

# INHALTSVERZEICHNIS

<b>Vorwort</b> .....	9
<b>1. Einführung</b> .....	11
<b>2. Beschreibung von Filternetzwerken</b> .....	19
2.1. Grundbegriffe der Filternetzwerke .....	19
2.2. Beschreibung der Filternetzwerke im komplexen ( $s$ -) und reellen ( $\omega$ -)Frequenzbereich .....	21
2.3. Beschreibung der Filternetzwerke im Zeitbereich .....	29
2.4. Zusammenhänge zwischen den Netzwerkfunktionen .....	30
2.5. Filterspezifikationen .....	31
2.6. Normierung, relative Einheiten .....	32
2.6.1. Normierte Amplitudencharakteristik .....	32
2.6.2. Frequenznormierung .....	33
2.6.3. Impedanznormierung .....	33
2.7. Filtertypen .....	34
2.8. Festlegung des Referenztiefpasses, Frequenztransformationen .....	36
2.8.1. Transformation des Tiefpasses zum Referenztiefpaß .....	37
2.8.2. Transformation des Hochpasses zum Referenztiefpaß .....	37
2.8.3. Transformation des Bandpasses zum Referenztiefpaß .....	38
2.8.4. Transformation der Bandsperre zum Referenztiefpaß .....	41
2.9. Spezifizierung des Referenztiefpasses .....	41
<b>3. Approximation der Übertragungsfunktionen</b> .....	44
3.1. Approximationsverfahren, Fehlerkriterien .....	45
3.2. Approximation der Amplitudencharakteristik .....	46
3.2.1. <i>Butterworth</i> -Näherung mit maximal flacher Amplitudencharakteristik .....	48
3.2.2. Näherung nach <i>Papoulis (Legendre)</i> .....	50
3.2.3. <i>Tschebyscheff</i> -Näherung mit gleichmäßiger Welligkeit im Durchlaßbereich .....	50
3.2.4. Näherungen mit gleichmäßiger Welligkeit im Sperrbereich .....	53
3.2.5. Inverse <i>Tschebyscheff</i> -Näherung .....	54
3.2.6. Elliptische ( <i>Cauer</i> -)Näherung .....	55
3.3. Approximation der Laufzeitcharakteristik .....	57
3.3.1. <i>Thomson</i> - ( <i>Bessel</i> -)Näherung .....	58
3.3.2. Näherung mit gleichmäßiger Welligkeit .....	59

3.3.3.	Das L-Filter .....	61
3.4.	Transformation der Laufzeitcharakteristik .....	62
3.5.	Approximationen, die mehrfache Pole verwenden .....	63
<b>4.</b>	<b>Synthese aktiver RC-Filter .....</b>	<b>64</b>
4.1.	Aktive Bauelemente .....	64
4.1.1.	Operationsverstärker .....	64
4.1.2.	Konverter .....	69
4.2.	Syntheseverfahren aktiver RC-Filter .....	75
4.2.1.	Kaskadensynthese .....	77
4.2.2.	Simulation von LC-Filtern durch Ersetzen der Induktivitäten .....	77
4.2.3.	Aktive Filter mit mehrfacher Rückkopplung .....	83
<b>5.</b>	<b>Empfindlichkeiten und Toleranzen .....</b>	<b>87</b>
5.1.	Wirkungen der Bauelementeänderungen auf die Übertragungskenngrößen .....	88
5.1.1.	Ursachen der Änderungen der Bauelementewerte .....	88
5.1.2.	Empfindlichkeitsparameter .....	89
5.1.3.	Empfindlichkeitsfunktionen der Amplituden- und Phasencharakteristik .....	91
5.1.4.	Empfindlichkeitsfunktion der Laufzeitcharakteristik .....	93
5.1.5.	Wirkungen der Bauelementeänderungen im Zeitbereich .....	94
5.1.6.	Summationsverfahren .....	94
5.2.	Ermittlung der Empfindlichkeitsfunktionen .....	96
5.2.1.	Ermittlung der Empfindlichkeitsfunktion bei Kenntnis der Koeffizientenempfindlichkeiten .....	97
5.2.2.	Ermittlung der Empfindlichkeitsfunktion bei Kenntnis der Wurzelempfindlichkeiten .....	98
5.2.3.	Ermittlung der Empfindlichkeitsfunktionen bei Kenntnis der Empfindlichkeiten der Grundgliedkenngrößen .....	99
5.2.4.	Zusammenhänge zwischen Parametern und Empfindlichkeiten .....	100
5.3.	Empfindlichkeit des Grundgliedes zweiten Grades .....	100
5.3.1.	Empfindlichkeiten der Übertragungsfunktion gegenüber den Grundgliedkenngrößen .....	101
5.3.2.	Empfindlichkeiten der Amplituden- und Phasencharakteristik gegenüber den Grundgliedkenngrößen .....	102
5.3.3.	Änderung der Amplituden- und Phasencharakteristik .....	105
5.3.4.	Empfindlichkeit der Amplituden- und Phasencharakteristik des Tiefpaßfilters zweiten Grades .....	107
5.3.5.	Empfindlichkeit der Amplituden- und Phasencharakteristik des Hochpaßfilters zweiten Grades .....	110
5.3.6.	Empfindlichkeit der Amplituden- und Phasencharakteristik des Bandfilters zweiten Grades .....	112
5.3.7.	Empfindlichkeit der Amplituden- und Phasencharakteristik des elliptischen Grundgliedes zweiten Grades .....	113
5.4.	Empfindlichkeiten gegenüber den Bauelementen .....	115
5.4.1.	Empfindlichkeiten gegenüber den passiven Bauelementen .....	115
5.4.2.	Empfindlichkeiten gegenüber den aktiven Bauelementen .....	118
<b>6.</b>	<b>Aktive RC-Grundglieder .....</b>	<b>126</b>
6.1.	Grundglieder ersten Grades .....	128
6.2.	Grundglieder zweiten Grades .....	129
6.3.	Empfindlichkeitsnormen .....	130

6.3.1.	Empfindlichkeitsnormen zur Festlegung der Streuung der Amplitudencharakteristik	131
6.3.2.	Empfindlichkeitsnormen zur Festlegung der Änderung der Amplitudencharakteristik	135
6.4.	Optimale Grundglieder zweiten Grades	137
6.5.	Filter mit Brücken-T-Schaltung	139
6.6.	Untersuchung des Brücken-T-Rückkopplungsnetzwerkes	148
6.7.	Empfindlichkeitsoptimierung von Filtern mit Brücken-T-Schaltung	153
6.8.	Anwendungsbeschränkungen der Filter mit Brücken-T-Schaltung	158
6.9.	Das <i>Boctor</i> -Filter	159
6.10.	Filter mit Doppel-T-Schaltung	161
6.11.	Das <i>Fliege</i> -Filter	169
6.12.	Das <i>MB</i> -Filter	172
6.13.	Filter nach der Zustandsvariablen-Methode	174
6.13.1.	Das <i>KHN</i> -Filter	174
6.13.2.	Das <i>Fleischer-Tow</i> -Filter	176
6.13.3.	Das <i>Berka-Herpy</i> -( <i>BH</i> )-Filter	179
6.14.	Grundglieder dritten Grades	183
6.15.	Zusammenfassung der aktiven <i>RC</i> -Grundglieder	186
<b>7.</b>	<b>Praktische Aspekte beim Entwurf aktiver <i>RC</i>-Filter</b>	<b>190</b>
7.1.	Auf Nennwerte bezogener Filterentwurf	190
7.2.	Auf praktische Werte bezogener Filterentwurf	192
7.3.	Zerlegung von Filtern höheren Grades	197
7.3.1.	Empfindlichkeitsminimalisierung	199
7.3.2.	Dynamikbereich und Bandmittenverstärkung	199
7.3.3.	Maximaler Signal-Rauschabstand und Verteilung der Verstärkung	200
7.3.4.	Reihenfolge der Grundglieder	201
7.4.	Messung und Abgleich der Grundglieder	202
<b>8.</b>	<b>Entwurfsbeispiele</b>	<b>205</b>
<b>9.</b>	<b>Entwurfstabellen</b>	<b>224</b>
<b>10.</b>	<b>Filterdaten</b>	<b>244</b>
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>313</b>
	<b>Sachverzeichnis</b>	<b>323</b>