

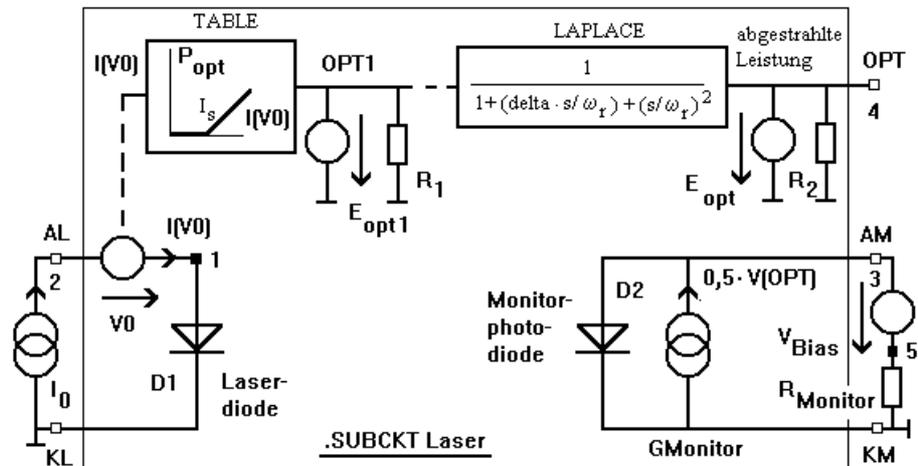
## Anhang LASER: ABM-PSPICE-Lasermodelle mit Monitorodiode

### 1. Lasermodell 1

#### 1.1 PSPICE-Netzliste

Bild L.1 zeigt das Blockschaltbild und L.1 die PSPICE-Netz-liste des Modells einer Laserdiode (D1) mit integrierter Monitorphotodiode (D2).

Der Laserstrom  $I(V0)$  ist Eingangsgröße für eine TABLE-Anweisung, die die statische Licht-Strom- (Knick-) Kennlinie darstellt.



**Bild L.1** Blockschaltbild eines genäherten Hochfrequenz- PSPICE-Lasermodells mit integrierter Monitorphotodiode ; Netzliste in Tab. L.1

Die Ausgangsgröße des TABLE-Befehls ist die optische DC-Leistung  $V(OPT1)$ , die mit einem LAPLACE-Befehl über eine Schwingkreischarakteristik an den Ausgangsknoten OPT abgebildet und dort als Spannung  $V(OPT) = P_{opt}(t)$  abgenommen wird. Bei einem realen Laser mißt nun eine Monitorphotodiode am rückwärtigen Laserspiegel denselben Verlauf  $P_{opt}(t)$ . Im Modell bildet man dazu mit einem LAPLACE-Befehl (hier frequenzunabh. Abbildung=0,5) die optische Leistung für eine typische Empfindlichkeit  $E=0,5\text{mA/mW}$  in einen Photostrom  $G_{monitor}$  ab. Diese Stromquelle parallel zu Diode D2 modelliert das Großsignalverhalten der Photodiode.

```
*Laser.cir: Test eines Gross-Signal-Lasermodells mit
*          integr. Monitor-Photodiode
ILaser 0 2 ac 20e-3 dc 40e-3 ; =DC-Laserstrom Io
+          PULSE(30E-3 50E-3 0 0.1n 0.1n 2.5N 5N)
XL 2 0 3 0 4 Laser PARAMS:pi=3.1415
+          fr=3e9 delta=0.8
Rmonitor 5 0 1
VBias 3 5 DC -10
.DC ILaser 0 80E-3 1E-3
.TRAN .5n 50n 0 0.5ns
.AC dec 200 100e6 10e9
.PROBE

*****
.SUBCKT Laser AL KL AM KM OPT PARAMS: pi=3.1415
+          fr=3e9 delta=0.8
v0 AL 1 ;v0=0, Nullspggs-quelle zur Strommessung
D1 1 KL DLaser
D2 AM KM DMonitor
R1 OPT1 0 1
R2 OPT 0 1
* DC-Licht-Strom-Kennlinie, Steigung:EFF = 10mW/20mA;
*          Schwellstrom:Ischw= 20mA
Eopt1 OPT1 0 TABLE {I(v0)} = (0.02, 0) (1, 0.49)
Gmonitor KM AM LAPLACE {V(OPT)} = {0.5}
Eopt OPT 0 LAPLACE
+{V(OPT1)}={1/(1+s*delta/(2*pi*fr)+s*s/4/pi/pi/fr/fr)}
.Model DLaser D(EG=1.43 N=2.2) ; GaAs-Laser
.Model DMonitor D
.ENDS
*****
.END
```

**Tab. L.1** PSPICE -Netzliste des Lasermodells nach Bild L.1 mit Testschaltung für Kennlinien (.DC), Kleinsignalverhalten (.AC) und Einschwingverhalten (.TRAN) *Quelle: FH Mannheim*

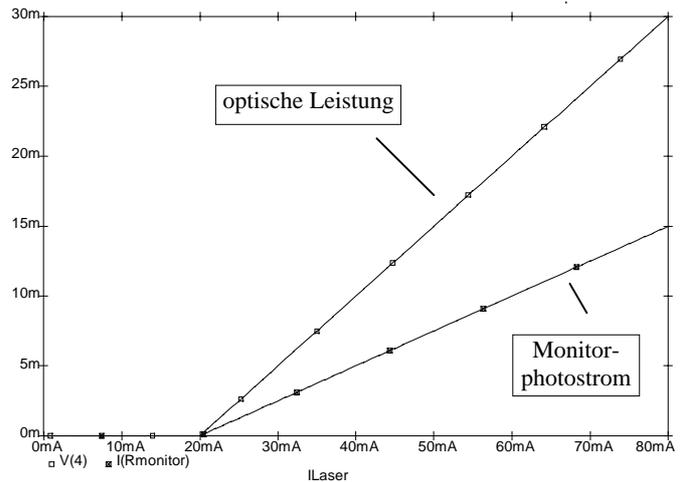
Die Dynamik der Lichterzeugung einer Laserdiode kann physikalisch genauer durch die Bilanzgleichungen beschrieben werden. Sie bilanzieren in einer 1. Gleichung den Verlust von Elektronen durch Rekombination mit Löchern bei induzierter und spontaner Emission von Photonen und den Zuwachs von Elektronen durch Stromzufuhr (Pumpen) und in einer 2. Gleichung analog den Zuwachs von Photonen durch spontane und induzierte Emission und den Verlust durch induzierte Absorption, durch Dämpfung und durch Abstrahlung, die zu Nutzlicht führt. Die Bilanzgleichungen sind Grundlage des genaueren Modells in Kap. 2.

## 1.2 Kennlinien von Modell 1

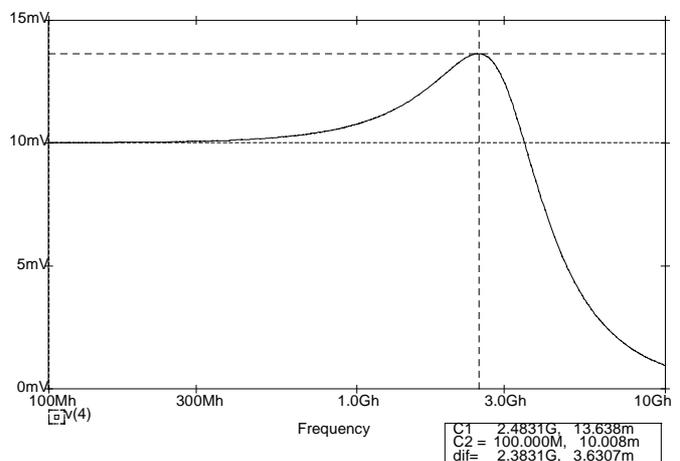
Die Lösung der Bilanzgleichungen im Halbleiter führt für  $d/dt=0$  auf die DC-Licht-Strom-Knickkennlinie nach Bild L.2a. Man erhält diese Kurven durch den in Tab. L.1 angegebenen DC-Analysebefehl, der einem Software-Kennlinienschreiber entspricht.

Der Knick in der Kennlinie beschreibt den Umstand, daß erst dann eine merkliche Emission entsteht, wenn die Diode in Flußrichtung kommt. Bei Temperaturerhöhung verschiebt sich nun in der Praxis die Knickkennlinie nach rechts, der Schwellstrom  $I_{schw}$  des Lasers steigt, und die abgestrahlte Leistung sinkt. Um den Wert der optischen Leistung festzustellen, mißt man den Monitorphotostrom, der nach Bild L.2a genau der DC-Licht-Strom-Kennlinie folgt. Dieser Strom dient in einer Regelschleife als Istwert der optischen Ausgangsleistung, die dann auf einen vorgegebenen Sollwert eingeregelt wird. Bei einem Sollwert von 10 mW ist nach Bild L.2a ein DC-Laserstrom von 40mA notwendig. Eine praktische Regelschleife wird in Kap. 3 besprochen.

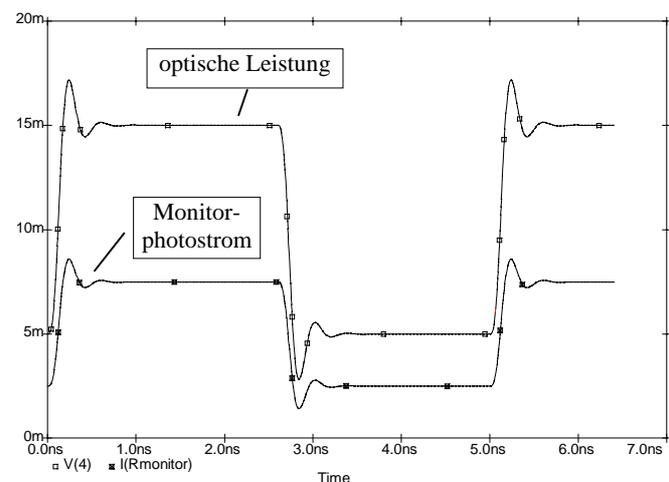
Bild L.2b zeigt das Kleinsignal-HF-Verhalten. Hier ist um den Arbeitspunkt  $I_{LaserDC} = 40$  mA entsprechend  $P_{opt DC} = 10$  mW der Betrag des Phasors  $\underline{P}_{opt}$  der optischen Leistung für eine Aussteuerung  $|I_{Laser}| = 20$  mA wiedergegeben. Die statische Kennlinie liefert nach Bild L.2a für 20 mA Aussteuerung eine optische Aussteuerung von 10 mW. Dieses Ergebnis bestätigt die Kleinsignalanalyse nach Bild L.2b für  $\omega=0$ . Durch die Schwingkreischarakteristik wird der Wert in der Nähe der Laserresonanzfrequenz  $f_r$  überhöht. Das Maximum liegt aber nicht genau bei  $f_r$ . Bild L.2c zeigt den optischen Impuls für ein Datenwort. Wenn man aber in die Nähe des Knies kommt, versagt Modell 1, und man muß das nachfolgende Modell 2 nehmen.



**Bild L.2a** DC-Licht-Strom-Kennlinie des Lasermodells nach Bild L.1 :  $I_{schw} = 20$  mA; Steigung:  $EFF=10$  mW/20 mA sowie Monitorphotostrom (1m = 1mA)



**Bild L.2b** AC-Kleinsignalverhalten am Ausgang OPT in Bild L.1 am Arbeitspunkt 10 mW (40 mA.) mit  $I_{AC} = 20$  mA Aussteuerung ; 10 mV entspr. 10 mW optischer Leistung



**Bild L.2c** Genähertes Großsignal-Einschwingverhalten: Optischer Ausgangsimpulsverlauf bei 4 = OPT (1m = 1 mW) und Monitorphotostrom (1m = 1mA) in Bild L.1 für ein Datenwort mit einem Laserstrom von Low=30 mA und High=50 mA