TECHNIKA SYGNAŁÓW ANALOGOWYCH

Andrzej Leśnicki

Gdańsk 2001
<table>
<thead>
<tr>
<th>Spis treści</th>
<th></th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>Przedmowa</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>Wykaz oznaczeń</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>1. Sygnały, elementy, układy i systemy</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>1.1. Wprowadzenie</td>
<td>5 str</td>
</tr>
<tr>
<td>1.2. Sygnały analogowe, dyskretyczne, cyfrowe</td>
<td>2 str</td>
</tr>
<tr>
<td>1.3. Układy przyczynowe i nieprzyczynowe</td>
<td>1 str</td>
</tr>
<tr>
<td>1.4. Układy o parametrach skupionych i rozłożonych</td>
<td>2 str</td>
</tr>
<tr>
<td>1.5. Układy liniowe i nieliniowe</td>
<td>2 str</td>
</tr>
<tr>
<td>1.6. Układy stałe w czasie i zmienne w czasie</td>
<td>2 str</td>
</tr>
<tr>
<td>1.7. Układy stabilne i niestabilne</td>
<td>1 str</td>
</tr>
<tr>
<td>1.8. Przepływ prądu przez rezystor</td>
<td>6 str</td>
</tr>
<tr>
<td>1.9. Indukcja elektryczna w kondensatorze</td>
<td>5 str</td>
</tr>
<tr>
<td>1.10. Indukcja magnetyczna w induktorze</td>
<td>6 str</td>
</tr>
<tr>
<td>1.11. Prawo rozpływu prądów</td>
<td>2 str</td>
</tr>
<tr>
<td>1.12. Prawo rozkładu napięć</td>
<td>2 str</td>
</tr>
<tr>
<td>1.13. Topologiczne właściwości układu</td>
<td>8 str</td>
</tr>
<tr>
<td>1.14. Prawo zachowania mocy i twierdzenie Tellegena</td>
<td>2 str</td>
</tr>
<tr>
<td>1.15. Obliczanie czułości metodą układu dołączonego</td>
<td>5 str</td>
</tr>
<tr>
<td>1.16. Dwójniki</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>1.16.1. Definicja dwójnika</td>
<td>1 str</td>
</tr>
<tr>
<td>1.16.2. Rezystor</td>
<td>4 str</td>
</tr>
<tr>
<td>1.16.3. Kondensator</td>
<td>4 str</td>
</tr>
<tr>
<td>1.16.4. Induktor</td>
<td>5 str</td>
</tr>
<tr>
<td>1.16.5. Memrystort</td>
<td>2 str</td>
</tr>
<tr>
<td>1.17. Wielowrotniki</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>1.17.1. Klasifikacja wielowrotników</td>
<td>5 str</td>
</tr>
<tr>
<td>1.17.2. Źródła sterowane</td>
<td>3 str</td>
</tr>
<tr>
<td>1.17.3. Żyrator</td>
<td>2 str</td>
</tr>
<tr>
<td>1.17.4. Konwerter ujemno-impedancyjny</td>
<td>2 str</td>
</tr>
<tr>
<td>1.17.5. Wzmacniacz operacyjny idealny</td>
<td>2 str</td>
</tr>
<tr>
<td>1.17.6. Wzmacniacz operacyjny rzeczywisty</td>
<td>5 str</td>
</tr>
<tr>
<td>1.17.7. Transformator idealny</td>
<td>2 str</td>
</tr>
<tr>
<td>1.17.8. Transformator rzeczywisty</td>
<td>7 str</td>
</tr>
<tr>
<td>1.18. Podstawowe sygnały</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>1.18.1. Klasifikacja sygnałów i ich parametry</td>
<td>7 str</td>
</tr>
<tr>
<td>1.18.2. Sygnały okresowe i prawie okresowe</td>
<td>4 str</td>
</tr>
<tr>
<td>1.18.3. Sygnał stały</td>
<td>1 str</td>
</tr>
<tr>
<td>1.18.4. Sygnał sinusoidalny</td>
<td>3 str</td>
</tr>
<tr>
<td>1.18.5. Skok jednostkowy</td>
<td>1 str</td>
</tr>
<tr>
<td>1.18.6. Impuls jednostkowy</td>
<td>4 str</td>
</tr>
<tr>
<td>1.18.7. Sygnał AM</td>
<td>2 str</td>
</tr>
<tr>
<td>1.18.8. Sygnał FM</td>
<td>4 str</td>
</tr>
<tr>
<td>1.19. Zadania</td>
<td>18 str</td>
</tr>
<tr>
<td>2. Liniowe układy rezystancyjne</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>2.1. Rezystancje zastępcze</td>
<td>5 str</td>
</tr>
</tbody>
</table>


<table>
<thead>
<tr>
<th>Strona</th>
<th>Opis</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>2.2</td>
<td>Dzielnik napięciowy i prądowy</td>
</tr>
<tr>
<td>2.3</td>
<td>Rzeczywiste źródła napięciowe i prądowe</td>
</tr>
<tr>
<td>2.4</td>
<td>Dopasowanie energetyczne</td>
</tr>
<tr>
<td>2.5</td>
<td>Dopasowanie falowe</td>
</tr>
<tr>
<td>2.6</td>
<td>Zasada wzajemności</td>
</tr>
<tr>
<td>2.7</td>
<td>Zasada kompensacji</td>
</tr>
<tr>
<td>2.8</td>
<td>Metoda superpozycji</td>
</tr>
<tr>
<td>2.9</td>
<td>Metoda przesuwania źródeł napięciowych</td>
</tr>
<tr>
<td>2.10</td>
<td>Metoda przesuwania źródeł prądowych</td>
</tr>
<tr>
<td>2.11</td>
<td>Metoda źródeł zastępczych Thévenina i Norton'a</td>
</tr>
<tr>
<td>2.12</td>
<td>Metoda prądów oczekowych</td>
</tr>
<tr>
<td>2.13</td>
<td>Nieoznaczona macierz rezystancyjna wielobiegunnika</td>
</tr>
<tr>
<td>2.14</td>
<td>Metoda napięć węzłowych</td>
</tr>
<tr>
<td>2.15</td>
<td>Nieoznaczona macierz konduktancyjna wielobiegunnika</td>
</tr>
<tr>
<td>2.16</td>
<td>Uogólniona metoda napięć węzłowych dla układów z idealnymi wzmacniaczami operacyjnymi</td>
</tr>
<tr>
<td>2.17</td>
<td>Algebraiczny sumator napięć</td>
</tr>
<tr>
<td>2.18</td>
<td>Drabinka R-2R</td>
</tr>
<tr>
<td>2.19</td>
<td>Układy mostkowe</td>
</tr>
<tr>
<td>2.20</td>
<td>Układy symetryczne</td>
</tr>
<tr>
<td>2.21</td>
<td>Układy polaryzacji tranzystorów bipolarnych</td>
</tr>
<tr>
<td>2.22</td>
<td>Źródła prądowe</td>
</tr>
<tr>
<td>2.23</td>
<td>Średnie konfiguracje z tranzystorem bipolarnym</td>
</tr>
<tr>
<td>2.24</td>
<td>Wzmacniacz różnicowy z tranzystorami bipolarnymi</td>
</tr>
<tr>
<td>2.25</td>
<td>Zmodyfikowana metoda napięć węzłowych</td>
</tr>
<tr>
<td>2.26</td>
<td>Metoda macierzy rzadkich</td>
</tr>
<tr>
<td>2.27</td>
<td>Zadania</td>
</tr>
</tbody>
</table>

**3. Nieliniowe układy rezystancyjne**

<table>
<thead>
<tr>
<th>Strona</th>
<th>Opis</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>3.1</td>
<td>Nieliniowe rezystancyjne przyrządy półprzewodnikowe</td>
</tr>
<tr>
<td>3.2</td>
<td>Graficzne metody analizy</td>
</tr>
<tr>
<td>3.3</td>
<td>Iteracyjne rozwiązywanie równań nieliniowych</td>
</tr>
<tr>
<td>3.4</td>
<td>Para różnicowa z tranzystorami bipolarnymi</td>
</tr>
<tr>
<td>3.5</td>
<td>Układy mnożników</td>
</tr>
<tr>
<td>3.6</td>
<td>Para różnicowa z tranzystorami polowymi</td>
</tr>
<tr>
<td>3.7</td>
<td>Układy prostownicze</td>
</tr>
<tr>
<td>3.8</td>
<td>Stabilizatory napięcia</td>
</tr>
<tr>
<td>3.9</td>
<td>Zadania</td>
</tr>
</tbody>
</table>

**4. Liniowe układy z sygnałami sinusoidalnymi**

<table>
<thead>
<tr>
<th>Strona</th>
<th>Opis</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>4.1</td>
<td>Rozwiązanie równań układu i transmitancja układu</td>
</tr>
<tr>
<td>4.2</td>
<td>Schemat zastępczy układu</td>
</tr>
<tr>
<td>4.3</td>
<td>Msce w układach z sygnałami sinusoidalnymi</td>
</tr>
<tr>
<td>4.4</td>
<td>Dopasowanie energetyczne</td>
</tr>
<tr>
<td>4.5</td>
<td>Dopasowanie falowe</td>
</tr>
<tr>
<td>4.6</td>
<td>Rezonans w dwójnikach</td>
</tr>
<tr>
<td>4.7</td>
<td>Szeregowy obwód rezonansowy</td>
</tr>
<tr>
<td>4.8</td>
<td>Równoległy obwód rezonansowy</td>
</tr>
<tr>
<td>4.9</td>
<td>Obwód rezonansowy z dzieloną pojemnością</td>
</tr>
<tr>
<td>4.10</td>
<td>Para obwodów sprzężonych</td>
</tr>
<tr>
<td>4.11. Układy dualne</td>
<td>4 str</td>
</tr>
<tr>
<td>---------------------</td>
<td>------</td>
</tr>
<tr>
<td>4.12. Charakterystyki i asymptoty Bodego</td>
<td>8 str</td>
</tr>
<tr>
<td>4.13. Charakterystyki częstotliwościowe wzmacniaczy szerokopasmowych RC</td>
<td>8 str</td>
</tr>
<tr>
<td>4.14. Sieć energetyczna</td>
<td>4 str</td>
</tr>
<tr>
<td>4.15. Zadania</td>
<td>19 str</td>
</tr>
</tbody>
</table>

<table>
<thead>
<tr>
<th>5. Liniowe układy z sygnałami przyczynowymi</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>5.1. Wprowadzenie</td>
</tr>
<tr>
<td>5.2. Warunki komutacji</td>
</tr>
<tr>
<td>5.3. Metoda klasyczna analizy</td>
</tr>
<tr>
<td>5.3.1. Równania różniczkowe układu</td>
</tr>
<tr>
<td>5.3.2. Metoda uzmienniania stałych</td>
</tr>
<tr>
<td>5.3.3. Układy pierwszego rzędu</td>
</tr>
<tr>
<td>5.3.4. Układy drugiego rzędu</td>
</tr>
<tr>
<td>5.4. Stabilność układu</td>
</tr>
<tr>
<td>5.4.1. Pojęcie stabilności w sensie Lapunowa</td>
</tr>
<tr>
<td>5.4.2. Zależność stabilności od pierwiastków równania charakterystycznego</td>
</tr>
<tr>
<td>5.4.3. Algebraiczne kryterium stabilności Routha-Hurwitza</td>
</tr>
<tr>
<td>5.5. Metoda operatorowa analizy</td>
</tr>
<tr>
<td>5.5.1. Jednostronne przekształcenie Laplace’a</td>
</tr>
<tr>
<td>5.5.2. Transformaty Laplace’a sygnałów</td>
</tr>
<tr>
<td>5.5.3. Właściwości przekształcenia Laplace’a</td>
</tr>
<tr>
<td>5.5.4. Operatorowa metoda rozwiązywania równań różniczkowych</td>
</tr>
<tr>
<td>5.5.5. Rozkład funkcji wymiernej na ułamki proste</td>
</tr>
<tr>
<td>5.5.6. Operatorowy schemat zastępczy układu</td>
</tr>
<tr>
<td>5.5.7. Dwustronne przekształcenie Laplace’a</td>
</tr>
<tr>
<td>5.6. Charakterystyki czasowe układu</td>
</tr>
<tr>
<td>5.6.1. Odpowiedzi impulsowa i skokowa</td>
</tr>
<tr>
<td>5.6.2. Całka splotowa Borela</td>
</tr>
<tr>
<td>5.6.3. Całka superpozycji Duhamela</td>
</tr>
<tr>
<td>5.7. Zadania</td>
</tr>
</tbody>
</table>

<table>
<thead>
<tr>
<th>6. Metoda zmiennych stanu</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>6.1. Równania stanu i wyjścia</td>
</tr>
<tr>
<td>6.2. Rozwiązanie równania stanu w dziedzinie czasu</td>
</tr>
<tr>
<td>6.3. Rozwiązanie równania stanu metodą przekształcenia Laplace’a</td>
</tr>
<tr>
<td>6.4. Przekształcenie równania różniczkowego n-tego rzędu do równania stanu</td>
</tr>
<tr>
<td>6.5. Wyznaczenie rozwiązania okresowego stanu ustalonego</td>
</tr>
<tr>
<td>6.6. Metoda płaszczyzny fazowej</td>
</tr>
<tr>
<td>6.7. Zadania</td>
</tr>
</tbody>
</table>

<table>
<thead>
<tr>
<th>7. Szeregi Fouriera</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>7.1. Uogólniony szereg Fouriera</td>
</tr>
<tr>
<td>7.2. Trygonometryczny szereg Fouriera</td>
</tr>
<tr>
<td>7.3. Wykładniczy szereg Fouriera</td>
</tr>
<tr>
<td>7.4. Właściwości szeregu Fouriera</td>
</tr>
<tr>
<td>7.5. Sygnały okresowe w układach liniowych</td>
</tr>
<tr>
<td>7.6. Funkcje Haara i falki</td>
</tr>
<tr>
<td>7.7. Zadania</td>
</tr>
</tbody>
</table>
### 8. Przekształcenie Fouriera

8.1. Związki przekształcenia Fouriera z szeregiem Fouriera........................................... 2 str
8.2. Proste i odwrotne przekształcenie Fouriera................................................................. 4 str
8.3. Właściwości przekształcenia Fouriera.......................................................................... 12 str
8.4. Wpływ układu na widmo sygnału.................................................................................. 6 str
8.5. Warunek quasi-stacjonarności FM................................................................................ 3 str
8.6. Zależność charakterystyk częstotliwościowych od rozkładu zer i biegunów.................... 9 str
8.7. Szumy w układach

<p>| | |</p>
<table>
<thead>
<tr>
<th></th>
<th></th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>8.7.1. Widma szumów</td>
<td>4 str</td>
</tr>
<tr>
<td>8.7.2. Współczynnik szumów</td>
<td>8 str</td>
</tr>
<tr>
<td>8.7.3. Filtr dopasowany</td>
<td>4 str</td>
</tr>
<tr>
<td>8.8. Widma okien czasowych</td>
<td>6 str</td>
</tr>
<tr>
<td>8.9. Krótkoczasowe przekształcenie Fouriera STFT.</td>
<td>2 str</td>
</tr>
<tr>
<td>8.10. Zadania</td>
<td>11 str</td>
</tr>
</tbody>
</table>

### 9. Przekształcenie Hilberta

9.1. Definicja i właściwości przekształcenia Hilberta................................................... 7 str
9.2. Sygnał analityczny................................. 8 str
9.3. Obwiednia zespolona sygnału pasmowego................................................................. 6 str
9.4. Sygnał SSB-SC........................................ 2 str
9.5. Współzależność między charakterystykami częstotliwościowymi.................................. 4 str
9.6. Zadania..................................................... 4 str

### 10. Układy czwórnikowe

10.1. Macierze charakterystyczne czwórnika.................................................................... 9 str
10.2. Klasifikacja czwórników......................................................................................... 3 str
10.3. Połączenia czwórników............................................................................................. 8 str
10.4. Metoda algebraiczna przekształcenia układu w czwórnik........................................ 3 str
10.5. Parametry robocze układu czwórnikowego.............................................................. 7 str
10.6. Parametry falowe czwórnika..................................................................................... 7 str
10.7. Macierz rozproszenia czwórnika............................................................................... 9 str
10.8. Filtry LC
10.8.1. Filtr Butterwortha............................................................... 6 str
10.8.2. Filtr Czebyszewa................................................................. 6 str
10.8.3. Filtr Bessela............................................................................. 7 str
10.8.4. Transformacje częstotliwościowe filtra................................................................. 4 str
10.9. Zadania......................................................... 16 str

### 11. Układy ze sprzężeniem zwrotnym

11.1. Pętla sprzężenia zwrotnego...................................................................................... 3 str
11.2. Częstotliwościowe kryterium stabilności................................................................. 4 str
11.3. Czwórnikowe sprzężenie zwrotnie............................................................................ 15 str
11.4. Generatory drgań sinusoidalnych............................................................................ 6 str
11.5. Komputerowa metoda analizy układów ze sprzężeniem zwrotnym......................... 7 str
11.6. Zadania......................................................... 9 str

### 12. Linie transmisyjne

12.1. Parametry linii transmisyjnej.................................................................................. 5 str
12.2. Konstrukcje linii transmisyjnych............................................................................... 4 str
12.3. Odcinek linii transmisyjnej jako czwórnik.................................................................7 str
12.4. Metoda fal wędrujących..............................................................................................6 str
12.5. Metoda graficzna Bergerona......................................................................................3 str
12.6. Wykres Smitha........................................................................................................4 str
12.7. Zadania......................................................................................................................7 str

Literatura........................................................................................................................................3 str

Dodatek A. Jednostki miary, oznaczenia i wartości stałych..................................................6 str
Dodatek B. Znormalizowane wartości elementów.................................................................2 str
Dodatek C. Macierze................................................................................................................4 str
Dodatek D. Liczby zespolone i wskazy................................................................................4 str
Dodatek E. Chronologia........................................................................................................2 str
Dodatek F. Biografie..............................................................................................................12 str
Przedmowa

Książka jest przeznaczona dla studentów kierunków Elektronika i Telekomunikacja, Inżynieria Biomedyczna oraz Automatyka i Robotyka. Ma stanowić pomoc przy prowadzeniu wykładów, ćwiczeń tablicowych, laboratorium głównie z przedmiotu Obwody i Sygnały. Dotyczy sygnałów i układów analogowych.

W książce położono nacisk na połączenie teorii z praktycznymi zastosowaniami. Przydatność teorii jest ilustrowana przykładami analizy i projektowania prostych układów elektronicznych. Książka zawiera bardzo dużą liczbę przykładów i zadań do samodzielnego rozwiązania. Ujednolicono oznaczenia i symbole używane w dziedzinie teorii obwodów i układów elektronicznych. Przyjęto konwencję obowiązującą dla układów elektronicznych (np. oznaczenie napięcia \( v(t) \), stosowne symbole źródeł napięciowych i prądowych), gdyż jest to konwencja, od której nie ma odwrotu z chwilą, gdy upowszechniła się w programach komputerowej symulacji układów elektronicznych i zawartych w nich edytorach schematów układów elektronicznych.

Wiele zagadnień z dziedziny sygnałów i układów analogowych przenosi się na sygnały i układy dyskretnie i cyfrowe (np. splot sygnałów, przekształcenia całkowe sygnałów, zagadnienia filtracji), które są opisane w innej książce pt. Technika Cyfrowego Przetwarzania Sygnałów. Związek między obu książkami podkreśla użycie w tytułach obu książek tego samego wyrazu „technika”. W tej książce wyraz technika oznacza metody, sposoby badania sygnałów i układów analogowych.


Andrzej Leśnicki
Wykaz oznaczeń

\(a(t)\) - amplituda chwilowa sygnału analitycznego
\(A\) - macierz incydencji
\(A(\omega)\) - charakterystyka amplitudowa lub widmo amplitudowe
\(B\) - indukcja magnetyczna
\(B\) - macierz obwodowa
\(B_{3dB}\) - pasmo trzydecybelowe
\(B(\omega)\) - susceptancja
\(B_n(x)\) - wielomian Bessela
cos\(\varphi\) - współczynnik mocy
\(C\) - pojemność kondensatora
\(C_n(x)\) - wielomian Czebyszewa
\(D^F_x\) - czułość bezwzględna
e\(t\) - chwilowa wydajność źródła napięciowego
\(E\) - wydajność źródła napięcia stałego lub natężenie pola elektrycznego
\(E_x\) - energia sygnału \(x(t)\)
f - częstotliwość
f\(t\) - częstotliwość chwilowa
\(F\) - współczynnik szumów
\(F(\omega)\) - operacja wykonywana przez układ na sygnale wejściowym
\(F(\omega)\) - różnica zwrotna
\(\mathcal{F}\{x(t)\}\) - przekształcenie (transformata) Fouriera sygnału \(x(t)\)
g - stała przenoszenia falowego
g\(t\) - odpowiedź skokowa
g\(m\) - konduktancja wzajemna (transkonduktancja)
\(G\) - przewodność (konduktancja) rezystora
\(h(t)\) - odpowiedź impulsowa
\(H\) - natężenie pola magnetycznego
\(\hat{H}(j\omega) = H(j\omega) = H(\omega)\) - transmitancja (częstotliwościowa)
\(H(s)\) - transformat (operatorowa)
\(H_f\) - transmitancja układu z zamkniętą pętlą sprzężenia zwrotnego
\(H_i\) - wzmacnienie prądowe
\(H_p\) - wzmacnienie mocy
\(H_{pd}\) - dysponowane wzmacnienie mocy
\(H_{pe}\) - skuteczne (efektywne) wzmacnienie mocy
\(H_v\) - wzmacnienie napięciowe
\(H_A(\omega)\) - transmitancja filtru Hilberta
\(H_T(\omega)\) - transmitancja transformatora Hilberta
\(\mathcal{H}\{x(t)\}\) - przekształcenie (transformata) Hilberta sygnału \(x(t)\)
i\(t\) - prąd chwilowy
j\(t\) - chwilowa wydajność źródła prądowego
\(J\) - wydajność źródła prądu stałego
$k$ - współczynnik sprzężenia transformatora rzeczywistego lub współczynnik konwersji konwertera ujemno-impedancyjnego

$k_{k}$ - współczynnik kształtu

$k_{s}$ - współczynnik szczytu

$K_{n}(a_{1},...,a_{n})$ - kontynuanta

$l$ - długość

$L$ - indukcyjność induktora

$L\{x(t)\}$ - przekształcenie (transformata) Laplace’a sygnału $x(t)$

$\text{LSB}$ - najmniej znaczący bit

$\text{MSB}$ - najbardziej znaczący bit

$\text{NIC}$ - konwerter ujemno-impedancyjny

$p_{i}$ - bieguny transmitancji

$p(t)$ - moc chwilowa

$P$ - moc czynna

$P_{d}$ - moc dysponowana

$q(t)$ - ładunek elektryczny chwilowy

$Q$ - ładunek elektryczny stały lub moc bierna lub dobroć obwodu rezonansowego

$Q_{x}^{F}$ - czułość półwzględna

$r_{m}$ - rezystancja wzajemna (transrezystancja)

$R$ - rezystancja rezystora

$R_{xx}(\tau)$ - funkcja korelacji własnej (autokorelacja) sygnału $x(t)$

$R_{xy}(\tau)$ - funkcja korelacji wzajemnej (skrośnej) sygnałów $x(t)$ i $y(t)$

$s(t)$ - sygnał analogowy

$\text{sgn}(t)$ - funkcja znak (signum)

$\hat{S}$ - moc zespolona

$|\hat{S}|$ - moc pozorna

$S_{r}$ - szybkość narastania napięcia wyjściowego (ang. slew-rate)

$S_{x}^{F}$ - czułość względna

$\text{SLS}$ - element, układ skupiony, liniowy, stały w czasie

$t$ - czas

$T$ - temperatura zera bezwzględnego

$T_{e}$ - równoważna temperatura szumów

$T_{o}$ - okres podstawowy sygnału okresowego

$T(a)$ - stosunek zwrotowy

$u(t)$ - skok jednostkowy (jedynka Heaviside’a)

$v(t)$ - napięcie chwilowe

$w(t)$ - energia chwilowa lub okno czasowe

$\text{WFS}$ - współczynnik fali stojącej

$\hat{x}$ - daszek podkreślą, że liczba $x$ jest liczbą zespoloną

$x(t)$ - analogowy sygnał wejściowy (pobudzenie)

$x^{*}(t)$ - gwiazdka oznacza wartość zespoloną sprzężoną
\( x(t) \ast h(t) \) - gwiazdka oznacza całkę splotową dwóch sygnałów
\( \langle x, h \rangle \) - iloczyn skalarny
\( x_p(t) \) - część o symetrii parzystej sygnału \( x(t) \)
\( x_n(t) \) - część o symetrii nieparzystej sygnału \( x(t) \)
\( x_i(t) \) - część urojona sygnału zespółonego \( x(t) \) lub składowa synfazowa
\( x_q(t) \) - składowa kwadraturowa
\( x_0(t) \) - część rzeczywista sygnału zespółonego
\( \tilde{x}(t) = x_i(t) + j x_q(t) \) - obwiednia zespolona sygnału pasmowego
\( X_m \) - amplituda sygnału \( x(t) \)
\( X_{pp} \) - wartość międzyzcztotowa sygnału \( x(t) \)
\( X_{sk} \) - wartość skuteczna sygnału \( x(t) \)
\( X_0 \) - wartość średnia sygnału \( x(t) \)
\( X_{0,po} \) - wartość średnia półokresowa sygnału okresowego antysymetrycznego
\( X(\omega) \) - reaktancja
\( X_i(\omega) \) - część urojona widma \( X(\omega) \)
\( X_q(\omega) \) - część rzeczywista widma \( X(\omega) \)
\( y(t) \) - analogowy sygnał wyjściowy (odpowiedź)
\( Y \) - admittance
\( z_i \) - zera transmitancji
\( z(t) = A \{ x(t) \} \) - sygnał analityczny utworzony z sygnału \( x(t) \)
\( Z \) - impedancja
\( Z_f \) - impedancja falowa
\( Z_0 \) - impedancja charakterystyczna
\( \alpha(\omega) \) - współczynnik tłumienia
\( \beta(\omega) \) - współczynnik fazy lub transmitancja bloku sprzężenia zwrotnego
\( \gamma \) - przewodność właściwa lub współczynnik propagacji
\( \Gamma \) - współczynnik odbicia
\( \delta \) - gęstość prądu elektrycznego
\( \delta(t) \) - impuls jednostkowy (delta Diraca)
\( \varepsilon \) - przenikalność elektryczna lub parametr zafalowania charakterystyki filtru
\( \lambda \) - długość fali
\( \mu \) - przenikalność magnetyczna
\( \sigma_x^2 \) - wariancja sygnału \( x(t) \)
\( \tau(\omega) \) - opóźnienie fazowe
\( \tau_g(\omega) \) - opóźnienie grupowe
\( \phi(t) \) - faza chwilowa
\( \phi(\omega) \) - charakterystyka fazowa lub widmo fazowe
\( \Phi \) - strumień magnetyczny
\( \psi(t) \) - strumień magnetyczny skojarzony chwilowy
\( \omega \) - pulsacja
\( \omega(t) \) - pulsacja chwilowa