

# OPTOELEKTRONIKA

Seweryn Lipiński

A209 WNT

[seweryn.lipinski@uwm.edu.pl](mailto:seweryn.lipinski@uwm.edu.pl)

Transoptory

# Izolacja galwaniczna

W sytuacji, gdy coraz więcej urządzeń elektrycznych zawiera elektroniczne sterowanie, transoptory są nieodzownym elementem współczesnej praktyki projektowej.

Transoptory, znane również jako optoizolatory, przenoszą sygnały elektryczne w systemach, w których izolacja galwaniczna między źródłem sygnału a odbiornikiem jest konieczna.

Separacja galwaniczna jest stosowana z powodów:

- bezpieczeństwa,
- eliminacji zakłóceń i sprzężeń wynikających ze wspólnej masy.

# Podstawy

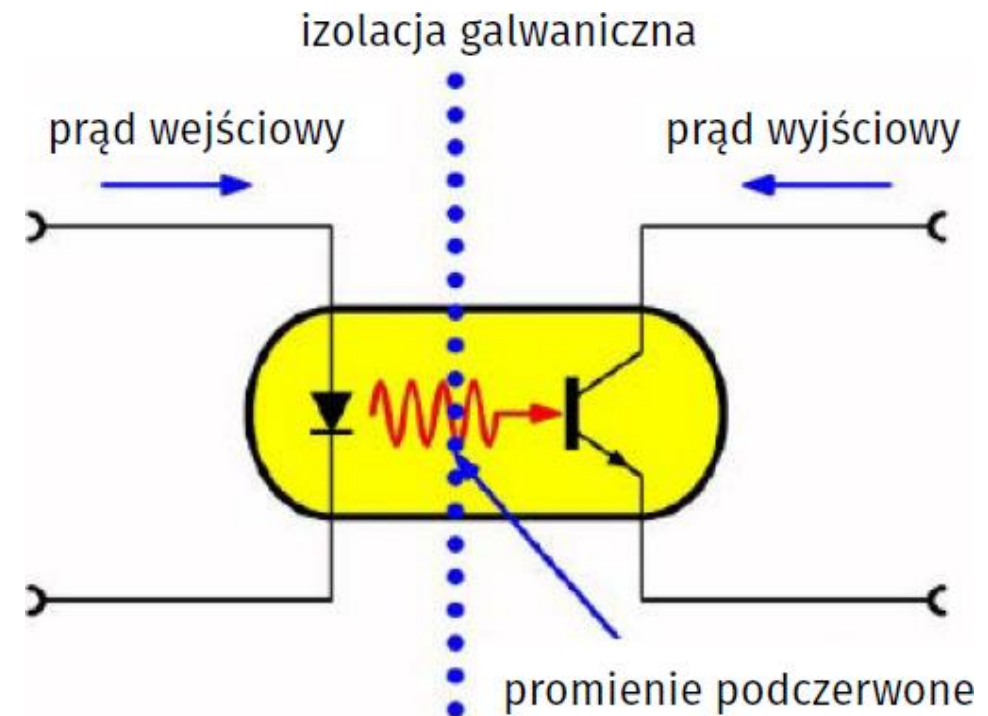
W transoptorach transmisja sygnału odbywa się drogą optyczną.

Po stronie nadawczej sygnał elektryczny jest zamieniany na sygnał optyczny (światło).

W tym celu stosuje się podczerwony LED.

To światło jest przesyłane do detektora, który następnie generuje prąd wyjściowy w zależności od natężenia prądu pierwotnego, płynącego przez diodę LED.

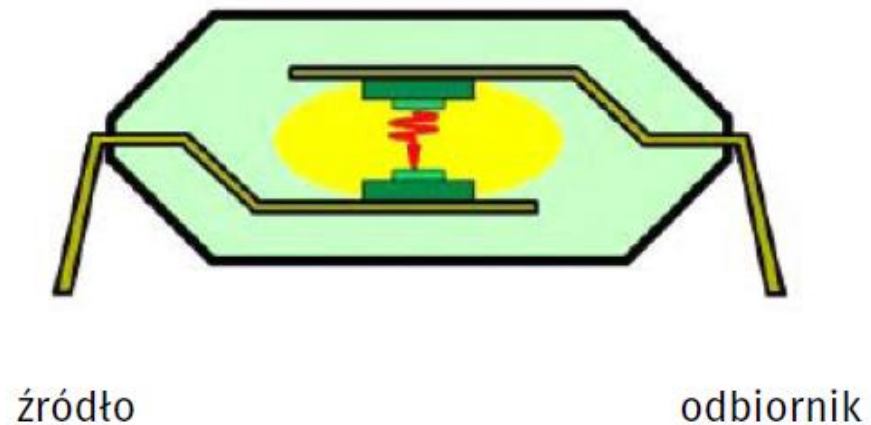
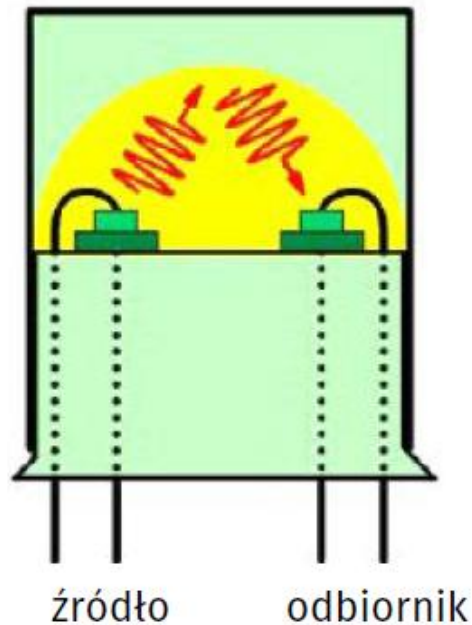
Odbiornikiem może być fototranzystor, fotodioda, fotofet, fototriak lub zintegrowany detektor, który przetwarza sygnał optyczny z powrotem na sygnał elektryczny.



# Rodzaje transoptorów

Istnieją zasadniczo dwa sposoby przekazywania sygnału optycznego:

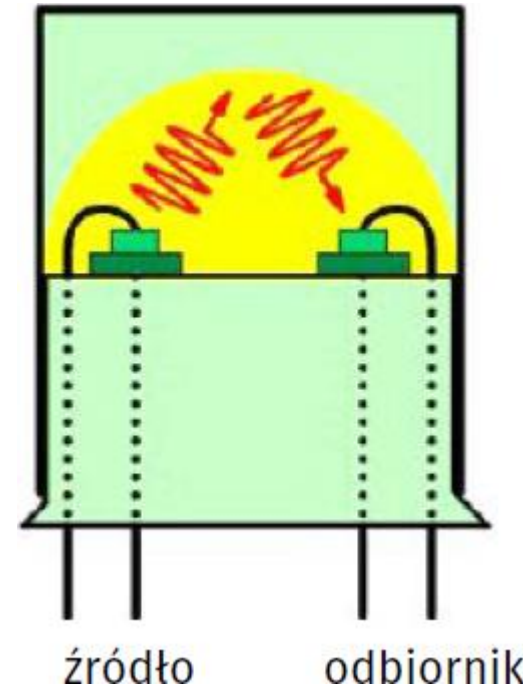
- odbicie,
- bezpośrednio promieniowanie.



## Odbicie

np. CNY18

Promieniowanie podczerwone z diody nie dociera bezpośrednio do fototranzystora, lecz dopiero po odbiciu od powierzchni medium sprzęgającego i częściowo także przez wnętrze obudowy.

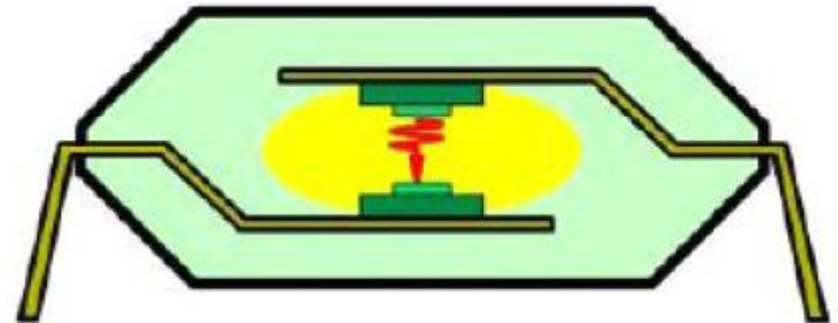
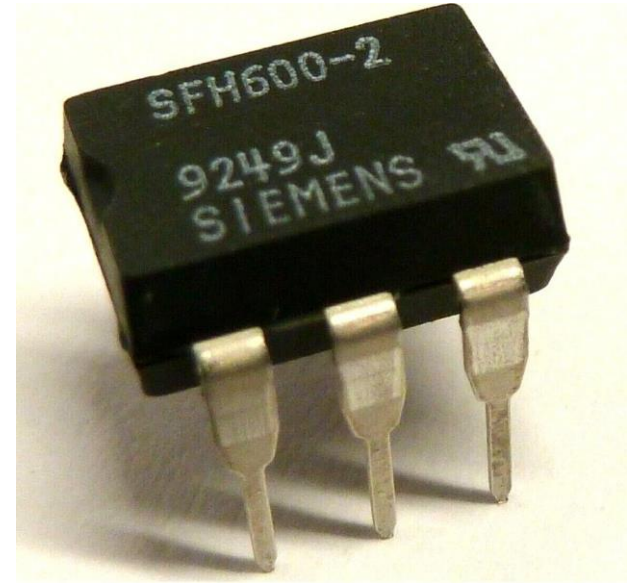


## Promieniowanie bezpośrednie

np. SFH600

W tym przypadku światło podczerwone z diody promieniuje bezpośrednio na fototranzystor poprzez medium przewodzące światło (żywica syntetyczna).

W ten sposób można osiągnąć silne sprzężenia.



źródło

odbiornik

<b>Sprzężenie optyczne</b>	<b>rozproszone</b>	<b>quasi-bezpośrednie</b>
Powtarzalność geometryczna	<b>bardzo dobra</b>	dobra
CTR	umiarkowany	<b>wyższy</b>
Szybkość	nizsza	<b>wyższa</b>
Starzenie LED	<b>łagodny wpływ</b>	większy wpływ
Odporność przemysłowa	<b>bardzo dobra</b>	dobra

# Kluczowe parametry

- napięcie przebicia izolacji między obwodem wejściowym i wyjściowym – od kilkuset V do kilkudziesięciu kV,
- częstotliwość graniczna przenoszonych sygnałów – od kilkudziesięciu kHz dla fototranzystorów do 100 MHz dla fotodiod PIN,
- wzmacnienie (CTR - Current Transfer Ratio) – stosunek prądu wyjściowego do wejściowego.

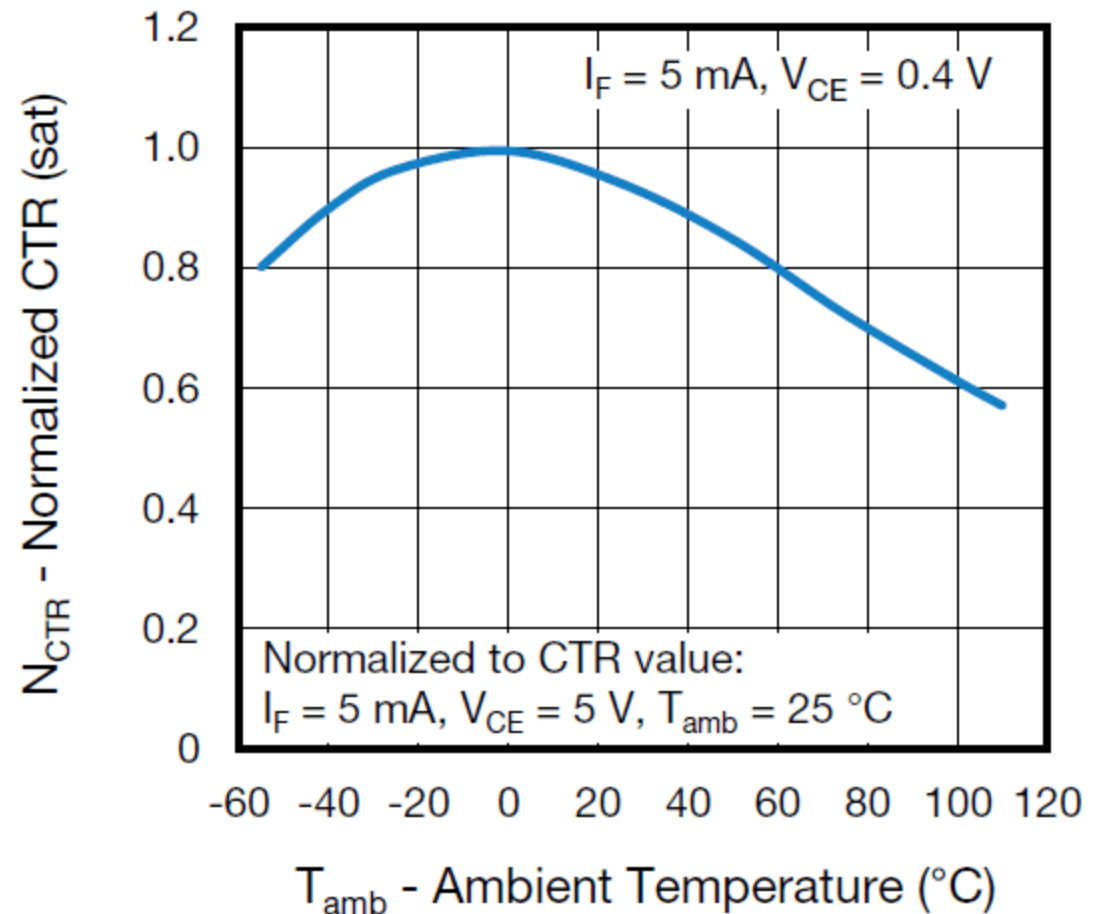
# O czym warto pamiętać

## **(Nie)liniowość:**

- energia promieniowania LED nie jest liniowo zależna do prądu, przy większych prądach strumień świetlny rośnie bardziej niż wprost proporcjonalnie,
- ponadto wraz ze wzrostem prądu rośnie również wzmocnienie fototranzystora, współczynnik sprzężenia CTR rośnie więc w miarę wzrostu prądu wejściowego,
- z reguły wzrost prądu diody z 1 mA do 10 mA powoduje dwu- lub trzykrotny wzrost CTR.

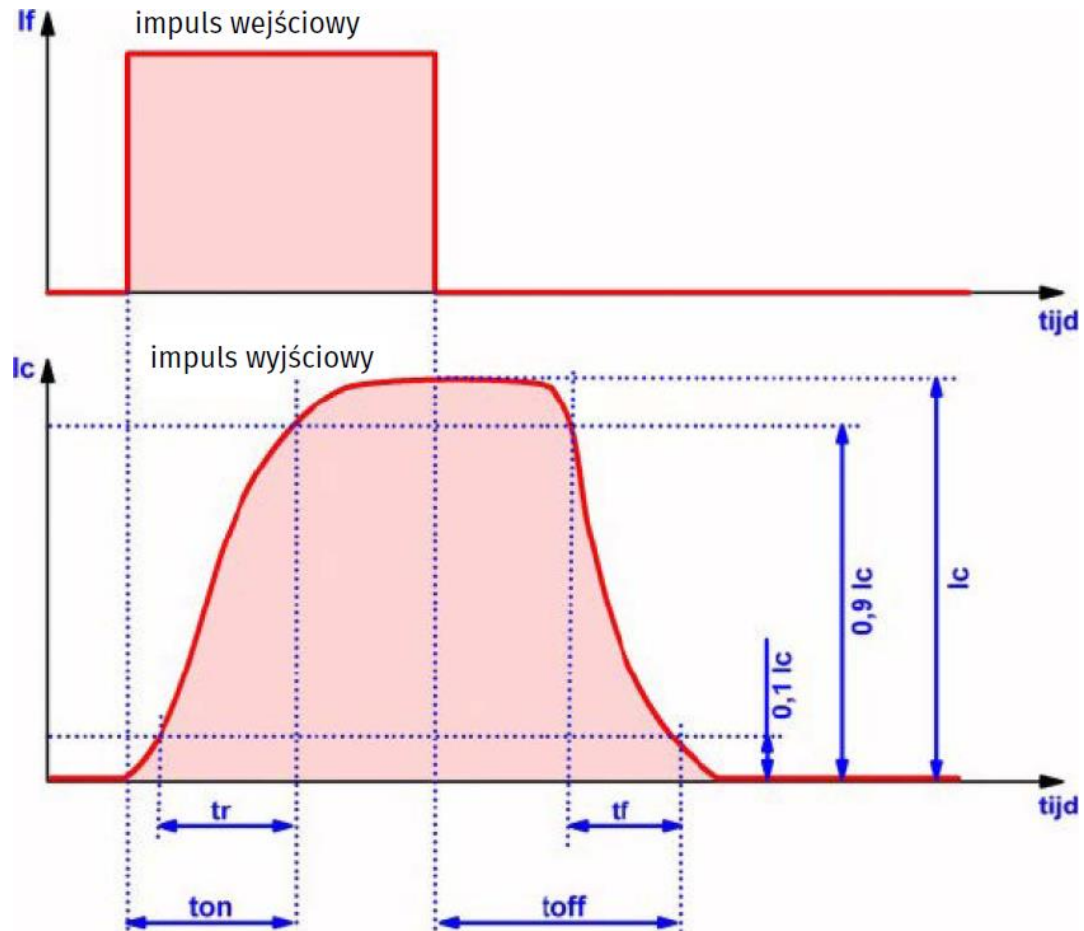
## Wpływ temperatury

- Gdy dioda LED pracuje przez dłuższy czas, energia maleje. W przypadku transoptorów skutkuje to zmniejszeniem współczynnika przenoszenia CTR.
- Szczególnie w przypadku stosowania transoptorów do transmisji sygnałów logicznych, po pewnym czasie mogą wystąpić błędy.
- Przy projektowaniu układów należy więc uwzględnić pewien stopień starzenia się.
- Degradacja jest przyspieszana przez duże prądy i/lub wysokie temperatury.
- Można spowolnić starzenie poprzez utrzymywanie diody wejściowej wyłączonej tak często, jak to możliwe i zamontowanie transoptora w możliwie chłodnym miejscu.



# Czasy przełączania

Transoptory z fototranzystorem jako detektorem mają czasy przełączania około  $3 \mu\text{s}$ .

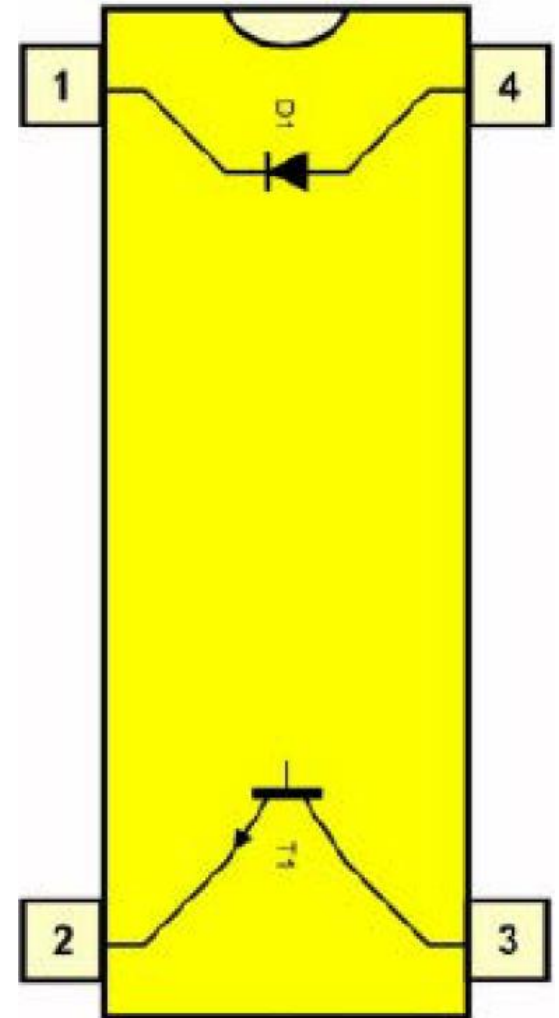


# Wersje transoptorów

## Wysokonapięciowe

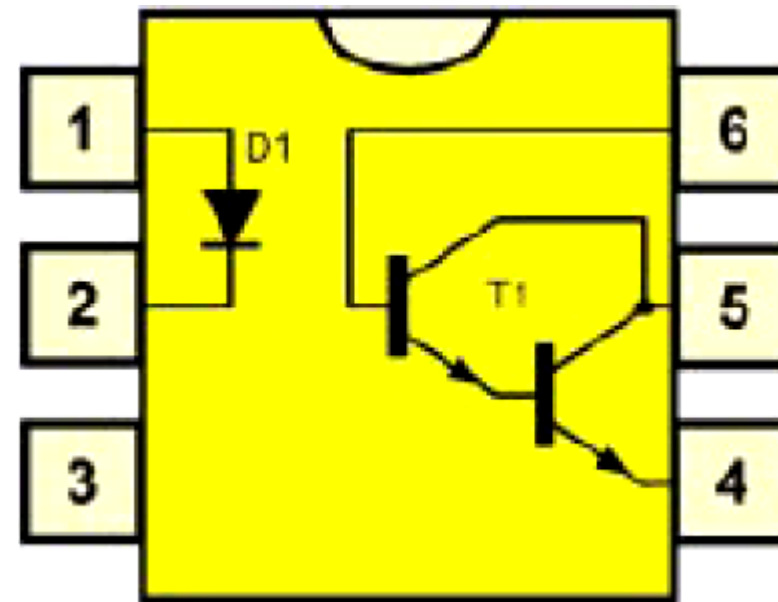
Transoptory LED/fototranzystorowe są też dostępne w wersji wysokonapięciowej w specjalnej obudowie.

Obudowa ta posiada cztery wyprowadzenia, a odległość między pinami 1, 4 i 2, 3 zależy od napięcia izolacji transoptora.



## Z wyjściem Darlingtona

W niektórych transoptorach czułość zwiększa się przez zastąpienie tranzystora układem Darlingtona.



## Z tyrystorami i triakami

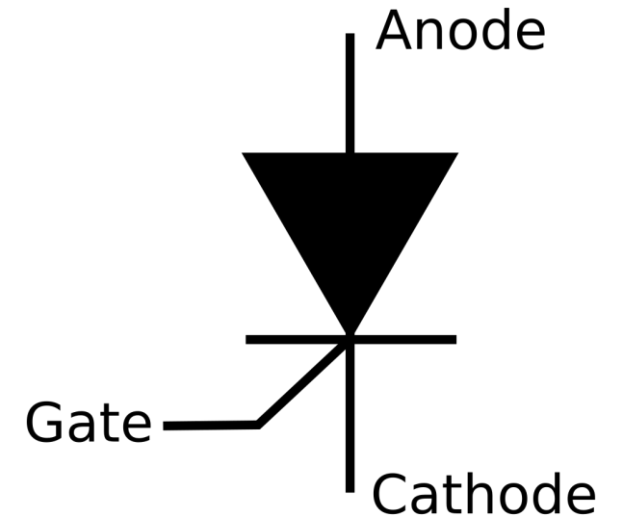
Transoptora często używa się do przełączania obciążenia AC napięciem DC.

W przypadku tradycyjnego transoptora fototranzystorowego trzeba wtedy zainstalować dość rozbudowany obwód zewnętrzny.

Dlatego na rynku pojawiły się transoptory, w których element odbiorczy jest zaprojektowany jako fototyrystor.

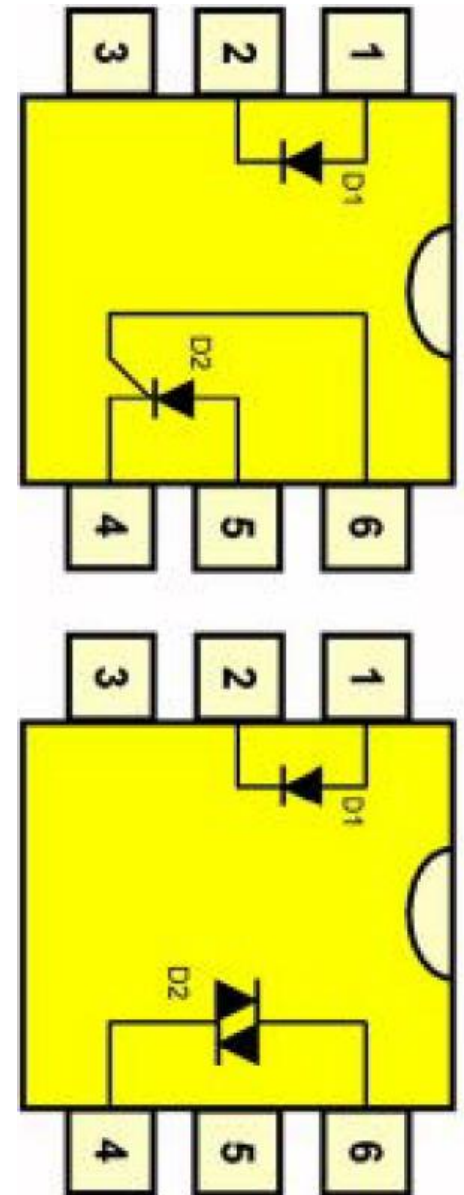
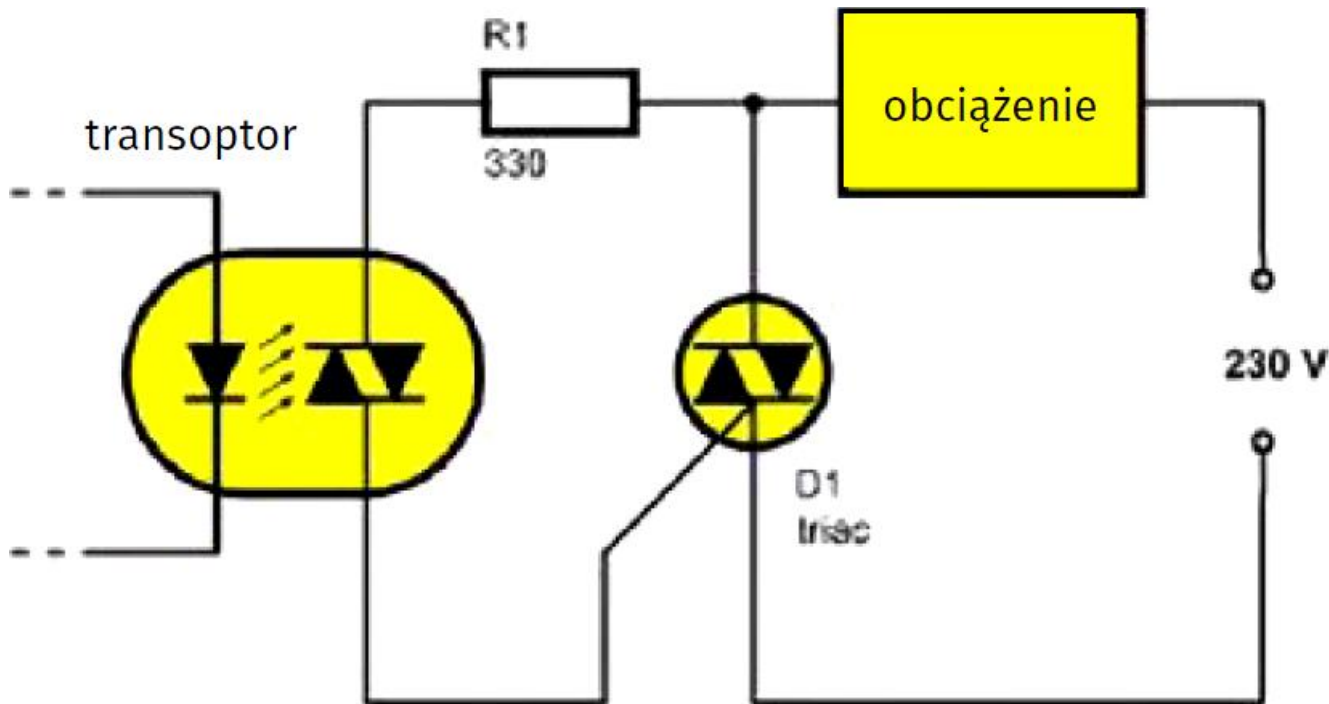
Są to oczywiście tyrystory światłoczułe i mają tę wielką zaletę, że można do nich bezpośrednio podłączyć napięcie zmienne.

Za pomocą takich układów można wykonać przekaźnik optyczny, służący do przełączania dużych obciążeń napięcia sieciowego.



Jeszcze wygodniejsze są transoptory z fototriakiem jako elementem odbiorczym.

Za pomocą takich układów można wykonać przełącznik optyczny, służący do przelączania dużych obciążeń napięcia sieciowego.

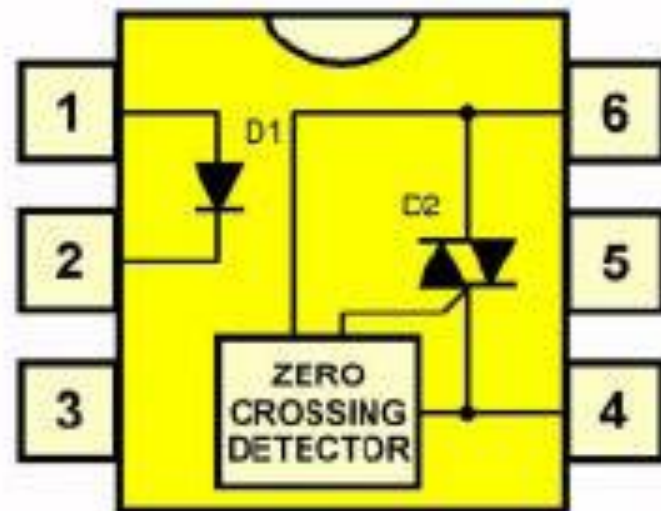


Często stosuje się transoptory do galwanicznie izolowanego przełączania napięcia sieciowego 230 V.

W takich zastosowaniach można użyć transoptorów serii MOC30xx.

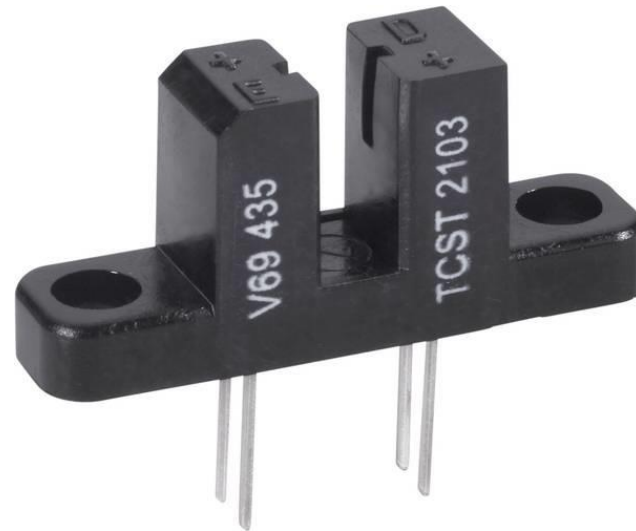
Składają się one z diody LED na podczerwień i właśnie fototriaka.

Elementy typu MOC30x1 załączają triak w dowolnym momencie sinusoidy, natomiast MOC30x2 / MOC30x3 w momencie przejścia przez zero, co zapobiega powstawaniu dużych prądów rozruchowych w sieci i w przełączanym obciążeniu. Ponadto opto-triaki wbudowane w tę serię są w stanie bezpośrednio przełączać napięcie sieciowe 230 V.



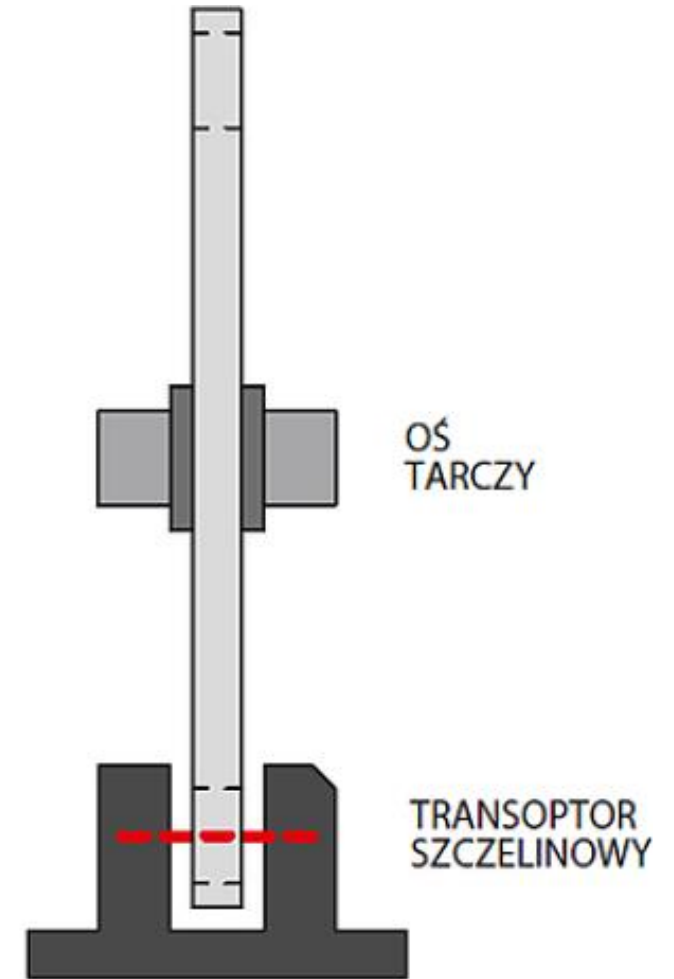
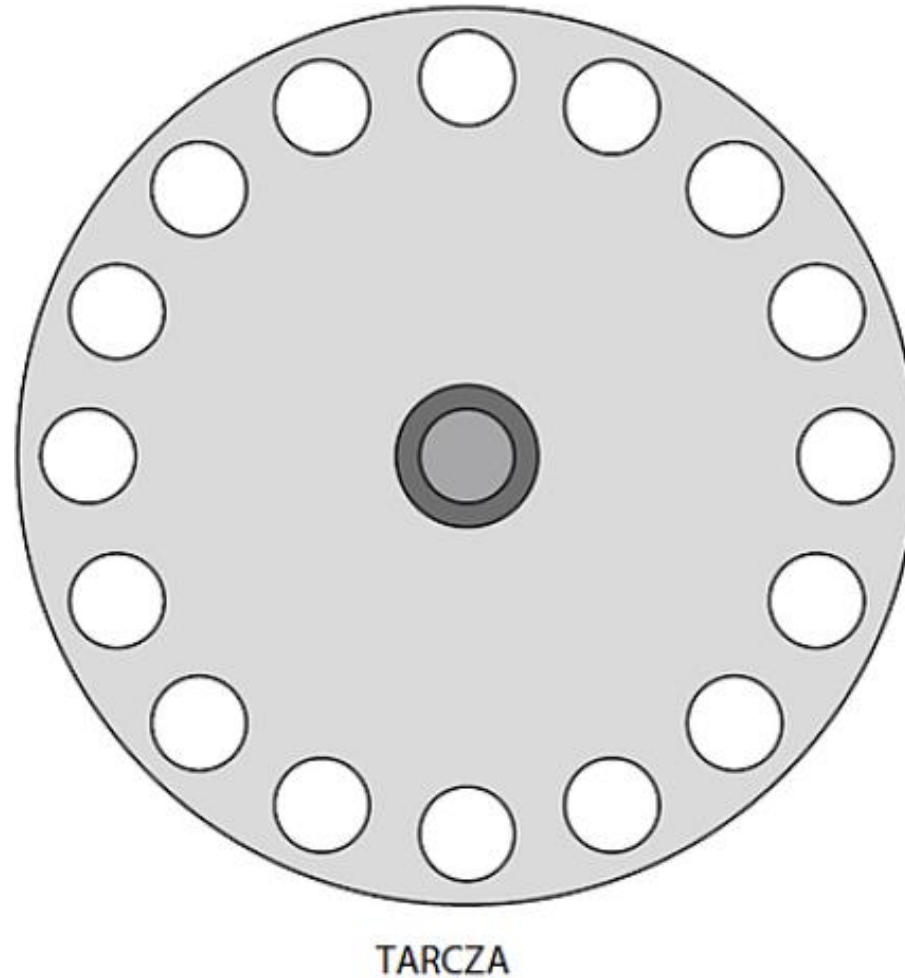
W rodzinie transoptorów istnieje też odnoga zajmująca się bezkontaktowym zliczaniem obiektów/zdarzeń. W tych elementach, sprzężenie optyczne w podczerwieni pomiędzy nadajnikiem a odbiornikiem nie jest ustanowione w samym elemencie, ale zewnętrznie.

Są to tzw. **transoptory szczelinowe/transmisyjne**, czasem określone jako przerywacze optyczne/fotoprzerywacze.



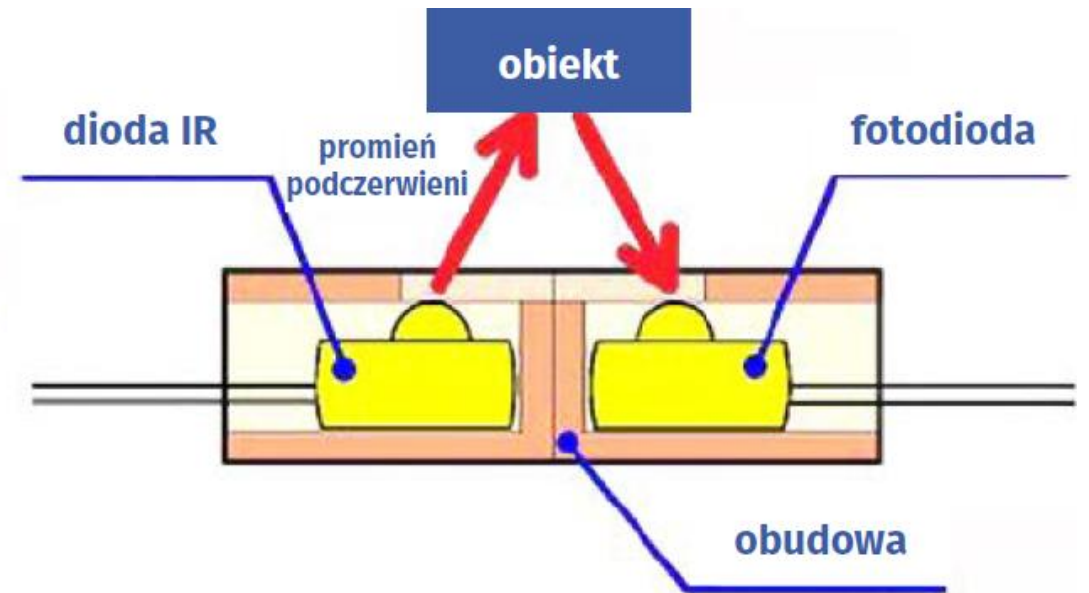
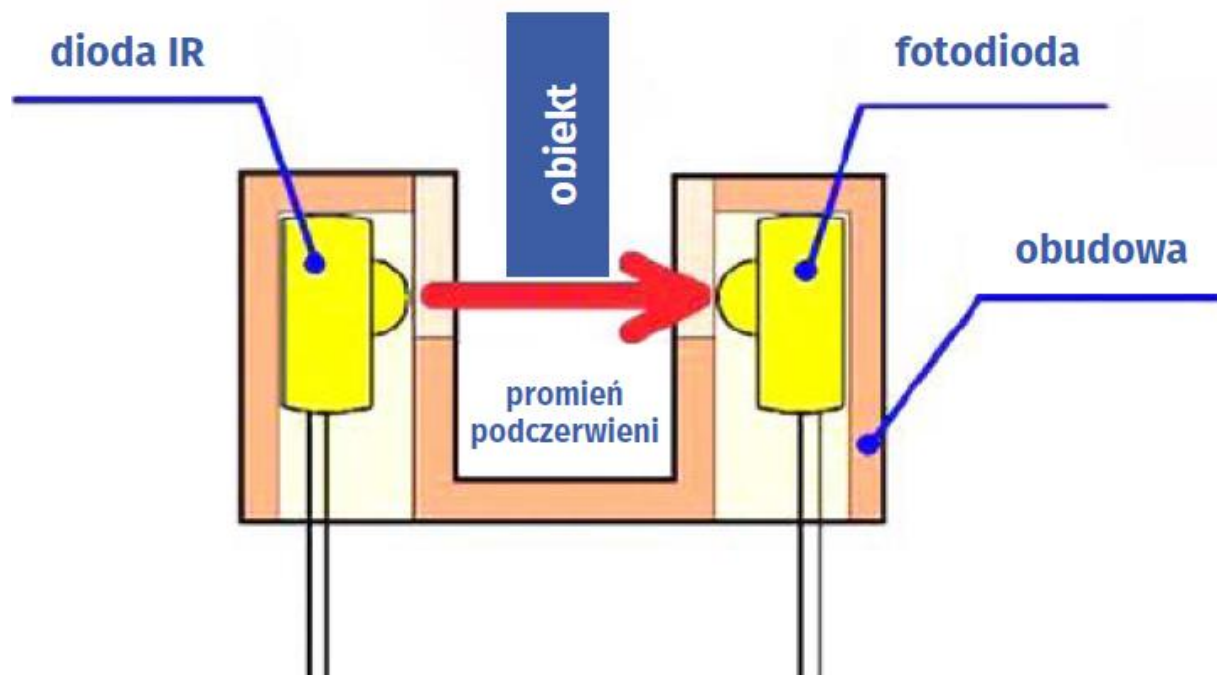
Jak sama nazwa wskazuje, można przerwać połączenie optyczne za pomocą zewnętrznego obiektu.

Dzięki temu możliwe jest bezdotykowe zliczanie obiektów lub np. wykonywanie pomiaru prędkości obrotowej.



Istnieją dwie podstawowe wersje fotoprzerywacza:

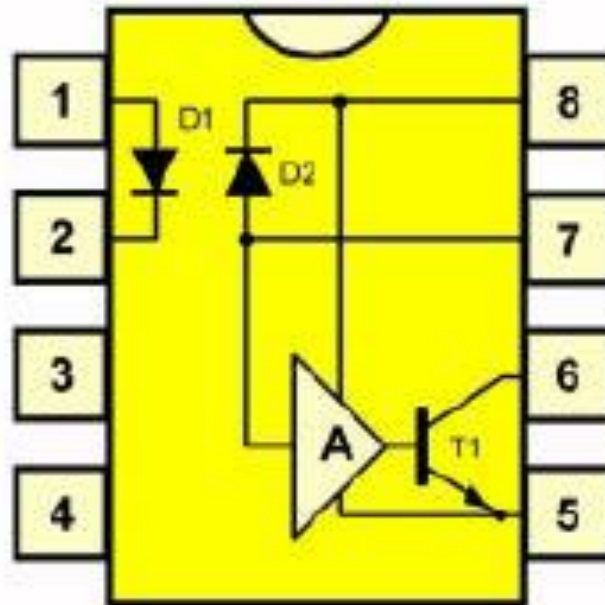
- w jednej należy umieścić zliczany obiekt pomiędzy nadajnikiem a odbiornikiem, tak aby strumień podczerwieni pomiędzy tymi dwoma częściami został przerwany;
- druga działa poprzez odbicie promieniowania podczerwonego na liczonym obiekcie. Jest oczywiste, że w ten sposób nie można zliczać wszystkich obiektów - jeśli powierzchnia obiektu pochłania światło, ten układ nie będzie działał.



Oprócz wersji standardowych, rynku są wersje specjalne, przeznaczone do konkretnych zastosowań.

Np. jeśli fototranzystor jest zbyt wolny dla danej aplikacji, można go zastąpić fotodiodą. Ponieważ jednak prąd dostarczany przez fotodiodę jest bardzo mały, w transoptory wbudowuje się zwykle przedwzmacniacz.

Na rynku dostępnych jest kilka konfiguracji, ale ta przedstawiona na rysunku jest jedną z najczęściej stosowanych. Fotodioda pracuje na pinach 8 i 7, więc opcjonalnie można ją włączyć w obwód zewnętrzny.



W transoptorach trzeba brać pod uwagę ich starzenie się.

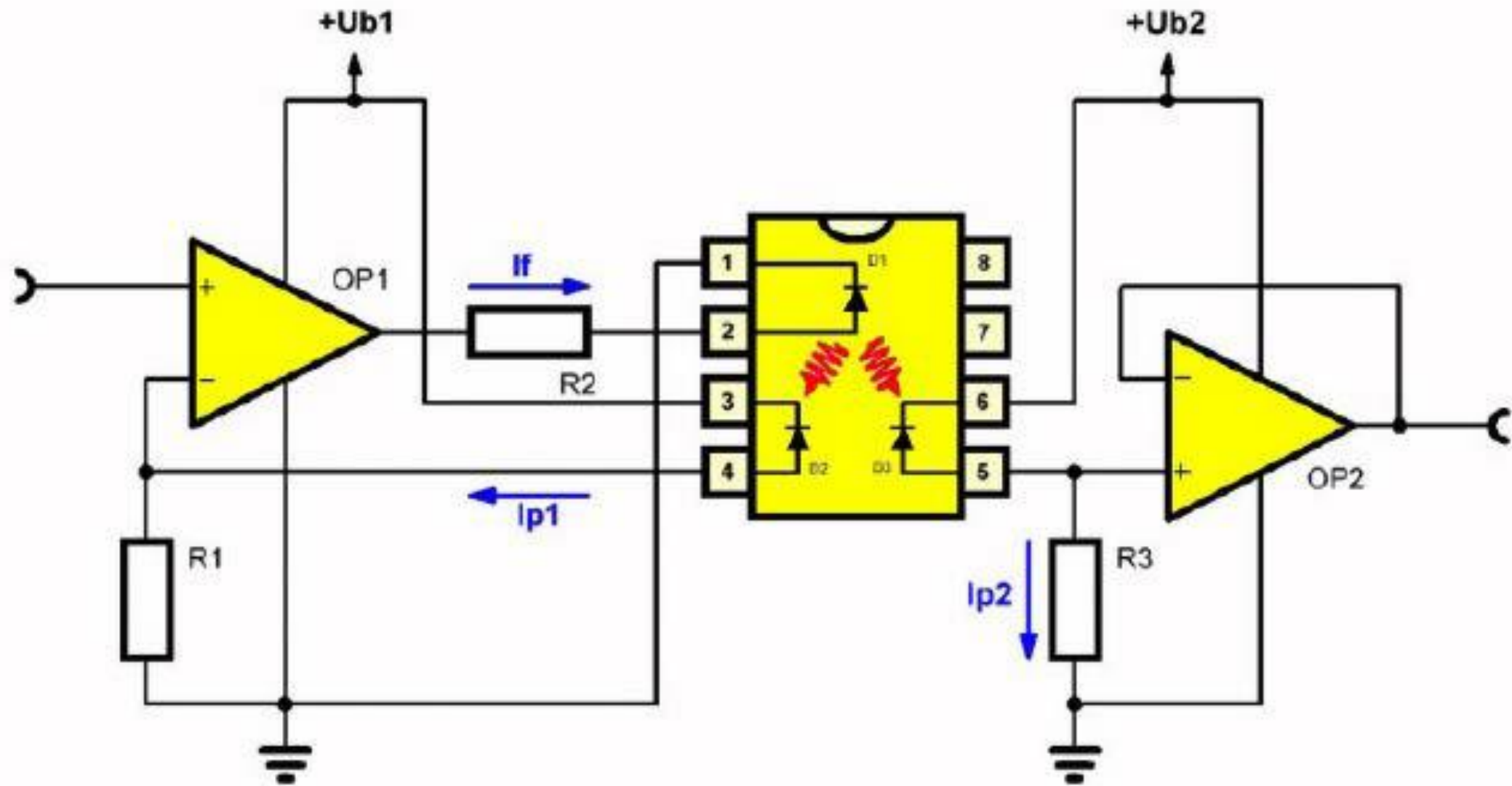
- W diodach elektroluminescencyjnych zachodzą procesy degradacji parametrów w zależności od temperatury pracy i czasu.
- Wydajność świetlna spada więc – bardzo powoli, ale stale.
- Może to spowodować poważne problemy - przy przesyłaniu sygnałów sterujących, sygnał po stronie wtórnej po pewnym czasie nie będzie już wystarczająco duży.

Problem degradacji diod LED może być rozwiązany przez tak zwane **transoptory liniowe**.

W tych elementach dioda LED pracująca w podczerwieni jest sprzężona optycznie z dwoma fotodiodami.

Te reagują w liniowej zależności na prąd płynący przez LED. Jeden detektor przekazuje sygnał do wyjścia, drugi podaje część sygnału z powrotem do wejścia:

- Malejąca emisja światła diody LED jest wykrywana przez oba detektory;
- Pierwszy detektor będzie więc generował coraz mniejszy sygnał;
- Drugi detektor również to robi, ale zewnętrzny obwód sterujący zapewnia, że prąd płynący przez diodę LED będzie się zwiększał;
- Zjawisko starzenia jest więc kompensowane i pierwsza fotodioda ponownie dostarczy na wyjściu wystarczający sygnał.



# Wzmacniacz transimpedancyjny

W optoelektronice pomiarowej światło jest nośnikiem informacji analogowej, a podstawowym problemem jest konwersja prądu na napięcie.

Detektory optoelektroniczne dają informacje prądową...  
A nie napięciową.

Problem?

Prądy (zwłaszcza fotodiody) są bardzo małe (pA– $\mu$ A), natomiast napięciowe wzmacnianie ich przez rezystor:

- wprowadza szum,
- ogranicza pasmo,
- psuje liniowość.

Potrzebujemy więc układu, który:

- mierzy prąd,
- zamienia go na napięcie,
- nie obciąża detektora.

**Jest to właśnie wzmacniacz transimpedancyjny.**

Wzmacniacz transimpedancyjny to wzmacniacz, którego wzmocnienie ma wymiar [V/A] i realizuje funkcję:

$$V_{\text{out}} = -I_{\text{PD}} \cdot R_{\text{F}}$$

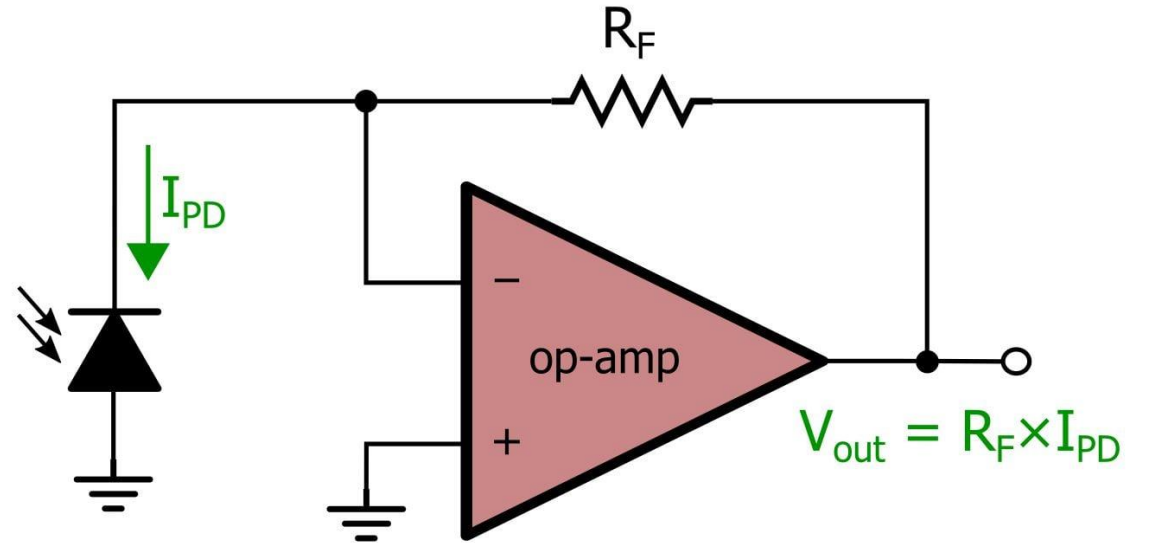
## Założenia dla IWO:

- nieskończone wzmocnienie,
- zerowy prąd wejściowy,
- nieskończone pasmo.

$$V_{\text{out}} = -I_{\text{PD}} \cdot R_{\text{F}}$$

## W takim układzie:

- wzmocnienie ustala tylko rezystor,
- nie ma wpływu rezystancji fotodiody,
- jest bardzo dobra liniowość.



Problem polega na tym, że fotodioda ma pojemność (jest to pojemność złącza PN):

- fotodiody małosygnałowe (PIN, mała powierzchnia)- 0,2–2 pF,
- fotodiody uniwersalne - 5–20 pF,
- fotodiody dużej powierzchni - 50–500 pF.

**Fotodiode w analizie wzmacniacza transimpedancyjnego modeluje się jako źródło prądowe równoległe z pojemnością złącza i dużą rezystancją upływu.**

Wzmacniacz też ma pojemność wejściową (nota katalogowa...)

- JFET / CMOS input - 1–5 pF,
- bipolarny input - 5–20 pF,
- wzmacniacze do TIA – nawet  $< 1$  pF (!).

Do tego mamy pojemności pasożytnicze, np.:

- dobrze zaprojektowana PCB - 0.1–0.5 pF,
- prototyp / płytka uniwersalna - 1–5 pF.

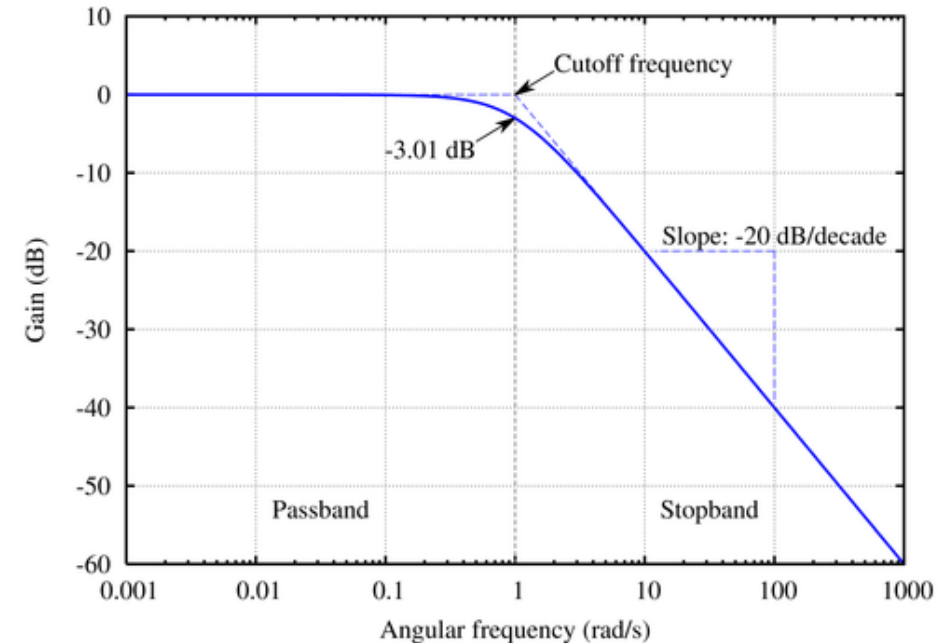
Suma tych pojemności sprawia, że pasmo wzmacniacza mamy ograniczone przez to, że pojemność ta w połączeniu z RF sprawia, że układ staje się „filtrem” dolnoprzepustowym.

A skoro granica przepustowości filtra to:

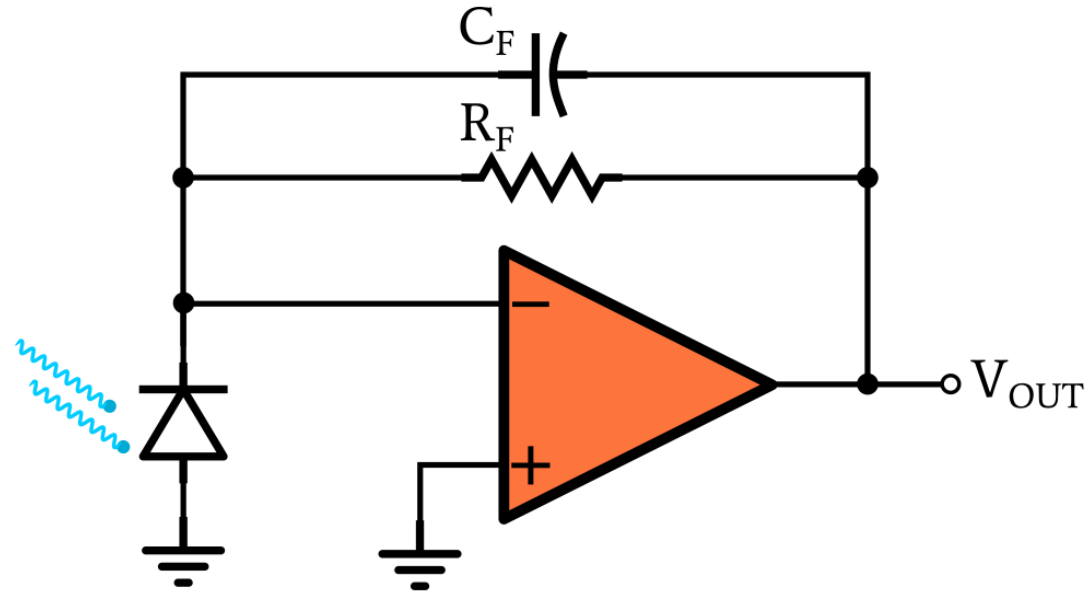
$$f_{-3\text{dB}} \approx \frac{1}{2\pi R_f (C_d + C_{in} + C_{stray})}$$

w efekcie mamy większe  $R_f$  = większa czułość, ale mniejsze pasmo...

Ograniczenie pasma przez pojemności wejściowe wpływa nie tylko na szybkość, ale również na stabilność pętli sprzężenia.



Z uwagi na te pojemności, w prawidłowo zaprojektowanym TIA dodajemy jeszcze kondensator w pętli wzmacniacza.



Stabilizuje on układ, kompensując pojemność fotodiody i wejścia wzmacniacza, ograniczając wzmocnienie dla wysokich częstotliwości i zapobiegając oscylacjom.

Bez kondensatora  $C_f$  pojemności wejściowe wprowadzają dodatkowe przesunięcie fazy w pętli sprzężenia, co może prowadzić do dzwonienia lub oscylacji.

# OPAx170 36-V, Single-Supply, SOT553, Low-Power Operational Amplifiers Value Line Series

## 1 Features

- Supply Range: 2.7 V to 36 V,  $\pm 1.35$  V to  $\pm 18$  V
- Low Noise:  $19 \text{ nV}/\sqrt{\text{Hz}}$
- RFI Filtered Inputs
- Input Range Includes the Negative Supply
- Input Range Operates to Positive Supply
- Rail-to-Rail Output
- Gain Bandwidth: 1.2 MHz
- Low Quiescent Current: 110  $\mu\text{A}$  per Amplifier
- High Common-Mode Rejection: 120 dB
- Low Bias Current: 15 pA (Maximum)
- Industry-Standard Packages and *micro* Packages Available
- Create a Custom Design Using the OPAx170 With the [WEBENCH® Power Designer](#)

## 2 Applications

- Tracking Amplifier in Power Modules
- Merchant Power Supplies
- Transducer Amplifiers
- Bridge Amplifiers
- Temperature Measurements
- Strain Gauge Amplifiers
- Precision Integrators
- Battery-Powered Instruments
- Test Equipment

## 3 Description

The OPA170, OPA2170, and OPA4170 devices (OPAx170) are a family of 36-V, single-supply, low-noise operational amplifiers (op amps) that feature micro packages with the ability to operate on supplies ranging from 2.7 V ( $\pm 1.35$  V) to 36 V ( $\pm 18$  V). They offer good offset, drift, and bandwidth with low quiescent current. The single, dual, and quad versions all have identical specifications for maximum design flexibility.

Unlike most op amps, which are specified at only one supply voltage, the OPAx170 family of op amps is specified from 2.7 V to 36 V. Input signals beyond the supply rails do not cause phase reversal. The OPAx170 family is stable with capacitive loads up to 300 pF. The input can operate 100 mV below the negative rail and within 2 V of the positive rail for normal operation. Note that these devices can operate with full rail-to-rail input 100 mV beyond the positive rail, but with reduced performance within 2 V of the positive rail. The OPAx170 op amps are specified from  $-40^\circ\text{C}$  to  $+125^\circ\text{C}$ .

# Dobór wzmacniacza operacyjnego

INPUT IMPEDANCE			
	Differential		100    3 M $\Omega$    pF
	Common-mode		6    3 10 <sup>12</sup> $\Omega$    pF
OPEN-LOOP GAIN			
A <sub>OL</sub>	Open-loop voltage gain	V <sub>S</sub> = 4 V to 36 V, (V <sub>-</sub> ) + 0.35 V < V <sub>O</sub> < (V <sub>+</sub> ) - 0.35 V, T <sub>A</sub> = $-40^\circ\text{C}$ to $+125^\circ\text{C}$	110    130 dB
FREQUENCY RESPONSE			
GBP	Gain bandwidth product		1.2 MHz

# Przykład projektu

## Design Goals

Input		Output		BW	Supply	
$I_{iMin}$	$I_{iMax}$	$V_{oMin}$	$V_{oMax}$	$f_p$	$V_{cc}$	$V_{ee}$
0A	50 $\mu$ A	0V	5V	10kHz	15V	-15V

1. Select the gain resistor.

$$R_1 = \frac{V_{oMax} - V_{oMin}}{I_{iMax}} = \frac{5V - 0V}{50\mu A} = 100k\Omega$$

2. Select the feedback capacitor to meet the circuit bandwidth.

$$C_1 \leq \frac{1}{2 \times \pi \times R_1 \times f_p}$$

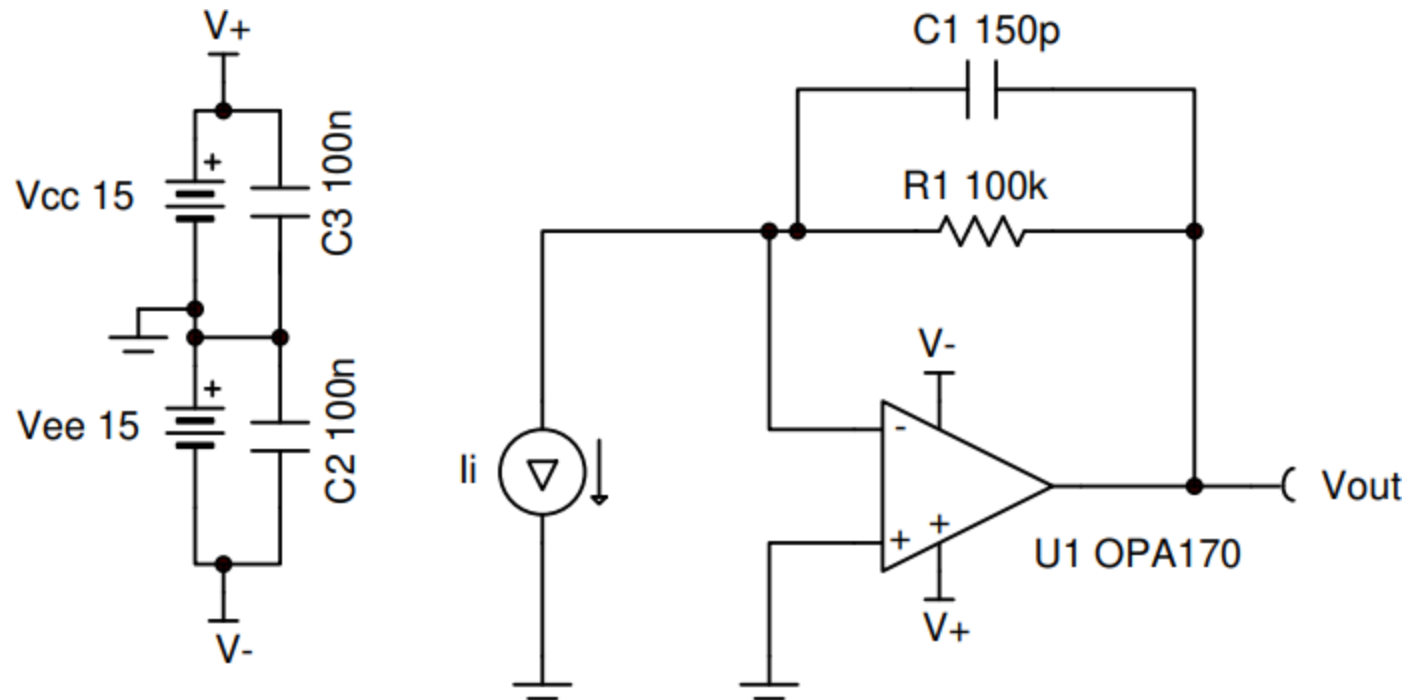
$$C_1 \leq \frac{1}{2 \times \pi \times 100k\Omega \times 10kHz} \leq 159pF \approx 150pF \text{ (Standard Value)}$$

3. Calculate the necessary op amp gain bandwidth (GBW) for the circuit to be stable.

$$GBW > \frac{C_i + C_1}{2 \times \pi \times R_1 \times C_1^2} > \frac{6\text{pF} + 150\text{pF}}{2 \times \pi \times 100\text{k}\Omega \times (150\text{pF})^2} > 11.03\text{kHz}$$

where  $C_i = C_s + C_d + C_{cm} = 0\text{pF} + 3\text{pF} + 3\text{pF} = 6\text{pF}$  given

- $C_s$ : Input source capacitance
- $C_d$ : Differential input capacitance of the amplifier
- $C_{cm}$ : Common-mode input capacitance of the inverting input



Co trzeba rozróżnić:

- 11 kHz to minimalne GBW wzmacniacza, aby układ był stabilny...
- natomiast częstotliwość graniczna toru transimpedancyjnego (czyli - jak szybki sygnał optyczny możemy mierzyć) wynika z:

$$f_{-3\text{dB}} \approx \frac{1}{2\pi R_f (C_d + C_{in} + C_{stray})}$$

W tym przypadku założono  $C_d=0$ ,  $C_{stray}$  można przyjąć np. 1 pF, wówczas:

$$f_{-3\text{dB}} = \frac{1}{2\pi \cdot 100\,000 \cdot 4 \cdot 10^{-12}}$$

$$f_{-3\text{dB}} \approx \frac{1}{2.51 \cdot 10^{-6}} \approx 3.98 \cdot 10^5 \text{ Hz}$$

Wzmacniacz transimpedancyjny należy traktować tak, jakby pojemności pasożytnicze były elementami schematu, bo one realnie wyznaczają jego pasmo, innymi słowy - w TIA layout jest częścią obwodu.

---

<b>Layout</b>	<b><math>C_{\text{stray}}</math></b>	<b>pasmo</b>
bardzo dobry	0.5 pF	~455 kHz
przeciętny	2 pF	~318 kHz
słaby	10 pF	~122 kHz

---

Dziękuję za uwagę