

UNIWERSYTET TECHNOLOGICZNO-PRZYRODNICZY W BYDGOSZCZY
WYDZIAŁ INŻYNIERII MECHANICZNEJ
INSTYTUT EKSPLOATACJI MASZYN I TRANSPORTU
ZAKŁAD STEROWANIA



ELEKTROTECHNIKA I ELEKTRONIKA

ĆWICZENIE: **E11**

BADANIE NIESTABILIZOWANYCH ZASILACZY SIECIOWYCH

Piotr Kolber, Daniel Perczyński
Bydgoszcz 2011

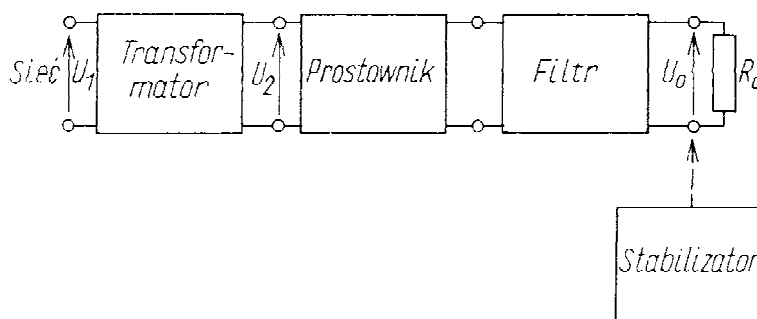
1. Cel ćwiczenia

Poznanie właściwości podstawowych układów prostowniczych, obserwacja przebiegów wyprostowanych przy pomocy oscyloskopu.

2. Wstęp

Wszystkie urządzenia elektryczne muszą być zasilane. Najdogodniejsze jest zasilanie wprost z sieci elektroenergetycznej, bezpośrednio lub za pośrednictwem transformatora. Znaczna część urządzeń wymaga jednak zasilania napięciem stałym. Używa się wtedy zasilaczy napięcia (prądu) stałego.

Zasilacz taki składa się zazwyczaj z transformatora sieciowego, prostownika i filtra (rys.1)



Rys.1

. W prostowniku wykorzystuje się elementy elektronowe, charakteryzujące się jednokierunkowym przewodzeniem prądu. Są to najczęściej diody lub tyrystory. Dzięki temu napięcie przemiennie jest przetwarzane na napięcie tętniące o składowej stałej różnej od zera. Po odfiltrowaniu tętnień przez filtr uzyskuje się w odbiorniku żadaną wartość napięcia i prądu stałego. Często stosuje się również układy zabezpieczające elementy prostownicze przed przeciążeniami i przepięciami. Ponadto w zasilaczach stabilizowanych, między filtrem a odbiornikiem, znajduje się stabilizator napięcia lub prądu stałego. Zakres mocy zasilaczy napięcia stałego jest bardzo szeroki – od kilku watów do kilkuset kilowatów.

Prostowniki, w zależności od struktury i liczby faz zasilających napięcia przemiennego, dzieli się na **jedno-** i **wielofazowe** (np. trójfazowe). Jeśli napięcie podlega prostowaniu w czasie jednego tylko półokresu każdej z faz, to prostownik jest nazywany **półfalowym (jednopołówkowym)**. Jeżeli natomiast napięcie jest prostowane w czasie obu półokresów, to prostownik jest nazywany **całofalowym (dwupołówkowym)**.

Najważniejszymi **wielkościami charakteryzującymi prostownik** są:

- napięcie zasilania U_2 ;
- składowe stałe napięcia wyjściowego U_{os} i prądu wyjściowego I_{os} ;
- wartość skuteczna napięcia wyjściowego U_o ;
- dopuszczalny prąd wyjściowy $I_{os\ max}$;
- sprawność energetyczna (mocy) η_p , obliczona jako stosunek mocy prądu stałego na wyjściu $P_o=U_{os}I_{os}$ do mocy pozornej prądu zmiennego na wejściu $S_2=U_2I_2$

$$\eta_p = P_o / S_o = U_{os} I_{os} / U_2 I_2$$

- współczynnik tętnień k_t , zdefiniowany jako stosunek amplitudy składowej podstawowej tętnień na wyjściu U_{o1m} i składowej stałej U_{os} ,

$$k_t = U_{o1m}/U_{os}$$

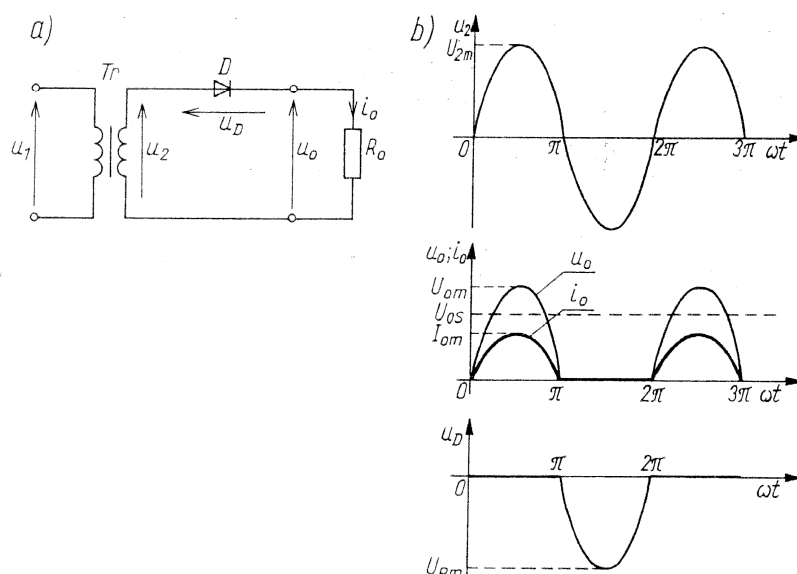
- maksymalna wartość napięcia wstecznego U_{Rm} , które występuje na elemencie prostowniczym.

Istotna jest również **charakterystyka wyjściowa (obciążeniowa)**, czyli zależność składowej stałej napięcia wyjściowego od składowej stałej prądu wyjściowego $U_{os}=f(I_{os})$.

3. Układy prostownicze

3.1 Prostowniki niesterowane

Najprostszy **prostownik półfalowy (jednopołówkowy) jednofazowy z obciążeniem rezystancyjnym** (rys.2) stanowi dioda D , włączona w szereg z rezystorem R_o . Dioda ta 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 napięcia.



Rys.2

Napięcie na obciążeniu

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

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

a prąd

$$i_o = u_o/R_o$$

Zależność można również przedstawić w innej postaci:

Ze wzorów wynika, że składowe stałe napięcia wyjściowego U_{os} i prądu wyjściowego I_{os} wynoszą odpowiednio:

$$U_{os} = U_{2m}/\pi; \quad I_{os} = U_{2m}/\pi R_o$$

Są one sygnałami użytecznymi. Oprócz nich występuje szereg składowych zmiennych, które nazywa się **napięciem tętnień**. Największe znaczenie ma składowa zmienna o największej

amplitudzie, tzw. **harmoniczna podstawowa**. Na wyjściu prostownika półfalowego pulsacja harmonicznego podstawowego wynosi ω , a amplituda

$$U_{o1m} = U_{2m}/2$$

Podstawiając zależności, otrzymuje się współczynnik tętnień

$$k_t = \pi/2$$

Z zależności, po uwzględnieniu, iż $U_2 = U_{2m}/\sqrt{2}$ oraz $I_2 = U_{2m}/2R_o$, wynika wzór na **sprawność energetyczną prostownika**

$$\eta_p = 2\sqrt{2}/\pi^2 = 0,286$$

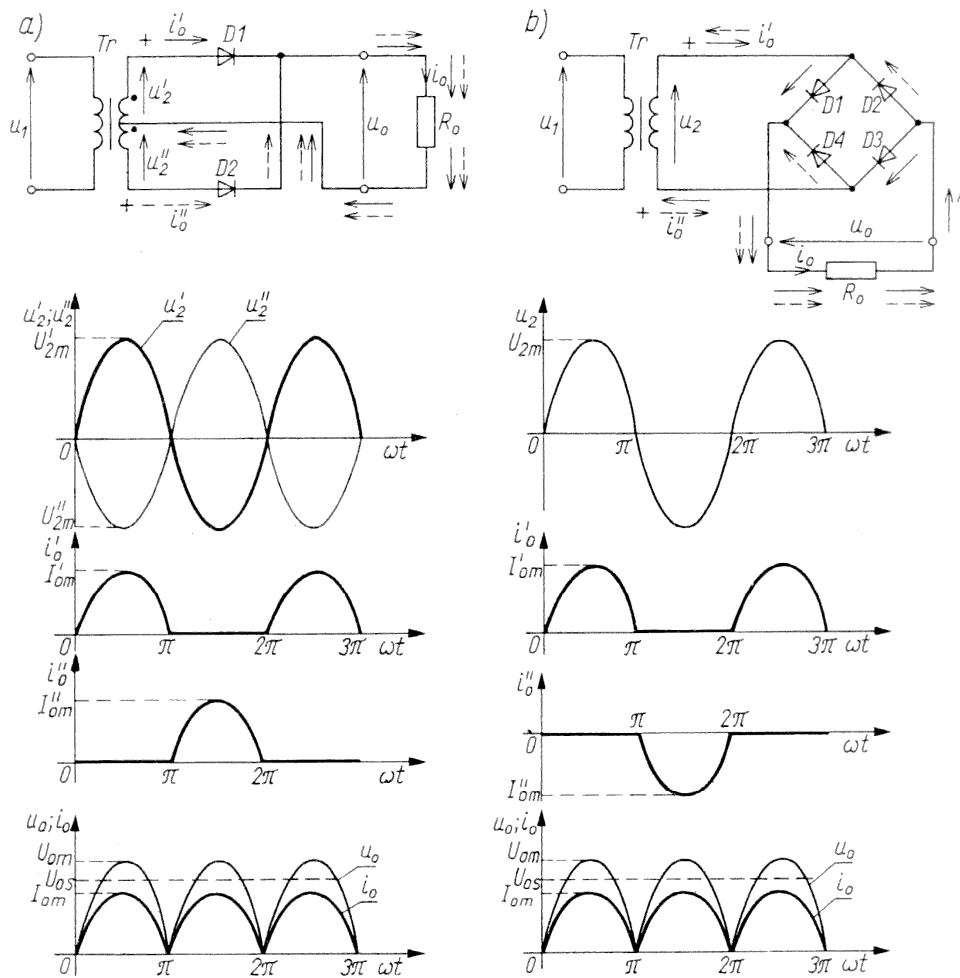
Prostownik półfalowy z obciążeniem rezystancyjnym ma zatem małą sprawność (mniejszą niż 29%) oraz duże tętnienia o pulsacji harmonicznego podstawowego ω . Oznacza to, że 71% energii pobieranej ze źródła napięcia zmiennego jest tracone. Słabo jest wykorzystany wówczas transformator sieciowy, przez który przepływa także składowa stała I_{os} prądu. Powoduje ona magnesowanie rdzenia transformatora, czyli przesunięcie jego punktu pracy do zakresu o małej przenikalności i dużym prądzie magnesowania. Powoduje to konieczność użycia transformatora o większych wymiarach niż wynika to z mocy wydzielanej w obciążeniu. W praktyce układ jednofazowy *jednopołówkowy* stosuje się rzadko, na ogół przy małych mocach, nie przekraczających kilkudziesięciu watów. Pewien wyjątek stanowi prostowanie wysokiego napięcia (kilku do kilkuset kilowoltów) ze względu na prostą budowę transformatora (tylko jedno uzwojenie wysokiego napięcia).

Częściej używa się bardziej złożonych układów prostowniczych, mających lepsze właściwości. Jednym z takich układów jest **prostownik dwupołówkowy z obciążeniem rezystancyjnym**. Realizuje się go w dwóch wersjach: **z wyprowadzonym środkiem uzwojenia wtórnego transformatora** oraz **z diodami w układzie mostkowym Graetza**. 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 zaznaczona liniami kreskowymi na rys. 3a

W układzie Graetza (rys.3b) 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 $D2$. W obu układach prąd płynie przez obciążenie w jednym kierunku i ma charakter pulsujący.

Stosując metodykę poprzedniego zaprezentowania, można otrzymać zależności określające najważniejsze parametry obu układów. Parametry te zestawiono w tabeli.

Obydwa układy mają większość parametrów identycznych. Jednakże w układzie mostkowym napięcie wsteczne na każdej diodzie jest dwukrotnie mniejsze, co umożliwia zastosowanie diod o mniejszym dopuszczalnym napięciu wstecznym. Układ zapewnia też lepsze wykorzystanie mocy transformatora. Wadą jego jest konieczność użycia czterech diod.



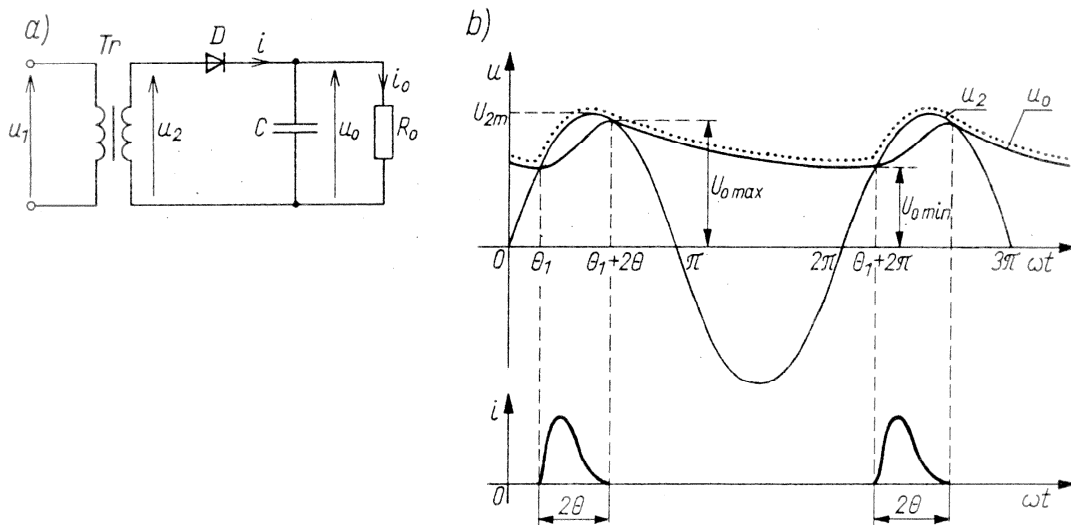
Rys. 3

Porównując prostowniki pół- i całofalowe można wyciągnąć następujące wnioski. Prostowniki całofalowe mają sprawność znacznie większą oraz wielokrotnie mniejszy współczynnik tętnień, przy czym częstotliwość harmonicznej podstawowej tętnień jest dwukrotnie większa. Ich wadą jest bardziej skomplikowany układ i większa liczba diod.

Parametry podstawowych jednofazowych układów prostowniczych z obciążeniem rezystancyjnym

Układ	Półfalowy	Całofalowy z wyprowadzonym środkiem	Całofalowy mostkowy
Składowa stała napięcia U_{os}	$U_{os} \approx U_{2m}/\pi = \sqrt{2}U_2/\pi$	$U_{os} \approx 2U_{2m}/\pi = 2\sqrt{2}U_2/\pi$	$U_{os} \approx 2U_{2m}/\pi = 2\sqrt{2}U_2/\pi$
Wartość skuteczna napięcia na obciążeniu U_o	$U_o = U_{2m}/2 = \sqrt{2}U_2/2$	$U_o = U_{2m}/\sqrt{2} = U_2$	$U_o = U_{2m}/\sqrt{2} = U_2$
Sprawność energetyczna η_p	$\eta_p \approx 2\sqrt{2}/\pi^2 \approx 0,286$	$\eta_p \approx 8/\pi^2 \approx 0,811$	$\eta_p \approx 8/\pi^2 \approx 0,811$
Współczynnik tętnień k_t	$k_t \approx \pi/2 \approx 1,571$	$k_t \approx 2/3 \approx 0,666$	$k_t \approx 2/3 \approx 0,666$
Maksymalna wartość napięcia wstecznego na diodzie U_{Rm}	$U_{Rm} = U_{2m} = \sqrt{2}U_2$	$U_{Rm} = 2U_{2m} = 2\sqrt{2}U_2$	$U_{Rm} = 2U_{2m} = 2\sqrt{2}U_2$

W układzie prostowniczym półfalowym z obciążeniem rezystancyjno-pojemnościowym (rys. 4) w stanie ustalonym, w czasie trwania dodatniej półfali napięcia wejściowego kondensator C doładowuje się ze stałą czasową $\tau_f \approx R'_F C$, przy czym R'_F jest sumą rezystancji przewodzącej diody i uzwojenia wtórnego transformatora. Przy kącie $\omega'_t = \theta_1 + 2\theta$ wartość zmiennego napięcia zasilającego u_2 zrównuje się z wartością napięcia u_o na kondensatorze i ładowanie ustaje. Kiedy napięcia u_2 zmaleje ($u_2 < u_o$), wtedy dioda D przestaje przewodzić i następuje wykładnicze rozładowanie kondensatora C przez rezystancję obciążenia R_o ze stałą czasową $\tau_r \approx R_o C$. Proces ten trwa dopóty, dopóki napięcie u_2 w następnym cyklu ponownie nie zrówna się z napięciem u_o na kondensatorze ($\omega''_t = \theta_1 + 2\pi$), po czym następuje ponowne doładowywanie kondensatora itd. Przebieg napięcia u_o na obciążeniu wynika z ładowania i rozładowywania kondensatora. Przebieg prądu obciążenia i_o jest identyczny jak przebieg napięcia u_o . Prąd ten przepływa ciągle, natomiast płynący przez diodę prąd i ma kształt impulsów o kącie przepływu $\omega t = 2\theta$.

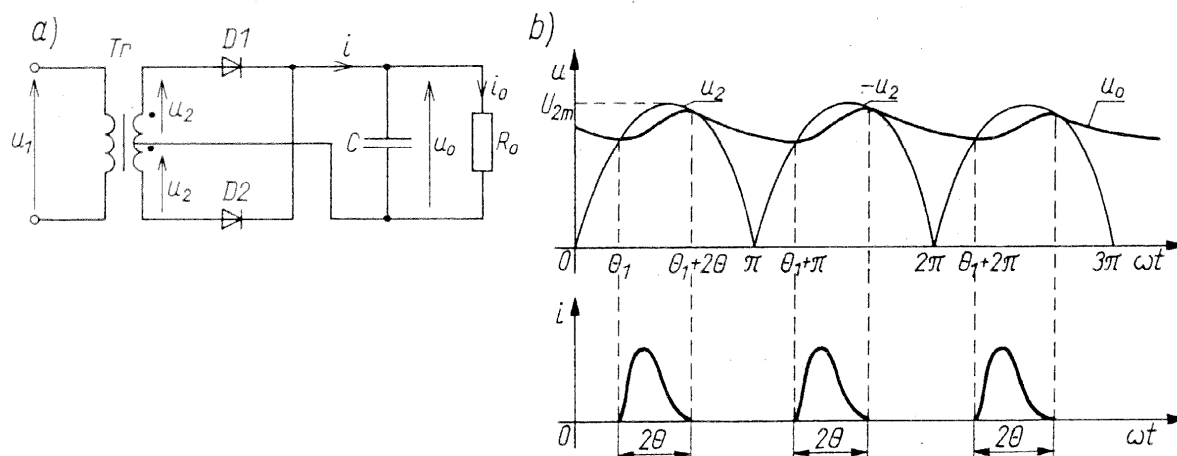


Rys.4

Parametry układu zależą od stałych czasowych ładowania τ_i i rozładowywania τ_r . Jeżeli τ_i maleje, to ładowanie kondensatora odbywa się szybciej i kąt przepływu prądu 2θ oraz tętnienia maleją. Napięcie na kondensatorze dąży do wartości szczytowej napięcia zmiennego u_2 . Prostowanie zbliża się do tzw. **prostowania szczytowego**. Dużą stałą czasową τ_r uzyskuje się przy dużych rezystancjach obciążenia, czyli przy małych wartościach prądu i_o .

Jeżeli dioda i transformator są elementami idealnymi, to rezystancja $R'_F=0$. W czasie przewodzenia diody napięcie na obciążeniu ma kształt wycinków sinusoidy, co zaznaczono na rys. linią kropkową. Podobne przebiegi wystąpią również w niektórych układach omawianych w dalszej części.

Analogicznie działa **układ całofalowy** (rys.5) z tą tylko różnicą, że proces ładowania i rozładowania kondensatora odbywa się dwukrotnie częściej. Występują więc mniejsze tętnienia i większa jest składowa stała napięcia.



Rys.5

Ścisła analiza matematyczna układów prostowniczych z obciążeniem rezystancyjno-pojemnościowym jest skomplikowana. Dlatego zwykle korzysta się z metod uproszczonych, wykorzystując podawane w literaturze wykresy odpowiednich zależności.

4. Pomiar laboratoryjny

4.1 Prostownik jednopołówkowy

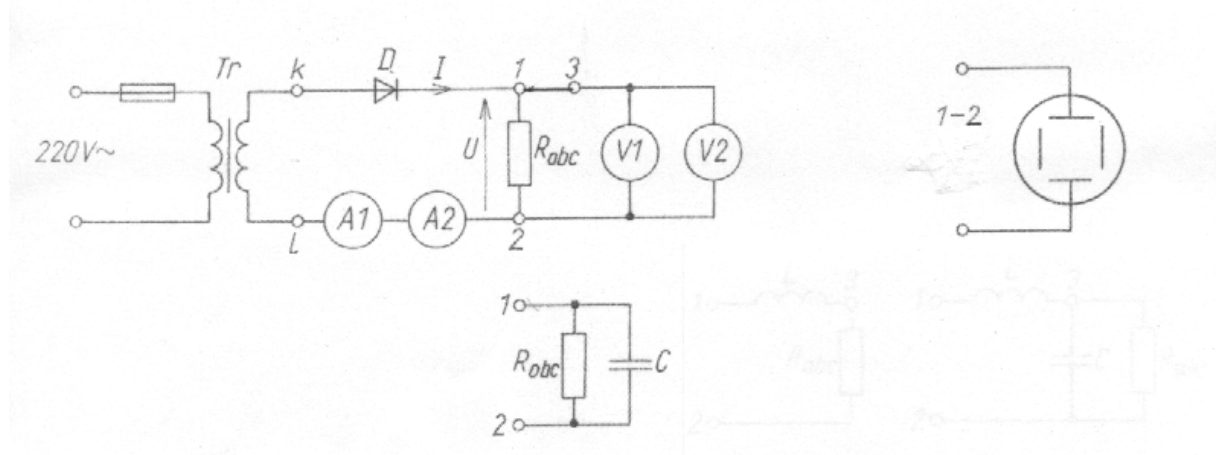
Zmontować układ pomiarowy wg schematu na rys.6.

Układ prostowniczy (rys. 6) złożony z diody i rezystora R_{obc} jest zasilany z sieci za pośrednictwem transformatora obniżającego Tr . Prąd I płynący w obciążeniu mierzy się amperomierzami A1 i A2 przeznaczonymi do pomiaru wartości średniej (prąd stały) i skutecznej (prąd przemienny). Podobnie mierzy się wartość średnią i skuteczną napięcia U na rezystorze R_{obc} za pomocą woltomierzy V1 i V2. Pomiar prądu i napięcia wykonujemy przy pomocy cyfrowych mierników uniwersalnych, które raz służą jako mierniki wartości stałych - wartość średnia, zaś później jako mierniki wartości przemiennych - wartość skuteczna. Pomiar dokonujemy dla czterech różnych wartości R_{obc} i jednej wartości pojemności C .

Pomiar wartości prądu i napięcia na rezystorze R_{obc} należy wykonać w dwóch przypadkach:

- bez filtra RC (bez dołączonego kondensatora filtrującego),
- z filtrem RC (z dołączonym równolegle kondensatorem C).

Uwaga na biegunowość kondensatora (łączymy plus do plusa oraz minus do minusa)!



Rys. 6

Dla obu przypadków dokonać obserwacji przebiegu wyprostowanego przy pomocy oscyloskopu. Wyniki pomiarów zanotować w tabeli.

R_{obc}					Filtr $R_{obc}C$				
R	I_{sr}	I_{sk}	U_{sr}	U_{sk}	R	I_{sr}	I_{sk}	U_{sr}	U_{sk}
Ω	A	A	V	V	Ω	A	A	V	V

4.2 Prostownik dwupołkowy

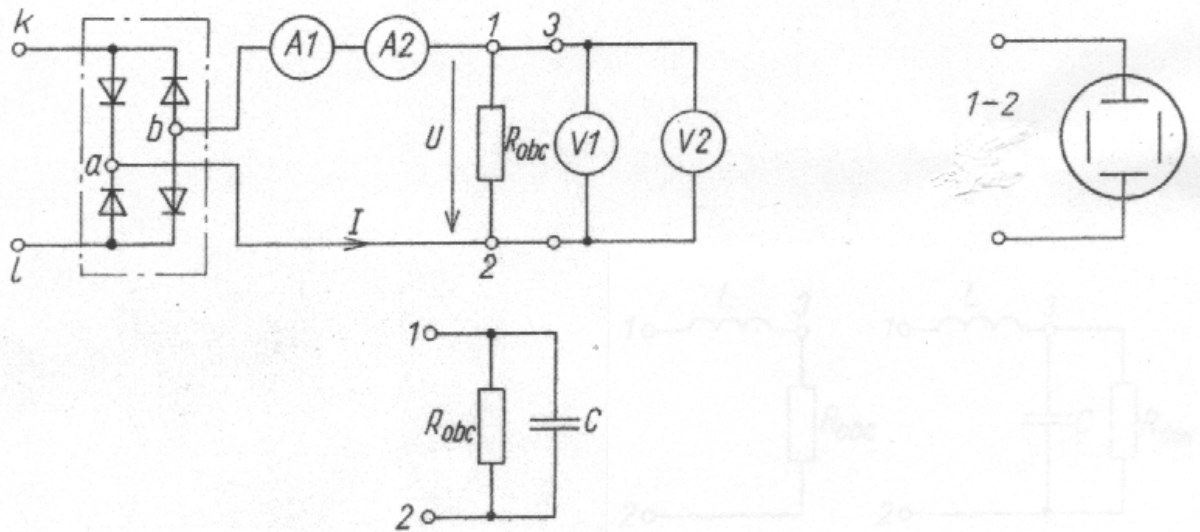
Połączyć układ pomiarowy wg schematu na rys.7.

Układ prostowniczy (rys. 7) złożony z diod połączonych w układ Graetza i rezystora R_{obc} jest zasilany z sieci za pośrednictwem transformatora obniżającego Tr (tak jak w pkt. 4.1 dołączony do punktów k-l obwodu pomiarowego). Prąd I płynący w obciążeniu mierzy się amperomierzami A1 i A2 przeznaczonymi do pomiaru wartości średniej (prąd stały) i skutecznej (prąd przemienny). Podobnie mierzy się wartość średnią i skuteczną napięcia U na rezystorze R_{obc} za pomocą woltmierzów V1 i V2. Pomiary prądu i napięcia wykonujemy przy pomocy dwóch cyfrowych mierników uniwersalnych, które raz służą jako mierniki wartości stałych - wartość średnia, zaś później jako mierniki wartości przemiennych - wartość skuteczna. Pomiary dokonujemy dla czterech różnych wartości R_{obc} i jednej wartości pojemności C .

Pomiary wartości prądu i napięcia na rezystorze R_{obc} należy wykonać w dwóch przypadkach:

- bez filtra RC (bez dołączonego kondensatora filtrującego),
- z filtrem RC (z dołączonym równolegle kondensatorem C).

Uwaga na biegunowość kondensatora (łączymy plus do plusa oraz minus do minusa)!



Rys. 7

Pomiary wartości prądu i napięcia na rezystorze R_{abc} należy wykonać w dwóch przypadkach:

- bez filtra RC (bez dołączonego kondensatora filtrującego),
- z filtrem RC (z dołączonym równolegle kondensatorem C),

Uwaga na biegunowość kondensatora (łączymy plus do plusa oraz minus do minusa)!
Dla obu przypadków dokonać obserwacji przebiegu wyprostowanego przy pomocy oscyloskopu. Wyniki pomiarów zanotować w tabeli.

R_{abc}					Filtr $R_{abc}C$				
R	I _{sr}	I _{sk}	U _{sr}	U _{sk}	R	I _{sr}	I _{sk}	U _{sr}	U _{sk}
Ω	A	A	V	V	Ω	A	A	V	V

4.3 Opracowanie ćwiczenia

4.3.1 Naszkicuj i omów przebieg krzywych obserwowanych na ekranie oscyloskopu dla prostowników jednopółkowego i dwupółkowego.

4.3.2 Omów wpływ filtrów na przebieg obserwowanych krzywych oraz wyniki pomiarów.

4.3.3 Przedstaw na wykresie wyjściową charakterystykę obciążeniową tj. zależność

$$U_{os} = f(I_{os}).$$

4.3.4 Wnioski.

Literatura

1. Praca zbiorowa: „Elektrotechnika i elektronika dla nieelektryków”
2. Rusek M., Pasierbiński J.: „Elementy i układy elektroniczne w pytaniach i odpowiedziach”
3. Pilawski M. „Pracownia elektryczna”
4. Pilawski M. „Elektronika”