Równania kinetyczne lasera półprzewodnikowego

1. wprowadźmy niezbędne stałe fizyczne i parametry lasera:

$e := 1.602 \cdot 10^{-19} \cdot coul$ $\quad ns := 10^{-9} \cdot sec$ $\quad ps := 10^{-12} \cdot sec$ $\quad \mu m := 10^{-6} \cdot m$

Parametry obszaru wzbudzonego:

Różniczkowy współczynnik wzmocnienia: $\left(\frac{d}{dN}\gamma\right)$ $\quad A := 1 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{cm^3}{sec}$

Gęstość nośników odpowiadająca zerowemu wzmocnieniu (*transparency carrier density*) $\quad N_{tr} := 4.5 \cdot 10^{18} \cdot cm^{-3}$

Współczynnik nakrywania modu promieniowania i obszaru wzbudzonego (*confinement factor*) $\quad \Gamma := 0.9$

Charakterystyczny czas rekombinacji spontanicznej $\quad \tau_R := 3 \cdot ns$

Współczynnik opisujący ułamek wszystkich rekombinujących spontanicznie par nośników generujący fotony w kierunku modu akcji laserowej $\quad b := 0.1$

Grubośc obszaru wzbudzonego: $\quad d := 0.25 \cdot \mu m$

Parametry rezonatora:

Czas życia fotonu we wnęce: $\quad \tau_p := 20 \cdot ps$

Powierzchnia przekroju złącza: $\quad S := 5 \cdot \mu m \cdot 200 \cdot \mu m$

2. Zbadajmy **rozwiązania stacjonarne** dla tego lasera:

możemy obliczyć gęstość prądu odpowiadającą zerowemu wzmocnieniu

$J_{tr} := N_{tr} \cdot \frac{e \cdot d}{\tau_R}$ $\quad J_{tr} = 6.007 \frac{kA}{cm^2}$ $\quad I_{tr} := J_{tr} \cdot S$ $\quad I_{tr} = 60.075\,mA$

Poszukajmy rozwiązań dla prądu z przedziału 40..100 mA

$k := 0..50$ $\quad J_k := \left(4 + 6 \cdot \frac{k}{50}\right) \cdot \frac{kA}{cm^2}$ $\quad I_k := J_k \cdot S$

Układ kinetycznych równań stacjonarnych rozwiążemy numerycznie dla powyższych prądów z wartościami początkowymi:

$$N := 10^{18}\cdot cm^{-3} \qquad P := 10^{15}\cdot cm^{-3}$$

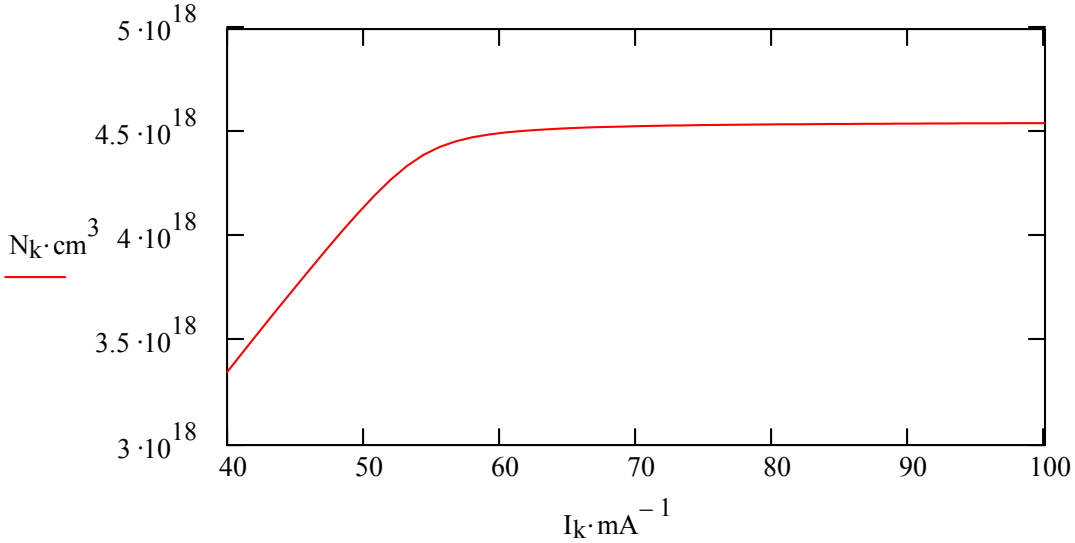
Given

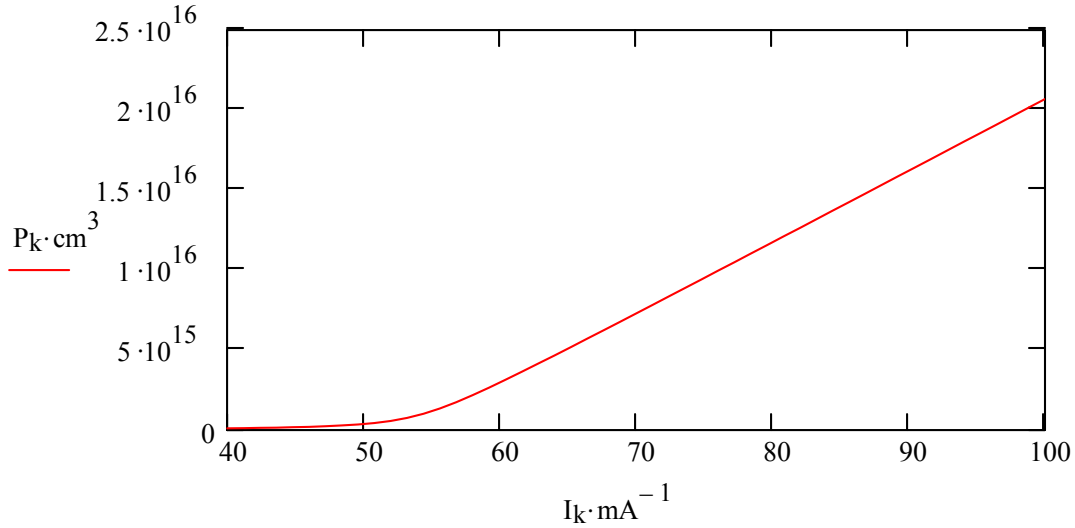
$$0 = \frac{J}{e\cdot d} - \frac{N}{\tau_R} - A\cdot\left(N - N_{tr}\right)\cdot P$$

$$0 = \Gamma\cdot A\cdot\left(N - N_{tr}\right)\cdot P + b\cdot\frac{N}{\tau_R} - \frac{P}{\tau_p}$$

$$Wynik(J) := Minerr(N, P)$$

$$wy_k := Wynik\left(J_k\right) \qquad N_k := \left(wy_k\right)_{0,0} \qquad P_k := \left(wy_k\right)_{1,0}$$





Rozwiązania dynamiczne - analiza funkcji F(ω)

zbadajmy odpowiedź gęstości fotonów P na modulację prądem o częstości z przedziału:

$f_{min} := 10 \cdot MHz$ do $f_{max} := 10^5 \cdot MHz$

czyli $\omega_{min} := 2 \cdot \pi \cdot f_{min}$ $\omega_{max} := 2 \cdot \pi \cdot f_{max}$ $f(\omega) := \frac{\omega}{2 \cdot \pi}$

Badana funkcja ma postać:

$$F(\omega, \alpha, \tau_p) := \frac{\frac{\alpha}{\tau_p}}{\left(\frac{\alpha}{\tau_p} - \omega^2\right) + i \cdot \omega \cdot \alpha}$$

gdzie: $\alpha(J) := A \cdot \left[\frac{\Gamma \cdot \tau_p}{e \cdot d} \cdot (J - J_{tr})\right]$

przykladowo: $\alpha\left(10 \cdot \frac{kA}{cm^2}\right) = 1.794 \times 10^{10} sec^{-1}$

Obliczymy F dla serii 100 wartości ω:

$P := 100$ $p := 0 .. P$

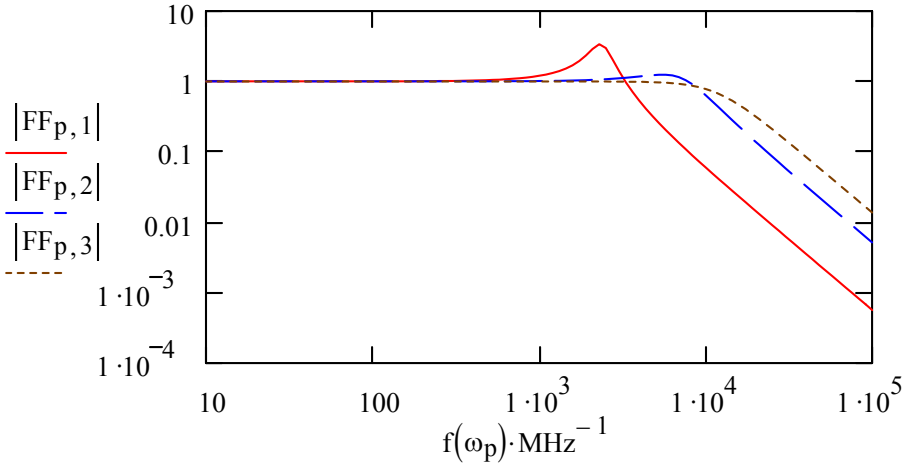
$$\omega_p := 10^{\left(\log(\omega_{min} \cdot sec) + \frac{p}{P} \cdot \log\left(\frac{\omega_{max}}{\omega_{min}}\right)\right)} \cdot \frac{1}{sec}$$

oraz 3 wartości prądu podkładu J $q := 1 .. 3$

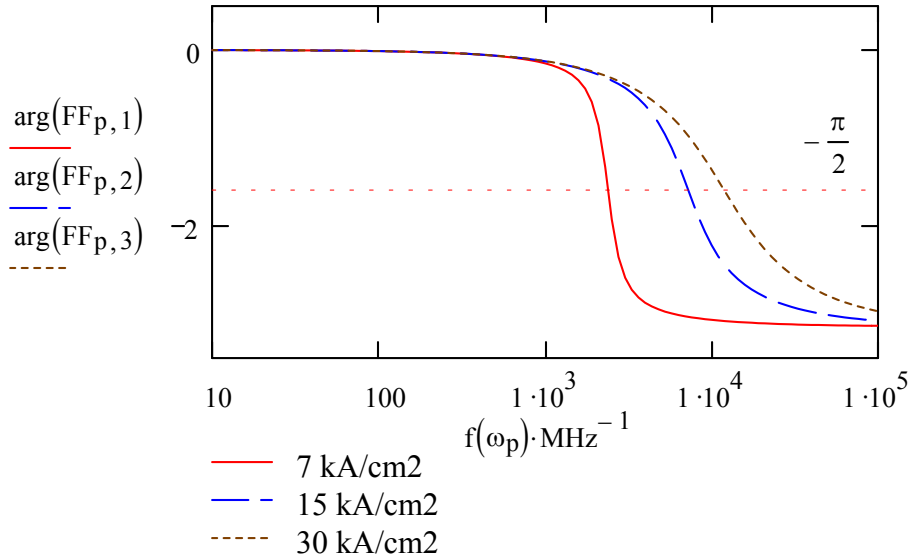
$J_1 := 7 \cdot \frac{kA}{cm^2}$ $J_2 := 15 \cdot \frac{kA}{cm^2}$ $J_3 := 30 \cdot \frac{kA}{cm^2}$

$FF_{p,q} := F(\omega_p, \alpha(J_q), \tau_p)$ $\tau_p = 20 ps$

Zbadajmy jak F zależy od **prądu podkładu J**



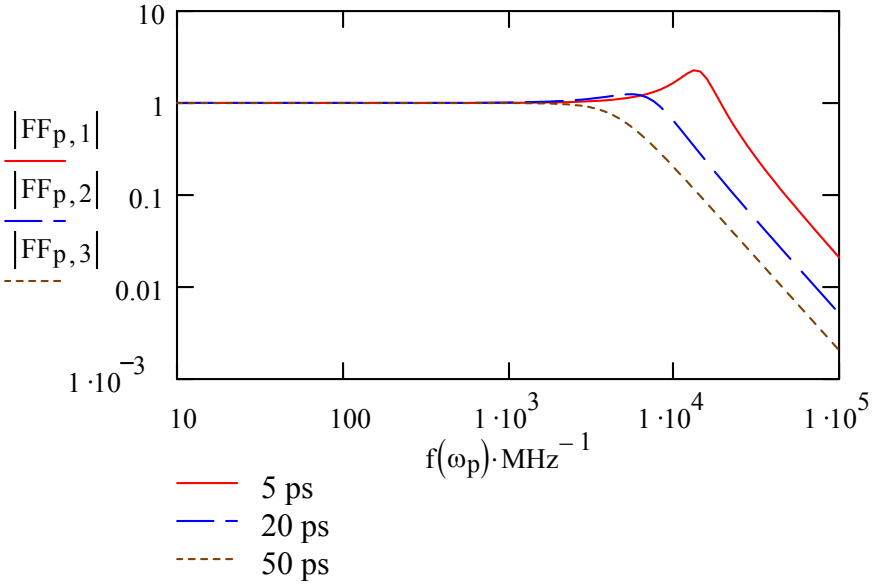
moduł funkcji zespolonej F - natężenie promieniowania



argument funkcji zespolonej F - faza wzgl. prądu

Teraz zbadajmy jak F zależy od **czasu życia fotonów we wnęce:**

$\tau_{p_1} := 5 \cdot ps \qquad \tau_{p_2} := 20 \cdot ps \qquad \tau_{p_3} := 50 \cdot ps \qquad FF_{p,q} := F\left(\omega_p, \alpha\left(15 \cdot \frac{kA}{cm^2}\right), \tau_{p_q}\right)$



moduł funkcji zespolonej F - natężenie promieniowania