

# Inhalt

<b>1 Allgemeine System- und Rückkopplungstheorie .....</b>	<b>1</b>
1.1 Was sind komplexe Frequenzen? .....	1
1.2 Warum Poldarstellung in der $s$ -Ebene? .....	4
1.3 Welche Bedeutung hat die Polfrequenz? .....	5
1.4 Wozu überhaupt Rückkopplung? .....	6
1.5 Wie sind Mit- und Gegenkopplung definiert? .....	7
1.6 Welche Bedeutung hat die Schleifenverstärkung? .....	10
1.7 Was ist ein Mindestphasen-System? .....	13
1.8 Wie viel Stabilitätsreserve ist sinnvoll? .....	14
1.9 Gibt es mehrere <i>Nyquist</i> -Stabilitätskriterien? .....	17
1.9.1 Theoretischer Hintergrund .....	17
1.9.2 Das allgemeine Stabilitätskriterium .....	18
1.9.3 Das vereinfachte <i>Nyquist</i> -Kriterium .....	20
1.9.4 Beispiel zum <i>Nyquist</i> -Kriterium .....	21
1.10 Was versteht man unter bedingter Stabilität? .....	23
1.11 Sind Betrags- und Phasenverlauf voneinander abhängig? .....	24
1.12 Wie prüft man die Stabilität mehrschleifiger Systeme? .....	26
1.12.1 Beispiel: Regelkreis mit zwei Rückführungen .....	26
1.12.2 Stabilitätsprüfung .....	28
1.13 Ist die Schleifenverstärkung aus der Systemfunktion ablesbar?.....	29
1.14 Ist der gegengekoppelte Verstärker ein Regelkreis? .....	30
1.15 Wie unterscheiden sich Phasen- und Gruppenlaufzeit? .....	32
1.16 Kann die Gruppenlaufzeit auch negativ sein? .....	34
1.17 Was besagt das Substitutionstheorem? .....	36
1.18 Gibt es negative Frequenzen? .....	37
1.19 Was bedeutet die Operation „Faltung“? .....	40
1.20 Welche Bedeutung hat die <i>Hilbert</i> -Transformation? .....	42
<b>2 Elektronik .....</b>	<b>43</b>
2.1 Sind Bipolartransistoren strom- oder spannungsgesteuert? .....	43
2.2 Was ist ein negativer Widerstand? .....	44
2.3 Was ist ein frequenzabhängiger Widerstand? .....	46
2.4 Wozu dienen Stromspiegel? .....	48

2.5	Was sind translineare Schaltungen? .....	51
2.5.1	Beispiel 1 (Stromspiegel) .....	51
2.5.2	Beispiel 2 (spannungsgesteuerter Stromspiegel) .....	52
2.5.3	Das translineare Prinzip .....	53
2.5.4	Translineare Schaltungen mit MOSFET .....	53
2.5.5	Anwendung translinearer Schaltungen .....	54
2.6	Was bedeutet Signalverarbeitung im „Log-Modus“? .....	54
2.6.1	Beispiel: Tiefpass .....	55
2.6.2	Anwendung von Log-Modus-Filtern .....	58
2.7	Verzerrungen – linear oder nichtlinear? .....	58
2.8	Ein digitaler Baustein als Linearverstärker? .....	59
2.9	Warum sind AGC-Verstärker „linear-in-dB“? .....	61
2.10	Die Phasenregelschleife (PLL) – linear oder nichtlinear? .....	63
3	<b>Integrierte Linearverstärker</b> .....	67
3.1	Wie wichtig ist die Symmetrie der Spannungsversorgung? .....	67
3.2	Operationsverstärker mit nur einer Versorgungsspannung? .....	68
3.3	Warum Verstärkerbetrieb nur mit Gegenkopplung? .....	69
3.4	Warum Frequenzkompensation? .....	70
3.5	Gibt es auch unkompensierte Verstärker? .....	72
3.6	Was versteht man unter gemischter Rückkopplung? .....	73
3.7	Stabilitätsprobleme durch kapazitive Belastung? .....	76
3.7.1	Methode 1: Trennwiderstand .....	77
3.7.2	Methode 2: Bedämpfung mit RC-Serienschaltung .....	78
3.7.3	Methode 3: Zweifach-Gegenkopplung .....	79
3.8	Viel oder wenig Gegenkopplung für hohe Stabilität? .....	80
3.9	Was ist ein Pol-Nullstellen-Paar? .....	83
3.10	Kann man zwei Operationsverstärker kombinieren? .....	85
3.11	Wodurch werden Anstiegs- und Einschwingzeiten festgelegt? .....	88
3.12	Was sind voll-differentielle Operationsverstärker? .....	89
3.13	Warum Vorzugsbereiche für Widerstände und Kapazitäten? .....	92
3.14	Wird der OTA auch gegengekoppelt? .....	95
3.15	Sind Operationsverstärker gute Komparatoren? .....	96
3.16	Kleinsignal- oder Großsignal-Bandbreite? .....	98
3.17	Nutzt der <i>Miller</i> -Integrator den <i>Miller</i> -Effekt? .....	100
3.18	Welches ist die beste Integratorschaltung? .....	102
3.19	Was ist ein Transimpedanzverstärker? .....	104
3.20	Was sind „Current-Feedback“-Verstärker? .....	105
3.21	„Current-Feedback“-Verstärker als Integrator? .....	108
3.22	Was ist ein „Current Conveyor“? .....	109

<b>4 Elektronische Filtertechnik</b>	111
4.1 Sind analoge Filter heute noch von Bedeutung?	111
4.2 Was ist eigentlich ein Aktivfilter ?	112
4.3 Welche Vorteile haben aktive Filter?	113
4.4 Aktivfilter auch mit Einzeltransistoren?	114
4.5 In welchem Frequenzbereich arbeiten Aktivfilter?	114
4.6 Wodurch unterscheiden sich Allpol-, <i>Tschebyscheff</i> - und <i>Sallen-Key</i> -Filter?	116
4.7 Wie viele Tiefpass-Schaltungsvarianten gibt es?	116
4.8 Gibt es die optimale Filterschaltung?	117
4.9 Gibt es ein „Kochrezept“ für den Filterentwurf?	118
4.10 Gilt die 3-dB-Grenzfrequenz für alle Filter?	119
4.11 Was ist eigentlich ein Filterpol?	120
4.12 Welche Rolle spielt die Polgüte bei Tiefpässen?	121
4.13 Was ist ein Kosinus-Filter?	122
4.14 Was sind Zustandsvariablen-Filter?	123
4.15 Wofür werden Allpässe verwendet?	124
4.16 Welchem Zweck dient die <i>Bruton</i> -Transformation?	125
4.17 Gibt es Aktivfilter ohne Ohmwidestände?	127
4.18 SC-Filter – analog oder digital?	128
4.19 Wie arbeiten SC-Filter?	128
4.20 Was ist ein LDI-Integrator?	131
4.21 SC-Stufen mit OPV oder OTA?	132
4.22 Aktivfilter in RC- oder SC-Technik?	133
4.23 Warum sind kleine Grenzfrequenzen problematisch?	135
4.24 Was sind Median-Filter?	137
4.25 Welche Technologie für integrierte Analogfilter?	140
4.26 Was ist ein Polyphasen-Filter?	141
4.27 Was ist ein Optimalfilter?	143
4.28 Sind Filterentwurfs-Programme empfehlenswert?	145
<b>5 Harmonische Oszillatoren</b>	147
5.1 Was ist ein harmonischer Oszillator?	147
5.2 Wann schwingt der Zweipol-Oszillator?	148
5.3 Wann schwingt der Vierpol-Oszillator?	149
5.4 Der <i>Clapp</i> -Oszillator – Zweipol- oder Vierpol-Oszillator?	150
5.5 Sind Oszillatoren lineare Schaltungen?	152
5.6 Gibt es eine hinreichende Schwingbedingung?	153
5.7 Sinusform auch ohne Amplitudenstabilisierung?	155
5.8 Gibt es ein allgemeines Qualitätskriterium für Oszillatoren?	158
5.9 Was ist ein Ringoszillator?	159

5.10	Welcher Oszillator für den milli-Hz-Bereich? .....	160
5.11	Was ist das Verfahren der „harmonischen Balance“? .....	161
5.12	Was ist die beste Oszillatorschaltung? .....	164
<b>6</b>	<b>Simulationstechnik</b> .....	<b>167</b>
6.1	Wie wird die offene OPV-Verstärkung simuliert? .....	167
6.2	Wie überprüft man die Polverteilung bei Aktivfiltern? .....	168
6.3	Kann SPICE mehr als Schaltungsanalyse? .....	169
6.4	Falsch oder richtig? .....	171
6.5	Wie wird die Schleifenverstärkung simuliert? .....	174
6.5.1	LC-Kopplung .....	174
6.5.2	Strom-Spannungs-Einspeisung .....	175
6.5.3	Spannungseinspeisung .....	176
6.5.4	Beispiel (Vergleich) .....	176
6.6	Kann man die Phasenreserve direkt bestimmen? .....	177
6.6.1	Das Phasensteilheits-Verfahren .....	178
6.6.2	Beispiel .....	178
6.6.3	Modifikation des Verfahrens .....	180
6.7	Phasenkompensation mit SPICE? .....	180
6.8	Wie simuliert SPICE den Frequenzgang von SC-Filtern? .....	185
6.8.1	Separate Nachbildung beider Taktphasen .....	185
6.8.2	Die Storistor-Methode .....	186
<b>Anhang A</b>	<b>Der Begrenzungseffekt bei Integratoren</b> .....	<b>189</b>
<b>Anhang B</b>	<b>Das Phasensteilheits-Verfahren (Interpolation)</b> .....	<b>193</b>
<b>Anhang C</b>	<b>Phasenkompensation (Ableitung der Formeln)</b> .....	<b>195</b>
<b>Literaturverzeichnis</b>	.....	<b>197</b>
<b>Sachverzeichnis</b>	.....	<b>199</b>