

Dipl.-Ing. Ji-Gou Liu, Dresden

# **Testbarkeitsanalyse analoger Schaltungen und Systeme**

**Ein Beitrag zur Meß- und  
Prüftechnik elektronischer Systeme**

Reihe **8**: Meß-, Steuerungs-  
und Regelungstechnik

Nr. **676**

# Inhaltsverzeichnis

<b>Symbolverzeichnis</b>	<b>VIII</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1 Ziel der Arbeit	1
1.2 Aufgabenstellung	2
1.3 Lösungsweg	3
<b>2 Grundlagen zur Modellierung analoger Systeme</b>	<b>6</b>
2.1 Modellstruktur bei analogen Systemen	6
2.2 Modellierung	8
2.2.1 Äquivalente Schaltung	8
2.2.2 Kettenschaltung	9
2.2.3 Parallelschaltung	10
2.2.4 Rückkopplungsschaltung	10
2.2.5 Beispiele	11
2.3 Eigenschaften der Grundfunktionen	13
2.3.1 Polynomische Darstellung	13
2.3.2 Eigenschaften der Grundfunktionen	14
<b>3 Grundlagen zur Testbarkeitsanalyse</b>	<b>16</b>
3.1 Möglichkeiten zur Bewertung der Testbarkeit	16
3.2 Definitionen der Testbarkeit	17
3.3 Bedingungen für Testbarkeit bzw. Identifizierbarkeit	17
3.3.1 Zeitbereich	18
3.3.2 Parameterbereich	18
3.3.3 Frequenzbereich	20
3.4 Beispiele	20
3.5 Zusammenfassung	25
<b>4 Testbarkeitsanalyse analoger Teilschaltungen</b>	<b>26</b>
4.1 Analyse der Testbarkeit von Schaltungen ohne Cluster	26
4.2 Analyse der Testbarkeit von Schaltungen mit Cluster	27

4.2.1	Testbare Schaltungen bei Testung von zwei Meßgrößen	28
4.2.2	Testbare Schaltungen bei Testung von drei Meßgrößen	29
4.2.3	Nichttestbare Schaltungen	30
<b>5</b>	<b>Testbarkeitsanalyse zusammengesetzter Schaltungen</b>	<b>33</b>
5.1	Grundlagen zur Testbarkeitsanalyse	33
5.1.1	Abhängigkeit der Koeffizienten linearer Funktionen	33
5.1.2	Bestimmung der Anzahl der abhängigen Koeffizienten	35
5.1.3	Bestimmung der Anzahl der reduzierten Modellparameter in unvollständigen Grundfunktionen	36
5.2	Berechnung der Modellparameteranzahl	38
5.2.1	Rückwirkungsfreie Schaltungen	38
5.2.2	Rückwirkungsbehaftete Schaltungen	39
5.3	Testbarkeitsanalyse	39
5.3.1	Testbarkeitsanalyse der rückwirkungsfreien Schaltungen	40
5.3.2	Testbarkeitsanalyse rückwirkungsbehafteter Schaltungen	43
5.3.3	Zusammenfassung	46
<b>6</b>	<b>Bestimmung und Optimierung von Testbedingungen analoger Schaltungen</b>	<b>48</b>
6.1	Testbarkeitsmaße	48
6.1.1	Testbarkeitsmaß auf der Grundlage der Testbarkeitsbedingung	48
6.1.2	Testbarkeitsmaße auf der Grundlage der Empfindlichkeitsmatrix	49
6.1.3	Testbarkeitsmaß auf der Grundlage des Wirkungsfaktors der Parameterfehler	49
6.2	Bestimmung optimaler Testbedingungen	50
6.2.1	Bestimmung der Meßgrößen	50
6.2.2	Auswahl der Testsignale	51
6.3	Berechnung der Empfindlichkeiten	51
6.3.1	Serienschaltungen	53
6.3.2	Parallelschaltungen	55
6.4	Berechnung des Wirkungsfaktors	56
6.5	Beispiele	58
<b>7</b>	<b>Messung der Grundfunktionen analoger Schaltungen</b>	<b>63</b>
7.1	Messung der Impedanzen	63
7.2	Messung der Übertragungsfunktion	64
7.3	Abschätzung der Genauigkeit der Methoden durch Simulation	66

7.4	Meßsystem	68
7.5	Maßnahmen zur Erhöhung der Meßgenauigkeit	69
7.5.1	Mittelwertbildung	69
7.5.2	Fehlerkorrektur bzw. -kompensation	70
7.6	Meßergebnisse an Beispielen	71
7.6.1	Prüfung der Genauigkeit der Meßmethode	71
7.6.2	Messung der Grundfunktionen einer analogen Schaltung	71
7.6.3	Zusammenfassung	73
<b>8</b>	<b>Parameterbestimmung analoger Schaltungen und Systeme</b>	<b>74</b>
8.1	Methode zur Parameterbestimmung	74
8.1.1	Parameterbestimmung im Frequenzbereich	74
8.1.2	Algorithmus zur Parameterbestimmung	75
8.2	Parameterbestimmung für Schaltungen der <b>Tbk1</b>	75
8.2.1	Theoretische Grundlage	75
8.2.2	Beispiel	76
8.3	Parameterbestimmung für Schaltungen der <b>Tbk2</b>	78
8.3.1	Theoretische Grundlage	78
8.3.2	Beispiel	79
8.4	Parameterbestimmung der Schaltungen der <b>Tbk3/Tbk4</b>	80
8.5	Parameterbestimmung nichttestbarer Schaltungen	82
<b>9</b>	<b>Vorschläge zum Entwurf testfreundlicher analoger Schaltungen</b>	<b>85</b>
9.1	Maßnahmen zur Sicherung und Verbesserung der Testbarkeit	85
9.2	Maßnahmen, die auf einer Verbesserung der Testbedingungen basieren	88
9.3	Maßnahme folgend aus Realisierungsbedingungen für die Parameterbestimmung	88
<b>10</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>90</b>
<b>11</b>	<b>Ausblick</b>	<b>93</b>
<b>12</b>	<b>Anhänge</b>	<b>94</b>
<b>13</b>	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>108</b>