



## 目 次

## 第1章 アナログ回路

§1.1 アナログ集積回路	1	(9) 電圧比較器 (コンパレー ター)	22
§1.2 オペアンプ (演算増幅器)	2	§1.3 オペアンプを用いたフィル ター	23
1.2.1 理想的なオペアンプ	2	1.3.1 アクティブフィルター	23
1.2.2 オペアンプの特性	4	1.3.2 多重フィードバック増幅 回路によるフィルター	24
(1) 絶対最大定格	4	1.3.3 ステートバリアブルフィ ルター	27
(2) 入力オフセット電圧 $V_{os}$	6	1.3.4 ネガティブインピーダン スコンバーター	30
(3) 入力バイアス電流と入力 抵抗	6	§1.4 特殊機能をもったアナロ グ IC	32
(4) 開ループ利得と大信号電 圧利得	7	1.4.1 対数増幅器 (ログアンプ)	32
(5) 同位相入力電圧除去比	8	1.4.2 指数増幅器 (アンチログ アンプ)	34
(6) 電源電圧変動除去比	9	1.4.3 掛算器と割算器	36
(7) 周波数特性と位相遅れ	9	1.4.4 ビデオ増幅器	38
(8) 位相マージンと利得マージン	10	1.4.5 位相ロックループ	40
(9) 位相補正 (または補償)	11	(1) VCO	40
(10) スルーレート	13	(2) PLL	41
(11) 雑音	14	1.4.6 電源用集積回路	44
1.2.3 オペアンプを用いた回路	14	(1) 定電圧回路	44
(1) 電圧加算増幅器	14	(2) 定電流回路	46
(2) 電流-電圧変換器	15	1.4.7 ファンクションジェネ レーター	47
(3) 差動増幅器	16	問題	50
(4) オペアンプのためのプー スター回路	16		
(5) 積分器	17		
(6) 微分器	18		
(7) アナログコンピューター	19		
(8) 整流回路	20		

## 第2章 デジタル回路

§ 2.1 デジタル回路の基本	52	ggle flip-flop)	80
2.1.1 NOT 回路とバッファ		(3) クロック同期式 RS フ	
回路	53	リップフロップ	
2.1.2 AND 回路	54	(RSTFF)	81
2.1.3 OR 回路	55	(4) JK フリップフロップ	81
2.1.4 NOR と NAND 回路	57	(5) D 型フリップフロップ	
2.1.5 ブール代数	58	(delayed flip-flop)	81
2.1.6 NAND, NOR だけによる		(6) 各フリップフロップ間の	
論理回路の構成	59	変換	82
2.1.7 正論理と負論理	60	2.3.2 カウンター	83
2.1.8 2進数表現	62	(1) 2進カウンターと10進	
(1) 正の整数	62	カウンター	83
(2) 符号付コード (sign-mag-		(2) 同期型カウンター	86
nitude code)	63	2.3.3 シフトレジスター	86
(3) 1の補数コード (1's com-		2.3.4 加算ゲート	89
plement code)	63	2.3.5 デコーダーとエンコーダー	90
(4) 2の補数コード (2's com-		(1) デコーダー	90
plement code)	63	(2) エンコーダー	91
§ 2.2 デジタル集積回路	64	(3) データセレクター	92
2.2.1 TTL ロジック	64	2.3.6 単安定マルチバイブレー	
(1) TTL の内部回路	64	ター	93
(2) ショットキーランブド		§ 2.4 メモリー	94
TTL	67	2.4.1 ROM	94
(3) 入力の電圧電流特性	68	2.4.2 PROM	95
(4) オープンコレクターゲート	71	(1) PROM	96
(5) 3ステートゲート (tri-		(2) EPROM	96
state gate)	73	2.4.3 RAM	98
2.2.2 ECL ロジック	74	2.4.4 その他のメモリー	101
2.2.3 CMOS ロジック	76	§ 2.5 デジタル信号とアナログ信	
§ 2.3 機能をもった回路素子	79	号とのインターフェイス	101
2.3.1 フリップフロップ	79	2.5.1 デジタルアナログ変換器	101
(1) セットリセットフリップ		(1) 抵抗加算型 DA 変換器	101
フロップ (RS フリッ		(2) R-2R ラダー抵抗加算	
プフロップ)	79	型 DA 変換器	103
(2) T フリップフロップ (to-		(3) 掛算型 DA 変換器	104

(4) DA変換器の特性 . . . . .	105	(2) パルスストレッチャー回路 . . . . .	112
2.5.2 アナログデジタル変換器 . . . . .	105	(3) 遅延回路 . . . . .	112
(1) 積分変換型 AD変換器 . . . . .	106	(4) クロックの発生回路 . . . . .	113
(2) 逐次比較型 AD変換器 . . . . .	107	(5) 発光ダイオードの駆動 . . . . .	114
(3) 並列同時変換型 AD変換器 . . . . .	108	(6) SCRの駆動 . . . . .	115
2.5.3 サンプルホールド回路 . . . . .	109	(7) リレーの駆動 . . . . .	115
2.5.4 ピークホールド回路 . . . . .	111	(8) 50Ω同軸ケーブルの駆動 . . . . .	115
§2.6 デジタル回路 . . . . .	111	2.6.2 擬似ランダムパルス発生器 . . . . .	116
2.6.1 ゲートを用いた基本的な回路 . . . . .	111	2.6.3 積算器付きのトランジェントレコーダー . . . . .	117
(1) 微分回路 . . . . .	112	問題 . . . . .	119

### 第3章 マイクロコンピュータ

§3.1 マイクロコンピュータ . . . . .	121	(2) 割込み方式による入出力 . . . . .	137
3.1.1 マイクロコンピュータと命令 . . . . .	121	(3) DMA . . . . .	139
(1) 多バイト命令 . . . . .	121	(4) プログラマブルインタフェイスタップ . . . . .	140
(2) ニモニックコード . . . . .	124	§3.3 マイクロコンピュータのソフトウェア . . . . .	140
(3) 簡単なアセンブラーのプログラム . . . . .	125	3.3.1 アセンブラーとマシンコード . . . . .	140
3.1.2 Z80マイクロコンピュータ . . . . .	126	(1) 命令の種類 . . . . .	141
(1) Z80マイクロプロセッサ . . . . .	126	(2) アドレスの指定方法 . . . . .	141
(2) マイクロコンピュータ . . . . .	128	(3) 条件フラグ . . . . .	142
§3.2 マイクロコンピュータの入出力 . . . . .	130	3.3.2 ベーシック言語 . . . . .	143
3.2.1 入出力のハードウェア . . . . .	131	§3.4 マイクロコンピュータを用いた計測システム . . . . .	144
(1) 入出力の過程 . . . . .	131	3.4.1 入出力バス拡張回路 . . . . .	145
(2) アドレスデコード回路と書き込み信号 . . . . .	132	3.4.2 AD変換器インターフェイス . . . . .	147
(3) 出力インターフェイス . . . . .	133	3.4.3 DA変換器のインターフェイス . . . . .	152
(4) 入力インターフェイス . . . . .	134	3.4.4 プロッタのインターフェイス . . . . .	153
3.2.2 入出力の方法 . . . . .	135	3.4.5 汎用8ビットデジタルI/O . . . . .	
(1) フラグセンス方式 . . . . .	135		

	インターフェイス . . . . . 155
(1)	パルスモーター駆動回路 インターフェイス . . . . . 155
(2)	リレーのインターフェイス

	ス . . . . . 156
§ 3.5	計測システムの簡単な応用 . . . 157
問 題	. . . . . 159

## 第 4 章 センサー

§ 4.1	センサーとは何か . . . . . 161
4.1.1	エネルギーとセンサー . . . 162
4.1.2	変換に用いられる現象と 効果 . . . . . 162
§ 4.2	温度センサー . . . . . 164
4.2.1	熱電対 . . . . . 164
(1)	ゼーベック効果 . . . . . 164
(2)	熱電対 . . . . . 165
4.2.2	電気抵抗温度センサー . . . 167
(1)	測温抵抗体 . . . . . 167
(2)	測定回路 . . . . . 168
4.2.3	サーミスターセンサー . . . 169
(1)	サーミスター . . . . . 169
(2)	自己発熱とサーミスター を用いた各種センサー . 169
(3)	サーミスターの回路 . . . 171
4.2.4	その他の温度センサー . . . 171
(1)	IC 温度センサー . . . . . 171
(2)	その他の温度センサー . . . 172
§ 4.3	力学量の変換器 . . . . . 173
4.3.1	変位 - 電気変換器 . . . . . 173
(1)	ポテンシオメーター (可 変抵抗器) . . . . . 173
(2)	変位 - 容量変換器 . . . . . 174
(3)	変位 - インダクタンス変 換器 . . . . . 175
(4)	差動トランス . . . . . 175
(5)	ポジションエンコーダー とロータリーエンコー ダー . . . . . 176

4.3.2	ストレインゲージ . . . . . 176
4.3.3	電磁誘導を用いた速度セ ンサー . . . . . 178
4.3.4	力, 圧力, 加速度のセン サー . . . . . 179
(1)	力のセンサー . . . . . 179
(2)	圧力センサー . . . . . 179
(3)	加速度センサー . . . . . 180
(4)	その他の力のセンサー . . . 181
4.3.5	音のセンサー . . . . . 181
§ 4.4	真空度測定センサー . . . . . 181
4.4.1	ピラニゲージ . . . . . 182
4.4.2	ペニングゲージ . . . . . 183
4.4.3	熱陰極電離真空計 . . . . . 185
§ 4.5	磁気センサー . . . . . 186
4.5.1	ホール素子 . . . . . 187
(1)	ホール素子 . . . . . 187
(2)	ホール素子による電流測 定 . . . . . 188
4.5.2	磁気抵抗素子 . . . . . 189
(1)	半導体磁気抵抗素子 . . . 189
(2)	金属磁気抵抗素子 . . . . . 190
§ 4.6	光センサー . . . . . 190
4.6.1	光電管と光電子増倍管 . . . 191
(1)	光電管 . . . . . 191
(2)	光電子増倍管 . . . . . 192
(3)	光子計数法 . . . . . 194
4.6.2	半導体光センサー . . . . . 195
(1)	光伝導型検出器 . . . . . 195
(2)	光起電力型検出器 . . . . . 198

4.6.3 熱的検出器 . . . . .	201	トロン . . . . .	206
(1) サーモパイル . . . . .	201	(3) マイクロチャンネルプ	
(2) 焦電型赤外線検出器 . . . . .	202	レート . . . . .	207
4.6.4 画像センサー . . . . .	202	4.7.2 放射線の検出器 . . . . .	208
(1) ビジコン (撮像管) . . . . .	203	(1) シンチレーションカウン	
(2) MOS ゲート型イメージ		ター . . . . .	208
センサー . . . . .	203	(2) チェレンコフカウンター . . . . .	208
(3) CCD イメージセンサー . . . . .	204	(3) ガイガー計数管 . . . . .	208
§4.7 電子, イオンなどの粒子線		(4) 放射線の固体検出器 . . . . .	209
検出器 . . . . .	206	§4.8 電気化学的センサー . . . . .	210
4.7.1 電子増倍管とチャンネル		4.8.1 pH センサー . . . . .	210
トロン . . . . .	206	4.8.2 電池式ガスセンサー . . . . .	211
(1) 電子増倍管 . . . . .	206	4.8.3 ガスセンサー . . . . .	212
(2) チャンネルトロンとセラ		問題 . . . . .	213

## 第5章 信号と雑音の処理

§5.1 エネルギースペクトルとパ		ナー-キンチンの定理 . . . . .	224
ワースペクトル . . . . .	216	(1) 規格化された自己相関関	
5.1.1 確定した信号のスペクトル . . . . .	216	数 . . . . .	224
(1) フーリエスペクトルとエ		(2) 相関関数の例 . . . . .	224
ネルギースペクトル . . . . .	216	(3) ウィーナー-キンチン	
(2) パワースペクトル . . . . .	217	(Wiener-Khinchine)	
5.1.2 不規則信号のパワースペ		の定理 . . . . .	225
クトル . . . . .	217	5.1.5 線形システムとパワース	
(1) 不規則信号 . . . . .	217	ペクトル . . . . .	228
(2) 不規則信号のパワースペ		§5.2 雑音 . . . . .	229
クトル . . . . .	219	5.2.1 ガウス雑音 . . . . .	229
(3) スペクトル分析器と分光		5.2.2 散射雑音 . . . . .	230
器 . . . . .	220	5.2.3 ナイキストの式 . . . . .	231
5.1.3 集合平均と時間平均 . . . . .	222	5.2.4 2乗検波とガウス雑音 . . . . .	232
(1) 平均値 . . . . .	222	(1) 2乗検波したときの確率	
(2) 分散 . . . . .	222	密度関数 . . . . .	232
(3) 自己相関関数 . . . . .	223	(2) 2乗検波後のパワースペ	
(4) 定常過程とエルゴード過		クトル . . . . .	233
程 . . . . .	223	5.2.5 狭帯域ガウス雑音 . . . . .	235
5.1.4 自己相関関数とウィー		(1) 確率密度関数 . . . . .	236

(2) 狭帯域ガウス雑音の直線 検波 . . . . .	236	(2) デジタルフィルタ . . . . .	248
5.2.6 半導体素子の雑音 . . . . .	237	5.3.5 積算平均による $S/N$ 比の 向上 . . . . .	251
§ 5.3 信号と雑音の処理 . . . . .	239	5.3.6 積算平均を用いた測定器 . . . . .	254
5.3.1 $S/N$ 比のフィルタリング による改善 . . . . .	239	(1) トランジェントレコー ダー . . . . .	254
(1) $S/N$ 比 . . . . .	239	(2) ボックスカー積分器とサ ンプリングスコープ . . . . .	255
(2) フィルタリング . . . . .	240	5.3.7 確率密度関数の測定 . . . . .	258
5.3.2 ロックインアンプ . . . . .	240	(1) 信号と確率密度関数 . . . . .	258
5.3.3 サンプリング定理 . . . . .	244	(2) 波高分析器 . . . . .	259
5.3.4 移動平均とデジタルフィ ルター . . . . .	247	5.3.8 相関測定による測定法 . . . . .	260
(1) 移動平均 . . . . .	247	問 題 . . . . .	264

## 第6章 変調と検波

§ 6.1 変調と検波 . . . . .	266	(1) アナログパルス変調 . . . . .	277
6.1.1 振幅変調 . . . . .	266	(2) デジタル変調 . . . . .	278
6.1.2 振幅変調回路 . . . . .	268	§ 6.4 光通信 . . . . .	279
6.1.3 振幅変調の復調 . . . . .	270	6.4.1 光ファイバ通信 . . . . .	279
(1) 2乗検波 (AM 検波) . . . . .	270	6.4.2 送信回路と受信回路 . . . . .	283
(2) PLL による AM 検波 . . . . .	271	§ 6.5 周波数の変換 . . . . .	284
§ 6.2 周波数変調と位相変調 . . . . .	272	6.5.1 ヘテロダイン検波 . . . . .	284
6.2.1 周波数変調と位相変調の 関係 . . . . .	272	(1) ヘテロダイン検波回路 . . . . .	286
6.2.2 FM 変調回路 . . . . .	274	(2) ヘテロダイン方式による マイクロ波周波数の安 定化 . . . . .	286
(1) 可変容量ダイオードによ る FM 変調回路 . . . . .	274	6.5.2 倍周器 . . . . .	287
(2) リアクタンス回路を用い た FM 変調 . . . . .	275	6.5.3 分周器 . . . . .	288
(3) VCO を用いる FM 変調 . . . . .	275	§ 6.6 パラメトリック増幅 . . . . .	289
6.2.3 周波数変調の復調 . . . . .	276	6.6.1 パラメトリック増幅の基 本式 . . . . .	289
(1) フォスター-シーレイ回 路と比例回路 . . . . .	276	6.6.2 四端子パラメトリック増 幅器 (周波数変換器) . . . . .	291
(2) PLL を使用した FM 検 波 . . . . .	277	6.6.3 二端子パラメトリック増 幅器 . . . . .	292
§ 6.3 パルス変調および復調 . . . . .	277	6.6.4 パラメトロン . . . . .	294

§6.7 雑音指数と雑音因子 . . . . .	294	(2) 等価雑音温度 . . . . .	300
6.7.1 雑音指数 . . . . .	295	6.7.4 雑音因子の測定 . . . . .	301
6.7.2 増幅器の雑音指数 . . . . .	297	(1) 信号発生器を用いる方法 . . . . .	301
6.7.3 雑音因子 . . . . .	298	(2) 雑音発生器を用いる方法 . . . . .	301
(1) 平均雑音因子 . . . . .	299	問題 . . . . .	302
 第7章 エレクトロニクスの技術  			
§7.1 回路部品 . . . . .	304	(3) 素子の選択と定数の決定 . . . . .	320
7.1.1 抵抗器 . . . . .	304	(4) 安定性と熱 . . . . .	320
(1) 固定抵抗器 . . . . .	304	7.2.2 素子の配置と実装 . . . . .	322
(2) 可変抵抗器 . . . . .	307	§7.3 測定器 . . . . .	324
7.1.2 コンデンサー . . . . .	308	§7.4 オシロスコープ . . . . .	327
(1) 固定コンデンサー . . . . .	308	7.4.1 陰極線オシロスコープ . . . . .	327
(2) 可変コンデンサー . . . . .	311	(1) ブラウン管 . . . . .	328
7.1.3 コイル . . . . .	311	(2) 加速電源 . . . . .	329
7.1.4 配線用基板とプリント配線 . . . . .	313	(3) 掃引回路 . . . . .	329
7.1.5 コネクタとケーブル . . . . .	317	(4) 水平および垂直増幅回路 . . . . .	331
§7.2 回路技術 . . . . .	318	7.4.2 陰極線オシロスコープの 使い方 . . . . .	331
7.2.1 回路設計 . . . . .	318	(1) 周波数の比較 . . . . .	333
(1) エレクトロニクス装置を 購入するか自作するか . . . . .	318	(2) 電圧電流特性の直視 . . . . .	334
(2) 設計 . . . . .	318	§7.5 回路の調整 . . . . .	335
参 考 書 . . . . .			339
問題解答 . . . . .			340
索 引 . . . . .			345
ローマ字略語索引 . . . . .			357