

Sunhayato

CT-311S 実習セット(アナログ編)

MODEL CT-311S-P02

学習の手引き

SAMPLE



サンハヤト 株式会社

本社 〒170-0005 東京都豊島区南大塚3-40-1
☎ 03-3984-7791 FAX. 03-3971-0535
<http://www.sunhayato.co.jp>

本資料についてのご注意

本資料について

- ・本資料は、電子工作や電子回路について一般的な知識をお持ちの方を対象にしています。
- ・記載されている会社名、製品名は各社の商標または登録商標です。

本資料のご利用にあたって

- ・この取扱説明書に掲載している内容は、お客様が用途に応じた適切な製品をご購入頂くことを目的としています。その使用により当社及び第三者の知的財産権その他の権利に対する保証、または実施権の許諾を意味するものではありません。また、権利の侵害に関して当社は責任を負いません。
- ・本資料に記載した情報を流用する場合は、お客様のシステム全体で充分評価し適用可能かご判断願います。当社では適用可能判断についての責任を負いません。
- ・本資料に記載してある内容は、一般的な電子機器（学習教材、事務機器、計測機器、パーソナル機器、コンピュータ機器など）に使用されることを目的としています。高い品質や信頼性が要求され、故障や誤作動が直接人命を脅かしたり人体に危害を及ぼす恐れのある、医療、軍事、航空宇宙、原子力制御、運輸、移動体、各種安全装置などの機器への使用は意図も保証もしていません。
- ・この取扱説明書の一部、または全部を当社の承諾なしで、いかなる形でも転載または複製されることは堅くお断りします。
- ・全ての情報は本資料発行時点のものであり、当社は予告なく本資料に記載した内容を変更することがあります。
- ・この資料の内容は慎重に制作しておりますが、万一記述誤りによってお客様に損害が生じても当社はその責任を負いません。
- ・本資料に関してのお問い合わせ、その他お気づきの点がございましたら、当社までお問合せください。
- ・本資料に関する最新の情報はサンハヤト株式会社ホームページ (<http://www.sunhayato.co.jp/>) に掲載しております。

目 次

1. はじめに	7
1.1 概要	7
1.2 付属部品	7
1.3 関連製品	8
2. 基礎知識	9
2.1 基礎知識	9
1) アナログ回路とは	9
2) ICの取り扱い	9
3) ICの種類	10
4) 部品の使い分け	10
5) 互換品(セカンドソース)	10
6) パッケージ1 (DIPIC)	11
7) パッケージ2(トランジスタ、ダイオード)	13
8) ICの型番	14
9) 資料の入手	15
10) 長さの単位	15
11) SI接頭辞(SI接頭語)	15
12) 回路図の表記	15
2.2 実験を始める前	16
1) 未使用端子の処理	16
2) 電源について	16
3) ブレッドボードへの部品実装	16
4) 使用前点検	16
3. オペアンプ	17
3.1 オペアンプの概要	17
3.1.1 オペアンプの構成	19
3.1.2 オペアンプの特徴	20
3.1.3 オペアンプのプロセス技術	21
3.2 オペアンプの基礎	22
3.2.1 ボルテージフォロワー [Voltage Follower] 回路	22
3.3 オペアンプを使用した回路	31
3.3.1 非反転増幅回路(The non-inverting op amp stage)	31
3.3.2 反転増幅回路(The inverting op amp stage)	35
3.3.3 差動増幅回路 (Difference Amplifier)	39
3.4 比較回路	44
3.4.1 コンパレータ回路(Comparator)	44
3.4.2 基準電源(ボルテージ・リファレンス [Voltage Reference])	48

3.5 アナログフィルタ回路	52
3.5.1 LPF回路[Low Pass Filter]	55
3.5.2 HPF回路[High Pass Filter]	59
3.6 アナログスイッチ・アナログマルチプレクサ	63
4. まとめ	68
Appendix	69
A. 部品資料	69
①抵抗器 [Register]	69
②キャパシタ [Capacitor] (コンデンサ [Condenser])	70
③電解キャパシタ [Register] (電解コンデンサ [Electrolytic Condenser])	71
④LED[Light Emitting Diode](発光ダイオード)	72
⑤アナログIC	73
B. グラフ	77
C. CT-311S回路図	80

SAMPLE

※本書に記述されている実験をすべておこない、結果を確認するには、下記の装置・計測器が別途必要です。

- ・ CT-311S-M01(シグナル・セパレータ・モジュール)
- ・ ファンクション・ジェネレータ(FG)
- ・ オシロスコープ
- ・ 電圧計3台 (電圧計はDMM(デジタル・マルチ・メータ)でもよい)

1. はじめに

1.1 概要

本製品では、実際の部品を使用して実習をおこなうことで、実践的な電子回路の学習ができます。

回路を配線するには通常はんだ付け作業が必要ですが、本製品でははんだ付けが不要なブレッドボード上でICや部品、ジャンプワイヤを挿入し回路配線をおこないます。

基本的な入出力はCT-311Sの周辺回路を使用します。CT-311S及び周辺回路の使用方法については“CT-311S取扱説明書”をご覧ください。

本書では、最初に回路の簡単な説明をしています。付随の回路図を組むことにより動作を確認することができます。

なお、本書内の実験回路を全て確認するには、専用オプション(CT-311S-M01(シグナル・ジェネレータ・モジュール)、電圧計(3台)、オシロスコープ(1台)、ファンクション・ジェネレータ(1台)が別途必要になります。(電圧計はDMMで代用可)

注意

- ・本書では、実習して理解することが主目的なので理論や動作については最低限しか記述していません。理論等を詳しく知りたい場合は他の参考書等をご覧ください。
- ・巻末に実習で使用する部品の資料を添付していますが、これらは実習に必要な部分のみの抜粋版です。詳細を知りたい方はメーカーのホームページ等でデータシートやアプリケーション・ノートを取り寄せてください。

1.2 付属部品

本製品には、下記の部品が付属します。ご使用前にすべての付属部品が揃っているかご確認ください。万一、不足品があった場合には弊社ホームページの「お問い合わせ」よりお問い合わせください。

付属部品一覧

部品名	数量	部品名	数量	部品名	数量
LM358P	1	抵抗器 1kΩ±5%(茶黒赤金)	3	可変抵抗器(ツマミ付き)	1
TLC2272CP	1	抵抗器 10kΩ±5%(茶黒橙金)	2	10kΩ(B103)	
LMC7660IN	1	抵抗器 1kΩ±1%(茶黒黒茶茶)	1	多回転型半固定抵抗器	2
NJU201AD	1	抵抗器 10kΩ±1%(茶黒黒赤茶)	4	10kΩ(B103)	
TL431CP	1	抵抗器 12kΩ±1%(茶赤黒赤茶)	2	キャパシタ 3.3nF [0.0033uF](332)	2
LM339N	1	抵抗器 20kΩ±1%(赤黒黒赤茶)	2	キャパシタ 0.1uF(104)	2
LED(赤)	1	抵抗器 24kΩ±1%(赤黄黒赤茶)	1	電解キャパシタ 22μF/16V	3
SLR-56VR		抵抗器 100kΩ±1%(茶黒黒橙茶)	1	チェック端子 SWR-1	6

ジャンプワイヤ

部品名	数量	部品名	数量	部品名	数量
SPP-70	1	SKS-100	1	SUP-200	3

付属品

部品名	数量
マイナスドライバー	1

1.3 関連製品

ブレッドボードの使いかたを良くする製品を用意しています。また、付属部品だけでは足りない場合や保守部品として追加でご購入ください。

- ・ピンそろった (ICS-01)
- ・リードベンダー (RB-5)
- ・ジャンプワイヤ (SPP-50,SPP-70,SPP-100,SPP-150,SPP-200)
- ・ジャンプワイヤキット (SKS-390,SKS-350,SKS-290,SKS-140,SKS-100)
- ・テスター棒用ジャンプワイヤ (SUP-200)
- ・電流測定アダプタ (SBM-001)
- ・ブレッドボード用電源ボード (SBM-003)
- ・ブレッドボード用ジャンパー (SBM-004)
- ・電源接続用端子台 (SBM-005)

SAMPLE

2. 基礎知識

2.1 基礎知識

本製品では、基本的な回路及び部品の特性を学べるようにしています。

このため極力汎用部品及び入手がしやすい部品を使用しています。

アナログ回路は、ICだけでなく周辺の部品(キャパシタ、抵抗その他の部品)により動作や性能が変わってきます。実際に製品を設計する上で要求される精度や扱う周波数等により、配線の引き回しや基板等に含まれるキャパシタンス成分・インダクタ成分が性能に影響することがあります。

しかし、本書で説明している回路は、このような影響はほとんどありませんので安心して実験を行ってください。

1) アナログ回路とは

アナログ回路・デジタル回路とよく言いますが違いは何でしょう。

アナログは信号を連続として扱い、デジタルは単位時間毎に信号を“0”、“1”に振り分け同時に多数のビットを処理することが特徴です。

しかし、デジタル回路でも高い周波数(処理する単位時間が短い)で動作させると、各ビット毎の立ち上がり/立ち下りのタイミングがズレてしまい、デジタル処理技術だけでは対応できないより高周波技術などが必要になってきます。つまりアナログ回路の技術が必要になってくるのです。

世の中の電子回路はすべてアナログ回路と言っても過言ではありません。

さて、アナログの分野は大きく分けて(分類方法もいろいろな考え方があるので本書での分類です)

- ・可聴域系：オーディオなど耳に聞こえる周波数帯を扱う分野
- ・高周波系：無線など高い周波数帯を扱う分野
- ・パワー系：モータなどの動力(高電圧・大電流)関係を扱う分野
- ・電源系：交直流など、変換する分野
- ・その他

のように分けることができます。それぞれの分野で必要な知識・ノウハウ・法規・規格が変わるからです。

本書では、このすべてには対応できないため基礎となる部分についてのみ記述しています。

それぞれの分野については専門の書籍等がありますのでそちらを参照してください。

2) ICの取り扱い

本製品に付属しているICは図2-1のようにムカデのような形をしているものがあります。このような形のICをDIP (Dual Inline Package)型といいます。ICのピンの番号順は図2-1のように半円形のへこみを左にして、左下のピンから反時計方向になっています。ICの1ピンを示すのに図2-1のようなくぼみの他、凹の場合、1ピンの位置にマークが描かれている場合があります。

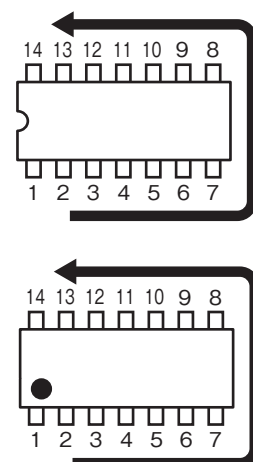


図 2-1 デジタル IC のピンの番号順

9) 資料の入手

半導体メーカーからは各ICの資料として“データシート[Data Sheet]”が発行されています。その他、ICの利用方法などを記述した、“アプリケーション・ノート”、半導体のバグ等がある場合“エラッタ[Errata]”が発行されている場合もあります。これらの資料を熟読し、回路設計をおこないます。

最近では各半導体メーカーのホームページからダウンロードできるようになっています。

Appendixに本書で使用する部品の資料を載せていますが、実習に必要な部分のみの抜粋版であり、本書記述時点の資料です。

ご自分で回路を設計する場合などは必ずメーカーのホームページより最新版を入手してください。

また、古い回路(図)に使われている部品で生産終了から時間が経っている場合、メーカーから資料が手に入らない場合があります。インターネット上には、古い部品等の資料を保存しているホームページもあります。

10) 長さの単位

日本は1959年よりSI単位系を基準としていますが、ICの分野はアメリカが発祥のため、現在でも長さの単位としてインチ[inch]を使用することが多いです。また、更に短い長さを表すのにミル[mil]という単位も使われます。

データシートの寸法を見るとき、どの単位で書かれているか注視してください。

1mil = 1/1000 inch

1inch = 25.4mm

SAMPLE

11) SI接頭辞(SI接頭語)

国際単位系(SI)に10の累乗倍の数を示す記号を付けることにより、大きな量や小さな量を表します。この記号のことを「接頭辞」と呼びます。

本書の中でも、k(キロ)〇〇、μ(マイクロ)〇〇などと記述しています。下記に一覧表をつけます。記号の大文字・小文字を間違えないでください。

接頭辞	記号	10 ⁿ	接頭辞	記号	10 ⁿ
キロ(kilo)	k	10 ³	ミリ(milli)	m	10 ⁻³
メガ(mega)	M	10 ⁶	マイクロ(micro)	μ	10 ⁻⁶
ギガ(giga)	G	10 ⁹	ナノ(nano)	n	10 ⁻⁹
テラ(tera)	T	10 ¹²	ピコ(pico)	p	10 ⁻¹²
ペタ(peta)	P	10 ¹⁵	フェムト(femto)	f	10 ⁻¹⁵
エクサ(exa)	E	10 ¹⁸	アト(atto)	a	10 ⁻¹⁸
ゼタ(zetta)	Z	10 ²¹	zepto)	z	10 ⁻²¹
ヨタ(yotta)	Y	10 ²⁴	ヨクト(yocto)	y	10 ⁻²⁴

12) 回路図の表記

元は米国のMIL規格[MILitary standard]で定められた記号を使っていましたが、日本ではこれを元にJIS規格(C301)を制定していました。1999年国際規格IEC60617に基づく規格がJIS(C0617)に制定されました。

現在、国内では古いMIL形式や旧JIS、新JISの回路図が混在していますが、国際的に提出する場合は新JISで記述する必要があります。

3.2 オペアンプの基礎

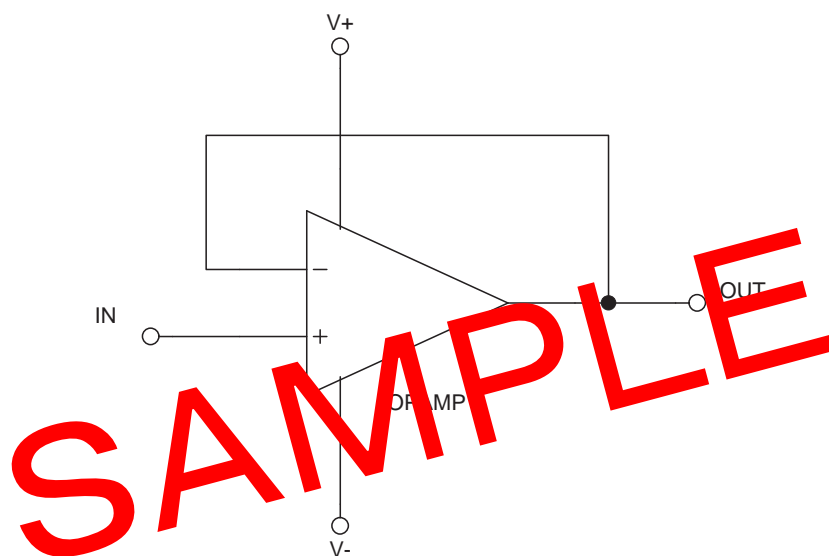
オペアンプを使用した基本的な回路を実験し、特性などを理解します。

3.2.1 ボルテージフォロワー[Voltage Follower]回路

オペアンプを使用した基本的な回路の一つです。GAIN(増幅度)=1の非反転増幅回路です。

この回路は、通常インピーダンス変換(バッファ)に使用します。この回路は他の部品を使用しないためオペアンプの特性がもっとも良くわかります。

入力はハイ・インピーダンス、出力はロー・インピーダンスです。次項から、この回路を使用してオペアンプの特性等を確認します。



3.2.1.1 オペアンプICの特性1 (Rail to Railの特性)

本項では2つのIC、LM358PとTLC2272CPで同じ回路を組み実験します。

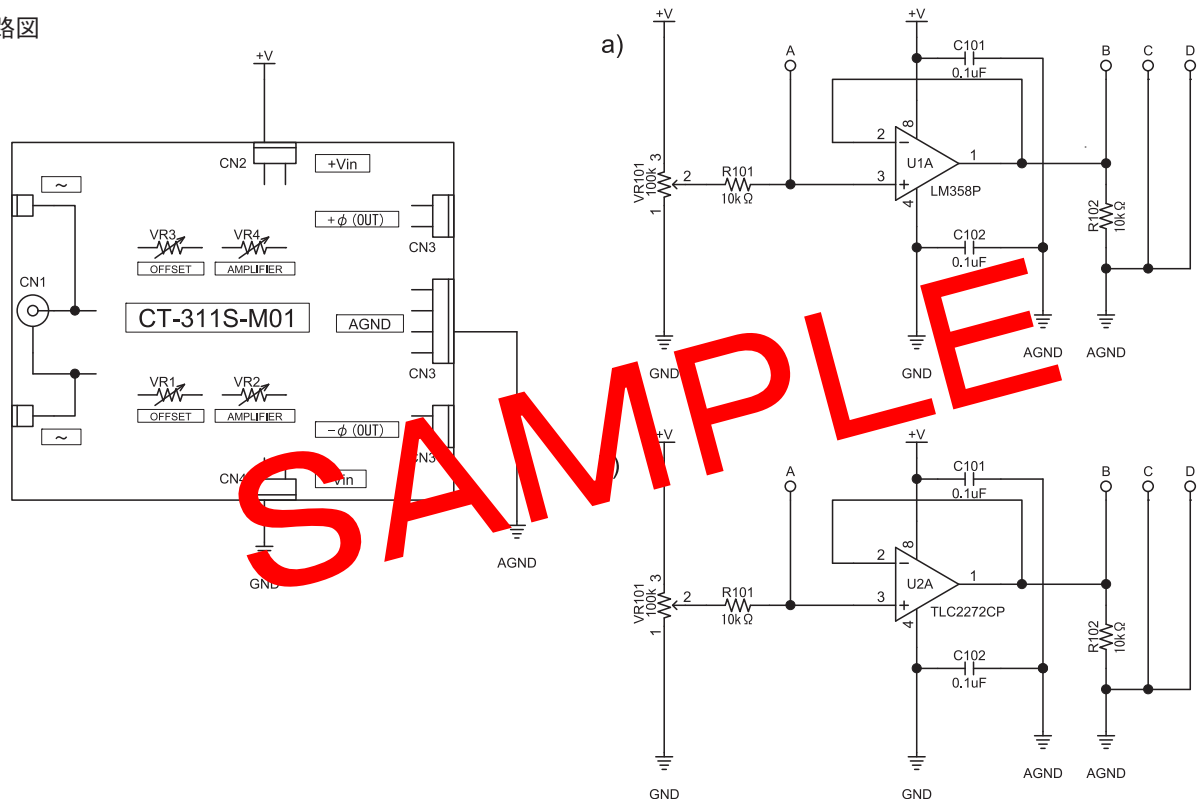
通常型とRail to Rail型との信号レベルの差を理解します。

電源はCT-311Sの+VをCT-311S-M01により、擬似的にAGND(アナログGND)を作り、±電源としています。

回路図-a)を配線します。a)の測定が終了したらICをLM358PからTLC2272CPに交換し(回路図-b))、同じ測定をします。

電源V+はCT-311Sの+Vに、V-はCT-311SのGNDに接続します。

回路図

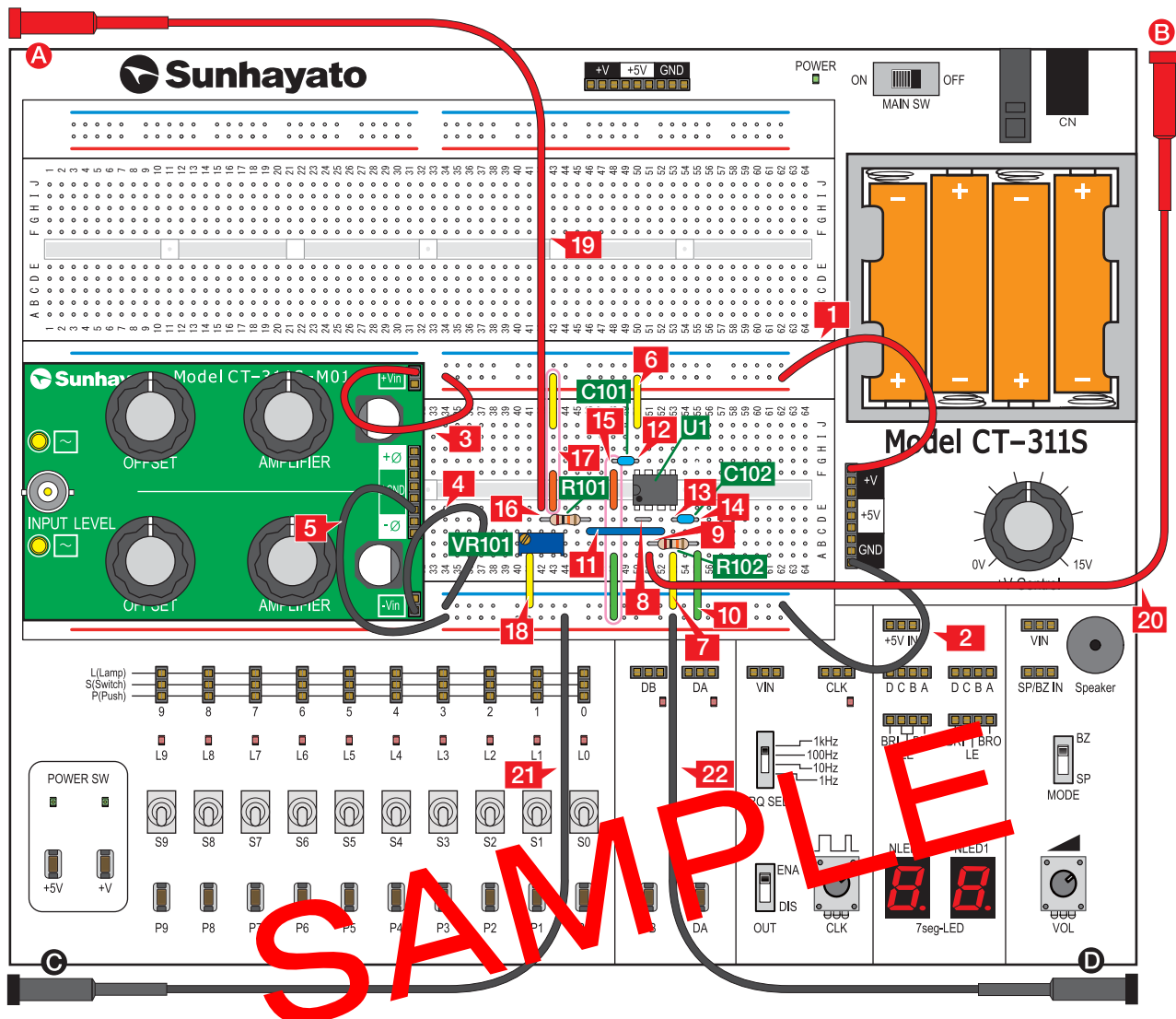


部品番号	部品	部品番号	部品	部品番号	部品
モジュール	CT-311S-M01	R101	10kΩ ±5%	A	SUP-200 (赤)
U1	LM358P	R102	10kΩ ±5%	B	SUP-200 (赤)
U2	TLC2272CP	C101	0.1 μF	C	SUP-200 (黒)
		C102	0.1 μF	D	SUP-200 (黒)

配線

- (1) 電源出力端子の+Vとブレッドボード電源ライン(赤色[上])を接続
- (2) 電源出力端子のGNDとブレッドボード電源ライン(青色)を接続
- (3) CT-311S-M01の電源入力端子+Vinとブレッドボード電源ライン(赤色[上])を接続
- (4) CT-311S-M01の電源入力端子-Vinとブレッドボード電源ライン(青色)を接続
- (5) CT-311S-M01の電源端子AGNDとブレッドボード電源ライン(赤色[下])を接続
- (6) U1の8番ピンとブレッドボード電源ライン(赤色[上])を接続
- (7) U1の4番ピンとブレッドボード電源ライン(青色)を接続
- (8) U1の1番ピンと2番ピンを接続

Sunhayato



- (9) U1の2番ピンに抵抗R102を接続
- (10) 抵抗R102とブレッドボード電源ライン(赤色[下])を接続
- (11) U1の3番ピンと抵抗R101を接続
- (12) U1の8番ピンにキャパシタC101を接続
- (13) U1の4番ピンにキャパシタC102を接続
- (14) キャパシタC102とブレッドボード電源ライン(赤色[下])を接続
- (15) キャパシタC101とブレッドボード電源ライン(赤色[下])を接続
- (16) 半固定抵抗VR101の2番ピンと抵抗R101を接続
- (17) 半固定抵抗VR101の3番ピンとブレッドボード電源ライン(赤色[上])を接続
- (18) 半固定抵抗VR101の1番ピンとブレッドボード電源ライン(青色)を接続
- (19) 半固定抵抗VR101の2番ピンに端子Aを接続
- (20) U1の2番ピンに端子Bを接続
- (21) ブレッドボード電源ライン(赤色[下])に端子Cを接続
- (22) ブレッドボード電源ライン(赤色[下])に端子Dを接続

配線が終わったら、接続ミスや接続忘れがないかよく確認してください。

- 実習準備 -

- 1). CT-311Sの電圧VRを最大に設定します。
- 2). CT-311Sの電源+Vの電源スイッチをONにします。
- 3). CT-311Sの電源VRを回し、+V - GND間の電圧を+15Vに合わせます。
- 4). VR101をA-C間が0Vになるよう調整します。

- 操作 -

- 5). VR101を少しずつ回し、A-C間、B-D間の直流電圧をそれぞれ測定します。
※VR101は多回転タイプですので360°以上回ります。
- 6). VR101を調整しA-C間が $-(\frac{1}{2} \cdot +V) \sim \frac{1}{2} \cdot +V$ まで測定します。
- 7). CT-311Sの電源 +Vの電源スイッチをOFFにします。
- 8). ICをLM358PからTLC2272CPに交換します。回路図-a)→回路図-b)
- 9). 2)項から繰り返します。2つのICのデータが取れたら終了です。

- まとめ -

測定した電圧でグラフを作り、何が違うのか確認しましょう。

※時間があるようなら電源電圧(+V)を変えて、実験してみましょう。

	+V [V]	
	A-C間	B-D間

	+V [V]	
	A-C間	B-D間

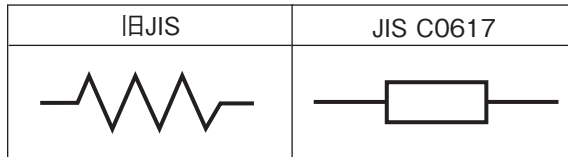
SAMPLE

Appendix

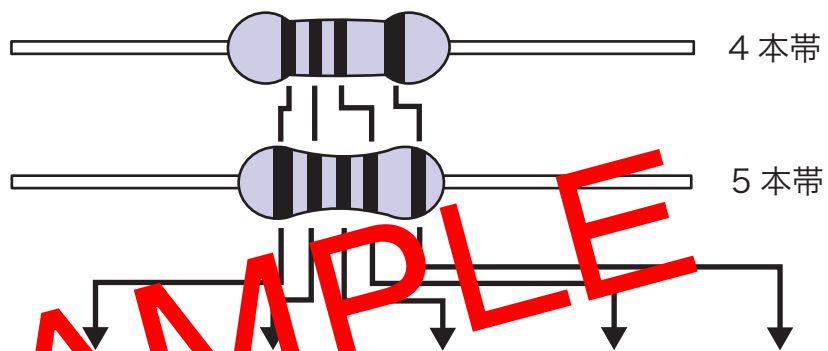
A 部品資料

① 抵抗器 [Resistor]

抵抗器は回路に流れる電流を制限します。他にも電圧を分圧する、キャパシタと組み合わせて充放電の時間を調整するなど、さまざまな役割があります。記号は下記のように書きます。



抵抗器の表面の色の帯はカラーコードと呼ばれ、その抵抗器の抵抗値と誤差を表しています。抵抗器のカラーコードは表A-1のように決められています。





色 Color	第1数字 1st figure	第2数字 2nd figure	第3数字 3rd figure	倍率 Multiplier	抵抗値許容差 Tolerance
黒 Black	0	0	0	1	
茶 Brown	1	1	1	10^1	±1%
赤 Red	2	2	2	10^2	±2%
橙 Orange	3	3	3	10^3	
黄 Yellow	4	4	4	10^4	
緑 Green	5	5	5	10^5	±0.5%
青 Blue	6	6	6	10^6	±0.25%
紫 Violet	7	7	7	10^7	±0.1%
灰 Gray	8	8	8		±0.05%
白 White	9	9	9		
金 Gold				10^{-1}	±5%
銀 Silver				10^{-2}	±10%
無 Plain					±20%

表A-1

② キャパシタ[Capacitor] (コンデンサ[Condenser])

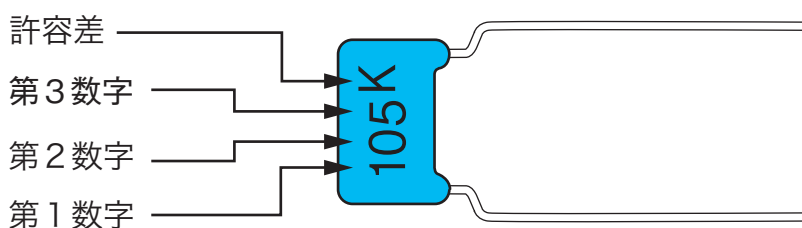
キャパシタは電気を蓄えたり(充電)、放出したり(放電)します。抵抗器と組み合わせて充放電時間を調節し、周期的な電圧変化をつくり出すのに使われます。キャパシタが蓄えられる電気の量を静電容量で表します。単位はF(ファラッド)です。下記の図が記号です。

旧JIS	JIS C0617
	

キャパシタは交流を通しやすく、直流は通さない性質があるため、直流電源ライン上のノイズ(交流雑音)を軽減するために使われることもあります。

こういった使い方をするキャパシタのことをバイパス・キャパシタ[Bypass capacitor]、ディカップリング・キャパシタ[Decoupling capacitor]と呼びます。日本では「バイパス・コンデンサ(パスコン)」と呼ぶことも多いです。このバイパス・キャパシタには「ICなどが急激に電流を必要としたときにこのバイパス・キャパシタから供給させる」という役割もあります。バイパス・キャパシタはICなどの電源端子とGND端子の近くに配置すると効果的です。

キャパシタの表面に記載されている数値は静電容量を表します。静電容量の読み方は、第1数字が10の位、第2数字が1の位、第3数字が10の乗数で、単位はpF(ピコファラッド)です。付属のキャパシタは「105」と表記されているので、 $1\mu\text{F}$ となります。また、最後のアルファベットは許容差を表しており、この場合は「K」なので $\pm 10\%$ の許容差です。



$$10 \times 10^5 = 1000000\text{pF} = 1\mu\text{F}$$

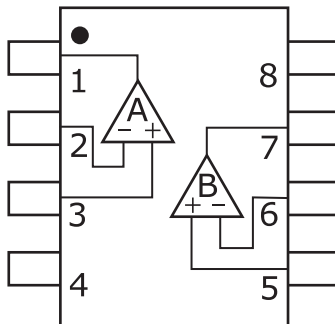
表A-2 静電容量の許容差

コード	L	P	W	B	C	D	F	G
許容差	$\pm 0.01\%$	$\pm 0.02\%$	$\pm 0.05\%$	$\pm 0.1\%$	$\pm 0.25\%$	$\pm 0.5\%$	$\pm 1\%$	$\pm 2\%$
コード	J	K	M	N	Q	S	T	Z
許容差	5%	$\pm 10\%$	$\pm 20\%$	$\pm 30\%$	$-10\sim+30\%$	$-20\sim+50\%$	$-10\sim+50\%$	$-10\sim+80\%$

⑤ アナログIC

1) オペアンプ1[OPAMP](LM358P,TI)

2 電源タイプのOPAMP LM358Pは2回路入り。



表A-5 電気仕様

項目	記号	特性			条件
		min	typ	max	
電源電圧	V+/V-	±1.5V/3V		±16V/±2V	
動作温度	T _{opr}	0°C		+70°C	
入力オフセット電圧	V _{IO}			9.0mV	
入力オフセット電流	I _{IO}			150nA	
入力バイアス電流	I _B			-500nA	
電圧利得	A _V	50dB	100dB		R _L ≥ 2kΩ, V _O = ±10V
最大出力電圧	V _{OH}	26V			R _L ≥ 2kΩ, V _{CC} = max
同相信号除去比	CMR	65dB	80dB		
電源電圧除去比	SVR	65dB	100dB		
消費電流	I _{CC}		1mA	2mA	
スルーレート	SR		0.3V/μs		R _L ≥ 1MΩ
ユニティゲイン 周波数	f _T		0.7MHz		R _L ≥ 1MΩ
クロストーク	V _{O1} /V _{O2}		100dB		f=1kHz-20kHz
パッケージ	D		DIP8P		

改訂履歴

Rev.	発行日	ページ	改訂内容
1.00	2017/12/25	-	初版発行

SAMPLE

CT-311S-P02 学習の手引き (Model CT-311S-P02A)

税抜価格 ¥2,000

発行日 2017-12-25 Rev1.00
発行 サンハヤト株式会社
〒170-0005 東京都豊島区南大塚3丁目40番1号

©2017 Sunhayato Corp. All rights reserved.

SG17008

