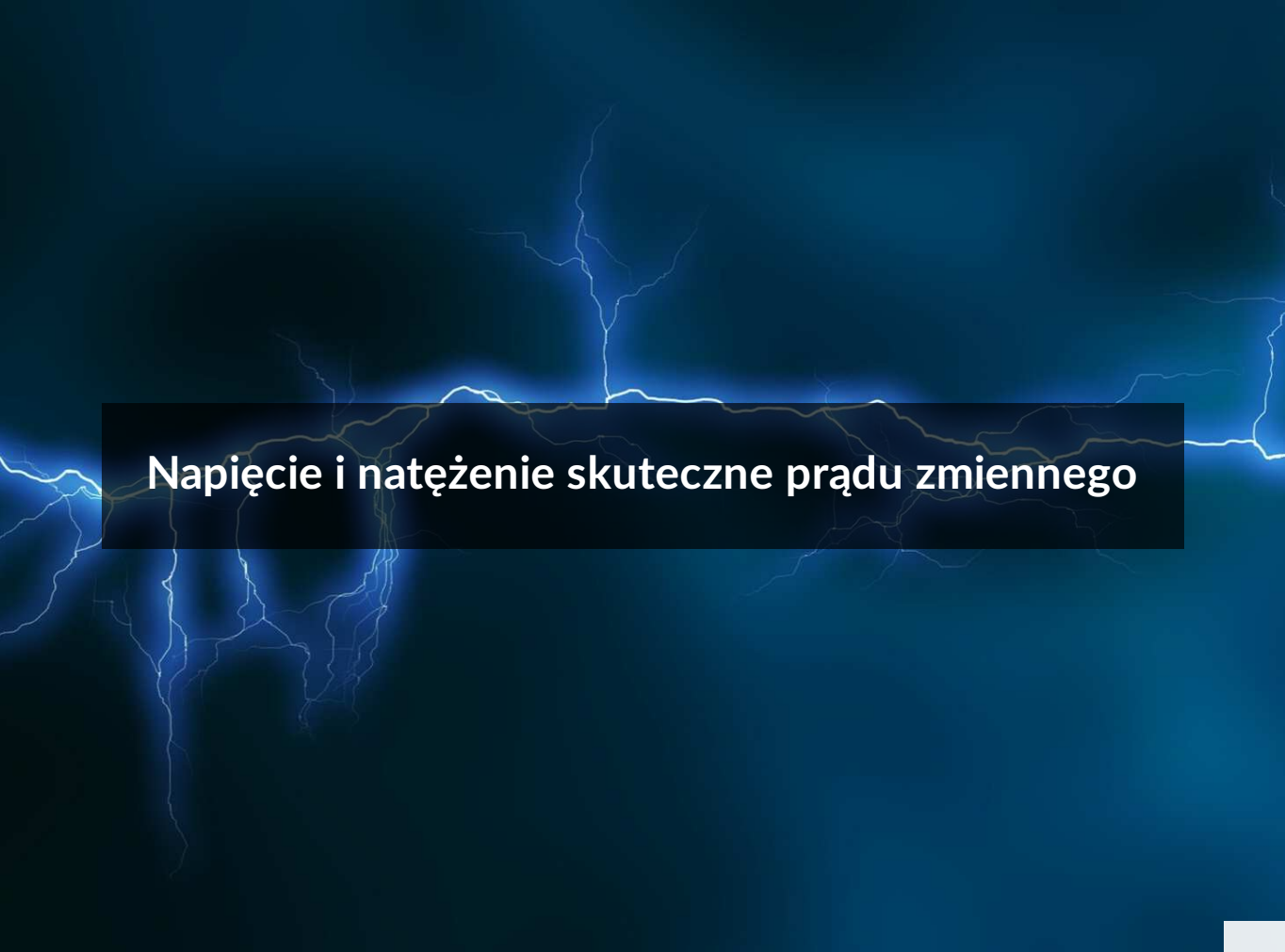




Napięcie i natężenie skuteczne prądu zmiennego

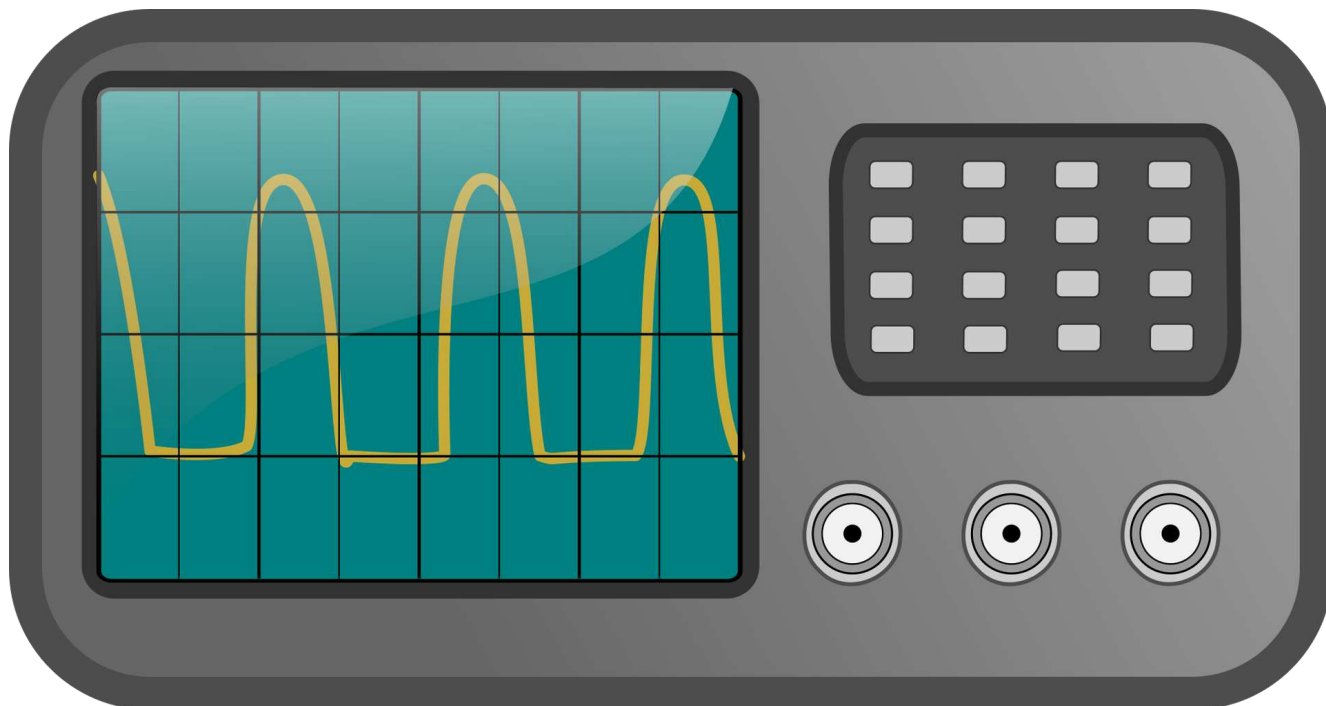
- [Wprowadzenie](#)
- [Przeczytaj](#)
- [Film samouczek](#)
- [Sprawdź się](#)
- [Dla nauczyciela](#)



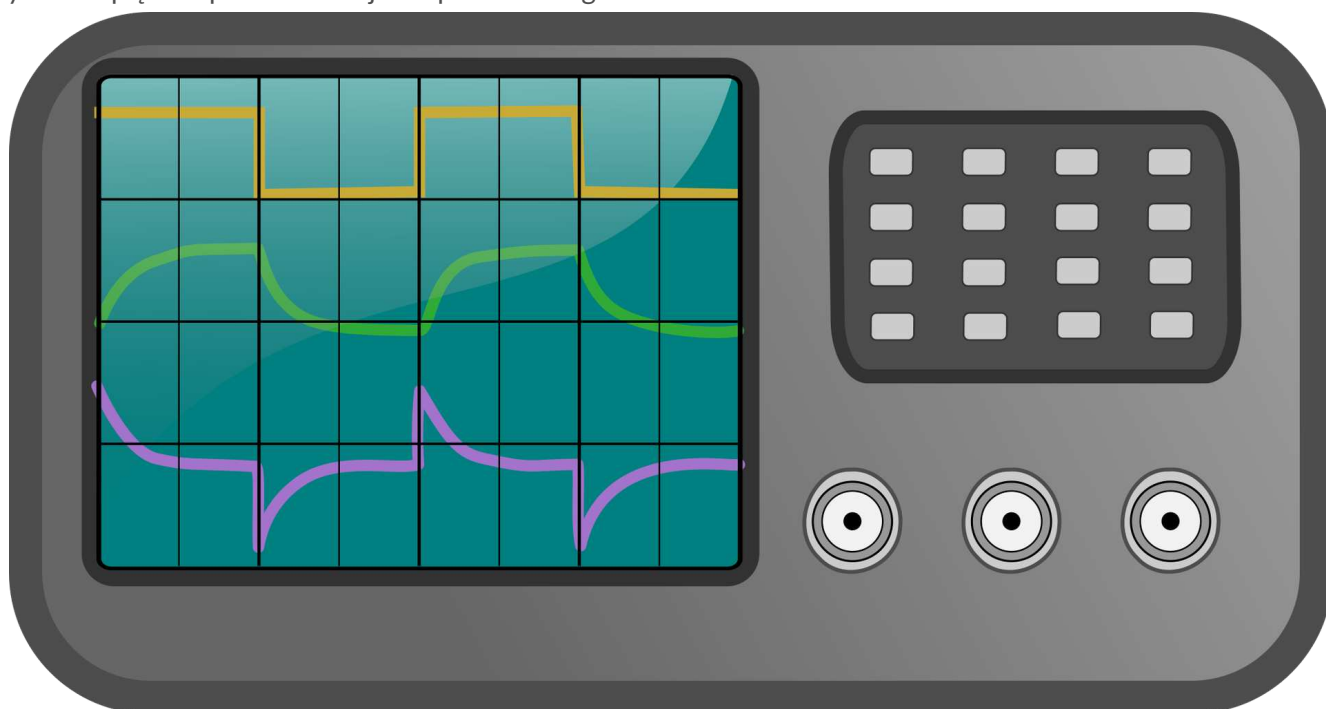
Napięcie i natężenie skuteczne prądu zmiennego

Czy to nie ciekawe ?

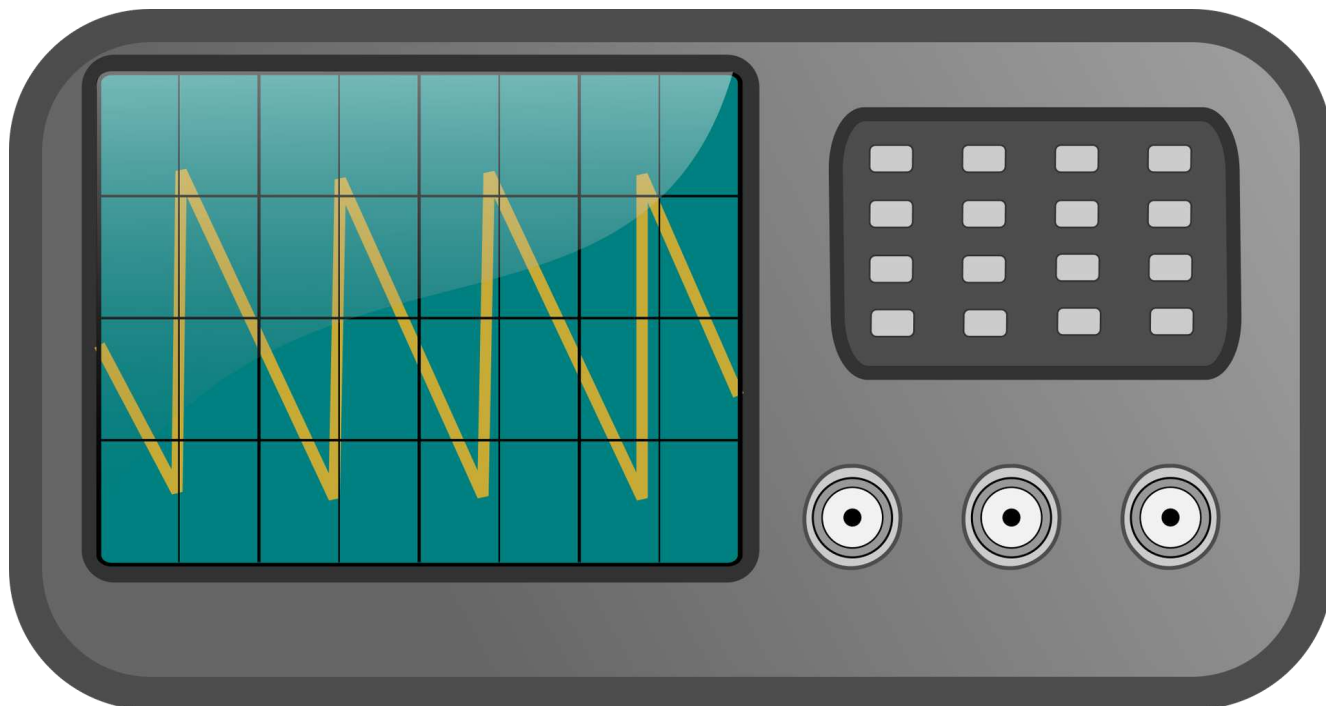
Czy wiesz, że napięcie okresowo zmienne nie musi być napięciem zmiennym sinusoidalnie (tzw. napięciem przemiennym)? Napięcie może mieć różne „kształty” – tak zwane przebiegi czasowe. Poniżej, na rysunkach a – g, pokazane są różne, okresowo zmienne sygnały napięciowe w postaci fotografii ekranów oscyloskopów, z rzeczywistymi wykresami napięć w funkcji czasu.



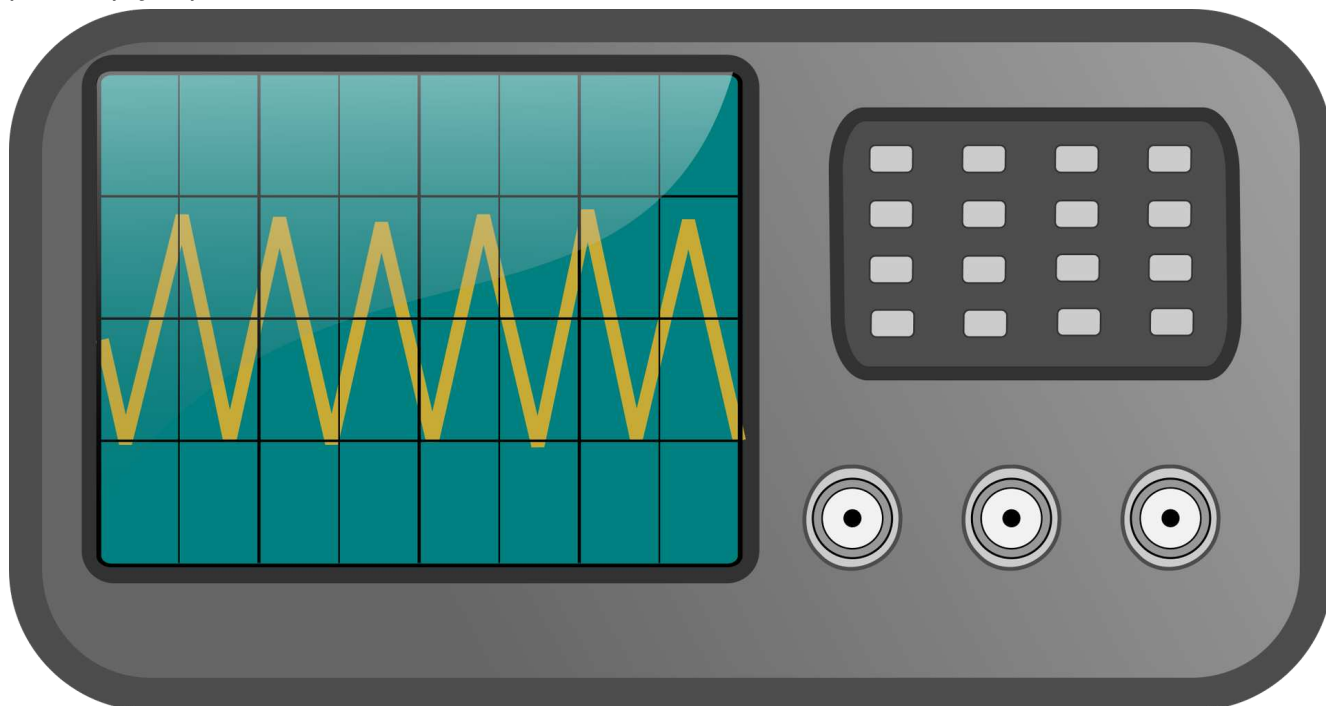
Rys. a. Napięcie z prostownika jednopołówkowego.



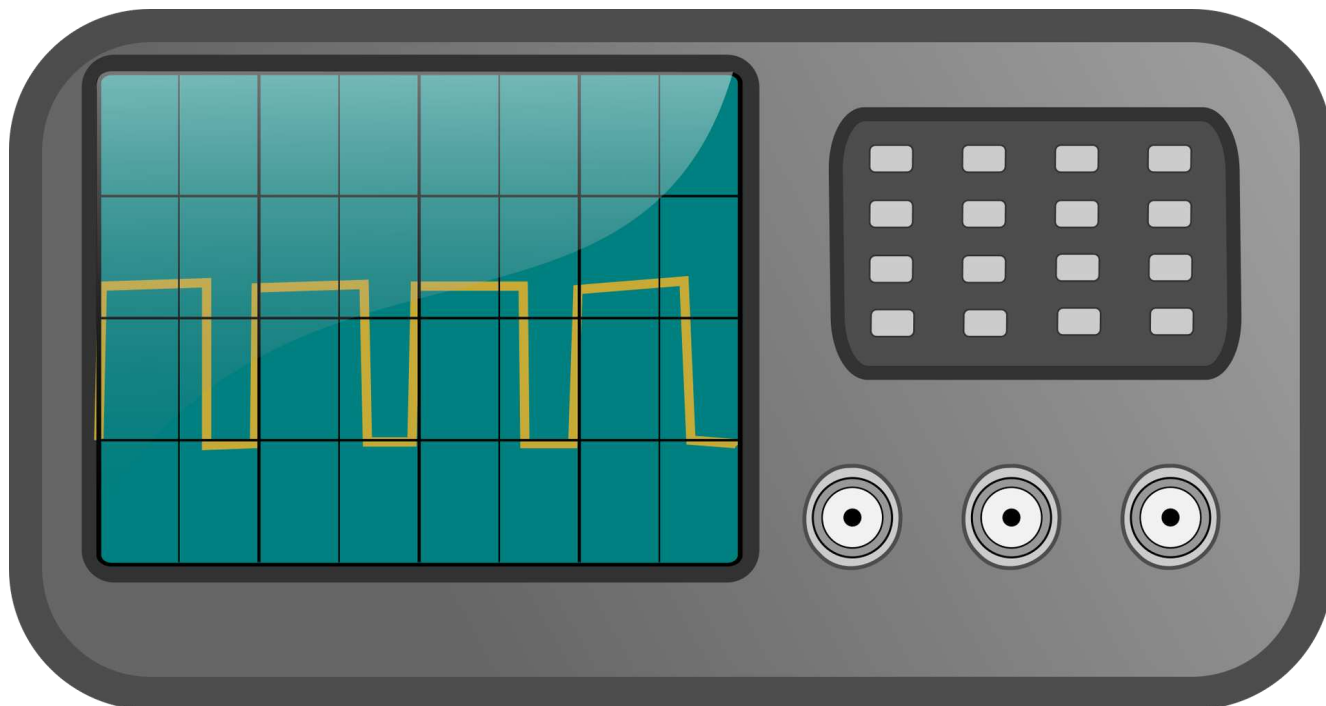
Rys. b. Napięcie wejściowe - prostokątne (żółty wykres), napięcie na kondensatorze uzyskane po przyłożeniu napięcia wejściowego (zielony wykres), napięcie mierzone na oporniku, przez który kondensator jest ładowany (wykres fioletowy).



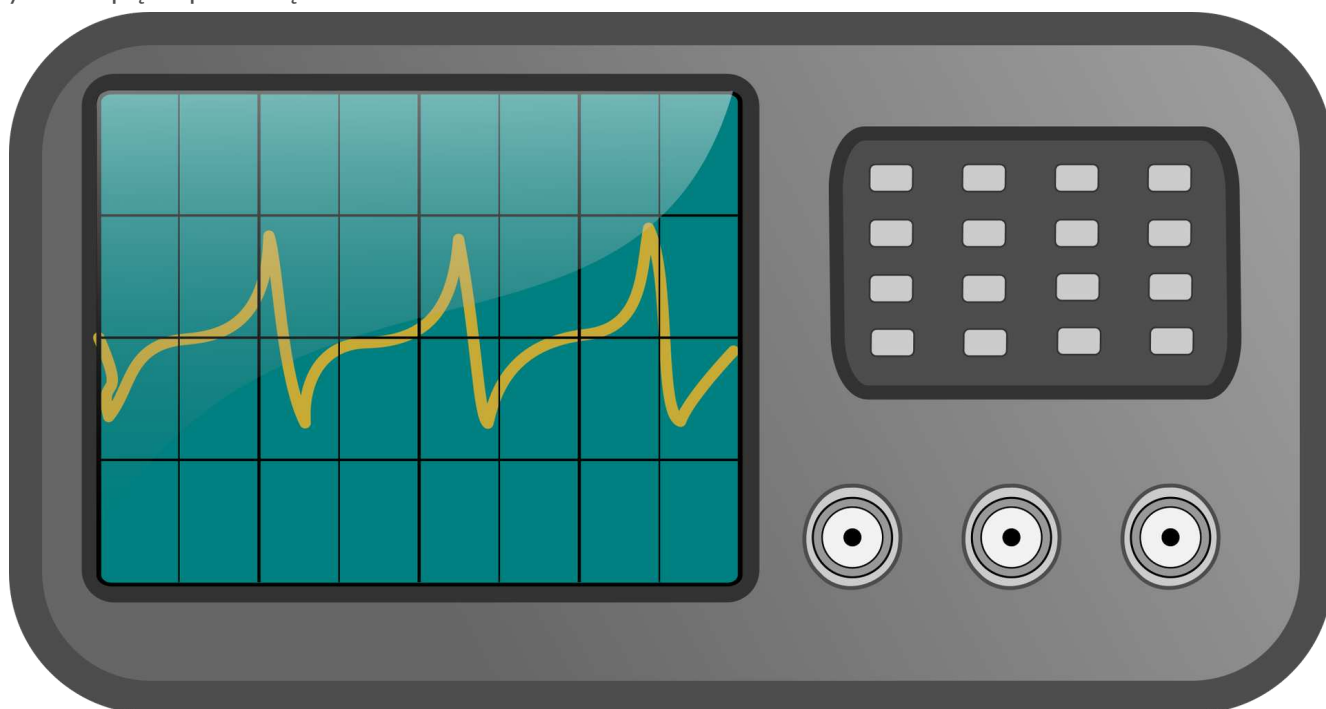
Rys. c. Napięcie piłokształtne.



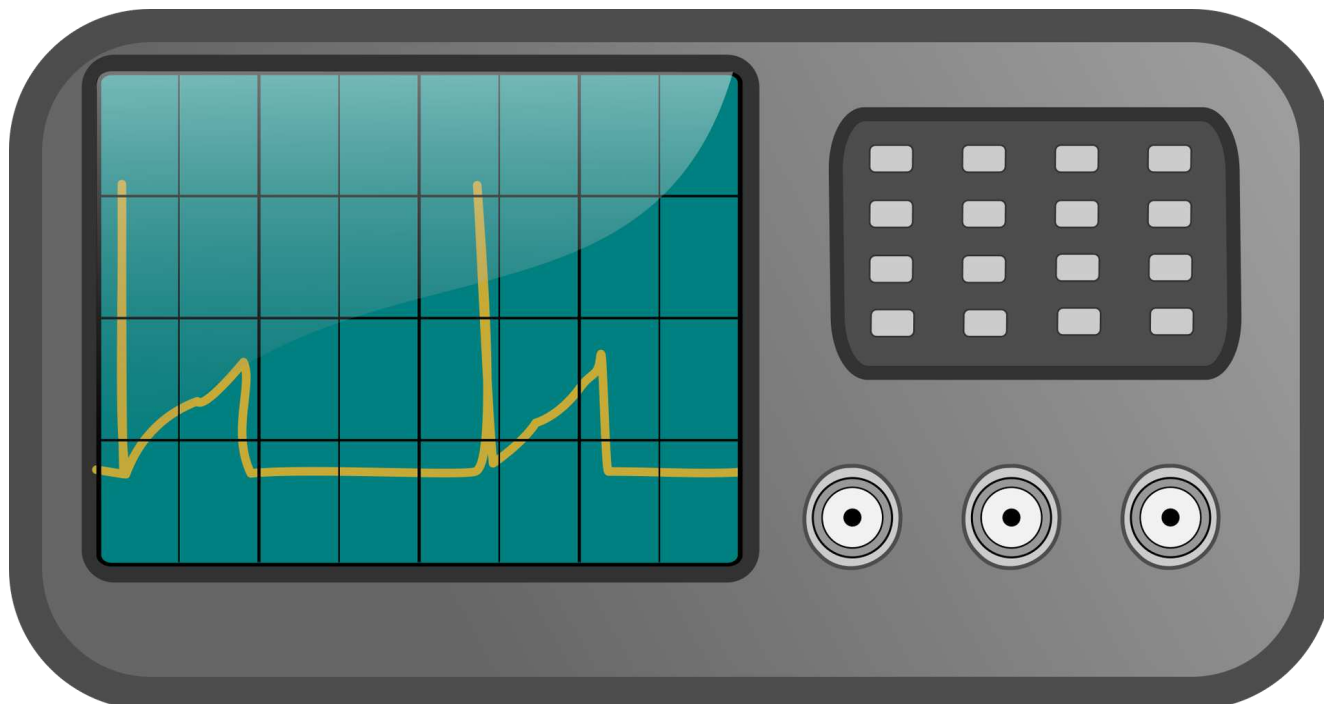
Rys. d. Napięcie trójkątne.



Rys. e. Napięcie prostokątne.



Rys. f. Napięcie „fantazyjnie” zmienne.



Rys. g. Napięcie szpilkowe.

A teraz pytanie: czy na oporniku zasilanym napięciem o różnych przebiegach czasowych będzie wydzielano się tyle samo energii w tym samym czasie?

Intuicja pewnie słusznie Ci podpowiada, że nawet jeśli przebiegi napięć o różnych kształtach charakteryzują się tym samym napięciem maksymalnym, to różnią się pod względem energetycznym. Ich moce średnie (zwane skutecznymi) będą inne.

Jak wobec tego można porównywać różne przebiegi napięciowe pod względem energetycznym? Jakiej wielkości fizycznej trzeba użyć? W następnej części e-materiału odpowiemy na te frapujące pytania.

Twoje cele

- zapoznasz się z pojęciem napięcia skutecznego;
- poznasz metodę obliczania mocy skutecznej dowolnego prądu zmiennego;
- nauczysz się obliczać napięcie i natężenie skuteczne dla prądu przemiennego o przebiegu sinusoidalnym.

Przeczytaj

Warto przeczytać

Dobrym sposobem na porównanie różnych zmiennych przebiegów napięcia jest „sprowadzenie” ich pod względem energetycznym do napięcia stałego.

Gdy napięcie jest stałe, wydzieloną w ciągu czasu Δt na oporniku energię obliczamy następująco: $\Delta W = IU\Delta t$, gdzie I jest natężeniem prądu płynącego przez opornik, U - napięciem przyłożonym do jego końców. Oczywiście, wzór możemy przekształcić, korzystając z prawa Ohma i zapisać:

$$\Delta W = I^2 R \Delta t \text{ albo } \Delta W = \frac{U^2}{R} \Delta t.$$

Dla napięcia zmieniającego się w czasie, nie możemy w tak prosty sposób obliczyć wydzielonej energii, gdyż w ciągu czasu Δt napięcie ulega zmianie. Dlatego musimy zastosować metodę sumowania małych ΔW przy Δt dążących do zera. Taka operacja nazywa się całkowaniem. Graficznym odpowiednikiem wartości całki jest pole powierzchni pod wykresem $W(t)$.

Wprowadzimy teraz pojęcie **mocy** skutecznej (średniej) prądu zmiennego. **Moc skuteczna** równa jest liczbowo energii wydzielonej na oporniku wskutek jego przepływu, podzielonej przez czas, w którym ten prąd płynie. Zapiszmy to symbolicznie:

$$P_{sk} = \frac{W}{T},$$

gdzie W oznacza energię wydzieloną w oporniku w ciągu czasu T .

To właśnie moc skuteczna jest wielkością charakteryzującą pod względem energetycznym każdy prąd okresowo zmienny w czasie. Możemy sobie teraz wyobrazić napięcie stałe w czasie, dla którego moc ma tę samą wartość. Zapiszemy wtedy:

$$P_- = \frac{U_{sk}^2}{R},$$

gdzie P_- oznacza moc napięcia stałego, a U_{sk} - takie *napięcie stałe, dla którego zachodzi równość: $P_{sk} = P_-$* . To napięcie nazywa się **napięciem skutecznym** U_{sk} napięcia okresowo zmiennego.

Zobaczmy, jaka jest jego wartość, w przypadku napięcia przemiennego o przebiegu sinusoidalnym.

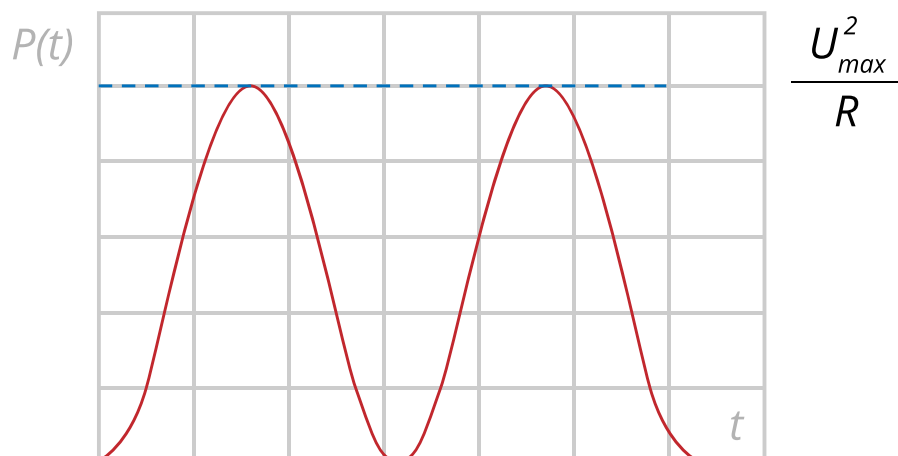
Wykres $U(t)$ dla jednego okresu napięcia przemiennego, wyrażonego funkcją $U(t) = U_{\max} \cdot \sin(\omega t)$, przedstawiony jest na rysunku 1.



Rys. 1. Wykres zależności napięcia przemiennego od czasu dla jednego okresu.

Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0. <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.pl>.

Na Rys. 2. pokazano wykres $P(t)$, mocy chwilowej wydzielonej na oporniku o wartości R w funkcji czasu, obliczonej ze wzoru $P = \frac{U(t)^2}{R}$.

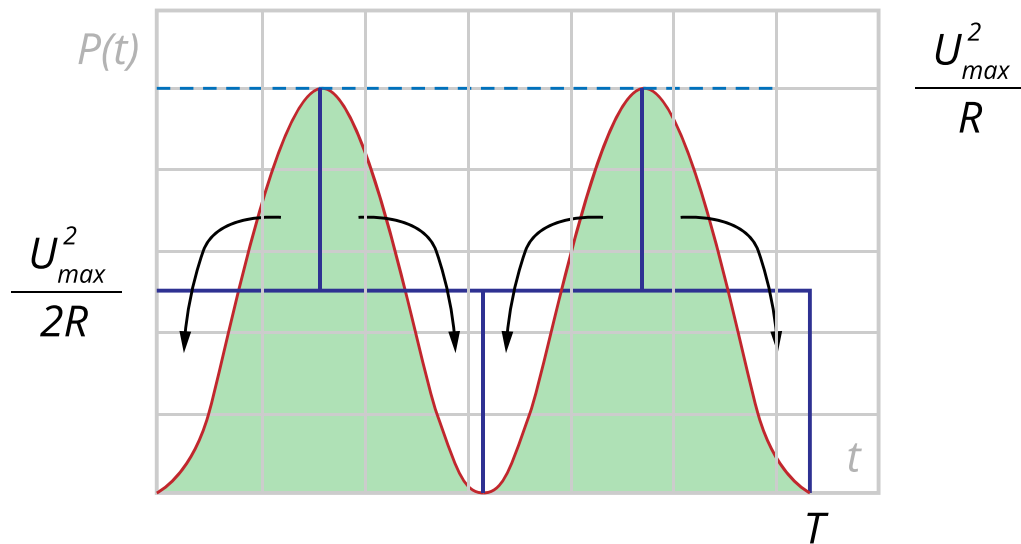


Rys. 2. Wykres zależności chwilowej mocy prądu przemiennego od czasu dla jednego okresu.

Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0. <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.pl>.

Maksymalna moc wydzielana jest w tych chwilach, w których wartość bezwzględna napięcia jest maksymalna, co zostało zaznaczone na wykresie.

Pole powierzchni pod wykresem $P(t)$ jest miarą energii wydzielonej na oporniku w ciągu okresu. Obliczenie wartości tego pola wydaje się bardzo trudne. Zauważ jednak, że krzywa $P(t)$ ma kształt przesuniętej sinusoidy. Stąd widzimy, że przecięcie tej krzywej w połowie da identyczne fragmenty krzywej nad i pod linią cięcia. Łatwo teraz obliczyć pole pod krzywą. Wystarczy postąpić tak, jak pokazuje to rysunek 3.



Rys. 3. Obliczenie pola pod wykresem poprzez przesunięcie odpowiednich jego fragmentów znad linii – pod linię tak, jak wskazują to strzałki.

Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0. <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.pl>.

W wyniku tej operacji otrzymujemy prostokąt. Energia wydzielona na oporniku, gdy napięcie przyłożone do niego jest sinusoidalnie zmienne, w ciągu okresu równa jest polu prostokąta: $\frac{U_{max}^2}{2R} \cdot T$. Wobec tego, moc skuteczna (średnia) wynosi $P_{sk} = \frac{U_{max}^2}{2R}$.

Skorzystamy teraz z definicji **napięcia skutecznego**. Przyrównamy obliczoną moc do mocy wydzielanej na oporniku zasilanym napięciem stałym skutecznym, czyli $P_{sk} = P_{-}$.

Otrzymamy:

$$\frac{U_{max}^2}{2R} = \frac{U_{sk}^2}{R}$$

Skąd, po przekształceniu, mamy:

$$U_{sk} = \frac{U_{max}}{\sqrt{2}}$$

Taki jest więc związek napięcia skutecznego z napięciem maksymalnym dla prądu przemiennego o przebiegu sinusoidalnym.

Rozważaliśmy na razie pojęcie napięcia skutecznego – a jaka jest wartość **natężenia skutecznego**? Zdefiniowane jest analogicznie do napięcia skutecznego. Jeśli skorzystamy z **prawa Ohma**, to otrzymamy identyczną zależność między maksymalną wartością natężenia prądu a jego wartością skuteczną. Podzielmy uzyskany związek napięć obustronnie przez R .

$$\frac{U_{Sk}}{R} = \frac{\frac{U_{Max}}{\sqrt{2}}}{R}$$

Napięcie skuteczne U_{sk} podzielone przez opór R , to skuteczne natężenie prądu I_{sk} , a więc dla prądu przemiennego:

$$I_{sk} = \frac{I_{max}}{\sqrt{2}}$$

Ten sam związek uzyskalibyśmy, przeprowadzając rozumowanie analogiczne do przedstawionego wyżej dla napięcia, jeśli zastosowalibyśmy wzór na moc prądu w postaci: $P(t) = I(t)^2 \cdot R$.

Słowniczek

moc elektryczna

(ang.: *electric power*), oznaczana symbolem P – praca, jaką wykonuje prąd elektryczny w jednostce czasu. Jednostką mocy jest wat (W).

napięcie skuteczne (okresowo zmiennego napięcia)

(ang.: *effective voltage*) taka wartość napięcia stałego, które przyłożone do opornika, spowoduje wydzielenie się na nim w takim samym czasie takiej samej ilości energii, jak przy napięciu zmiennym.

natężenie skuteczne (okresowo zmiennego natężenia prądu)

(ang.: *effective current*) taka wartość natężenia prądu stałego, który płynąc przez opornik, spowoduje wydzielenie się na nim w takim samym czasie takiej samej ilości energii, jak przy prądzie zmiennym.

prawo Ohma

(ang.: *Ohm's law*) prawo, które głosi, że natężenie prądu płynącego przez przewodnik jest wprost proporcjonalne do napięcia panującego na jego końcach. Prawo to spełnione jest dla prądu stałego, ale także w obwodach prądu przemiennego bez kondensatora lub cewki (ściślej: bez pojemności i indukcyjności). Współczynnik proporcjonalności nazywa się oporem elektrycznym przewodnika i oznacza literą R . Mamy więc: $R = \frac{U}{I}$.

Film samouczek

Napięcie i natężenie skuteczne prądu zmiennego

W filmie samouczku rozważamy przykład obliczenia napięcia skutecznego dla innego, niż sinusoidalne, przebiegu zmienności napięcia. Analiza tego przykładu umożliwi Ci głębsze zrozumienie zagadnienia napięcia skutecznego.

Film dostępny pod adresem <https://zpe.gov.pl/a/DajUKGfvl>

Zapoznaj się z audiodeskrypcją samouczka.

Polecenie 1

Spróbuj, po zapoznaniu się z filmem samouczkiem, obliczyć wartość natężenia skutecznego prądu dla przebiegu prostokątnego, przeprowadzając analogiczne rozumowanie dotyczące mocy prądu, ale stosując wzór: $P(t) = I^2(t) \cdot R$. Będzie to doskonałe ćwiczenie utrwalające.

Polecenie 2

Oblicz wartość skuteczną napięcia o przebiegu prostokątnym, omówionym w filmie samouczku, jeśli czas $\tau = T/2$. Czy wynik coś Ci przypomina?

Sprawdź się

Pokaż ćwiczenia:   

Ćwiczenie 1



Żelazko zasilane jest napięciem zmiennym o wartości skutecznej U_{sk} . Nagrzało się ono do żądanej temperatury w czasie t_1 . Jaki byłby czas t_2 nagrzewania żelazka do tej samej temperatury, gdybyśmy zasilali je napięciem stałym o wartości U_- mniejszej niż U_{sk} ? Wybierz właściwą odpowiedź.

$t_2 < t_1$

☐

/

$t_2 = t_1$

☐

/

$t_2 > t_1$

☐

Ćwiczenie 2



Uzupełnij tekst:

Bez względu na to, jak zmienia się napięcie elektryczne w czasie, pod względem energetycznym jego przebieg charakteryzuje wielkość, która nosi nazwę: .

napięcie maksymalne

natężenie skuteczne

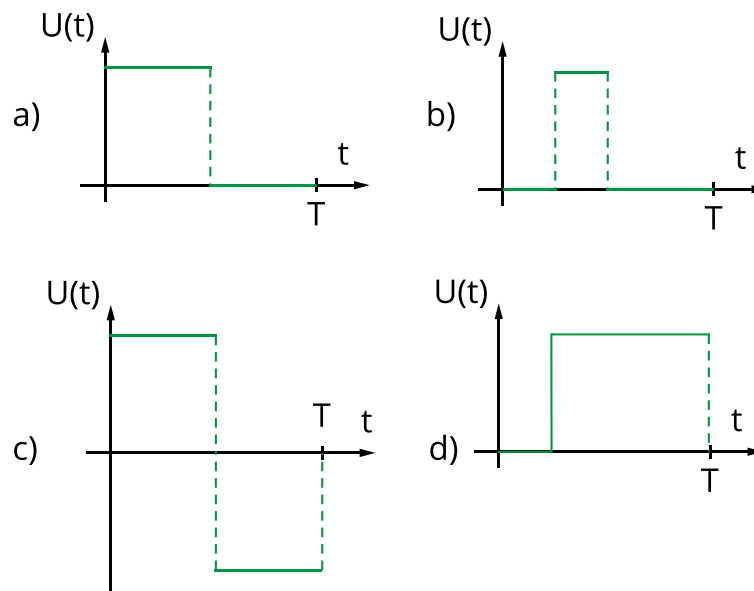
napięcie skuteczne

okres

Ćwiczenie 3



Wykresy zamieszczone poniżej przedstawiają okresowo zmienne prostokątne sygnały napięciowe, wszystkie o tej samej bezwzględnej wartości maksymalnej.



Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0. <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.pl>.

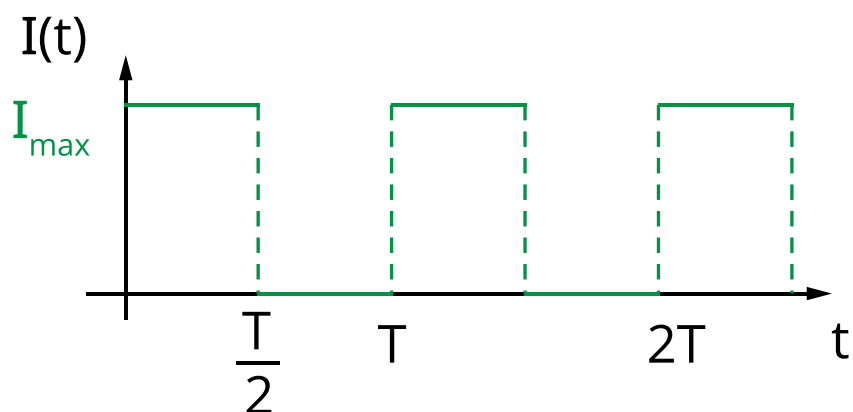
Uzereguj je pod względem napięcia skutecznego w kolejności rosnącej wartości tego napięcia. Użyj liter, którymi oznaczone są wykresy, np.: a.

 < < <

Ćwiczenie 4



Oblicz natężenie skuteczne prądu, którego wykres przedstawiony jest na rysunku, jeżeli natężenie $I_{\max} = 3 \text{ A}$ a okres zmienności $T = 2 \text{ s}$. Wynik podaj z dokładnością do trzech cyfr znaczących.



Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0. <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.pl>.

$I_{\text{sk}} =$ A

Ćwiczenie 5



Oblicz natężenie skuteczne prądu, którego przebieg w czasie przedstawiony jest na rysunku, jeżeli natężenie $I_{\max} = 20 \text{ A}$, okres zmienności $T = 0,25 \text{ s}$, a czas $\tau = 0,05 \text{ s}$. Wynik podaj z dokładnością do dwóch cyfr znaczących.



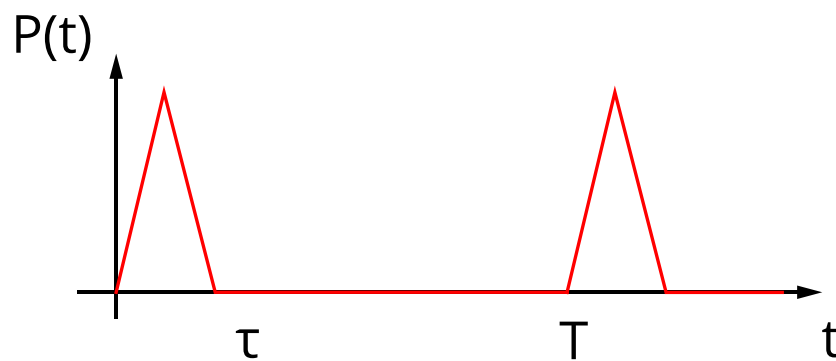
Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0. <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.pl>.

$I_{\text{sk}} =$ A

Ćwiczenie 6



Na rysunku przedstawiona jest zależność mocy wydzielonej na oporniku w pewnym obwodzie od czasu. Oblicz natężenie skuteczne prądu płynącego przez ten opornik, jeśli natężenie $I_{\max} = 10 \text{ A}$, czas $\tau = 10^{-3} \text{ s}$, a okres zmienności $T = 10^{-2} \text{ s}$. Wynik podaj z dokładnością do dwóch cyfr znaczących.



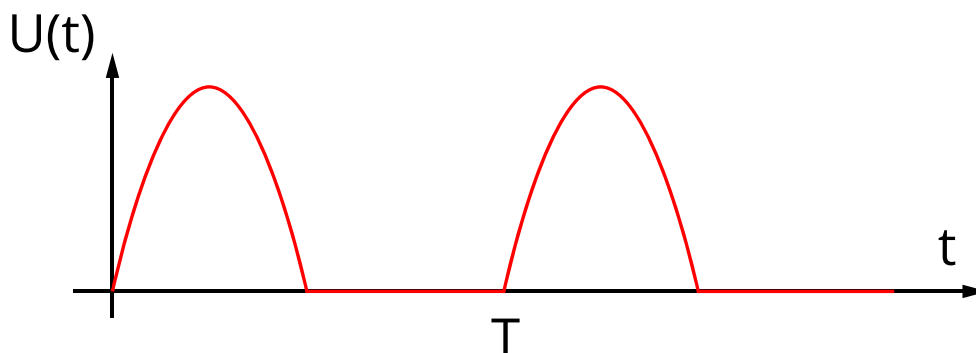
Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0. <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.pl>.

$I_{\text{sk}} =$ A

Ćwiczenie 7



Oblicz napięcie skuteczne dla okresowo zmiennego napięcia, którego przebieg w czasie przedstawiony jest na rysunku, jeżeli wartość napięcia maksymalnego $U_{\max} = 100 \text{ V}$. Takie napięcie uzyskuje się po najprostszym zastosowaniu diody, w celu „wyprostowania” napięcia sinusoidalnie zmiennego. Dioda taka przewodzi prąd tylko w jedną stronę, czyli „odcina dolne połówki wykresu”.



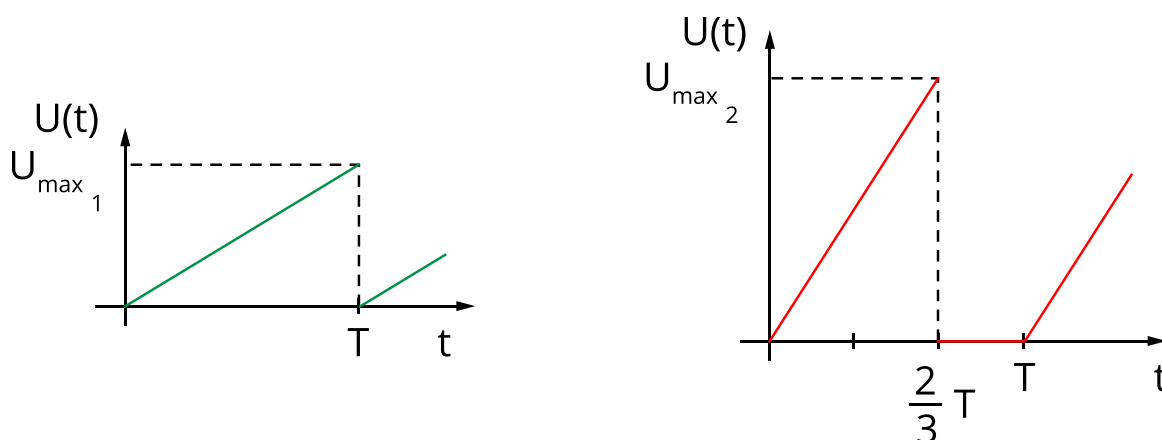
Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0. <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.pl>.

$U_{\text{sk}} =$ V

Ćwiczenie 8



Dane są dwa różniące się nieco od siebie napięcia piłokształtne, pokazane na rysunku.



Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0. <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.pl>.

Zaznacz, które stwierdzenia dotyczące tych przebiegów są prawdziwe.

- ☐ Jeżeli napięcia skuteczne w obu przypadkach są równe, to $U_{\max 1} < U_{\max 2}$.
- ☐ Dopóki napięcia pokazane na wykresach rosną, dopóty wartość energii elektrycznej wydzielonej na podłączonych do nich opornikach rośnie proporcjonalnie do trzeciej potęgi czasu, jaki upłynął od początku cyklu.
- ☐ W obu przypadkach, w ciągu okresu napięcie rośnie liniowo w czasie.
- ☐ W obu przypadkach, przez czas od $t = 0$ do $t = \frac{2}{3}T$ moc wydzielana na opornikach podłączonych do tych napięć jest kwadratową funkcją czasu.
- ☐ Jeżeli napięcia maksymalne w obu przypadkach są takie same, napięcia skuteczne też będą równe.

Dla nauczyciela

Imię i nazwisko autora:	Nina Tomaszewska
Przedmiot:	Fizyka
Temat zajęć:	Napięcie i natężenie skuteczne prądu zmiennego
Grupa docelowa:	III etap edukacyjny, liceum, technikum, zakres podstawowy i rozszerzony
Podstawa programowa:	Cele kształcenia – wymagania ogólne II. Rozwiązywanie problemów z wykorzystaniem praw i zależności fizycznych. Zakres podstawowy Treści nauczania – wymagania szczegółowe I. Wymagania przekrojowe. Uczeń: 4) przeprowadza obliczenia liczbowe posługując się kalkulatorem; 7) wyodrębnia z tekstów, tabel, diagramów lub wykresów, rysunków schematycznych lub blokowych informacje kluczowe dla opisywanego zjawiska bądź problemu; przedstawia te informacje w różnych postaciach. VIII. Magnetyzm. Uczeń: 4) opisuje cechy prądu przemiennego. Zakres rozszerzony Treści nauczania – wymagania szczegółowe I. Wymagania przekrojowe. Uczeń: 4) przeprowadza obliczenia liczbowe posługując się kalkulatorem; 7) wyodrębnia z tekstów, tabel, diagramów lub wykresów, rysunków schematycznych lub blokowych informacje kluczowe dla opisywanego zjawiska bądź problemu; przedstawia te informacje w różnych postaciach. IX. Magnetyzm. Uczeń: 12) opisuje cechy prądu przemiennego; posługuje się pojęciem napięcia i natężenia skutecznego; oblicza napięcie i natężenie skuteczne dla przebiegu sinusoidalnego.

Kształtowane kompetencje kluczowe:	Zalecenia Parlamentu Europejskiego i Rady UE z 2018 r.: • kompetencje w zakresie rozumienia i tworzenia informacji, • kompetencje matematyczne oraz kompetencje w zakresie nauk przyrodniczych, technologii i inżynierii, • kompetencje cyfrowe, • kompetencje osobiste, społeczne i w zakresie umiejętności uczenia się.
Cele operacyjne:	Uczeń: 1. podaje definicję pojęcie napięcia skutecznego; 2. przedstawia metodę obliczania mocy skutecznej dowolnego prądu zmiennego; 3. oblicza wartość napięcia i natężenia skutecznego dla prądu przemiennego o przebiegu sinusoidalnym.
Strategie nauczania:	blended-learning
Metody nauczania:	wykład informacyjny wspomagany pokazem multimedialnym
Formy zajęć:	praca w zespole klasowym
Środki dydaktyczne:	niniejszy e-materiał + komputer z rzutnikiem lub tablety do dyspozycji każdego ucznia
Materiały pomocnicze:	–
PRZEBIEG LEKCJI	
Faza wprowadzająca:	
Nauczyciel zaciekawia uczniów zagadnieniem napięcia zmiennego o różnych przebiegach czasowych. Pokazuje przykłady takich napięć – zdjęcia przedstawiające ekrany oscyloskopów. Stawia pytanie, czy energia wydzielana w obwodzie zasilanym takim napięciem jest zawsze taka sama. Uczniowie formułują problem: jak porównywać pod względem energetycznym różne okresowe przebiegi napięciowe.	
Faza realizacyjna:	

Lekcja w pełni wykorzystuje materiał tekstowy i film samouczek z e-materiału. Najpierw nauczyciel wprowadza albo przypomina pojęcie napięcia skutecznego. Następnie, z pomocą uczniów, wyprowadza związek maksymalnego napięcia z napięciem skutecznym dla sinusoidalnego przebiegu napięcia. Następnie prosi uczniów o stworzenie analogicznej definicji skutecznego natężenia prądu, po czym poleca wyznaczenie tej wartości dla prądu przemiennego. Jeden z uczniów przeprowadza analogiczne rozumowanie dotyczące mocy prądu, jak dla napięcia, ale stosuje wzór wyjściowy z natężeniem prądu: $P(t) = I(t)^2 \cdot R$. Będzie to doskonałe ćwiczenie utrwalające metodę. Z samouczka, studiowanego przez uczniów samodzielnie, zapoznają się oni z jeszcze jednym przykładem obliczenia napięcia skutecznego dla okresowego, tym razem prostokątnego, przebiegu napięcia.

Faza podsumowująca:

W fazie podsumowującej nauczyciel wraz z uczniami powinien rozwiązać zadania 6, 7 i 8 z zestawu ćwiczeń. Poprzez analizę wypowiedzi uczniów nauczyciel określa, w jakim stopniu osiągnięte zostały wyznaczone cele.

Praca domowa:

W ramach powtórzenia i utrwalenia wiadomości uczniowie rozwiązują zadania: 1, 2, 3, 4, 5 z zestawu ćwiczeń.

Wskazówki metodyczne opisujące różne zastosowania danego multimedium

Samouczek, który zawiera dość trudny pojęciowo materiał, może służyć do powtórki w domu zastosowanej tam procedury wyznaczania wartości napięcia lub prądu skutecznego.