

Ćwiczenie 6

1. Podaj definicję wartości średniej sygnału przemiennego i zbiór wartości tej funkcji.

Można uznać, że wartość średnia sygnału przemiennego jest sumarycznym „polem powierzchni” pod obwiednią sygnału. Wartość średnią opisujemy wzorem:

$$U_0 = \frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} u(t) dt$$

T – okres sygnału

Należy zwrócić uwagę, że wartość średnia U_0 może być ujemna!

2. Podaj definicję wartości średniej wyprostowanej sygnału przemiennego.

Wartość średnia sygnału wyprostowanego jest „polem powierzchni” pod obwiednią modułu sygnału. Wartość średnią sygnału wyprostowanego opisujemy wzorem:

$$U_{0w} = \frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} |u(t)| dt$$

3. Podaj definicję wartości skutecznej sygnału przemiennego.

Wartością skuteczną nazywamy ekwiwalentną wartość napięcia stałego, które po przyłożeniu do pewnej rezystancji R , wydzielili tyle samo energii, ile wydzielili się przy przyłożeniu napięcia przemiennego $u(t)$ przez ten sam czas. Wartość skuteczną sygnału przemiennego opisujemy wzorem:

$$U = \sqrt{\frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} [u(t)]^2 dt}$$

4. Podaj definicję współczynnika amplitudy oraz jego wartość dla sygnału sinusoidalnego.

Współczynnik amplitudy jest stosunkiem wartości maksymalnej przebiegu do wartości skutecznej tego przebiegu. Współczynnik amplitudy określamy zależnością:

$$k_a = \frac{U_m}{U}$$

Dla sygnału sinusoidalnego, wartość $k_a = \sqrt{2}$

5. Podaj definicję współczynnika kształtu oraz jego wartość dla sygnału sinusoidalnego.

Współczynnik kształtu jest stosunkiem wartości skutecznej przebiegu do wartości średniej wyprostowanej tego samego przebiegu. Współczynnik kształtu określamy zależnością:

$$k_k = \frac{U}{U_{0w}}$$

Dla sygnału sinusoidalnego, wartość $k_k = \frac{\pi}{2\sqrt{2}}$

6. Podaj definicję współczynnika uśrednienia.

Współczynnik uśrednienia jest stosunkiem wartości szczytowej przebiegu do wartości średniej wyprostowanej tego samego przebiegu. Współczynnik uśrednienia określamy zależnością:

$$k_u = \frac{U_m}{U_{0w}}$$

Powyższą zależność można rozpisać następująco:

$$k_u = \frac{k_a * U}{\frac{U}{k_k}} = k_a * U * \frac{k_k}{U} = k_a * k_k$$

Dla sygnału sinusoidalnego, wartość $k_u = \sqrt{2} * \frac{\pi}{2\sqrt{2}} = \frac{\pi}{2}$

7. Podaj zależność na wartość skuteczną sygnału składającego się z trzech harmonicznymi i nie posiadającego składowej stałej.

$$U = \sqrt{\frac{1}{2} \sum_{n=1}^3 [U_{m_n}]^2} = \sqrt{\frac{1}{2} [U_{m_1}^2 + U_{m_2}^2 + U_{m_3}^2]}$$

8. W jakim celu wykorzystuje się współczynniki kształtu, amplitudy i uśrednienia?
Współczynniki te mają duże znaczenie w procesie skalowania przyrządów do pomiaru parametrów sygnałów zmiennych.

9. Co oznacza określenie TRUE RMS w specyfikacji technicznej woltomierza napięcia przemiennego?

Tanie woltomierze nieposiadające funkcji TRUE RMS mierzą zazwyczaj wartość średnią sygnału i mnożą go przez 1,11. W ten sposób wskazują poprawną wartość napięcia skutecznego wyłącznie dla przebiegów sinusoidalnych.

TRUE RMS (Root Mean Square) w mierniku sprawia, że mierzymy skuteczną wartość bez względu na kształt badanego sygnału.

10. Jakie są funkcje poszczególnych bloków woltomierza napięcia zmiennego?

W konstrukcji woltomierza napięcia zmiennego wyróżniamy trzy podstawowe bloki funkcjonalne:

- Układ wejściowy
- Przetwornik
- Wskaźnik

Układ wejściowy służy zapewnieniu odpowiednio dużej impedancji wejściowej woltomierza (aby zminimalizować błąd metody) oraz umożliwia zmianę zakresu pomiarowego.

Przetwornik zamienia wejściowe napięcie zmienne na sygnał o niezerowej wartości średniej, proporcjonalnej do wartości średniej wyprostowanej, skutecznej lub szczytowej napięcia wejściowego, zależnie od konstrukcji przetwornika.

Wskaźnik jest odpowiedzialny za pomiar napięcia lub prądu wyjściowego oraz wizualizację wyniku. Jest to zwykle miliamperomierz lub woltomierz napięcia stałego (reagujące na wartość średnią sygnału)

11. Jaka jest wartość średnia sygnału opisanego równaniem: $u(t) = -2 - 4\sin(200\pi t)$?

Jeżeli badany sygnał składa się ze składowej stałej i składowej zmiennej (którą modelujemy idealnym sinusem), to wartość średnia takiego sygnału jest wartością składowej stałej. Zatem, wartość średnia $U_0 = -2 V$

12. Jaka jest wartość skuteczna sygnału opisanego równaniem: $u(t) = -2 + \sin(10\pi t)$?

Wartość skuteczną sygnału ze składową stałą określamy ze wzoru:

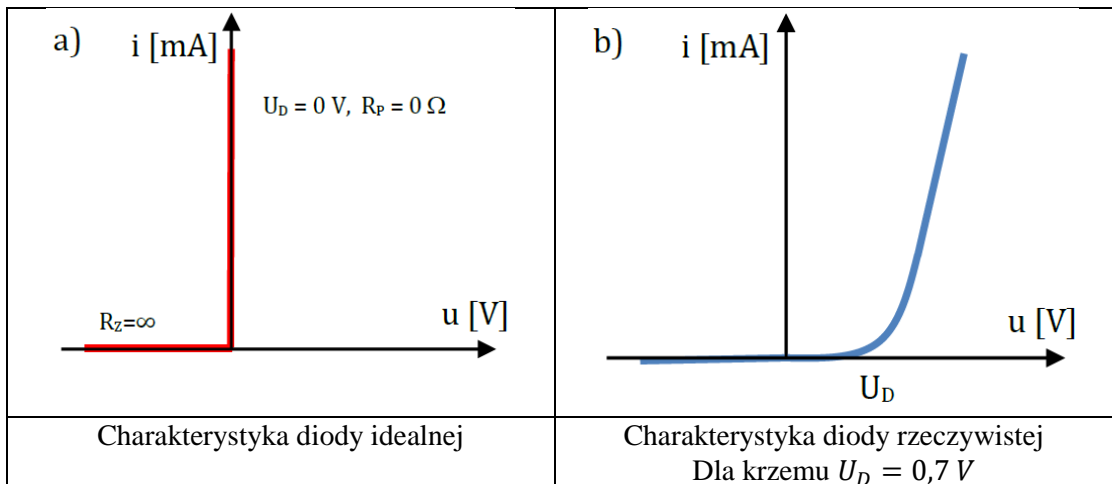
$$U = \sqrt{U_0^2 + \frac{1}{2} \sum_{n=1}^N U_n^2}$$

Dla powyższego przykładu:

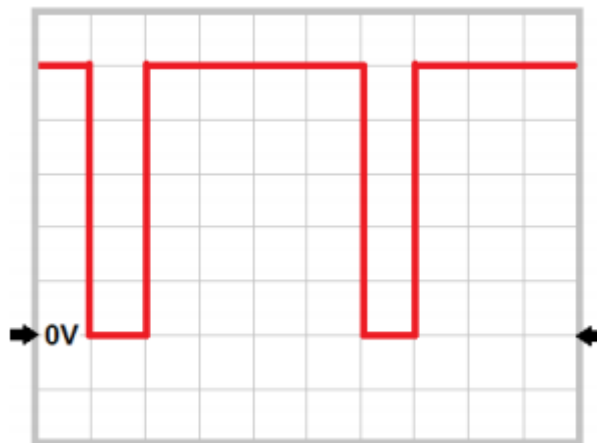
$$U = \sqrt{U_0^2 + \frac{1}{2} U_1^2}$$

$$U = \sqrt{(-2 V)^2 + \frac{1}{2} (1 V)^2} = \sqrt{\left(4 + \frac{1}{2}\right) V^2} = \sqrt{\frac{9}{2}} V = \frac{3\sqrt{2}}{2} V$$

13. Narysuj charakterystykę prądowo-napięciową idealnej oraz rzeczywistej diody krzemowej. Zaznacz charakterystyczne punkty na charakterystyce.

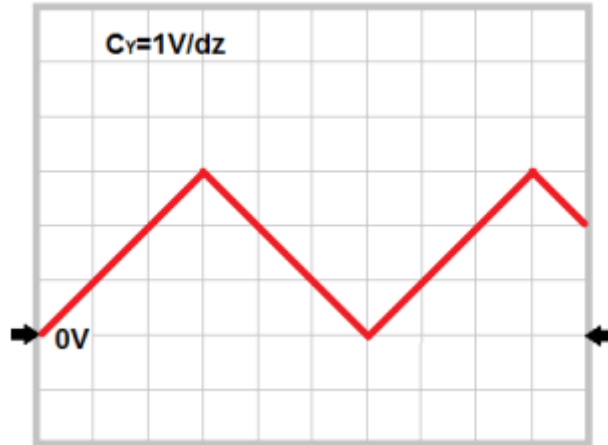


14. Przy ustawionym współczynniku odchylenia toru Y oscyloskopu równym 1 V/dz na ekranie obserwowany jest sygnał jak na rysunku. Wyznacz wartość średnią sygnału.



$$\begin{aligned}
 T (\text{okres}) &= L_x * C_x \\
 T &= 5 \text{ dz} * C_x \\
 U_{pp} &= L_y * C_y \\
 U_{pp} &= 5 \text{ dz} * 1 \frac{\text{V}}{\text{dz}} = 5 \text{ V} \\
 U_0 &= \frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} u(t) dt \\
 U_0 &= \frac{1}{5 \text{ dz} * C_x} \int_0^{4 \text{ dz} * C_x} U_{pp} dt + \frac{1}{5 \text{ dz} * C_x} \int_{4 \text{ dz} * C_x}^{5 \text{ dz} * C_x} 0 dt = \frac{1}{5 \text{ dz} * C_x} \int_0^{4 \text{ dz} * C_x} U_{pp} dt \\
 &= \frac{1}{5 \text{ dz} * C_x} * 4 \text{ dz} * C_x * U_{pp} = \frac{4 * U_{pp}}{5} = \frac{4 * 5 \text{ V}}{5} = 4 \text{ V}
 \end{aligned}$$

15. Jaką wartość wskaże woltomierz napięcia stałego, jeśli do jego wejścia doprowadzono sygnał, którego oscylogram pokazano na rysunku?



Woltomierz napięcia stałego wskazuje wartość średnią sygnału.

$$T (\text{okres}) = L_x * C_x$$

$$T = 6 \text{ dz} * C_x$$

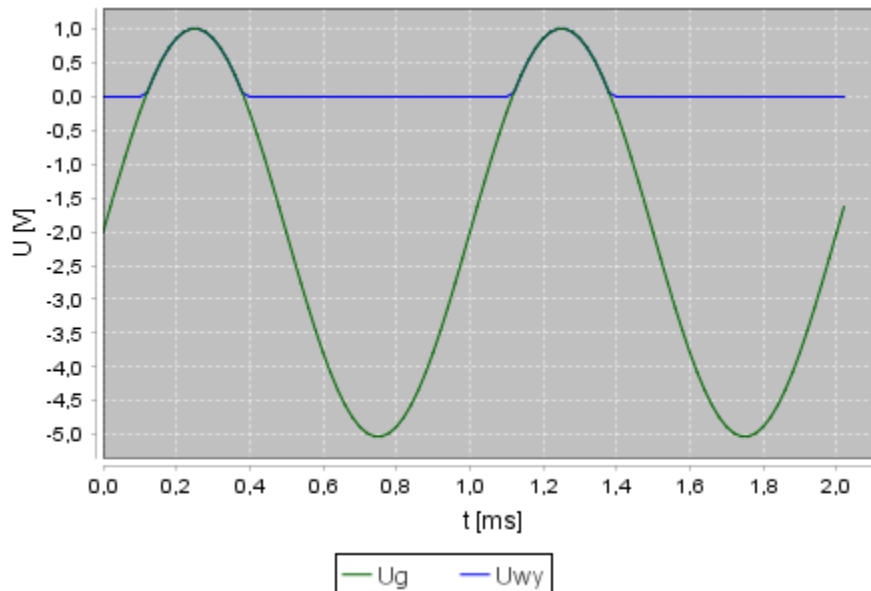
$$U_{pp} = L_y * C_y$$

$$U_{pp} = 3 \text{ dz} * 1 \frac{V}{\text{dz}} = 3 \text{ V}$$

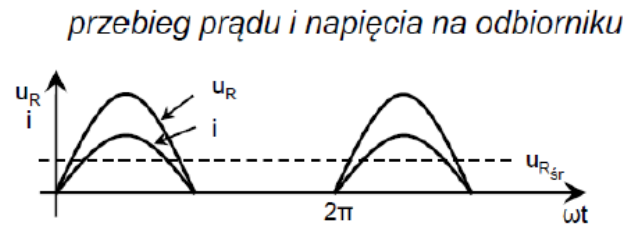
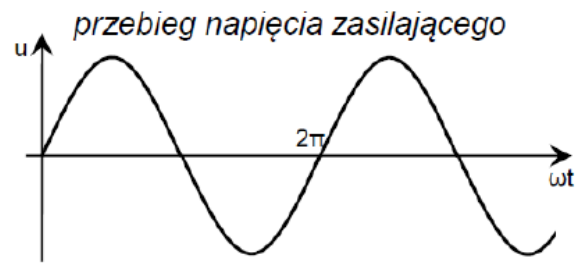
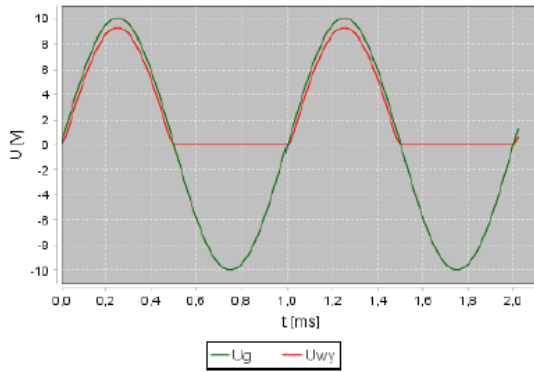
$$U_0 = \frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} u(t) dt$$

$$U_0 = \frac{1}{6 \text{ dz} * C_x} \int_0^{6 \text{ dz} * C_x} U_{pp} dt = \frac{1}{6 \text{ dz} * C_x} * \frac{1}{2} * 6 \text{ dz} * C_x * 3 \text{ V} = \frac{1}{2} * 3 \text{ V} = 1,5 \text{ V}$$

16. Narysuj przebieg napięcia na wejściu i wyjściu jednopółkowego przetwornika diodowego zakładając, że dioda ma charakterystykę idealną, a sygnał wejściowy określony jest zależnością $u(t) = -2 + 3\sin(\omega t)$.

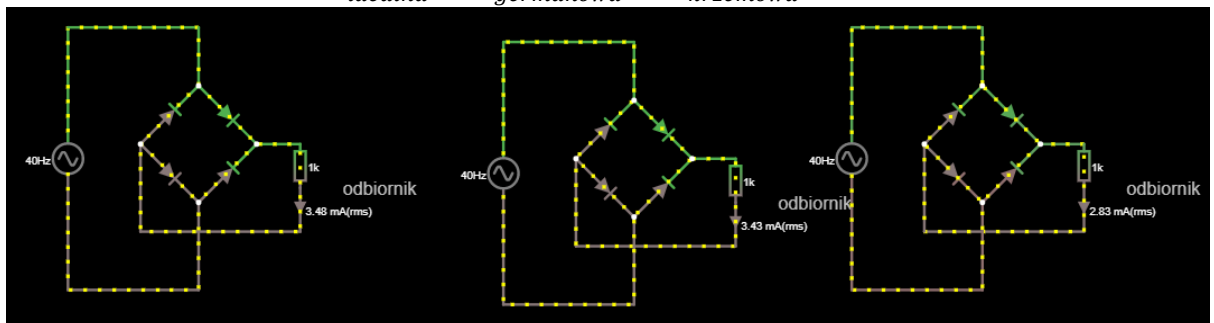


17. Zilustruj działanie układu jednopółkowego przetwornika wartości średniej wyprostowanej poprzez naszkicowanie przebiegów czasowych prądu i napięcia w obwodzie. Przyjmij napięcie przewodzenia diody $U_D = 0 \text{ V}$, oraz rezystancję diody w kierunku przewodzenia $R_p > 0 \Omega$.



18. Do wyjścia prostownika dwupołówkowego dołączono miliamperomierz prądu stałego o niewielkiej rezystancji R_a . Do wejścia prostownika doprowadzono sygnał sinusoidalny o zerowej składowej stałej i amplitudzie $U_D = 5,000 \text{ V}$. Jaka będzie zależność między wskazaniami amperomierza, gdy zostaną zastosowane w prostowniku diody: a) idealna, b) rzeczywista krzemowa, c) rzeczywista germanowa? Załóż, że w przypadku diod rzeczywistych ich rezystancja w kierunku przewodzenia R_p jest identyczna.

$$I_{D_{idealna}} > I_{D_{germanowa}} > I_{D_{krzemowa}}$$



Dla diody idealnej, napięcie przewodzenia wynosi 0 V . Zatem spadek napięcia na niej wyniesie również 0 V . Na wyjściu układu będziemy mieli napięcie $5,000 \text{ V} - 2 * 0 \text{ V} = 5,000 \text{ V}$.

Dla diody germanowej, napięcie przewodzenia wynosi $0,4 \text{ V}$. Zatem spadek napięcia na niej wyniesie również $0,4 \text{ V}$. Na wyjściu układu będziemy mieli napięcie $5,000 \text{ V} - 2 * 0,4 \text{ V} = 4,200 \text{ V}$.

Dla diody krzemowej, napięcie przewodzenia wynosi $0,7 \text{ V}$. Zatem spadek napięcia na niej wyniesie również $0,7 \text{ V}$. Na wyjściu układu będziemy mieli napięcie $5,000 \text{ V} - 2 * 0,7 \text{ V} = 3,600 \text{ V}$.

Zgodnie z zależnością

$$I = \frac{U}{R}$$

Wraz ze wzrostem napięcia przy tej samej rezystancji, rośnie prąd.

19. Jakie będzie wskazanie miliamperomierza prądu stałego dołączonego do wyjścia prostownika jednapołówkowego w przypadku, gdy do wejścia prostownika

doprowadzono sygnał sinusoidalny o zerowej składowej stałej i amplitudzie 10,000 V? Załóż, że wartość rezystancji miliamperomierza jest pomijalnie mała, dioda jest idealna, a rezystor dekadowy o wartości 200,0 Ω jest połączony szeregowo z diodą.

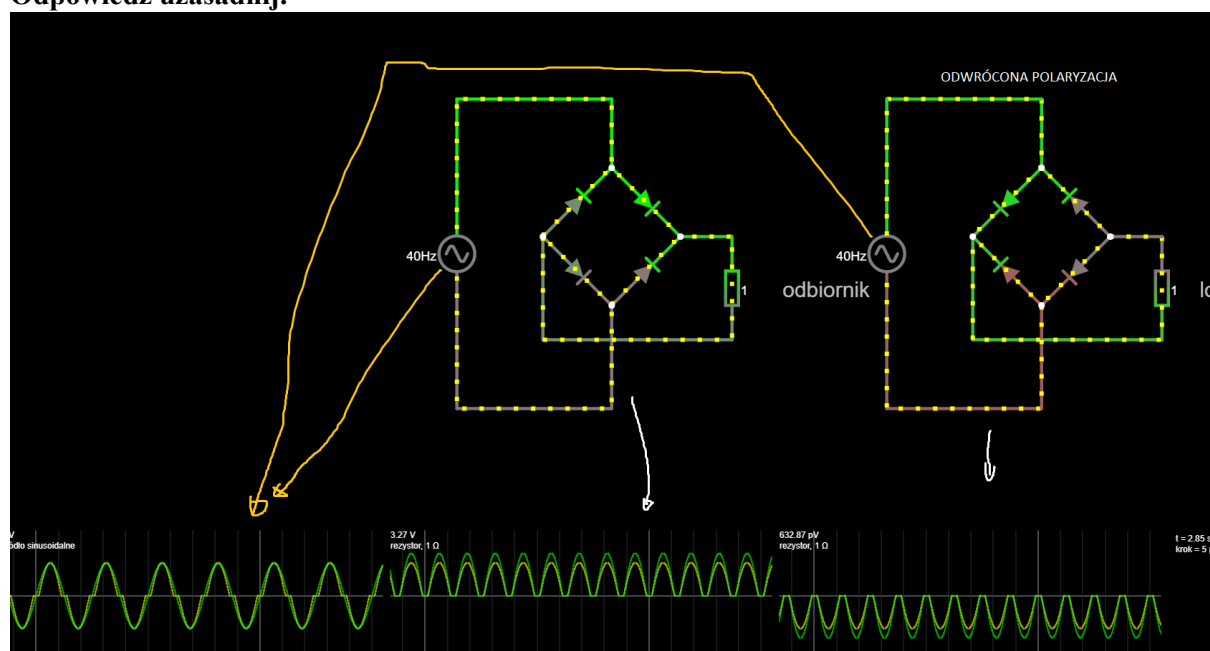
$$I = \frac{U}{R}$$

Miliamperomierz wskaże wartość średnią prądu wyjściowego dwukrotnie mniejszą niż w przypadku przetwornika dwupołówkowego. Zatem:

$$I_0 = \frac{1}{\pi} * \frac{U_m}{R_d}$$

$$I_0 = \frac{1}{\pi} * \frac{10,000 \text{ V}}{200,0 \Omega} \approx 15,9 \text{ mA}$$

20. Czy zmiana polaryzacji diod w układach przetwornika: a) jednopółkowego, b) dwupołówkowego, będzie miała wpływ na kształt sygnału na wyjściu danego przetwornika w przypadku sygnału sinusoidalnego o zerowej składowej stałej? Odpowiedź uzasadnij.



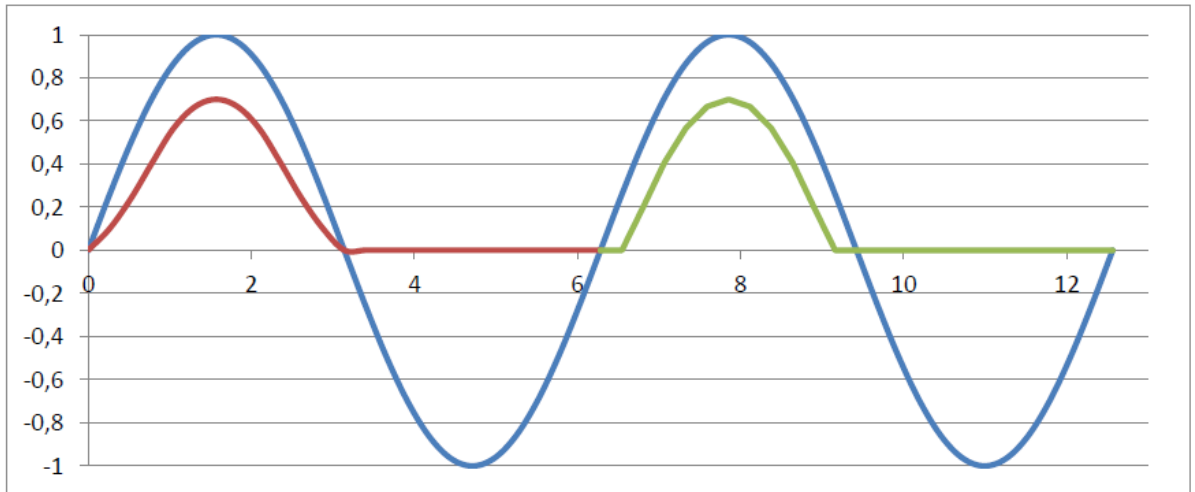
Tak, zamiana polaryzacji diod w układach przetwornika jedno i dwupołówkowego będzie miała wpływ na przebieg sygnału na wyjściu.

W przypadku przetwornika jednopółkowego – na wyjściu będziemy mieli – w zależności od polaryzacji – dodatnie lub ujemne połówki sygnału sinusoidalnego.

W przypadku przetwornika dwupołówkowego – na wyjściu będziemy mieli ujemny lub dodatni sygnał wyprostowany.

21. Narysuj przebiegi czasowe prądu na wyjściu prostownika jednopółkowego diodowego dla parametrów diody: a) $U_D = 0 \text{ V}$, $R_P > 0 \Omega$, b) $U_D > 0 \text{ V}$, $R_P > 0 \Omega$, gdy do jego wejścia doprowadzono sygnał sinusoidalny o amplitudzie U_M większej od napięcia przewodzenia diody. W obu przypadkach przyjmij identyczne R_P . Jaka jest podstawowa różnica w kształcie przebiegów wyjściowych względem wejściowego sygnału sinusoidalnego oraz przebiegów wyjściowych względem siebie? U_D jest napięciem przewodzenia diody, a R_P – rezystancją diody w kierunku przewodzenia.

Dioda a) przewodzi od 0 V, zaś dioda b) przewodzi od pewnej wartości progowej. W związku z tym, że $R_P > 0 \Omega$, amplituda spadku napięcia na diodzie jest niższa niż amplituda wejściowa.



22. Wyprowadź wzór na wartość średnią prądu wyjściowego przetwornika jednopółkowego o charakterystyce prądowo-napięciowej opisanej zależnością:

$$i(t) = \begin{cases} \frac{u(t)}{R_d} & \text{dla } u(t) \geq 0 \\ 0 & \text{dla } u(t) < 0 \end{cases}$$

$$I_0 = \frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} \frac{|u(t)|}{R_d} dt = \frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+\frac{T}{2}} \frac{|u(t)|}{R_d} dt + \frac{1}{T} \int_{t_0+\frac{T}{2}}^{t_0+T} 0 dt = \frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+\frac{T}{2}} \frac{|U_m \sin(\omega t)|}{R_d} dt$$

$$T = 2\pi$$

$$t_0 = 0$$

Więc

$$I_0 = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\pi} \frac{|U_m \sin(\omega t)|}{R_d} dt$$

U_m i R_d to stałe

$$\begin{aligned} I_0 &= \frac{1}{2\pi} \int_0^{\pi} \frac{|U_m \sin(\omega t)|}{R_d} dt = \frac{1}{2\pi} * \frac{U_m}{R_d} \int_0^{\pi} |\sin(\omega t)| dt = \frac{U_m}{2\pi * R_d} * \{-\cos(\omega t)\} \Big|_0^{\pi} \\ &= \frac{U_m}{2\pi * R_d} * (-(-1) - (-1)) = \frac{2 * U_m}{2\pi * R_d} = \frac{1}{\pi} * \frac{U_m}{R_d} \end{aligned}$$

23. Co to znaczy, że woltomierz napięcia zmiennego, zbudowany w oparciu o projekt z ćwiczenia, jest wywzorcowany w wartościach skutecznych napięcia sinusoidalnego? Jak można to doświadczalnie sprawdzić?

Woltomierz jest wzorcowany w wartościach skutecznych sygnału napięcia sinusoidalnego, ponieważ:

- Badanym sygnałem wejściowym był sygnał sinusoidalny.
- Napięcie wejściowe w układzie woltomierza badano za pomocą woltomierza wartości skutecznej TRUE RMS.