

Dipl.-Ing. Armin Stolze, Karlsfeld

**Breitbandige meßtechnische
Charakterisierung und
Modellierung von
Sperrschicht-Photodioden
für den gezielten rechner-
gestützten Entwurf von
optoelektronischen
Breitbanddetektoren**

Reihe **9**: Elektronik

Nr. **230**

Inhaltsverzeichnis

Liste verwendeter Symbole, Formelzeichen, Abkürzungen und Konstanten

VIII

1	Einleitung	1
2	Entwicklung von Groß- und Kleinsignal-Ersatzschaltbildern für unterschiedliche Typen von Photodioden	6
2.1	Zweck der Modellfindung	6
2.2	Verknüpfung von Modelldefinition, Meßtechnik, Extraktion und Verifikation	9
2.3	Modelldefinition zur konsistenten Verknüpfung von Groß- und Kleinsignal-Ersatzschaltbildern	12
2.3.1	Modellvoraussetzungen	12
2.3.2	Definition eines allgemeinen dispersionslosen Großsignal-Ersatzschaltbildes	15
2.3.3	Übergang vom Großsignal- zum Kleinsignal-Ersatzschaltbild	18
2.3.4	Behandlung von Dispersionseffekten	26
2.4	Modell einer PIN-Photodiode	32
2.4.1	Theoretische Grenzfrequenz von PIN-Photodioden	32
2.4.2	Modelldefinition für eine PIN-Photodiode	35
2.5	Modell einer MSM-Photodiode	38
2.5.1	Herstellung und Technologie	38
2.5.2	Modelldefinition für eine MSM-Photodiode	41
2.6	Modell einer Avalanche-Photodiode	45
2.6.1	Unterschiedliche Typen von Avalanche-Photodioden	46
2.6.2	Modelldefinition für eine Avalanche-Photodiode	48
3	Meßtechnische Charakterisierung zur Erlangung des DC-Kennlinienfeldes und der Kleinsignal-Kenngrößen	56
3.1	DC-Meßplatz und Messung der Dunkelströme	56
3.2	Bestimmung des arbeitspunktabhängigen Reflexionsfaktors von Photodioden	59
3.3	Erweiterung des Reflexionsfaktormeßplatzes für Avalanche-Photodioden mit hohen Durchbruchspannungen	60
3.4	Mathematische Aufbereitung der Reflexionsfaktormeßdaten	62

3.5	Direkte Kapazitäts- und Leitwertmessung an MSM-Photodioden	66
3.6	Messung des opto-elektronischen Übertragungsverhaltens	67
3.6.1	Meßaufbau zur impulsmäßigen Charakterisierung von Photodioden im Kleinsignal-Betriebszustand	67
3.6.2	Erzeugung von Pikosekunden Laserimpulsen mit einem Doppel-Heterostruktur-AlGaAs-Injektionslaser	71
3.6.3	Gegenüberstellung von optischen Impulsmeßmethoden und optisch modulierten Meßverfahren	73
4	Meßergebnisse und Extraktion der Ersatzschaltbild-Parameter	77
4.1	Untersuchung unterschiedlicher Extraktionsalgorithmen	77
4.1.1	Überblick und Untersuchungsmethoden	77
4.1.2	Least- <i>p</i> th-Optimierung	82
4.1.3	Simplex	82
4.1.4	Simplex mit Neuinitialisierung	83
4.1.5	Multi-Bias-Verfahren	92
4.1.6	Vergleich der Extraktionsergebnisse	93
4.2	PIN-Photodiode	95
4.2.1	Diskussion der gemessenen DC-Charakteristik	95
4.2.2	Diskussion der HF-Messung und Extraktion der Modellelemente des Kleinsignal-Ersatzschaltbildes	98
4.3	MSM(Metal-Semiconductor-Metal)-Photodiode	104
4.3.1	Diskussion der gemessenen DC-Charakteristik	104
4.3.2	Diskussion der HF-Messung und Extraktion der Modellelemente des Kleinsignal-Ersatzschaltbildes	107
4.3.3	Indirekte Bestimmung der inneren Stromverstärkung α_{HF} und der Verzögerungszeit τ_{p1} aus den Reflexionsfaktormessungen	116
4.4	Avalanche-Photodiode	123
4.4.1	Diskussion der gemessenen DC-Charakteristik	123
4.4.2	Temperaturabhängigkeit der Durchbruchspannung	126
4.4.3	Diskussion der HF-Messung und Extraktion der Modellelemente des Kleinsignal-Ersatzschaltbildes	127

5	Verifikation der Modelle auf Bauelementebene	144
5.1	Diskussion der Ergebnisse der direkten Kapazitäts- und Leitwertmessung	144
5.2	Implementierung des MSM-Photodiodenmodells in das Microwave Design System	147
5.3	Gegenüberstellung von Simulation und Messung	151
5.4	Frequenzabhängige Berechnung der inneren Ersatzschaltbildelemente G_0 und C'_0	155
6	Verifikation der Modelle auf Komponentenebene und Anwendungsmöglichkeiten	157
6.1	Verstärker für eine MSM-Photodiode	157
6.2	Photodetektorkopf für das PulsLaserradarsystem mit amplitudenabhängiger Zeitkorrektur	159
6.3	Simulation von opto-elektronischen Mischern	163
7	Zusammenfassung	165
A	Anhang	169
A.1	Herleitung des theoretischen Frequenzganges von PIN-Photodioden	169
A.2	Herleitung des theoretischen Frequenzganges von MSM-Photodioden	180
A.3	Programm zur Berechnung der idealen Impulsantwort von Avalanche-Photodioden	184
	Literaturverzeichnis	185