

は し が き

電子回路は、古くは電気工学における弱電コースの最も重要な専門科目の一つと考えられていた。しかし、集積回路の普及によって、最近では応用に直接結びつく専門科目よりは、むしろ電磁気、電気回路と同様、電気系学科に共通の基礎科目の一つに数えられるようになった。

本書はこのような立場から、四年制大学学部および高専における電気系学科の学生を対象とし、週1回、1時間半ないし1時間50分程度の講義で、1年または1年半かかって完結する電子回路講義用の教科書としてまとめたものである。

本書の大部分は、電磁気および電気回路の初歩的知識があれば十分理解できる。ただ、第10章 演算増幅器、第11章 発振器、第16章 電源回路は、自動制御におけるフィードバックと安定性につき入門程度の知識を持った上での学習が望ましい。

電子回路に関しては既に多くの優れた教科書が刊行されており、その幾つかは著者等が多年にわたり教科書として利用させていただいた。これらの書には啓発される所も多く、参考図書として巻末に書名をあげさせていただいた。

本書に関しては、コロナ社から随分前に執筆を依頼されながら、雑事に取りまぎれ刊行がのびのびになっていたものである。今回、コロナ社の御尽力と二宮、中野両氏の協力を得てなんとか脱稿の運びとなった。いろいろお骨折りいただいたコロナ社の関係各位に御礼申し上げる。

1985年4月

原 田 耕 介

目 次



半導体とダイオード

1.1 共有結合と半導体	1
1.2 不純物半導体	3
1.3 pn 接合とダイオード	4
1.4 ダイオード特性と等価回路	6
1.4.1 ツェナー電圧	6
1.4.2 折れ線近似と等価回路	7
1.4.3 等価順方向抵抗	8
演習問題	9



トランジスタの基本特性

2.1 npn 接合および pnp 接合	10
2.1.1 パラメータ α とベース・コレクタ接合抵抗	11
2.1.2 エミッタ・ベース接合抵抗	12
2.1.3 電圧-電流特性	12
2.2 パラメータ β と回路電流	13
2.3 エミッタ接地増幅回路と図式解析法	13
2.4 バイアス安定化	16
演習問題	19

3

h パラメータとトランジスタ増幅器

3.1 h パラメータ (ハイブリッドパラメータ)	21
3.2 エミッタ接地増幅器	23
3.2.1 h パラメータの決定	23
3.2.2 入出力特性	25
3.3 ベース接地増幅器	27
3.4 コレクタ接地増幅器	29
3.5 内部帰還増幅器	31
演習問題	33

4

電界効果トランジスタ

4.1 接合形 FET	35
4.2 MOS FET	37
4.3 FET 増幅器の構成	40
4.3.1 J-FET におけるバイアス条件	40
4.3.2 MOS FET におけるバイアス条件	41
4.4 小信号動作における等価回路	41
4.5 ソースホロワとソース抵抗	43
4.6 真空管増幅器	45
演習問題	46

5

差動増幅器

5.1 差動増幅器の構成と小信号動作	47
5.2 弁別比	50
5.3 FET による差動増幅器	51

5.4 ダーリントン接続	52
演習問題	57



増幅器の周波数特性

6.1 周波数特性の一般	59
6.2 容量結合増幅器の低域周波数特性	60
6.2.1 バイパスコンデンサの影響	61
6.2.2 ブロッキングコンデンサの影響	62
6.3 トランジスタ増幅器の高周波特性	65
6.3.1 トランジスタ増幅器の高周波特性とミラー効果	65
6.3.2 FET 増幅器の高周波特性とミラー効果	69
6.3.3 多段接続	71
演習問題	72



同調増幅器

7.1 同調増幅器の理想特性	73
7.2 単一同調増幅器	74
7.3 インピーダンス整合	76
7.4 複同調増幅器	78
7.5 その他の関連した回路	82
7.5.1 スタガ同調増幅器	82
7.5.2 中和回路	82
7.5.3 ピーキング	84
演習問題	86



増幅器における電力

8.1 電力増幅器の分類	87
--------------	----

8.2	A級電力増幅器	88
8.2.1	抵抗負荷の場合	88
8.2.2	チョーク結合の場合	92
8.2.3	トランス結合の場合	93
8.3	B級プッシュプル電力増幅器	94
8.4	C級電力増幅器	97
8.5	温度上昇とディレーティング曲線	99
	演習問題	101



増幅器における雑音

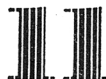
9.1	雑音とその性質	103
9.2	抵抗体から発生する雑音	104
9.3	トランジスタの雑音	105
9.4	雑音指数	106
	演習問題	109



演算増幅器

10.1	演算増幅器の基本的回路構成	110
10.2	帰還増幅器の演算誤差と入出力抵抗	112
10.3	ループ利得	114
10.4	演算増幅器の安定性	116
10.5	利得帯域幅積	118
10.6	線形演算	119
10.6.1	反転増幅器	119
10.6.2	非反転増幅器	120
10.6.3	加算増幅回路	120
10.6.4	差動増幅回路	121
10.6.5	積分回路	121

10.6.6	微分回路	122
10.6.7	その他の演算回路例	122
10.6.8	微分方程式の求解	124
	演習問題	124



発振器

11.1	発振器の分類と原理	126
11.2	LC発振器	127
11.2.1	一般のLC発振器	127
11.2.2	LC発振器の例	129
11.2.3	その他のLC発振器	131
11.3	水晶発振器	133
11.4	RC発振器	135
11.4.1	RC移相形発振器	135
11.4.2	ウォーンブリッジ発振器	137
	演習問題	138



変調回路と復調回路

12.1	変調方式	140
12.1.1	振幅変調	141
12.1.2	周波数変調	142
12.1.3	位相変調	144
12.2	振幅変調回路と振幅復調回路	145
12.2.1	振幅変調回路	145
12.2.2	振幅復調回路	149
12.3	周波数変調回路と周波数復調回路	150
12.3.1	周波数変調回路	150
12.3.2	周波数復調回路	153

12.4	位相変調回路と位相復調回路	156
12.4.1	位相変調回路	156
12.4.2	位相復調回路	157
	演習問題	157

13

トランジスタのスイッチング特性

13.1	大振幅動作における静特性——エバース・モルのモデル——	158
13.2	ダイオードのパルス応答	162
13.3	トランジスタのパルス応答——エバース・モルの方法——	163
13.3.1	立上り時間	163
13.3.2	蓄積時間	165
13.3.3	立下り時間	166
13.4	電荷制御モデル	167
13.4.1	立上り時間	167
13.4.2	蓄積時間	168
13.4.3	立下り時間	169
13.5	トランジスタの高速駆動	170
	演習問題	171

14

非線形回路

14.1	ダイオードによる波形操作	173
14.1.1	クリッパ	173
14.1.2	リミッタ	174
14.1.3	スライサ	175
14.1.4	クランプ	175
14.2	マルチバイブレータ	176
14.2.1	無安定マルチバイブレータ	177
14.2.2	単安定マルチバイブレータ	179
14.2.3	双安定マルチバイブレータ	181

14.2.4 シュミットトリガ回路	182
14.3 ブロッキング発振器	185
14.3.1 単安定形	185
14.3.2 無安定形	187
14.4 磁気マルチバイブレータ	188
14.5 のこぎり波発生回路	191
14.5.1 RC積分回路	191
14.5.2 ミラー積分器	192
14.5.3 プートストラップ回路	193
演習問題	195

15

論理回路

15.1 基本論理演算	196
15.2 基本論理回路の構成	197
15.3 論理回路の性能評価	199
15.3.1 伝搬遅延時間	199
15.3.2 消費電力	199
15.3.3 論理振幅	200
15.3.4 ファンアウト	200
15.3.5 雑音余裕	200
15.4 回路方式	201
15.4.1 DCTL	201
15.4.2 IIL	202
15.4.3 DTL	203
15.4.4 TTL	204
15.4.5 CML	205
演習問題	207



16.1 整流回路	209
16.1.1 半波整流回路	209
16.1.2 全波整流回路	211
16.1.3 倍電圧整流回路	212
16.2 平滑回路	213
16.3 直流安定化電源	214
16.4 スイッチングレギュレータ	218
16.4.1 DC-DC コンバータの回路方式	219
16.4.2 基本特性の解析	220
16.4.3 動特性	223
16.4.4 レギュレーション特性	225
演習問題	226

演習問題解答

参考文献

索引



半導体とダイオード

本章では、電子回路の動作を理解する上で必要最小限の半導体物性の説明を行い、p形およびn形不純物半導体の成り立ちと、pn接合によるダイオードの特性、更にダイオードの等価回路について解説する。

1.1 共有結合と半導体

電子回路はおもに半導体 (semiconductor) によって構成される能動回路である。半導体は、物的には、ダイヤモンドなどの絶縁物と基本的な差違はなく、抵抗率が比較的低い場合を半導体と通称しているにすぎない。現在、半導体として研究対象になっているものには、Si (シリコン)、Ge (ゲルマニウム)、B (ほう素)、Se (セレン) などの単体元素、GaAs (ガリウムヒ素)、InSb、Cs₃Sb などの金属間化合物、Cu₂O、ZnO、BaO などのイオン結晶、アントラセン、フタロシアニンなどの有機分子結晶などがあるが、電子回路素子として実用に供されているものは、Si、Ge、GaAs である。なかでも、Si が最も一般的であり、Si と Ge はまったく同一に議論できる。したがって、ここでは、Si と Ge に限定して話を進める。

Si と Ge は4個の価電子 (valence electron) を有する元素であって、周期表のⅣ族に属する。この場合、価電子の軌道を規定する価電子環は8個の電

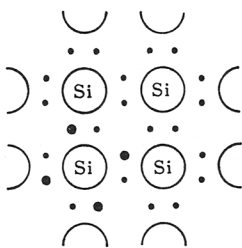
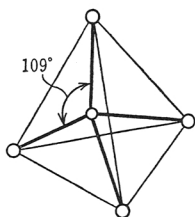


図 1.1 共有結合

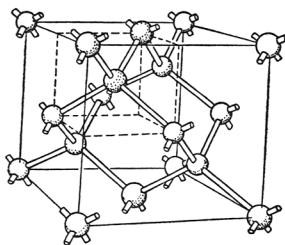
子で充足されるから、価電子を共有する形で結晶が形成される。これを共有結合 (covalent bond) という。

Si の場合を平面上で模型的に示すと図 1.1 のようになり、これをより実際的な形で示せば図 1.2(a) となり、中心の原子も含めて 5 個の Si 原子により正四面体構造となる。これを基本単位とし、図 1.2(b)

のように立体ダイヤモンド結晶格子構造として成長する。このように結晶軸が揃って成長したものを単結晶という。この場合、価電子は結晶軸に拘束されているが、その一部は格子の熱運動によってこの束縛を離れて自由電子 (free electron) となる。電子が飛び出した後には正電荷をもった空所が残る。これ



(a)



(b)

図 1.2 Si の結晶モデル

を正孔 (hole) と呼ぶ。正孔は容易に他の価電子を取り込み、負電荷をもった自由電子と同様に、正電荷をもった粒子として移動することができる。図 1.3 にこの様子を平面模型で示す。自由電子と正孔は、負および正の電荷の担い手 (carrier) として、電気伝導に関与することができる。不純物を含まない半導体の場合、正孔と自由電子は同数存在する。これらのキャリアの数は Ge の場合、常温で 10^9 個の原子当り 1 個、Si では 10^{12} 個当り 1 個程度である。このようなきわめて少ないキャリアによって電気伝導

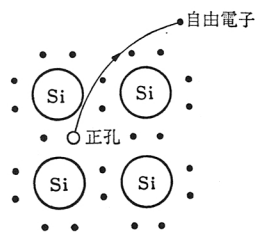


図 1.3 真性半導体の電気伝導

が行われる半導体を真性半導体 (intrinsic semiconductor) という。常温の場合、Si ではその抵抗率が $100 \text{ k}\Omega \text{ cm}$, Ge では $50 \Omega \text{ cm}$ であり、絶縁物である石英の $10^{18} \Omega \text{ cm}$ に比べ著しく低い値をもつ。半導体の場合、このような電気抵抗はキャリアの数に依存し、絶対零度で無限大となる。半導体の抵抗は一般に温度の上昇と共に減少するが、ある温度範囲では金属と同様に、格子点の熱振動のためキャリアの移動が妨げられ、温度の上昇と共に抵抗が増加する場合もある。

1.2 不純物半導体

電子回路素子として用いられる半導体は真性半導体ではなく、真性半導体に微量の不純物を加えた不純物半導体 (impurity semiconductor) である。この場合、不純物としては P (りん), As (ひ素), Sb (アンチモン) などの 5 個の価電子をもつ V 族の元素——これをドナー (donor) という——および B (ほう素), Al (アルミニウム), Ga (ガリウム), In (インジウム) などの 3 個の価電子をもつ III 族の元素——これをアクセプタ (acceptor) という——の 2 種類がある。

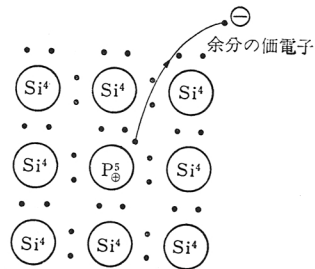


図 1.4 n 形半導体

Si にドナーとして P を加える場合を平面上に模型的に示せば、図 1.4 のようになる。余分の価電子は P イオンと弱く結合され、容易に自由電子となり得ることがわかる。このように真性半導体としてのキャリアのほかに、ドナーによっ

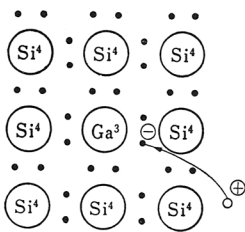


図 1.5 p 形半導体

て作り出された多数の自由電子が存在する。この場合、自由電子を多数キャリア (majority carrier) と呼び、正孔を少数キャリア (minority carrier) と呼ぶ。また、この不純物半導体を n 形半導体という。

つぎに、Si にアクセプタとして Ga を加えた場合を平面上に模型的に示せば、図 1.5 のようになる。

3個の価電子をもつ Ga は、他の Si の価電子を容易に取り込んで正孔を作り、これが正電荷として電気伝導に参与する。この場合、正孔が多数キャリア、自由電子が少数キャリアとなり、このような不純物半導体を p 形半導体という。不純物半導体は $1 \Omega \text{ cm}$ 程度の抵抗率をもち、真性半導体に比べてかなり低い抵抗をもつことがわかる。なお、これらの不純物半導体で、少数キャリアは真性半導体におけるキャリアに等しい。

1.3 pn 接合とダイオード

p 形半導体と n 形半導体を図 1.6 のように接合したものを pn 接合 (pn junction), または接合ダイオード (junction diode) と呼ぶ。

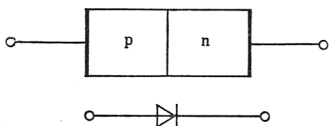


図 1.6 pn 接合

図 1.7 はこの場合に接合部分に生じるキャリアの状態を示している。

接合部分では、キャリアの密度差により正

孔が p 形領域から n 形領域へと移動し、逆に電子が n 形領域から p 形領域へと移動する。このような密度差によるキャリアの移動を拡散 (diffusion) と呼び、

n 形領域に正孔が、また、p 形領域に電子が

侵入する現象を少数キャリア注入 (minority carrier injection) という。接合部分

では正孔と電子の再結合 (recombination) が起こるため、この領域ではキャリアが存在せず、

イオン化したアクセプタおよびドナーが生じることになる。この電荷により

電位差が生じ、これが電位障壁 (potential barrier) となってキャリアの拡散を阻止す

る。接合部分に生じるこのような領域を空乏層 (depletion layer) と呼ぶ。また、

接合部分の電位の障壁は接触電位 (contact potential) となる。なお、電界によるキャリアの移動をドリフト (drift) といい、接合部分では拡散とドリ

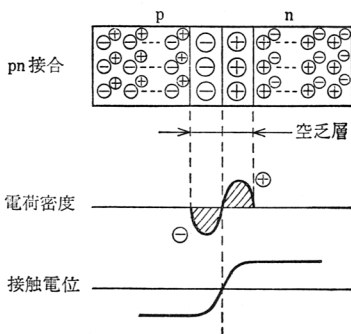


図 1.7 接合部分のキャリアの状態

フトが熱的平衡状態を保つことになる。以上、p形半導体とn形半導体を接合した場合を考えたが、ある種の金属とp形半導体またはn形半導体を接触させた場合も類似の現象が生じる。この場合、不純物半導体から金属に多数キャリアの移動が起こり、接触電位が現れることになる。なお、接触電位を生じないような接合をオーム接触 (ohmic contact) と呼ぶ。

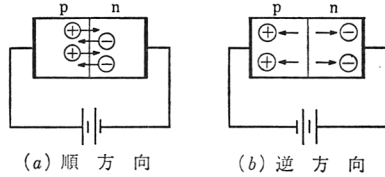


図 1.8 pn 接合における整流作用

いま、図 1.8 のように pn 接合にオーム接触によって電極を付け、電圧を加える。まず、図 (a) の極性に電圧を加えれば、正孔と電子は外部電圧により接合部分に移動し、電位障壁が低くなり、熱的平衡が破れて、p 形領域から n 形領域へ正孔が、また n 形領域から p 形領域へ電子が常時流れるようになる。この場合、pn 接合部分はきわめて低い抵抗になる。このような電圧の方向を順方向 (forward direction) という。つぎに、図 1.8 (b) のように電圧の方向を逆にすると、正孔および電子はそれぞれ負および正の電極に引っ張られ、電位障壁は高くなり、pn 接合部分は高抵抗となる。この場合、キャリアの流れは阻止される。この電圧の方向を逆方向 (inverse direction) という。したがって、図 1.8 の電源を交流とした場合、順方向だけ通電し、整流作用が得られることがわかる。このような整流作用は、金属と不純物半導体の接触によっても得られ、ショットキーバリアダイオード (Schottky barrier diode) はこの一例である。

図 1.8 (b) で pn 接合に零または逆電圧をかけた状態では、接合部分にキャリアの存在しない空乏層が生じることを述べた。図 1.9 は、この場合のキャリ

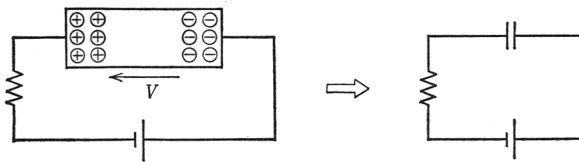


図 1.9 障壁容量の形成

ヤの状態を模型的に示したものである。すなわち、正孔は p 領域に、電子は n 領域に存在し、見かけ上、コンデンサと同一構成が得られることがわかる。これを障壁容量 (barrier capacity) という。集積回路における静電容量はこのようにして作られる。障壁容量は、バイアス電圧 V と接触電位差 V_ϕ の関数として、次式で表される。

$$C = \frac{C_0}{\left(1 - \frac{V}{V_\phi}\right)^{m_1}} \quad (1.1)$$

ここで、 C_0 は $V=0$ における障壁容量であり、 m_1 は pn 接合部の不純物濃度に関する指数で、通常 $m_1=1/2$ または $1/3$ となる。

1.4 ダイオード特性と等価回路

1.4.1 ツェナー電圧

図 1.10 にダイオードの静特性の一例を示している。これは、シリコン

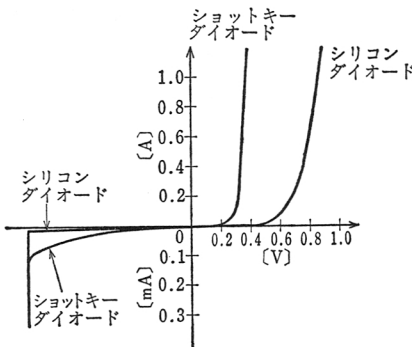


図 1.10 ダイオード特性

ダイオードおよびショットキーバリアダイオードについての実験結果である。ここで、逆電圧がある値になると、負方向電流が急激に増加する。この現象をツェナー破壊 (Zener breakdown) という。これは、強電界によって加速された電子が原子に衝突し、新たな電子と正孔が生じ、この電子が再び他の原子に衝突し、急

速にキャリアが増加する^{なだれ}雪崩現象 (avalanche phenomenon) によるものである。ツェナー破壊の生じる電圧をツェナー電圧 (Zener voltage) という。ツェナー電圧では、電流の広範囲な変化に対して、電圧はほぼ一定に保たれる。このツェナー電圧は、電圧調整装置の電圧基準を与えるのに利用される。特に、

索引

【A】

アクセプタ 3
アームストロング変調方式 156
A級電力増幅器 88
AND回路 197
 α 遮断周波数 69

【B】

バイアス安定化 16
倍電圧整流回路 212
バイパスコンデンサ 61
弁別比 50
ベース 10
ベース変調回路 146
ベースクランプ形 171
ベース接地トランジスタ回路 11
ベース接地増幅器 27
微分回路 122
分配雑音 106
ブロッキング発振器 185
ブロッキングコンデンサ 62
ブートストラップ回路 193
B級プッシュプル電力増幅器 94
 β 遮断周波数 68

【C】

C級電力増幅器 97
CML 205

【D】

ダイアゴナルクリッピング 150
ダーリントン接続 53
電圧増幅率 42
電位障壁 4
電界効果トランジスタ 35
電荷制御モデル 167
伝搬遅延時間 199
デプレッションモード 37
電力効率 91
電力増幅器 87
電流安定化電源 217
電流ホッピング 202
電流帰還駆動方式 171
電流切換回路 205
電流雑音 103, 105
ディレーティング曲線 100
ド・モルガンの定理 197
ドナー 3
ドレーン 35
ドレーン接地回路 44
ドリフト 4
同相利得 50
同相成分除去比 50
同調発振器 131
同調増幅器 73
DC-DCコンバータ 219
DCTL 201
DTL 203

【E】

エバース・モルのモデル 159
エンハンスメントモード 39

エミッタ 10
エミッタ・ベース接合抵抗 12
エミッタホロワ 29
エミッタ接地増幅回路 13
エミッタ接地増幅器 23
演算増幅器 110
——の安定性 116
ECL 205

【F】

ファンアウト 200
フォスター・シーラー周波数
弁別回路 154

【G】

外部雑音 103
ガリウムヒ素 1
ゲルマニウム 1
ゲート 35
五極管 46
逆方向(ダイオードの) 5

【H】

白色雑音 104
半導体 1
半波整流回路 209
搬送波 140
反転入力 110
反転増幅器 119
発振開始条件 127
発振器 126
ハートレー発振器 132

平滑回路 213
 平衡変調回路 147
 変調 140
 変調度 141
 変調波 140
 変調指数 143
 非反転入力 110
 非反転増幅器 120
 比検波器 155
 ヒステリシス特性 184
 否定 196
 包絡線検波 150
 飽和領域 14
 飽和状態 158
 負帰還 116
 複同調周波数弁別回路 153
 複同調増幅器 78
 復調 140
 フリッカ雑音 106
 負論理 197
 フート・キューン発振器 130
 不純物半導体 3
 h パラメータ 21

【I】

インピーダンス整合 76
 移相形発振器 136
 位相変調 140, 144
 位相変調回路 156
 位相復調回路 157
 IIL 202

【K】

銲電子 1
 可変容量ダイオード 151
 回復時間 162
 過駆動率 165
 拡散 4
 感度解折 18
 感度関数 18
 加算増幅回路 120

仮想接地 113
 下側波帯 141
 帰還増幅器 112
 降圧形コンバータ 220
 高域遮断周波数 60
 コッククロフト・ウォルトン回路 213
 コンデンサのメモリ作用 182
 高レベル雑音余裕 201
 コレクタ 10
 コレクタ変調回路 147
 コレクタクランプ形 171
 コレクタ接地増幅器 29
 コレクタ損 90
 コルピッツ発振器 129
 高周波特性 65
 空乏層 4
 クランプ 175
 クリップ 173
 クロスオーバーひずみ 95
 共有結合 2

【L】

LC 発振器 127

【M】

マルチバイブレータ 176
 ミラー効果 67
 ミラー積分器 192
 ミラー容量 67
 無安定ブロッキング発振器 187
 無安定マルチバイブレータ 177
 MOSFET 37

【N】

雪崩現象 6
 内部負帰還 31
 内部帰還増幅器 31
 内部抵抗 42

内部雑音 103
 熱抵抗 99
 熱雑音 103, 104
 3/2 乗則 37
 二極管 45
 2乗特性 39
 能動領域 14
 能動状態 158
 のこぎり波発生回路 191
 n形チャネル 36
 NAND 回路 198
 N MOSFET 38
 NOR 回路 198
 NOT 回路 198

【O】

オーム接触 5
 折れ線近似 7
 OR 回路 197

【P】

パラメータ β 13
 ピアス BE 発振回路 134
 ピアス CB 発振回路 134
 ピーキング 84
 ピンチオフ 36
 —電圧 36
 p形チャネル 37
 P MOSFET 39
 pn 接合 4

【R】

レベルシフトダイオード 203
 レベルシフト回路 110
 レギュレーション機構 215
 レギュレーション特性 225
 リアクタンストランジスタ 151
 リミッタ 174
 リング変調回路 148

臨界結合条件 80
 リプル電圧 210
 リプル率 211
 利得帯域幅積 68, 119
 利得余裕 117
 論理回路のよさ 201
 論理積 196
 論理振幅 200
 論理和 196
 ループ利得 114
 流通角 97
 RC 発振器 135
 RC 積分回路 191
 RTL 202

【S】

サバロフ回路 135
 差動利得 50
 差動増幅回路 121
 差動増幅器 47
 最大位相偏移 144
 最大許容コネクタ損 99
 最大許容接合温度 99
 最大周波数偏移 143
 再結合 4
 再生作用 178
 三極管 45
 散射雑音 106
 正帰還 115
 正孔 2
 正論理 197
 整流回路 209
 積分回路 121
 遷移時間 162
 接触電位 4
 接合ダイオード 4
 接合形電界効果トランジスタ

35

しきい値電圧 200
 しきい値レベル 184
 信号対雑音比 106
 真空管増幅器 45
 振幅変調 140, 141

振幅変調回路 145
 振幅復調回路 149
 真理値表 196
 真性半導体 3
 シリコン 1
 シリーズドロップ 214
 双安定マルチバイブレータ 181
 相互コンダクタンス 42
 双峰特性 81
 側波帯 141
 ソース 35
 ソースホロウ 44
 水晶発振器 133
 水晶振動子 133
 スイッチングレギュレータ 218
 スピードアップコンデンサ 170
 スライサ 175
 スタガ同調増幅器 82
 ステップリカバリダイオード

162

遮断領域 14
 遮断状態 158
 昇圧形コンバータ 220
 障壁容量 6
 昇降圧形コンバータ 221
 少数キャリア 3
 少数キャリア注入 4
 ショットキーバリアダイオード

5, 162

周波数弁別回路 153
 周波数変調 140, 142
 周波数変調回路 150
 周波数復調回路 153
 周波数特性 59
 シュミットトリガ回路 182
 出力電圧変動率 217
 SN 比 106

【T】

多段接続 71
 帯域幅 60
 ターマン発振器 138
 単安定ブロッキング発振器 185

単安定マルチバイブレータ 179
 単一同調増幅器 74
 単側波帯変調 142
 多数キャリア 3
 立上り時間 163
 立下り時間 163
 低域遮断周波数 60
 低レベル雑音余裕 201
 蓄積時間 162, 163
 等価順方向抵抗 8
 特性方程式 127
 トランス結合電力増幅器 93
 トランジスタの雑音 105
 トリガ 179
 ツェナー電圧 6
 ツェナー破壊 6
 チョーク結合電力増幅器 92
 直流電圧安定化電源 214
 直流再生回路 176
 直線検波 149
 中域周波数領域 59
 中心周波数 142
 中和回路 83
 TTL 204

【W】

ウィーンブリッジ発振器 137

【Y】

抑制格子 46
 容量結合増幅器 60
 有能電力利得 107
 有能雑音電力 105, 107

【Z】

雑音 103
 雑音指数 107
 雑音余裕 200
 全波整流回路 211

絶縁ゲート FET 38	自由電子 2	上側波帯 141
時比率 218	2乗検波 149	状態平均化法 221
磁気マルチバイブレータ 189	ジョンソン雑音 104	順方向 (ダイオードの) 5

— 著者略歴 —

はら だ こう すけ
原 田 耕 介

1953年 九州大学工学部電気工学科卒業
1958年 工学博士
1960年 九州大学助教授
1968年 九州大学教授
1990年 九州大学工学部長
1993年 九州大学名誉教授
1993年 熊本工業大学(現崇城大学)教授
2005年 崇城大学名誉教授

にの みや たもつ
二 宮 保

1967年 九州大学工学部電子工学科卒業
1976年 九州大学講師
1981年 九州大学助教授
1981年 工学博士
1988年 九州大学教授(工学部)
2008年 九州大学名誉教授
2008年 長崎大学教授(工学部)
現在に至る

なか の ただ お
中 野 忠 夫

1968年 九州大学工学部電子工学科卒業
1975年 大分大学講師
1975年 工学博士
1976年 大分大学助教授
1981年 大分大学教授(工学部)
2008年 大分大学名誉教授

基礎電子回路

Fundamentals of Electronic Circuits

© Harada, Ninomiya, Nakano 1985

1985年5月30日 初版第1刷発行
2010年6月20日 初版第26刷発行

検印省略

著 作 原 田 耕 介
二 宮 保
中 野 忠 夫
発 行 者 株式会社 コロナ社
代 表 者 牛来真也
印 刷 所 富士美術印刷株式会社

112-0011 東京都文京区千石4-46-10

発行所 株式会社 コロナ社
CORONA PUBLISHING CO.,LTD.
Tokyo Japan

振替 00140-8-14844・電話 (03) 3941-3131 (代)

ホームページ <http://www.coronasha.co.jp>



ISBN 978-4-339-00129-7

(杜光舎印刷, 愛千製本所)

Printed in Japan

無断複写・転載を禁ずる

落丁・乱丁本はお取替えいたします