

提出日：20 年 月 日

【第 1 週 目標：電気回路の基本をマスター】

1-1 電気回路と電子回路の違い

■P13・P14 の絵を描き写して電気回路と電子回路の違いを説明してください。

1-2 アナログ電子回路とデジタル電子回路

■P18・P19 の絵を見ながら「増幅」「スイッチング」という言葉を用いてアナログ電子回路とデジタル電子回路の違いを説明しなさい。キーワードには下線をつけてください。

1-3 中学校理科で習う電気回路 オームの法則

■P21 の絵を描き写して、合成抵抗の計算とオームの法則を説明してください。

1-4 回路を自由に計算する最重要ツール キルヒホッフの法則

■P24・P25 の絵と式を描き写して計算をマスターしてください。

1-5 受動素子の気持ちになる

■P27 の絵を参考にして赤・紫・橙・金の場合の抵抗値を答えてください。

■P28 と P30 の合成容量の式の関係について説明してください。

提出日：20 年 月 日

1-6 魔法のキーワード $j\omega$

■P33 に書かれている 90 度は何ラジアンですか？→

■sin 波と cos 波を P35 の絵を真似して描いてください。

■その波をそれぞれ微分・積分した図を上図に追記してください。

■波形を微分すると位相は ($\pi/2$ 進む・ $\pi/2$ 遅れる) ←どちらかに○をつけてください。

■P38 の数式を描き写してください。

■P39・P40 の RC 回路図を描き写してください。

1-7 フィルタで周波数をゲット

■周波数の低い信号だけを通す回路をなんといいますか？→

■P43・P44・P45 の回路図を描き写してそれぞれ式を求めてください。

■まとめとして P46 を描き写して頭の中を整理してください。

【第2週 目標：電子回路の基本デバイスであるダイオードとトランジスタを知る】

1-8 トランジスタとダイオードの気持ちになる

■P47 のダイオードの図・写真で線がある方を何と呼びますか？→

■P48 のキーワード3つは？→1. _____ 電圧 2. _____ 方向 3. 半波 _____

■P49 のトランジスタの記号・端子名・電流名・電圧名を描き写してください。

■P50 を見ながら V_{BE} - I_B 特性を説明してください。

V_{BE} を上げていって _____ (V_t) を越えると _____ (ベース電流) が急激に流れ出す。

V_{CE} を上げていくと一定の I_C (_____ 電流) が流れる。その大きさは _____ I_B によって変わる。

入力電流 I_B [μA] と出力電流 I_C [mA] は _____ 倍違う。

■P51 を参考に下の文章の空白を埋めてください。

混じりっけなしの Si を _____ と呼び、他の物質を混ぜたものを _____ と呼びます。 _____ 族の物質を混ぜるとホ _____ と呼ばれるキ _____ が現れます。このような不純物半導体を p 形半導体と呼びます。

■P52・P53 の周期表の青い四角部分を描き写してください。また下の文章の空白も埋めてください。

シリコンは _____ ともいいます。

1869 年に _____ が周期律を発見して _____ 年に周期表が完成しました。

_____ は日本が発見して 2016 年に命名しました。

■P54・P55 を描き写してダイオードとトランジスタの構造を覚えてください。

※ダイオードの構造を pn 接合といいます。

※トランジスタと言えば「バイポーラトランジスタ」と「MOS トランジスタ」

所属

学年

出席番号

氏名

提出日：20 年 月 日

■P56・P57・P58 を見て以下の空白を埋めてください。

電子回路は、個別部品（ ）を組み合わせで機能を実現します。抜き差し自在なブ を用いて試作したり、ユ にはんだ付けしたり、削り出しで基板を作ります。部品点数が多くなると P57 下の写真のように (IC) として機能を実現します。

■P58・P59 を見て以下の空白を埋めてください。

IC の設計は CAD を利用して回 作成、シ 、レ を行い最終的にチップとして仕上げます。試作にデータを渡すことを テ と呼びます。

1-11 トランジスタ利用の準備運動 h パラメータ

■P61・P62 を見て以下の空白を埋めてください。

トランジスタの動作を言葉で表すと「 入力 を 出力 として取り出す」と言えます。 を加えて を流し、それを大きな という電流で取り出すということです。

h_{ie} , h_{fe} , h_{oe} , h_{re} を パラメータと呼びます。これらを使った回路のことを等 と呼び、電気回路の知識を使って計算できます。特に重要なのは h_{ie} (インピーダンス) と h_{fe} (電流 率) です。

■P63 の絵を描き写して① h_{ie} と h_{fe} の式の意味②トランジスタと等価回路の関係を確かめてください。※ポイント！入力電流 I_B を h_{fe} 倍したものが出力電流 I_C

【第3週 目標：「増幅」のイメージをつかむ】

2-1 信号を「増幅」させる

■P66 を見て以下の空白を埋めてください。

音の大きさは振____によって変わる。音の高さは周____によって変わる。

■1Hz は 1 秒間に手を 1 回叩くこととほぼ同じ意味です。10Hz で手を叩いてみてください。パソコンの頭脳である CPU とかでよく聞く GHz はギガヘルツと呼び、G は 1000000000 倍ということです。スマホなども同じ精密な信号で動いています。大切に扱いましょう。

■P67 の図を描き写してください。

■P67 を読んで下記の問に答えてください。

・電流増幅率はどんな式で表されますか？

・電圧増幅率はどんな式で表されますか？

2-2 グラフの縦軸は「倍」ではなく「デシベル」

■P68・P69 を読んで下記の問に答えてください。

・dB は何と呼びますか？→

・20dB は何倍ですか？→

・40dB は何倍ですか？→

・1000 倍は何 dB ですか？→

■P69 のデシベルと倍の変換式を描き写して、電卓で計算してみてください。

■P70 を読んで以下の空白を埋めてください。

P70 の下のグラフのことを片____と呼び、____軸が対数表現となっています。____軸は dB で表すことが多いです。大きな数字を扱うのに便利というのと、「制____」で学ぶ「ボ____」として活躍します。ポイントは図中の周波数が 10 倍になると電圧増幅率も 10 倍の____dB となることです。

所属

学年

出席番号

氏名

提出日：20 年 月 日

2-3 トランジスタの特性図から「増幅」を読む

■P71の特性図2つを描き写してください。

■上図に、P72・P73のように、入力特性に10[mV]の入力信号と10[μ A]の電流の変化を書き入れて、次に出力特性に先程の10[μ A]、4[V]の出力信号と1[mA]の電流の変化を書き入れてください。

■P73のトランジスタと先程描いた特性図を見ながら以下の空白を埋めてください。

トランジスタを用いると20[μ A]という小さな入力電流 I_{B} が1[mA]という大きな出力電流 I_{C} となる。 $I_{\text{C}}/I_{\text{B}}$ のことを電_____と呼び、ここでは_____倍となる。特性図を見ると、電圧増幅率は $V_{\text{CE}}/V_{\text{BE}}$ なので_____倍となる。

提出日：20 年 月 日

【第4週 目標：「バイアス回路」の重要性を理解する】

2-4 「増幅」させるための下準備

■P74・P75・P76の図と式を描き写してください。

■上で描いた式を以下の式を用いて求めてください。

$V_{CE} = -I_C R_C + V_{CC}$ ※この式はわかりますか？回路をじっくり見て考えてください。

■下記の文章の空白を埋めてください。

この式の切片と傾きに注意して出力特性に引いた左上から右下への線を負と呼びます。

また、入力特性で定めた I_B と交わったところを動と呼びます。このようにトランジスタが動けるように適切に動作点を決めることをバ設計と呼びます。

■P77の図を全て書き写してその名前も覚えてください。

※一般的なのは電流帰還バイアス回路です。

2-5 誰が何を「増幅」させるか

■P79の入力インピーダンスの影響の図を描き写してP78の式を導いてください。

提出日：20 年 月 日

■P79 の出力インピーダンスの影響の図を描き写して P78 の式を導いてください。

入力インピーダンスは大きいほうが良い！出力インピーダンスは小さい方が良い！

2-6 トランジスタの「スイッチング作用」とデジタル回路との関係

■P81 の図を描き写してください。

■P81 の文章を読んで下記の空白を埋めてください。

トランジスタは、入力に電圧を加えると電流が流れます。つまり、ス_____を O にした状態と同じです。これにより 1, 0 という デ_____値を作ることができます。これをトランジスタのス_____作用と呼びます。

※ON の時に出力は 0[V]、OFF の時に出力は 5[V]と逆になることにも注目 (NOT 回路)

■P82 の図を見ると P43 で学んだ「分圧の法則」が必要ということに気が付きます。トランジスタが理想的なスイッチではない場合どうなるかを考察してみてください。

【第5週 目標：エミッタ接地・ベース接地・コレクタ接地の特徴を知る】

3-1 工業高校検定教科書と市販教科書

■P87 の検定教科書の目次と P89 の図を描き写してください。

■P88 の質問に答えられますか？答えられたら□にチェックをつけてください。一応答えを確認したい人は P131 を確認してください。

□質問 1 真性半導体と不純物半導体の違いを説明してください。

□質問 2 pn 接合、順方向電圧、逆方向電圧という言葉の説明してください。

□質問 3 バイポーラトランジスタと MOS トランジスタの構造を説明してください。

□質問 4 エミッタ接地回路を例に増幅作用を説明してください。

□質問 5 演算増幅器を用いた反転増幅回路を説明してください。

3-2 トランジスタが便利な形に変身

■P91・P92 に書かれているトランジスタの等価回路の名前と図を描き写してください。

※等価回路を使うと電気回路の知識を使って回路が解けるようになります。

提出日：20 年 月 日

3-3 一番ポピュラーな増幅回路 電圧増幅回路と聞かれたらエミッタ接地！

■P94 の図と式を描き写してください。

■次の2つの式から A_V を求めてください。回路の特徴を空欄に埋めてください。

$$V_i = i_b h_{ie} \quad V_o = -i_b h_{fe} R_L$$

特徴：電圧増幅率が _____、電流増幅率が _____、入出力が _____ ※P98 も参照

3-4 出力が反転しない増幅回路 ベース接地回路

■P96 の図と式を描き写してください。

■次の2つの式から A_V を求めてください。回路の特徴を空欄に埋めてください。

$$V_i = i_b h_{ie} \quad V_o = h_{fe} i_b R_L$$

特徴：電圧増幅率が _____、電流増幅率が _____、入出力が _____ ※P98 も参照

3-5 電圧増幅率が1倍？増幅回路なの？ バッファ回路と聞かれたらコレクタ接地！

■P98 の図と式を描き写してください。

■次の2つの式から A_V を求めてください。回路の特徴を空欄に埋めてください。

$$V_i = (i_b + i_b h_{fe}) R_L + i_b h_{ie} \quad V_o = (i_b + i_b h_{fe}) R_L \quad \text{※少し難しいです。}(1 + h_{fe}) R_L \gg h_{ie} \text{ とします。}$$

特徴：電圧増幅率が _____、電流増幅率が _____、入出力が _____ ※P98 も参照

【第6週 目標：MOS トランジスタのことを知る】

3-6 いま主流のデバイス MOS トランジスタ！

■P100・P102 の図・グラフを描き写して P99～P102 の文章を読んで下記の空白を埋めてください。

MOS トランジスタの MOS は_____の略でそれぞれの端子をゲ_____・ド_____・ソ_____・バ_____と呼ぶ。NMOS と P_____の2種類があります。MOS トランジスタはゲートが_____されているので電流がほとんど流れ_____ので低消費電力で動かす現在の電化製品の主流のデバイスです。 I_B で I_C を制御するバイポーラトランジスタを_____型、 V_{GS} で I_D を制御する MOS トランジスタを_____型と呼びます。

3-7 MOS トランジスタを用いた基本回路 ソース接地回路

■P103 の図と式を描き写してください。

※集積回路を設計する＝各トランジスタの W/L を決めることと言っても過言ではない！

■P104 の図と数式を描き写して、次の式から $A_V=V_o/V_i$ を導いてください。

$$V_o = -g_m V_{gs} R_L \quad V_i = V_{gs}$$

※ソース接地回路はエミッタ接地回路と同じで反転増幅回路です！

提出日：20 年 月 日

3-8 大規模集積回路 (LSI) 差動増幅回路とカレントミラー回路

■P105 の脚注の LSI の略語と用語解説を書き写してください。

■P107 の図を描き写して差動増幅回路がノイズに強いことを確認してください。

■P108 の図を描き写してカレントミラー回路で電流コピーできることを確認してください。

3-9 「高性能」を目指して

■P109 のアナログ設計の 8 角形を描き写してください。

■P110 を参考に、超省エネ時代に必要なことを考えて書いてみてください。

提出日：20 年 月 日

【第7週 目標：オペアンプの基本を学ぶ】

4-1 トランジスタ数が増えると計算できない！？

■P114 を読んで以下の文章の空白を埋めてください。

P115 のトランジスタが沢山詰まった回路をオ_____ (Operational Amplifier) と呼びます。日本語では演_____ です。オペアンプ中身は____部・____部・____部の3つに分けることができます。

4-2 救世主オペアンプ登場

■P117 のオペアンプの記号と式を描き写してください。

※中身はトランジスタが沢山ですがこの記号でブラックボックス化して使うので安心！

■P118 の必殺技1と必殺技2を描き写して説明を読んでください。

※バーチャルショートは絶対覚えてください！

4-3 オペアンプの使い方

■P119・P120 を読んで P120 の図を描き写して説明してください。

■P121 と P122 の反転増幅回路と非反転増幅回路を描き写して V_{out}/V_{in} を求めてください。

所属

学年

出席番号

氏名

提出日：20 年 月 日

■P124 の図を描き写してください。そして、P122・P123・P124 を読んで正帰還・ポジティブフィードバックについて説明してください。

※ポイント！出力から伸びた配線がオペアンプのマイナスにつながっていれば負帰還！

【第8週 目標：オペアンプの応用を知る】

4-4 オペアンプを使った加減算回路と微積分回路

■P125 を読んで下記の空白を埋めてください。

オペアンプとは英語で O _____ A _____ の略で演 _____ + _____ 器ということです。演算とは足し算、引き算、微分、積分などのことで、オペアンプを使うとこれらの計算ができるということです。※Amplifier は fire と燃えないように注意(^^)

■P126 の図を描き写して式を確かめてください。

4-5 オペアンプを使った周波数フィルタ

■P127 と P128 の図を描き写して、以下の空白を埋めてください。

積 _____ 回路と微 _____ 回路の違いは R と C の位置です。

積分回路は低い周波数を通す _____ フィルタの機能も持っています。

微分回路は高い周波数を通す _____ フィルタの機能を持っています。

オペアンプを使うと例えば低い周波数の信号を通過させながら _____ (P128 補足参照) させることができます。

4-6 オペアンプの中身

■P129・P130 を読んで「差動増幅回路」「カレントミラー回路」を確認して、「ダーリントン接続」「プッシュプル回路」をインターネットで調べてみましょう。

□P131 の Point を読んで理解できている場合はこの行の先頭の□に✓をいれてください。

所属

学年

出席番号

氏名

提出日：20 年 月 日

【第 9 週 目標：まとめ】

■第1週から第8週までのレポートを見ながらポイントやキーワードを A4 用紙 1 枚でまとめてみてください。

提出日：20 年 月 日

【第 10 週 目標：組み合わせ回路を学ぶ】

5-1 アナログからデジタルへ

■P135 を描き写して、下記の空白を埋めてください。

アナログとは相似という意味で自然界の信号をそのままの _____ 量として表します。逆にデジタルは指という意味で飛び飛びの _____ 量です。アナログ信号をデジタル信号にするためには時間軸で飛び飛びの値をとる _____ 化と電圧軸で飛び飛びの値をとる _____ 化が必要です。

■P136・P137 の図と式を描き写して、下記の空欄を埋めてください。

Analog から Digital に変換することを _____ と呼びます。逆にデジタルからアナログに変換することを _____ と呼びます。

■上記で写した P137 の DAC (Digital to Analog Converter) の式を求めてください。

※R-2R ラダーというキーワードで調べてみてください。

5-2 10 進数と 2 進数と 16 進数

■P139～P141 を読んで次の 5 進数を答えてください。

$$(1A)_{16} = (26)_{10} = (00011010)_2 = (\quad)_5$$

提出日：20 年 月 日

5-3 組み合わせ回路

■P142・P143 の回路図と真理値表を描き写してください。

5-4 半加算器と全加算器

■P144・P145・P146 の回路図と真理値表を描き写してください。

※足し算・桁上げをする回路が半加算器と全加算器です。

■P146 の例は $6+5=11$ の場合ですが、 $10+6=16$ を P146 下図を真似して描いてください。

【第 **11** 週 目標：順序回路を学ぶ】

5-5 順序回路

■P147・P148・P149 の回路を描き写し、下記の空白を埋めてください。

_____回路は入力した信号が計算されて即座に出力されるものでした。

_____回路とは、出力の状態を_____して、それを別の回路で活かす回路のことです。

ここではフ_____ (FF：Flip-Flop) という記憶回路に触れてみましょう。

紹介するのは DFF・TFF・RSFF・JKFF です。デジタル回路ではボタンを押したときに入力が目に見えないスピードでバタバタして 0・1 を繰り返すことがあります。

これをチ_____といいます。この誤作動防止回路としてもフリップフロップは使われています。

■P150 を描き写してそれぞれの働きを確かめてください。

※P151 下 Column より：デジタル回路（論理回路）＝「組み合わせ回路」＋「順序回路」

提出日：20 年 月 日

5-6 論理回路の中身はやっぱりトランジスタ

■P152・P153・P154 の回路を描き写し、下記の空白を埋めてください。

デジタル回路（論理回路）もト_____でできています。例えば、NOT 回路はトランジスタ 1 つと抵抗でできています。あれ？これは見たことがある回路ですね。P94 を見てください。そうです。エ_____接地回路なんです。NAND 回路の中身は P153 のようになっています、DTL (_____ Transistor Logic) ・ TTL (Transistor _____ Logic) と呼ばれています。もちろん FF もトランジスタからできています。

5-7 デジタル IC の活用

■P155 の図を描き写し、下記の空白を埋めてください。

デジタル IC には TTL と CMOS (Complementary _____) があります。それぞれ反応する入力電圧と出力電圧が異なります。P156 に示すとおり TTL+CMOS の順番のときは注意が必要です。

■P157 の IC の図と型番を描き写してください。

5-8 「高機能」を目指して

■P158・P159 の文章を読んで、マイコン・CPU・組み込み機器・IoT・CPS・FPGA・サーキットデザイン教育という言葉覚えてください。

提出日：20 年 月 日

【第 **12** 週 目標：LTspice の使い方を学ぶ】

6-1 回路シミュレーションとは

6-2 LTspice の紹介

6-3 LTspice の使い方

6-4 「増幅」をシミュレーションで体験しよう

■6-1～6-3 までを読んでください。

■6-4 を読み始めてから P191 の波形を確認するまでどのくらいの時間がかかるか測ってください。そして、下記に記入してください。

波形確認まで _____ 分かかりました。

【第 **13** 週 目標：LTspice を用いていろいろ試してみる】

6-5 「フィルタ」をシミュレーションで体験しよう

6-6 「組み合わせ回路」をシミュレーションで体験しよう

6-7 「順序回路」をシミュレーションで体験しよう

■P197・P202・P211 の特性や波形を確認するまでどのくらいの時間がかかるか測ってください。そして、下記に記入してください。

ローパスフィルタ周波数特性確認まで _____ 分かかりました。

半加算器の波形・真理値表の確認まで _____ 分かかりました。

4ビットバイナリカウンタ波形の確認まで _____ 分かかりました。

※各自しっかり取り組んでほしいですが、念の為に全てのシミュレーションファイルと説明動画はサポートページに準備しています。本書の確認として使ってもらえると嬉しいです。

■シミュレーションを行った感想とつまづいたところなどを書いてください。

提出日：20 年 月 日

【第 **14** 週 目標：コラム通読：コラムを通じて授業中の雑談を体験する】

■P6 のコラムのタイトル一覧を書き写してください。

■コラムを全て読み終えるまでにかかった時間を教えて下さい。

コラム通読は_____分で終わりました。

■コラムで一番心に残ったものを1つピックアップして感想を書いてください。

コラム名：_____

感想：

【第 15 週 目標：まとめ】

■第9週から第14週までのレポートを見ながらポイントやキーワードをA4用紙1枚でまとめてみてください。電子回路を学んだ感想なども書いてもらえると嬉しいです。

※本ワークシートに記入したものをPDFにして ishikawa@ariake-nct.ac.jp に送っていただければ著者と直接のやりとりも可能です。お気軽にお声掛けください。