



Układy prostownikowe

E11

Przyrządy:

Płytki do łączenia diod prostowniczych i kondensatorów, autotransformator 12 - 24V, oscyloskop dwukanałowy.

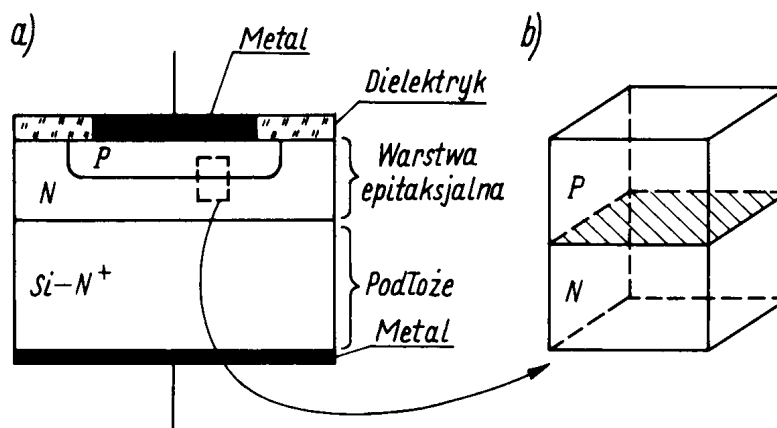
Informacje:

Elementy półprzewodnikowe złączowe:

1. Złącze p-n:

Złączeniem p-n nazywamy układ dwóch półprzewodników. Jednego typu „p” w którym nośnikami większościowymi są „dziury” obdarzone ładunkiem dodatnim oraz drugiego typu „n” w którym rolę ładunku większościowego pełnią elektrony.

Schematycznie obraz takiego złącza można przedstawić jak na rys.1.



Rysunek 1

Struktura fizyczna diody epiplanarnej (a) oraz wycinek złącza p-n (b)

Złącze p-n można wytworzyć w procesie dyfuzji domieszek do obszaru półprzewodnika wówczas takie złącze nazywamy *złączami dyfuzyjnymi*, lub w procesie implantacji jonów domieszek do półprzewodnika i wtedy powstaje *złącze implantowane*.

2.Niespolaryzowane złącze p-n:

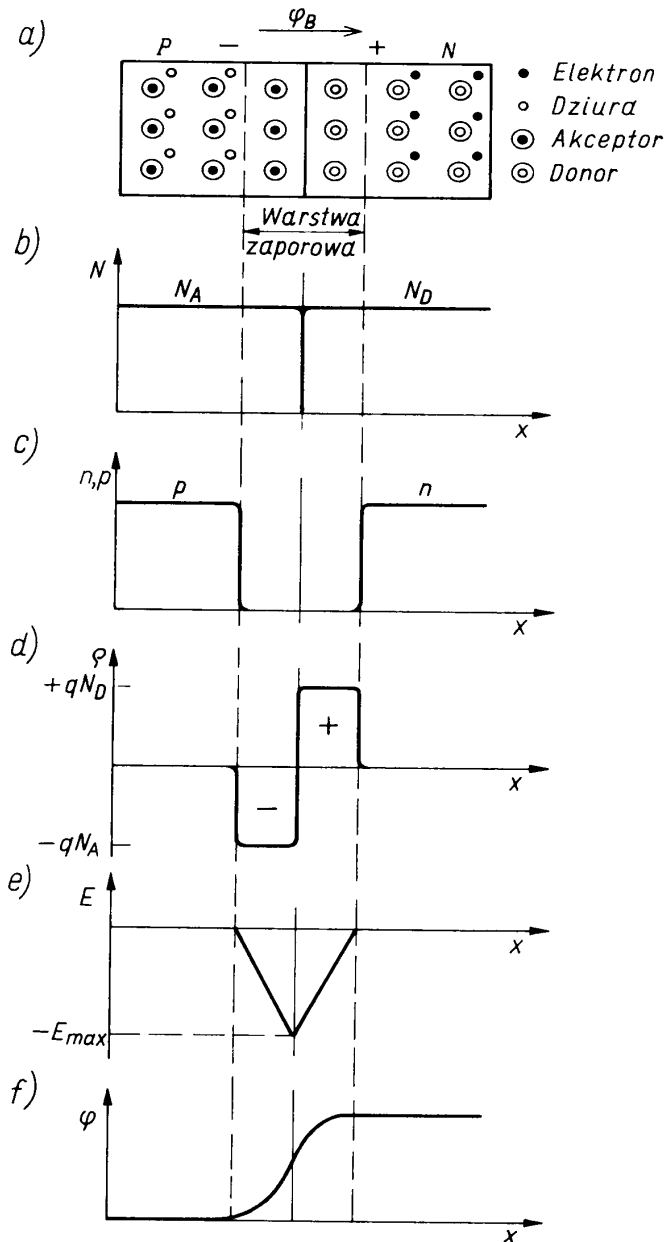
Dla uproszczenia rozważań przyjmijmy, że oba obszary półprzewodnika tworzące złącze p-n mają równomierny rozkład domieszek: akceptorów po stronie półprzewodnika „p” oraz donorów po stronie półprzewodnika „n” (rys. 2 b).

W obszarze typu „p” wskutek obecności domieszek akceptorowych, koncentracja „dziur” jest większa niż koncentracja elektronów – dziury są zatem nośnikami większościowymi. W obszarze typu „n” mamy sytuację odwrotną, nośnikami większościowymi są elektrony. W obszarach dalszych od warstwy kontaktowej (granicznej) istnieje stan równowagi między nieruchomymi ładunkami zjonizowanych domieszek (akceptorów lub donorów) oraz ruchomymi nośnikami ładunku: elektronami i dziurami.

Na styku obszarów p-n wskutek dużej różnicy koncentracji ruchomych nośników ładunku następuje dyfuzja nośników większościowych: dziur z obszaru „p” do obszaru „n” oraz elektronów z obszaru „n” do obszaru „p”.

Nośniki większościowe po przejściu do obszarów o przeciwnym typie przewodnictwa w krótkim czasie ulegają rekombinacji.

W wyniku dyfuzyjnego przepływu ładunków większościowych w warstwie granicznej powstaje ładunek przestrzenny tworzony przez nieskompensowane ładunki nieruchomych zjonizowanych domieszek.



Rysunek 2

Symetryczne złącze p-n w stanie równowagi. (a)-model złącza, (b)-wykresy zmiany koncentracji domieszek, (c)-rozkład koncentracji nośników większościowych, (d)-gęstość ładunku przestrzennego, (e)-rozkład natężenia pola elektrycznego, (f)-rozkład potencjału elektrycznego.

Powstaje w ten sposób warstwa dipolowa ładunku przestrzennego, która wytwarza pole elektryczne przeciwdziałające dalszej dyfuzji nośników większościowych.

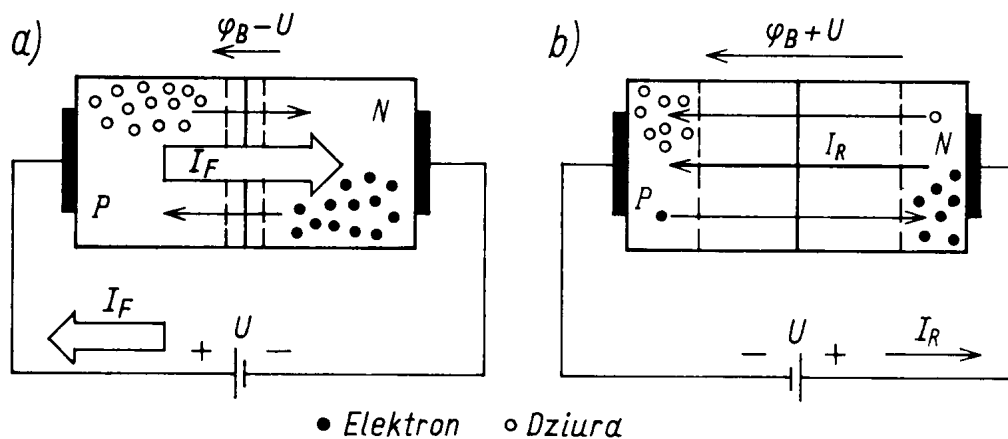
Ta warstwa dipolowa nosi nazwę *warstwy zaporowej* lub *warstwy ładunku przestrzennego*, a ze względu na brak elektronów lub dziur nazywana jest też *warstwą zubożoną*.

Z istnieniem warstwy zaporowej łączy się powstanie *bariery potencjału* φ_B , zwanej często *napięciem dyfuzyjnym*, ważnym przy interpretacji charakterystyk prądowo-napięciowych złącza. W stanie równowagi termodynamicznej złącza niespolaryzowanego napięciem zewnętrznym, prąd wypadkowy płynący przez złącze wynosi zero.

3. Spolaryzowane złącze p-n:

3.1. Polaryzacja złącza p-n w kierunku przewodzenia:

Polaryzacja w kierunku przewodzenia występuje wtedy gdy napięcie zewnętrzne doprowadzone do złącza p-n jest w taki sposób, że biegun dodatni źródła napięcia U jest podłączony z obszarem „p”, a biegun ujemny z obszarem „n” – rys.3a.



Rysunek 3

Złącze p-n spolaryzowane napięciem zewnętrznym U . (a)-w kierunku przewodzenia, (b)-w kierunku zaporowym,

I_F – prąd przewodzenia , I_R – prąd wsteczny

Polaryzacja zewnętrzna jest wówczas przeciwna do biegunowości napięcia dyfuzyjnego, zatem bariera potencjału φ_B maleje o wartość napięcia zewnętrznego czyli zmniejsza się szerokość warstwy zaporowej. W wyniku obniżenia bariery potencjału rośnie prawdopodobieństwo przejścia nośników większościowych przez warstwę zaporową, a tym samym zwiększa się prąd dyfuzji elektronów z obszaru „n” do obszaru „p” a dziur z obszaru „p” do „n”. W miarę wzrostu napięcia zewnętrznego prądy dyfuzyjne rosną, osiągając bardzo duże wartości gdy wartość napięcia zewnętrznego zbliża się do wartości

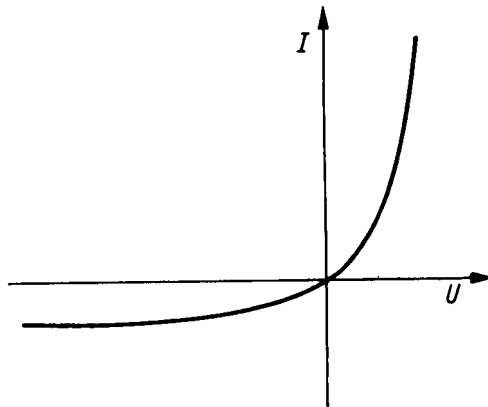
ϕ_B bariery potencjału. Przy polaryzacji w kierunku przewodzenia prąd dyfuzji nośników większościowych jest znacznie większy niż prąd unoszenia nośników mniejszościowych, czyli prądy dyfuzyjne dominują w prądzie przewodzenia przez złącze p-n.

3.2. Polaryzacja złącza w kierunku zaporowym:

Polaryzacja tego typu występuje wówczas, gdy biegun dodatni źródła napięcia zewnętrznego połączymy z obszarem „n” a biegun ujemny z obszarem „p” – rys.3b. Zgodność polaryzacji zewnętrznej z biegunowością napięcia dyfuzyjnego powoduje, że bariera potencjału zwiększy się o wartość napięcia zewnętrznego i jednocześnie ulegnie rozszerzeniu warstwa zaporowa. Dyfuzja nośników większościowych ponad zwiększoną barierą kontaktową jest praktycznie niemożliwa. Przez złącze p-n płynie tylko bardzo mały *prąd wsteczny*. Na wyk.1. przedstawiono wyidealizowaną charakterystykę prądowo-napięciową złącza p-n, którą w przybliżeniu można opisać zależnością:

$$I = I_R (\exp U/\varphi_T - 1)$$

gdzie: I_R – prąd wsteczny, $\varphi_T = kT/q$ – potencjał elektrokinetyczny.

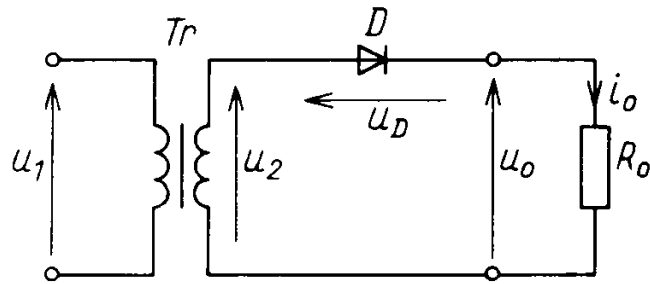


Wykres 1

Charakterystyka prądowo-napięciowa idealnego złącza p-n

4. Układy prostownicze niesterowane:

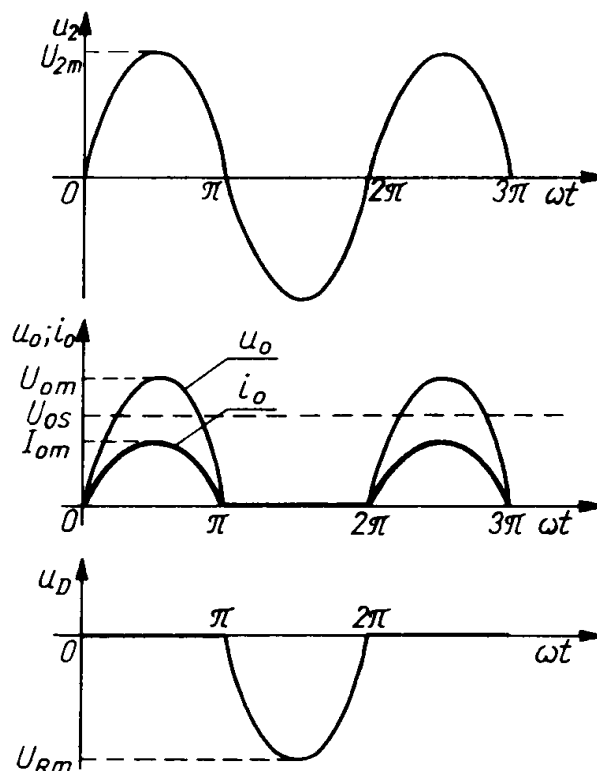
Najprostszy prostownik jednopółkowy (półfalowy) jednofazowy z obciążeniem rezystancyjnym przedstawia rys.4.



Rysunek 4

Schemat prostownika jednopółkowego (półfalowego) z obciążeniem rezystancyjnym. Dioda przewodzi, gdy napięcie na niej jest dodatnie, tzn. anoda ma wyższy potencjał niż katoda.

Jeżeli napięcie zasilające jest sinusoidalne ($u_2 = U_{2m} \sin \omega t$, gdzie $U_{2m} = \sqrt{2} U_2$ – wartość maksymalna napięcia, $\omega = 2\pi f$ – pulsacja) to prąd płynie przez obciążenie tylko przez pół okresu tego napięcia – wyk.2.



Wykres 2

Przebiegi napięć i prądów w układzie prostownika jednofazowego półfalowego.

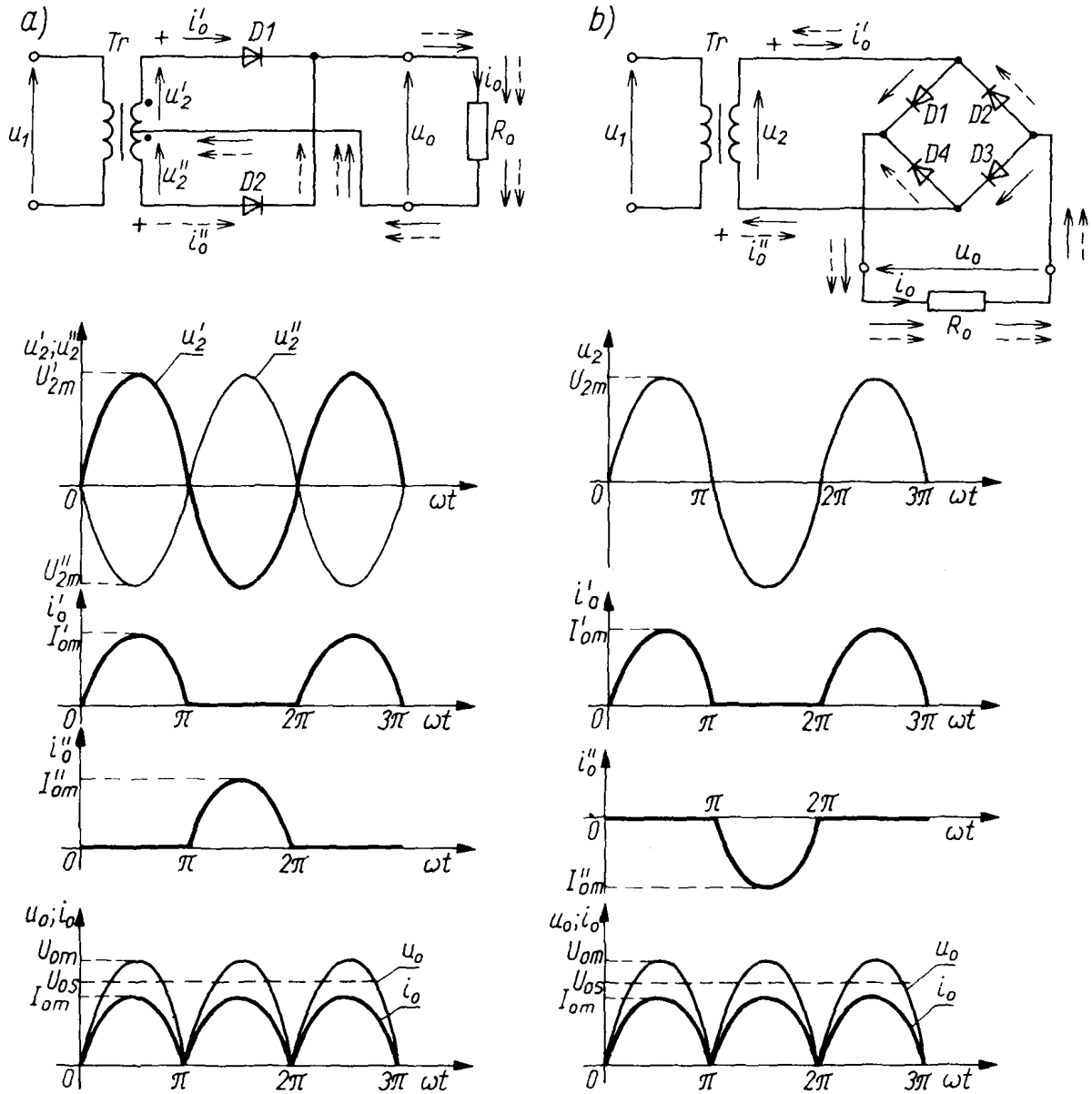
Napięcie na obciążeniu wynosi :

$$u_o = U_{2m} \sin \omega t \quad \text{dla} \quad 0 \leq \omega t \leq \Pi$$

$$u_o = 0 \quad \text{dla} \quad \Pi \leq \omega t \leq 2\Pi$$

$$\text{a prąd} \quad i_o = \frac{u}{R}$$

Częściej używa się bardziej złożonych układów prostownikowych, mających lepsze własności. Jednym z takich układów jest prostownik dwupołówkowy z obciążeniem rezystancyjnym. Realizuje się go w dwóch wersjach : z wyprowadzeniem ze środka uzwojenia wtórnego transformatora – rys.5a oraz z diodami w układzie Gretza –rys.5b. W pierwszym układzie w czasie półfali dodatniej napięcia wejściowego przewodzi dioda D1 i prąd płynie przez górną część uzwojenia transformatora, diodę D1 i obciążenie R_o . W czasie półfali ujemnej przewodzi dioda D2 i prąd płynie tak, jak zaznaczono liniami kreskowanymi – rys.5a. W układzie Gretza w czasie półfali dodatniej napięcia wejściowego prąd płynie przez uzwojenie wtórne, diodę D1, obciążenie R_o i diodę D3, a przy półfali ujemnej – przez uzwojenie wtórne, diodę D4, obciążenie R_o i diodę D2 – rys.5b. W obu przypadkach prąd płynie przez obciążenie w jednym kierunku i ma charakter pulsujący.



Rysunek 5

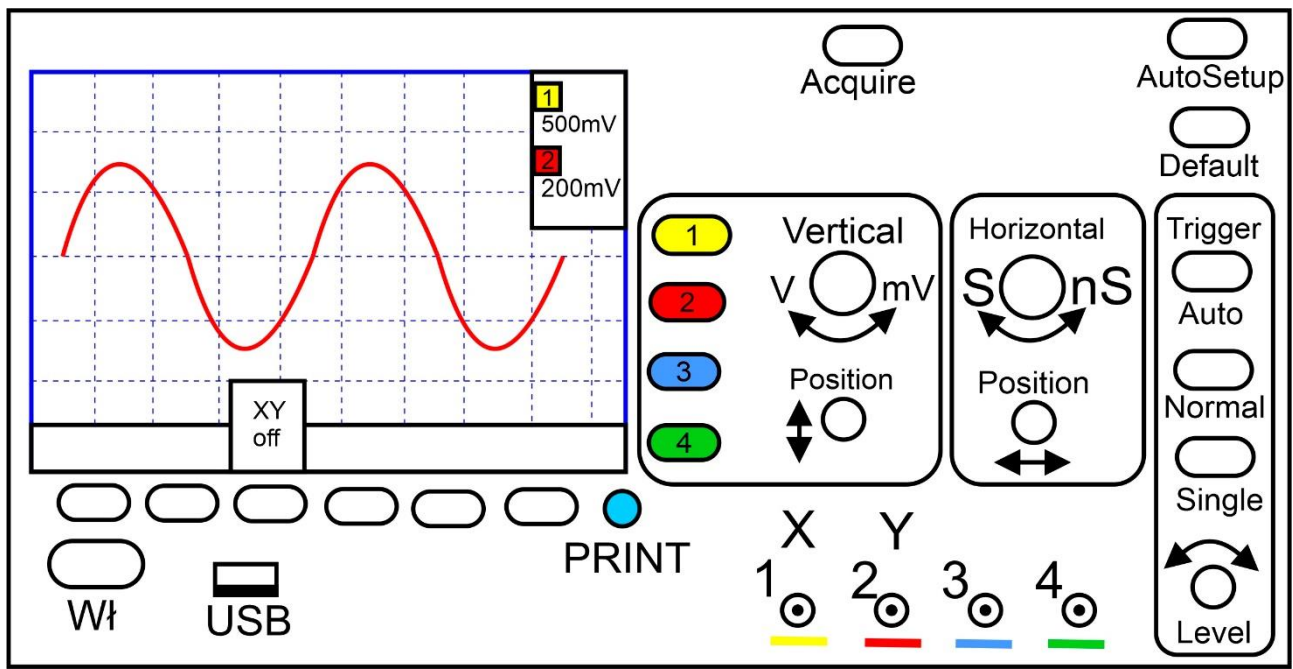
Schemat prostownika całofalowego z obciążeniem rezystancyjnym z przebiegami napięć i prądów

- a) z wyprowadzonym środkiem uzwojenia wtórnego transformatora.
- b) w układzie mostkowym Gretza

Kolejność wykonywanych czynności:

UWAGA: Na stronie internetowej I Pracowni Fizycznej i w samej Pracowni jest dostępna skrócona instrukcja obsługi oscyloskopu.

Oscyloskop musi pracować w trybie XT. Jeśli tak nie jest należy wcisnąć przycisk „Acquire”. Na dolnej części ekranu oscyloskopu pojawi się menu z polem wyboru – XYon/XYoff. Przyciskiem funkcyjnym pod tym polem wyboru ustawiamy parametr XYoff.

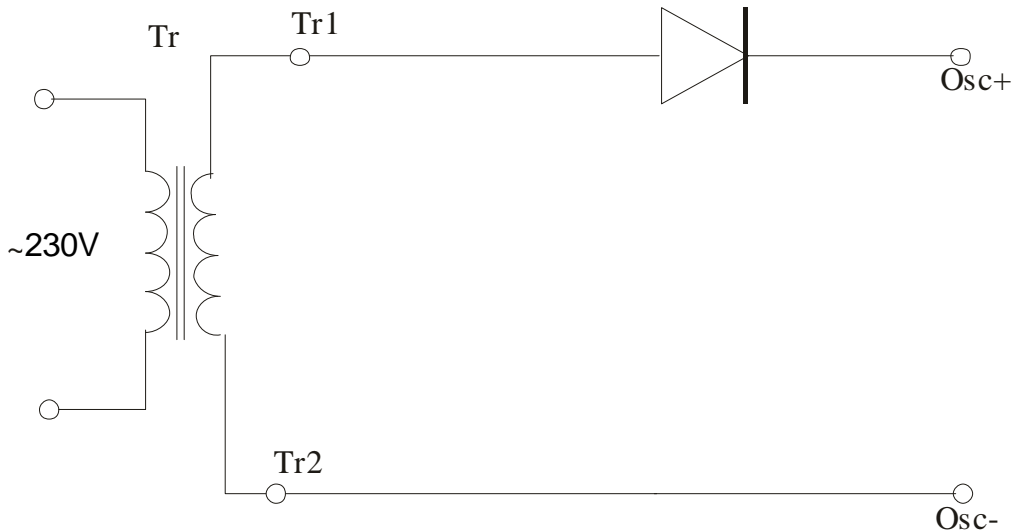


Rysunek 6
Przykładowy oscyloskop

Część I:

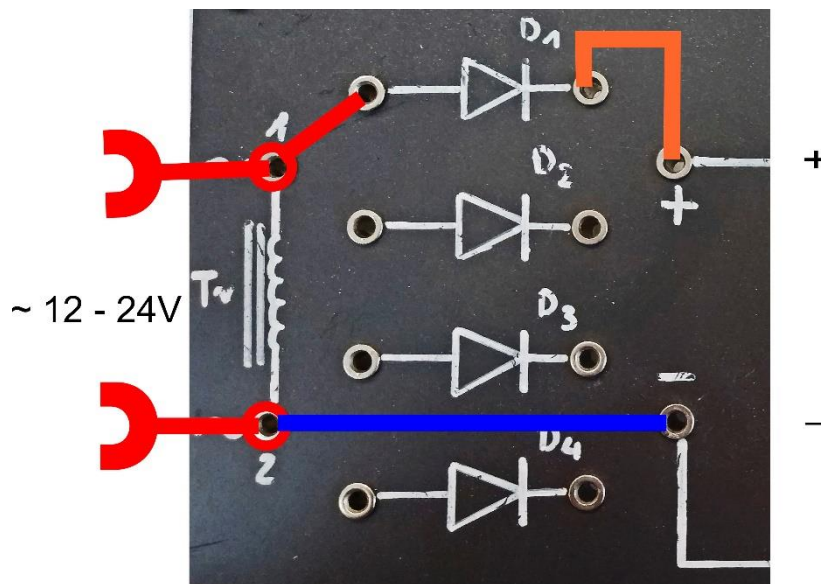
Prostownik jednopółkowy:

1. Połączyć układ według schematu (prostownik jednopółkowy).



Rysunek 7

Zdjęcie fragmentu płytki z zaznaczonymi połączeniami do wykonania (kolorowe kreski – czerwone, niebieskie i pomarańczowe – faktyczne kolory przewodów nie mają znaczenia). Wykonujemy je przewodami z końcówkami „bananowymi”.



Rysunek 8

2. Podłączyć zasilanie 12 V - 24 V z transformatora do płytki.
3. Wejście oscyloskopu podłączyć do zacisków T_{r1} , T_{r2} , a następnie do punktów oznaczonych Osc +, Osc -. W przypadku oscyloskopu dwukanałowego każde z jego dwóch wejść można podłączyć jednocześnie do gniazd T_{r1} , T_{r2} oraz Osc +, Osc -. W takim przypadku będziemy mogli obserwować dwa przebiegi jednocześnie, lub przełączać się między nimi.

4. Podłączyć transformator do zasilania sieciowego 230 V.

W obu przypadkach obserwować i odwzorować na papierze milimetrowym (zrobić zdjęcie, lub zrzut ekranu do pamięci USB – przycisk „Print”) przebiegi z gniazd Tr₁ i Tr₂ oraz Osc + i Osc -, z podaniem wartości napięć (pokręta X i Y oscyloskopu).

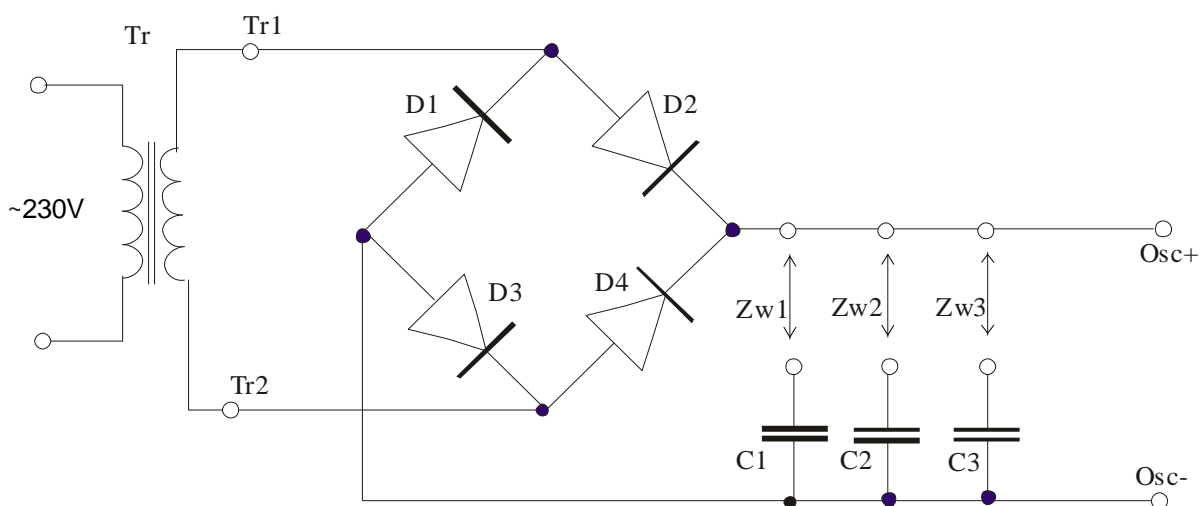
UWAGA – na oscyloskopie możemy odczytać wartość szczytową napięcia, a nie skuteczną, którą odczytują woltomierze. W przypadku sinusoidy, jeśli chcemy uzyskać wartość napięcia skutecznego (takie wartości podają multimetry) musimy wartość szczytową V_p podzielić przez $\sqrt{2}$.

Wartość czułości w V, lub mV możemy odczytać na ekranie w chwili obrotu pokręta V, lub cały czas w jednym z rogów ekranu. Ekran oscyloskopu jest pokryty siatką dużych kresek, które są rozmieszczone co 1 cm i małych kresek rozmieszczonych co 1 mm. Dzięki tej informacji możemy obliczyć wartość amplitudy (napięcia) danego przebiegu. Przykładowo, jeśli przebieg sinusoidalny rozciąga się w pionie na przestrzeni 3 działek (3 cm) od zera na osi X do szczytu przebiegu, a czułość danego kanału to 200 mV na działkę, to wartość amplitudy przebiegu (napięcie szczytowe V_p , nie mylić z napięciem międzyszczytowym V_{pp} , które jest dwa razy wyższe) = 600 mV.

Część II:

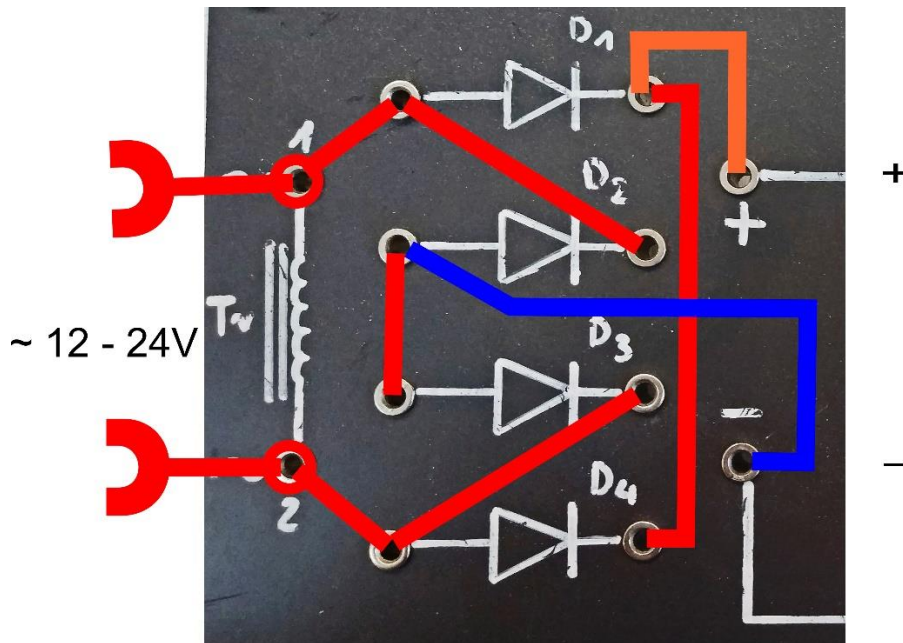
Prostownik dwupołówkowy:

1. Połączyć układ według schematu (mostek Graetza).



Rysunek 9

Zdjęcie fragmentu płytki z zaznaczonymi połączeniami do wykonania (kolorowe kreski – czerwone, niebieskie i białe - faktyczne kolory przewodów nie mają znaczenia). Wykonujemy je przewodami z końcówkami „bananowymi”.



Rysunek 10

2. Podłączyć zasilanie 12 - 24 V z transformatora.
3. Podłączyć zasilanie transformatora do zasilania sieciowego 230 V.
5. Wejście oscyloskopu podłączyć do zacisków T_{r1} , T_{r2} , a następnie do punktów oznaczonych Osc +, Osc -. W przypadku oscyloskopu dwukanałowego każde z jego dwóch wejść można podłączyć jednocześnie do gniazd T_{r1} , T_{r2} oraz Osc +, Osc -. W takim przypadku będziemy mogli obserwować dwa przebiegi jednocześnie, lub przełączać się między nimi.

W obu przypadkach obserwować i odwzorować na papierze milimetrowym (zrobić zdjęcie, lub zrzut ekranu do pamięci USB – przycisk „Print”) przebiegi z gniazd T_{r1} i T_{r2} oraz Osc + i Osc -, z podaniem wartości napięć (pokrętła X i Y oscyloskopu).

UWAGA – na oscyloskopie możemy odczytać wartość szczytową napięcia, a nie skuteczną, którą odczytują woltomierze. W przypadku sinusoidy, jeśli chcemy uzyskać wartość napięcia skutecznego (takie wartości podają multimetry) musimy wartość szczytową V_p podzielić przez $\sqrt{2}$.

4. Obserwować zmiany przebiegu wyjściowego po dołączeniu pomiędzy bieguny układu, kondensatorów C_1 , C_2 , i C_3 . Uzyskujemy to zwierając odpowiednio zwory Z_{w1} , Z_{w2} , Z_{w3} przewodami.

5. Narysować wszystkie przebiegi (lub zrobić zdjęcie).
6. Powyższe przebiegi odwzorować na papierze milimetrowym z podaniem parametrów napięciowych sygnałów (pokręta X i Y oscyloskopu).

Wymagania:

- półprzewodniki samoistne i niesamoistne
- złącze p-n
- prostujące własności diody półprzewodnikowej
- prostowniki jednopółkowe
- układ Graetza (prostowniki dwupółkowe)
- filtry w układach prostowniczych
- zasada działania oscyloskopu cyfrowego