

Ćwiczenie 10

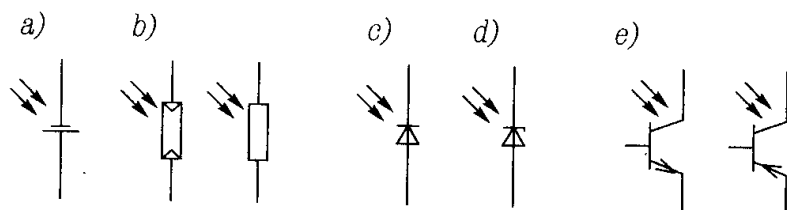
Badanie elementów optoelektronicznych

10.1. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest poznanie budowy, działania i właściwości elementów optoelektronicznych półprzewodnikowych oraz zaznajomienie się z niektórymi metodami ich badania.

10.2. Wprowadzenie

W wielu dziedzinach techniki zachodzi potrzeba rejestracji, wykrywania i pomiaru natężenia promieniowania elektromagnetycznego o różnych długościach fal, w tym i promieniowania widzialnego, bez udziału człowieka. Stosuje się wtedy czujniki promieniowania. Czujniki przystosowane do pracy w zakresie widzialnym widma promieniowania elektromagnetycznego nazywają się **fotoelementami**. Fotoelementy (elementy optoelektroniczne) mogą być lampowe i półprzewodnikowe. W fotoelementach lampowych (fotokomórka, fotopowielacz) wykorzystuje się zewnętrzne zjawisko fotoelektryczne, natomiast w półprzewodnikowych — wewnętrzne zjawisko fotoelektryczne. Symbole graficzne elementów optoelektronicznych półprzewodnikowych, którym jest poświęcone niniejsze ćwiczenie, przedstawiono na rys. 10.1.

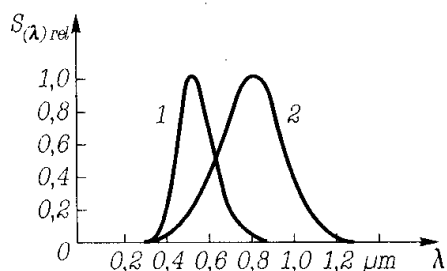


Rys.10.1. Symbole graficzne półprzewodnikowych elementów optoelektronicznych: a) fotoogniwo; b) fotorezystor; c) fotodiody; d) fotodiody typu PIN; e) fototranzystory

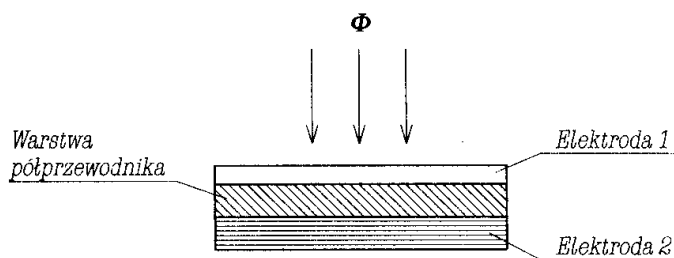
Elementy optoelektroniczne półprzewodnikowe nie są jednakowo wrażliwe na różne długości fal. Charakteryzują się one największą czułością dla promieniowania, którego energia odpowiada szerokości przerwy energetycznej między pasmem podstawowym i pasmem przewodnictwa w półprzewodniku, z którego zostały one wykonane. Dla tych elementów maksimum czułości nie pokrywa się z maksimum czułości oka ludzkiego (przesunięte jest względem niego w kierunku podczerwieni — rys. 10.2).

Elementy optoelektroniczne półprzewodnikowe można podzielić na **generacyjne** i **parametryczne**. Do elementów generacyjnych należą fotoogniwa, a do parametrycznych: fotorezystory, fotodiody i fototranzystory. Osobną grupę stanowią: diody elektroluminescencyjne (świecące) i transoptory.

● **Fotoogniwo** (ogniwo fotoelektryczne — rys. 10.3) jest zbudowane z elektrody metalowej, na której jest umieszczona warstwa półprzewodnika, powleczone półprzezroczystą cienką powłoką złotą lub platynową, stanowiącą drugą elektrodę fotoogniwa. Fotoogniwo wykorzystuje efekt fotowoltaiczny (zjawisko fotoelektryczne).



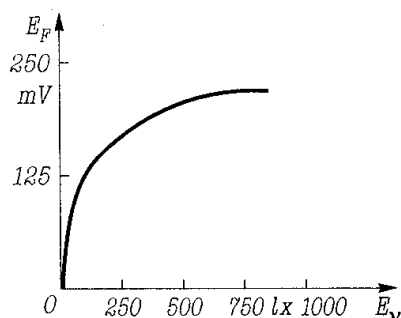
Rys.10.2. Zależność względnej czułości widmowej $S_{(\lambda)rel}$ (stosunek czułości widmowej do czułości maksymalnej) od długości fali λ promieniowania



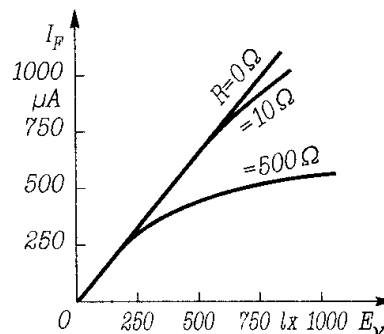
Rys.10.3. Budowa fotoogniwa

Siła fotoelektryczna E_F powstająca na zaciskach ogniwa rozwartego jest nieliniową funkcją natężenia oświetlenia (rys.10.4). W przypadku ogniwa zwartego płynie przez to fotoogniwo prąd zwarcziowy, który jest równy prądowi fotoelektrycznemu i proporcjonalny do natężenia oświetlenia (rys. 10.5).

Fotoogniwo selenowe nie należy do szybkich przetworników optoelektronicznych. Graniczna częstotliwość pracy fotoogniw zawiera się w przedziale 200÷2000 Hz (rys. 10.6). Znacznie lepsze właściwości dynamiczne ma fotoogniwo krzemowe, którego częstotliwość graniczna wynosi kilka megaherców.



Rys. 10.4. Przykładowa charakterystyka oświetleniowa ogniwa fotoelektrycznego nie obciążonego

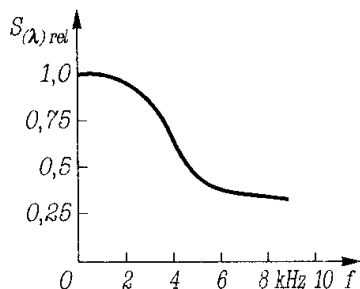


Rys. 10.5. Przykładowa charakterystyka oświetleniowa ogniwa fotoelektrycznego obciążonego

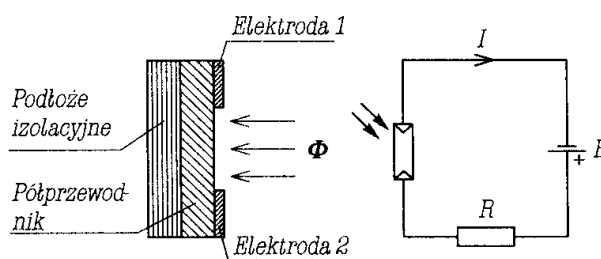
Przetworniki optoelektroniczne parametryczne zmieniają swoje parametry charakterystyczne (np. rezystywność) pod wpływem padającego na nie strumienia świetlnego. Są to więc bierne elementy fotoelektryczne.

● **Fotorezystor** stanowi fotoczuła warstwa półprzewodnika umieszczona na izolacyjnym podłożu (rys. 10.7). Między elektrodami istnieje rezystancja zależna od wartości strumienia świetlnego Φ_v .

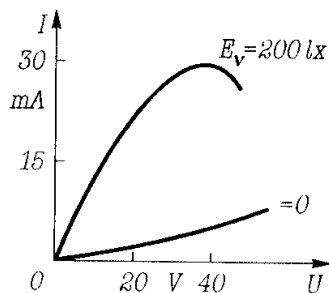
Fotorezystor charakteryzuje się nieliniową charakterystyką prądowo-napięciową (rys. 10.8) i nieliniowymi charakterystykami oświetleniowymi (rys.10.9). Wadą jego jest duża wrażliwość temperaturowa.



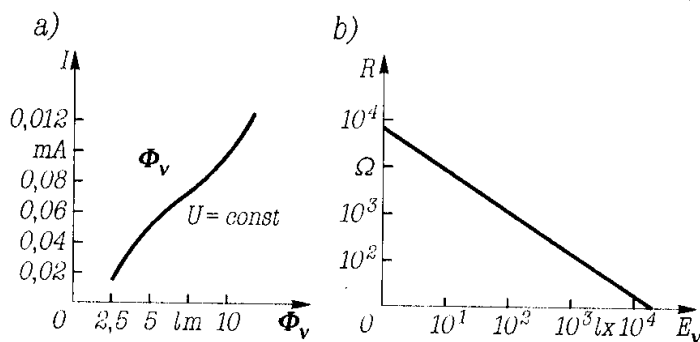
Rys. 10.6. Przykładowa charakterystyka częstotliwościowa ogniwa fotoelektrycznego selenowego $S_{(\lambda)rel}$ — względna czułość widmowa



Rys. 10.7. Budowa i podstawowy układ pracy fotorezystora



Rys. 10.8. Przykładowe charakterystyki prądowo-napięciowe fotorezystora



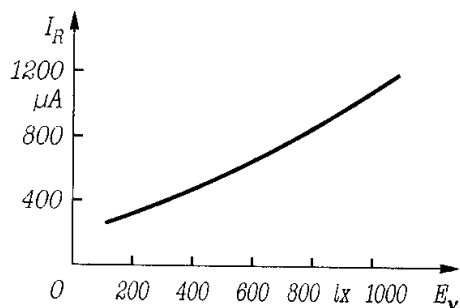
Rys. 10.9. Przykładowe charakterystyki oświetleniowe fotorezystora: a) zależność prądu fotoelektrycznego od strumienia świetlnego; b) zależność rezystancji od natężenia oświetlenia

● **Fotodioda** jest najprostszym półprzewodnikowym elementem optoelektronicznym wykorzystującym złącze PN. W czasie normalnej pracy jest ona spolaryzowana zaporowo. Wartość prądu fotoelektrycznego wzrasta (rys. 10.10) ze wzrostem natężenia oświetlenia. Charakterystyka prądowo-napięciowa fotodiody (rys.10.11) jest zbliżona do charakterystyki zwykłej diody spolaryzowanej w kierunku zaporowym.

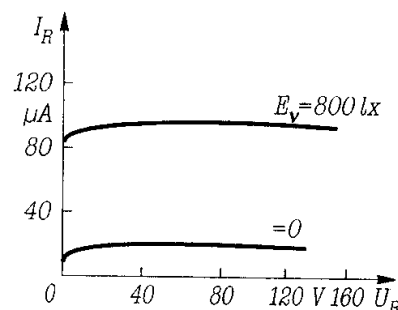
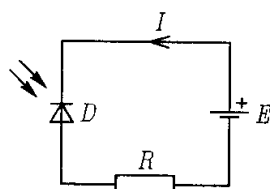
Graniczna częstotliwość pracy fotodiody zależy od wielkości powierzchni złącza i dla diod o małych powierzchniach dochodzi do kilkuset megaherców.

● **Fototranzystor** (rys. 10.12) ma budowę wewnętrzną podobną do zwykłego tranzystora.

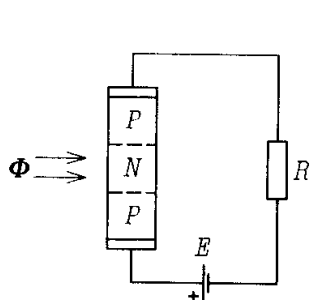
Przykładowe charakterystyki prądowo-napięciowe i świetlne fototranzystora przedstawiono na rys. 10.13 i 10.14. Fototranzystor łączy w sobie właściwości fotodiody i wzmacniające działanie tranzystora.



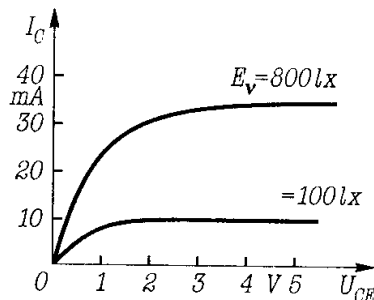
Rys. 10.10. Przykładowa charakterystyka oświetleniowa i podstawowy układ pracy fotodiody



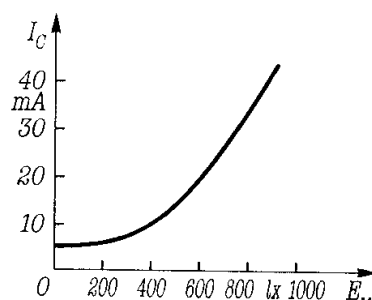
Rys. 10.11. Przykładowe charakterystyki prądowo-napięciowe fotodiody



Rys.10.12. Budowa i podstawowy schemat układu pracy fototranzystora

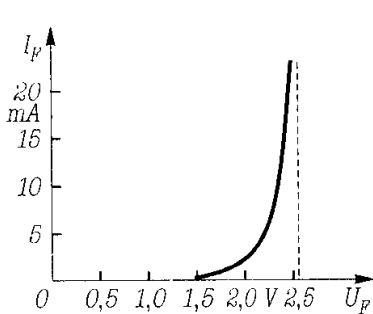


Rys. 10.13. Przykładowe charakterystyki prądowo-napięciowe fototranzystora w układzie WE

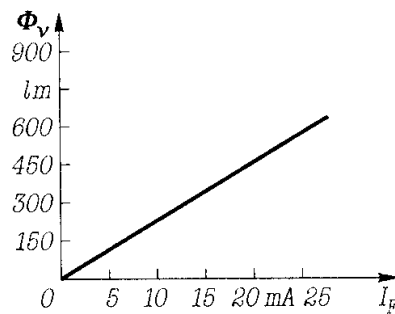


Rys. 10.14. Przykładowa charakterystyka oświetleniowa fototranzystora

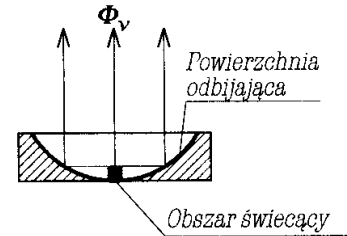
● **Diody elektroluminescencyjne** należą również do grupy optoelektronicznych elementów półprzewodnikowych (świecące diody LED — ang. *Light Emitting Diode*). Diody te w czasie normalnej pracy są spolaryzowane w kierunku przewodzenia, a typowa charakterystyka prądowo-napięciowa dla tego kierunku jest przedstawiona na rys. 10.15. Charakterystykę świecenia ilustruje rys. 10.16.



Rys. 10.15. Przykładowa charakterystyka prądowo-napięciowa diody elektroluminescencyjnej



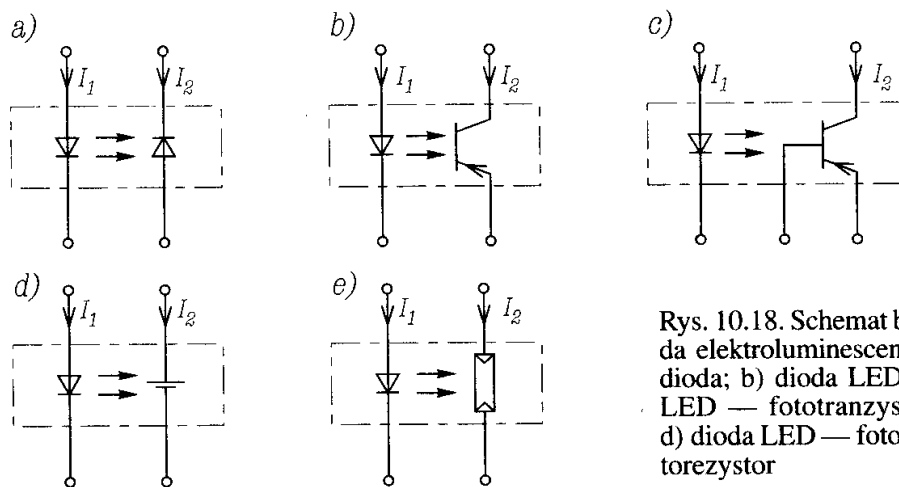
Rys. 10.16. Charakterystyka świecenia diody elektroluminescencyjnej



Rys. 10.17. Budowa wskaźnika diodowego

Diody LED zawiera obszar świecący, umieszczony wewnątrz wklęsłej powierzchni odbijającej (rys. 10.17). Strumień świetlny Φ_v stanowi promieniowanie bezpośrednie i odbite. Kolor świecenia diody LED jest zależny od rodzaju użytego półprzewodnika, np. złącze PN diody świecące światłem czerwonym jest wykonane z fosforo-arsenku galu.

Diody świecące doskonale nadają się do budowy wskaźników alfanumerycznych i transoptorów.



Rys. 10.18. Schemat budowy transoptorów: a) dioda elektroluminescencyjna (dioda LED) — fotodiody; b) dioda LED — fototranzystor; c) dioda LED — fototranzystor z wyprowadzoną bazą; d) dioda LED — fotoogniwo; e) dioda LED — fototranzystor

Transoptor jest to para elementów optoelektronicznych sprzężonych optycznie, umieszczonych we wspólnej obudowie. Składa się on ze źródła promieniowania (najczęściej diody świecącej) i fotodetektora (najczęściej fototranzystora) oraz sprzęgacza optycznego (falowodu). Różne rodzaje transoptorów przedstawiono na rys. 10.18. Za pomocą transoptorów można przetworzyć prąd wejściowy I_1 na prąd wyjściowy I_2 , który może występować przy dowolnym potencjale.

Najważniejszymi parametrami transoptorów są: wzmacnienie określone jako

$$\alpha = \frac{I_2}{I_1} \quad (10.1)$$

oraz graniczna częstotliwość pracy f_T . Wartości tych parametrów zestawiono w tabl. 10.1.

Tabela 10.1. Wartości ważniejszych parametrów transoptorów

Rodzaj transoptora	Wzmocnienie $\alpha_{oc} = I_2/I_1$	Częstotliwość graniczna f_T kHz
Dioda LED — fotodioda	0,5	10000
Dioda LED — fototranzystor	30	500
Dioda LED — fototranzystor	300	50

10.3. Badania

W fotoptyce zachodzi potrzeba pomiaru różnych wielkości świetlnych, które w danym układzie fotometrycznym są ze sobą ściśle powiązane i przy nie zmienionej geometrii układu fotometrycznego są liniowo od siebie zależne. Podstawowymi wielkościami fotometrycznymi subiektywnymi są: strumień świetlny Φ_v , natężenie oświetlenia E_v , światłość I_v , luminancja L_v . Korzystając z jednostek energetycznych, wielkości te wyraża się w watach (W) lub w watach na metr kwadratowy (W/m^2).

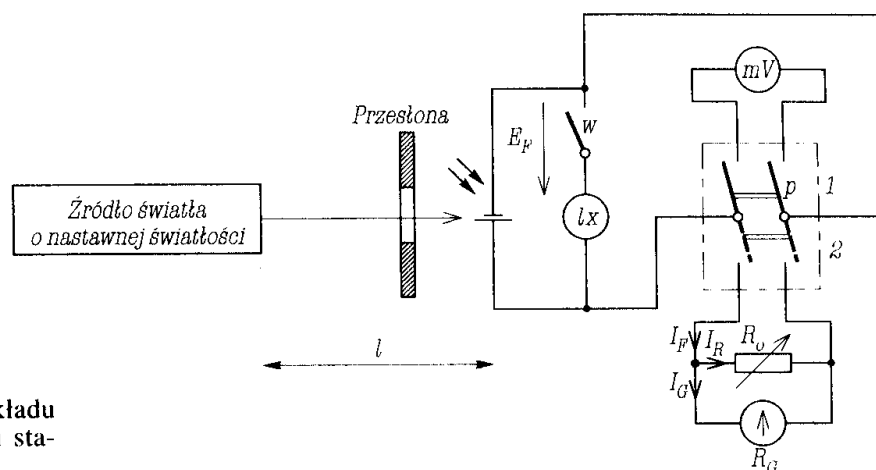
Pomiary będą obejmowały wyznaczenie charakterystyk prądowo-napięciowych i oświetleniowych wszystkich wymienionych elementów optoelektronicznych półprzewodnikowych. Ponadto w przypadku fotoogniwa i fotorezystora przewidziano wyznaczenie charakterystyk częstotliwościowych.

10.3.1. Wyznaczanie charakterystyk statycznych fotoogniwa

Charakterystyki statyczne fotoogniwa, czyli zależność siły elektromotorycznej na zaciskach ogniwa otwartego od natężenia oświetlenia $E_F = f(E_v)$ i zależności prądu fotoelektrycznego w rezystorze obciążającym fotoogniwo od natężenia oświetlenia $I_F = f(E_v)$, wyznacza się w układzie przedstawionym na rys. 10.19.

W układzie tym wykorzystano źródło światła o nastawnej światłości. Strumień świetlny przez otwór w przesłonie pada na fotoogniwo badane, które jest częścią lukso mierza fabrycznego lx . Przy zamkniętym wyłączniku w i otwartym przełączniku p jest możliwy pomiar natężenia oświetlenia. Odpowiednią wartość natężenia oświetlenia nastawia się za pomocą diafragmy w przesłonie lub zmieniając odległość źródła światła od powierzchni fotoogniwa.

Jeżeli jako źródło światła jest wykorzystana żarówka, to światłość można zmieniać nastawiając odpowiednią wartość płynącego przez nią prądu. Po otwarciu wyłącznika w i ustawieniu przełącznika p w pozycji 1 następuje pomiar siły fotoelektrycznej E_F rozwartego fotoogniwa woltomierzem elektronicznym analogowym lub cyfrowym. W pozycji 2 przełącznika p (i przy otwartym wyłączniku w) następuje pomiar prądu fotoelektrycznego I_F .



Rys. 10.19. Schemat układu do badania właściwości statycznych fotoogniwa

Do pomiaru tego prądu służy galwanometr magnetoelektryczny o czułości prądowej C_I i rezystancji wewnętrznej R_G , połączony równolegle z rezystorem dekadowym R_0 obciążającym fotoogniwo. Prąd fotoelektryczny

$$I_F = I_G \left(1 + \frac{R_G}{R_0} \right) \quad (10.2)$$

w którym: $I_G = C_I \alpha$, przy czym α — odchylenie plamki galwanometru mierzone w działkach.

Pomiary należy wykonać przy różnych wartościach natężenia oświetlenia i powtórzyć przy $R_0 = 10 \Omega$ i $R_0 = 500 \Omega$.

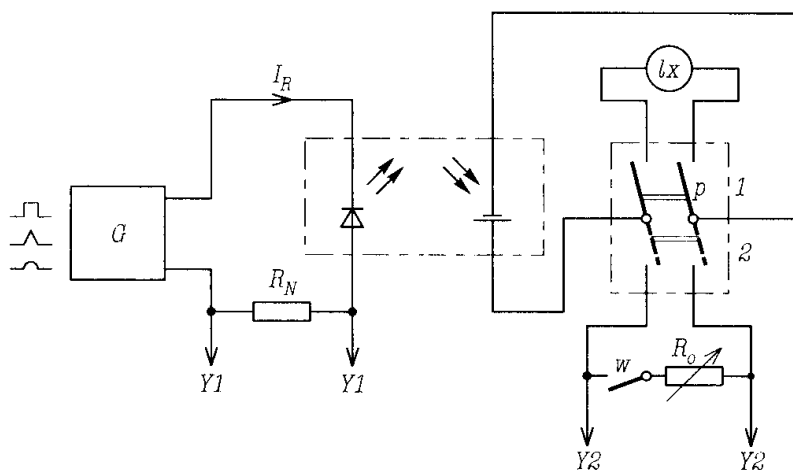
10.3.2. Badanie właściwości dynamicznych fotoogniwa

Badanie właściwości dynamicznych fotoogniwa przeprowadza się w układzie przedstawionym na rys. 10.20. Źródłem światła pulsującego (migającego) jest dioda elektroluminescencyjna LED, która wraz z rezystorem R_N , połączonym z nią szeregowo, stanowi obciążenie generatora. Prąd I_R płynący przez diodę może być mierzony drogą pośrednią przez pomiar spadku napięcia na rezystorze wzorcowym R_N . Łącząc zaciski rezystora R_N z wejściem Y1 oscyloskopu dwukanałowego umożliwia się obserwację kształtu prądu I_R , a więc i kształtu impulsów świetlnych.

W pozycji 2 przełącznika p do zacisków badanego fotoogniwa zostaje dołączone obciążenie (rezystor R_0) oraz wejście Y2 drugiego kanału oscyloskopu. Dzięki takiemu połączeniu na ekranie oscyloskopu można obserwować również przebiegi czasowe i kształt napięcia fotoelektrycznego (w stanie jałowym ogniwa — wyłącznik w otwarty i przy obciążeniu — wyłącznik w zamknięty). Zmianę częstotliwości migotania światła uzyskuje się przez zmianę częstotliwości generatora. W układzie można również, przy stałym lub bardzo wolnozmiennym napięciu zasilającym diodę LED, zmierzyć natężenie oświetlenia (pozycja 1 przełącznika p).

Charakterystykę dynamiczną fotoogniwa przedstawia się jako zależność względnej amplitudy sygnału obserwowanego od częstotliwości. Przy wolnozmiennym napięciu zasil-

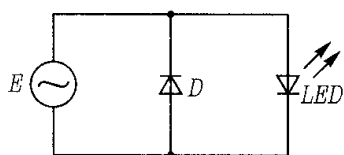
lającym diodę można określić maksymalną wartość napięcia $U_{F \max}$ otrzymanego z fotoogniwa i odczytaną z oscyloskopu. Dla kolejnych, większych częstotliwości f migotania światła należy mierzyć wartość amplitudy napięcia U_F . Obserwacje i pomiary napięcia U_F należy przeprowadzić trzykrotnie: dla ogniwa w stanie jałowym; dla ogniwa obciążonego $R_0 = 10\ \Omega$ i $R_0 = 500\ \Omega$ i jeśli to możliwe, przy różnych kształtach napięcia zasilającego diodę LED. Częstotliwość należy zmieniać w przedziale $0 \div 3000\ \text{Hz}$.



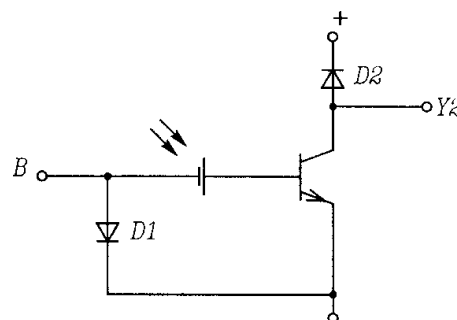
Rys. 10.20. Schemat układu do badania właściwości dynamicznych fotoogniwa

W praktyce może okazać się, że jedna dioda LED świeci zbyt słabo. Wtedy do pomiarów należy użyć kilku diod połączonych szeregowo lub równolegle — nie należy jednak przeciążać przy tym generatora.

Diody LED pracują poprawnie przy określonej polaryzacji (polaryzacji w kierunku przewodzenia). Jeżeli są one połączone z generatorem przebiegów przemiennych, to w okresie ujemnego półokresu napięcia występuje ono w całości na diodach. To napięcie wsteczne jest niebezpieczne, gdyż może doprowadzić do przebicia złącza PN i zniszczenia diody.



Rys. 10.21. Schemat połączeń diody elektroluminescencyjnej (diody LED) z diodą zabezpieczającą ją przed zniszczeniem



Rys. 10.22. Schemat układu wzmacniacza napięcia fotoelektrycznego

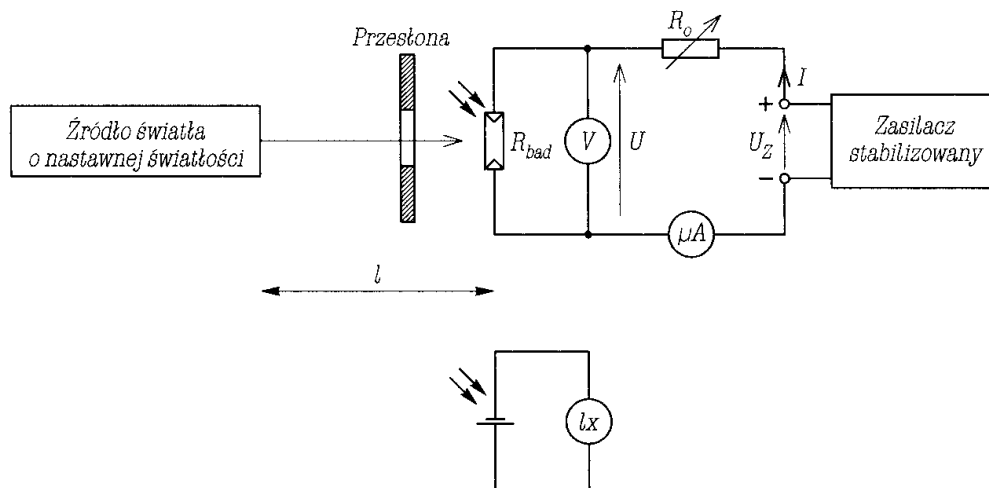
Każdą diodę LED łączy się wtedy ze zwykłą diodą (rys. 10.21). W czasie ujemnego półokresu napięcia przewodzi dioda D i spadek napięcia na diodzie LED jest wtedy mały.

Dodatkowym sposobem zwiększenia wartości sygnału pomiarowego jest połączenie fotoogniwa badanego z prostym wzmacniaczem tranzystorowym (rys. 10.22).

W przedstawionym układzie dioda $D2$ i tranzystor stanowią dzielnik napięcia. Rezystancja emiter-kolektor tranzystora i spadek napięcia na nim są zależne od natężenia oświetlenia fotoogniwa.

10.3.3. Wyznaczanie charakterystyk statycznych fotorezystora

Charakterystyki statyczne fotorezystora można wyznaczyć w układzie pokazanym na rys. 10.23. W układzie tym, podobnie jak poprzednio, źródło światła o regulowanej jasności, przesłona i fotoogniwo wraz z luksomierzem lx służą do nastawiania odpowiedniego oświetlenia fotoczułej warstwy fotorezystora. Fotorezystor i połączony z nim szeregowo rezystor dekadowy R_0 stanowią obciążenie zasilacza stabilizowanego napięcia stałego. Do pomiaru prądu płynącego przez fotorezystor służy mikroamperomierz magnetoelektryczny, a do pomiaru spadku napięcia na nim — woltomierz elektroniczny analogowy lub cyfrowy.



Rys. 10.23. Schemat układu do badania właściwości statycznych fotorezystora

W przedstawionym układzie jest możliwe wyznaczenie charakterystyk prądowo-napięciowych i świetlnych fotorezystora.

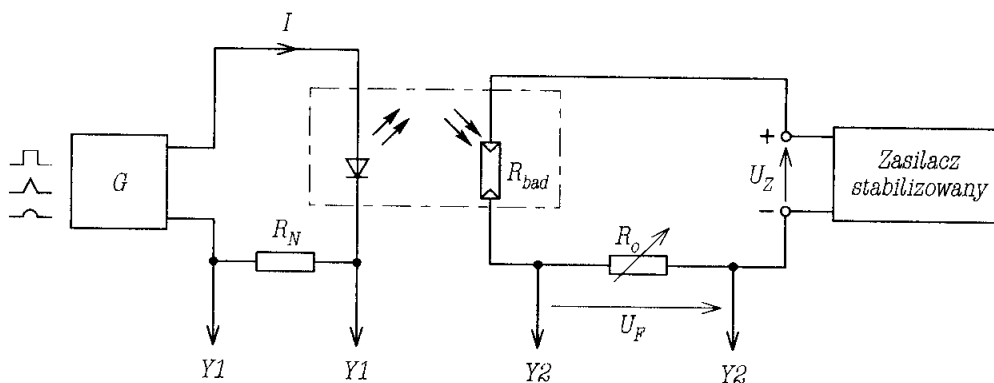
Aby wyznaczyć charakterystyki prądowo-napięciowe fotorezystora przy $E_v = 0$, należy zaciemnić fotorezystor i dla kolejnych wartości napięć zasilających U_z odczytywać wskazania mikroamperomierza i woltomierza. Podobnie postępuje się przy danym natężeniu oświetlenia $E_v \neq 0$ zmierzonym luksomierzem.

Aby wyznaczyć charakterystykę świetlną fotorezystora przy stałym napięciu zasilającym np. $U_z = 50 \text{ V}$ i stałej wartości rezystancji $R_0 = 100 \Omega$, należy zmieniać natężenie oświetlenia mierząc je luksomierzem, a następnie odczytywać wskazania mikroamperomierza i woltomierza. Rezystancję fotorezystora oblicza się z prawa Ohma, a prąd fotoelektryczny

$$I_F = I - I_{\text{sat}} \quad (10.3)$$

10.3.4. Wyznaczanie charakterystyk dynamicznych fotorezystora

Właściwości dynamiczne fotorezystora można zbadać w układzie podanym na rys. 10.24. W układzie tym źródłem migającego światła oświetlającego fotorezystor jest dioda świecąca lub zespół takich diod. Kształt impulsów świetlnych można obserwować badając przebieg czasowy napięcia na rezystorze wzorcowym R_N (wejście $Y1$ oscyloskopu). Przebieg czasowy prądu fotoelektrycznego, wywołującego spadek napięcia na rezystorze R_O , jest obserwowany na drugim kanale oscyloskopu (wejście $Y2$).



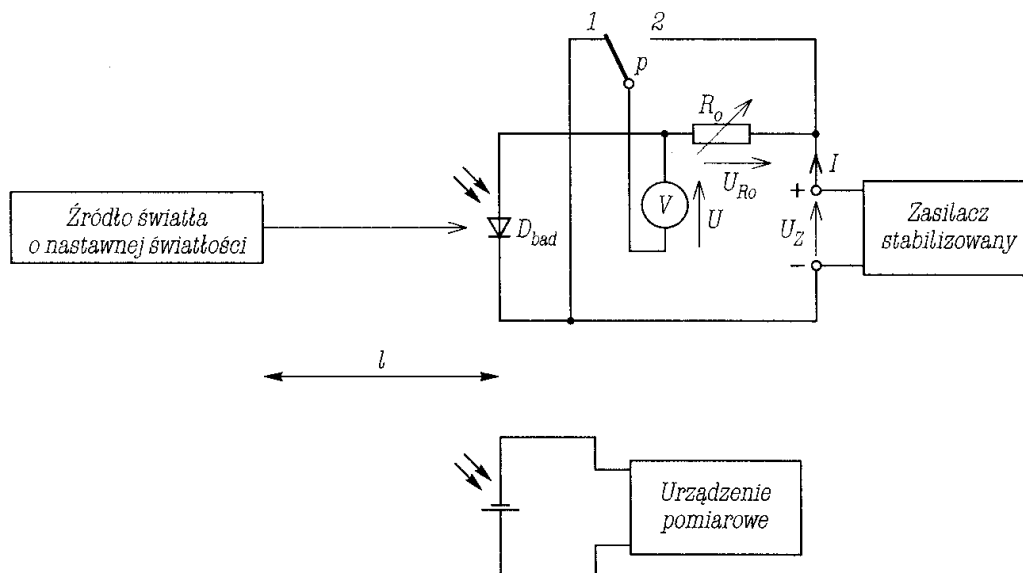
Rys. 10.24. Schemat układu do badania właściwości dynamicznych fotorezystora

Charakterystykę dynamiczną częstotliwościową fotorezystora, podobnie jak fotoogniwa, przedstawia się jako zależność względnej amplitudy sygnału obserwowanego od częstotliwości migotania strumienia oświetlającego. Sygnałem w tym przypadku jest prąd fotoelektryczny (kanał $Y2$ oscyloskopu). Częstotliwość zmian natężenia oświetlenia nastawia się generatorem zasilającym obwód diody LED. Należy zanotować, korzystając z ekranu oscyloskopu, maksymalną wartość spadku napięcia $U_{F \max}$ na rezystorze R_O , a później kolejne wartości U_F dla każdej z nastawianych częstotliwości. Pomiar należy przeprowadzić przy stałym napięciu U_Z zasilającym obwód fotorezystora i stałym napięciu zasilającym obwód diody świecącej.

10.3.5. Badanie fotodiody

Badanie fotodiody będzie ograniczało się do wyznaczenia jej charakterystyk prądowo-napięciowych i oświetleniowych. Wspomniane charakterystyki wyznacza się w układzie przedstawionym na rys. 10.25. Dioda jest połączona szeregowo z rezystorem R_O i spolaryzowana w kierunku wstecznym. Woltomierz elektroniczny analogowy lub cyfrowy może mierzyć spadek napięcia U na badanej diodzie (pozycja 1 przełącznika p) lub spadek napięcia na rezystorze R_O (pozycja 2 przełącznika p). Znajomość rezystancji R_O umożliwia obliczenie, z prawa Ohma, prądu I płynącego przez badaną fotodiodę. Do pomiaru natężenia oświetlenia w miejscu, w którym strumień świetlny oświetla fotodiodę, służy luksumierz.

Charakterystykę prądowo-napięciową diody wyznacza się przy $E_v = 0$ (dioda zaciemniona) i przy $E_v > 0$. W celu wyznaczenia tej charakterystyki należy przyjąć np. $R_o = 10 \text{ k}\Omega$, a napięcie zasilające U_z zmieniać w zakresie $0 \div 100 \text{ V}$. Dla każdego z nastawionych napięć należy odczytać wskazania woltomierza dwukrotnie: w pozycji 1 przełącznika p (pomiar napięcia U) i w pozycji 2 tego przełącznika (pomiar napięcia U_{R_o}). W czasie pomiarów należy zwrócić uwagę na to, by nie przekraczać maksymalnego dopuszczalnego prądu, który zwykle jest rzędu kilku miliamperów.



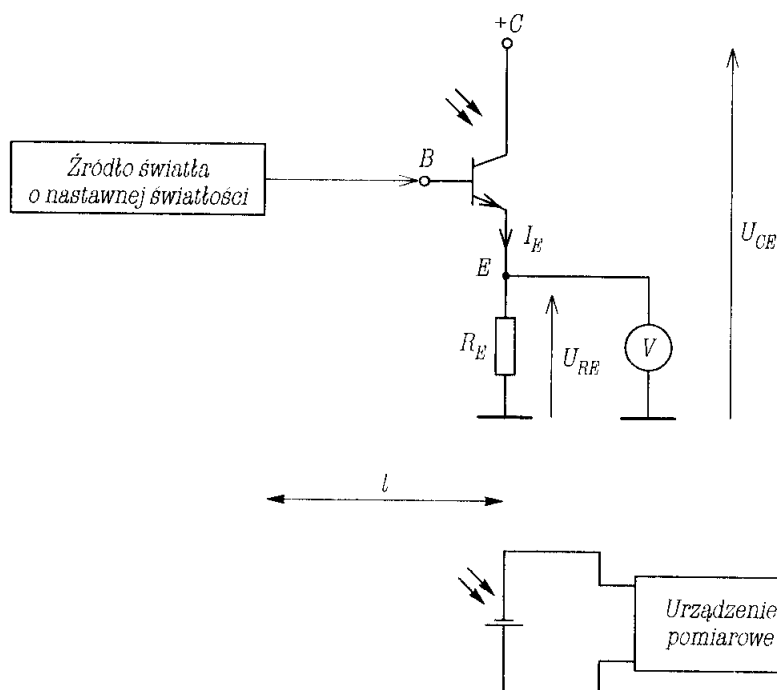
Rys. 10.25. Schemat układu do wyznaczenia charakterystyk prądowo-napięciowych i oświetleniowych fotodiody

Charakterystykę oświetleniową wyznacza się po nastawieniu stałej wartości np. $U_z = 60 \div 100 \text{ V}$. Natężenie mierzy się luksomierzem, następnie po usunięciu go w tym miejscu, w którym się poprzednio znajdował, umieszcza się fotodiodę. W pozycji 2 przełącznika p mierzy się woltomierzem napięcie U_{R_o} , a pośrednio prąd $I = U_{R_o} R_o$. Prąd I należy wyznaczyć dla co najmniej dziesięciu wartości E_v .

10.3.6. Badanie fototranzystora

Badanie fototranzystora również będzie się ograniczało do wyznaczenia jego charakterystyk prądowo-napięciowych i oświetleniowych i może być wykonane w układzie podanym na rys. 10.26. W układzie tym sygnałem pomiarowym, zależnym od natężenia oświetlenia, jest spadek napięcia na rezystorze emiterowym R_E badanego fototranzystora, mierzony woltomierzem elektronicznym cyfrowym lub analogowym. Do pomiaru natężenia oświetlenia służy, podobnie jak poprzednio, ogniwo fotoelektryczne połączone z urządzeniem pomiarowym, w najprostszym przypadku z luksomierzem.

W przedstawionym układzie można wyznaczyć charakterystykę prądowo-napięciową fototranzystora przy stałym oświetleniu obszaru bazy.



Rys. 10.26. Schemat układu do wyznaczania charakterystyk prądowo-napięciowych i oświetleniowych fototranzystora

Charakterystykę prądowo-napięciową fototranzystora wykonuje się przy zaciemnieniu ($E_v = 0$) i stałym oświetleniu ($E_v > 0$) obszaru jego bazy. Napięcie kolektor-emiter U_{CE} fototranzystora nastawia się na zasilaczu stabilizowanym napięcia stałego w granicach od 0 do wartości znamionowej. Do pomiaru prądu fotoelektrycznego I_F (który jest w tym przypadku prądem kolektora) wykorzystuje się wskazania woltomierza V , który mierzy spadek napięcia U_{RE} . W tym przypadku prąd fotoelektryczny

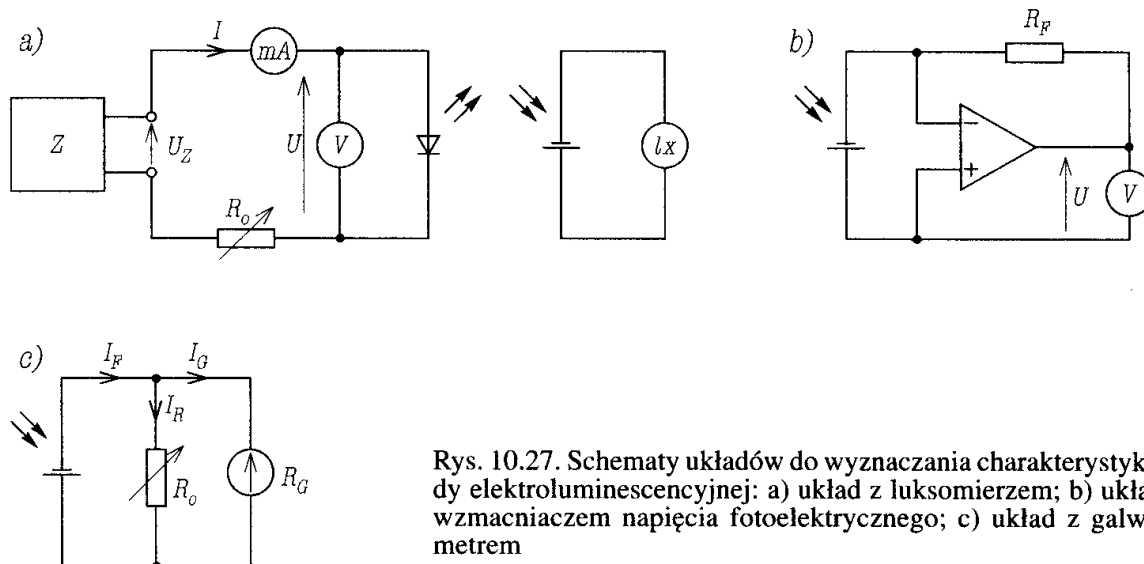
$$I_F = \frac{U_{RE}}{R_E} = I_C \quad (10.4)$$

Przy danej wartości natężenia oświetlenia należy wykonać co najmniej dziesięć pomiarów.

Wyznaczanie charakterystyki oświetleniowej fototranzystora odbywa się przy stałym napięciu U_{CE} polaryzującym odpowiednio jego złącza. Dla kolejnych wartości natężenia oświetlenia E_v odczytuje się wskazania woltomierza.

10.3.7. Badania diody elektroluminescencyjnej

Badanie diody elektroluminescencyjnej przeprowadza się w układzie podanym na rys. 10.27. Do pomiaru prądu płynącego przez diodę LED służy miliamperomierz magnetoelektryczny mA , a do pomiaru spadku napięcia U na diodzie — woltomierz elektroniczny V cyfrowy lub analogowy. Rezystor dekadowy R_0 służy do zabezpieczenia zasilacza stabilizowanego napięcia stałego przed zwarcieniem. Prąd I i napięcie U są wystarczającymi parametrami do wykreślenia charakterystyk prądowo-napięciowych diody.



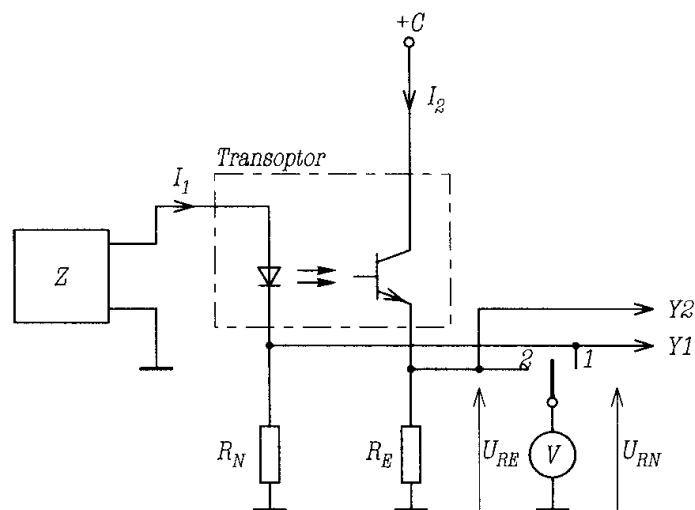
Rys. 10.27. Schematy układów do wyznaczania charakterystyk diody elektroluminescencyjnej: a) układ z luksomierzem; b) układ ze wzmacniaczem napięcia fotoelektrycznego; c) układ z galwanometrem

W przedstawionym układzie można wyznaczyć również kształt charakterystyki promieniowania. Ponieważ trudno jest określić całkowity strumień świetlny wypromieniowany przez diodę, ograniczymy się w tym miejscu do pomiaru natężenia oświetlenia E_v w punkcie położonym w bezpośrednim sąsiedztwie badanej diody. Do pomiaru natężenia oświetlenia może służyć luksomierz (rys. 10.27a), wzmacniacz napięcia fotoelektrycznego (rys. 10.27b) lub też galwanometr (o rezystancji wewnętrznej R_G) obciążający wraz z rezystorem R_0 ogniwo fotoelektryczne (rys. 10.27c).

W czasie wykonywania pomiarów należy zwrócić uwagę na to, aby nie przekroczyć wartości parametrów granicznych.

10.3.8. Badanie transoptora

Transoptor (rys. 10.28) jest złożony z diody elektroluminescencyjnej i fototranzystora. Bez wyprowadzonej bazy jest on elementem czwórnikowym. Dwie końcówki służą do zasilania diody. Zasilacz stabilizowany napięcia stałego wymusza przepływ prądu I_1 przez diodę i szeregowo z nią połączony rezystor R_N . Druga para zacisków służy do polaryzacji złą-



Rys. 10.28. Schemat układu do badania transoptora

czy tranzystora, przez który przepływa prąd I_2 . Prądy I_1 i I_2 wyznacza się na podstawie wskazań woltomierza elektronicznego cyfrowego lub analogowego, który może mierzyć spadki napięć U_{RN} i U_{RE} . Wyjścia Y1 i Y2 umożliwiają obserwację zmiennych w czasie przebiegów prądów I_1 i I_2 i badanie właściwości dynamicznych transoptora.

Wyznaczenie wzmocnienia transoptora w funkcji prądu I_1 wykonuje się w układzie jak na rys. 10.28. Polega ono na nastawieniu na zasilaczu stabilizowanym napięcia stałego kolejnych wartości napięć w zakresie $0 \div U_{F \max}$ i odczytywaniu dla każdej z nich wskazań woltomierza w pozycji 1 przełącznika p (pomiar napięcia U_{RN} i pośrednio prądu I_1) i w pozycji 2 przełącznika p (pomiar napięcia U_{RE} i pośrednio prądu I_2). Wzmocnienie transoptora oblicza się ze wzoru (10.1).

W czasie wykonywania pomiarów należy uważać, aby nie przekroczyć dopuszczalnych parametrów granicznych.

10.4. Przebieg ćwiczenia

- 10.4.1. Zaznajomić się z danymi katalogowymi badanych elementów optoelektronicznych. Najważniejsze dane katalogowe zanotować w tab. 10.2.

Tabela 10.2. Ważniejsze dane katalogowe elementów optoelektronicznych

Element optoelektroniczny	U_{\max}	I_{\max}	P_{\max}	f_g	$\mathcal{G}_d - \mathcal{G}_g$
	V	A	W	Hz	K

- 10.4.2. Wyznaczyć charakterystyki statyczne fotoogniwa dla trzech przypadków obciążeń w układzie przedstawionym na rys. 10.19, metodą omówioną w p.10.3.1. Wyniki pomiarów należy zapisać w tab. 10.3.

Tabela 10.3. Charakterystyki statyczne fotoogniwa

Fotoogniwo typu ...		$R_o' = \dots \Omega$	$R_o'' = \dots \Omega$
E_v	E_F	I_F'	I_F''
lx	mV	μA	μA

Tabela 10.4. Charakterystyki dynamiczne fotoogniwa

$U_F / U_{F \max} = f(f)$	f	Hz	
$U_{F \max} = \dots V$	U_F	V	
Fotoogniwo typu ...	$U_F / U_{F \max}$	—	

- 10.4.3. Wyznaczyć charakterystykę dynamiczną fotoogniwa w układzie pokazanym na rys. 10.20, metodą omówioną w p. 10.3.2. Wyniki pomiarów należy zapisać w tab. 10.4. Obrazy z ekranu oscyloskopu przerysować na kalkę techniczną i nanieść podziałki.
- 10.4.4. Wyznaczyć charakterystyki statyczne fotorezystora: prądowo-napięciowe i oświetleniowe w układzie przedstawionym na rys. 10.23, metodą omówioną w p. 10.3.3. Wyniki pomiarów należy zapisać w tab. 10.5.

Tabela 10.5. Charakterystyki statyczne, prądowo-napięciowe i oświetleniowe fotorezystora

$I = f(U)$		$I = f(U)$		$I_F = f(E_v)$			$R_F = f(E_v)$	
$E_v = 0$		$E_v = \dots \text{lx}$		$U_z = \dots \text{V}$			$R_o = \dots \Omega$	
U	I	U	I	E_v	I	I_F	U	R
V	μA	V	μA	lx	μA	μA	V	k Ω

- 10.4.5. Wyznaczyć charakterystykę dynamiczną fotorezystora w układzie przedstawionym na rys. 10.24, metodą omówioną w p. 10.3.4. Wyniki pomiarów zapisać w tab. 10.6. Obrazy z ekranu oscyloskopu przerysować na kalkę techniczną i nanieść podziałki.

Tabela 10.6. Charakterystyka dynamiczna fotorezystora

$U_F/U_{F \max} = f(f)$	f	Hz	
$U_{F \max} = \dots \text{V}$	U_F	V	
Fotorezystor typu ...	$U_F/U_{F \max}$	—	

- 10.4.6. Wyznaczyć charakterystyki prądowo-napięciowe i oświetleniowe fotodiody w układzie przedstawionym na rys. 10.25, metodą opisaną w p. 10.3.5. Wyniki pomiarów zapisać w tab. 10.7.

Tabela 10.7. Charakterystyki prądowo-napięciowe i oświetleniowe fotodiody

Fotodiody typu...			$U = f(I_o)$			$I = f(E_v)$		
$E_v = 0$			$E_v = \dots \text{lx}$			$U_z = \dots \text{V}; R_o = \dots \Omega$		
U	U_{Ro}	I	U	U_{Ro}	I	E_v	U_{Ro}	I
V	V	μA	V	V	μA	lx	V	μA

- 10.4.7. Wyznaczyć charakterystyki prądowo-napięciowe i charakterystykę oświetleniową fototranzystora w układzie przedstawionym na rys. 10.26, metodą omówioną w p. 10.3.6. Wyniki pomiarów zapisać w tab. 10.8.

Tabela 10.8. Charakterystyki prądowo-napięciowe i oświetleniowe fototranzystora

$I_F = f(U_{CE})$						$I_F = f(E_V)$		
$E_V = 0; R_E = \dots \Omega$			$E_V = \dots \text{lx}; R_E = \dots \Omega$			$U_{CE} = \dots \text{V}; R_E = \dots \Omega$		
U_{CE}	U_{RE}	I_F	U_{CE}	U_{RE}	I_F	E_V	U_{RE}	I_F
V	V	μA	V	V	μA	lx	V	μA

- 10.4.8. Wyznaczyć charakterystykę prądowo-napięciową i charakterystykę promieniowania diody elektroluminescencyjnej w układzie przedstawionym na rys. 10.27, metodą omówioną w p. 10.3.7. Wyniki pomiarów zapisać w tab. 10.9.

Tabela 10.9. Charakterystyka prądowo-napięciowa i promieniowania diody elektroluminescencyjnej

Dioda LED typu ...				
	$I = f(U)$	U	V	
$E_V = f(I)$			I	mA
		E_V	lx	

Tabela 10.10. Charakterystyka przenoszenia transoptora

Transoptor typu ...		
$R_N = \dots \Omega; R_E = \dots \Omega$		
U_{RN}	V	
I_1	mA	
U_{RE}	V	
I_2	mA	
α	—	

- 10.4.9. Wyznaczyć przebieg wzmocnienia α w funkcji prądu I_1 transoptora w układzie przedstawionym na rys. 10.28, metodą omówioną w p. 10.3.8. Wyniki pomiarów należy zapisać w tab. 10.10. Obrazy z ekranu oscyloskopu, przy zasilaniu diody LED prądem zmiennym, przerysować na kalkę i nanieść podziałki.

10.5. Opracowanie wyników pomiarów

- 10.5.1. Wykreślić charakterystyki $E_F = f(E_V)|_{R=\infty}$, $I_F = f(E_V)|_{R=10 \Omega}$, $I_F = f(E_V)|_{R=500 \Omega}$ (p. 10.4.2) i omówić ich przebieg.
- 10.5.2. Wykreślić charakterystykę $U_F/U_{F_{\max}} = f(f)$ (p. 10.4.3) i omówić jej przebieg. Na krzywej zaznaczyć punkt odpowiadający częstotliwości granicznej f_T . Uzasadnić przebieg krzywych zaobserwowanych na ekranie oscyloskopu.
- 10.5.3. Omówić warunki łączenia diod elektroluminescencyjnych w zespół elementów świecących w celu uzyskania maksymalnej mocy promieniowania przy pełnym wykorzystaniu mocy generatora (rys. 10.21).
- 10.5.4. Omówić działanie układu przedstawionego na rys. 10.22.
- 10.5.5. Wykreślić charakterystyki $I = f(U)|_{E_V=0}$, $I = f(U)|_{E_V>0}$, $I = f(E_V)$, $R_F = f(E_V)$ i uzasadnić ich przebieg (p. 10.4.4).

- 10.5.6. Omówić kształt krzywych zaobserwowanych na ekranie oscyloskopu przy badaniu właściwości dynamicznych fotorezystora. Narysować charakterystykę $U_F/U_{F_{\max}} = f(f)$ fotorezystora i zaznaczyć na niej częstotliwość graniczną (p. 10.4.5).
- 10.5.7. Narysować charakterystyki $I = f(U)|_{E_V = 0}$, $I = f(U)|_{E_V > 0}$, $I = f(E_V)$ fotodiody (p. 10.4.6) i omówić ich przebieg.
- 10.5.8. Wykreślić charakterystyki $I_F = f(U_{CE})|_{E_V = 0}$, $I_F = f(U_{CE})|_{E_V > 0}$, $I_F = f(E_V)$ fototranzystora badanego i omówić ich przebieg (p. 10.4.7).
- 10.5.9. Narysować charakterystyki $I = f(U)$ i $I = f(E_V)$ badanej diody elektroluminescencyjnej i omówić ich przebieg (p. 10.4.8).
- 10.5.10. Wyjaśnić działanie układów przedstawionych na rys. 10.27b,c.
- 10.5.11. Narysować charakterystykę $\alpha = f(I_1)$ transoptora badanego (p. 10.4.9) i omówić jej przebieg. Omówić kształt krzywych zaobserwowanych na ekranie oscyloskopu przy badaniu właściwości dynamicznych transoptora.
- 10.5.12. Omówić problem liniowości przetworników optoelektronicznych półprzewodnikowych.
- 10.5.13. Wymienić źródła błędów pomiarowych, ocenić je i podać metody ich eliminacji.
- 10.5.14. Omówić stosowaną w ćwiczeniu zasadę nastawiania światłości źródła światła i pomiaru natężenia oświetlenia.

10.6. Zagadnienia do samodzielnego opracowania

1. Wyjaśnij istotę zjawiska fotoelektrycznego zewnętrznego.
2. Opisz budowę, zasadę działania i zastosowania lampowych elementów optoelektronicznych: fotokomórki i fotopowielacza.
3. Wyjaśnij zjawisko prądu ciemnego w półprzewodnikowych elementach optoelektronicznych.
4. Omów zastosowanie ogniw fotoelektrycznych w technice kosmicznej.
5. Opisz zasadę działania i budowę detektorów promieniowania: podczerwonego, jonizującego, ultrafioletowego.
6. Omów zalety i wady transmisji sygnałów z wykorzystaniem wiązki świetlnej.
7. Wymień zastosowania elementów półprzewodnikowych optoelektronicznych.
8. Opisz działanie kilku wybranych układów przetworników optoelektronicznych dyskretnych.