

## Komentarz do **Podstawy Elektroniki - Wykład 1 cz 2**

Slajd 1/59

### **Wykład 1 cz 2**

Slajd 2/59

### **Elektronika**

Slajd 3/59

Wśród wielu definicji "**Elektroniki**" możemy znaleźć i taką, że jest to dziedzina nauki i techniki zajmująca się praktycznym zastosowaniem zjawisk związanych z dającym się sterować ruchem elektronów w:

próżni, gazach i półprzewodnikach.

Możemy powiązać z nią przykładowe urządzenia:

- próżni → *lampy elektronowe, kineskopowe, oscyloskopowe, fotokomórki*
- gazach → *lampy wyładowcze, liczniki G-M*
- i półprzewodnikach → *np. diody, tranzystory*

Slajd 4/59

Występuje silny związek i wzajemne przenikanie między "Elektroniką" i "Elektrotechniką".

Można powiedzieć, że elektronika zajmuje się głównie wytwarzaniem i przetwarzaniem sygnałów elektrycznych, przenoszących informację (w sposób analogowy lub obecnie, głównie cyfrowy). Było to szczególnie widoczne w początkowych latach jej rozwoju, na przykładzie powstającego radia i telewizji.

Natomiast elektrotechnika to zastosowania wykorzystujące "energię elektryczną" do oświetlenia (żarówki), ogrzewania (grzejniki elektryczne) i napędu (silniki elektryczne), jak również zagadnienia związane z wytwarzaniem energii elektrycznej (prądnice, alternatory).

Slajd 5/59

Występujące związki i postępujące przenikanie elektrotechniki i elektroniki można prześledzić na przykładzie instalacji elektrycznej w samochodzie.

Na rysunku przedstawiona jest instalacja elektryczna pick-up'a Forda z roku 1937.

Widoczne są poszczególne elementy instalacji elektrycznej, czasami rysowane w realistyczny sposób.

Możemy wyróżnić: instalację rozruchową, zapłonową, oświetlenie zewnętrzne, czujniki i wskaźniki poziomu paliwa i ciśnienia oleju, oraz sygnał dźwiękowy i elektryczną zapalniczkę. Jest też akumulator i ładująca go prądnica.

#### Slajd 6/59

Początek lat siedemdziesiątych i instalacja elektryczna Fiata 126p. Pojawiają się dodatkowe elementy: elektryczne wycieraczki przedniej szyby, lampki kontrolne monitorujące działanie urządzeń, a przede wszystkim elektryczne kierunkowskazy.

#### Slajd 7/59

Początek lat osiemdziesiątych i wprowadzenie cyfrowej magistrali CAN (Controller Area Network) łączącej czujniki i elementy wykonawcze w samochodzie, oraz dającej możliwość na bezpośrednią diagnostykę poprzez złącza diagnostyczne.

#### Slajd 8/59

**Elektron** jako cząstka materialna obdarzona ładunkiem ujemnym, została odkryta w 1897 roku przez angielskiego fizyka Josepha Johna Thomsona. J. J. Thomson badając przewodnictwo elektryczne gazów, zaobserwował, że katoda (elektroda ujemna) lampy wyładowczej staje się źródłem nowego rodzaju promieniowania - nazwanego **promieniowaniem katodowym**. Przy niskim ciśnieniu gazu wypełniającego lampę wyładowczą promieniowanie katodowe powodowało widoczne świecenie szklanych ścianek lampy, a wstawienie w ich drogę przesłony skutkowało pojawieniem się cienia.

#### Slajd 9/59

J. J. Thomson badał zachowanie promieni katodowych w polu elektrycznym. Widoczne było odchylenie ich toru.

#### Slajd 10/59

Podobny efekt obserwowano dla pola magnetycznego.

#### Slajdy 11/59 oraz 12/59

Na rysunku (oraz fotografii na kolejnym slajdzie) przedstawiono schemat (widok) układu pomiarowego zbudowanego przez J. J. Thomsona.

Emitowana z katody wiązka promieni katodowych przechodziła przez obszar wzajemnie prostopadłych pól elektrycznego i magnetycznego. Siły pochodzące od obu pól można było zrównoważyć tak, że wiązka promieni katodowych nie doznawała odchylenia.

W wyniku przeprowadzonych doświadczeń i analizy uzyskanych danych Thomson stwierdził, że promieniowanie katodowe są to cząstki materialne obdarzone ładunkiem ujemnym (analiza kierunku odchylenia) o stałej wartości ładunku elektrycznego do ich masy:  $q/m$ .

Doświadczenie to nie umożliwiło Thomsonowi wyznaczenia wartości ładunku elementarnego -  $e$ . Dokonał tego w roku 1911 Robert Andrews Millikan.

Za odkrycie elektronu Joseph John Thomson otrzymał w roku 1906 nagrodę Nobla.

#### Slajd 13/59

Badania własności promieniowania katodowego wykazały, że pod ich wpływem, niektóre związki chemiczne (nazywane **luminoforami**) zaczynają intensywnie świecić. Zjawisko to nazywane **katodoluminescencją**, stało się podstawą działania ekranów lamp, stosowanych w oscyloskopach i telewizorach.

#### Slajd 14/59

Na fotografii przedstawiono zbudowaną w roku 1898 przez Ferdinanda Brauna **lampę elektronopromieniową**, będącą prekursorem **lamp kineskopowych** stosowanych w telewizorach. Widoczne jest duże podobieństwo do lampy stosowanej w badaniach przez Josepha Johna Thomsona.

Przednia ścianka lampy, umieszczona naprzeciwko katody pokryta była luminoforem, świecącym pod wpływem padającej wiązki elektronowej. Umieszczony poniżej rysunek przedstawia zbudowaną w roku 1923 przez Vladimira K. Zworykina lampę kineskopową, wyposażoną w **działo elektronowe** będące źródłem wiązki elektronowej.

W celu uzyskania obrazu na pokrytym luminoforem ekranie, wiązka elektronowa sterowana jest kierunkach poziomym i pionowym. Obraz powstaje przez "rysowanie" kolejnych linii poziomych na ekranie. Sterowanie natężeniem wiązki elektronowej, umożliwia zmianę natężenia świecenia poszczególnych punktów linii obrazu.

Odchylenie wiązki elektronowej odbywa się przy pomocy zewnętrznych cewek, wytwarzających odpowiednio ukierunkowane pola magnetyczne.

Zaletą odchylenia magnetycznego jest możliwość uzyskania bardzo dużego kąta odchylenia, co umożliwia budowanie bardzo krótkich lamp kineskopowych o dużej powierzchni ekranu, (odwrotnie niż w lampach oscyloskopowych). Wadą z kolei jest duża moc pobierana przez cewki w celu odchylenia wiązki elektronowej.

Przedstawione na zdjęciu urządzenie to jeden z pierwszych kompletnych "aparatów telewizyjnych".

Gustowna meblowa obudowa i ekran wielkości pocztówki, ... ale takie właśnie były początki telewizji.

#### Slajd 15/59

Przedstawiona powyżej idea obrazowania znalazła również zastosowanie w urządzeniu, które stało się podstawowym przyrządem diagnostyczno pomiarowym, stosowanym w elektronice - **oscyloskopu**.

Na rysunku przedstawiono schemat **lampy oscyloskopowej**. Jak widać główna różnica w stosunku do lampy kineskopowej polega na budowie układu odchylającego wiązkę elektronową. Wykorzystano tutaj pole elektryczne wytwarzane między płytkami odchylania, umieszczonymi we wnętrzu lampy.

Rozwiązanie takie umożliwia uzyskanie bardzo dużych częstości odchyłania wiązki, nie wymagając dużych energii zasilania. Wadą jest niewielki kąt odchyłania wiązki co powoduje, że lampy oscyloskopowe są albo długie, albo mają niewielki ekran.

Na rysunku przedstawiono główne elementy lampy oscyloskopowej.

Wiązka elektronowa wytwarzana jest przez tak zwane **działo elektronowe**.

Grzana katoda w wyniku procesu termoemisji jest źródłem swobodnych elektronów.

Kolejne elektrody lampy oscyloskopowej: siatka sterująca, anoda ogniskująca i anoda przyspieszająca, formują skolimowaną wiązkę elektronową, o energii wystarczającej do wzbudzenia świecenia materiału pokrywającego ekran lampy.

Wiązka elektronowa przechodzi następnie przez obszar układów, odchylających ją w kierunku poziomym i w kierunku pionowym. Odpowiednio ukierunkowana wiązka elektronowa pada następnie na wybrany punkt na ekranie lampy oscyloskopowej.

Slajd 16/59

Na rysunku przedstawiono schemat blokowy **oscyloskopu jednokanałowego**.

Widoczna jest omówiona na poprzednim slajdzie lampa oscyloskopowa.

Bloki schematu opisane jako: ostrość, astygmatyzm, jaskrawość sterują odpowiednimi funkcjami lampy oscyloskopowej, zapewniając ostry i skupiony obraz wiązki elektronowej na ekranie.

Układ sterujący odchyłaniem wiązki w kierunku poziomym tworzą: wzmacniacz odchyłania poziomego - zapewniający napięcie o odpowiedniej wartości, przykładane do płytek odchyłania poziomego, **generator podstawy czasu** - sterujący zmianami napięcia odchylającego.

Generator podstawy czasu doprowadza też do układu sterowania jaskrawością sygnał wygaszający wiązkę elektronową.

Odchyłanie wiązki elektronowej w kierunku poziomym może być też realizowane przez podanie odpowiedniego napięcia zewnętrznego - służy do tego wejście - WE "X".

Oscyloskop będzie pracować wtedy w tak zwanym **trybie "X - Y"**.

Układ sterujący odchyłaniem wiązki w kierunku pionowym tworzą: wzmacniacz odchyłania pionowego - zapewniający napięcie o odpowiedniej wartości, przykładane do płytek odchyłania pionowego, układ ustalający rodzaj sprzężenia dla sygnału wejściowego.

Przy włączonym **sprzężeniu (DC)** - (ang - direct current ) przechodzi "cały" sygnał wejściowy, jego składowa stała, jak i składowa zmienna. Przy włączonym **sprzężeniu (AC)** - (ang. alternating current) przechodzi tylko składowa zmienna sygnału. Składowa stała sygnału wejściowego jest blokowana. Obserwacja sygnału w sprzężeniu (AC) jest szczególnie wygodna, gdy mamy sygnał o małej składowej zmiennej, na tle dużej składowej stałej. Sprzężenie (AC) można najłatwiej zrealizować wstawiając kondensator w tor sygnału. Trzeba jednak mieć na uwadze, że wstawiony kondensator razem z opornością wejściową oscyloskopu tworzy filtr górnoprzepustowy, który nie tylko odcina składową stałą sygnału, ale tłumi też sygnały zmienne o odpowiednio niskich częstościach.

#### Slajd 17/59

Na wykresie przedstawiono przebieg sygnału sterującego zmianami napięcia odchylenia poziomego, wytwarzanego przez generator podstawy czasu.

Część wolno narastająca odpowiada przesuwaniu włączonej wiązki elektronowej - następuję wtedy "rysowanie sygnału" na ekranie. Po dotarciu do skrajnego położenia, wiązka elektronowa musi szybko powrócić do położenia początkowego. Steruje tym, część opadająca sygnału z generatora podstawy czasu. Aby nie "rysować" wtedy na ekranie - generator podstawy czasu doprowadza do układu sterowania jaskrawością **sygnał wygaszający** wiązkę elektronową.

#### Slajd 18/59

Warunkiem uzyskania stabilnego obrazu na ekranie oscyloskopu jest dobranie właściwego sposobu **wyzwalania podstawy czasu** - czyli wybranie momentu, kiedy oscyloskop ma zacząć "rysować" sygnał.

Możliwe są różne typy wyzwalania. Źródłem sygnału wyzwalania może być: sam sygnał wejściowy, odpowiedni sygnał zewnętrzny doprowadzany do oscyloskopu poprzez dedykowane gniazdo wejściowe, lub przebieg napięcia sieci zasilającej,

#### Slajd 19/59

Na Slajdzie 16/59 przedstawiono schemat blokowy oscyloskopu jednokanałowego.

W praktyce oscyloskopy jednokanałowe mają ograniczone zastosowanie.

Najczęściej obserwujemy dwa sygnały: sygnał wejściowy doprowadzany do badanego urządzenia i sygnał z jego wyjścia.

Na rysunku przedstawiono schemat **oscyloskopu dwukanałowego**.

Widoczne są dwa wejścia, umożliwiające doprowadzenie dwóch sygnałów wejściowych, kierowanych następnie do układu sterującego odchyleniem wiązki w kierunku pionowym.

Możliwe jest obserwowanie sygnału tylko z jednego wybranego wejścia, lub obu sygnałów.

W trybie pracy dwukanałowej "rysowanie" obu przebiegów odbywa się w sposób przemienny (**praca przemienna** - ang. alternating), najpierw jeden przebieg a potem drugi, lub w sposób "siekany" (**praca siekana** - ang. chopping) gdy po kolei rysowane są fragmenty obu przebiegów.

Układ wyboru wyzwalania pozwala określić, z którego wejścia sygnał, będzie wykorzystany jako źródło sygnału wyzwalania.

#### Slajd 20/59

Na rysunku widzimy typowy obraz uzyskiwany ("rysowany") na ekranie oscyloskopu.

Przed pokrytym luminoforem ekranem umieszczona jest przezroczysta płytką z naniesioną skalą. Typowy odstęp między liniami poziomymi i pionowymi to 1cm.

Przedstawiony obraz pokazuje zmianę badanego sygnału w czasie.

Obraz na ekranie powstaje przez przesuwanie się rozświetlonej przez wiązkę elektronową plamki.

Ruch plamki w poziomie odbywa się ze stałą prędkością. Prędkość ta zależna jest od ustawionej, tak zwanej - **podstawy czasu**. Jest to wielkość określająca jaki przedział czasu odpowiada jednej działce na poziomej skali.

Ruch plamki w pionie odbywa się zależnie od chwilowej wartości napięcia sygnału wejściowego. Dla danego napięcia wejściowego, przesunięcie plamki w pionie jest zależne od ustawionej wartości tak zwanej - **czułości** oscyloskopu.

Dla pracy wielokanałowej - czułość każdego kanału jest ustawiana niezależnie.

Skala umożliwia lepszą percepcję obrazu oraz dokonywanie pomiarów (czasu w skali poziomej i napięcia w skali pionowej).

Przedstawiony na rysunku sygnał elektryczny, to tak zwany **przebieg prostokątny**.

#### Slajd 21/59

Na fotografiach przedstawiono widok dwóch typów oscyloskopów. Wykorzystujący do obrazowania lampę kineskopową, historyczny oscyloskop analogowy firmy Allen Bradley - Type 304 A, oraz współczesny oscyloskop cyfrowy.

#### Slajd 22/59

Na fotografii przedstawiono widok płyty czołowej typowego współczesnego oscyloskopu cyfrowego.

Niezależnie od stopnia złożoności konkretnego modelu, możemy zawsze wyróżnić:

- gniazda wejściowe, służące do podłączenia badanych sygnałów (w tym przypadku widzimy cztery gniazda - jest to oscyloskop czterokanałowy)
- umieszczone nad nimi elementy regulacyjne (**Vertical Controls**) umożliwiające między innymi ustawienie czułości danego wejścia.
- elementy regulacyjne ustalające podstawę czasu (**Horizontal Controls**)
- układy umożliwiające uzyskanie stabilnego obrazu badanego przebiegu (**Trigger Controls**)

#### Slajd 23/59

Na rysunku przedstawiono podstawową różnicę w działaniu oscyloskopu analogowego i cyfrowego.

W oscyloskopie analogowym, aktualna wartość mierzonego napięcia steruje poprzez układ odchyłania pionowego, przesunięciem w pionie plamki na ekranie.

W oscyloskopie cyfrowym, aktualna wartość mierzonego napięcia jest przetwarzana poprzez przetwornik analogowo-cyfrowy na postać binarną, która jest następnie przetwarzana przez układ komputerowy.

Wizualizacja przebiegu odbywa się na ekranie takim, jak ekrany komputerowe.

Widoczny na ekranie obraz może być zapamiętany i zapisany na zewnętrznym nośniku pamięci.

#### Slajd 24/59

Na slajdzie przedstawiono zarejestrowany z oscyloskopu cyfrowego, obraz przebiegów elektrycznych (**zrzut ekranu**). Widoczne są dwa przebiegi sinusoidalne, oraz aktualne nastawy oscyloskopu:

- **podstawa czasu** (biała strzałka →) wynosząca  $200\mu\text{s}/\text{dz}$  (dwieście mikrosekund na działkę poziomą)
- **czułość kanału nr 1** (żółta strzałka →) wynosząca  $20.0\text{mV}/\text{dz}$  (dwadzieścia miliwoltów na działkę pionową)
- **czułość kanału nr 2** (niebieska strzałka →) wynosząca  $100\text{mV}/\text{dz}$  (sto miliwoltów na działkę pionową)

#### Slajd 25/59

##### **Schematy i symbole**

#### Slajd 26/59

Każda dziedzina nauki i techniki wytworzyła swój charakterystyczny "język".

Elektronika jak i elektrotechnika posługują się symbolami i schematami.

**Symbole** są umownymi znakami graficznymi reprezentującymi dany element lub podzespół.

Stanowią one odejście od pierwotnego sposobu przedstawiania elementów w postaci realistycznych grafik (jak świece zapłonowe na schemacie instalacji elektrycznej Forda 1937 r, na Slajdzie 5/59).

**Schematy** są natomiast odwzorowaniem graficznym obwodów elektrycznych.

W tabeli przedstawiono wybrane symbole elementów elektrycznych i elektronicznych.

#### Slajd 27/59

Na rysunku przedstawiono schemat prostego układu elektronicznego, zbudowanego z czterech oporników, oznaczonych jako  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  oraz  $R_4$ . Narysowane są złącza, gdzie podłączany jest sygnał wejściowy - napięcie  $U_{WE}$ , oraz skąd pobierany jest sygnał wyjściowy - napięcia  $U_1$ ,  $U_2$  oraz  $U_3$ .

Przy wyprowadzeniach oporników widoczne są **kropki** - oznaczające połączenie przewodów.

#### Slajd 28/59

Na rysunku przedstawiono trochę bardziej złożony schemat układu elektrycznego, pierwszego polskiego przenośnego radioodbiornika tranzystorowego - **Eltra MOT 59** (MOT - Miniaturowy Odbiornik Tranzystorowy) z roku 1959. Był to równocześnie pierwszy polski odbiornik zmontowany na płycie drukowanej (zdjęcie w prawym górnym rogu). Na schemacie widoczne są elementy elektroniczne: oporniki, kondensatory, cewki indukcyjne, elementy półprzewodnikowe - tranzystory i diody oraz przełączniki, głośnik i bateria zasilająca.

Slajd 29/59

Następny rysunek przedstawia schemat złożonego układu - nadajnika/odbiornika CB-radio.

Oprócz wspomnianych wyżej elementów elektronicznych widoczne są **układy scalone** będące zminiaturyzowanymi, zamkniętymi w obudowie, układami elektronicznymi.

Slajd 30/59

Prąd elektryczny

Slajd 31/59

**Prąd elektryczny** jest to uporządkowany ruch ładunków elektrycznych.

Jako kierunek przepływu prądu umówiono się przyjąć **kierunek ruchu ładunków dodatnich**.

**Natężenie prądu** – wielkość charakteryzująca przepływ prądu elektrycznego, zdefiniowana jako pochodna ładunku, przepływającego przez wyznaczoną powierzchnię (np. powierzchnia oznaczona - S) po czasie:

$$I = \frac{d}{dt} Q$$

Slajd 32/59

Prawa opisujące obwody elektryczne

Slajd 33/59

Definicja: **Obwód elektryczny** – jest to układ elementów tworzących drogę zamkniętą dla prądu elektrycznego.

Na rysunku przedstawiono schemat obwodu elektrycznego zbudowanego ze źródła siły elektromotorycznej - E , oraz trzech oporników, oznaczonych jako  $R_1$ ,  $R_2$  oraz  $R_3$  .

**Prawo Ohma** – prawo głoszące proporcjonalność natężenia prądu płynącego przez przewodnik do napięcia panującego między końcami przewodnika.

Proporcjonalność tą wyraża się wzorem:

$$U = R I,$$

gdzie współczynnik proporcjonalności - R nazywa się **rezystancją** lub **oporem elektrycznym**.



Slajd 34/59

**Pierwsze prawo Kirchhoffa** – prawo dotyczące przepływu prądu w rozgałęzieniach obwodu elektrycznego.

Rozpatrujemy fragment obwodu elektrycznego pokazany na rysunku. Pięć przewodów połączonych jest we wspólnym punkcie nazywanym - **węzłem obwodu elektrycznego**.

Zakładamy następujące kierunki przepływu prądów:

Prądy  $I_1$ ,  $I_2$  oraz  $I_3$  wpływają do węzła, a prądy  $I_4$  oraz  $I_5$  wypływają z węzła.

Pierwsze prawo Kirchhoffa stwierdza, że suma algebraiczna natężeń prądów wpływających do węzła (przyjętych jako natężenia dodatnie) i wypływających z węzła (przyjętych jako natężenia ujemne) jest równa zero:

$$\sum_i I_i = 0$$

W przypadku przedstawionym na rysunku mamy:

$$I_1 + I_2 + I_3 - I_4 - I_5 = 0.$$

Pierwsze prawo Kirchhoffa można też sformułować tak:

Suma natężeń prądów wpływających do węzła jest równa sumie natężeń prądów wypływających z tego węzła.

Pierwsze prawo Kirchhoffa wynika bezpośrednio z **zasady zachowania ładunku elektrycznego**.

Możemy je sformułować w równoważny sposób:

Suma algebraiczna ładunków elektrycznych wpływających w jednostce czasu do węzła obwodu elektrycznego i wypływających w jednostce czasu z węzła (przyjętych z przeciwnym znakiem) jest równa zero.

Slajd 35/59

**Drugie prawo Kirchhoffa**

W zamkniętym obwodzie suma sił elektromotorycznych, jest równa sumie spadków napięć na elementach tego obwodu.

$$\sum_i E_i = \sum_i I R_i$$

Rozpatrujemy obwód elektryczny pokazany na Slajdzie 33/59, zbudowany ze źródła siły elektromotorycznej -  $E$  oraz trzech oporników, oznaczonych jako  $R_1$ ,  $R_2$  oraz  $R_3$ .

Drugie prawo Kirchhoffa dla rozpatrywanego obwodu:

$$E = U_1 + U_2 + U_3$$

gdzie spadki napięć na opornikach  $R_1$ ,  $R_2$  oraz  $R_3$  wynoszą odpowiednio:

$$U_1 = I R_1, \quad U_2 = I R_2 \text{ oraz } U_3 = I R_3$$

Slajd 36/59

Wielkości charakteryzujące przebiegi elektryczne

Slajd 37/59

Rozpatrując zmiany w czasie natężenia prądu płynącego w obwodzie, możemy wyróżnić przebiegi elektryczne:

- stałe – " nazywane jako - **prąd stały**"
- zmienne – "nazywane jako - **prąd zmienny**"

Slajd 38/59

Wśród przebiegów elektrycznych - zmiennych, możemy wyróżnić:

- przebiegi zmienne **periodyczne (okresowe)**
- przebiegi nieperiodyczne – **impulsy**

Wśród prądów zmiennych występują **prądy przemienne (+/-)** ,  
charakteryzujące się periodyczną zmianą kierunku przepływu prądu.

Slajd 39/59

Przebiegi sinusoidalne

Modelowym przykładem prądu przemiennego jest **prąd sinusoidalnie zmienny**.

Slajd 40/59

Przebiegi sinusoidalne

Na wykresie przedstawiono przebieg funkcji:

$$x(t) = A \sin(\omega t),$$

( w chwili początkowej  $t = 0$ , mamy  $x(0) = 0$  ),

gdzie:

$x(t)$  – wartość w chwili ( $t$ )

$A$  – **amplituda**

$T$  – **okres drgań**

$\omega$  – **częstość** (częstość kołowa),  $\omega = 2\pi / T$

( $f$  - **częstotliwość**,  $f = 1 / T$ )

Na drugim wykresie przedstawiono przebieg bardziej ogólnej funkcji:

$$x(t) = A \sin(\omega t + \phi) ,$$

( w chwili początkowej  $t = 0$ , mamy  $x(0) = A \sin(\phi)$  ),

gdzie:

$\phi$  – **faza początkowa**

Slajd 41/59

Na wykresie przedstawiono przebieg napięcia sinusoidalnie zmiennego:

$$U = U_M \sin(\omega t)$$

gdzie:

$U_M$  - **amplituda napięcia**.

Podając wartość napięcia dla przebiegu sinusoidalnego, oprócz amplitudy -  $U_M$  , często wykorzystuje się wielkość nazywaną - **napięciem międzyszczytowym** -  $U_{pp}$  (**peak-to-peak**), zdefiniowaną jako różnica potencjałów między wartościami ekstremalnymi (minimum - maksimum).

Dla przebiegu sinusoidalnego spełniona jest zależność:

$$U_{pp} = 2 U_M .$$

Slajd 42/59

### **Wykresy wskazowe wielkości sinusoidalnie zmiennych**

W elektronice i elektrotechnice, do graficznej reprezentacji wielkości elektrycznych sinusoidalnie zmiennych stosowane są tak zwane - **wykresy wskazowe**.

Należy przy tym pamiętać, że mimo takiego samego wyglądu, **WSKAZ NIE JEST WEKTOREM**.

Przy pomocy wskazów opisujemy na przykład napięcie, które jest wielkością skalarną.

Wielkość:  $E$  , opisana zależnością:

$$E = E_m \sin(\omega t) ,$$

przedstawiona jest w postaci strzałki (**wskazu**)  
o początku umieszczonym w punkcie - 0, układu współrzędnych ( $x, y$ ).

Moduł wskazów równy jest amplitudzie -  $E_m$ .

Wskaz obraca się przeciwnie do ruchu wskazówek zegara dookoła punktu - 0,  
ze stałą prędkością kątową -  $\omega$ .

W chwili czasu  $t = 0$ , wskaz zajmuje położenie na dodatniej części osi -  $x$ .

W miarę upływu czasu powiększa się kąt  $\alpha = \omega t$ .

Rzut wskazów na oś -  $y$ , (odcinek  $OA'$ ) odpowiada wartości wielkości sinusoidalnie zmiennej,  
w chwili czasu -  $t$ .

Slajd 43/59

Na wykresie przedstawiono ewolucję w czasie wielkości opisanej zależnością:

$$E = E_m \sin(\omega t + \Psi) ,$$

gdzie:  $\Psi$  - faza początkowa.

Jak widać z wykresu, w chwili czasu  $t = 0$ , wskaz tworzy z osią -  $x$ , kąt -  $\Psi$ .

Następnie wskaz obraca się przeciwnie do ruchu wskazówek zegara dookoła punktu - 0,  
ze stałą prędkością kątową -  $\omega$ .

Slajd 44/59

Reprezentacja wielkości elektrycznych przy pomocy wskazów jest bardzo zbliżona  
do opisu wykorzystującego formalizm liczb zespolonych, prezentowanych na płaszczyźnie  
zespolonej.

Do zagadnienia tego powrócimy w dalszej części Wykładu.

Napięcie przemienne:

$$U(t) = U_M \sin(\omega t + \phi) ,$$

w formalizmie **liczb zespolonych** przedstawiamy w postaci:

$$U(t) = U_M \exp[i(\omega t + \phi)] .$$

Slajd 45/59

**Zastosowanie wykresów wskazowych do dodawania dwóch przebiegów sinusoidalnych.**

Na schemacie pokazano dwa połączone szeregowo źródła siły elektromotorycznej  $e_1$  oraz  $e_2$ , które należy zastąpić jednym źródłem napięcia -  $e = e_1 + e_2$ .

Oba przebiegi mają tę samą częstotliwość -  $\omega$ , natomiast różne amplitudy  $E_{1m}$  i  $E_{2m}$  oraz różne fazy początkowe  $\psi_1$  i  $\psi_2$ .

Slajd 46/59

Na wykresie przedstawiono przebiegi sinusoidalne odpowiadające napięciom  $e_1$  i  $e_2$  oraz sinusoidę wypadkową -  $e$ . Można ją otrzymać przez dodawanie wartości w każdym punkcie. Korzystając z tożsamości trygonometrycznych można też obliczyć jej amplitudę  $E_m$  oraz fazę początkową -  $\psi$ .

Można to jednak zrobić inaczej, korzystając z wykresów wskazowych.

Na wykresie przedstawiono wskazki składowe odpowiadające napięciom  $e_1$  i  $e_2$  oraz wskaz wypadkowy -  $e$ .

W omawianym przypadku przebiegi składowe mają tę samą częstotliwość -  $\omega$ , natomiast różne amplitudy  $E_{1m}$  i  $E_{2m}$  oraz różne fazy początkowe  $\psi_1$  i  $\psi_2$ .

Oznacza to, że kąt pomiędzy wskazami składowymi jest stały w czasie i jest równy:  $\psi_1 - \psi_2$ . Położenie wskazki wypadkowej względem wskazów składowych jest więc ustalone i stałe w czasie.

W miarę upływu czasu "zestaw trzech wskazów", jako nieruchoma całość obraca się przeciwnie do ruchu wskazówek zegara dookoła punktu - 0, ze stałą prędkością kątową -  $\omega$ .

Dowodzi to, że przebieg wypadkowy -  $e$ , jest przebiegiem sinusoidalnym, o stałej amplitudzie i częstotliwości -  $\omega$ .

Slajd 47/59

Na rysunku przedstawiono dodawanie dwóch wskazów. Stosuje się tutaj analogiczną, jak dla dodawania wektorów - **regułę równoległoboku**.

Biorąc pod uwagę, że dodawanie wektorów polega na dodawaniu ich współrzędnych, wykonujemy takie same operacje na wskazach.

Otrzymujemy w ten sposób amplitudę  $E_m$  oraz fazę początkową -  $\psi$ , wskazki wypadkowej -  $e$ .

Slajd 48/59

## Analiza Fourierowska

Slajd 49/59

Zgodnie z **twierdzeniem Fouriera** sygnał okresowy  $f(t)$ , o okresie równym  $T$ , można przedstawić w postaci sumy odpowiednich **składowych harmoniczych**:

$$f(t) = A_0 + \sum_{n=1}^{\infty} A_n \cos(n\omega_f t + \phi_n)$$

gdzie:

$A_n$ ,  $n\omega_f$  oraz  $\phi_n$  oznaczają odpowiednio amplitudę, częstość oraz przesunięcie fazowe  **$n$ -tej składowej harmoniczej** sygnału  $f(t)$ .

Slajd 50/59

**Amplituda  $A_0$**  określa wartość **składowej stałej sygnału**  $f(t)$  i dana jest zależnością:

$$A_0 = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} f(t) dt$$

natomiast **amplitudy  $A_n$**  :

$$A_n = \sqrt{a_n^2 + b_n^2}$$

gdzie:

$$a_n = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{T/2} f(t) \sin(n\omega_f t) dt$$

$$b_n = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{T/2} f(t) \cos(n\omega_f t) dt$$

natomiast częstość:

$$\omega_f = \frac{2\pi}{T} .$$

**Przesunięcia fazowe** poszczególnych składowych harmoniczných wynoszą

$$\phi_n = \arctg\left(\frac{b_n}{a_n}\right)$$

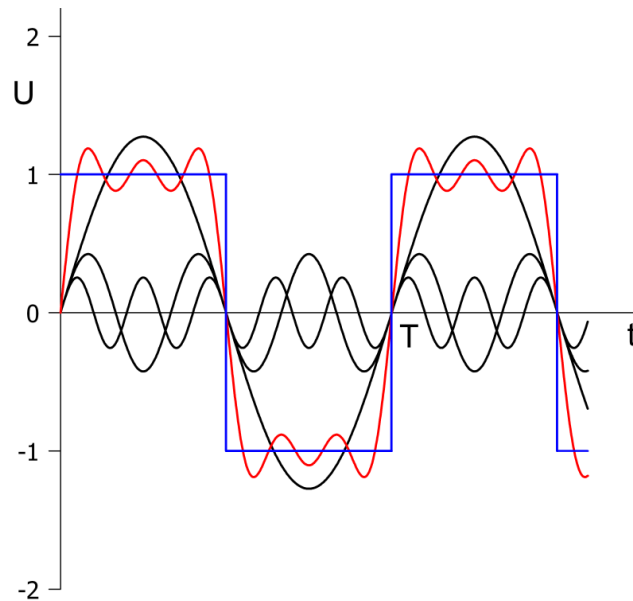
**Zbiór trójek liczb  $(A_n, n, \omega_f, \phi_n)$  nazywamy widmem sygnału okresowego  $f(t)$ .**

Slajdy 51/59 oraz 52/59

Jako przykład analizy fourierowskiej, na wykresie przedstawiono rozkład przebiegu prostokątnego  $F(t)$  o jednostkowej amplitudzie -  $A$ , na składowe harmoniczne. W widmie tego sygnału niezerowe są tylko składowe nieparzyste, i pierwsze trzy jego składowe wyglądają następująco:

$$\begin{aligned} F(t) &= \frac{4A}{\pi} \left[ \sin(\omega t) + \frac{1}{3} \sin(3\omega t) + \frac{1}{5} \sin(5\omega t) + \dots \right] = \\ &= 1.273 \sin(\omega t) + 0.4244 \sin(3\omega t) + 0.2546 \sin(5\omega t) + \dots \end{aligned}$$

Jak widać z wykresu uwzględnienie tylko trzech pierwszych (niezerowych) składowych, oddaje już w przybliżeniu charakter oryginalnego przebiegu.



*Rozkład przebiegu prostokątnego o jednostkowej amplitudzie i okresie  $T$  (kolor niebieski) na składowe harmoniczne. Kolorem czarnym przedstawiono trzy pierwsze (niezerowe) składowe, oraz ich sumę (kolor czerwony).*

Slajd 53/59

Na wykresie przedstawiono widma dwóch sygnałów okresowych: sygnału prostokątnego (o wartościach nieujemnych) i sygnału piłokształtnego.

Dla **sygnału prostokątnego** niezerowe wartości amplitud przypadają tylko dla składowych nieparzystych widma, przesunięcie fazowe dla tych składowych jest stałe i równe  $\pi/2$ .

Dla **sygnału piłokształtnego** niezerowe wartości amplitud otrzymujemy dla wszystkich składowych widma, przesunięcie fazowe jest stałe i równe  $\pi/2$ .

Slajd 54/59

Kształt przebiegów periodycznych charakteryzuje jeszcze jeden parametr - tak zwany **współczynnik wypełnienia impulsu**.

Na wykresie pokazano kształty przebiegów dla różnych wartości tego współczynnika. Jak widać z wykresu, periodyczny przebieg prostokątny możemy traktować jako powtarzany co okres -  $T$ , impuls prostokątny.

**Współczynnik wypełnienia impulsu** definiowany jest jako stosunek czasu trwania impulsu -  $\tau$ , do okresu -  $T$ .

Współczynnik ten wyrażany jest w postaci ułamka (z zakresu od 0 do 1) lub w procentach.



Na wykresach pokazano periodyczny przebieg prostokątny, o współczynnikach wypełnienia odpowiednio: 25% , 50% oraz 75%.

Przebieg o współczynniku wypełnienia 50%, nazywany jest też **przebiegiem symetrycznym**.

Slajd 55/59

Współczynnik wypełnienia (ang. **Duty Factor**) może być też wykorzystywany do charakteryzowania innych, niż prostokątne, przebiegów elektrycznych.

Na wykresach pokazano przebiegi:

- trójkątny, sinusoidalny i prostokątny o współczynnikach wypełnienia równym 50%, są to przebiegi **symetryczne**.
- trójkątny, sinusoidalny i prostokątny o współczynnikach wypełnienia równym 80%, są to przebiegi **asymetryczne**.

Slajd 56/59

Na slajdzie pokazano zrzut obrazu z oscyloskopu przedstawiający analizę widmową symetrycznego przebiegu trójkątnego, o częstotliwości 10 kHz.

Wykorzystana jest funkcja oscyloskopu cyfrowego - **FFT (Fast Fourier Transform)**.

Na dolnym panelu widoczna jest nastawa skali częstotliwości wynosząca 5.000 kHz/div (pięć kilohertzów na działkę skali poziomej).

Jak widać z wykresu widma, obserwujemy maksima, położone w punktach oddalonych o dwie, sześć oraz dziesięć działek od początku skali. Odpowiada to częstotliwościom równym 10 kHz (pierwsza składowa), 30 kHz (trzecia składowa) oraz 50 kHz (piąta składowa).

Składowe parzyste są praktycznie niewidoczne.

Widoczna jest tylko śladowo szósta składowa (60 kHz). Należy przy tym mieć na uwadze, że skala pionowa - jest skalą logarytmiczną. Szczątkowe występowanie składowych parzystych może mieć związek z niestabilnością sygnału prostokątnego (ang. signal jitter).

Jest to zgodne z przewidywaniami teoretycznymi, że dla przebiegów symetrycznych otrzymujemy tylko niezerowe składowe nieparzyste.

Slajd 57/59

Widmo sygnału ulega zmianie gdy zmieniamy wartość współczynnika wypełnienia.

Na slajdzie pokazano zrzut obrazu z oscyloskopu przedstawiający analizę widmową asymetrycznego przebiegu trójkątnego, o częstotliwości 10 kHz i wypełnieniu 40%.

Jak widać z wykresu widma, obserwujemy wszystkie maksima położone w punktach oddalonych

od siebie o dwie działki (czyli 10 kHz). Odpowiada to częstotliwościom równym 10 kHz (pierwsza składowa), 20 kHz (druga składowa), 30 kHz (trzecia składowa) 40 kHz (czwarta składowa), 50 kHz (piąta składowa) oraz 60 kHz (szósta składowa).

Jest to zgodne z przewidywaniami teoretycznymi, że dla przebiegów asymetrycznych otrzymujemy wszystkie składowe widma.

*Przedstawiona na Slajdach 56/59 oraz 57/59 analiza widma sygnałów, stanowi przedmiot części **Ćwiczenia nr 10** w Laboratorium Podstaw Elektroniki.*

Slajdy 58/59 oraz 59/59

Jako uzupełnienie podanych powyżej informacji o analizie widmowej sygnałów periodycznych na Slajdach 58/59 oraz 59/59 podano wyrażenia opisujące **widmo sygnałów nieperiodycznych**, oraz pokazano przykłady takich widm.