

Sprzęgacze optoelektroniczne są odmianą przekaźników półprzewodnikowych, charakteryzującą się możliwością przenoszenia sygnałów analogowych. W przedostatnim odcinku cyklu rozpoczynamy szczegółowe prezentowanie ich możliwości i parametrów.

Nowa generacja przekaźników - liniowe sprzęgacze optoelektroniczne, część 5

Liniowe sprzęgacze optoelektroniczne

Sprzęgacze elektroniczne (SO), służą do przenoszenia cyfrowych i analogowych sygnałów, poprzez sprzężenie optyczne między emitującą sygnały diodą LED i fototranzystorem lub fotoogniwem, rys.43. Ponieważ coraz więcej firm produkuje SO, które można stosować w układach analogowych, w tej części artykułu będzie zwrócona uwaga zwłaszcza na zastosowania analogowe SO. SO (ang. optocouplers) spotyka się również pod nazwą czujniki prądu (ang. current sensors) co jest adekwatne do ich prądowego sposobu sterowania.

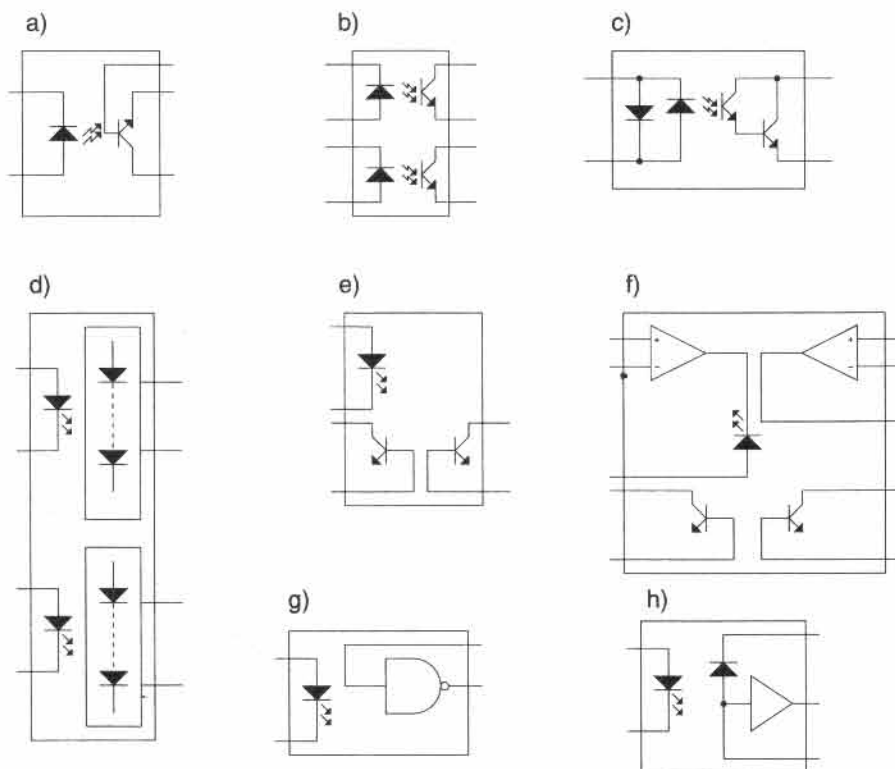
Należy na wstępie podkreślić zasadniczą różnicę między SO i PP omówionymi poprzednio, rys.44a. Oba elementy działają na bardzo zbliżonej do siebie zasadzie, mają prawie jednakową budowę wewnętrzną. Jednakże celem uniknięcia nieporozumień należy wyraźnie określić różnicę między tymi elementami optoelektronicznymi. PP służą do przełączania sygnałów mocy dołączonych do ich zacisków. Obwód sterowania PP może jedynie spowodować lub przerwać przewo-

dzenie prądu płynącego przez zestyki. Nie może znacząco zwiększać lub zmniejszać wartości tego prądu, rys.44b. W SO następuje przesyłanie sygnału między diodą sterującą LED i wyjściowym fototranzystorem lub fotoogniwem. Wielkość strumienia świetlnego i wywołanego nim sygnału w fototranzystorze jest wprost proporcjonalna do sygnału sterującego diodę LED. Również kształt i częstotliwość sygnału sterującego i wyjściowego są identyczne, rys.44c. Wielkość sygnału wyjściowego w stosunku do sygnału sterującego jest wyznaczona przez parametry SO.

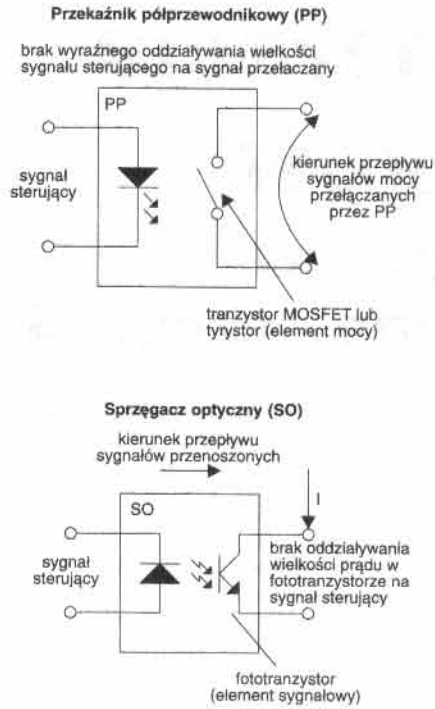
Można więc ogólnie stwierdzić, że PP przełączają sygnały mocy na samym wyjściu, a SO przenoszą sygnały z obwodu sterującego do obwodu wyjściowego. Podobieństwo między tymi dwoma elementami to sterująca dioda LED, sprzężenie optyczne między tą diodą a elementami z nią współpracującymi oraz czasami podobny symbol na schematach. SO mają wewnętrzną strukturę podobną do PP, rys.1 z tym, że zamiast wyjściowych tranzystorów przełączających MOSFET mają fototranzystory lub fotodiody. W nie-

których typach SO są połączone z nimi wzmacniacze, komparatory lub bramki logiczne. Światło z diody LED padające na fototranzystory lub fotodiody wywołuje w nich przepływ prądu wprost proporcjonalny do natężenia oświetlenia, a to z kolei jest wprost proporcjonalne do natężenia prądu sterującego diodę LED.

Podstawowe parametry SO to współczynnik transmisji prądowej, dopuszczalne wartości prądów i napięć kolektor-emiter fototranzystora oraz jego parametry częstotliwościowe. Maksymalne wartości prądu kolektora osiągają wartość do 100mA, a dopuszczalnych napięć kolektor-emiter 50V (seria LDA, CP Clare). Spotyka się też SO z fototranzystorami wysokonapięciowymi (typ TLP371 firmy Toshiba), mające dopuszczalne napięcie kolektor-emiter fototranzystorów dochodzące do 300V. Podawana jest też maksymalna moc jaka może być wydzielona w obwodzie SO, co jest ważne w przypadku układów podwójnych lub gdy w tej samej obudowie jest też umieszczony PP. Współczynnik transmisji prądowej jest stosunkiem wartości natężenia prądu na wyjściu SO do prądu sterującego diodę LED. Jego wartość wyrażana często w % zależy od rodzaju SO i osiąga wartość od 0,2% do 1000%. Dla SO o bardzo dużej liniowości współczynnik ten ma wartość od 0,2 do 1%, a dla bardzo czułych SO z fototranzystorami w układzie Darlingtona osiąga wartości od 100 do 1000%. Dla SO zawierających na wyjściu fotoogniwa podaje się wartość wyjściowego prądu zwarciego wraz z jego wykresem, w funkcji zmian prądu sterującego. Ze względu na możliwość sterowania należy zwracać uwagę na minimalne i maksymalne wartości prądu sterowania diody LED oraz jej dopuszczalne parametry mocowo-napięciowe. Generalnie najważniejsze w SO są parametry obwodu sterowania oraz liniowość charakterystyki przenoszenia $I_{wy} = f(I_{wy})$. Ważne, ze względu na wstępną polaryzację diody, jest wartość minimalna prądu sterowania, od której zaczyna świecić dioda LED. W SO firm CP Clare i Toshiba ta minimalna wartość wynosi 0,5mA. W niektórych SO wartość maksymalnego impulsowego prądu przewodzenia diody LED osiąga wartość nawet do 3A przez czas 1ms. W czasie takiego przesterowania układ nie przenosi żadnego sygnału gdyż zazwyczaj wyjściowy fototranzystor jest nasycony, bądź jest za wolny by zareagować na tak krótki impuls. Ze względu na zastosowania analogowe SO ważna jest liniowość ich charakterystyki przenoszenia. W SO przeznaczonych tylko do zastosowań w układach cyfrowych, gdzie ważna jest tylko maksymalna częstotliwość przenoszonych sygnałów zazwyczaj od razu zamienianych w samym SO na postać cyf-

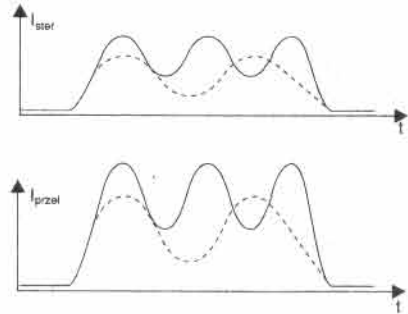
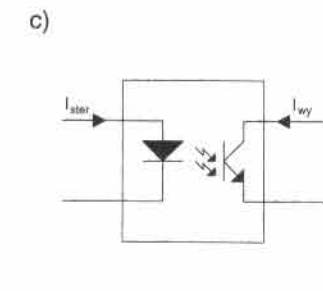
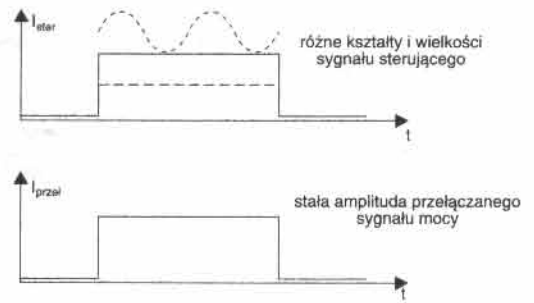
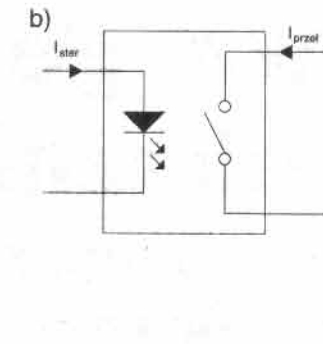
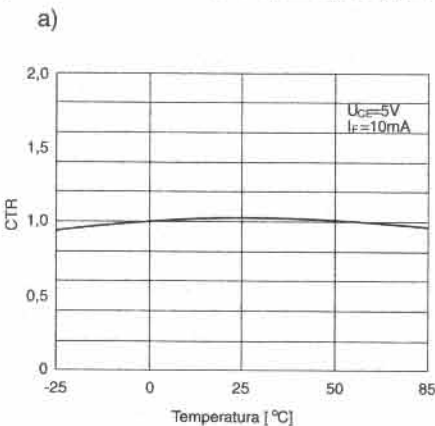


Rys. 43.



Rys. 44a.

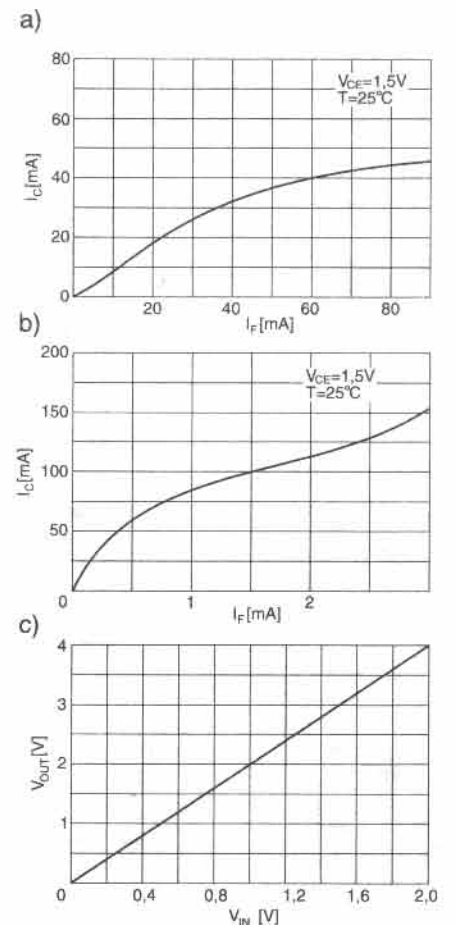
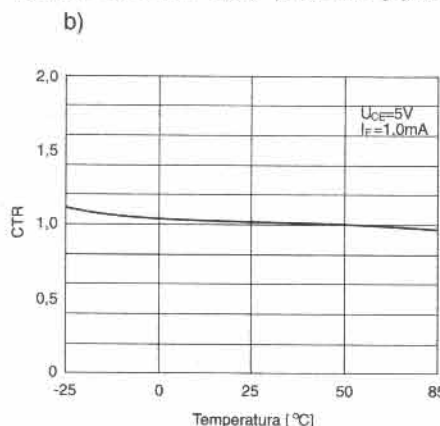
rową o poziomach logicznych TTL lub CMOS, liniowość charakterystyki przenoszenia nie jest brana szczególnie pod uwagę, rys. 43g,h. W SO do zastosowań cyfrowo-analogowych (rys.43a,b,c) liniowość osiąga wartość od 3...15% w zakresie prądów sterowania od 2 do 30mA, rys.46a. Liniowość charakterystyki SO z fotoogniwami na wyjściu, rys.43d wynosi od 3 do 10%. SO zawierające fototranzystory w układzie Darlingtona mają największe wartości współczynnika transmisji, ale również mają bardzo nieliniową charakterystykę przenoszenia, rys.46b. Zakres użyteczny dynamiki tych SO wynosi zaledwie kilka mA. Liniowość charakterystyki przenoszenia określa poziom zniekształceń sygnałów przenoszonych przez SO w układach analogowych. Drugim ważnym parametrem związanym z dokładnością przenoszenia sygnałów przez SO jest stabilność temperaturowa współczynnika transmisji prądowej i liniowości charakterystyki przenoszenia. Typowy zakres temperatur pracy SO wynosi podobnie jak PP od -40°C do +85°C. Charakterystyka współczynnika transmisji prądowej standardowych SO jest nieliniowa w funkcji temperatury, z wyra-



Rys. 44b, c.

nym spadkiem wartości w zakresie wyższych temperatur. W SO o polepszonej liniowości i stabilności (seria LDA firmy CP Clare), zmiany temperaturowe wynoszą około 10% w zakresie temperatur od -25°C do +85°C, rys.45. Firmy CP Clare i Siemens (typy LOC110 i IL300) produkują specjalne sprzęgacze o dużej liniowości, rys.43e i 46c. W układach tych zastosowano jedną diodę LED oraz dwa fototranzystory. Jeden z nich służy do transmisji sygnałów, a drugi pracuje w układzie sprzężenia zwrotnego i swym działaniem wpływa na prąd sterowania diody LED. W ten sposób kompensowane są wpływy temperatury, nieliniowości charakterystyki i zmiany starzeniowe. Najszerszy zakres częstotliwości pracy od 0 do 10MHz osiągają SO z bramkami logicznymi lub z komparatorami na wyjściu przeznaczone do pracy w układach cyfrowych. Natomiast SO z fototranzystorami pracują do częstotliwości 200kHz, a z fotoogniwami są najwolniejsze i mogą pracować w paśmie 0 do 2kHz. Pojemność wyjściowa SO wynosi 2 do 4pF. Wyjściowe fototranzystory charakteryzują się pewnym prądem ciemnym, który przez nie płynie,

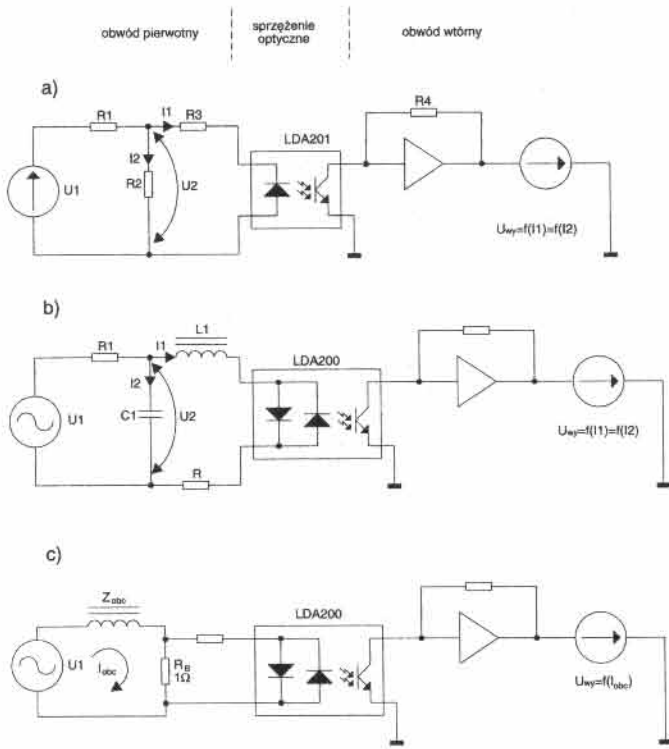
gdy dioda LED nie emituje światła. Wynosi on od 100 do 500nA dla pojedynczych fototranzystorów i około 1000 do 1500nA dla układów Darlingtona. Prąd ciemny powoduje pewne wstępne spolaryzowanie układów wyjściowych, stąd należy go brać pod uwagę.



Rys. 46.

CTR - znormalizowany względem +25°C współczynnik transmitancji

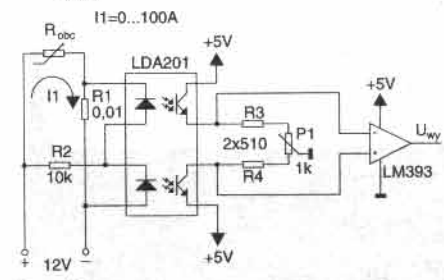
Rys. 45.



Rys. 47.

Poniżej podano podstawowe rodzaje SO i ich główne obszary zastosowań:

1. Układy optomechaniczne - strumień światła diody wejściowej jest przesłany poprzez ruchomą zewnętrzną przesłonę, typowe zastosowania - czujniki położenia i obrotów.
2. Układy o dużej szybkości działania - elementem odbiorczym jest fotodioda i układ logiczny lub komparator, typowe zastosowanie - cyfrowe układy sprzęgające z separacją galwaniczną.
3. Układy o podwyższonej liniowości 3...15% - elementem odbiorczym jest skompensowany fototranzystor, typowe zastosowanie - detektory i układy pomiaru prądu, układy regulacji, zasilacze.
4. Układy o dużej dokładności (12bitów) - elementem odbiorczym są dwa fototranzystory, zastosowanie - wzmacniacze pomiarowe, wysokostabilne zasilacze, czujniki pomiarowe, układy zastępujące transformatory sygnałowe.
5. Układy pojedyncze, podwójne i poczwórne - w jednej obudowie znajdują się jeden lub kilka niezależnie działających SO.
6. Układy pracujące w obwodach prądu stałego - zawierają tylko jedną diodę LED.



Rys. 48.

7. Układy pracujące w obwodach prądu zmiennego - zawierają dwie przeciwnie równolegle połączone diody LED.

8. Układy o niskim współczynniku transmisji - zawierają dwa fototranzystory - zawierają jeden fototranzystor.

9. Układy o dużym współczynniku transmisji - zawierają dwa fototranzystory w układzie Darlingtona, mają nieliniową charakterystykę przenoszenia.

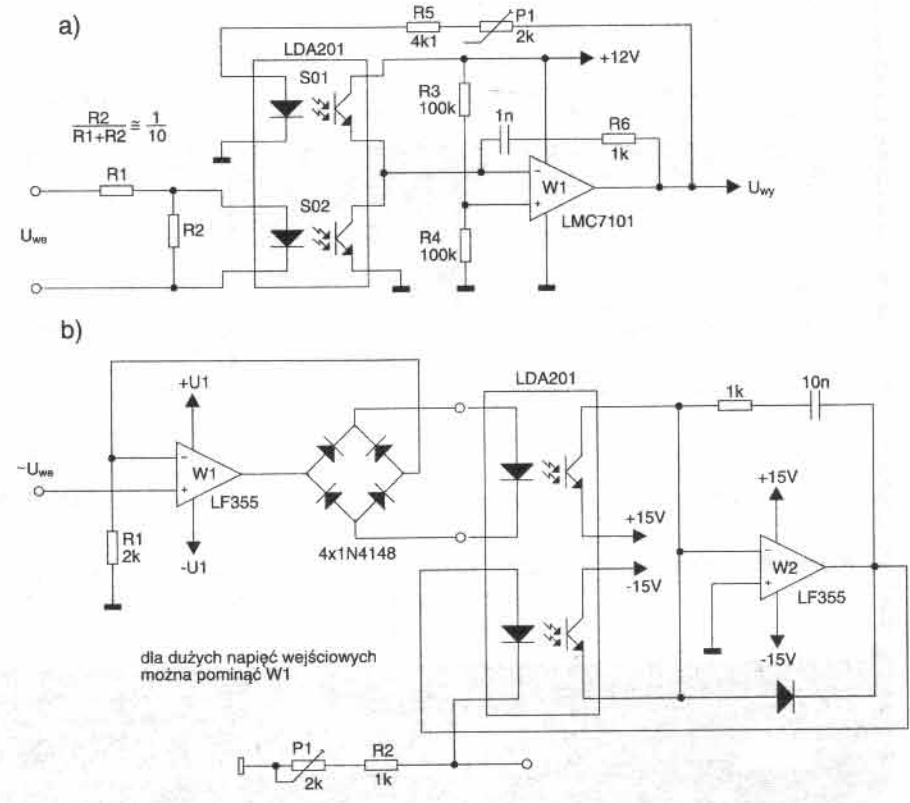
10. Układy SO z dodatkowymi elementami współpracującymi np. wzmacniaczami, przekaźnikami półprzewodnikowymi.

Podstawowy układ aplikacyjny SO zawiera obwód pierwotny w szeregu z którym włączona jest dioda LED i obwód wtórny, z którym połączony jest fototranzystor, rys.47. Obwodami wtórnymi są zazwyczaj wzmacniacze z wejściem typu prądowego. W układzie 47a prąd I_1 płynący przez diodę LED monitoruje wielkość napięcia U_2 . W układzie dla prądu zmiennego, rys.47b, informacją o wartości napięcia U_2 przenoszą na przemian przeciwnie połączony dwie diody LED. Wartość

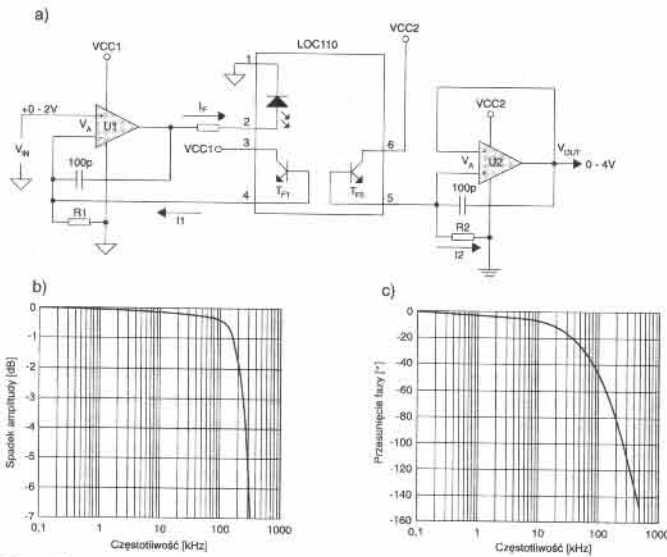
prądu w obwodzie prądu zmiennego na rys.47cprzenosi się do układu wzmacniacza pomiarowego poprzez wysterowanie diod LED spadkiem napięcia wywołanym tym prądem.

W układzie czujnika prądu stałego I_1 , rys. 48, w obwodzie o dużym natężeniu obie diody LED są spolaryzowane w kierunku przewodzenia i świecą tak, że przez oba fototranzystory płynie pewien prąd wywołujący spadek napięcia na rezystorach R3 i R4. Różnica spadku napięć na rezystorach R3 i R4 steruje wzmacniacz różnicowy. Napięcie na wyjściu tego wzmacniacza daje informację o wielkości płynącego prądu bądź o nadmiernej jego wartości gdy różnica spadku napięć na R3 i R4 jest duża. Potencjometrem P1 równoważy się układ gdy nie płynie prąd I_1 wyrównując nierównomierności charakterystyk obu SO. Zaleca się stosowanie podwójnych SO o polepszonej liniowości. Bazując na zbliżonych charakterystykach podwójnych SO w układzie przenoszącym wartość napięcia stałego i zmiennego, rys.49a, uzyskano poprzez izolację optyczną liniowość charakterystyki lepszą niż 1%. W układzie napięcie wejściowe poprzez dzielnik wejściowy steruje diodę LED sprzęgacza SO2. Dla napięć wejściowych o wartości większej niż minimalne napięcie świecenia diody LED, fototranzystor sprzęgacza SO2 zaczyna przewodzić. Wzmacniacz operacyjny stara się poprzez swe napięcie wyjściowe i prąd płynący poprzez potencjometr P1, rezystor R5 i diodę LED wywołać identyczny prąd w fototranzystorze sprzęgacza SO1. Wtedy napięcie na dzielniku napięć, utworzonym z fototranzystorów wynosi połowę napięcia zasilającego a więc jest równe napięciu wytworzonemu przez rezystory R3 i R4 i na wejściach wzmacniacza W1 zostaje zniwelowa-

jest dioda LED i obwód wtórny, z którym połączony jest fototranzystor, rys.47. Obwodami wtórnymi są zazwyczaj wzmacniacze z wejściem typu prądowego. W układzie 47a prąd I_1 płynący przez diodę LED monitoruje wielkość napięcia U_2 . W układzie dla prądu zmiennego, rys.47b, informacją o wartości napięcia U_2 przenoszą na przemian przeciwnie połączony dwie diody LED. Wartość



Rys. 49.



Rys. 50.

Podobnie działa precyzyjny prostownik ze sprzężeniem optycznym między wejściem

na różnicę napięć U_R . Przyłożenie większego napięcia do dzielnika wejściowego powoduje wzrost przewodności fototranzystora w SO2 i nadające działanie wzmacniacza, który wyrównuje napięcia na swych wyjściach a na jego wyjściu pojawia się nowa wartość napięcia odpowiadająca napięciu wejściowemu. Wartość początkowa napięcia wyjściowego wynosi około 10V gdyż układ odwraca fazę o 180° . Dynamika układu na wyjściu wynosi około 8V.

i wyjściem, rys.49b. Układ ma wzmacnienie równe jedności ustawiane potencjometrem. Fototranzystory SO tworzą w tym układzie dzielnik, który wytwarza napięcie bliskie zeru na wejściu wzmacniacza W2.

Układy SO o dużej liniowości (LOC110) mają dwa zalecane rodzaje pracy [3]. W układzie fotokonduktynym, rys.50 dioda LED jest sterowana z wyjścia wzmacniacza operacyjnego W1. Wzmacniacz ten jest sterowany w sposób napięciowy poprzez swe wejście nieodwracające fazę. Światło z diody LED generuje prąd w fototranzystorze T_{F2} wyjściowym, który wytwarza spadek napięcia na rezystorze R2. Napięcie to jest następnie wzmacniane przez wtórnik napięciowy na wzmacniaczu U2. Światło z diody LED generuje również prąd w fototranzystorze T_{F1} , który pracuje w pętli sprzężenia zwrotnego. Prąd wygenerowany w fototranzystorze T_{F2} wywołuje spadek napięcia na rezystorze R1 i dołączony jest do wejścia nieodwracającego wzmacniacza wejściowego U1. W stanie ustalonym napięcie wejściowe jest równe spadkowi napięcia na rezystorze R1.

Marek Dras