

Inhaltsverzeichnis

Formelzeichenverzeichnis	10
Abkürzungsverzeichnis	12
1. Historische Entwicklung der Zeitmeßtechnik	13
2. Definition der Zeiteinheit und Bereitstellung von Zeitskalen	15
2.1. Zeitpunkt und Zeitintervall	15
2.2. Definition der Zeiteinheit	16
2.3. Vergleich zwischen astronomischer und quantenphysikalischer Definition	17
2.4. Zeitskalen	18
2.4.1. Astronomische Zeitskalen	18
2.4.2. Atomzeitskalen	19
2.4.2.1. Internationale Atomzeit TAI	19
2.4.2.2. Koordinierte Weltzeit UTC	20
2.5. Gesetzlich festgelegte Zeit	21
2.6. Kalender	22
2.7. Einfluß relativistischer Effekte auf Zeitskalen	23
3. Zeit- und Frequenznormale	27
3.1. Quarzstabilisierte Frequenznormale	27
3.2. Atomfrequenznormale	29
3.2.1. Physikalisches Prinzip	29
3.2.1.1. Wechselwirkungen zwischen Strahlung und Materie	29
3.2.1.2. Atomspektren und Zeeman-Effekt	30
3.2.2. Technische Realisierung	31
3.2.2.1. Prinzipielle Lösung	31
3.2.2.2. Praktische Ausführung	34
3.2.3. Grenzen der Leistungsfähigkeit von Atomfrequenznorma- len	37
3.2.4. Tendenzen der Weiterentwicklung	39
3.2.4.1. Verbesserungen und neue Konzeptionen im Mikrowellen- bereich	40
3.2.4.2. Neue Frequenznormale im optischen Bereich	41
3.2.4.3. Zusammenstellung der Leistungsparameter Genauigkeit und Stabilität	43
3.2.5. Metrologische Bedeutung der Atomfrequenznormale	43
4. Kennzeichnung der Instabilität von Frequenznormalen	46
4.1. Modell für das Signal eines Oszillators	46
4.2. Kennzeichnung der Frequenzinstabilität im Zeitbereich	48
4.2.1. Wahre Varianz	49
4.2.2. Zweiprobenvarianz	50
4.3. Kennzeichnung der Frequenzinstabilität im Frequenzbereich	51

4.4. Zusammenhang zwischen den Maßen der Frequenzinstabilität im Zeit- und Frequenzbereich	53
4.5. Meßverfahren zur Bestimmung der Frequenzinstabilität	54
4.5.1. Periodendauermessung	54
4.5.2. Periodendauermessung der Schwebungsfrequenz	54
4.5.3. Periodendauermessung der Schwebungsfrequenz unter Verwendung eines Hilfsoszillators	55
4.5.4. Messung schneller Phasenwinkelschwankungen mit einem Phasenregelkreis	56
4.5.5. Messung schneller Phasenwinkelschwankungen mit verbesserter Auflösung	56
4.6. Fehlereinfluß der Frequenznormale bei der Approximation von Zeitskalen	57
5. Frequenzumwandlung	59
5.1. Mischung von Frequenzen	59
5.2. Vervielfachung von Frequenzen	60
5.3. Teilung von Frequenzen	62
5.4. Frequenzsynthese mit PLL-Schaltungen	66
6. Frequenz- und Zeitintervallmessung	70
6.1. Analoge Frequenzmessung	71
6.2. Digitale Frequenzmessung	72
6.2.1. Aufbau und Wirkungsweise eines elektronischen Zählers	72
6.2.2. Meßprinzipien der Frequenzmessung	76
6.2.2.1. Direkte Frequenzmessung	76
6.2.2.2. Periodendauermessung	77
6.2.2.3. Frequenzverhältnismessung	77
6.2.2.4. Messung der Schwebungsfrequenz	78
6.2.3. Betrachtungen zur Meßgenauigkeit	78
6.2.3.1. Einfluß des digitalen Restfehlers	78
6.2.3.2. Einfluß der Zeitbasis	84
6.2.3.3. Einfluß der Triggerung	85
6.2.4. Messung hoher Frequenzen	86
6.2.4.1. Mikrowellenzähler	86
6.2.4.2. Frequenzmessungen im optischen Bereich	89
6.3. Zeitintervallmessung	90
6.3.1. Erfassung zeitsignifikanter Punkte	92
6.3.2. Erhöhung der Auflösung durch Interpolationsverfahren	94
6.3.2.1. Digitale Interpolation	94
6.3.2.2. Analoge Interpolation	97
7. Phasenmessung	99
8. Messung des Frequenzspektrums	107
8.1. Aufbau und Wirkungsweise eines Spektrumanalysators	107
8.2. Wichtige Eigenschaften von Spektrumanalysatoren	108
9. Verfahren zur Verbreitung und zum Vergleich von Zeitskalen sowie zur Übertragung von Normalfrequenzen	111

9.1. Zeitzeichen- und Normalfrequenzsendungen terrestrischer Sender in den verschiedenen Frequenzbereichen	112
9.1.1. Zeitzeichen- und Normalfrequenzsendungen im Längswellenbereich	114
9.1.2. Zeitzeichen- und Normalfrequenzsendungen im Langwellenbereich	119
9.1.3. Zeitzeichen- und Normalfrequenzsendungen im Kurzwellenbereich	126
9.1.4. Zeitzeichensendungen über Rundfunksender	126
9.2. Zeitskalenvergleich durch Atomuhrentransport	127
9.3. Verwendung von Fernsehsendern und Richtfunkstrecken für Zeitskalenvergleich und Übertragung von Normalfrequenzen	128
9.3.1. Zeitskalenvergleich über das Fernsehnetz	129
9.3.2. Normalfrequenzübertragung über das Fernsehnetz	132
9.3.2.1. Verwendung der Zeilensynchronimpulse des Fernsehsignals	132
9.3.2.2. Normalfrequenzübertragung mittels Farbträgersubfrequenz bzw. Übertragung von 1-MHz-Schwingungen in Austastlücken.	135
9.4. Satellitenverfahren für Verbreitung und Vergleich von Zeitskalen und für Normalfrequenzvergleich.	135
9.4.1. Verbreitung und Vergleich von Zeitskalen	136
9.4.1.1. Einwegverfahren	136
9.4.1.2. Zweiwegverfahren	144
9.4.2. Normalfrequenzübertragung mit Satelliten	152
9.5. Zeitskalenvergleich über VLBI	153
9.6. Zeitskalenvergleich über die Signalreflexion an Meteorschweifeln	154
10. Entwicklungsstand und -tendenzen der elektronischen Zeit- und Frequenzmeßtechnik	156
10.1. Frequenznormale	156
10.2. Internationale Zeitskalenvergleiche	158
10.3. Internationale Frequenzvergleiche	160
10.4. Territoriale Normalfrequenzbereitstellung	160
10.5. Messung kurzer Zeitintervalle	161
Anhang	
A 1. Koordinaten, Wiederholperioden und Sendeverzögerungen der Loran-C-Sender	162
A 1.1. Loran-C-Ketten und ihre Wiederholperioden in μ s	162
A 1.2. Koordinaten, Sendeverzögerung und Sendeleistung	162
A 2. Übersicht über Zeitsignalsender, die die Zeitskala UTC verbreiten, sowie über Sender mit stabilisierter Trägerfrequenz	171
A 2.1. Rufzeichen der Sender und für die Zeitsignalsendungen verantwortliche Einrichtungen	171
A 2.2. Koordinaten, Sendefrequenzen und Sendezeiten der Zeitzeichensender	173
A 2.3. Übersicht über Sender mit normalfrequenzstabilisierter Trägerfrequenz	184

A 3.	Bereitstellung von Normalzeit und Normalfrequenz in der DDR	185
A 3.1.	Staatliches Etalon für Zeit und Frequenz	185
A 3.2.	Übertragung der Einheiten von Zeit und Frequenz sowie der Zeitskala UTC (DDR) und der Normalzeit	186
A 3.2.1.	Übertragung von Zeit und Frequenz über die Synchronimpulse des Fernsehens	186
A 3.2.1.1.	Verwendung der Bildimpulse	187
A 3.2.1.2.	Verwendung der Zeilenimpulse	188
A 3.2.2.	Sendung von Zeitzeichen über den Kurzwellensender Y3S auf 4225 kHz	190
A 3.2.3.	Sendung von Zeitzeichen über Rundfunksender	190
Literaturverzeichnis	192
Sachwörterverzeichnis	197