



„EUROELEKTRA”
Ogólnopolska Olimpiada Wiedzy Elektrycznej i Elektronicznej
Rok szkolny 2020/2021

Zadania z teleinformatyki na zawody II stopnia

Instrukcja dla zdającego

1. Czas trwania zawodów: 120 minut.
2. II stopień Olimpiady zawiera 5 zadań otwartych.
3. Należy podać poprawną odpowiedź wraz z tokiem rozwiązania.
4. Za każdą prawidłową odpowiedź uzyskuje się maksymalnie 10 punktów. Maksymalna liczba punktów do zdobycia za 5 zadań to 50 punktów.
5. Można korzystać z przyborów do pisania, rozdawanych kart czystopisu i brudnopisu, kalkulatorów i tablic matematycznych. Korzystanie z notebooków, tabletów, telefonów komórkowych, smartfonów, smartwatchy, kalkulatorów programowalnych, itp. jest zabronione.

Życzymy powodzenia!

Lp.	Zadanie
1.	<p>Zbudowano światłowodową sieć w architekturze pierścienia pracującą w standardzie transmisyjnego systemu CWDM (Coarse Wavelength Division Multiplexing). Sieć składa się z podwójnego pierścienia, co zapewnia dwukierunkową komunikację z możliwością protekcji przestrzennej. W pierścieniu zostało zlokalizowanych 6 węzłów, w których znajdują się optyczne transferowe multipleksery OADM (Optical Add/Drop Multiplexer), których porty wejścia/wyjścia wnoszą tłumienie 2.5dB, zaś jego tłumienie przelotowe w całym zakresie pracy wynosi 3dB. Pierwszy węzeł stanowi główny multiplekser, jako podstawowe źródło sygnałów optycznych. W międzywęzłowych torach światłowodowych został zastosowany kabel światłowodowy z 2 włóknami standardu ITU-T G.652D. Międzywęzłowe tory wynoszą odpowiednio: 5km, 15km, 18km, 9km, 14km oraz 10km. Zastosowano kablowe odcinki fabrykacyjne o długości 4km. Każde światłowodowe pole krosowe wnosi tłumienie 0.3dB, zaś każdy spaw w torze średnio 0.1dB (w całym zakresie pracy systemu). Światłowód dla kanału optycznego numer 3 ($\lambda_3 = 1311\text{nm}$) cechuje się tłumiennością 0.35dB/km, zaś dla kanału optycznego numer 15 ($\lambda_{15} = 1551\text{nm}$) posiada tłumienność 0.18dB/km. Przyjmujemy, że decybelowa charakterystyka tłumiennościowa światłowodu w podanym zakresie długości fal optycznych (między 3 i 15 kanałem) jest liniowa. Transpondery optyczne CWDM pracują z mocą wyjściową wynoszącą 3dBm.</p> <p>Jaką minimalną czułością powinien cechować się odbiornik transpondera CWDM pracującego na kanale 7 i 11, jeśli sygnał optyczny będzie musiał pokonać najdłuższą możliwą drogę w sieci? Podane dwie wartości czułości muszą być poprzedzone związanymi z tym obliczeniami. Proszę narysować schemat sieci z jasnym wskazaniem najdłuższej pasywnej ścieżki optycznej w pierścieniu, która może być pokonana przez sygnał optyczny.</p>

Obliczenia:

W celu wyznaczenia tłumienności światłowodu dla kanałów 7 i 11, zastosujemy układ dwóch równań stanowiących funkcje prostej:

$$\begin{cases} T_3 = a\lambda_3 + b \\ T_{15} = a\lambda_{15} + b \end{cases}$$

Rozwiązujemy układ równań i podstawiamy znane wartości długości fal oraz tłumienności. W wyniku obliczeń uzyskujemy:

$$a = -0.70833, \quad b = 1.27863$$

Wyznaczamy długości fal nośnych dla kanałów 7 i 11:

$$\lambda_7 = \lambda_3 + (7-3) \cdot 0.02 \mu\text{m} = 1.391 \mu\text{m}$$

$$\lambda_{11} = \lambda_3 + (11-3) \cdot 0.02 \mu\text{m} = 1.471 \mu\text{m}$$

Liczymy tłumienność światłowodu dla kanałów 7 i 11:

$$T_7 = a\lambda_7 + b = -0.70833 \cdot 1.391 + 1.27863 = 0.293 \text{ dB/km}$$

$$T_{11} = a\lambda_{11} + b = -0.70833 \cdot 1.471 + 1.27863 = 0.237 \text{ dB/km}$$

Sygnal w określonym kanale optycznym nie może wrócić do źródła, zatem najdalej w szóstym węźle musi być wyprowadzony. Główny OADM jest podłączony do torów światłowodowych L_1 i L_6 . Tor L_6 jest dłuższy, zatem sygnały z kanałów 7 i 11 zostaną skierowane do toru L_6 i pokonają wszystkie 6 węzłów, co będzie stanowiło najdłuższą możliwą ścieżkę optyczną. Sygnały te nie trafią tylko do toru L_1 . W kolejnym kroku należy obliczyć łączne tłumienie tej ścieżki dla sygnałów w kanałach 7 i 11, które będzie wynosiło:

$$\begin{aligned} T_{7\max} &= T_7 \cdot (L_2 + L_3 + L_4 + L_5 + L_6) + 10 \cdot T_C + 2 \cdot T_{IN/OUT} + 4 \cdot T_{PASS} + \\ &+ \left(\left\lfloor \frac{L_2}{\Delta L} \right\rfloor + \left\lfloor \frac{L_3}{\Delta L} \right\rfloor + \left\lfloor \frac{L_4}{\Delta L} \right\rfloor + \left\lfloor \frac{L_5}{\Delta L} \right\rfloor + \left\lfloor \frac{L_6}{\Delta L} \right\rfloor + 2 \cdot 5 \right) \cdot T_S = 41.76 \text{ dB} \\ T_{11\max} &= T_{11} \cdot (L_2 + L_3 + L_4 + L_5 + L_6) + 10 \cdot T_C + 2 \cdot T_{IN/OUT} + 4 \cdot T_{PASS} + \\ &+ \left(\left\lfloor \frac{L_2}{\Delta L} \right\rfloor + \left\lfloor \frac{L_3}{\Delta L} \right\rfloor + \left\lfloor \frac{L_4}{\Delta L} \right\rfloor + \left\lfloor \frac{L_5}{\Delta L} \right\rfloor + \left\lfloor \frac{L_6}{\Delta L} \right\rfloor + 2 \cdot 5 \right) \cdot T_S = 38.02 \text{ dB} \end{aligned}$$

W kroku końcowym liczymy poziom sygnału docierającego do odbiornika:

$$P_{7IN} = P_{OUT} - T_{7\max} = -38.76 \text{ dBm}$$

$$P_{11IN} = P_{OUT} - T_{11\max} = -35.02 \text{ dBm}$$

Odpowiedź:

Najdłuższą ścieżką optyczną do pokonania w pierścieniu CWDM jest odcinek 66 km, który składa się z torów 2-6. Aby transpondery CWDM pracujące na kanałach optycznych 7 i 11 pracowały poprawnie, przy konkretnej przepływności bitowej, powinny cechować się czułością większą niż odpowiednio -38.76 dBm oraz -35.02 dBm. Przy założeniu, że w ścieżce musi być zastosowana rezerwa mocy, czułość powinna być wyższa od -40 dBm.

2. Bezprzewodowy interfejs mobilnego systemu 5G Rel-16 wykorzystuje w kierunku DL (Down-Link) modulację w formacie CP-OFDM, która jest zgodna z interfejsem 4G (LTE). W ramce TDM interfejsu 5G zastosowano szczelinę czasową o czasie trwania 1 ms. W przypadku współczynnika numerologicznego wynoszącego 0 w szczelinie czasowej transportowanych jest 14 symboli CP-OFDM, które zostały wyposażone w przedrostek cykliczny CP, którego czas trwania stanowi 1/15 czasu całego symbolu CP-OFDM. W interfejsie komunikacji bezprzewodowej zastosowano technikę MIMO 16x16, zaś podnośne CP-OFDM w liczbie 3168 zostały poddane modulacji pasmowej 256-QAM.
- Jaki należy zastosować współczynnik numerologiczny w kanale 5G-MIMO, aby uzyskać przepływność brutto 45.416448 Gb/s ? Proszę dodatkowo podać częstotliwościową

	<p>szerokość kanału CP-OFDM. Odpowiedzi muszą być poprzedzone stosowanymi obliczeniami.</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 10px; margin-top: 10px;"> <p><u>Obliczenia:</u></p> <p>Określamy przepływność bodową w kanale CP-OFDM o współczynniku numerologicznym $\mu = 0$, gdzie znana jest czasowa postać ramki TDM oraz liczba symboli przypadająca na szczelinę czasową:</p> $R_{b0} = \frac{K}{\Delta T}$ <p>Wyznaczamy przepływność bodową w docelowym kanale CP-OFDM:</p> $R_{b\mu} = 2^\mu \cdot R_{b0}$ <p>Wprowadzamy zależność na końcową przepływność brutto w kanale 5G-MIMO:</p> $R = R_{b\mu} \cdot \log_2 N \cdot L_{OFDM} \cdot M = 2^\mu \cdot R_{b0} \cdot \log_2 N \cdot L_{OFDM} \cdot M =$ $= \frac{2^\mu \cdot K}{\Delta T} \cdot \log_2 N \cdot L_{OFDM} \cdot M$ <p>Przekształcamy powyższą zależność tak, aby numerologiczny parametr μ znalazł się przed znakiem równości i wykonujemy obliczenia:</p> $\mu = \log_2 \frac{R \cdot \Delta T}{K \cdot \log_2 N \cdot L_{OFDM} \cdot M} = \log_2 \left(\frac{45.416448 \text{ Gb/s} \cdot 1 \text{ ms}}{14 \cdot \log_2 256 \cdot 3168 \cdot 16} \right) = 3$ <p>W kolejnym kroku wyznaczamy czas trwania symbolu CP-OFDM:</p> $T_{OFDM} = \frac{1}{R_{b\mu}} = \frac{1}{2^\mu \cdot R_{b0}} = \frac{\Delta T}{2^\mu \cdot K}$ <p>Wyznaczamy czas trwania części symbolu OFDM przenoszącej informację, który podlega transformacji FFT/DFT:</p> $T_{FFT} = T_{OFDM} - T_{CP} = T_{OFDM} - T_{OFDM} \cdot CP = T_{OFDM} (1 - CP)$ <p>Określamy częstotliwościowy odstęp między podnośnymi CP-OFDM w kanale dla obliczonego parametru numerologicznego μ:</p> $\Delta f_{OFDM} = \frac{1}{T_{FFT}} = \frac{1}{T_{OFDM} (1 - CP)} = \frac{2^\mu \cdot \frac{K}{\Delta T}}{1 - CP} = \frac{2^\mu \cdot K}{\Delta T (1 - CP)} = \frac{2^3 \cdot 14}{1 \text{ ms} \cdot (1 - 1/15)} = 120 \text{ kHz}$ <p>Wykonujemy obliczenia szerokości kanału częstotliwościowego:</p> $\Delta F = L_{OFDM} \cdot \Delta f_{OFDM} = 3168 \cdot 120 \text{ kHz} = 380.16 \text{ MHz}$ <p><u>Odpowiedź:</u></p> <p>W celu uzyskania podanej przepływności brutto w kanale 5G-MIMO, należy zastosować interfejs o współczynniku numerologicznym wynoszącym 3. Dla obliczonego współczynnika numerologicznego oraz pozostałych podanych parametrów interfejsu, zostanie utworzony kanał częstotliwościowy o łącznej szerokości wynoszącej 380.16 MHz. W celu poprawnej pracy kanału należy także zastosować odstępy ochronne z prawej i lewej strony.</p> </div>
3.	<p>Do linii transmisyjnej dołączono źródło sygnału dla którego zmierzono moc na wejściu linii o wartości 1 [W]. W wyniku niedopasowania impedancyjnego po stronie wtórnej (odbiorczej) na wejściu linii zmierzono moc fali powrotnej (odbitej) o wartości 1[μW]. Jaka jest długość linii transmisyjnej jeśli jej tłumienność jednostkowa wynosi 10 dB/100m, a tłumienność odbiciowa RL po stronie odbiornika wynosi 30 [dB].</p>

	<p><u>Odpowiedź:</u> Poziom sygnału nadawanego na wejściu linii w dB:</p> $n_1 = 10 \log \left(\frac{1[W]}{1[mW]} \right) = 30[dBm]$ <p>Poziom sygnału powrotnego(odbitego):</p> $n_2 = 10 \log \left(\frac{1[\mu W]}{1[mW]} \right) = -30[dBm]$ <p>Bilans A_c – tłumienie całkowite sygnału $A_c = n_1 - n_2 = 30 - (-30) = 60[dB]$ A_1 – tłumienie linii – występuje dwukrotnie zarówno dla fali docelowej jak i odbitej stąd</p> $A_c = 2 * A_1 + RL$ $A_1 = \frac{(A_c - RL)}{2}$ $A_1 = \frac{(60 - 30)}{2}$ <p>Czyli $A_1 = 15[dB]$, a długość linii $l = \left(\frac{15}{10}\right) * 100 = 150[m]$</p>
4.	<p>Dla łącza radiowego użyto dwóch identycznych urządzeń nadawczo-odbiorczych.</p> <p><u>Dane:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> TSL= 30 [dBm] - moc nadajnika FM= 12 [dB] - margines na zaniki GL= 5[dB] - straty w gazach atmosferycznych CL= 6,5[dB] - tłumienie elementów pomiędzy nadajnikiem (odbiornikiem) a anteną FSL= 110 [dB] - tłumienie wolnej przestrzeni <p>Wymagania – minimalny poziom RSL= -62dBm</p> <p>Wyznaczyć zyski anten (RAG i TAG są jednakowe) tak aby łącze zostało zbilansowane.</p> <p><u>Odpowiedź:</u> Bilans energetyczny łącza radiowego: $RSL = TSL - CL + TAG - FSL - GL - FM + RAG - CL$ Stąd $-TAG - RAG = TSL - CL - FSL - GL - FM - RSL - CL$ $RAG + TAG = - TSL + CL + FSL + GL + FM + CL + RSL$ $RAG + TAG = -30 + 6,5 + 110 + 4,5 + 12 + 6,5 - 62$ $RAG + TAG = 48 [dB]$</p> <p><u>czyli zysk pojedynczej anteny wynosi [24 dB]</u></p>
5.	<p>Sygnał nośny o szczytowej amplitudzie $V_c = 15V$ jest modulowany amplitudowo przez trzy różne częstotliwości o szczytowych poziomach amplitudy odpowiednio:</p> $V_{m1} = 3,5V$ $V_{m2} = 4,0V$ $V_{m3} = 7,5V$ <p>Wyznaczyć indeks modulacji (współczynnik głębokości modulacji $[m_T]$) dla powstałego złożonego sygnału AM.</p>

Odpowiedź

Odpowiedź:

Wykorzystując podane dane: $V_c = 15V$; $V_{m1} = 3,5V$; $V_{m2} = 4,0V$; $V_{m3} = 7,5V$.
Wyznaczamy dla podanych amplitud odpowiednio indeksy modulacji:

$$m_{a1} = \frac{V_{m1}}{V_c} = \frac{3,5}{15} = 0,2333$$

$$m_{a2} = \frac{V_{m2}}{V_c} = \frac{4,0}{15} = 0,2666$$

$$m_{a3} = \frac{V_{m3}}{V_c} = \frac{7,5}{15} = 0,25$$

Wiemy, że całkowity indeks modulacji $[m_T]$ dla powstałego złożonego sygnału AM wynosi:

$$m_T = \sqrt{(m_{a1})^2 + (m_{a2})^2 + (m_{a3})^2}$$

$$m_T = \sqrt{(0,2333)^2 + (0,2666)^2 + (0,25)^2}$$

stąd całkowity indeks modulacji wynosi $m_T = 0,6128$

Opracowali:

dr inż. Zbigniew Zakrzewski
dr inż. Jacek Majewski
mgr inż. Jan Kołodziej

Sprawdził:

dr inż. Jacek Majewski

Zatwierdził:

Przewodniczący Rady Naukowej Olimpiady
dr hab. inż. Sławomir Ciešlik