考察せよ。これ以降、交流信号を扱う際は電圧として peak to peak 電圧を用いて記入すること。

実験課題 6. イマジナリショートの確認

実験課題 5 と同様に入力に 1 V_{p-p}, 1 kHz の正弦波をいれ 3 番ピン (+入力端子) と 2 番ピン (−入力端子) に現れる電圧を同時に測定せよ。イマジナリショート (仮想的に 2 番と 3 番ピンの電圧が等しくなる) は成立しているか確かめよ。

実験課題 7. オペアンプの最大入力・出力

最初に発振器から入力に 1 V_{p-p}, 1 kHz の正弦波を入力し、出力の波形を観測する。振幅つまみをゆっくり回していき、出力波形が sin 波から歪み始めるときの入力と出力の振幅を決定する。出力の振幅についてオペアンプの電源電圧を考慮して考察せよ。

3.2b 反転増幅回路

図 12 のような回路を反転増幅回路といい、電圧利得は近似的に次の式で表される。

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = -\frac{R_2}{R_1}$$

非反転端子へ負帰還がかかっており、a 点に電圧 V_a が生じる。オペアンプの入力抵抗は非常に大きいと考えてよいので、 R_1 , R_2 の抵抗に流れる電流は等しく

$$\frac{V_i - V_a}{R_1} = \frac{V_a - V_o}{R_2}$$

となる。反転・非反転入力端子間にはイマジナリショート (この場合にはイマジナリアース) が実現されているので $V_a = 0$ であり、電圧利得の式が導かれる。

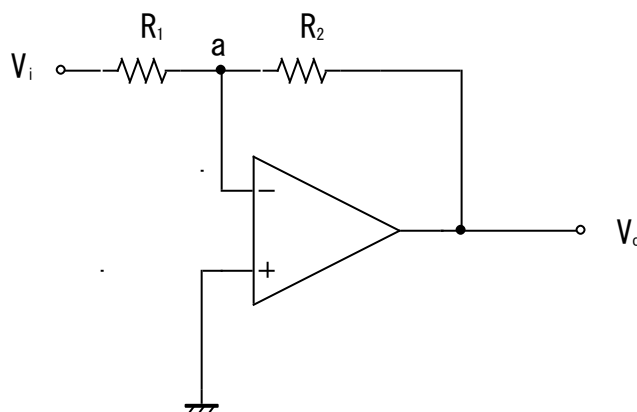


図 12 反転増幅回路

実験課題 8. 反転増幅回路の製作とその周波数特性の測定

$R_1 = 10 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 51 \text{ k}\Omega$ として図 12 の回路を組み、入力 $V_i = 0$ として出力電圧 V_o を測定し、 $V_o \neq 0$ であることを確かめよ。電源部分は省略してあるが、非反転増幅回路を参考に接続すること)

次に発振器 (function generator) から入力に 1 V_{p-p}, 1 kHz の正弦波をいれ (最初にオシロスコープで 1 V_{p-p} となっていることを確認しておく)、出力の振幅、位相を測定し、オシロスコープ上の入力・出力波形をグラフ用紙に記録せよ。観測された電圧から電圧利得を求め理論値と比較せよ。理論値と異なる場合には理由を考察せよ。更に入力信号の周波数を 10 kHz, 100 kHz として同

様の測定を行い、その結果を考察せよ。また、周波数特性について非反転回路と比較せよ。イメージリアースは成立しているか確かめよ。

3.3c 差動増幅回路（減算回路ともよぶ）

図 13 の回路は差動増幅回路である。

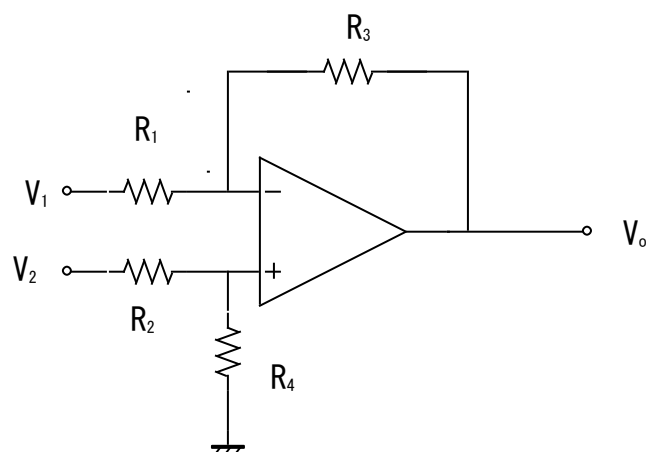


図 13 差動増幅回路

問4. 差動増幅回路の説明

図 13 において $R_1 = R_2 = R_3 = R_4$ の時、

$$V_o = V_2 - V_1$$

となり、差動増幅回路として動作する事を説明せよ。

実験課題 9. 差動増幅回路の製作

$R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = 10\text{ k}\Omega$ として組み、 V_1 の入力に電池からの出力、 V_2 の入力として 1 Vp-p , 1 kHz の正弦波をいれる。出力をオシロスコープ上で測定し、入出力波形をグラフ用紙に記録せよ。（電源部分は省略してあるが、非反転増幅回路を参考に接続すること）

実験終了後、次に実験する人が気持ちよく使えるように、

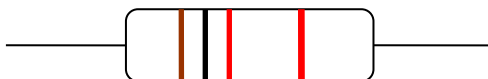
清掃し部品を整理しておくこと。

レポート作成に当たっての注意

アナログ回路では実験課題と問はテキストと同じ順序で記入すること。（実験課題と問に分けて書かない）

参考資料 カラーコードの読み方

抵抗の抵抗値と誤差はカラーコードと呼ばれる色で書かれている。数字と色の対応は下の表のようになっている。一例を示す。



茶黒赤 赤

左から 2 本の数字はそのまま読み、3 本目の数字が桁数として読む。この場合、茶 = 1, 黒 = 0, 赤 = 2 なので $10 \times 10^2 = 1 \text{ k}\Omega \pm 2\%$ であることを意味している。

色	数字	桁	許容差
黒	0	$10^0 = 1$	
茶	1	10^1	$\pm 1\%$
赤	2	10^2	$\pm 2\%$
橙	3	10^3	
黄	4	10^4	
緑	5	10^5	
青	6	10^6	
紫	7	10^7	
灰	8	10^8	
白	9	10^9	
金		10^{-1}	$\pm 5\%$
銀		10^{-2}	$\pm 10\%$

ダイオードの向き

整流用のダイオード、ツェナーダイオード、LED の記号と実際の素子の向きは下のように対応づけられる。

Anode Cathode



diode



Zener diode



LED

A

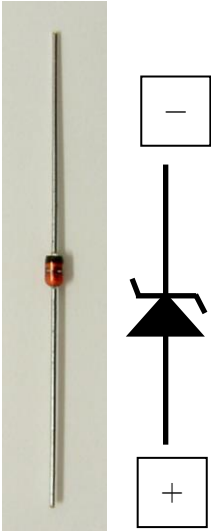
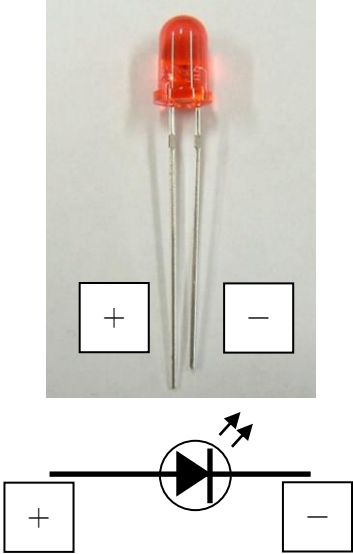
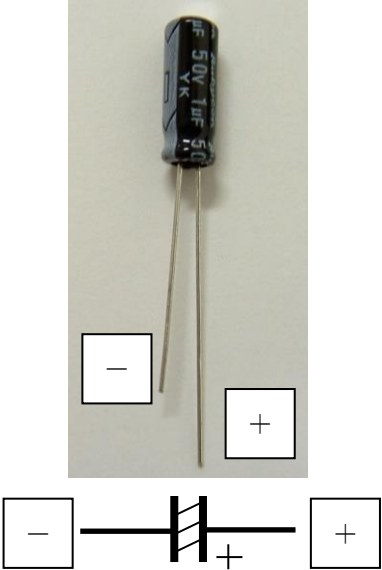
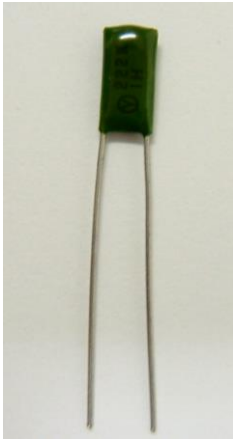
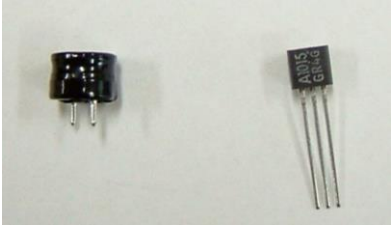
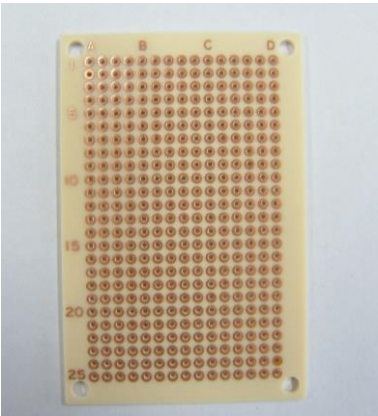
K



アノード

カソード

各種素子の写真

		
ツェナーダイオード	発光ダイオード (LED)	電解コンデンサ
		
フィルムコンデンサ	左：コイル 右：トランジスタ	セラミックコンデンサ
		(注) コンデンサの容量 3桁の数字xyzが書かれている場合、容量は $xy \times 10^z \text{ pF}$ である。例えば 103 ならば、$10 \times 10^3 \text{ pF} = 10,000 \text{ pF} = 0.01 \mu\text{F}$
ユニバーサル基板	抵抗	