



DIODY I TRANZYSTORY JAKO FOTOELEMENTY — Inż. Jerzy Brdulak ●
UNIWERSALNY WZMACNIACZ W.CZ. — Mgr Jacek Sawicki ● **PRZEGU-**
BOWY STATYW — Mieczysław Rybicki ● **JAK ZOSTAĆ KRÓTKOFALOW-**
CEM (11) — Mgr inż. Witold Kozak

DIODY I TRANZYSTORY JAKO FOTOELEMENTY

Obok znanych od dawna fotokomórek próżniowych, elementów selenowych oraz tlenkowo-miedziowych zaczęto w ostatnich latach używać nowych przetworników fotoelektrycznych.

Przetworniki te zawdzięczają swoje powstanie postępowi badań nad półprzewodnikami, a ich zasada działania oparta jest na znanych właściwościach germanu i krzemu.

Bez potrzeby bliższego analizowania zjawiska fotoelektrycznego, można stwierdzić, że fotoelektryczne działanie półprzewodników polega na powstawaniu par elektronowo-dziurowych pod wpływem światła elektrycznego, wskutek czego zostaje powiększona ilość nośników ładunku z równoczesnym zmniejszeniem charakterystycznego oporu kryształu germanu. Mamy więc do czynienia z fotoopornikiem i jego zmienną przewodnością zależną od oświetlenia.

Radiowcom praktykom i radioamatorom wiadomo, że każda odpowiednio przygotowana dioda lub tranzystor mogą zachować się podobnie jak fotoelementy, jeśli tylko wiązka światła skierowana zostanie na złącze płytki germanowej z drucikiem (w przypadku diody ostrzowej), lub też na miejsce

styku bazy z kolektorem (w przypadku tranzystora).

Z tego powodu elementy półprzewodnikowe umieszcza się w nie przepuszczających światła obudowach, a w przypadku obudowy szklanej, np. diod w.c.z., powleczone są one warstwą farby nie przepuszczającej światła, stanowiącą tzw. warstwę ochronną diody.

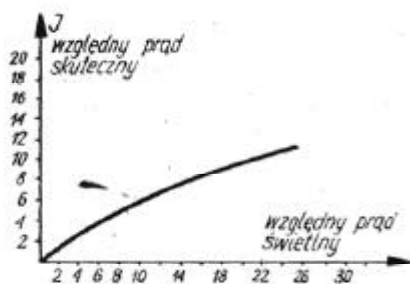
We współczesnych urządzeniach technicznych stosuje się cały szereg foto-przetworników np. w kombinacjach CdS, CdSe, PbS, PbSe, InSb itd.

Jednakże german bywa stosowany na ogół rzadko, podczas gdy np. CdS (siarczek kadmu) jest powszechnie używany w fotoelementach do światłomierzy fotograficznych.

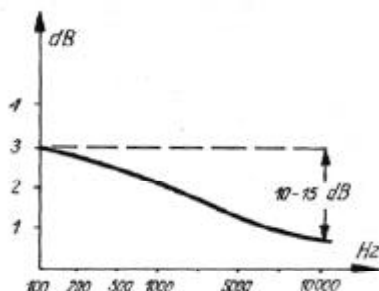
Zależność między prądem a intensywnością światła przedstawia lekko zakrzywiona linia na rys. 1, przebieg częstotliwościowy pokazany został na rys. 2.

Szczególną zaletą fotokomórki z siarczkiem kadmu, w porównaniu z innymi fotokomórkami, np. próżniowymi lub gazowymi, jest jej bardzo mały opór wewnętrznym, wynoszący dla oświetlonej fotokomórki około 30 kiloomów.

Fotokomórki z siarczkiem ołowiu wykazują jeszcze lepsze właściwości



Rys. 1.



Rys. 2.

niż z siarczkiem kadmu, co również wynika z charakterystyk przedstawionych na rys. 3, i w związku z tym siarczku ołowiu używa się we wszystkich fotoopornikach.

Zmienny dopływ światła do fotokomórki może być wykorzystany do sterowania wzmacniaczy, odczytywania dźwięku z taśmy filmowej, regulacji głośności w nowoczesnych instrumentach muzycznych, uruchamiania tyrystorów, tyratronów, fotoprzełączników i wielu innych.

Stosując nowoczesne rozwiązania techniczne z fotokomórką, można kontrolować (bez dodatkowych układów optycznych) np. procesy spawania z odległości kilkudziesięciu metrów, liczyć i segregować różne przedmioty produkowane masowo przez automaty.

Właściwości uczulonych na podczerwień fotooporników z siarczku ołowiu wykorzystano w urządzeniach kontrolnych przeciwpożarowych, do sterowania różnych urządzeń, jak również w komunikacji, np. do zabezpieczania przed nadmiernym nagrzewaniem się osi kół wagonów kolejowych.

Czułość tych fotooporników maleje mniej więcej w stosunku 2% na 1°C.

Urządzenia fotoelektryczne, w których główną rolę spełnia german, nazywamy fotodiodami.

Szczególnymi zaletami fotodiod, nie-

zależnie od ich wysokiej czułości na światło, są ich miniaturowe rozmiary i odporność na wstrząsy.

W wielu przypadkach zachodzi potrzeba stosowania odpowiednich wzmacniaczy lampowych, względnie tranzystorowych, często bardzo prostych.

Jeden z takich najprostszyc wzmacniaczy składa się dosłownie z jednego tranzystora, jednej fotodiody oraz przełącznika (rys. 4).

W określonych warunkach jako źródło światła może być użyta latarka kieszonkowa, a w przypadku zastosowania w latarce soczewki skupiającej o średnicy np. 35 mm i przy fotodiodzie takiej samej soczewki skupiającej, z odległości 2 metrów można będzie uzyskać prąd w obwodzie kolektora tranzystora 10 do 15 mA, który na ogół wystarcza np. do uruchomienia przełącznika.

Jeśli chodzi o fotoelementy krzemowe, to mają one sprawność 10–13% (przy oświetleniu światłem słonecznym) i jako baterie słoneczne znalazły szerokie zastosowanie dostarczając prądu dla satelitów, sond meteorologicznych, małych odbiorników tranzystorowych, do zasilania tzw. wzmacniaczy masztowych w dalekosiężnej sieci komunikacyjnej i telewizyjnej.

Mogą one pracować w temperaturach od -60°C do 150°C bez wyraźnych objawów uszkodzenia.

Fotoelementy używane są również w aparatach fotograficznych i kamerach filmowych do pomiaru światła i do automatycznego ustawiania przysłony obiektywu. Jest wiele aparatów fotograficznych małoobrazkowych wyposażonych w automatykę tego typu.

W warunkach amatorskich można za pomocą prostych środków zbudować kilka układów, koniecznych do pracy innych urządzeń, działających na zasadzie fotoelektryczności.

Do budowy układów i do eksperymentów będą potrzebne diody bez warstwy ochronnej, takie, aby światło mogło docierać do wnętrza diody i oświetlać kryształ, względnie tranzystory małej częstotliwości typu TG 50—55 lub MP 39—42.

Jeśli mamy do dyspozycji tranzystory w.c.z. typu P 401, P 403, AF 499, to można ich również użyć do naszych celów.

Na tzw. fototranzystor wybiera się tranzystor ze współczynnikiem wzmocnienia prądowego rzędu 40—60 i o możliwie niewielkim prądzie zwrotnym kolektora wynoszącym 2—3 μA .

Do cięcia obudowy użyjemy pilki włósnicowej. Usuniemy wierzchnią część obudowy tranzystora (czapkę), a potem pędzelkiem starannie zmiemy wszystkie opilki, zarówno z kryształu, jak i z przewodów doprowadzających.

W obudowach niektórych tranzystorów może znajdować się preparat zabezpieczający przed wilgocią, podobny do ciemnej wazeliny.

Należy go usunąć cienkim patyczkiem, zwracając baczną uwagę na to, aby nie zerwać cienkich przewodów łączących poszczególne elektrody tranzystora z ich wyprowadzeniami.

Jeżeli tranzystor przy tej operacji nie zostanie uszkodzony, to jego zasadnicze parametry nie powinny się zmienić.

Otwór w obudowie tranzystora można przykryć przezroczystą płytką lub soczewką, która przyklejona do obudowy nie tylko zabezpieczy przed uszkodze-

niem i przed wilgocią kryształ, ale również skupiać będzie światło do niego dochodzące.

W takich przypadkach fotodiody (fototranzystor) powinna znaleźć się w odległości ogniskowej od soczewki, tak jak to jest w fabrycznych fotoelementach (rys. 5).

Prawidłowo wykonana obudowa chroni przed światłem padającym z nieodpowiedniego kierunku i skutecznie zabezpiecza cały układ przed niewłaściwym działaniem wskutek fałszywego sygnału dochodzącego z czujnika.

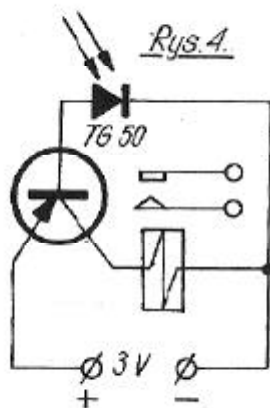
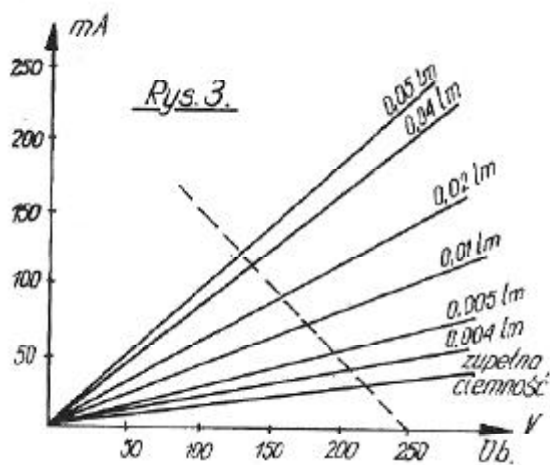
W stacjonarnych urządzeniach można wykorzystywać odpowiednio skupione wiązki światła pochodzące z takich źródeł, jak: neonówki, żarówki zasilane z małego transformatora sieciowego z filtrami optycznymi lub bez itp.

W przypadku przepuszczania wiązki światła przez filtr czerwony, będzie ono niewidoczne dla otoczenia i może być używane np. w urządzeniach zabezpieczających przed kradzieżą.

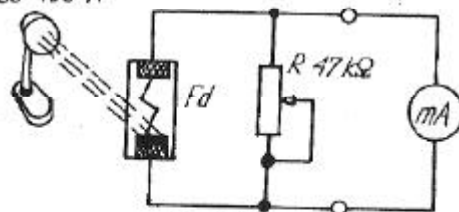
W celu sprawdzenia przydatności fotodiody wykonanej we własnym zakresie, należy równoległe do jej odprowadzeń (rys. 6) przyłączyć opornik około 30 kiloomów.

Do zacisków tego układu przyłącza się woltomierz lampowy lub miliwoltomierz, na fotodiode zaś kieruje się strumień światła pochodzący od żarówki o mocy 60—100 W, a następnie na woltomierzu odczytuje się wielkość napięcia, które będzie w tym przypadku zależne od odległości pomiędzy żarówką a fotodiode. Napięcie to, o wyraźnie zaznaczonej biegunowości, dochodzi do 3—4 mV.

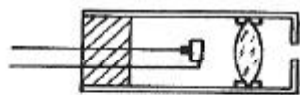
Bez opornika równoległego do diody, za pomocą miernika napięcia o oporze wewnętrznym około 30 000 omów na wolt, na zakresie 1,5 V i przy żarówce o mocy 60 W, oświetlającej diodę można zaobserwować wyraźne wychylenie wskaźniczki, a we włączonych do obwodu słuchawkach, podczas przerywania strumienia światła — będzie słychać wyraź-



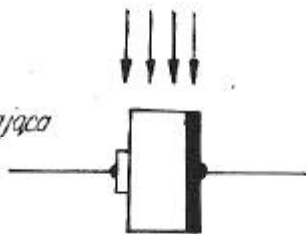
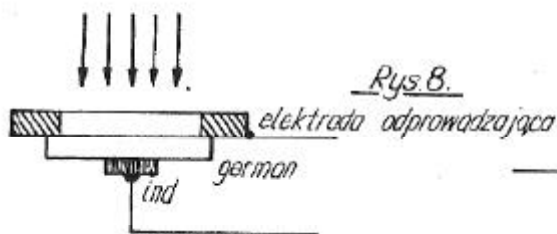
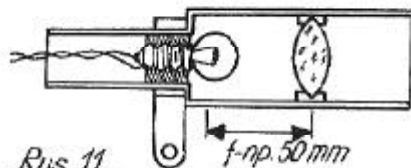
60-100 W

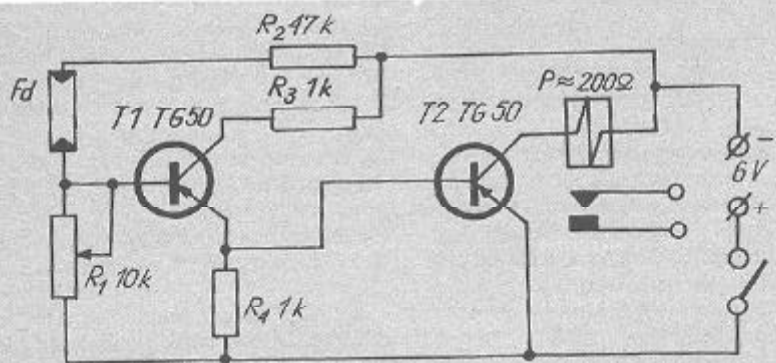


Rys. 6.

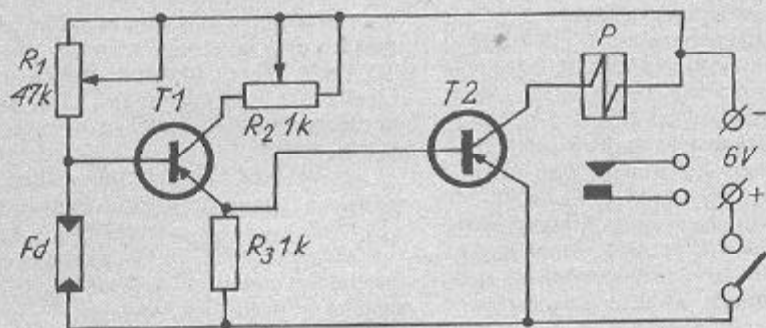


Rys. 7.

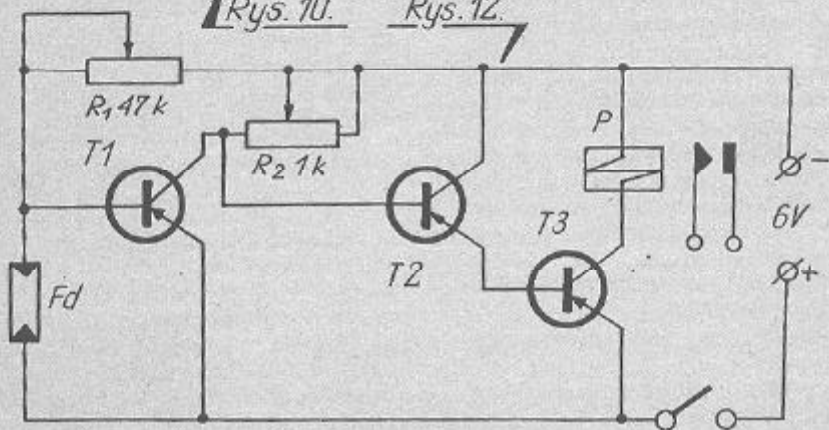




Rys. 9.



Rys. 10. Rys. 12.



nie stuki występujące w rytm przerywanego światła padającego na fotodiode.

Dioda germanowa jako czujnik optyczny pracuje zadowalająco i przy oświetleniu światłem ręcznej latarki elektrycznej z odległości 5–6 metrów może sterować inne urządzenie, ale musi być odpowiednio obudowana, najlepiej w krótkiej rurce-obudowie, o średnicy 20–30 mm i długości około 80 mm. Obudowa jest w jednym końcu zakryta krążkiem przespanowym z koncentrycznym otworem o średnicy 2 do 4 mm (rys. 7).

Złącze fotodiody (p–n) w zależności od konstrukcji, może być oświetlane prostopadle lub równoległe do jego powierzchni (rys. 8).

Przy oświetlaniu prostopadłym, ze względu na dużą czułość diody (warstwa naświetlana półprzewodnika, np. typu „p” powinna być jak najcieńsza), wartość prądu jest zależna od grubości warstwy półprzewodnika w diodzie. Prąd wzrasta wykładniczo wraz z malejącą grubością półprzewodnika.

Jak każdy element półprzewodnikowy, fotodiody są czułe na ciepło i z tego powodu nie należy umieszczać ich tam, gdzie występują wysokie temperatury.

Jednym z przykładów urządzenia z fotodiody jest układ fotoprzełącznika, który może być użyty jako wyłącznik zmiernych, układ sterujący jakiegoś innego urządzenia, do sygnalizowania wejścia niepożądanych osób, liczenia wchodzących i wychodzących z danego pomieszczenia, przejeżdżających samochodów, lub urządzenie blokujące pracę innych mechanizmów w momencie pokazania się światła itp.

Sposób działania fotoprzełącznika wynika jasno ze schematu przedstawionego na rys. 9 i 10.

Jak już mówiliśmy wcześniej, fotodiody (Fd) zmniejsza swój opór pod wpływem padającego na nią światła, który dla stanu „ciemnego” wynosi około kilku megaomów, pod wpływem oświetlenia zaś zmniejsza się do kilkuset

omów, co tłumaczy fakt, że w stanie „ciemnym” potencjał bazy tranzystora T1 będzie praktycznie wynosił „zero” i tranzystor będzie zablokowany, a przez oporniki R_3 i R_4 nie będzie płynął żaden prąd. W obwodzie tym znajduje się również baza tranzystora T2, która dzięki opornikowi R_4 będzie miała także potencjał zerowy.

Powoduje to, że i drugi tranzystor będzie zablokowany, a przełącznik P rozwart.

Sytuacja ulega zmianie, gdy na fotodiode padnie światło, powodując znaczne zmniejszenie jej oporu wewnętrzne i przesunięcie potencjału bazy T1 w stronę wartości ujemnych.

W takim razie tranzystor T1 zacznie przewodzić i prąd emitera spowoduje spadek napięcia na oporniku R_4 , wskutek czego baza drugiego tranzystora T2 otrzyma napięcie ujemne, niezbędne do zapewnienia przewodności tranzystora.

Cały układ zaczyna przewodzić i wzmacniacz powoduje wzmocnienie słabego prądu pochodzącego od fotodiody.

W efekcie końcowym, ten wzmocniony fotopąd powoduje zadziałanie przełącznika i zwarcie jego styków.

Koszt wykonania fotoprzełącznika wg tego schematu wynosi około 50 zł.

Układ przewidziany został do zasilania napięciem stałym 4,5–6 V.

Czułość układu reguluje się za pomocą potencjometru R_1 włączonego do obwodu emiter — baza tranzystora T1.

Do wykonania oświetlacza użyjemy specjalnej obudowy kierunkowej, z nieprzepuszczającej światła rurki igelitowej lub skleionej z kartonu, zaopatrzonej w soczewkę skupiającą promienie świetlne, oraz żarówki przystosowanej do napięcia 6,3 V/0,3 A (rys. 11).

W ten sposób wykonane obudowy kierunkowe żarówek (źródeł światła) dają gwarancję, że przełącznik nie będzie działał przy świetle padającym na fotodiode z niepożądanych kierunków, np. z boku.

Nieco inny układ przedstawiony został na rys. 12. Jest on przewidziany do współpracy z urządzeniami przełączającymi i może być używany w różnych układach alarmowych.

Układ składa się z fotodiody (fotoelementu), wzmacniacza zbudowanego na tranzystorach T1, T2, T3 oraz elektromagnetycznego przekaźnika wykonanego fabrycznie lub we własnym zakresie o prądzie zadziałania równym około 40—50 mA i oporze uzwojenia w granicach 500 omów.

W układzie pracują dowolne tranzystory m.cz. i małej mocy (średniej mocy) ze współczynnikiem wzmocnienia prądowego nie mniejszym niż 50.

Urządzenie pracuje w następujący sposób: nieoświetlony fotoelement będzie wykazywał duży opór wewnętrzny i z tego powodu tranzystor T1 będzie przewodził prąd dopływający do jego bazy przez regulowany opornik R_1 , podczas gdy tranzystory T2 i T3 będą zablokowane.

Prąd kolektorowy T3 nie spowoduje zadziałania przekaźnika i jego styki pozostaną, zależnie od konstrukcji, zwarte lub rozwarne.

Gdy światło padnie na fotoelement (Fd), jego opór wewnętrzny bardzo szybko zmaleje i tranzystor T1 zostanie zablokowany, a narastające napięcie ujemne spowoduje przewodzenie tranzystorów T2 i T3, co jest równoznaczne z zadziałaniem przekaźnika i zwarciem albo rozwarciem styków (zależnie od konstrukcji).

Jako fotodiody użyto pozbawionego obudowy wierzchniej tranzystora typu TG 50.

Regulację układu fotoprzekaźnika przeprowadza się w ten sposób, że za pomocą zmiennych oporników (potencjometrów montażowych) ustawia się czułość zadziałania R_1 i wielkość prądu tranzystora T3 (opornik R_2).

Inż. Jerzy Brdulak