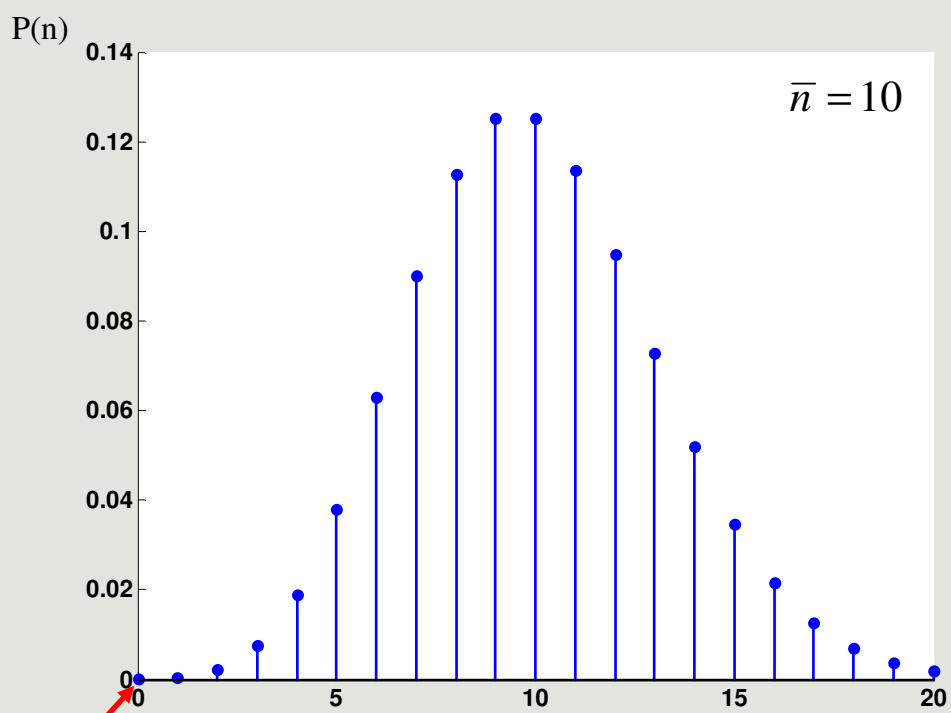
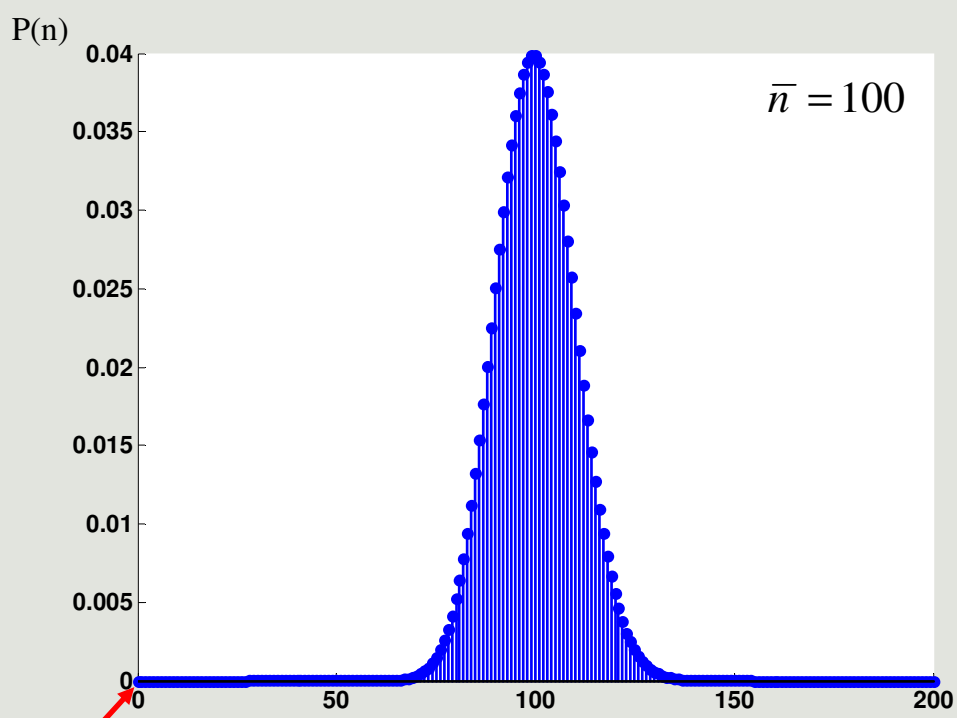


Założmy:

- idealny detektor (spr. kwantowa 100%, brak prądu ciemnego, brak szumu termicznego)
- całkowite wyłączenie nadajnika dla „0”
- reguła decyzyjna: detekcja co najmniej 1 fotonu → „1”

Ilość fotonów zliczoną w przedziale T określa rozkład Poissona:

$$P(n) = e^{-\bar{n}} \frac{\bar{n}^n}{n!}$$



liczymy BER:

$$P(n) = e^{-\bar{n}} \frac{\bar{n}^n}{n!}$$

$$P("1"/"0") = 0$$

$$P("0"/"1") = P(n=0) = e^{-\bar{n}}$$

$$BER = \frac{1}{2} e^{-\bar{n}}$$

$$BER < 10^{-9} \Rightarrow \bar{n} > 20$$

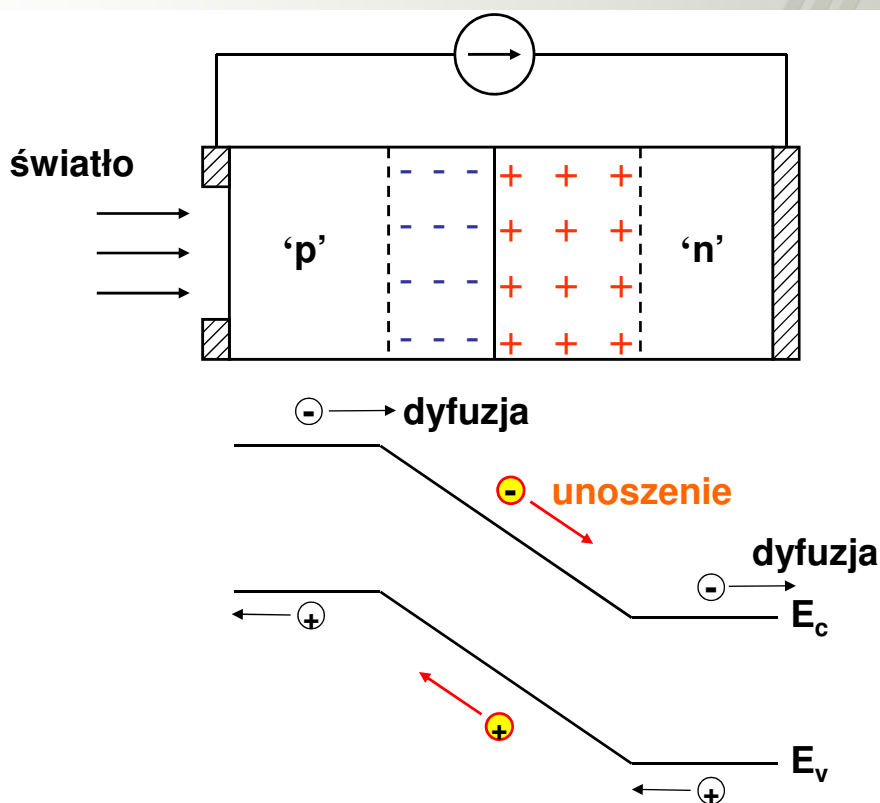
średnia moc na wejściu odbiornika: $\frac{1/2 * 20 * h\nu}{T}$

Np. dla $\lambda=1,55\mu\text{m}$, $T=1\text{ns}$: $P_{\lambda\text{min}} = 1,3 \text{ nW}$

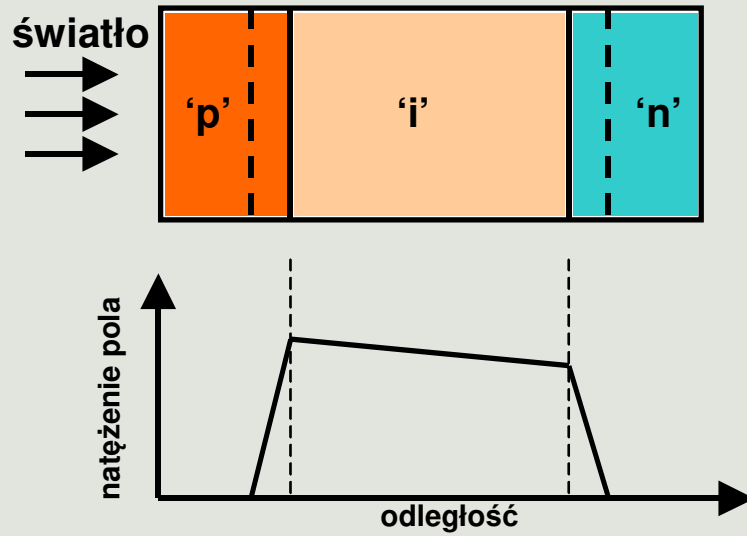


Układy odbiorcze

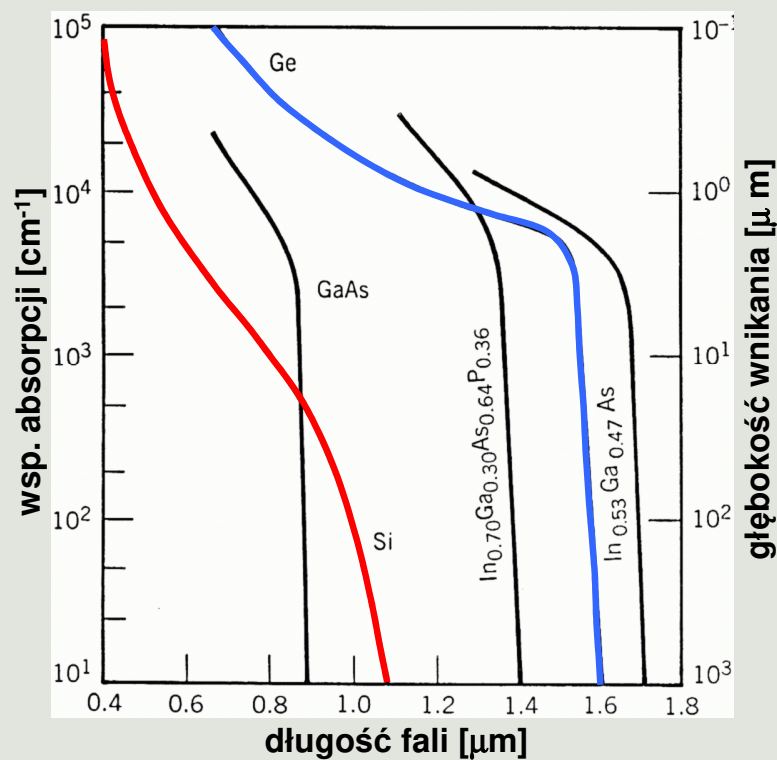
Przypomnienie: fotodioda p-n



Przypomnienie: fotodioda p-i-n

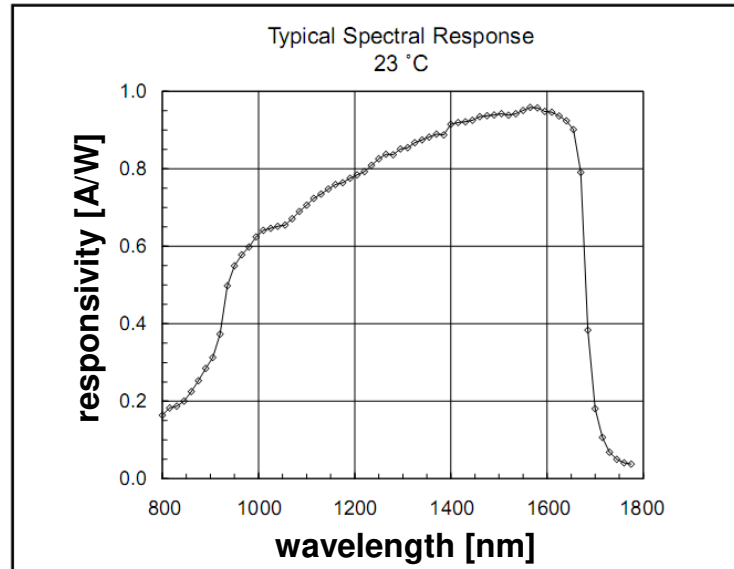


Przypomnienie: fotodioda współczynnik absorpcji, wnikanie

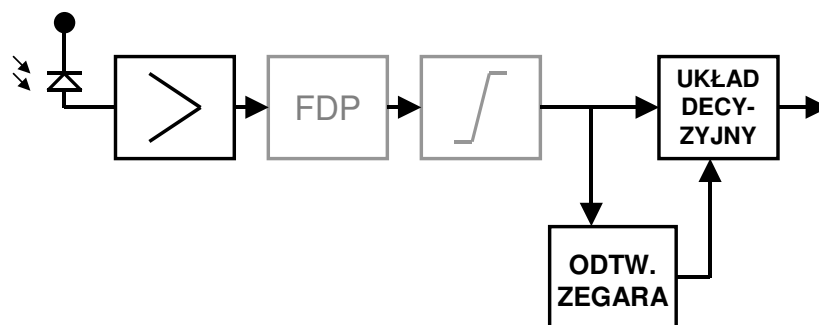


Przypomnienie: fotodioda charakterystyka spektralna

$$R = \frac{I_F}{P_\lambda} = \eta \frac{q}{h} \frac{\lambda_0}{c}$$



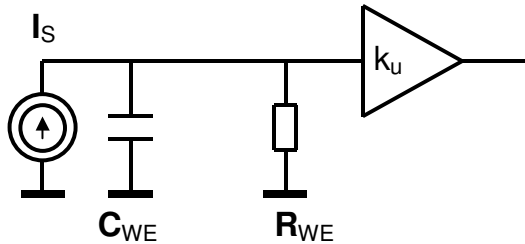
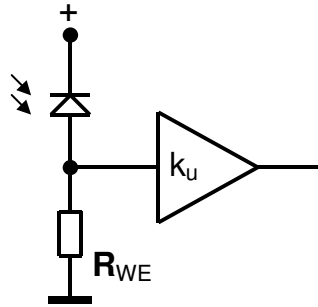
Układy odbiorcze



Wymagania dla układu przedwzmacniacza:

- małe szумы
- odpowiednie (duże) pasmo przenoszenia
- duży zakres dynamiczny

Przedwzmacniacz – podejście „wysokoimpedancyjne”

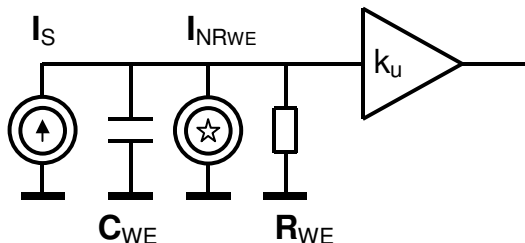
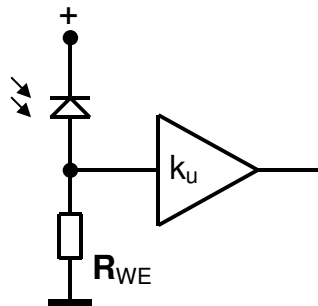


$$\overline{U_N^2} = 4kTBR$$

$$\overline{I_N^2} = \frac{4kTB}{R}$$

???

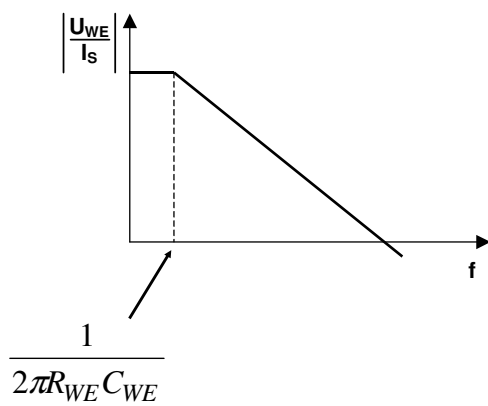
Przedwzmacniacz – podejście „wysokoimpedancyjne”



$$\overline{U_N^2} = 4kTBR$$

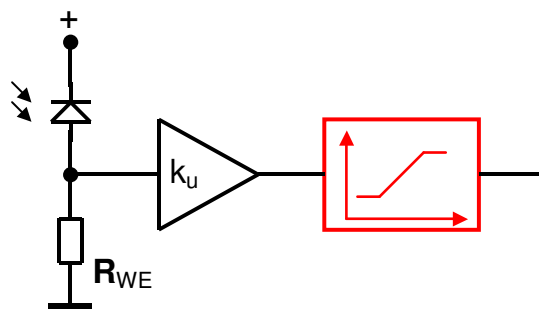
$$\overline{I_N^2} = \frac{4kTB}{R}$$

???

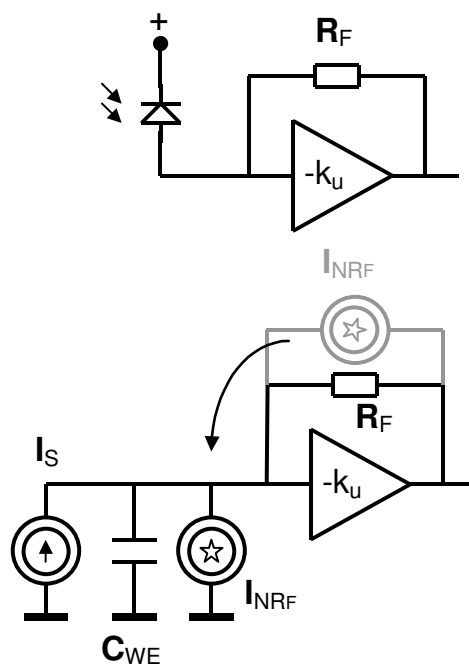


Np. dla C_{WE} 1pF i R_{WE} 1M Ω

$f_g = 160$ kHz ☹️



Przedwzmacniacz – podejście transimpedancyjne



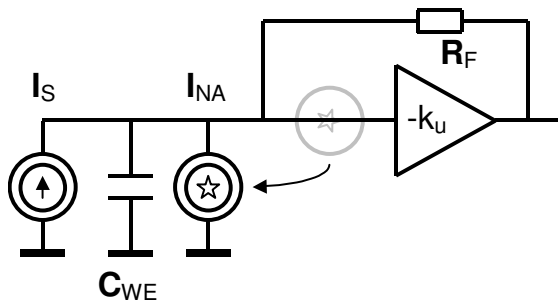
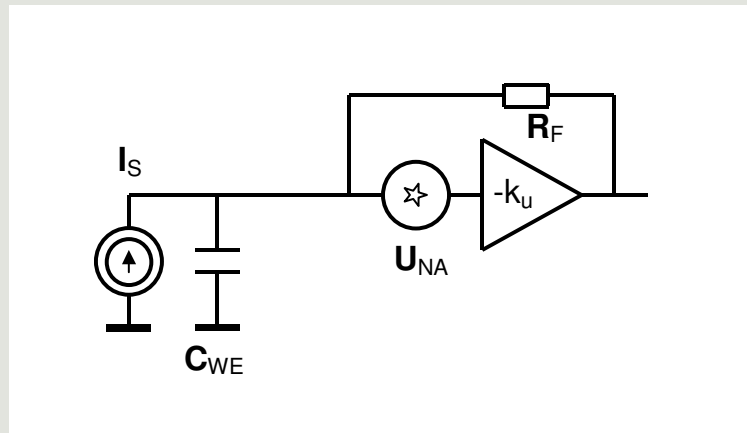
$$r_{WE} \approx \frac{R_F}{k_u}$$

$$\overline{I_N^2} = \frac{4kTB}{R_F}$$

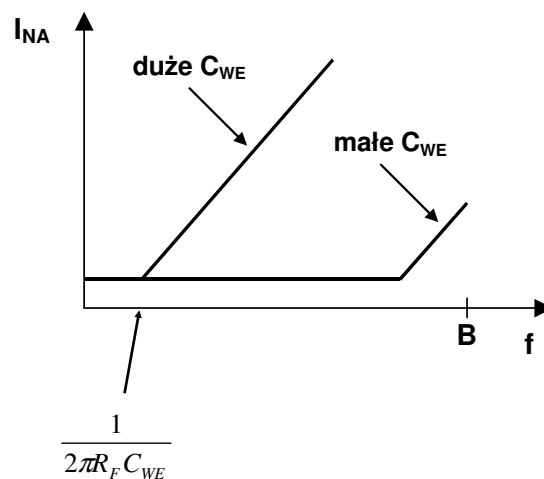
Np. $k_u=100$ i $R_F=10k\Omega \rightarrow r_{we}=100 \Omega$;
 przy $C_{WE}=1pF \rightarrow f_g = 1,6$ GHz ☺️

Zgubny wpływ C_{WE}

- ograniczenie pasma ukł. odbiorczego
- kłopoty ze stabilnością (w konf. transimpedancyjnej)
- zwiększenie szumów układu

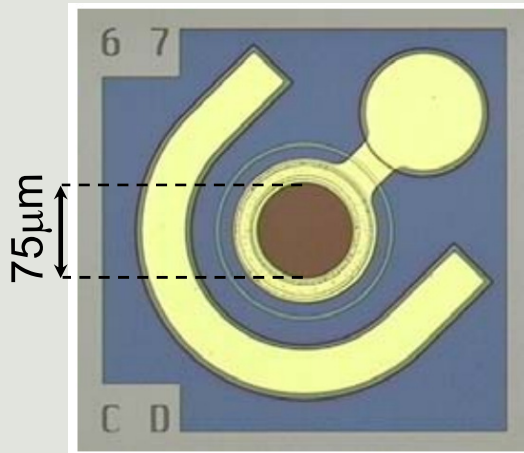


$$I_{NA} = U_{NA} \left(\frac{1}{R_F} + j\omega C_{WE} \right)$$



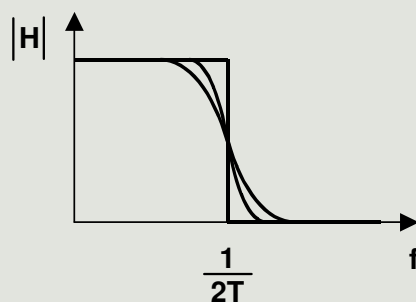
Dlatego:

- mała średnica okna
- polaryzacja wsteczna kilka V (problem przy zasilaniu 3,3V)
- integracja z układem wzmacniacza (redukcja pojemności montażowych)



Pasmo – ile go potrzebujemy?

Podejście „teoretyczne” – kryterium Nquista braku ISI:



+ liniowa faza!!!

Podejście „praktyczne”:

$$B \approx 0.75 \frac{1}{T}$$

Czułość układu odbiorczego

$$BER = 1 \cdot 10^{-9} \text{ wymaga } \frac{S}{N} = 15.6 \text{ dB} \quad (6\times)$$

Przykład 1:

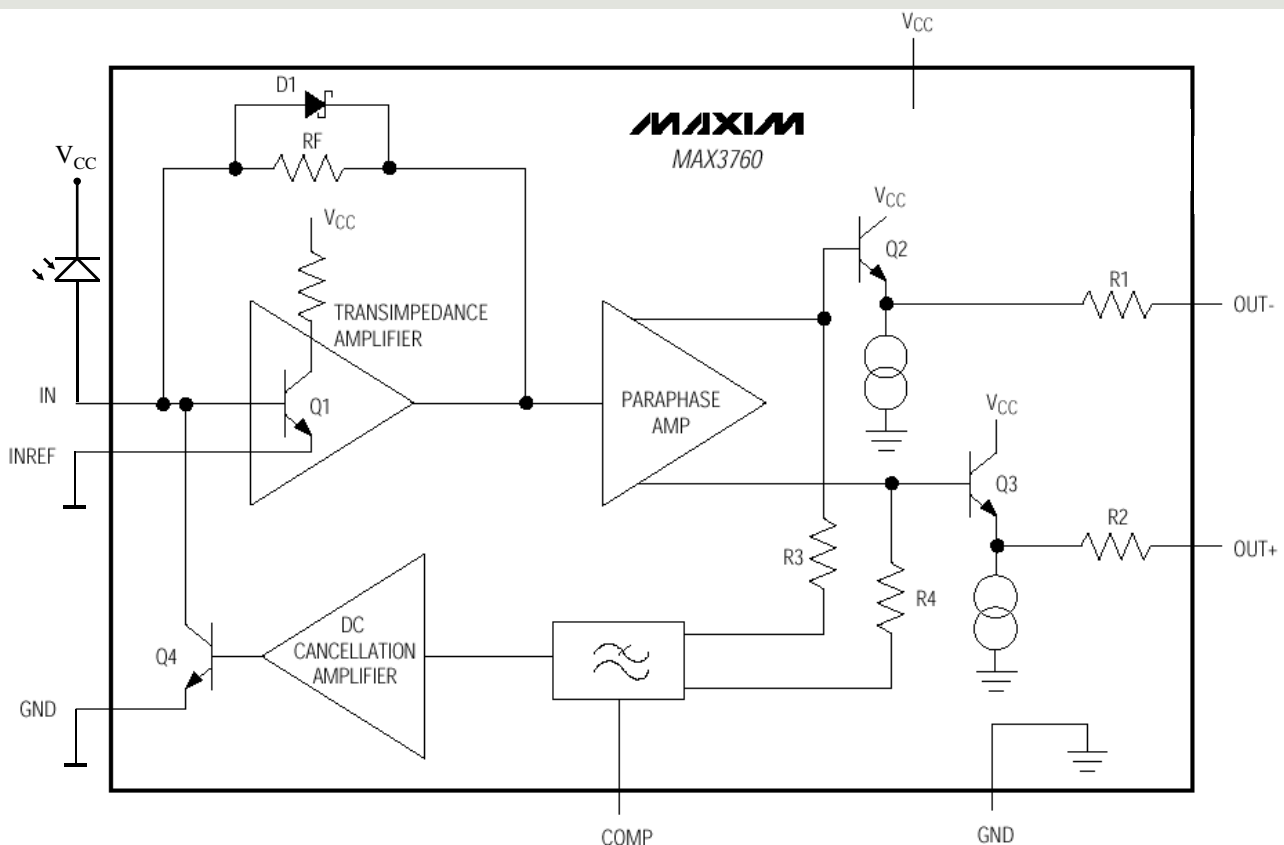
$$I_{NSK} = 70 \text{ nA (MAX3760)} \rightarrow I_{Smin} = 70 \cdot 6 = 420 \text{ nA};$$

jeżeli $R = 0.8 \text{ A/W}$, to $P_{\lambda min} \approx 0.5 \text{ } \mu\text{W(}\acute{s}\text{r)} \approx 1 \text{ } \mu\text{W(pp)}$

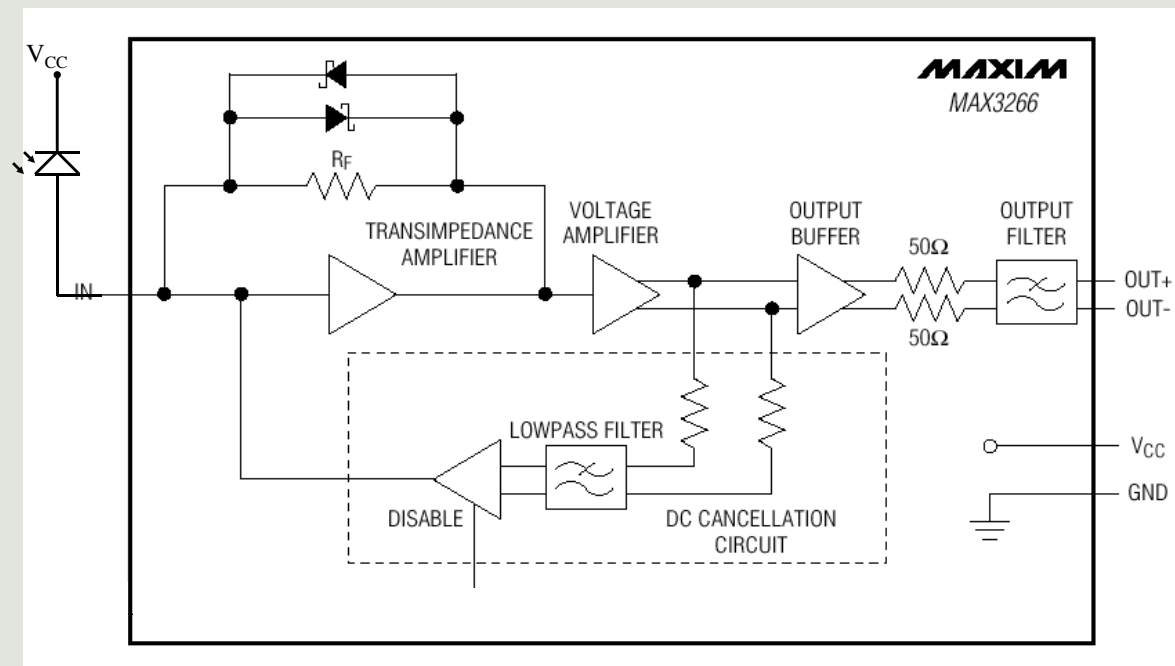
Przykład 2:

$$J_N = 2 \frac{\text{pA}}{\sqrt{\text{Hz}}}, \quad B = 750 \text{ MHz} \rightarrow I_{NSK} = 54 \text{ nA};$$

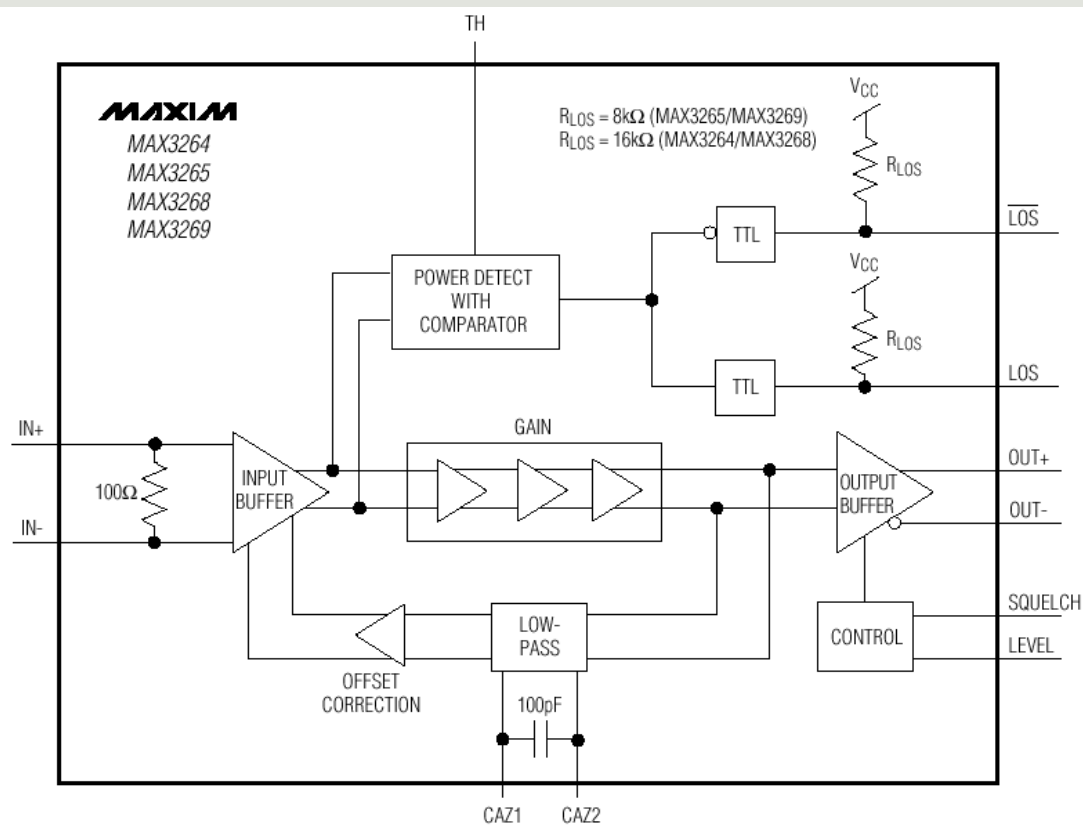
itd...



Scalony wzmacniacz transimpedancyjny MAX3760
(622Mb/s)



*Scalony wzmacniacz transimpedancyjny MAX3266
(1.25Gb/s)*



TOTAL GAIN = 55dB (MAX3264/MAX3268)
TOTAL GAIN = 49dB (MAX3265/MAX3269)

*Scalony wzmacniacz-ogranicznik MAX3264
(2.5Gb/s)*