

PHOTODETECTOR NOISE

Ref : Keiser

Noise Detektor Foto

$$\frac{S}{N} = \frac{\text{Daya sinyal dr arus foto}}{\text{Daya noise detektor foto + daya noise penguat}}$$

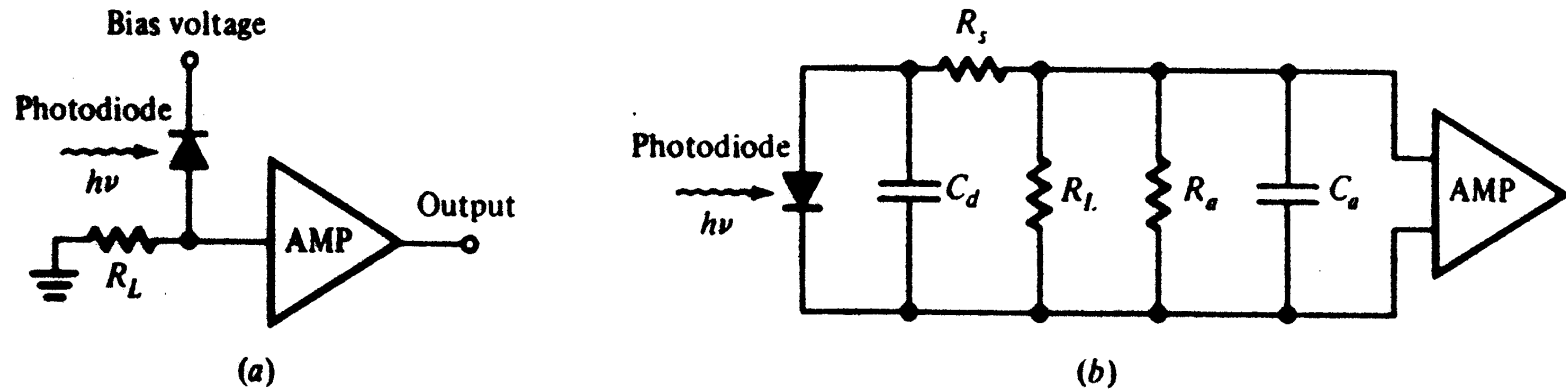
Sumber noise di penerima meningkat dr noise detektor foto akibat dr sifat alami proses konversi photon-elektron dan noise termal di sirkit penguat.

Utk mendapatkan S/N tinggi :

- (a) Detektor foto harus memiliki efisiensi kuantum yg tinggi utk membangkitkan sinyal besar.
- (b) Noise detektor foto dan penguat harus sekecil mungkin.

Sensitivitas detektor foto : daya optis minimal yg dpt dideteksi.

Sumber Noise



(a) Model sederhana penerima detektor foto.

(b) Sirkit ekivalen

R_s : tahanan seri kecil ($R_s \ll R_L$) \rightarrow dlm praktek diabaikan

C_d : kapasitansi total (junction + wadah)

R_L : tahanan bias atau beban

C_a : kapasitansi input penguat

R_a : tahanan input penguat

Arus foto primer dibangkitkan :

$$i_{ph}(t) = \frac{\eta q}{hf} P(t)$$

P(t) : Daya optis sinyal bermodulasi

Arus foto primer terdiri dr arus dc I_p , arus foto rata2 berasal dr daya sinyal dan komponen sinyal $i_p(t)$.

Utk dioda pin arus sinyal mean square :

$$\langle i_s^2 \rangle = \langle i_p^2(t) \rangle$$

Utk dioda avalanche arus sinyal mean square :

$$\langle i_s^2 \rangle = \langle i_p^2(t) \rangle M^2$$

Utk sinyal input bervariasi sinusoidal dgn indeks modulasi m , komponen sinyal :

$$\langle i_p^2(t) \rangle = \frac{m^2}{2} I_p^2$$

m : indeks modulasi

Noise detektor foto tanpa internal gain :

- (a) Quantum/shot noise → sifat alami statistik**
- (b) Dark current → tdk ada cahaya datang**
- (c) Surface leakage current → kerusakan permukaan**

Arus noise kuantum mean square :

$$\langle i_Q^2 \rangle = 2qI_p BM^2 F(M)$$

B : Lebar pita

F(M) : noise figure

F(M) = M^x , 0 ≤ x ≤ 1,0, tergantung bahan

Detektor pin → M = 1, → F(M) = 1

Arus bulk dark mean square :

$$\langle i_{DB}^2 \rangle = 2qI_D BM^2 F(M)$$

I_D : arus bulk dark detektor primer (tanpa perkalian)

Surface leakage current (surface dark current) mean square:

$$\langle i_{DS}^2 \rangle = 2qI_L B$$

I_L : arus bocor permukaan

Arus noise detektor foto total mean square :

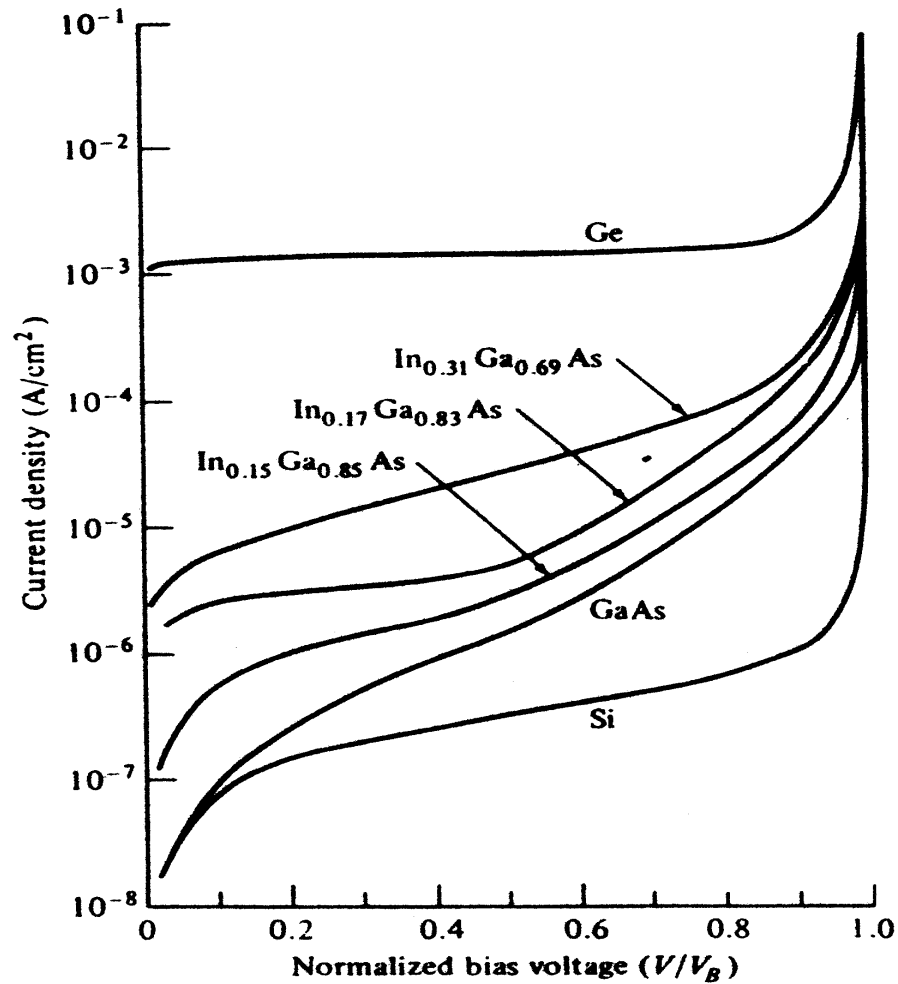
$$\langle i_N^2 \rangle = \langle i_Q^2 \rangle + \langle i_{DB}^2 \rangle + \langle i_{DS}^2 \rangle$$

$$\langle i_N^2 \rangle = 2q(I_P + I_D)BM^2 F(M) + 2qI_L B$$

Utk penyederhanaan $R_a \gg R_L \rightarrow$ kontribusi tahanan beban detektor foto :

$$\langle i_T^2 \rangle = \frac{4k_B T}{R_L} B$$

k_B : konstanta Boltzman



Perbandingan arus dark dioda foto Si, Ge, GaAs dan InGaAs sbg fungsi normalisasi teg bias.

Perbandingan sinyal thd noise

$$\frac{S}{N} = \frac{\langle i_p^2(t) \rangle M^2}{2q(I_P + I_D)BM^2F(M) + 2qI_L B + 4k_B T B / R_L}$$

Pin → noise termal dominan

APD → noise detektor dominan

F(M) : fungsi M, **S** : fungsi M², noise kuantum dan arus dark :
 fungsi M²F(M) → ada harga S/N optimum.

M optimum :

$$M_{opt}^{x+2} = \frac{2qI_L + 4k_B T / R_L}{xq(I_P + I_D)}$$

Contoh

Dioda foto pin GaAs memiliki parameter pd panj gel 1300 nm :

$I_D = 4 \text{ nA}$, $\eta = 0,65$, $R_L = 1000 \text{ Ohm}$ dan I_L diabaikan.

Daya optis datang 300 nW, lebar pita penerima 20 MHz, $T = 300^\circ \text{ K}$.

Hitunglah :

- (a) Arus foto primer
- (b) Noise² di penerima.
- (c) S/N jika $m = 0,8$

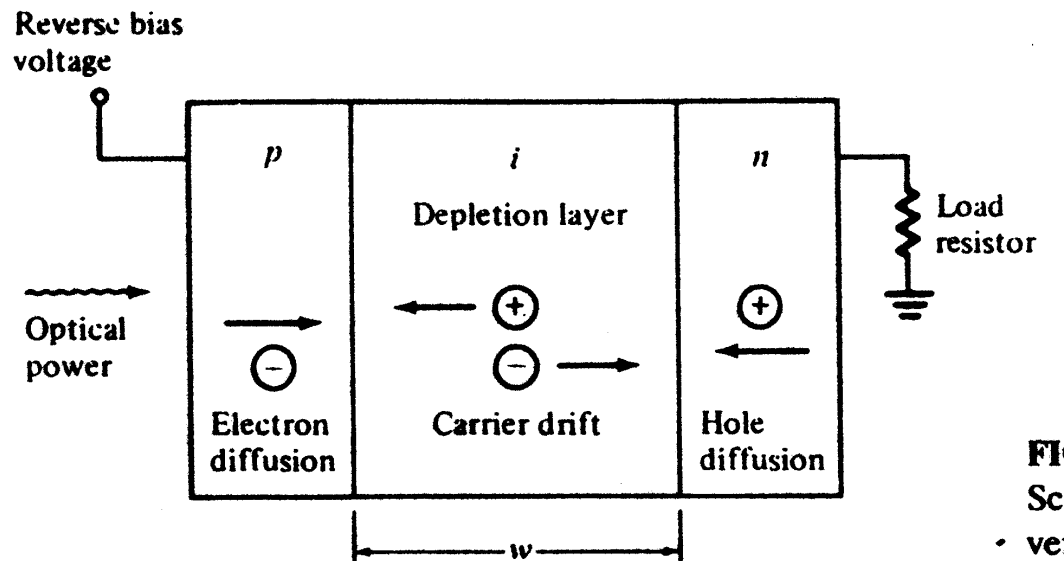
APD dgn parameter tsb, utk $x = 0,5$

Hitunglah :

- (a) M_{opt}
- (b) Arus (foto primer) multiplikasi
- (c) Noise² di penerima
- (d) S/N_{maks}

Waktu Respon Detektor

Depletion layer photocurrent



Skema tegangan mundur dioda foto pin

Kondisi steady state rapat arus total mengalir melalui lapisan deplesi tegangan mundur :

$$J_{tot} = J_{dr} + J_{diff}$$

J_{dr} : rapat arus drift dihasilkan oleh carrier yg dibangkitkan dlm daerah deplesi

J_{diff} : rapat arus difusi timbul dr carrier yg dihasilkan diluar daerah deplesi dlm semikonduktor (daerah n dan p) dan berdifusi kedalam junction teg mundur.

Rapat arus drift :

$$J_{dr} = \frac{I_p}{A} = q\phi_0(1 - e^{-\alpha_s w})$$

$$\phi_0 = \frac{P_0(1 - R_f)}{Ahf}$$

A : luas dioda foto

Φ_0 : photon flux datang per satuan luas

Permukaan lapisan p dioda foto pin umumnya tipis.

Arus difusi akan ditentukan oleh difusi hole dr bulk daerah n.

Difusi hole dapat dihitung dr :

$$D_p \frac{\partial^2 P_n}{\partial x^2} - \frac{P_n - P_{n0}}{\tau_p} + G(x) = 0$$

$$G(x) = \phi_0 \alpha_s e^{-\alpha_s x}$$

D_p : koefisien difusi

P_n : konsentrasi hole di bahan tipe-n

t_p : excess hole life time

P_{n0} : rapat hole kondisi seimbang/equilibrium

$G(x)$: laju pembangkitan elektron-hole

Shg rapat arus difusi :

$$J_{diff} = q\phi_0 \frac{\alpha_s L_p}{1 + \alpha_s L_p} e^{-\alpha_s w} + qp_{n0} \frac{D_p}{L_p}$$

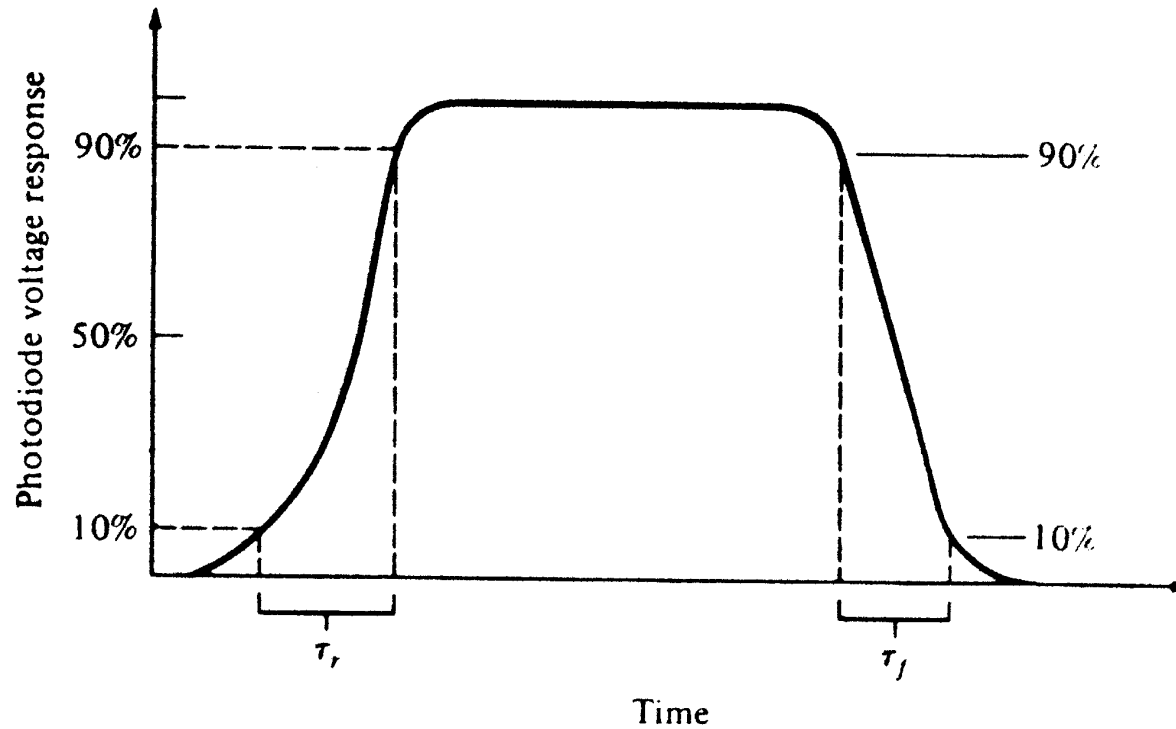
Rapat arus total mengalir melalui lapisan deplesi tegangan mundur :

$$J_{tot} = q\phi_0 \left(1 - \frac{e^{-\alpha_s w}}{1 + \alpha_s L_p} \right) + qp_{n0} \frac{D_p}{L_p}$$

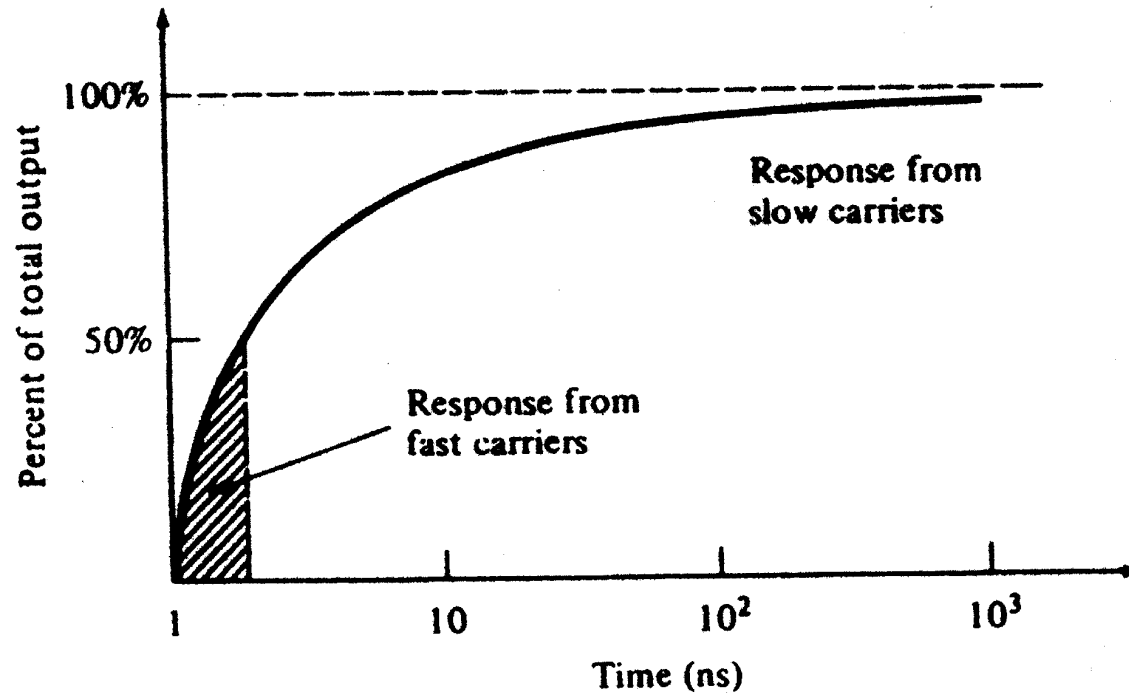
P_{n0} umumnya kecil shg arus foto yg dibangkitkan total sebanding dgn photon flux Φ_0

Waktu Respon

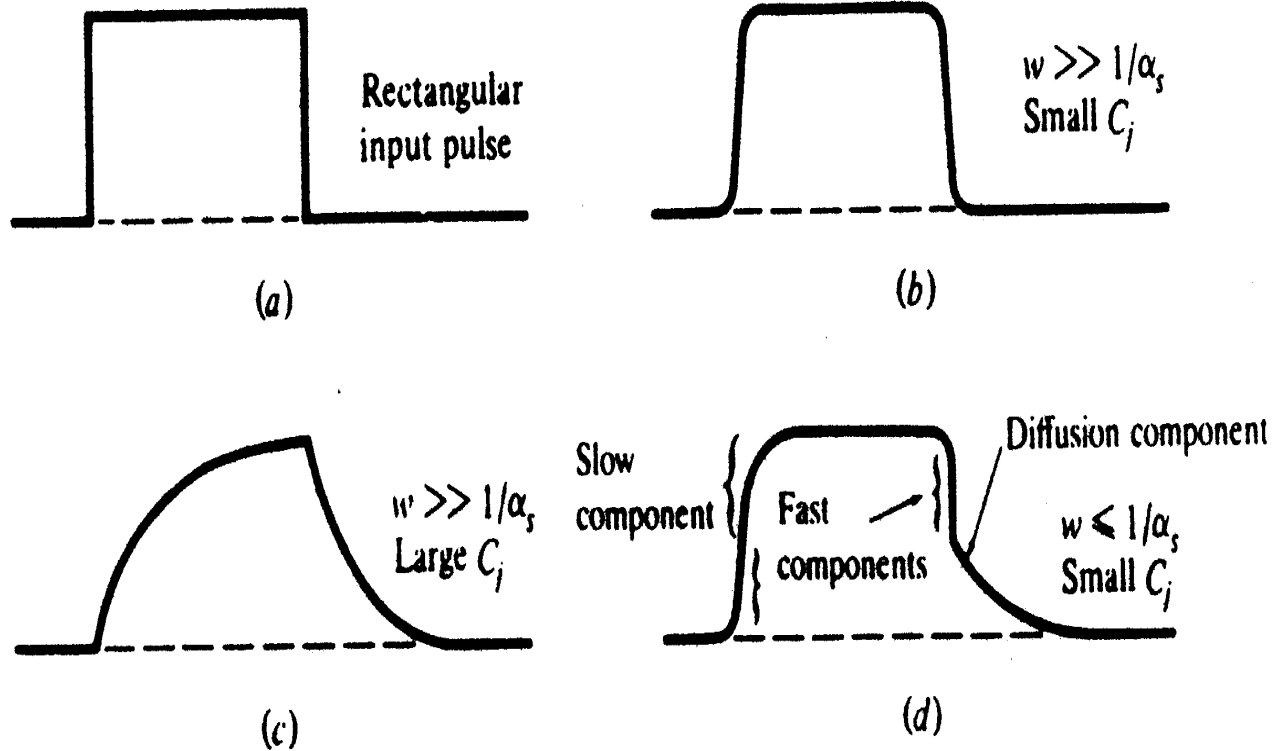
- Faktor waktu respon dioda foto :
 - Waktu transit carrier foto di daerah deplesi
 - Waktu difusi carrier foto yg dibangkitkan diluar daerah deplesi
 - Konstanta waktu RC dioda foto dan sirkit yg berkaitan
- Parameter yg berpengaruh thd faktor tsb :
 - Koefisien absorpsi α_s
 - Lebar daerah deplesi w
 - Kapasitansi junction dan dioda foto
 - Kapasitansi penguat
 - Tahanan beban detektor
 - Tahanan masukan penguat
 - Tahanan seri penguat



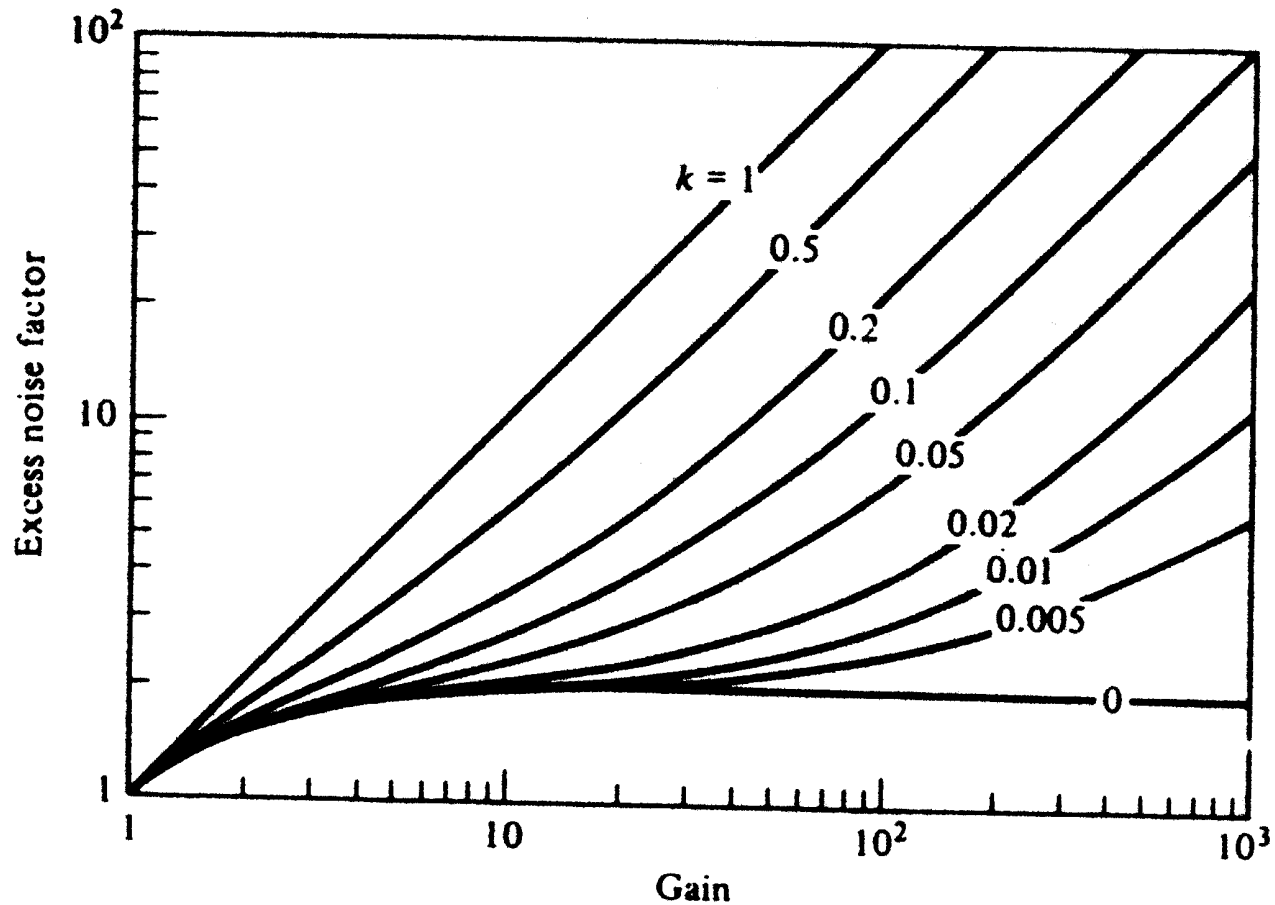
Respon dioda foto thd pulsa masukan optis



Waktu respon suatu dioda foto yg tidak didepleksi penuh



Respon pulsa dioda foto dr berbagai parameter detektor



Variasi faktor noise electron excess sbg fungsi dr penguatan elektron utk berbagai harga perbandingan laju ionisasi efektif k_{eff}

Pengaruh Suhu pd Penguatan APD

Mekanisme penguatan APD sangat sensitif thd suhu krn ketergantungan laju ionisasi elektron dan hole.

Ketergantungan tsb sangat kritis pd teg bias tinggi.

$$M = \frac{1}{1 - (V / V_B)^n}$$

$$V = V_a - I_M R_M$$

$$V_B(T) = V_B(T_0)[1 + a(T - T_0)]$$

$$n(T) = n(T_0)[1 + b(T - T_0)]$$

V_B : Teg breakdown saat M menjadi tak hingga

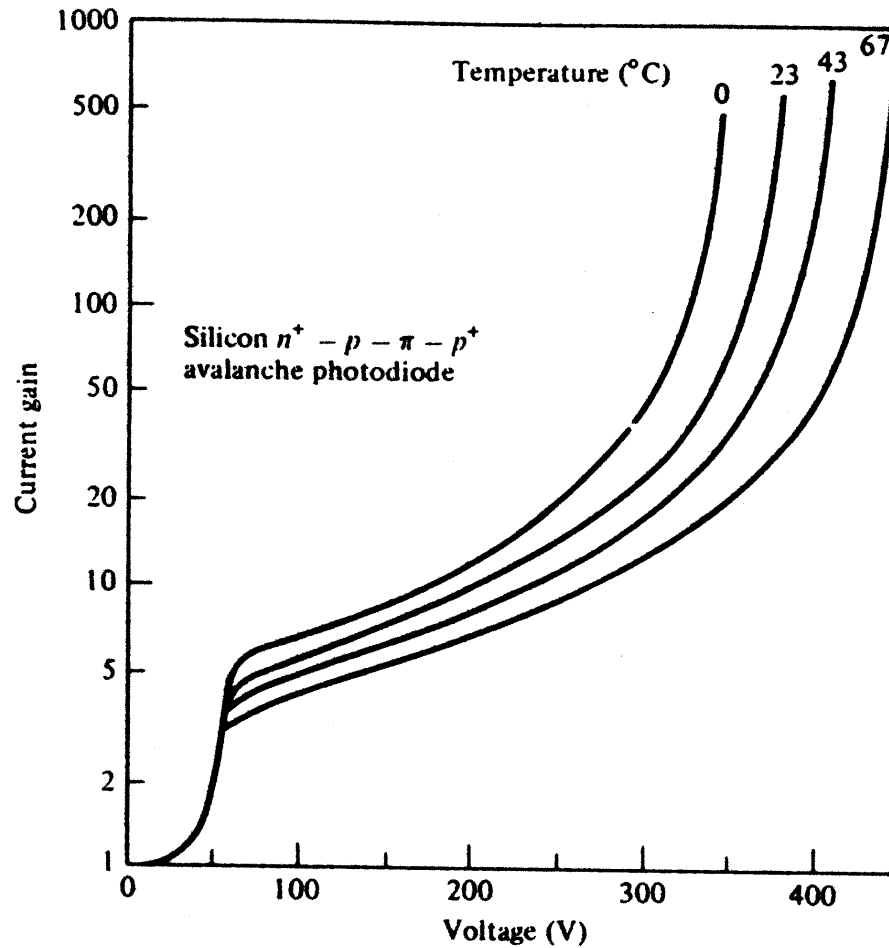
n : tgt material, nilai 2,5 – 7

V_a : teg bias mundur detektor

I_M : arus foto multiplied

R_M : tahanan seri foto dioda dan beban detektor

a, b : konstanta, positif utk RAPD dan ditentukan dr grafik percobaan penguatan thd suhu.



Pengaruh suhu terhadap penguatan APD silikon pd 825 nm