

Ćwiczenia 72

DRGANIA RELAKSACYJNE

Wstęp

W przyrodzie i technice spotykamy się z różnorodnymi procesami periodycznymi: są to między innymi ruchy drgające, falowe. Środowisko, w którym one przebiegają stawia opór. Może to być opór ośrodka, tarcie, a w przypadku drgań elektrycznych opór elektryczny. Rzeczywiste drgania przebiegające w warunkach naturalnych są drganiami gasnącymi. Po pewnym skończonym czasie zanikają. Istnieją drgania, które mimo oporów wewnętrznych i zewnętrznych nie gasną. Jest to możliwe wtedy, jeżeli do układu drgającego następuje stały dopływ energii z zewnątrz. Schematycznie mechanizm takiego układu przedstawiono na rysunku poniżej.



Rys. 1

Jeżeli sprzężenie zwrotne będzie dodatnie, wówczas w układzie powstaną drgania samowzbudne. Aby wytworzyć drgania samowzbudne musi zaistnieć:

1. układ drgający - w którym bezpośrednio powstają drgania mechaniczne, elektryczne lub inne;
2. źródło energii - które powoduje kompensację strat na energię wewnętrzną układu drgającego lub środowisko, w którym drgania zachodzą;
3. zastawka - urządzenie regulujące dopływ energii do układu drgającego w określonym czasie i w określonych porcjach.

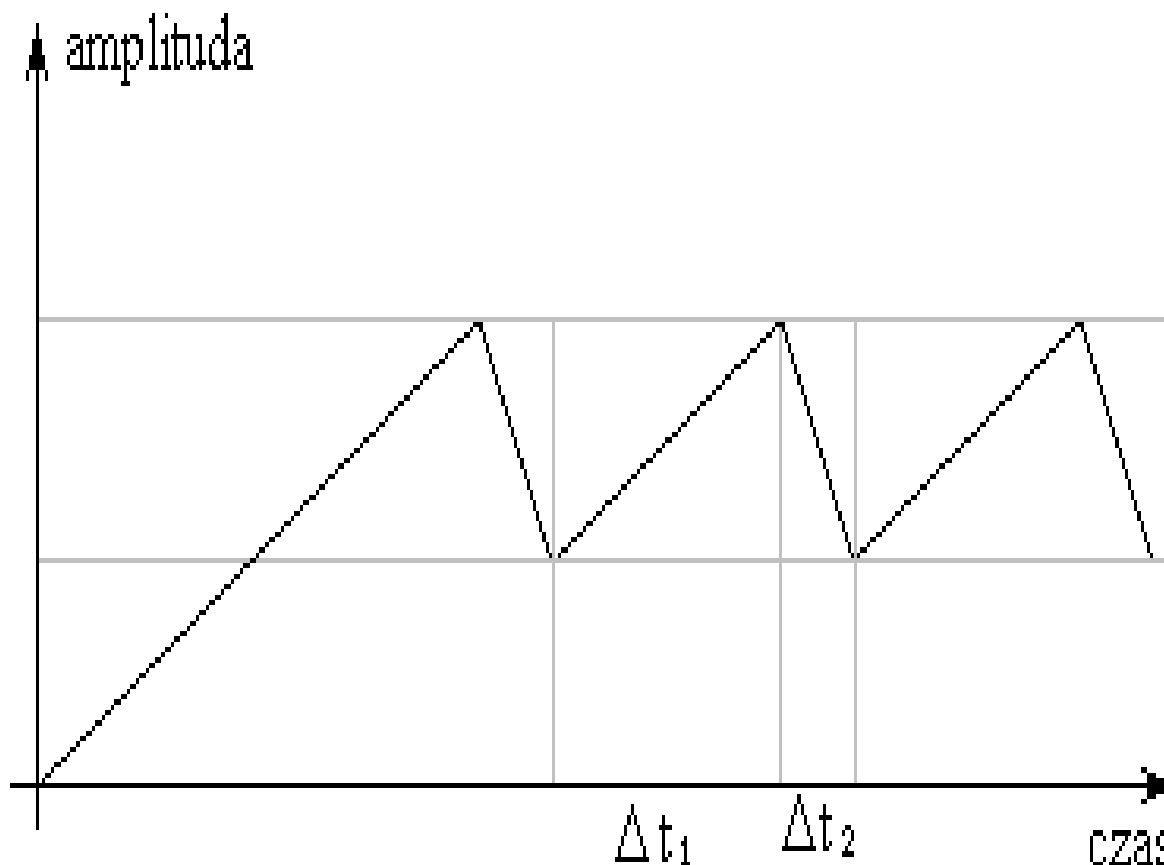
Układ drgający winien oddziaływać na zastawkę poprzez dodatnie sprzężenie zwrotne. Innymi słowy powinien sterować pracą zastawki gwarantującą istnienie drgań niegasnących. W przypadku ujemnego sprzężenia zwrotnego następuje zwiększenie tłumienia i wygasanie drgań układu.

Szczególnym przypadkiem drgań samowzbudzonych są drgania relaksacyjne. Są to drgania niezankające, niesinusoidalne, o stałej amplitudzie i częstości drgań własnych układu. Amplituda drgań relaksacyjnych jest niezależna od oporów ruchu, ośrodka czy w przypadku drgań elektrycznych od oporu elektrycznego obwodu.

Mechanizm drgań relaksacyjnych łatwo objaśnić posługując się pojęciem energii. Aby wzbudzić drgania, niezbędne jest zgromadzenie w układzie odpowiedniej ilości energii potencjalnej pobieranej ze źródła zewnętrznego. Następnie energia potencjalna przekształca się w energię kinetyczną. Energia kinetyczna do układu nie wraca i nie powoduje wzrostu jego energii potencjalnej. Przekształcenie energii potencjalnej w kinetyczną odbywa się z

pewnym opóźnieniem. Czas "oczekiwania" nazywamy czasem relaksacji.

Zastawka uruchamia mechanizm zamiany energii potencjalnej w kinetyczną i w odpowiednim momencie go wygasza. Chwila włączenia i wyłączenia mechanizmu zależy od wartości energii potencjalnej jaką dysponuje układ drgający. Po wstrzymaniu zamiany energii w kinetyczną układ zwiększa swoją energię potencjalną pobierając energię ze źródła zewnętrznego. Cykl się zamknął. Drgania relaksacyjne w postaci piłokształtnej przedstawia wykres na rys. 2.



Rys. 2

Łatwo zauważyć, że czas gromadzenia energii przez układ jest znacznie dłuższy niż czas w którym energia jest tracona $\Delta t_1 \gg \Delta t_2$.

Oto przykłady układów wytwarzających drgania relaksacyjne w przyrodzie i technice:

4. drgania struny pod wpływem smyka,
5. skrzypienie nienaoliwionych drzwi,
6. ruchy tłoka w cylindrach silników spalinowych i maszyn parowych,
7. drgania strun głosowych podczas mówienia i śpiewania,
8. pobudzanie nerwów i działanie mięśni,
9. obraz pracy serca (otrzymujemy przy pomocy trzech sprzężonych drgań relaksacyjnych).

NEONÓWKA

Neonówka często składa się ze szklanej bańki oraz dwu elektrod: katody wykonanej w postaci cylindra lub płaskiej płytki kołowej oraz anody w kształcie pręcika lub pierścienia. Wnętrze neonówki wypełnia się neonem (lub innym gazem szlachetnym) pod ciśnieniem kilku do kilkunastu mm Hg. Powierzchnię elektrod aktywizuje się metalami alkalicznymi, aby zmniejszyć pracę wyjścia elektronów.

W rozrzedzonym gazie znajduje się zawsze niewielka ilość jonów i swobodnych elektronów powstających w wyniku jonizacji przez promienie kosmiczne i inne czynniki zewnętrzne. Mała liczba nośników ładunku elektrycznego daje bardzo słabe przewodnictwo i gaz zawarty między elektrodami zachowuje się jak izolator. Neonówka włączona do obwodu elektrycznego nie będzie przewodzić prądu.

Ze wzrostem różnicy potencjałów U rośnie energia rozprędzonych jonów i elektronów.

$$eU = \frac{mV^2}{2},$$

gdzie: e - ładunek elektronu

m - masa elektronu

V - prędkość.

W pewnym momencie osiąga wartość odpowiadającą energii jonizacji.

$$E_j = eU_z = \frac{mV_z^2}{2},$$

gdzie U_z - napięcie zapłonu.

W gazie wytwarza się duża liczba nośników, w wyniku zderzeń rozprędzonych w polu elektrycznym jonów z obojętnymi atomami gazu. Nowo powstające jony rozprędzają się i poprzez zderzenia powodują dalszą jonizację gazu. Dodatkowo liczba elektronów zwiększa się w wyniku bombardowania katody przez jony dodatnie. Rozpoczyna się jonizacja lawinowa. Podczas zderzeń dochodzi do wzbudzeń atomów charakterystycznych dla danego gazu. W pobliżu katody pojawia się czerwona poświata. Zjonizowany gaz stał się dobrym przewodnikiem elektryczności a włączona do obwodu neonówka zaczęła przewodzić prąd elektryczny.

Jonizacja lawinowa pojawiła się w momencie gdy do elektrod neonówki przyłożono napięcie zapłonu U_z . Odpowiada to również momentowi zajarzenia się gazu - stąd określenie - napięcie zapłonu. Obniżając napięcie do pewnej wartości granicznej U_g neonówka gaśnie i ponownie staje się złym przewodnikiem elektryczności.

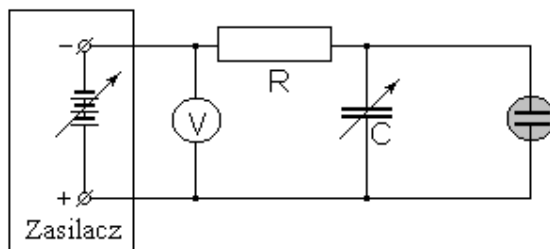
Zawsze spełniony jest warunek;

$$U_g < U_z.$$

W momencie zajarzenia się lampy, między elektrodami wytworzył się ładunek przestrzenny, który częściowo kompensował napięcie. W miarę obniżania napięcia wielkość ładunku przestrzennego się zmniejsza. Stąd U_g jest mniejsze od U_z .

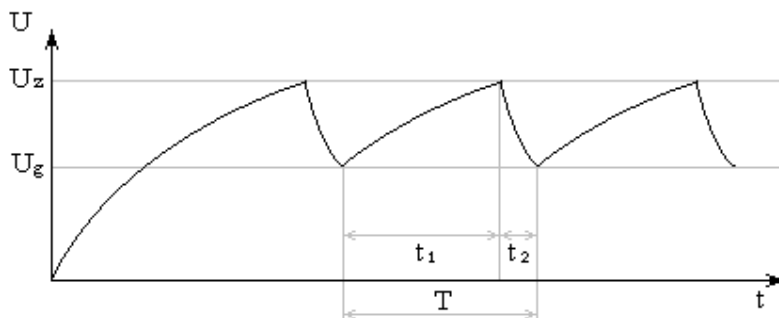
Generator elektrycznych drgań relaksacyjnych.

Schemat generatora elektrycznych drgań relaksacyjnych przedstawiono na rysunku 3.



Rys. 3

W chwili włączenia układu do źródła zasilania kondensator C ładuje się przez duży opór R. Po osiągnięciu napięcia zapłonu U_z na okładkach kondensatora, neonówka zajarza się i kondensator szybko rozładowuje się przez jej mały opór wewnętrzny. Napięcie spada do wartości gaśnięcia U_g , neonówka ponownie przestaje przewodzić prąd. Cykl się powtarza. Przebieg drgań napięcia w zależności od czasu pokazano na wykresie poniżej.



Rys. 4.

Na okres T drgań składa się dość długi czas ładowania kondensatora t_1 i krótki czas rozładowania t_2 , zatem

$$T = t_1 + t_2.$$

Przy czym

$$t_1 > t_2.$$

Aby otrzymać wartość czasu ładowania kondensatora t_1 weźmy pod uwagę równanie Kirchhoffa.

$$U = IR + U_c, \quad [1]$$

gdzie: I jest natężeniem prądu ładowania a U_c - napięciem na okładkach kondensatora.

$$U_c = \frac{Q}{C}, \quad [2]$$

gdzie: Q - ładunek zgromadzony na okładkach kondensatora,

$$I = \frac{dQ}{dt} \quad [3]$$

Ostatni wzór możemy wyrazić przez U_c , gdzie $C = \text{const.}$, więc

$$Q = C U_c ,$$

$$I = C \frac{dU_c}{dt} \quad [4]$$

Zatem [1] da się zapisać w postaci:

$$U = RC \frac{dU_c}{dt} + U_c$$

Równanie można rozwiązać przez rozdzielenie zmiennych

$$U - U_c = RC \frac{dU_c}{dt} ,$$

$$\frac{dU_c}{U - U_c} = \frac{1}{RC} dt$$

$$\text{a stąd} \quad [5]$$

Napięcie U_c na okładkach kondensatora zmienia się w przedziale $\langle U_g; U_z \rangle$, odpowiada to czasowi t_1 ładowania kondensatora.

Zatem całkując [5] dostaniemy wyrażenie

$$\ln \frac{U - U_g}{U - U_z} = \frac{1}{RC} t_1$$

Po prostym przekształceniu otrzymujemy czas ładowania

$$t_1 = RC \ln \frac{U - U_g}{U - U_z} \quad [6]$$

Podobnie obliczamy czas rozładowania kondensatora t_2 .

Równanie Kirchhoffa dla tego przypadku ma postać

$$U_c = IR_w ,$$

gdzie: R_w - opór wewnętrzny neonówki.

Korzystając z zależności 4, zapiszemy:

$$U_c = R_w C \frac{dU_c}{dt} .$$

$$\frac{dU_c}{U_c} = \frac{1}{R_w C} dt$$

Po rozdzieleniu zmiennych

Wykonując całkowanie w granicach $\langle U_z ; U_g \rangle$ dostaniemy

$$\ln \frac{U_z}{U_g} = \frac{1}{R_w C} t_2 ,$$

$$t_2 = R_w C \ln \frac{U_z}{U_g} .$$

$$\text{stąd} \quad [7]$$

Ponieważ $R_w \ll R$, to $t_2 \ll t_1$ i z dobrym przybliżeniem możemy przyjąć, że

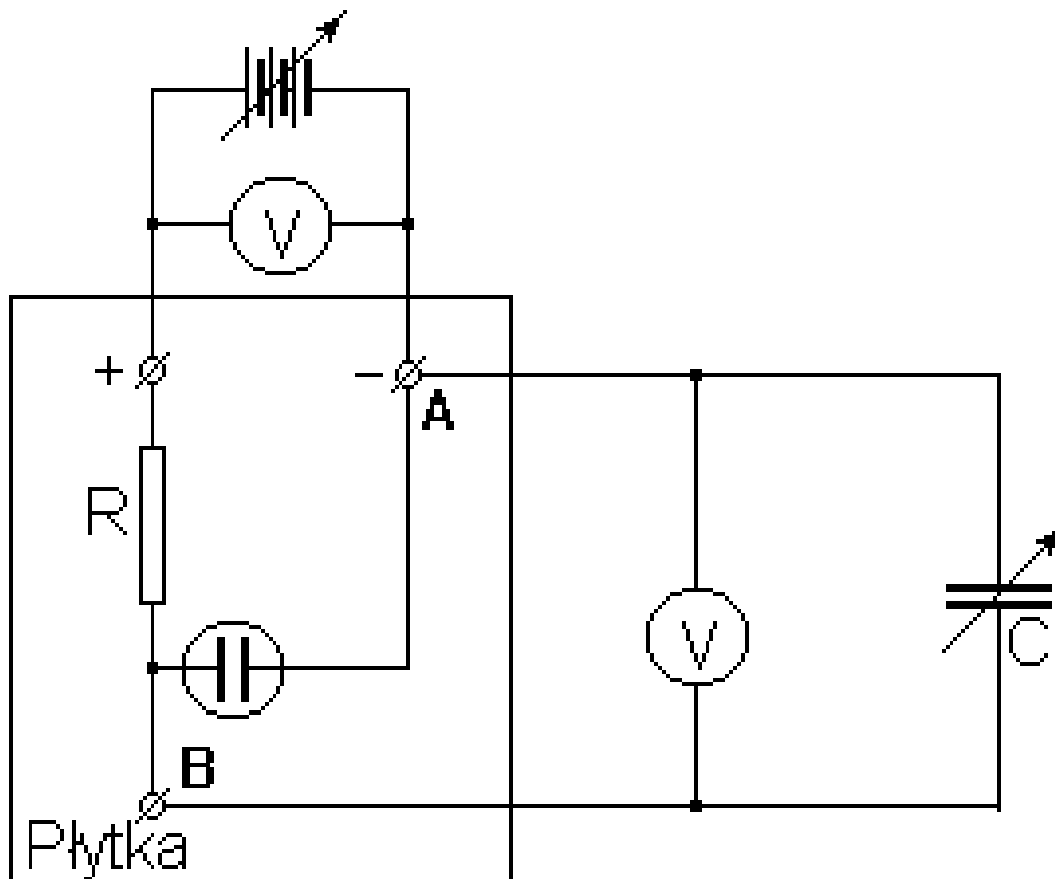
$$T \sim t_1.$$

Zatem

$$T \cong RC \ln \frac{U - U_g}{U - U_z} \quad [8]$$

10. Badanie zależności okresu drgań relaksacyjnych od pojemności

11. Zbudować obwód według schematu:



Rys. 5

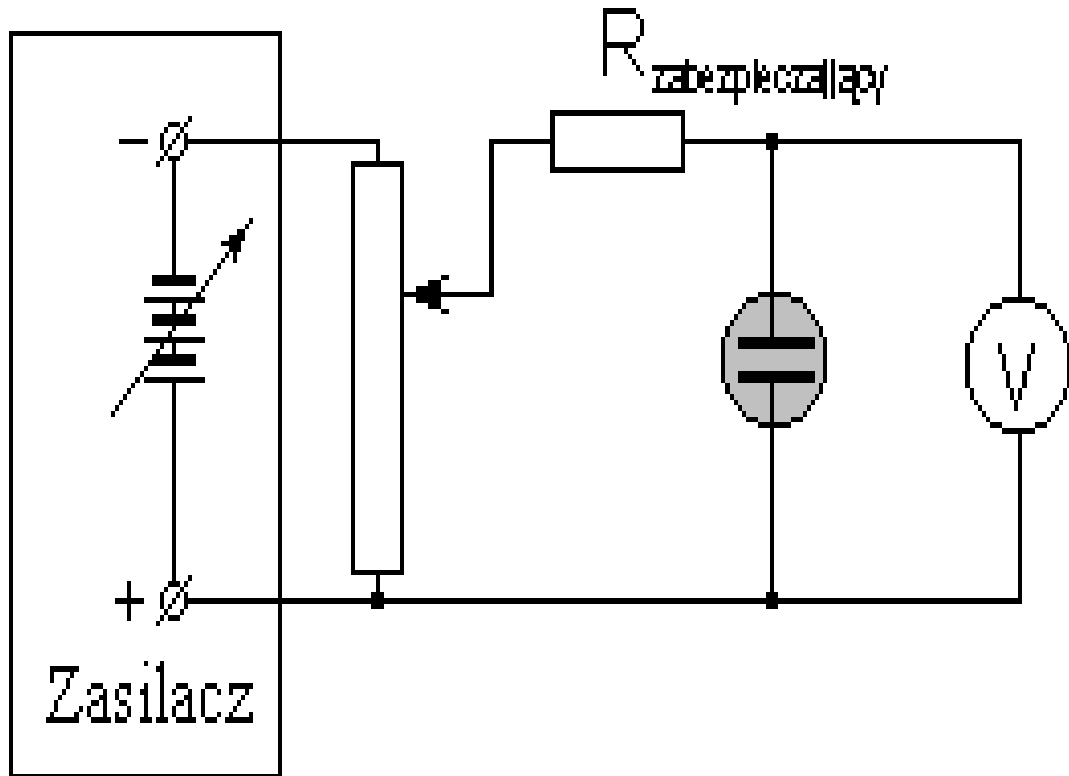
UWAGA! Przed włączeniem do sieci połączenia obwodu muszą być sprawdzone przez prowadzącego zajęcia

12. Wyznaczyć czas 30 błysków neonówki dla zadanych wartości pojemności przez prowadzącego zajęcia.
13. Zmierzyć napięcie U , U_z i U_g dla największej pojemności.
14. Obliczyć okres ($T = t / n$).
15. Obliczyć okres korzystając ze wzoru [8].
16. Zmierzyć czas 30 błysków neonówki dla kondensatora o nieznannej pojemności.

17. Powtórzyć pomiary z punktów 2 -5 trzykrotnie. Znaleźć średnie.
18. Sporządzić wykres zależności $T = f(RC)$ na podstawie pomiarów.
19. Wyznaczyć mierzoną pojemność.
20. Przeprowadzić rachunek błędów i dyskusję wyników.

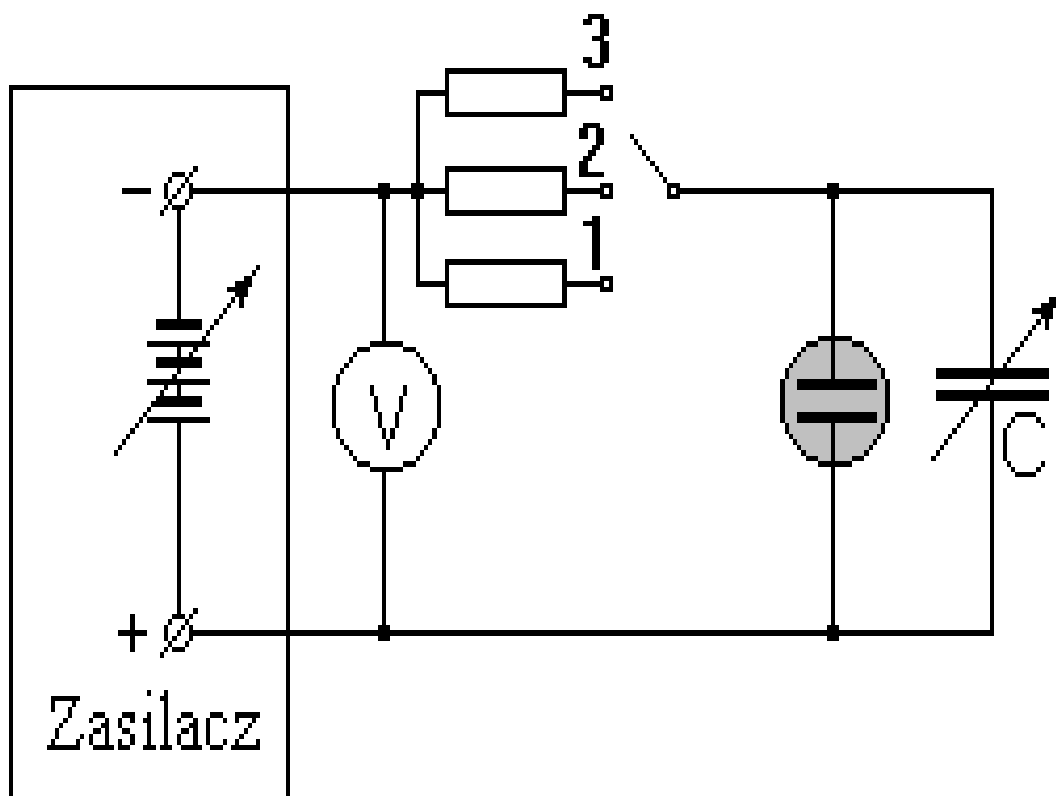
B. Badanie zależności drgań relaksacyjnych od różnicy między napięciem zasilania i napięciem zapłonu.

21. Zmontować obwód jak na rysunku poniżej.



UWAGA! Włączenie obwodu do sieci może nastąpić za zgodą prowadzącego zajęcia.

22. Ustawić lupę na ostre widzenie katody neonówki.
23. Pokręćłem potencjometru zmieniać napięcia na elektrodach neonówki począwszy od 0 do momentu zaświecenia neonówki, zanotować wskazania woltomierza (U_z).
24. Zmniejszając napięcie na elektrodach neonówki zmierzyć jego wartość w momencie gaśnięcia neonówki, zanotować wskazania woltomierza (U_g).
25. Czynności z punktów 3 i 4 powtórzyć pięciokrotnie.
26. Obliczyć wartości średnie U_z i U_g .
27. Zmontować obwód jak na rysunku.



1 - opór $1,6 \text{ M}\Omega$

2 - opór $3,2 \text{ M}\Omega$

3 - opór $4 \text{ M}\Omega$

28. Przy ustalonej stałej czasowej (RC) zmierzyć czas (t) 30 błysków neonówki dla $U - U_z = 5\text{V}, 10\text{V}, 15\text{V}, \dots$
29. Powtórzyć pomiary z punktu 8 w odwrotnej kolejności.
30. Obliczyć okresy (T) dla każdego pomiaru oddzielnie, wyznaczyć odpowiednią średnią.
31. Porównać wyniki z punktu 10 z obliczonymi ze wzoru 8.
32. Powtórzyć pomiary i obliczenia z punktów 8-10 dla innej stałej czasowej.
33. Sporządzić wykres $t = f\left(\frac{U - U_g}{U - U_z}\right)$ oraz $T = f\left(\frac{U - U_g}{U - U_z}\right)$.
34. Przeprowadzić rachunek błędów i dyskusję wyników.

Literatura

1. A. Kubica, E. Wnuczek - Fizyka cz. 1,
2. H. Szydłowski - Pracownia fizyczna,
3. T. Dryński - Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki,
4. A. Zawadzki, H. Hofmoki - Laboratorium fizyczne,
5. T. Rewaj - Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki na politechnice,
6. J. Skierczyński - Ćwiczenia eksperymentalne z fizyki.