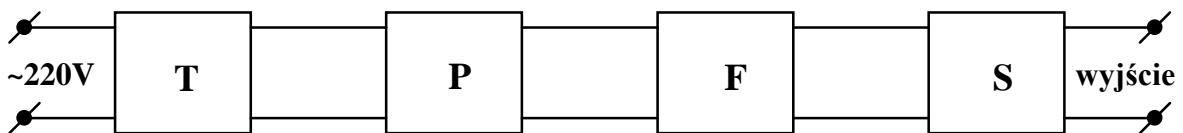


UKŁADY PROSTUJĄCE

- I. Cel ćwiczenia:** pomiar podstawowych parametrów prostownika jedno- i dwupołwkowego oraz najprostszych filtrów.
- II. Przyrządy:** płytki montażowa, woltomierz magnetoelektryczny, woltomierz elektrodynamiczny lub elektromagnetyczny, oscyloskop
- III. Literatura:** 1. E. Norman Lurch, Podstawy techniki elektronicznej, Warszawa 1965.
2. R. Śledziwski, Elektronika dla fizyków, Warszawa 1978

IV. Wprowadzenie.

Źródłami napięć stałych w urządzeniach stacjonarnych są tzw. zasilacze stabilizowane. Uproszczony schemat blokowy takiego zasilacza przedstawia rys.1



Rys.1. Schemat blokowy zasilacza stabilizowanego: T - transformator, P - prostownik, F - filtr, S - układ stabilizacji regulacji napięcia wyjściowego.

Transformator T obniża (najczęściej) napięcie sieci 220V, a prostownik P zamienia prąd przemienny w prąd zmienny płynący wyłącznie w jednym kierunku (prąd pulsujący). Filtr F "wygładza" prąd zmienny i na jego wyjściu, o ile jest to filtr o dużej efektywności, otrzymujemy napięcie praktycznie stałe w czasie. Niewielkie zmiany okresowe tego napięcia nazywamy tętnieniami. Zadaniem układu stabilizacji jest automatyczne utrzymanie stałej wartości napięcia wyjściowego niezależnie od zmian (w pewnych granicach) napięcia sieci.

IV.1. Składowa stała, składowa zmienna i współczynnik tętnień.

Oznaczmy przez $U(t)$ wartość napięcia w chwili t na wyjściu prostownika lub filtra. Wartością średnią lub składową stałą napięcia wyjściowego $U(t)$ nazywamy wartość wyrażenia

$$\bar{U} = \frac{1}{T} \int_0^T U(t) dt \quad (1)$$

gdzie T jest okresem funkcji $U(t)$.

Napięcie $U_i(t)$, którego wartość w danej chwili t równa jest różnicy wartości chwilowej napięcia wyjściowego $U(t)$ i wartości średniej napięcia wyjściowego \bar{U}

$$U_i(t) = U(t) - \bar{U} \quad (2)$$

nazywamy składową zmienną napięcia wyjściowego.

Współczynnikiem tętnień nazywamy stosunek wartości skutecznej składowej zmiennej do wartości składowej stałej

$$k = \frac{U_{t, sk}}{\bar{U}} \quad (3)$$

gdzie

$$U_{t, sk} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T U_t(t) dt} \quad (4)$$

Współczynnik tętnień k jest miarą efektywności filtru.

Wartości skuteczne napięcia wyjściowego i składowej zmiennej spełniają zależność

$$U_{sk}^2 = \bar{U}^2 + U_{t, sk}^2 \quad (5)$$

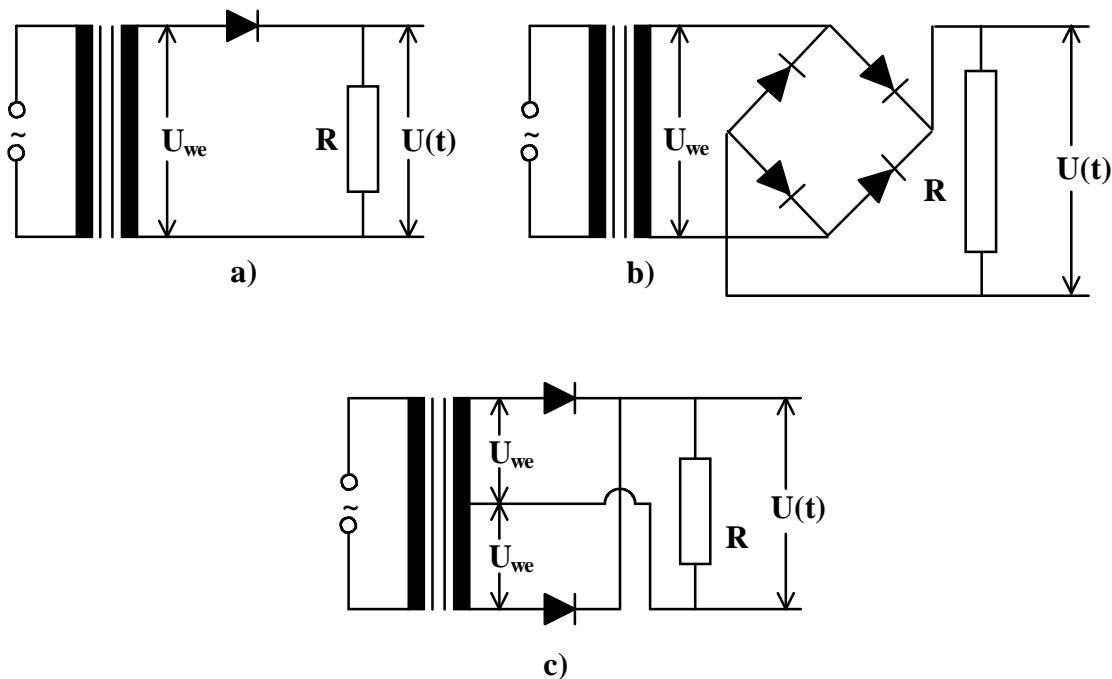
Zależność (5) wynika z definicji wartości skutecznej i średniej. [W literaturze można spotkać oznaczenie wartości skutecznej indeksem RMS (U_{RMS}). Jest to skrót angielskiego terminu "średni pierwiastek kwadratowy".]

IV.2. Prostownik jednopółkowy (półfalowy) i dwupółkowy.

Prostownik jednopółkowy.

Najprostszym prostownikiem jest pojedyncza dioda półprzewodnikowa, przez którą zaczyna płynąć prąd w kierunku przewodzenia, gdy różnica potencjałów między wyprowadzeniami elektrycznymi obszarów "p" i "n" półprzewodnika staje się większa od napięcia dyfuzyjnego U_d niespolaryzowanego zewnętrznym napięciem złącza p-n.

W momencie, gdy różnica potencjałów ponownie osiąga wartość napięcia dyfuzyjnego U_d , w obwodzie przestaje płynąć prąd w kierunku przewodzenia. Po obniżeniu się napięcia poniżej wartości U_d przez złącze płynie prąd w kierunku zaporowym, ale natężenie tego prądu jest mniejsze od natężenia prądu przewodzenia o kilka rzędów wielkości. Amplituda napięcia przemiennego w takim obwodzie musi być mniejsza od wartości bezwzględnej napięcia przebicia lawinowego diody. Schemat prostownika jednopółkowego przedstawia rys.2a.

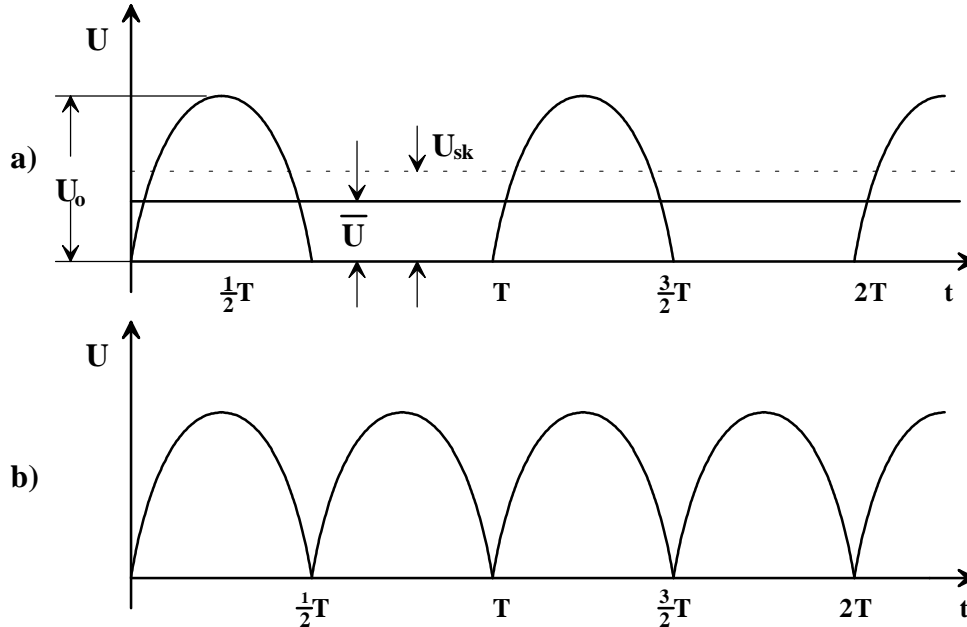


Rys.2. a) Prostownik jednopółkowy, b) dwupółkowy w układzie mostkowym (Graetza), c) dwupółkowy z dzielonym uzwojeniem transformatora.

Dla idealnego prostownika o zerowym oporze elektrycznym w stanie przewodzenia i nieskończonym oporze w stanie spolaryzowania zaporowego oraz przy założeniu, że U_d jest bardzo małe ($U_d = 0$) napięcie wyjściowe $U(t)$ będzie równe

$$i \quad \begin{aligned} U(t) &= U_o \sin(\omega t) && \text{dla } U_{we}(t) > 0 \\ U(t) &= 0 && \text{dla } U_{we}(t) < 0 . \end{aligned} \quad (6)$$

Przebieg napięcia na wyjściu prostownika jednopółkowego przedstawia rys.3a.



Rys.3. Napięcie wyjściowe z prostownika jednopółkowego a) i dwupółkowego b).

Wartość średnia przedstawionego napięcia wynosi

$$\bar{U} = \frac{U_o}{T} \int_0^T \sin \omega t dt = \frac{U_o}{\pi}, \quad (7)$$

zaś wartość skuteczna

$$U_{sk} = \sqrt{\frac{U_o^2}{T} \int_0^T \sin^2 \omega t dt} = \frac{U_o}{2}, \quad (8)$$

gdzie T jest okresem napięcia przemiennego a U_o amplitudą.

[Dla napięcia przemiennego sinusoidalnego wartość skuteczna jest równa $U_o/\sqrt{2}$, natomiast wartość średnia wynosi zero].

Prostownik dwupółkowy.

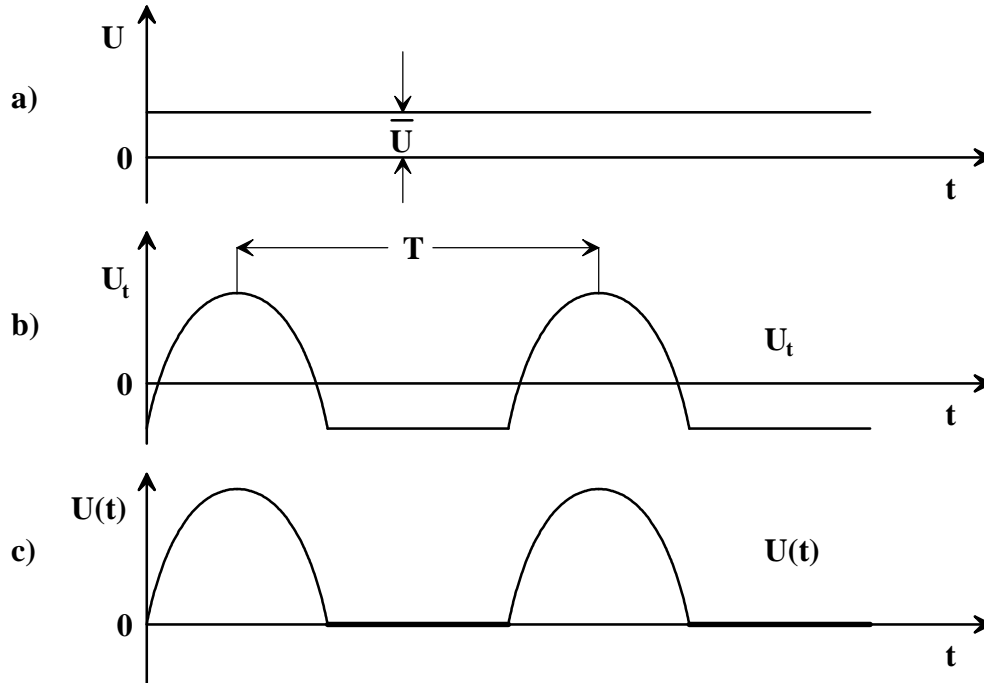
Zasadniczą wadą prostownika jednopółkowego jest to, że przewodzi on co najwyżej w czasie połowy okresu napięcia przemiennego. Wady tej pozbawiony jest prostownik dwupółkowy, przedstawiony na rysunku 2b i 2c. Dla idealnych elementów prostujących wartość średnia napięcia pulsującego na wyjściu prostownika dwupółkowego jest równa

$$\bar{U} = \frac{2U_o}{\pi}, \quad (9)$$

a wartość skuteczna

$$U_{sk} = \frac{U_o}{\sqrt{2}} \quad (10)$$

Przebieg $U(t)$ pokazany na rysunku 4c reprezentuje wypadkowy przebieg napięcia na wyjściu prostownika jednopółkowego; U_t jest składową zmienną (rys. 4b), \bar{U} jest składową stałą (rys. 4a) tego napięcia zmiennego.



Rys.4. Nakładanie się napięcia zmiennego i stałego na wyjściu prostownika.

Skorzystajmy z zależności (5) i obliczmy $U_{t,sk}$ tętnień

$$U_{t,sk}^2 = U_{sk}^2 - \bar{U}^2$$

gdzie U_{sk} jest wartością skuteczną napięcia $U(t)$ na wyjściu prostownika lub filtru.

W przypadku prostownika jednopółkowego mamy

$$U_{t,sk}^2 = \left(\frac{U_o}{2}\right)^2 - \left(\frac{U_o}{\pi}\right)^2$$

$$U_{t,sk} = U_o \sqrt{\frac{1}{4} - \frac{1}{\pi^2}} = 0,386U_o$$

$$k_{pr} = \frac{U_{t,sk}}{\bar{U}} = \frac{0,386U_o}{0,318U_o} = 1,21$$

k_{pr} współczynnik tętnień prostownika

Dla prostownika dwupółkowego mamy

$$U_{t,sk} = U_o \sqrt{\frac{1}{2} - \frac{4}{\pi^2}} = 0,307U_o$$

$$k_{pr} = \frac{U_{t,sk}}{\bar{U}} = 0,482$$

Te same zależności uzyskać możemy z definicji wartości skutecznej (3). Np. przebieg składowej zmiennej na rysunku 4b dany jest funkcją

$$U_t = U_o \sin \omega t - \bar{U}_o \quad \text{dla} \quad 0 < t < \frac{T}{2}$$

$$U_t = -\bar{U} \quad \text{dla} \quad \frac{T}{2} < t < T$$

$$U_{t,sk}^2 = \frac{1}{T} \left\{ \int_0^{\frac{T}{2}} [U_o \sin \omega t - \bar{U}]^2 + \bar{U}^2 \frac{T}{2} \right\}$$

Wykonując całkowanie otrzymamy

$$U_{t,sk} = \sqrt{\frac{1}{4} - \frac{4}{\pi^2}} U_o = 0,386U_o$$

Tabela I zawiera charakterystyczne parametry obu prostowników.

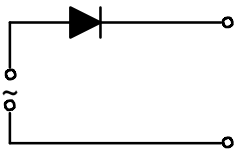
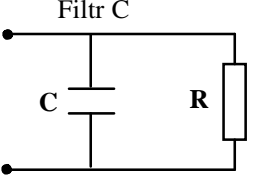
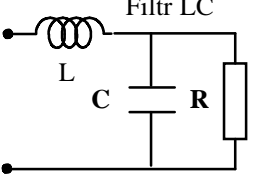
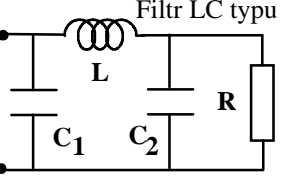
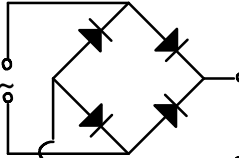
Tabela I

Rodzaj prostownika	\bar{U}	$U_{t,sk}$	$k_{pr} = \frac{U_{t,sk}}{\bar{U}}$
Prostownik jednopółkowy	$\frac{U_o}{\pi}$	$0,386U_o$	1,21
Prostownik dwupółkowy	$\frac{2U_o}{\pi}$	$0,307U_o$	0,482

IV.3. Filtry.

Jak wspomniano we wprowadzeniu, do zmniejszania tętnień napięcia wyjściowego służą filtry.

Tabela II

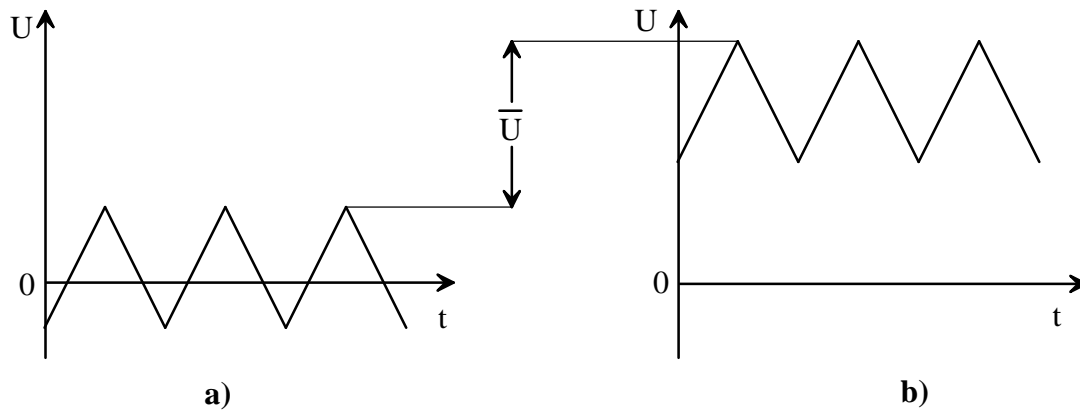
Jednostki $\Omega, \mu F, H$	współczynnik tętnień		
	Filtr C	Filtr LC	Filtr LC typu π
			
	$\frac{2,88}{RC} \cdot 10^3$	$\frac{1,19}{LC}$	$\frac{27,5}{LC_1 C_2 R} \cdot 10^3$
	$\frac{1,44}{RC} \cdot 10^3$	$\frac{0,297}{LC}$	$\frac{3,45}{LC_1 C_2 R} \cdot 10^3$

Jeżeli współczynnik tętnień prostownika wynosi k_{pr} , a współczynnik tętnień filtru ma wartość k_{fil} , wówczas, sumaryczny współczynnik tętnień k jest równy

$$k = k_{pr} \cdot k_{fil}$$

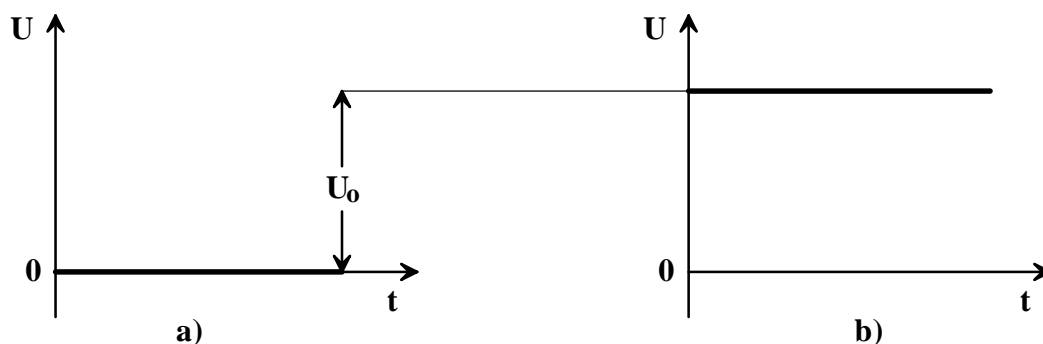
Tabela II zawiera teoretyczne współczynniki tętnień, obliczone dla współpracy prostowników jedno- i dwupołkowych z wyszczególnionymi rodzajami filtrów.

Najpełniejszy obraz pracy prostownika wraz z filtrem uzyskamy posługując się oscyloskopem. Jeżeli wyjście układu prostującego połączymy z wejściem zmiennoprądowym (oznaczane przez "~" lub "AC") oscyloskopu, to na ekranie otrzymamy wykres wyłącznie składowej zmiennej, gdyż kondensator C, włączony między gniazdo wejściowe a wzmacniacz odchylenia pionowego Y (patrz instrukcja "Podstawowe mierniki elektryczne i elektroniczne") "odetnie" składową stałą, co ilustruje rys.5a.



Rys.5 Napięcie na wyjściu układu prostującego obserwowane na oscyloskopie z wejściem zmiennoprądowym "AC" a) i z wejściem stałoprądowym "= DC" b).

Przełączając wejście zmiennoprądowe na stałoprądowe (oznaczane przez "=" lub "DC") obserwujemy przesunięcie wykresu składowej zmiennej o odcinek odpowiadający składowej stałej, czyli wartości średniej napięcia wyjściowego badanego układu (rys.5b). Zmiana rodzaju wejścia oscyloskopu polega na zwarcie ze sobą okładek kondensatora szeregowego w torze odchylenia pionowego oscyloskopu. Rys.6 przedstawia napięcie źródła prądu stałego U_0 obserwowane na oscyloskopie o wejściu "AC" a) i wejściu "DC" b).



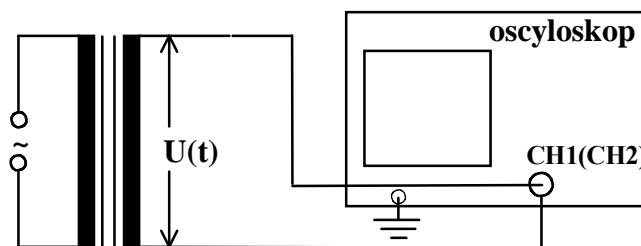
Rys. 6 Napięcie źródła prądu stałego U_0 obserwowane na oscyloskopie o wejściu "AC" a) i wejściu "DC" b)

W przeciwieństwie do oscyloskopu różne typy woltomierzy analogowych będą wskazywały różne wartości napięcia na wyjściu układu prostującego. I tak woltomierz magnetoelektryczny, przeznaczony do pomiarów napięć stałych, a więc nie wyposażony w prostownik, wskaże wartość składowej stałej. Stanie się tak w przypadku, gdy okres zmian napięcia będzie znacznie krótszy od

okresu drgań własnych uzwojenia ruchomego (0,4 - 2 s). Woltomierz elektrodynamiczny wskaże z kolei wartość skuteczną napięcia wyjściowego, a w przypadku napięcia stałego poprawną jego wartość. Również niektóre z woltomierzy elektromagnetycznych mierzą poprawnie zarówno napięcia stałe, jak i zmienne o niezbyt wysokich częstotliwościach

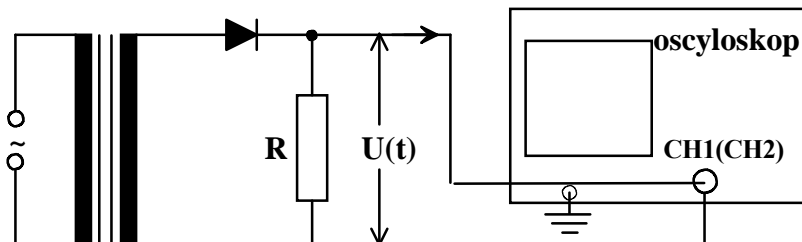
V. Pomiary

1. Do uzwojenia wtórnego transformatora sieciowego umieszczonego na płytce montażowej dołączyć oscyloskop. Ustawić wejście kanału pomiarowego oscyloskopu CH1 (CH2) jako stałoprądowe (przełącznik lub przycisk rodzaju sprzężenia w położeniu DC). Przerysować przebieg napięcia z ekranu oscyloskopu i zanotować wartości współczynników odchylenia podstawy czasu i kanału wzmacniacza Y (patrz **UWAGA** na końcu tego rozdziału).



Rys. 7 Układ do pomiaru przebiegu napięcia na wyjściu z uzwojenia wtórnego transformatora.

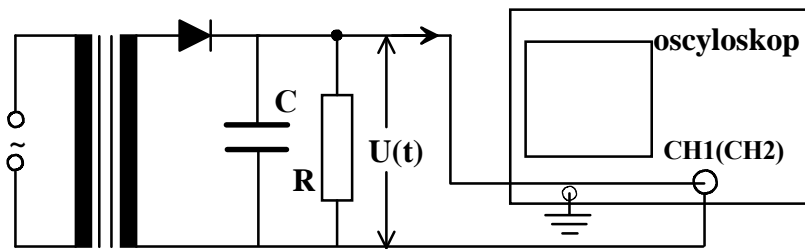
2. Na płytce montażowej połączyć elementy tak, by powstał prostownik jednopółkowy. Dołączyć oscyloskop do wyjścia prostownika jednopółkowego. Wejście kanału pomiarowego oscyloskopu jak poprzednio - stałoprądowe **DC**. Przerysować przebieg napięcia z ekranu oscyloskopu.



Rys. 8 Układ do pomiaru przebiegu napięcia na wyjściu prostownika jednopółkowego.

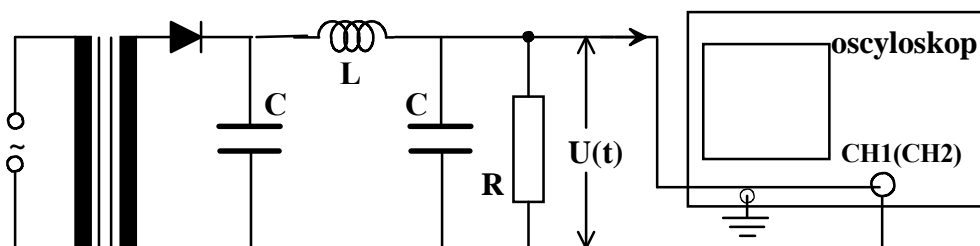
Zmienić ustawienie przełącznika (przycisku) **DC** w położenie **AC**. Zanotować przesunięcie w pionie (w cm lub V) położenia dowolnego punktu przebiegu na ekranie (np punktu o maksymalnej amplitudzie). Ta zmiana napięcia w V jest wartością składowej stałej przebiegu $\bar{U} : D[cm] =$

3. Dołączyć do wyjścia prostownika kondensator C (10 μ F, 20 μ F), by powstał filtr pojemnościowy. Przełącznik rodzaju sprzężenia ustawić ponownie w położeniu **DC**. Podobnie jak poprzednio przerysować przebieg napięcia z ekranu oscyloskopu



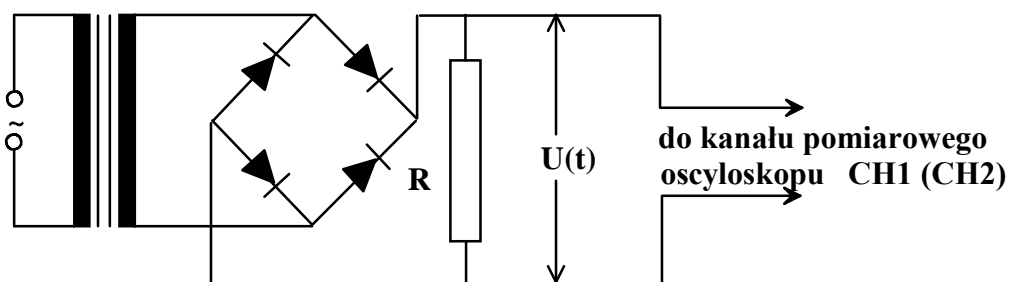
Rys. 9 Układ do pomiaru przebiegu napięcia na wyjściu prostownika jednopółkowego z filtrem pojemnościowym

- Dołączyć do wyjścia prostownika jednopółkowego tzw. filtr π (zmontowany z elementów znajdujących się na płytce montażowej). Wejście kanału pomiarowego oscyloskopu ustawić w położeniu stałoprądowym czyli DC. Przerysować przebieg napięcia z ekranu oscyloskopu.



Rys. 10 Układ do pomiaru przebiegu napięcia na wyjściu prostownika jednopółkowego z filtrem pojemnościowo-indukcyjnym typu π .

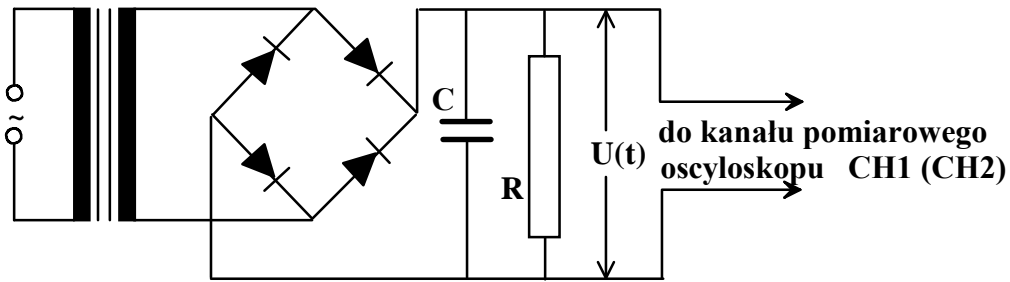
- Na płytce montażowej połączyć elementy tak, by powstał prostownik dwupółkowy. Dołączyć oscyloskop do wyjścia prostownika dwupółkowego. Wejście kanału pomiarowego oscyloskopu ustawić w położeniu stałoprądowym (przełącznik w położeniu DC). Przerysować przebieg napięcia z ekranu oscyloskopu.



Rys. 11 Układ do pomiaru przebiegu napięcia na wyjściu prostownika dwupółkowego.

Zmierzyć dla prostownika dwupółkowego składową stałą \bar{U} przebiegu napięcia metodą opisaną w punkcie V.2. Przełączamy ustawienie stałoprądowe kanału pomiarowego CH1 (CH2) na zmiennoprądowe AC i notujemy przesunięcie obrazu w pionie w cm lub V: $D[cm] =$

- Dołączyć do wyjścia prostownika dwupółkowego kondensator C ($10 \mu F$, $20 \mu F$), tak, by powstał filtr pojemnościowy. Wejście kanału pomiarowego oscyloskopu ustawić na stałoprądowe - przełącznik w położeniu DC.



Rys. 12 Układ do pomiaru przebiegu napięcia na wyjściu prostownika dwupołkowego z filtrem pojemnościowym.

UWAGA: Osie wykresów opisać wartościami współczynników odchylenia spisanych z odpowiednich pokręteł oscyloskopu: oś X (oś czasu) - wartość współczynnika odchylenia ustawiona na pokrętle podstawy czasu (w jednostkach czas/cm), oś Y - wartość współczynnika odchylenia kanału pomiarowego CH1 (CH2) (w V/cm).

Brak znajomości współczynników uniemożliwi opis przebiegów w jednostkach czasu i napięcia.

VI. Opracowanie wyników.

1. Na podstawie przerysowanych przebiegów napięć $U(t)$ podać:

- amplitudę U_o napięcia na wyjściu uzwojenia wtórnego transformatora: $U_o =$;
- okres zmian napięcia i jego częstotliwość: $T =$; $f =$;
- okres zmian i częstotliwość zmian napięcia na wyjściu prostownika dwupołkowego: $T' =$; $f' =$;
- amplitudę na wyjściu prostownika jedno- i dwupołkowego: $U_{o1} =$; $U_{o2} =$;
Czy są takie same i równe U_o ?
- składową stałą napięcia \bar{U} na wyjściu prostownika jedno- i dwupołkowego: $\bar{U}_1 =$; $\bar{U}_2 =$;

2. Obliczyć wartość skuteczną napięcia U_{sk} dla prostownika jedno- i dwupołkowego wykorzystując relację między wartością U_{sk} a U_o [wzory (8) i (10)].

3. Obliczyć wartość skuteczną napięcia tętnień dla prostownika jedno- i dwupołkowego z relacji

$$\text{dla prostownika jedno- i dwupołkowego } U_{t,sk}^2 = \left(\frac{U_{o1}}{2}\right)^2 - (\bar{U}_1)^2$$

$$\text{dla prostownika dwupołkowego } U_{t,sk}^2 = \left(\frac{U_{o2}}{\sqrt{2}}\right)^2 - (\bar{U}_2)^2.$$

4. Obliczyć wartości współczynników tętnień dla obu prostowników ze wzoru (3): $k = \frac{U_{t,sk}}{\bar{U}}$;

$$k_1 =$$
 ; $k_2 =$;

5. Porównać wartości otrzymanych składowych stałych \bar{U} i współczynników tętnień k z wartościami wynikającymi z teorii