

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 1. | Einführung und Übersicht | 10 |
| 1.1. | Zur Entwicklung digitaler Meßverfahren | 10 |
| 1.2. | Analoge und digitale Messung | 11 |
| 1.3. | Analyse des Meßvorgangs | 13 |
| 1.4. | Zahlensystem und Zahlendarstellung | 15 |
| 1.5. | Kodierung | 17 |
| 1.6. | Quantisierung, Stellenzahl und Fehler | 19 |
| 1.7. | Prinzipien zur Gewinnung eines diskreten Meßwerts | 22 |
| 1.7.1. | Die Meßgröße liegt quantisiert vor | 23 |
| 1.7.2. | Die Meßgröße liegt stetig veränderbar vor | 23 |
| 1.7.2.1. | Quantisierung einer nichtelektrischen Größe | 23 |
| 1.7.2.2. | Quantisierung einer elektrischen Größe | 24 |
| 1.7.3. | Strukturen von Meßketten | 24 |
| 2. | Zähler und Zählverfahren | 27 |
| 2.1. | Aufbau elektronischer Zähler | 27 |
| 2.1.1. | Bistabile Grundelemente (Flipflop) | 29 |
| 2.1.2. | Asynchron arbeitende Zähler | 32 |
| 2.1.2.1. | Binär- oder Dualzähler | 33 |
| 2.1.2.2. | Zähldekaden | 34 |
| 2.1.3. | Synchron arbeitende Zähler | 35 |
| 2.1.4. | Schieberegister und Ringzähler | 36 |
| 2.1.5. | Rückwärtszählung | 37 |
| 2.1.6. | Vorwahl und Voreinstellung | 39 |
| 2.1.7. | Ausgabe des Zählergebnisses | 40 |
| 2.1.7.1. | Dekodierung und Umkodierung | 41 |
| 2.1.7.2. | Anzeigeeinrichtungen (Sichtanzeigen, Displays) | 42 |
| 2.1.8. | Funktionsgruppen von Zählern | 45 |
| 2.1.8.1. | Eingangsschaltung | 45 |
| 2.1.8.2. | Torschaltung | 46 |
| 2.1.8.3. | Zeitbasis | 46 |
| 2.1.8.4. | Steuerteil | 46 |
| 2.2. | Meßverfahren auf Zählbasis | 47 |
| 2.2.1. | Zählverfahren | 47 |
| 2.2.1.1. | Frequenzmessung | 47 |
| 2.2.1.2. | Zeit(differenz)messung und Periodendauermessung | 48 |
| 2.2.1.3. | Frequenzverhältnismessung | 49 |
| 2.2.1.4. | Differenzfrequenzmessung | 49 |
| 2.2.2. | Statische Fehler bei Zählmessungen | 51 |
| 2.2.2.1. | Digitaler Restfehler | 51 |
| 2.2.2.2. | Fehler der Zeitbasis | 53 |
| 2.2.2.3. | Einfluß der endlichen Impulsbreite | 54 |
| 2.2.2.4. | Einfluß des Triggerpegels und der Torschaltzeit | 55 |
| 2.2.2.5. | Gesamtfehler einer Zählmessung | 55 |

| | | |
|-----------|---|------------|
| 2.3. | Frequenzanaloge Meßverfahren | 56 |
| 2.3.1. | Gewinnung diskreter Signale | 57 |
| 2.3.2. | Gewinnung stetiger Signale | 58 |
| 3. | Umsetzer | 60 |
| 3.1. | Umsetzverfahren | 60 |
| 3.1.1. | Direkte und indirekte Umsetzung | 61 |
| 3.1.2. | Parallele und serielle Umsetzung | 61 |
| 3.1.3. | Momentanwertumsetzung und integrierende Umsetzung | 63 |
| 3.2. | Umsetzer für Weg und Winkel | 66 |
| 3.2.1. | Abtastverfahren | 66 |
| 3.2.2. | Serielle Umsetzung — Inkrementalverfahren | 67 |
| 3.2.3. | Parallele Umsetzung — Kodeverfahren | 69 |
| 3.2.3.1. | Grundprinzip | 69 |
| 3.2.3.2. | Doppelabtastung | 71 |
| 3.2.4. | Interferentielle Meßverfahren | 72 |
| 3.3. | Umsetzer für elektrische Größen (Spannung, Strom) | 73 |
| 3.3.1. | Übersicht | 73 |
| 3.3.2. | Funktionsgruppen für elektrische Analog-Digital-Umsetzer | 74 |
| 3.3.2.1. | Komparatoren oder Vergleicher | 74 |
| 3.3.2.2. | Abtast- und Halteschaltung | 75 |
| 3.3.2.3. | Digital-Analog-Umsetzer | 75 |
| 3.3.3. | Direkte Umsetzverfahren | 81 |
| 3.3.3.1. | Parallel arbeitende Analog-Digital-Umsetzer | 81 |
| 3.3.3.2. | Seriell (sequentiell) arbeitende Umsetzer ohne Rückkopplung | 81 |
| 3.3.3.3. | Serielle Umsetzer mit Rückkopplung (Wägeverfahren) | 83 |
| 3.3.3.4. | Parallel-serielle Umsetzer | 86 |
| 3.3.3.5. | Sonderverfahren | 88 |
| 3.3.4. | Indirekte Umsetzverfahren (Umsetzverfahren mit Zwischenabbildung) | 88 |
| 3.3.4.1. | Umsetzprinzip | 89 |
| 3.3.4.2. | Spannungs-Zeit-Umsetzung | 90 |
| 3.3.4.3. | Spannungs-Frequenz-Umsetzung | 94 |
| 3.3.4.4. | Ladungsausgleichs- oder Charge-balancing-Verfahren | 96 |
| 3.3.5. | Statische Kenngrößen der Umsetzer | 99 |
| 3.3.5.1. | Ideale Umsetzungskennlinie und Quantisierungsfehler | 99 |
| 3.3.5.2. | Reale Umsetzungskennlinie | 100 |
| 3.3.5.3. | Temperaturfehler | 101 |
| 3.3.5.4. | Gesamtfehler | 101 |
| 3.3.5.5. | Umsetzgeschwindigkeit | 102 |
| 3.3.6. | Auswahl von Analog-Digital-Umsetzern | 103 |
| 3.3.7. | Prüfung von Analog-Digital-Umsetzern | 103 |
| 3.3.8. | Ausblick | 104 |
| 4. | Dynamische und statistische Fehler digitaler Meßverfahren | 105 |
| 4.1. | Signalabtastung | 105 |
| 4.2. | Dynamische Fehler | 107 |
| 4.2.1. | Verzögerungsfehler | 107 |
| 4.2.2. | Steigungsfehler | 108 |
| 4.2.3. | Mittelungsfehler | 109 |
| 4.2.3.1. | Berechnung des Mittelungsfehlers | 110 |
| 4.2.3.2. | Mittelungsfehler für verschiedene Modellfunktionen | 111 |

| | | |
|-----------|---|------------|
| 4.2.4. | Dynamische Fehler bei Zählverfahren | 113 |
| 4.2.4.1. | Dynamische Fehler bei frequenzanalogen Meßverfahren | 114 |
| 4.2.4.2. | Dynamische Fehler bei Spannungs-Frequenz-Umsetzern | 115 |
| 4.3. | Statistische Meßfehler | 116 |
| 4.3.1. | Rauschen bei Analog-Digital-Umsetzern | 117 |
| 4.3.1.1. | Quantisierungsrauschen | 117 |
| 4.3.1.2. | Rauschen durch Nichtlinearitäten | 118 |
| 4.3.1.3. | Gesamte Rauschspannung | 118 |
| 4.3.1.4. | Dynamikbereich eines Umsetzers | 119 |
| 4.3.2. | Rauscheinflüsse bei Zählmessungen | 120 |
| 4.3.2.1. | Einfluß der Triggerschwelle | 120 |
| 4.3.2.2. | Rauscheinflüsse bei Periodendauermessungen | 121 |
| 4.4. | Gesamtfehler | 122 |
| 4.5. | Kanalkapazität | 122 |
| 5. | Digitale Meßgeräte und Meßeinrichtungen | 124 |
| 5.1. | Automatisierung des Meßvorgangs | 124 |
| 5.1.1. | Automatisierte oder rechnende Meßgeräte | 125 |
| 5.1.2. | Linearisierung und Datenvorverarbeitung | 126 |
| 5.1.3. | Selbstüberwachung und automatische Kalibrierung | 127 |
| 5.1.4. | Interface | 129 |
| 5.2. | Elektronische Zähler | 129 |
| 5.2.1. | Universalzähler | 130 |
| 5.2.2. | Spitzengeräte | 132 |
| 5.2.3. | Automatisierung von Zählmessungen | 133 |
| 5.3. | Digitalvoltmeter und Digitalmultimeter | 134 |
| 5.3.1. | Digitalvoltmeter | 135 |
| 5.3.2. | Digitalmultimeter | 136 |
| 5.3.3. | Digitale Schalttafelinstrumente (Panelmeter) | 137 |
| 5.3.4. | Elektronische Analoganzeigen | 137 |
| 5.4. | Datenerfassung mit Analogsignalen | 138 |
| 5.4.1. | Strukturen der Analogwerterfassung | 138 |
| 5.4.2. | Meßdatenvorverarbeitung | 139 |
| 5.4.3. | Sensoren und Sensorsysteme | 140 |
| 5.5. | Digitale Technik in schreibenden Geräten | 140 |
| 5.5.1. | Oszilloskope | 140 |
| 5.5.2. | Eventoskope (Transientenrekorder) | 141 |
| | Literaturverzeichnis | 143 |
| | Sachwörterverzeichnis | 150 |