

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1. Meßtechnische Problemstellung	1
1.1. Strahlungsdetektoren als Quellen der Information	2
1.2. Impulzzählung	3
1.2.1. Statistik der Impulshäufigkeit	4
1.2.2. Intervallverteilung zwischen statistischen Impulsen	9
1.2.3. Zählverluste	11
1.3. Messung von Impulsgrößenverteilungen	14
1.3.1. Statistik der Impulsgrößenverteilung	16
1.3.1.1. Szintillationsdetektoren	16
1.3.1.2. Ionisationsdetektoren	17
1.3.2. Impulshöhenspektrometer	19
1.3.2.1. Gegenüberstellung von integraler und differentieller Impulshöhenanalyse	19
1.3.2.2. Vielkanal-Impulshöhenanalyse	21
1.4. Korrelationsmessungen	23
1.4.1. Koinzidenzmessungen	23
1.4.2. Messungen von Zeitspektren	26
1.4.2.1. Einkanal-Zeitintervallmessungen	28
1.4.2.2. Vielkanal-Zeitintervallmessungen	29
1.4.3. Grenzen der elektronischen Kurzzeitmessung	31
1.4.3.1. Elektronische Beiträge	31
1.4.3.2. Jitter	32
1.4.3.3. Lebensdauermessungen	35
1.5. Teilchenidentifizierung	38
1.5.1. Impulsformdiskrimination	39
1.5.2. Messungen mit einem dE/dx -Detektor	40
1.6. Literatur	41
2. Grundlagen der Impulstechnik	48
2.1. Elementare Netzwerkanalyse	48
2.1.1. Allgemeine Grundlagen	48
2.1.2. Elektronische Systeme mit zwei Anschlüssen	49
2.1.2.1. Einfache, idealisierte Zweipole	50
2.1.3. Elektrodynamische Grundgesetze	51
2.1.3.1. Stationäre Probleme	51
2.1.3.2. Quasistationäre Probleme	51

	Seite
2.1.4. Linearisierung von Netzwerken	55
2.1.4.1. Kennlinien	55
2.1.4.2. Arbeitspunkt und Arbeitsgerade	58
2.1.4.3. Generatoren	61
2.1.4.4. Theorem von Thévenin	62
2.1.4.5. Theorem von Norton	64
2.1.5. Verhalten von Vierpolen	64
2.1.5.1. Aktive Vierpole	66
2.1.5.2. Passive Vierpole	73
2.2. Transformationsmethoden der Netzwerkanalyse	85
2.2.1. Fourier-Transformation	88
2.2.2. Laplace-Transformation	98
2.3. Übertragungseigenschaften passiver Vierpole	102
2.3.1. Einfache <i>RCL</i> -Kombinationen	102
2.3.1.1. Attenuatoren	102
2.3.1.2. Das differenzierende <i>RC</i> -Glieder	109
2.3.1.3. Das integrierende <i>RC</i> -Glieder	111
2.3.1.4. Die Shunt-Kompensation	115
2.3.1.5. Impulsformung durch <i>RC</i> -Glieder	117
2.3.2. Iterative Filterketten	126
2.3.2.1. Laufzeitketten	130
2.3.2.2. Attenuationsketten	143
2.3.3. Übertragungsleitungen	147
2.3.3.1. Impulskabel	153
2.3.3.2. Verzögerungskabel	158
2.3.3.3. Impulsformung durch Kabel	160
2.4. Literatur	167
3. Diskrete aktive Halbleiterelemente	169
3.1. Der Transistor	169
3.1.1. Niederfrequenzverhalten	171
3.1.2. Hochfrequenzverhalten	173
3.2. Der Feldeffekttransistor	176
3.2.1. Der Sperrschicht-FET	176
3.2.2. Der MOS-FET	179
3.3. Die Tunnelodiode	179
3.4. Literatur	183
4. Analoge Schalteinheiten	185
4.1. Verstärker	185
4.1.1. Einteilung der Verstärker	185
4.1.1.1. Einteilung nach der Steuergröße	185
4.1.1.2. Einteilung nach dem Frequenzverhalten	187
4.1.1.3. Einteilung nach dem Arbeitspunkt	188
4.1.1.4. Verstärkergrundsaltungen	192
4.1.1.5. Zweistufige Transistorschaltungen	200
4.1.1.6. Differenzverstärker	204

	Seite
4.1.2. Rückkopplung	210
4.1.2.1. Gegenkopplung	212
4.1.2.2. Mitkopplung	217
4.1.2.3. Impedanzen in rückgekoppelten Verstärkern	217
4.1.2.4. Frequenzabhängige Rückkopplung	221
4.1.2.5. Übergangsverhalten eines gegengekoppelten Verstärkers	230
4.1.3. Operative Verstärker	232
4.1.3.1. Ideale operative Verstärker	233
4.1.3.2. Reale operative Verstärker	234
4.1.3.3. Gegengekoppelte operative Verstärker	237
4.1.3.4. Proportionale Operationsverstärker	241
4.1.3.5. Nichtlineare Operationsverstärker	244
4.1.3.6. Frequenzabhängige Operationsverstärker	246
4.1.3.7. Dynamische Impedanzen	252
4.1.4. Gegengekoppelte Transistorschaltungen	256
4.1.4.1. Einfache Gegenkopplungsanordnungen	256
4.1.4.2. Parallel-Parallel-Gegenkopplung über mehrere Stufen	258
4.1.5. Störsignale in elektronischen Systemen	263
4.1.5.1. Vermeidbare Störungen	263
4.1.5.2. Unvermeidbare Störeinflüsse (Rauschen)	265
4.1.5.3. Rauschabstand und Rauschzahl	270
4.1.5.4. Das Rauschen elektronischer Bauteile	272
4.1.5.5. Allgemeine Prinzipien zur Verminderung des Rauschens	276
4.1.5.6. Beeinträchtigung der Impulshöhenauflösung durch das Rauschen	277
4.1.6. Harmonische Oszillatoren	284
4.1.6.1. RC -Oszillatoren	285
4.1.6.2. LC -Oszillatoren	289
4.2. Nichtlineare Verstärker	294
4.2.1. Schwellenverstärker	295
4.2.2. Komparatoren	296
4.3. Stromgeneratoren	298
4.3.1. Der Transistor als Stromgenerator	299
4.3.2. Steuerung von Stromgeneratoren	300
4.4. Lineare Gatter	301
4.4.1. Seriengatter	302
4.4.1.1. Diodengatter	302
4.4.1.2. Transistorgatter	303
4.4.1.3. FET-Gatter	304
4.4.2. Parallelgatter	306
4.4.2.1. Parallelgatter mit Transistoren	306
4.5. Lineare Änderungen an Impulsen	306
4.5.1. Impulsverzögerung	306
4.5.2. Impulsverlängerung (Impulsdehnung)	307
4.5.3. Impulskürzung	309

X Inhaltsverzeichnis

	Seite
4.6. Die Impulslänge als analoge Größe	310
4.6.1. Signale mit zeitproportionalen Anteilen	310
4.6.1.1. Integration von Spannungsstufen	311
4.6.1.2. Integration von Stromstufen	313
4.6.2. Impulslängen-Impulshöhen-Wandlung	313
4.6.3. Impulslängenmodulation	315
4.7. Literatur	315
5. Digitale Schalteinheiten	320
5.1. Grundlagen der binären Logik	322
5.1.1. Einfache logische Operationen	323
5.1.2. Zusammengesetzte logische Operationen	324
5.1.3. Logische Operationen unter Verwendung von Speichern	328
5.1.3.1. Das bistabile Grundelement	333
5.1.3.2. Zähler aus bistabilen Elementen	336
5.1.3.3. Register	339
5.1.3.4. Binäres Gedächtnis	344
5.2. Der elektronische Schalter	352
5.2.1. Die Halbleiterdiode als Schalter	356
5.2.1.1. Das Übergangsverhalten einer Schaltodiode	356
5.2.2. Der Transistor als Schalter	359
5.2.3. Der FET als Schalter	363
5.2.4. Die Tunneldiode als Schalter	364
5.2.5. Schaltzustände bei ferromagnetischen Elementen	366
5.2.6. Supraleitende Schalter	368
5.3. Erzeugung logischer Niveaus	368
5.3.1. Passive Klippschaltungen	369
5.3.2. Klippschaltungen unter Verwendung aktiver Elemente	369
5.3.2.1. Klippen durch Übersteuerung von Transistoren	369
5.3.2.2. Strombegrenzende Schaltungen	371
5.3.2.3. Aussteuerungsbegrenzung durch Dioden	373
5.3.3. Die Umkehrstufe	374
5.3.3.1. NICHT-Schaltung mit einem Transistor	374
5.3.3.2. NICHT-Schaltung mit einer Tunneldiode	375
5.3.3.3. Signalumkehr mit einem Impulstransformator	376
5.4. Logische Gatter	376
5.4.1. Passive Gatter	377
5.4.2. Gatter unter Verwendung aktiver Dreipole	381
5.4.3. Tunneldioden-Gatter	388
5.4.4. Sonstige Gatter	389
5.5. Kippschaltungen	390
5.5.1. Aufbau der grundlegenden Kippschaltungen	390
5.5.1.1. Bistabile Kippschaltungen	393
5.5.1.2. Monostabile Kippschaltungen	403
5.5.1.3. Astabile Kippschaltungen	412

5.5.2.	Binäre Speicherung	415
5.5.2.1.	Speicherelemente	415
5.5.2.2.	Register	416
5.5.2.3.	Gedächtnis	417
5.5.3.	Untersetzung und Zählung	420
5.5.3.1.	Binäre Zähler	420
5.5.3.2.	BCD-Zähler	420
5.5.3.3.	Ringzähler	422
5.5.3.4.	Dekodierung	423
5.5.4.	Auslösekreise (Trigger)	424
5.5.4.1.	Der Schmitt-Trigger	425
5.5.4.2.	Der Sperrschwinger-Diskriminator	429
5.5.4.3.	Der Tunneldioden-Trigger	430
5.5.4.4.	Allgemeine Eigenschaften von Triggern	432
5.5.4.5.	Trigger als Zeitmarkengeber	433
5.6.	Änderungen im zeitlichen Verhalten binärer Signale	435
5.6.1.	Impulsverzögerung	435
5.6.2.	Impulsverlängerung	436
5.6.3.	Impulskürzung	436
5.7.	Digital-Analog-Wandlung	437
5.7.1.	Parallel-DAC	437
5.7.1.1.	DAC mit Stromgeneratoren	438
5.7.1.2.	DAC mit Referenzspannungen	439
5.7.2.	Serien-DAC	440
5.7.2.1.	Treppengeneratoren	441
5.7.2.2.	Serien-DAC zur Mittelwertbildung	443
5.8.	Analog-Digital-Wandlung	445
5.8.1.	Digitale Darstellung von Impulslängen	447
5.8.1.1.	Impulslängenmessung durch direkten Vergleich mit einem Oszillator	447
5.8.1.2.	ADC mit Zeitintervall-Dehnung	452
5.8.2.	Direkte Digitalisierung von Signalgrößen	454
5.8.2.1.	Serien-ADC	454
5.8.2.2.	Parallel-ADC	455
5.8.2.3.	ADC nach der Methode der schrittweisen Näherung	456
5.9.	Literatur	459
6.	Geräte zur Verarbeitung von Detektorimpulsen	463
6.1.	Impulsverstärkung	463
6.1.1.	Vorverstärker	464
6.1.2.	Hauptverstärker (Linearverstärker)	467
6.2.	Impulszählung	475
6.2.1.	Zeitgeber	475
6.2.2.	Impulszähler	476
6.2.3.	Zählratenmesser	477
6.2.3.1.	Digitale Zählratenmesser	477
6.2.3.2.	Analoge Zählratenmesser	477

XII Inhaltsverzeichnis

	Seite
6.3. Einkanal-Impulshöhenmessung	478
6.3.1. Integralkaskriminator	478
6.3.2. Einkanal-Impulshöhenanalysator	478
6.4. Einkanal-Zeitintervallmessung	481
6.4.1. Geräte zur Erzeugung von Zeitmarken	482
6.4.2. Koinzidenzmeßgeräte	483
6.5. Vielkanalmessungen	484
6.5.1. Gedächtniseinheit	486
6.5.2. Flugzeitanalysator (Start-Stopp-Zeitmessung)	488
6.5.3. Impulshöhenanalysator	489
6.5.4. Vielfachzähler (Multiscaler)	490
6.6. Literatur	492
Sachverzeichnis	497