

Ćwiczenie 19

WYZNACZANIE CHARAKTERYSTYK FOTODETEKTORÓW

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z zagadnieniami związanymi z detekcją światła przy pomocy kilku typów powszechnie używanych urządzeń. Zbiorami parametrów porównawczych detektorów światła są charakterystyki: spektralna (widmo czułości), natężeniowa i częstotliwościowa. Doświadczenie polega na wyznaczeniu zależności czułości kilku przykładowych czujników (fotokomórka, fotoopornik, fotodioda, fototranzystor, fotopowielacz) od długości fali światła oraz badaniu optymalnych parametrów obwodów pracy niektórych detektorów (charakterystyki prądowo-napięciowej i częstotliwościowej).

Zbiór wiadomości ogólnych związanych z problematyką pomiaru ilości światła obejmuje:

- opis promieniowania elektromagnetycznego,
- optykę,
- oddziaływanie promieniowania z materią,
- związane z nim zagadnienia dotyczące struktury materii (teoria pasmowa ciał stałych),
- podstawowe wiadomości z zakresu elektroniki.

Zagadnienia szczególnie istotne w kontekście ćwiczenia:

- wielkości charakteryzujące parametry promieniowania i ich jednostki,
- rodzaje widm promieniowania (pochodzenie widm liniowych, pasmowych i ciągłych),
- spektralny rozkład gęstości energii promieniowania emitowanego przez źródło idealne (ciało doskonale czarne) i rzeczywiste,
- zjawiska fotoelektryczne zewnętrzne i wewnętrzne; ich wykorzystanie do detekcji światła i wynikające z nich specyficzne cechy detektorów; porównanie ze zjawiskiem piroelektrycznym i zasadą działania czujników piroelektrycznych,
- budowa i zasada działania przetworników sygnałów świetlnych na elektryczne: fotokomórek, fotooporników, fotodiod, fotoogniw, fototranzystorów, fotopowielaczy (dynodowych, kanałowych i mikrokanałowych), matryc światłoczułych wykonanych w technologiach CCD i CMOS i innych,
- obwody elektroniczne, w których pracują poszczególne detektory; charakterystyki prądowo-napięciowe,

- fotopowielacz w układzie do pomiaru bardzo małych natężeń promieniowania,
- charakterystyki czujników: widmowa i częstotliwościowa,
- budowa i zasada działania monochromatora pryzmatycznego, krzywa dyspersji.

Zestaw doświadczalny składa się z: monochromatora pryzmatycznego, źródła światła o widmie liniowym (lampa rtęciowa), źródła światła o widmie ciągłym (żarówka z włóknem wolframowym), fotodetektorów (fotokomórki, fotooporniki, fotodiody, fotoogniwa, fototranzystory, fotopowielacze). W skład zestawu wchodzi również: mechaniczny modulator światła, zasilacze niskiego i wysokiego napięcia, mierniki prądu i napięcia, oscyloskop, umożliwiające zestawienie układów do badania różnych charakterystyk czujników.

Przebieg doświadczeń. Podstawowym celem ćwiczenia jest porównanie kilku rodzajów detektorów światła. Jednym z najistotniejszych parametrów fotodetektorów jest ich czułość i jej zależność od długości fali promieniowania. Pomiarów charakterystyk spektralnych kilku dostępnych w II Pracowni Fizycznej urządzeń różnego typu stanowią więc główną część eksperymentu.

Wszystkie badane fotodetektory są w istocie przetwornikami sygnałów świetlnych na sygnały elektryczne i wymagają odpowiednich elektronicznych obwodów pracy. W każdym wypadku (z wyjątkiem układu zliczania fotonów z fotopowielaczem) mierzony jest sygnał prądowy lub napięciowy. Zakresy wielkości tych sygnałów różnią się od siebie ze względu na różne zasady działania detektorów. Aby porównać charakterystyki widmowe różnych rodzajów czujników należy posłużyć się wielkością o charakterze uniwersalnym – na przykład tzw. czułością względną – zależnością wartości natężenia fotoprądu lub napięcia fotoelektrycznego od długości fali światła znormalizowanej do jej wartości maksymalnej.

Pomiarów czułości spektralnej dokonuje się kierując na dany fotodetektor wiązkę światła o zakresie długości fali znacznie ograniczonym przy pomocy monochromatora, rejestrując sygnał fotoelektryczny dla serii wartości centralnej długości fali pokrywającej pełny widmowy zakres emisji używanego źródła światła (żarówka z włóknem wolframowym). Etapem wstępnym powinno być wyskalowanie monochromatora w jednostkach długości fali, czyli wyznaczenie tzw. krzywej dyspersji przy pomocy źródła światła o znanym widmie liniowym (lampa rtęciowa), a końcowym uwzględnienie własności spektralnych światła emitowanego przez żarówkę oraz widma transmisji monochromatora.

Dodatkowo, zestaw doświadczalny umożliwia badanie innych niż spektralne charakterystyk niektórych fotodetektorów. Pomiar charakterystyk prądowo-napięciowych (I-V) dla różnych wartości natężenia światła padającego na czujnik dostarcza informacji na temat optymalnych warunków jego pracy (zapewniających najlepszą dynamikę detekcji i najszerszy zakres liniowości przetwarzania sygnałów świetlnych na elektryczne).

Wytworzenie zmiennych w czasie sygnałów świetlnych przy użyciu modulatora i obserwacja odpowiadających im sygnałów z poszczególnych czujników na oscyloskopie dostarcza informacji na temat elementów ich charakterystyk częstotliwościowych.

Zestaw fotodetektorów poddanych badaniom zależy od ich aktualnej dostępności w II Pracowni Fizycznej, z kolei zakres przeprowadzanych testów określa opiekun ćwiczenia.

Opracowanie danych eksperymentalnych powinno zawierać porównanie fotodetektorów działających w oparciu o różne mechanizmy przetwarzania sygnałów optycznych na elektryczne. Charakterystyki spektralne czułości pozwalają na określenie zakresów zastosowań poszczególnych typów detektorów. W miarę możliwości należy wskazać

charakterystyczne elementy zmierzonych zależności czułości od długości fali, które można zinterpretować jako wynikające z natury efektów fotoelektrycznych, na których oparte jest działanie poszczególnych czujników. Podobnej analizie należy poddać uzyskane dane dotyczące charakterystyk prądowo-napięciowych i częstotliwościowych.

Literatura

Z. Bielecki, A. Rogalski, Detekcja sygnałów optycznych, WN-T 2001

K. Booth, S. Hill, Optoelektronika, WKŁ 1998

U. Tietze, Ch. Schenk, Układy półprzewodnikowe, WNT 1997

P. S. Kiriejew, Fizyka półprzewodników, PWN 1971

J. Pankove, Zjawiska optyczne w półprzewodnikach, WN-T 1974