



To-Be エンジニア試験公式テキスト

# 電気電子 I

(電気回路の基礎・電子回路の基礎・半導体デバイス)

To-Be エンジニア試験企画委員会 編著

コガク



# 目 次

## 1章

## 電気回路の基礎 ..... 1~64



### 直流回路

(電圧, 電流, 抵抗, コンデンサ, コイル) ..... 2

1.1 電気の基礎 (抵抗の性質) .....	2
1.1.1 電圧と計測 .....	2
1.1.2 電流と計測 .....	3
1.1.3 抵抗と計測 .....	4
1.1.4 オームの法則 .....	7
1.2 直流回路網の諸定理 (直列・並列接続) .....	9
1.2.1 直列接続 .....	9
1.2.2 並列接続 .....	9
1.2.3 直列と並列の合成抵抗 .....	10
1.2.4 ブリッジ回路 .....	11
1.3 静電気の基礎 (コンデンサの性質) .....	12
1.3.1 コンデンサの性質, 種類 .....	12
1.3.2 容量 ( $C = \epsilon S/d$ ) .....	14
1.3.3 並列接続 .....	15
1.3.4 直列接続 .....	16
1.4 磁気の基礎 (磁界と磁気力) .....	17
1.4.1 磁性体 .....	17
1.4.2 インダクタンス .....	17
1.4.3 電磁誘導 .....	18
1.4.4 フレミングの左手の法則 .....	18



### 交流回路

(正弦波, 共振回路, 三相交流, 過渡現象) ..... 20

2.1 正弦波交流と回路素子の働き (正弦波交流の基本) .....	20
2.1.1 正弦波の表し方 .....	20
2.1.2 周期と周波数 .....	22
2.1.3 電圧と電流 .....	24
2.1.4 有効電力 .....	27

2.2 RLC 交流回路網（直列共振回路）	29
2.2.1 共振回路	29
2.2.2 Q 値	29
2.2.3 共振回路の式	30
2.2.4 共振回路数値計算	31
2.3 三相交流回路（三相交流の計算）	31
2.3.1 三相交流（デルタ結線）	33
2.3.2 三相交流数値計算（デルタ結線）	33
2.3.3 三相交流（スター結線）	34
2.3.4 三相交流数値計算（スター結線）	35
2.4 過渡現象（過渡現象の計算）	36
2.4.1 CR 過渡現象	36
2.4.2 CR 過渡現象数値計算	36
2.4.3 LR 過渡現象	38
2.4.4 LR 過渡現象数値計算	39
 <b>ノイズ (ノイズの種類とその対策)</b>	40
3.1 ノイズとは (SN 比)	40
3.1.1 ノイズと信号	40
3.1.2 SN 比	40
3.1.3 ノイズシミュレータ	41
3.1.4 ノイズ測定	42
3.2 内部雑音とノイズ対策（雑音の種類）	42
3.2.1 雜音の種類	42
3.2.2 コンデンサによる対策	43
3.2.3 シールド板による対策	44
3.2.4 フィルタ回路による対策	44
3.3 電源部及びケーブルでの雑音対策（ツイストペア）	45
3.3.1 バスライン	45
3.3.2 ラインフィルタ	45
3.3.3 ツイストペア	46
3.3.4 シールド線	47
3.4 発生側での雑音対策（ノイズの原因）	47
3.4.1 機械的接点	47
3.4.2 熱雑音	48
3.4.3 入出力信号	48
3.4.4 接地	49
 <b>電気安全 (電気と人間とのかかわり)</b>	51
4.1 生体と電気（感電）	51
4.1.1 感電	51

4.1.2 検電器とテスタ .....	52
4.1.3 生体の電気抵抗 .....	53
4.1.4 安全対策（線の色別、安全靴） .....	54
4.2 生体と電磁波（電磁波の種類） .....	55
4.2.1 電磁波の種類 .....	55
4.2.2 生体と電磁波 .....	56
4.2.3 電磁波の遮蔽 .....	57
4.2.4 電磁波の応用 .....	57
4.3 電気安全規格および法律（法規） .....	58
4.3.1 国内電気安全の規格名称 .....	58
4.3.2 国内電気安全の規格内容 .....	58
4.3.3 海外電気安全の規格名称 .....	59
4.3.4 海外電気安全の規格内容 .....	60
4.4 電気安全装置（表示灯、他） .....	61
4.4.1 表示灯 .....	61
4.4.2 警報装置 .....	63
4.4.3 ヒューズ .....	63
4.4.4 ブレーカ .....	64



## 2章 電子回路の基礎 ..... 65~128

 ダイオード回路 (ダイオード回路の種類と働き) .....	66
1.1 保護回路 .....	66
1.1.1 保護回路とは .....	66
1.1.2 ダイオードを用いた保護回路 .....	67
1.1.3 ワンショット発振回路 .....	69
1.1.4 その他の保護回路 .....	69
1.2 整流回路 .....	70
1.2.1 整流回路の役割 .....	70
1.2.2 半波整流回路 .....	71
1.2.3 全波整流回路 .....	71
1.2.4 整流回路に使われる部品 .....	73
1.3 発光ダイオード駆動回路（発光ダイオード） .....	74
1.3.1 発光ダイオードの種類 .....	74
1.3.2 発光ダイオードの原理 .....	75
1.3.3 発光ダイオードの回路 .....	76
1.3.4 回路計算 .....	76
1.4 定電圧回路 .....	78
1.4.1 定電圧回路の役割 .....	78
1.4.2 定電圧回路の種類 .....	78
1.4.3 定電圧ダイオード .....	80
1.4.4 回路特性 .....	80

## フィルタ回路 (フィルタ回路の種類と動き) ..... 81

2.1 フィルタ回路の基礎 (フィルタ回路の種類) .....	81
2.1.1 フィルタ回路の種類と役割 .....	81
2.1.2 ローパス・フィルタ .....	81
2.1.3 ハイパス・フィルタ .....	82
2.1.4 バンドパス・フィルタ, 他 .....	82
2.2 フィルタ回路の特性 (周波数伝達関数, ポード線図 (振幅特性, 位相特性)) .....	83
2.2.1 伝達関数について .....	83
2.2.2 各要素と伝達関数 .....	84
2.2.3 ポード線図について .....	86
2.2.4 ゲインと位相 .....	86
2.3 アナログ・フィルタ回路 (基本的なアナログ・フィルタ回路の設計) .....	87
2.3.1 アナログ・フィルタ回路の構成 .....	87
2.3.2 回路計算 (1) .....	87
2.3.3 回路計算 (2) .....	89
2.3.4 フィルタの応用例 .....	90
2.4 デジタル・フィルタ回路 (基本的なデジタル・フィルタ回路の設計) ....	93
2.4.1 デジタル・フィルタ回路の構成 .....	93
2.4.2 デジタル・フィルタ設計の考え方 .....	93
2.4.3 FIR フィルタ .....	94
2.4.4 フィルタの応用例 .....	96

## オペアンプ回路 (オペアンプの基本的な增幅回路) ..... 97

3.1 演算増幅回路 (ポルテージフォロア回路) .....	97
3.1.1 オペアンプの外観と使用目的 .....	97
3.1.2 オペアンプの内部構成 .....	97
3.1.3 オペアンプの基本動作 .....	98
3.1.4 ポルテージフォロア回路 .....	100
3.2 増幅回路 (反転増幅回路と非反転増幅回路の回路構成と働き) .....	101
3.2.1 反転増幅回路 .....	101
3.2.2 回路計算 (増幅率) .....	101
3.2.3 非反転増幅回路 .....	102
3.2.4 回路計算 (増幅率) .....	103
3.3 演算回路 (差動増幅回路) .....	103
3.3.1 差動増幅回路の構成 .....	103
3.3.2 差動増幅回路の動作 .....	104
3.3.3 回路計算 .....	104
3.3.4 差動増幅回路の応用例 .....	105
3.4 信号変換回路 (発振回路) .....	106
3.4.1 発振回路の種類 .....	106
3.4.2 発振回路 (1) .....	107

3.4.3	発振回路（2）	108
3.4.4	発振回路の応用例	108



## 4 テンジスタ回路 (テンジスタ回路の種類と働き) ..... 110

4.1	トランジスタを用いた基本回路（接地回路）	110
4.1.1	トランジスタの種類と構造	110
4.1.2	トランジスタの動作原理	112
4.1.3	接地方式	112
4.1.4	FET	113
4.2	トランジスタを用いた基本回路（ダーリントン接続）	115
4.2.1	動作特性	115
4.2.2	直流電流増幅率	116
4.2.3	ダーリントン接続	116
4.2.4	パワートランジスタと熱損失	117
4.3	トランジスタを用いた基本回路（増幅回路）	118
4.3.1	特性曲線と動作（1）	118
4.3.2	特性曲線と動作（2）	120
4.3.3	接地方式と動作（1）	121
4.3.4	接地方式と動作（2）	123
4.4	トランジスタを用いた発振回路・電源回路（マルチバイブレータ）	124
4.4.1	マルチバイブルエタの種類	124
4.4.2	単安定マルチバイブルエタ	125
4.4.3	非安定マルチバイブルエタ	126
4.4.4	双安定マルチバイブルエタ	128



## 3章 半導体デバイス ..... 129～178



### 1 半導体物性 (半導体の材料と電気特性) ..... 130

1.1	元素記号および原子構造（半導体の元素）	130
1.1.1	周期律表	130
1.1.2	原子構造	130
1.1.3	半導体に使われる元素	131
1.1.4	半導体の性質	132
1.2	半導体の材料（不純物半導体（P形半導体、N形半導体））	132
1.2.1	半導体の材料	132
1.2.2	P形半導体	133
1.2.3	N形半導体	133
1.2.4	化合物半導体	134
1.3	半導体の電気特性	134

1.3.1	半導体の特性 .....	134
1.3.2	温度特性 .....	135
1.3.3	光と半導体 .....	135
1.3.4	磁気と半導体, 他 .....	136
1.4	半導体の構造（半導体のバンド構造） .....	137
1.4.1	半導体の種類と構造（1） .....	137
1.4.2	半導体の種類と構造（2） .....	137
1.4.3	空乏層 .....	138
1.4.4	フェルミ準位 .....	138

## **2 半導体デバイス (半導体デバイスの種類と働き) .....** 141

2.1	ダイオード（ダイオードの基本特性） .....	141
2.1.1	ダイオードの種類 .....	141
2.1.2	ダイオードの性質 .....	141
2.1.3	LED .....	142
2.1.4	整流 .....	143
2.2	トランジスタとFET（トランジスタ） .....	145
2.2.1	トランジスタの種類 .....	145
2.2.2	トランジスタの働き .....	146
2.2.3	電気的特性 .....	146
2.2.4	回路計算 .....	147
2.3	その他デバイス（1）（半導体集積回路） .....	148
2.3.1	半導体集積回路の種類 .....	148
2.3.2	論理素子 .....	149
2.3.3	組み合わせ回路 .....	150
2.3.4	メモリ .....	150
2.4	その他デバイス（2）（センサ, ICチップ） .....	151
2.4.1	半導体センサ（1） .....	151
2.4.2	半導体センサ（2） .....	152
2.4.3	ICチップ .....	153
2.4.4	その他の半導体デバイス .....	153

## **3 半導体集積回路製造プロセス (半導体集積回路ができるまで) .....** 155

3.1	半導体製造プロセスの概要（前工程と後工程） .....	155
3.1.1	前工程と後工程の意味 .....	155
3.1.2	ムーアの法則 .....	156
3.1.3	CVD法 .....	156
3.1.4	PVD法 .....	157
3.2	洗浄・乾燥・ウェット・イオン注入・熱処理プロセス（洗浄・乾燥技術） .....	157
3.2.1	RCA洗浄 .....	157

3.2.2 ウェーハの汚染	158
3.2.3 クリーンルーム, フィルタ	158
3.2.4 クラス	159
3.3 リソグラフィー・エッチング・成膜・平坦化プロセス（成膜法）	160
3.3.1 成膜法（1）	160
3.3.2 成膜法（2）	160
3.3.3 リソグラフィー	161
3.3.4 エッチング	161
3.4 後工程プロセス（集積回路の構造）	162
3.4.1 後工程	162
3.4.2 集積回路の構造	163
3.4.3 リードフレーム	163
3.4.4 ワイヤボンディング	164
  <b>デジタルIC</b>	
(半導体集積回路であるデジタルICの種類と働き)	166
4.1 基本的なロジック IC の種類と諸特性（論理記号）	166
4.1.1 NOT	166
4.1.2 AND	166
4.1.3 OR	167
4.1.4 NAND, 他	167
4.2 基本機能ブロック（フリップフロップ（FF）の種類と動作原理）	169
4.2.1 フリップフロップの種類	169
4.2.2 RS-フリップフロップ	169
4.2.3 D-フリップフロップ	170
4.2.4 JK-フリップフロップ	170
4.3 組み合わせ回路（エンコーダ・デコーダ）	172
4.3.1 エンコーダとデコーダの働き	172
4.3.2 エンコーダ	172
4.3.3 デコーダ	173
4.3.4 回路	173
4.4 IC の種類（PLD）	175
4.4.1 PLD	175
4.4.2 FPGA	176
4.4.3 ゲートアレイ	176
4.4.4 LSI, 他	177
 <b>索引</b>	179

# 1章

## 電気回路の基礎

電気電子系分野

電気回路の基礎

電子回路の基礎

半導体デバイス

# 1

# 直流回路 (電圧, 電流, 抵抗, コンデンサ, コイル)

## 1.1 電気の基礎（抵抗の性質）

### 1.1.1 電圧と計測

**電圧**とは、電気的な圧力のことです。ある点を基準（ゼロの電位）とした任意の点における電気的な圧力値をその点の**電位**といい、図 1.1 に示すように任意の2点間（例えば図 1.1 の A-B 間）の電位の差を**電位差**といいます。

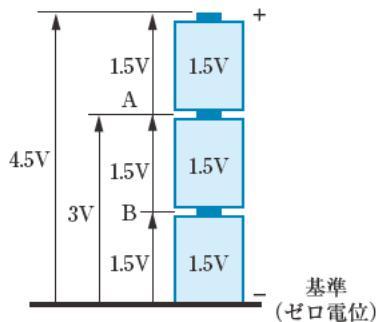


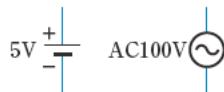
図1.1 電圧

また、電流を回路に流そうとする能力を**起電力**といいます。いずれも記号には V や E を使い、単位には **V (ボルト)** を用います。

乾電池などのように時間的に変化しない電圧を**直流電圧** (Direct Current Voltage : DC 電圧) といい、時間的に変化する電圧を**交流電圧** (Alternating Current Voltage : AC 電圧) といいます。

図 1.2 は、直流電源と交流電源の図記号です。

電圧の単位の表し方と、読み方を表 1.1 に示します。



(a) 直流電源 (b) 交流電源

図1.2 図記号

表1.1 電圧の単位

単位記号	単位の読み方	
kV	キロボルト	$1kV=1\times 10^3V$
V	ボルト	
mV	ミリボルト	$1mV=1\times 10^{-3}V$
$\mu V$	マイクロボルト	$1\mu V=1\times 10^{-6}V$

電圧を測定する計器には、図1.3に示すような電圧計があり、交流用と直流用があります。

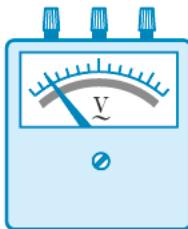


図1.3 電圧計（交流用）

### 1.1.2 電流と計測

電流の大きさは、ある断面を1秒間に移動する電荷の量で表します。単位には**A (アンペア)**を用います。

いま、 $t$ 秒間に電荷  $Q$  [C (クーロン)] が移動したとします。そのときの、電流の大きさは次式となります。

$$I = \frac{dQ}{dt}$$

1Aとは、1秒間に1Cの割合で電荷が移動する電流の大きさを表しています。

ここで、電子1個の電荷は約 $1.6 \times 10^{-19} C$ であり、1Cは $6.25 \times 10^{18}$ 個の電子の電荷量となります。

電流の単位の表し方と読み方を、表1.2に示します。

電流を測定する計器には、図1.4に示すような電流計があり、交流用と直流用があります。

図1.5は、クランプメータと呼ばれる電流測定器であり、電線に流れる電流によって発生する磁界を検出して、これを電流値に変換するようになっています。

クランプメータは、電線を切断せずに電流を計測することができます。

表1.2 電流の単位

単位記号	単位の読み方	
A	アンペア	1A
mA	ミリアンペア	$1mA = 1 \times 10^{-3}A$
$\mu A$	マイクロアンペア	$1\mu A = 1 \times 10^{-6}A$



図1.4 電流計

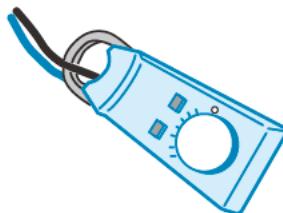


図1.5 クランプメータ

### 1.1.3 抵抗と計測

断面積 $S$ 、長さ $L$ の導体があるとき、この導体の抵抗 $R$ は次式で表すことができます。

$$R = \rho \frac{L}{S}$$

ここで  $\rho$  は **抵抗率** といいます。

抵抗率は、導体材料によって異なります（表 1.3）。抵抗率  $\rho$  の逆数は **導電率** といい、電流の流れやすさを表しています。

抵抗値は、同じ導体であれば導体の長さに比例し、断面積に反比例します。

表1.3 導体の抵抗率

材質	$\rho$ ( $\Omega\text{m}$ )
銅	$1.7 \times 10^{-8}$
銀	$1.6 \times 10^{-8}$
金	$2.4 \times 10^{-8}$
アルミニウム	$2.8 \times 10^{-8}$
タンゲステン	$5.5 \times 10^{-8}$
鉄	$9.8 \times 10^{-8}$

一般的な金属の抵抗は、温度が上昇するとともに増加します。

いま、温度  $T_1$  [°C] の抵抗値を  $R_1$ 、温度  $T_2$  [°C] の抵抗値を  $R_2$  とすると、次のような関係が成り立ちます。

$$R_2 = R_1 \{1 + \alpha(T_2 - T_1)\}$$

ここで  $\alpha$  は、温度  $T_1$  における抵抗温度係数といいます。 $T_1=20^\circ\text{C}$  における抵抗の温度係数  $\alpha_{20}$  を表 1.4 に示します。

表1.4 導体の抵抗温度係数

材質	$\alpha_{20}$ (/ $^\circ\text{C}$ )
銅	$4.3 \times 10^{-3}$
銀	$4.1 \times 10^{-3}$
金	$4.0 \times 10^{-3}$
アルミニウム	$4.2 \times 10^{-3}$
タンゲステン	$5.3 \times 10^{-3}$
鉄	$6.6 \times 10^{-3}$