

**WYDZIAŁ FIZYKI, MATEMATYKI I INFORMATYKI
POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ,**

Instytut Fizyki

**LABORATORIUM PODSTAW ELEKTROTECHNIKI,
ELEKTRONIKI I MIERNICTWA**

Ćwiczenie 5 *ELEMENTY I UKŁADY OPTOELEKTRONICZNE*

Pojęcia i modele niezbędne do zrozumienia i poprawnego wykonania ćwiczenia:

- a) Elektroluminescencja
- b) Budowa i działanie diody emitującej światło (LED)
- c) Budowa i działanie fototranzystora
- d) Galwaniczne oddzielenie i optyczne sprzężenie pomiędzy układami elektronicznymi
- e) Optyczna transmisja sygnału prądowego lub napięciowego w transoptorze

Literatura:

- 5. M.. Polowczyk „Elementy i przyrządy półprzewodnikowe powszechnego zastosowania” WkiŁ, Warszawa 1986
- 6. Z. Faust „Przetworniki fotoelektryczne , zasady działania , budowa zastosowanie ” WKiŁ, Warszawa 1963

Autor: Franciszek Starzyk

1. WPROWADZENIE

Optoelektronika jest dziedziną praktycznego wykorzystania zjawisk elektroluminescencji i fotoprzewodnictwa zachodzących w złączach półprzewodnikowych p - n do konstrukcji elementów emitujących światło (diody LED, wyświetlacze ciekłokrystaliczne LCD, EL, plazmowe i inne) oraz elementów reagujących na światło podczerwone, czerwone i z zakresu widzialnego, takich jak fotodiody, fotorezystory, fototranzystory.

Konstruowane są również scalone transoptory zawierające w jednej obudowie odseparowane elektrycznie, a sprzężone tylko za pośrednictwem światła, emiter z detektorem światła. Ponieważ są one zamknięte w jednej obudowie, detektor w jej wnętrzu może odbierać jedynie światło wysyłane przez element umieszczony w tej samej obudowie.

2. DIODA ELEKTROLUMINESCENCYJNA

(Light-Emitting-Diode = LED)

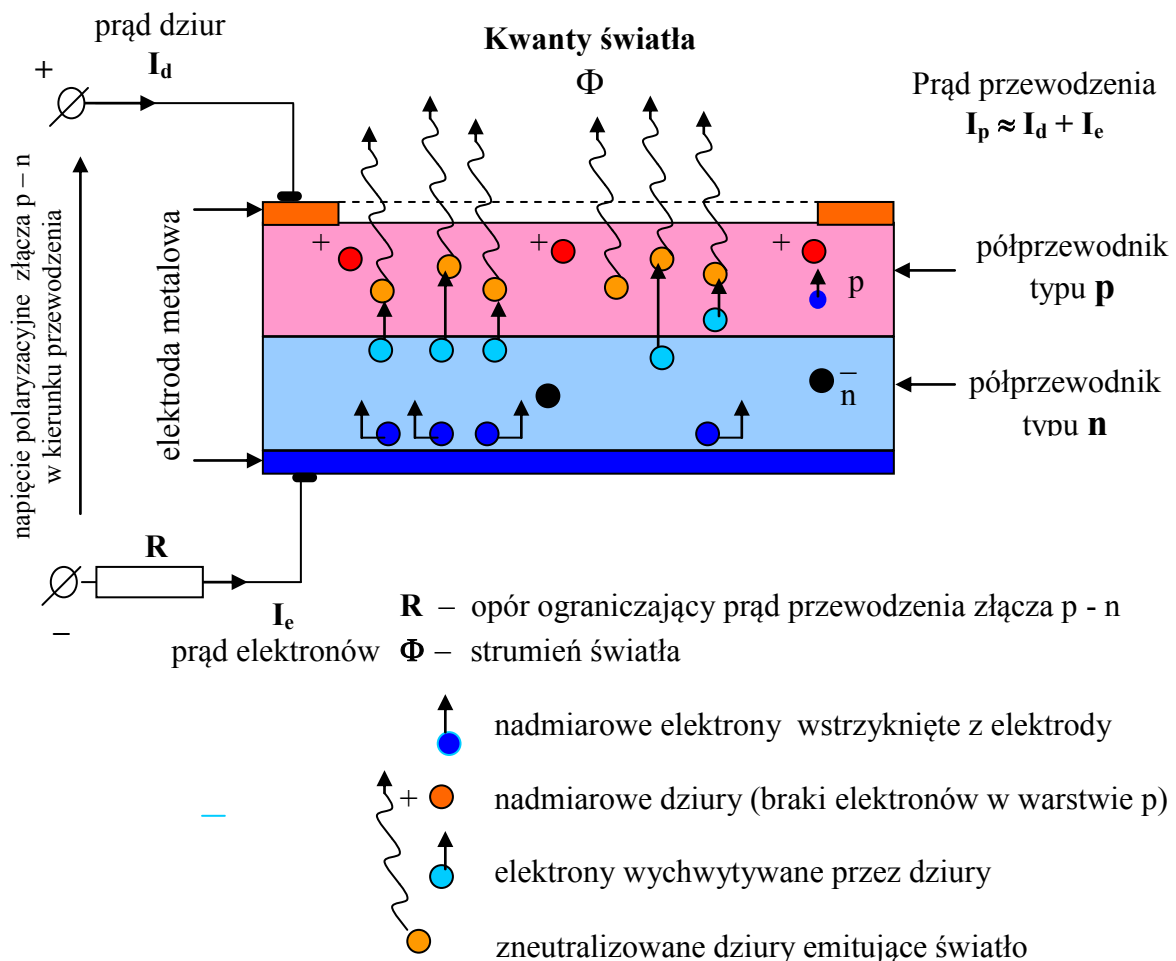
Elektroluminescencja to zjawisko zachodzące przy spotkaniu bezpośrednim elektronu (-) z dziurą (+). Obdarzone przeciwnymi ładunkami ulegają one *rekombinacji*. Zjawisko to przebiega w obszarze złącza p-n. Elektron z półprzewodnika n posiadający wyższą energię (jest w paśmie przewodnictwa), gdy przechodzi do obszaru typu p, gdzie jest nadmiar dziur posiadających niższą energię (są w paśmie walencyjnym), gdy znajdzie się w bezpośrednim sąsiedztwie dodatnio naładowanej dziury ulega jej przyciąganiu i zajmuje gwałtownie jej miejsce. Ładunek elektryczny elektronu zostaje zneutralizowany, a różnica energii pomiędzy stanem przed rekombinacją – swobodna dziura, swobodny elektron – a stanem po rekombinacji jest bardzo szybko wyeliminowana przez zlokalizowany i zneutralizowany elektron w postaci kwantu światła i ciepła. Długość fali

emitowanego światła zależy od rodzaju półprzewodników użytych do wykonania złącza p - n.

Wydajność procesu przemiany (konwersji) energii na światło w rekombinacji $e + h$ jest tym większa im mniej ciepła powstaje w jego przebiegu.

Elektrony przechodzą z obszaru typu n do p w procesie przepływu prądu przewodzenia wymuszonego przez przyłożenie z zewnątrz napięcie. Dlatego całość tego procesu nazywamy elektroluminescencją.

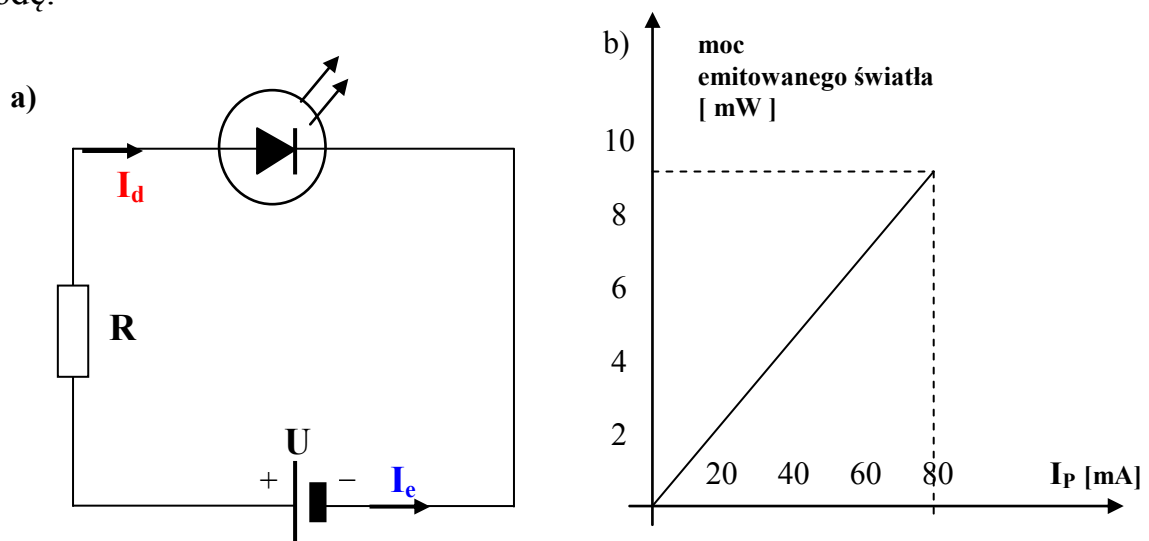
Elektroluminescencję zachodzącą w LED przedstawiono schematycznie na rys.1.



Rys.1. Elektroluminescencja w LED

Intensywność natężenia emitowanego światła jest tym większa im większe jest natężenie prądu elektronów. Ponieważ złącze spolaryzowane jest w kierunku przewodzenia, a więc efektywny opór złącza mierzony pomiędzy metalowymi elektrodami jest mały, rzędu kilku do kilkudziesięciu omów, należy zabezpieczyć diodę LED opornikiem R (rys.1.) ograniczającym przepływ prądu. Napięcia rzędu $5\div 6V$ mogą bowiem spowodować przepływ prądów o natężeniach powyżej $0,2A$, które mogą uszkodzić strukturę złącza poprzez jego przegrzanie.

Na rys.2a) przedstawiono obwód wymuszający emisję LED z użyciem symbolu diody elektroluminescencyjnej. Na rys.2b) przedstawiono zależność mocy emitowanego światła od prądu przewodzenia przepływającego przez diodę.



Rys.2. a) symbol diody elektroluminescencyjnej
 b) dobra liniowość zależności pośredniej przyczyny (I_p) i skutku: mocy emitowanego światła (~ilość kwantów światła emitowanego w ciągu 1s)

Diody elektroluminescencyjne stosowane są zwykle jako świecące sygnalizatory, wyświetlacze liczb i liter (8-składnikowy typowy wyświetlacz jednego charakteru oraz jako elementy transoptorów).

Długości fal świetlnych emitowanych rozciągają się od podczerwieni do zieleni ($\sim 900\text{nm} \div 550\text{nm}$). Trudno jest jednak skonstruować diody niebieskie. Materiały półprzewodnikowe stosowane do produkcji diod elektroluminescencyjnych to GaAs, GaP i inne.

3. FOTOTRANZYSTOR

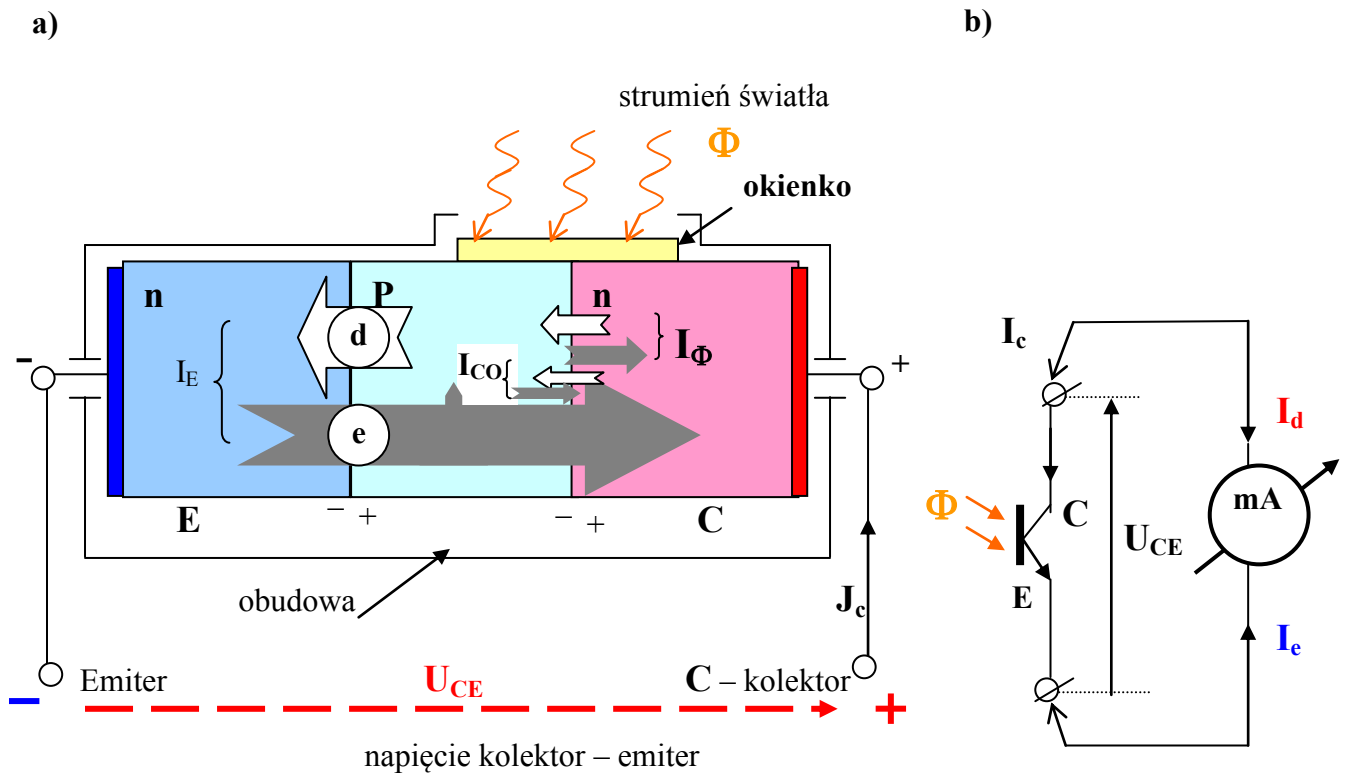
Do wykrywania promieniowania zarówno podczerwonego, jak i z zakresu widzialnego oraz ultrafioletu stosuje się jako fotoreceptory / fotodetektory fotodiody, fotorezystory oraz fototranzystory. Opis budowy i działania fotodiod i fotooporników można znaleźć w literaturze (np.2).

Opiszemy bliżej budowę i działanie fototranzystora, ponieważ jest jednym z najczulszych fotodetektorów, jak również dlatego, że użyjemy go jako fotodetektora w tym ćwiczeniu.

Fototranzystor jest przeważnie elementem dwu-końcówkowym zbudowanym podobnie jak tranzystor bipolarny. W wersji dwu-końcówkowej z obudowy fototranzystora wyprowadzony jest emiter i kolektor. Fizycznie rzecz biorąc, fototranzystor posiada jeszcze trzecie wejście: okienko wpuszczające promieniowanie, które pada na obszar złącza kolektor–(baza), co przedstawiono na rys.3.

Promieniowanie Φ wpada przez okienko i jest absorbowane w obszarze złącza kolektorowego. Elektrony podążają do elektrody kolektora (+). Pozostawiają w strukturze półprzewodnika puste miejsca obdarzone brakiem ładunku elektronu, czyli $+e$. Są to dziury d (rys.3a). Dziury są również mobilne, mogą się przemieszczać w polu elektrycznym w kierunku przeciwnym niż elektrony. Zwiększają tym samym składową prądu

kolektora I_c powodowaną strumieniem światła. W obwodzie zewnętrznym pomiędzy kolektorem a emiterem możemy stwierdzić wzrost prądu (mA), jeżeli tylko wystarczająco dużo fotonów przechodzi przez okienko.



- e** elektrony I_Φ - fotoprąd (powodowany światłem)
- d** dziury I_{CO} – prąd ciemny (bez światła)
- I_E - prąd emitera

Rys.3. a) budowa fototranzystora i składowe prądu
 b) symbol fototranzystora używany w schematach elektronicznych

Fototranzystory są czulsze na światło niż fotodiody, a charakterystyki prądowo-napięciowe fototranzystorów są podobne do charakterystyk wyjściowych tranzystora w układzie ze wspólnym emiterem (ćwiczenie 1).

Przykłady firmowych opisów diody elektroluminescencyjnej i fototranzystora oraz transoptorów można obejrzeć w załączniku do tej instrukcji.

4. POMIAR ZALEŻNOŚCI NATĘŻENIA PROMIENIOWANIA PODCZERWONEGO DIODY ELEKTROLUMINESCENCYJNEJ (LED) OD NATĘŻENIA PRĄDU PRZEWODZENIA

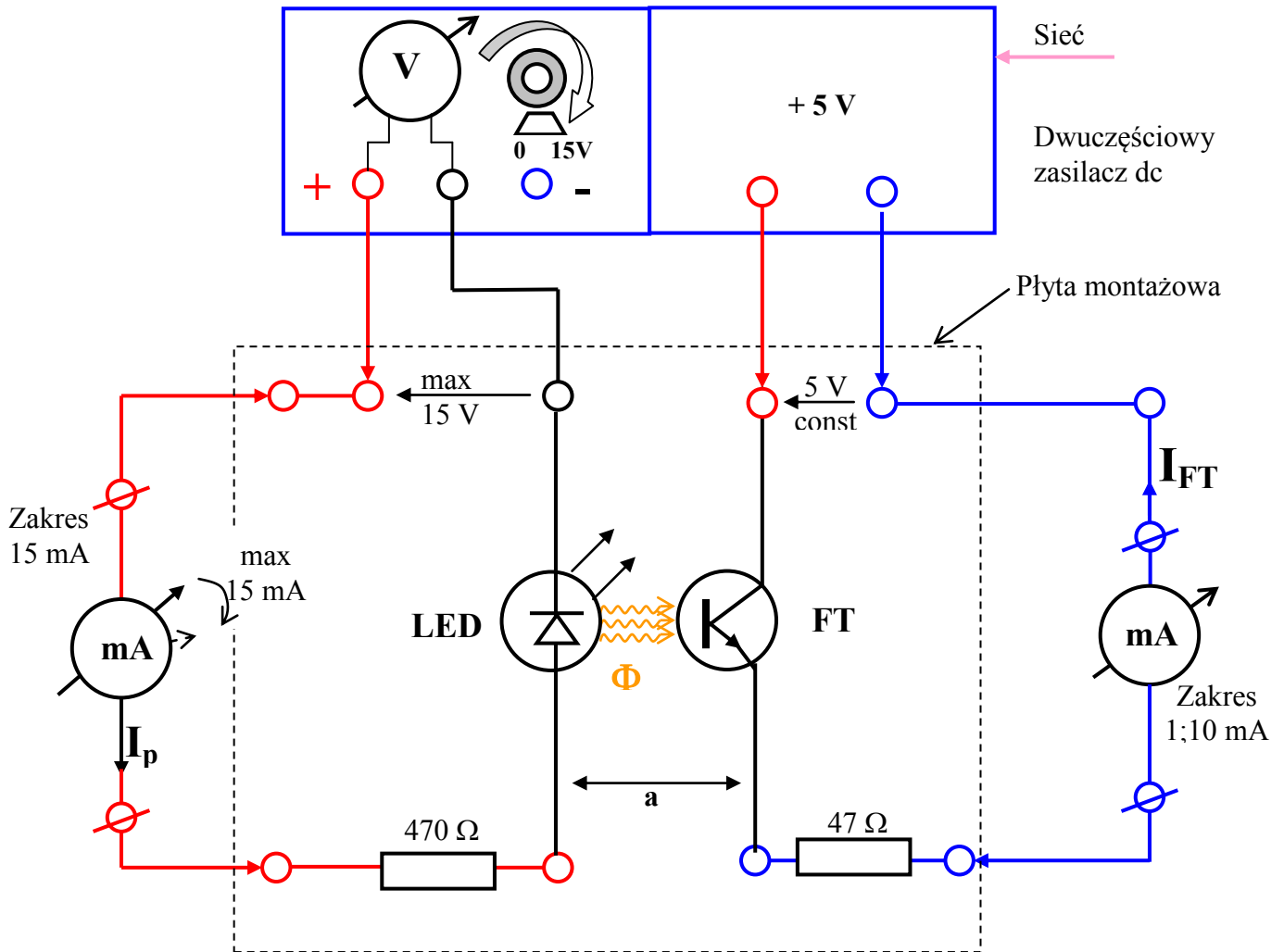
Do pomiaru użyjemy diody OP133 emitującej najwięcej światła o długości fali $\lambda=940$ nm. Jeżeli przez diodę tę przez dłuższy czas przepływa stały (a nie impulsowy) prąd przewodzenia, to jego natężenie nie powinno przekraczać wartości 15 mA.

Do detekcji promieniowania emitowanego przez OP133 użyjemy fototranzystora BPX43. Obwód zasilania diody i obwód zasilania fototranzystora będą rozdzielone galwanicznie. Sprzężone będą one jedynie strumieniem światła emitowanego przez diodę. Tylko część tego światła wychwytywana będzie przez okienko fototranzystora.

Zadanie 1

- 4.1. Nie podłączając niczego do sieci zmontować na płycie montażowej obwód z diodą elektroluminescencyjną oraz obwód fototranzystora. Diodę LED (źródło promieniowania) umieścić w pobliżu fototranzystora (detektora światła). Schemat układu połączeń obu obwodów wraz z zasilaniem przedstawiono na rys.4.
- 4.2. Po sprawdzeniu przez prowadzącego poprawności połączeń skrócić pokrętko zasilacza +15 – przeciwnie do ruchu wskazówek zegara, do oporu (0 V). Następnie włączyć zasilacz do sieci.

- 4.3. Zwiększając napięcie zasilania LED – pokrętle, powoli, zgodnie z ruchem wskazówek zegara – obserwować prąd I_p w przedziale $0 \div I_{dMAX}$ oraz towarzyszący mu wzrost prądu w obwodzie fototranzystora w przedziale $0-1-10$ mA.



LED – dioda elektroluminescencyjna
FT – fototranzystor (detektor światła)

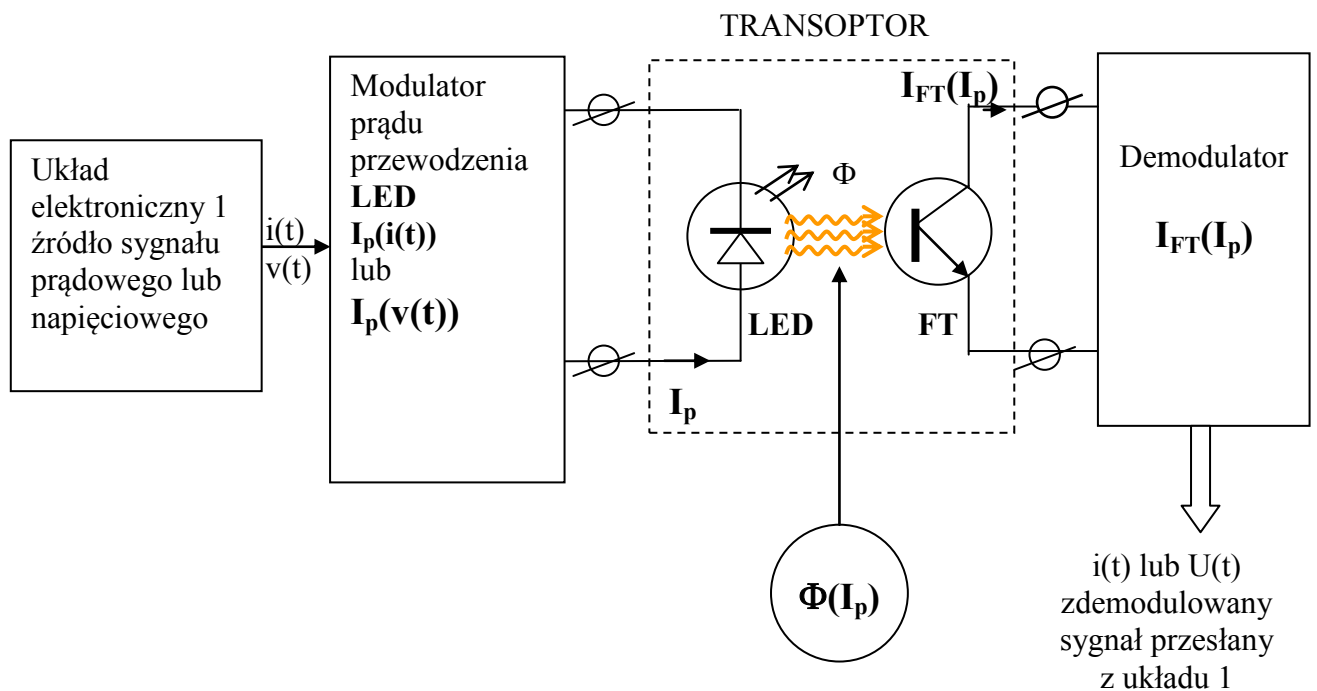
Rys.4. Schemat połączeń obwodów (źródła światła LED oraz detektora FT wraz z miernikami prądu i układem zasilania) służących do pomiaru zależności natężenia światła emitowanego przez diodę elektroluminescencyjną od natężenia prądu przewodzenia tej diody I_p

- 4.4. Przy ustalonej odległości $a = \text{const1}$ (rys.4) zmierzyć zależność prądu I_{FT} od I_p oraz od napięcia zasilania obwodu diody świecącej U_{zd} (12 pomiarów). Wyniki pomiarów zapisać w tabeli pomiarów nr.1. Wzór tabeli w załączniku. Powtórzyć cały pomiar dla $a = \text{const2}$, $\text{const2} > \text{const1}$ a wyniki zapisać w identycznej tabeli.
- 4.5. Na podstawie wyników obliczyć następujące wielkości dotyczące obwodu diody świecącej: napięcie na zaciskach diody: U_d [V], opór diody świecącej r_{dp} [Ω], moc pobieraną przez diodę: $p_d = U_d I_p$ [W], $U_d = U_{zd} - I_p R_1$ [V]. Wyniki obliczeń dla wszystkich punktów pomiarowych z tabeli 1 umieścić w tabeli obliczeń (wzór tabeli w załączniku). W oparciu o wartości zmierzone i obliczone sporządzić wykresy następujących zależności: $I_p = I_p (U_d)$ – charakterystyka prądowo – napięciowa diody świecącej, $r_{dp} = r_{dp} (U_d)$, $r_{dp} = r_{dp} (I_d)$; $I_{FT} = I_{FT} (p_d)$, $I_{FT} = I_{FT} (I_p)$, dla $a = \text{const1}$ i 2. Na wykresach umieścić punkty pomiarowe i obliczone i wykreślić krzywe ręcznie (przy pomocy krzywek) lub za pomocą programu graficznego. W sprawozdaniu zinterpretować sens wartości I_{FT} i opisać działanie obu układów: każdego z osobna i obu sprzężonych strumieniem światła Φ .

5. OPTYCZNA IZOLACJA I SPRZĘŻENIE OPTYCZNE POMIĘDZY UKŁADAMI ELEKTRONICZNYMI

Jeżeli dwa współpracujące układy elektroniczne muszą być ze względu na bezpieczeństwo i niezawodność działania odizolowane galwanicznie, to można zrealizować to za pomocą układu transoptora.

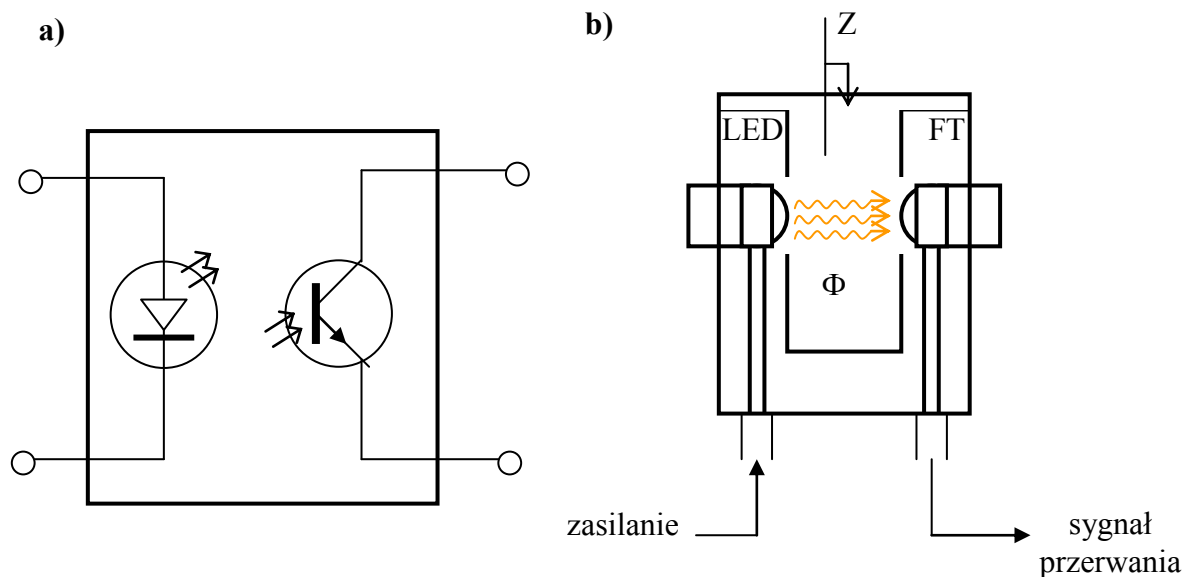
Działanie transoptora przedstawiono schematycznie na rys.5.



Rys.5. Schemat działania sprzężenia świetlnego w linii transmisyjnej z użyciem transoptora złożonego z diody LED i fototranzystora FT

Transoptory można zestawiać z oddzielnymi LED i FT. Można też użyć scalonych transoptorów zblokowanych w postaci jednej kości gotowej do podłączenia.

Symbol transoptora przedstawiono na rys.6.



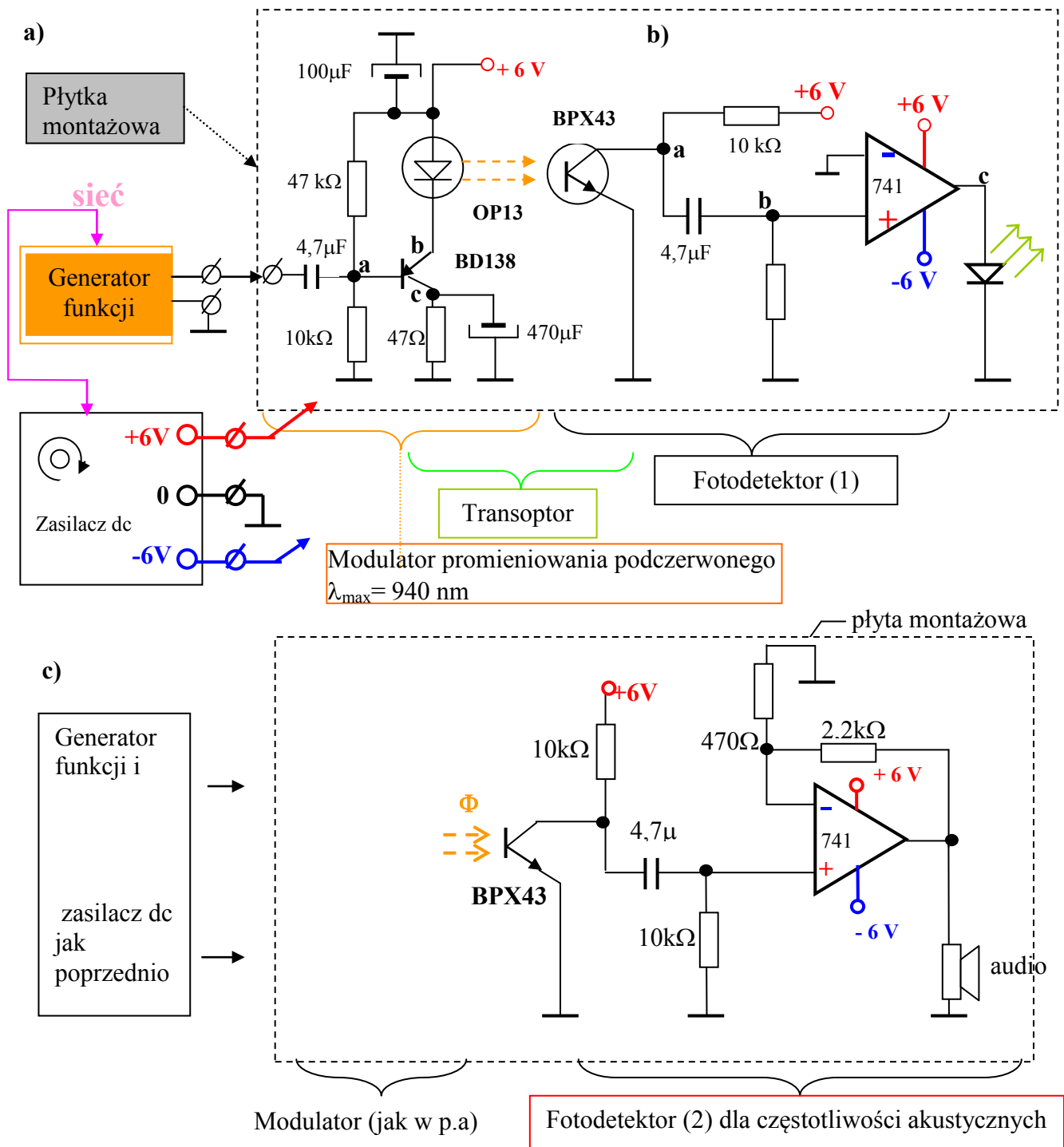
Rys. 6. a) Symbol transoptora
 b) Obudowa umożliwiająca przerwanie/ przerywanie strumienia światła poprzez usunięcie zasłony Z lub wysunięcie – sygnał pojawienia się sprzężenia świetlnego

Transoptor w obudowie pozwalającej na mechaniczne przerywanie – zasłanianie i odsłanianie np. przez nacięcia lub otwory w wirującej tarczy – może działać jak czujnik położenia kąowego lub czujnik układu mierzącego szybkość kątową (liczbę obrotów).

Zadanie do wykonania

- 5.1. Nie podłączając niczego do sieci zmontować układ modulatora promieniowania diody OP133 – według schematu przedstawionego na rys.5a. Następnie umieszczając fototranzystor BPX43 dokładnie naprzeciw diody OP133 zmontować układ fotodetektora według schematu z rys.7b.

- 5.2. Po sprawdzeniu poprawności połączeń włączyć zasilacze, generator oraz oscyloskop do sieci, ustawić napięcie zasilania $\pm 6V$ i zaobserwować działanie całej linii transmisyjnej.
- 5.3. Używając oscyloskopu dwukanałowego zaobserwować przebiegi w punktach a, b, c układu modulatora oraz zmierzyć napięcia w tych punktach: a) pod nieobecność sygnału transmitowanego z generatora oraz b) gdy sygnał jest transmitowany. W sprawozdaniu opisać działanie układu modulatora.
- 5.4. Powtórzyć czynności opisane w p.3 (5.3) dla układu fotodetektora.
- 5.5. Używając pokrętła zasilacza zmniejszyć napięcie z $\pm 6V$ do 0 i odłączyć wejście odwracające wzmacniacza operacyjnego 741 (-) od masy oraz wyjąć diodę zieloną LED.
- 5.6. Domontować elementy układu według schematu z rys.7c.
- 5.7. Stopniowo zwiększyć napięcie zasilania do $\pm 6 V$ i zaobserwować działanie układu linii transmisyjnej dla częstotliwości akustycznych (słuchawka).
- 5.8. Używając oscyloskopu dwukanałowego zaobserwować i zmierzyć napięcia przebiegów w punktach a, b, c, odbiornika. W sprawozdaniu opisać działanie obu detektorów.



Rys. 7. Optyczna linia transmisyjna z układem tranzystora:

- schemat układu połączeń modulatora promieniowania LED
- schemat układu połączeń detektora ze wskaźnikiem LED zielonym
- schemat układu połączeń detektora dla częstotliwości akustycznych

Załącznik: wzory tabel: pomiarów i obliczeniowej:

Tabela 1: pomiary zależności natężenia prądu fototranzystora od napięcia zasilającego obwód diody świecącej oraz od natężenia prądu pobudzającego diodę do świecenia.

STAŁE: obwód diody świecącej: typ diody:.....

Opór opornika ograniczającego prąd: $R_1 = \dots$

Obwód czujnika światła: typ fototranzystora:

Napięcie zasilania obwodu fototranzystora :.....

Opór opornika ograniczającego prąd: $R_2 = \dots$

Odległość pomiędzy diodą świecąca a fototranzystorem: $a = \text{const } 1 \text{ lub } 2.$

Maksymalna dopuszczalna wartość natężenia prądu użytej diody świecącej:.....

$I_{p\text{MAX}} \leq \dots\dots[\text{mA}]$

Lp.	$U_{zd}[\text{V}]$	$I_p [\text{mA}]$	$I_{FT} [\text{mA}]$
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12		$I_{p\text{MAX}}\dots$	

Tabela2: obliczenia wielkości dotyczących obwodu diody świecącej (LED)

Lp.	$U_d = U_{zd} - I_p R_1$ [V]	$r_{dp} = \frac{U_d}{I_p}$ [Ω]	$p_d = U_d I_p$ [W]
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			

Uwaga: obliczenia wykonujemy dla wartości wyrażonych w jednostkach układu SI.