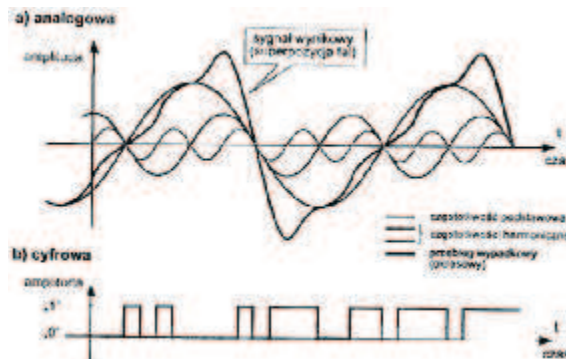


4. MATERIAŁ NAUCZANIA

4.1. Transmisja informacji

4.1.1. Materiał nauczania

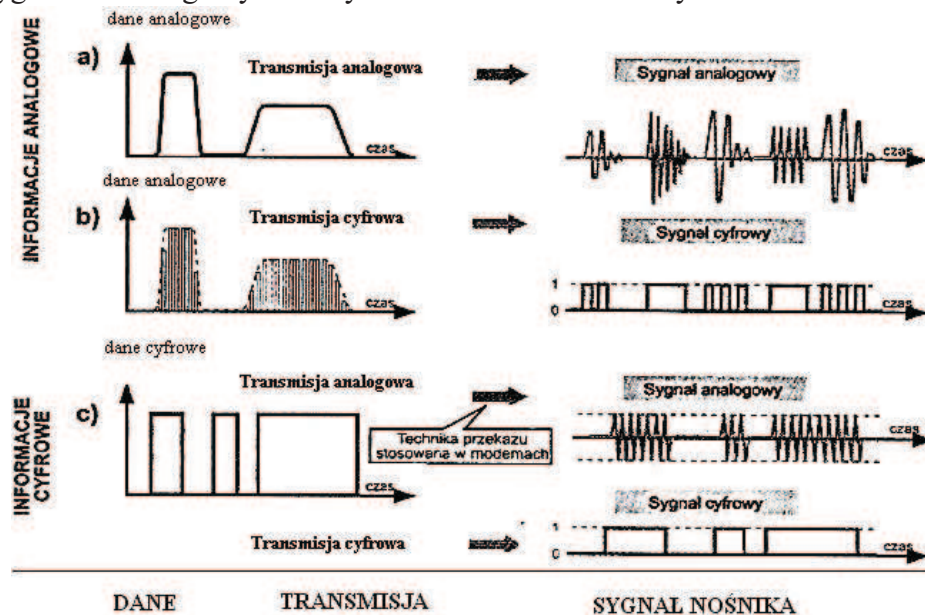
Większość występujących w przyrodzie wielkości fizycznych (ciśnienie, temperatura, oświetlenie itp.) ma charakter ciągły, tzn. analogowy, jednak część z nich, ze względów praktycznych, zamieniana jest na postać cyfrową.



Rys.1. Analogowa i cyfrowa prezentacja informacji (różnych) [6,s.6]

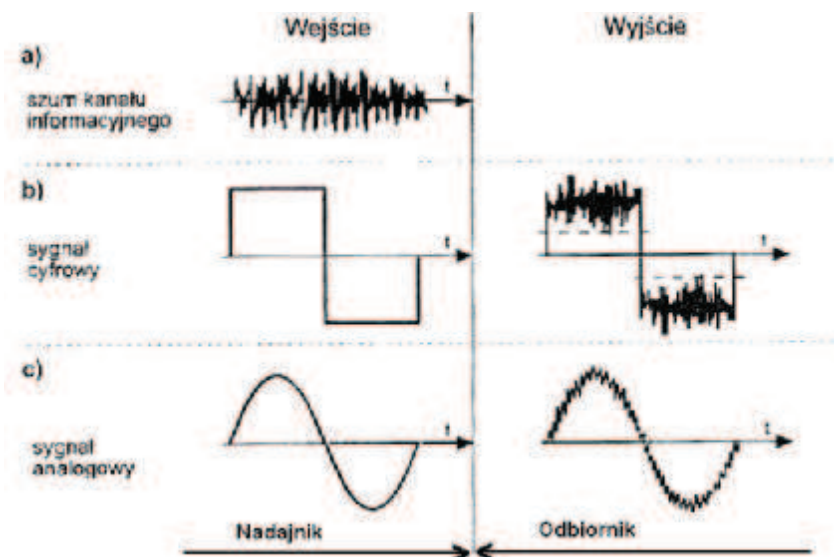
Informacja może być przesyłana na odległość w postaci sygnałów wytworzonych przez elektryczność, fale radiowe lub światło. Stosuje się dwie techniki transmisji sygnałów – pierwsza wykorzystuje analogową reprezentację sygnałów, druga – reprezentację cyfrową.

Transmisja analogowa polega na przesyłaniu, w najprostszym przypadku, fali sinusoidalnej o określonej amplitudzie, częstotliwości i fazie. Złożone przebiegi analogowe, takie jak dźwięk, obraz itp., składają się z sygnałów o wielu różnych częstotliwościach, amplitudach i fazach. Transmisja cyfrowa w najprostszym przypadku oznacza przesyłanie ciągu impulsów dwustanowych 0/1, zwanych bitami. Możliwe jest przesyłanie informacji analogowej za pomocą linii cyfrowych, jak i przesyłanie informacji cyfrowych liniami analogowymi, ale wymaga to przekształcania sygnałów analogowych na cyfrowe lub odwrotnie – Rys.2.



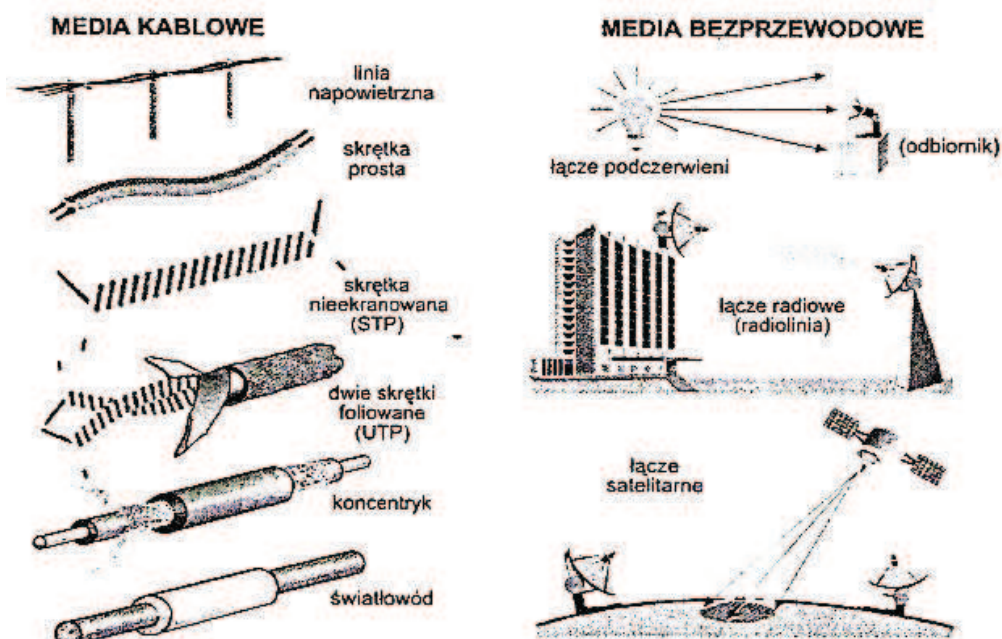
Rys.2. Analogowy lub cyfrowy przekaz danych [6,s.10]

Transmisja danych liniami analogowymi napotyka na trudności ograniczające jej użyteczność, ponieważ szybkość transmisji (przepływność) jest ograniczona szerokością pasma przenoszenia, a dodatkowo sygnał analogowy przesyłany na dalszą odległość musi być okresowo wzmacniany. Niestety, równocześnie wzmacniane są zniekształcenia występujące w torze – Rys.3. Transmisje cyfrowe charakteryzują się większym stopniem niezawodności niż analogowe, zwłaszcza na dłuższych dystansach. Ponadto, jeśli jest taka konieczność, sygnał może być regenerowany cyfrowo, bez wzmacniania zniekształceń.



Rys.3. Wpływ zakłóceń kanału na informację (analogowa i cyfrową) [6,s.75]

Aby możliwe było przesłanie informacji, konieczne jest istnienie medium, które te informacje przeniesie. Media transmisyjne umożliwiają fizyczne rozchodzenie się fal akustycznych, elektrycznych, radiowych i świetlnych. Można je podzielić na dwie główne grupy: media kablowe i media bezprzewodowe – Rys.4. W poradniku zajmiemy się tylko mediami przewodowymi.



Rys.4. Media transmisyjne [6,s.28]

Porównując właściwości transmisji analogowej i cyfrowej można stwierdzić, że to informacja cyfrowa niezależnie od tego, w jaki sposób powstała, czy naturalnie, czy w wyniku kwantyzacji wielkości analogowej, bardziej nadaje się do transportu.

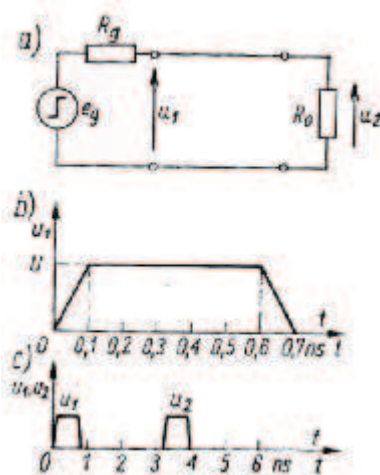
W dotychczasowych analizach zakładaliśmy, że sygnały cyfrowe są przesyłane między układami scalonymi bez zakłóceń. Jednak przy wzroście szybkości zmian sygnałów nie można pominąć zniekształceń wynikających z istnienia przewodów łączących, gdyż przewody doprowadzające stają się złożonymi strukturami charakteryzującymi się rezystancją, pojemnością i indukcyjnością, a nie tylko zwykłym zwarcie. Jako regułę można przyjąć, że przewody nie mogą być traktowane jako zwarcia w sytuacji, gdy długość fali przesyłanego sygnału staje się porównywalna z długością przewodu, np. przy częstotliwości 20 MHz długość fali wynosi (c - prędkość fali elektromagnetycznej w próżni, f - częstotliwość sygnału) :

$$\lambda = \frac{c}{f} = 15 \text{ [m]}$$

Ponieważ trudno jest podać długości fal zawartych w przebiegu impulsowym, wygodniejsze jest przyjęcie zależności od czasu. Jeżeli czas rozchodzenia się fali napięcia wzdłuż przewodu staje się porównywalny z czasem narastania lub opadania impulsu, to na pewno nie można pominąć opóźnień w układzie. Przeciwnie należy przyjąć, że tego rodzaju połączenia nie powinny być dłuższe niż 10 cm na każdą nanosekundę czasu narastania, a jeśli przekroczy się tę długość, mogą wystąpić tłumione drgania, odbicia lub zniekształcenia kształtu impulsów. Jeżeli odległość między źródłem i obciążeniem wynosi 1m, a przesyłany impuls ma długość 1 ns i czas trwania zboczy 0,1 ns (Rys.5), to czas opóźnienia wnoszony przez linię wynosi (s – droga, v – prędkość):

$$t_d = \frac{s}{v} = \frac{1}{3 \cdot 10^8} = 3,33 \text{ [ns]}$$

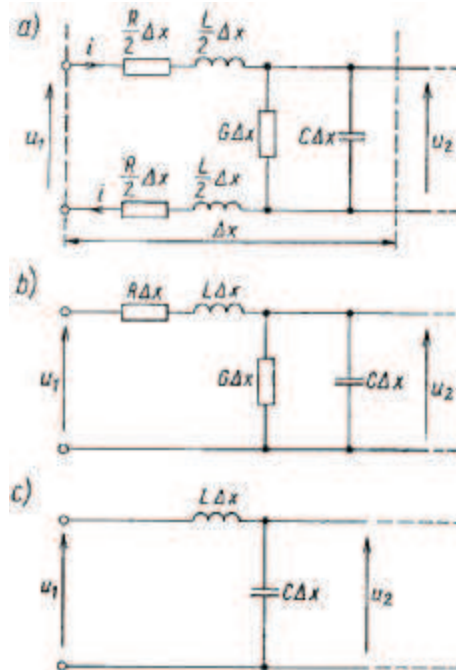
Oznacza to, że impuls wyjściowy pojawi się dopiero po czasie 3,33 ns, czyli po czasie 33 razy dłuższym niż czas trwania zbocza i kilkakrotnie dłuższym niż szerokość impulsu wejściowego.



Rys.5. Opóźnianie impulsów w linii opóźniającej dopasowanej na obu końcach: a) schemat; b) przebieg napięcia u_1 ; c) przebieg napięcia u_1 i u_2 [5,s.95]

Jeśli impuls miałby inne parametry, np. czas trwania 1 μs i czas narastania zboczy 0,1 μs , to opóźnienie jego przesyłania byłoby właściwie nieistotne, bo w czasie kilku ns impuls wejściowy niewiele się zmienia, co oznacza, że linia o długości 1 m nie wprowadza dla takiego impulsu znaczącego opóźnienia. W związku z tym, taką linię należy traktować raz jako element wprowadzający opóźnienie tzw. **linię długą**, a w innym przypadku nie, chociaż tego typu linia dwuprzewodowa zawsze wnosi opóźnienie równe 3,33 ns. Przewody takie można zastąpić

modelem złożonym z elementów R, L i C. Najprostszy schemat zastępczy odcinka linii opóźniającej jednorodnej tzn. posiadającej na całej długości jednakowe właściwości fizyczne przedstawia Rys.6a. Zawiera on tzw. elementy skupione R, L, C i G, a czas, jaki jest potrzebny na pokonanie jednostkowego odcinka linii Δx jest znacznie mniejszy od czasu trwania najszybszego rozpatrywanego sygnału.



Rys.6. Schemat zastępczy elementarnych odcinków linii: a) pełny symetryczny; b) uproszczony asymetryczny; c) uproszczony linii bezstratnej [5,s.96]

Rezystancja R jest to rezystancja jednostkowej długości linii, reprezentująca straty w przewodach linii spowodowane efektem naskórkowości i stratami cieplnymi.

Indukcyjność L dla jednostkowej długości Δx odzwierciedla pole magnetyczne przewodów linii i uwzględnia indukcyjność wzajemną przewodów.

Pojemność C dla jednostkowej długości reprezentuje pole elektryczne pomiędzy przewodami linii.

Przewodność G linii o długości Δx zastępuje straty w dielektryku.

Najpowszechniej stosowana w obliczeniach jest linia bezstratna, tzn. $R=0$, $G=0$ – Rys.6c. Określając prędkość rozchodzenia się fali elektromagnetycznej w linii zależnością

$$v = \frac{1}{\sqrt{LC}} = \frac{1}{\sqrt{\mu\epsilon}} \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right] \quad \text{gdzie } \mu = \mu_0\mu_r, \quad \epsilon = \epsilon_0\epsilon_r,$$

$$\text{dla } c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}} \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right] \quad \text{otrzymujemy } v = \frac{c}{\sqrt{\mu_r \epsilon_r}} \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right]$$

Obliczając jednostkowe opóźnienie linii t_j można następnie obliczyć opóźnienie linii o długości l t_d , wg wzorów:

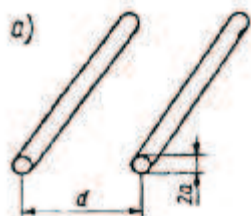
$$t_j = \frac{\Delta x}{v} [\text{s}] \quad t_d = \frac{l}{v} = l \cdot t_j [\text{s}]$$

Ponieważ μ_r stosowanych przewodów jest równe jedności, a ϵ_r ma wartość od jeden do kilku to jednostkowe opóźnienia linii wynoszą od dwóch do nieco ponad trzech nanosekund na metr.

Parametry jednostkowe linii L i C zależą od jej wymiarów i konstrukcji. W technice impulsowej wykorzystywane są:

- linie dwuprzewodowe,
- linie koncentryczne,
- linie paskowe.

Każda z nich ma nieco inne wartości indukcyjności jednostkowej L ($H \cdot m^{-1}$) i pojemności jednostkowej ($F \cdot m^{-1}$) – Rys.7.



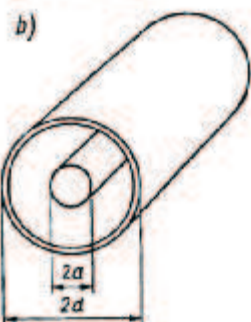
- dla linii dwuprzewodowej:

$$L = \frac{\mu_0}{\pi} \ln \frac{d}{a} [H], \quad C = \frac{\pi}{\ln \frac{d}{a}} [F],$$

d – odległość między przewodami,

a – promień przewodu,

$d \gg a$

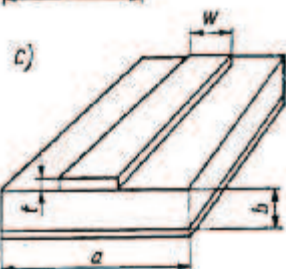


- dla linii koncentrycznej:

$$L = \frac{\mu_0}{2\pi} \ln \frac{d}{a} [H], \quad C = \frac{2\pi\epsilon}{\ln \frac{d}{a}} [F],$$

d – promień przewodu zewnętrznego,

a - promień przewodu wewnętrznego,



- dla linii paskowej:

$$L = \frac{\sqrt{\epsilon_r} Z_0}{3 \cdot 10^8} [H], \quad C = \frac{\sqrt{\epsilon_r}}{3 \cdot 10^8 Z_0} [F],$$

$$Z_0 = \frac{10^4}{3\sqrt{\epsilon_r} [7 + 8,83 \frac{w}{b}]} [\Omega] \quad \text{dla } w > b$$

Rys.7. Przykłady uproszczonych konstrukcji linii:

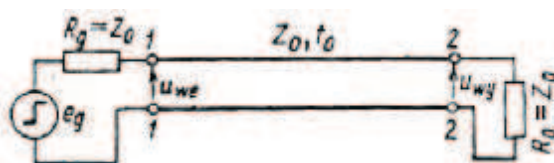
- a) dwuprzewodowej symetrycznej;
b) koncentrycznej; c) paskowej [5,s.98]

Wielkość $Z = \sqrt{\frac{L}{C}} [\Omega]$ jest nazywana **impedancją charakterystyczną** lub **falową** linii bezstratnej.

Właściwości linii z punktu widzenia przenoszenia impulsów to opóźnienie i impedancja falowa. Parametry te stają się istotne, jeśli czas trwania zmian sygnału jest znacznie mniejszy od opóźnienia linii, natomiast dla sygnałów wolnozmiennych i dla prądu stałego linia przenosząca sygnał może być traktowana jak zwykłe odcinki przewodów doprowadzających lub zwarcie.

Zachowanie się linii pobudzonej impulsami zależy od tego jaka jest rezystancja obciążenia

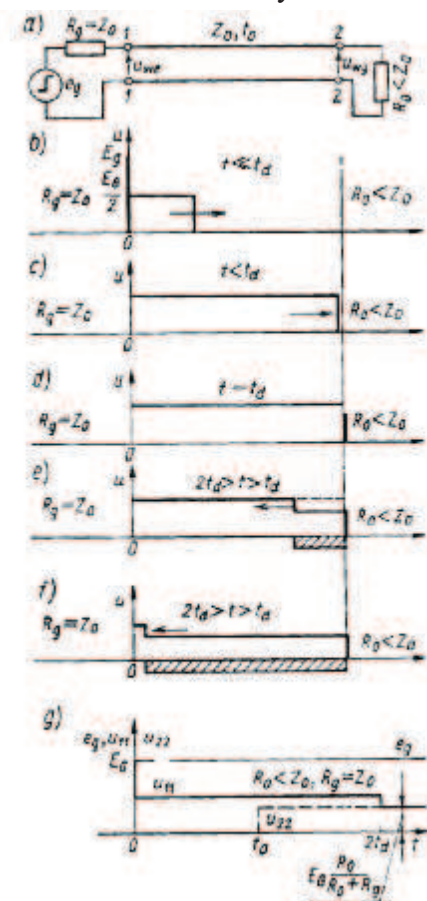
- Rys.8.



Rys.8. Schemat linii dopasowanej na końcu [5,s.100]

Przyjmuje się, że impuls wejściowy to tzw. skok jednostkowy, czyli impuls posiadający nieskończenie krótkie czoło (narastanie), ale nieskończenie długi czas trwania. Badając

zachowanie linii wystarczy analizować przebiegi w kilku chwilach: w chwili 0^+ - tzn. w chwili, gdy zmieni się napięcie na generatorze, w t_d – gdy fale napięcia i prądu osiągną koniec linii oraz w chwilach $2t_d, 3t_d$ itd. Jeśli rezystancja obciążenia spełnia warunek $R_0=Z_0$, to cała energia impulsu zostanie wydzielona w obciążeniu i będzie spełniony warunek wynikający z prawa Ohma. Jeżeli jednak linia nie będzie dopasowana, to pojawią się odbicia sygnału od odbiornika i zniekształcenia – Rys. 9.



Rys.9. Odbicia w linii niedopasowanej na końcu $R_0 < Z_0$: a) schemat; b) przebieg napięcia w linii dla $t \ll t_d$; c) przebieg napięcia w linii dla $t < t_d$; d) przebieg napięcia w linii dla $t = t_d$; e) przebieg napięcia w linii tuż po powstaniu fali odbitej $2t_d > t > t_d$; f) przebieg napięcia w linii tuż przed ustaleniem się końcowego rozkładu $t \rightarrow t_d$; g) przebiegi napięć e_g, u_{11} i u_{22} . [5,s.100]

W chwili 0^+ , gdy na generatorze nastąpi zmiana wartości siły elektromotorycznej od 0 do E_G , to na wejściu linii pojawi się napięcie:

$$u_1^+ = \frac{Z_0}{Z_0 + R_g} E_G = \frac{1}{2} E_G [V]$$

i prąd

$$i_1^+ = \frac{u_1^+}{Z_0} = \frac{1}{2} \frac{E_G}{Z_0} [A]$$

Takie samo napięcie u_1^+ będzie na rezystancji R_g . Fala napięcia u_1^+ i prądu i_1^+ będzie przemieszczać się w linii od zacisków 1-1 do zacisków 2-2 (Rys.9b), w każdym punkcie spełniając warunek

$$Z_0 = \frac{u_1^+}{i_1^+} [\Omega]$$

W chwili $t=t_d$ fale te dotrą do końca linii, czyli linia przeniesie energię impulsu do obciążenia. Gdyby linia była dopasowana tzn. $R_0=Z_0$ to cała energia zostałaby przekazana do obciążenia i spełniony byłby warunek

$$R_0 = \frac{u_1^+}{i_1^+} [\Omega]$$

W przykładzie na Rys.9 rozpatrzono przypadek, gdy rezystancja obciążenia R_0 jest mniejsza od impedancji falowej linii Z_0 . Oznacza to, że napięcie na obciążeniu, po dotarciu do niego fali bieżącej, w chwili $t=t_d$, jest mniejsze od napięcia fali padającej. Różnica napięć zostaje odbita w postaci fali napięcia i powraca w kierunku generatora odejmując się od fali padającej. Dla fali odbitej spełniony jest analogiczny warunek jak dla fali padającej

$$Z_0 = \frac{u_1^-}{i_1^-} [\Omega]$$

Po czasie $2t_d$, gdy fala dociera do generatora, nie następuje ponowne odbicie, ponieważ $R_g=Z_0$, tylko cała energia przeniesiona przez linię wydzieliła się w postaci ciepła. Gdyby tak nie było tzn. gdyby $R_g \neq Z_0$, należałoby określić falę odbitą od generatora do obciążenia itd. Po nieskończeniu długim czasie i przy linii bezstratnej, ustaliłoby się napięcie wyjściowe $u_{22} = u_{11}$ określone tylko podziałem napięcia wynikającym z wielkości rezystancji R_0 i R_g . Rozważając linię niedopasowaną, np. $Z_0=100\Omega, R_0=150\Omega$, sterowaną ze źródła siły elektromotorycznej $E_g=10V$ o rezystancji wewnętrznej $R_g=50\Omega$ możemy określić współczynniki odbicia dla początku i końca

$$\text{linii} \quad \zeta_g = \frac{R_g - Z_0}{R_g + Z_0} = \frac{50 - 100}{50 + 100} = -0,33, \quad \zeta_0 = \frac{R_0 - Z_0}{R_0 + Z_0} = \frac{150 - 100}{150 + 100} = 0,2.$$

Pozwala to na obliczenie wartości napięć na wejściu i wyjściu w chwilach czasowych t_d , $2t_d$, $3t_d$ itd. Po włączeniu zasilania w układzie na początku linii powstaje fala o napięciu

$$u_1 = \frac{E_g Z_0}{Z_0 + R_g} = 6,67[\text{V}], \text{ która po czasie } t_d \text{ dojdzie do końca i odbije się w kierunku wejścia.}$$

Ponieważ fala odbita będzie miała napięcie $E_g \zeta_0 = 1,34\text{V}$ (współczynnik odbicia na końcu linii wynosi $+0,2$), to napięcie na wyjściu będzie wyższe i wyniesie

$$u_1 = E_g + E_g \zeta_0 = 6,67 + 0,2 \cdot 6,67 = 8\text{V}.$$

Fala odbita po czasie $2t_d$ dotrze do początku linii i z powodu niedopasowania odbije się znowu, a jej amplituda wyniesie $1,34 \cdot (-0,33) = -0,44\text{V}$.

W związku z tym, po czasie $2t_d$, napięcie na początku linii wyniesie

$$u_2 = 6,67 + 1,33 - 0,44 = 7,56\text{V}.$$

Postępując analogicznie można obliczyć wartości napięć na początku i końcu linii po czasach $3t_d$, $4t_d$, $5t_d$ itd. Dla chwili $3t_d$ napięcie na wyjściu wynosi $7,47\text{V}$, po czasie $4t_d$ napięcie na wejściu wynosi $7,5\text{V}$, a po $5t_d$ na wyjściu osiąga stan ustalony, ok. $7,5\text{V}$.

W podobny sposób można rozpatrywać inne stany linii: zwarcie, rozwarcie oraz różne stopnie dopasowania. Przedstawiony sposób pozwala określić zjawiska zachodzące w linii pobudzonej impulsowo i przewidzieć wartości napięć i prądów w zależności od impedancji linii i rezystancji obciążenia. Rozważając w analogiczny sposób np. linię zwartą na końcu, łatwo można stwierdzić, że ponieważ $R_0 = 0$, to po czasie t_d cały impuls odbije się i „powróci” do wejścia, gdzie cała energia wydzielona się w postaci ciepła na rezystancji generatora. Pobudzenie linii impulsem skokowym o nieskończonym czasie trwania powoduje, że na rezystancji generatora powstaje impuls o skończonym czasie trwania, o długości równej $2t_d$, czyli podwójnego opóźnienia wnoszonego przez linię. Aby dokładnie omówić zjawiska związane z przesyłaniem sygnałów liniami długimi oraz określaniem warunków pracy tych linii niezbędne są omówione wcześniej pojęcia: **impedancja falowa**, **opóźnienie jednostkowe**, **fala padająca**, **fala odbita**, **dopasowanie linii na wejściu** ($R_g = Z_0$), **dopasowanie linii na wyjściu** ($R_0 = Z_0$), itd. Inny sposób analizy zjawisk związanych z przenoszeniem impulsów przez linie opóźniające wykorzystuje tzw. wykresy Bergerona i przedstawiony został w pozycji [4] literatury.

Przedstawione w poradniku problemy wbrew pozorom nie dotyczą tylko układów wykorzystujących sygnały w.c.z., ale istotne są w tzw. technice impulsowej, czyli przy przesyłaniu impulsów o stromych zboczach tj. w technice cyfrowej oraz przy przełączaniu elementów elektronicznych: diod, tranzystorów i tyrystorów.

4.1.2. Pytania sprawdzające

Odpowiadając na pytania sprawdzisz czy jesteś przygotowany do wykonania ćwiczeń.

1. Czym różni się informacja w postaci analogowej od informacji w postaci cyfrowej?
2. Jakie są cechy transmisji analogowej, a jakie transmisji cyfrowej?
3. Czy można dane cyfrowe przesyłać analogowo?
4. Kiedy przewody łączące układy scalone trzeba uwzględniać w analizie działania układów?
5. Jakie są parametry linii długiej o stałych skupionych?
6. Co to jest linia bezstratna?
7. Które parametry linii są istotne ze względu na przenoszenie impulsów?
8. Co oznaczają pojęcia: linia dopasowana, linia niedopasowana?
9. Jaki kształt powinny mieć impulsy wyzwalające stosowane w technice cyfrowej?

4.1.2. Ćwiczenia

Ćwiczenie 1

Wyznaczanie opóźnienia wnoszonego przez linię długą.

Sposób wykonania ćwiczenia:

Ćwiczenie polega na zaobserwowaniu opóźnienia wnoszonego przez linie różnego typu: dwuprzewodową i koncentryczną.

Aby wykonać ćwiczenie powinieneś:

- 1) zapoznać się z rodzajami przewodów łączących stosowanymi do przesyłania sygnałów pomiędzy układami scalonymi i parametrami linii długiej;
- 2) obliczyć teoretyczne opóźnienie wnoszone przez linie różnego typu o podanej długości;
- 3) zaobserwować na oscyloskopie sygnał wyjściowy z obu linii po podaniu na wejście impulsu prostokątnego o czasie trwania co najmniej równym $10 \mu\text{s}$;
- 4) zaobserwować na oscyloskopie i zmierzyć opóźnienia wnoszone przez dopasowane linie: dwuprzewodową i kabel koncentryczny, wykorzystując generator impulsowy lub generator sygnałów prostokątnych o krótkim czasie narastania, jako źródło bardzo krótkich impulsów;
- 5) porównać uzyskane wyniki dla dłuższych i krótkich impulsów z obliczeniami teoretycznymi;
- 6) ocenić poprawność wykonania ćwiczenia;
- 7) sformułować wnioski określające warunki, w których linie przewodowa staje się dla przenoszonych sygnałów linią długą.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- linie kablowe dwuprzewodowe i koncentryczne o długości co najmniej kilkunastu metrów,
- sprzęt pomiarowy i laboratoryjny: generator regulowany napięcia prostokątnego, generator impulsowy, oscyloskop,
- katalogi materiałów elektronicznych,
- literatura z rozdziału 6.

Ćwiczenie 2

Wyznaczanie tłumienia wnoszonego przez linię długą.

Sposób wykonania ćwiczenia

Ćwiczenie polega na wyznaczeniu tłumienia wnoszonego przez linie dwuprzewodową i koncentryczną o dużej długości (ok. 25-30m)

Aby wykonać ćwiczenie powinieneś:

- 1) zapoznać się z rodzajami przewodów łączących stosowanymi do przesyłania sygnałów pomiędzy układami scalonymi i parametrami linii długiej;
- 2) zmontować układ pomiarowy podłączając do wejścia jednego przewodu linii wykonanej ze skrętki generator o regulowanej częstotliwości, a do wyjścia oscyloskop, zastosować rezystor o odpowiedniej wartości w celu dopasowania linii, drugi przewód skrętki z obu stron podpiąć do masy;
- 3) obserwować na oscyloskopie sygnał wyjściowy z linii podając na wejście sygnał sinusoidalny z generatora, zmierzyć amplitudę sygnału z generatora i sygnału wyjściowego z linii przy częstotliwości 1 kHz;
- 4) obserwować przebiegi sygnału wyjściowego z linii zwiększając częstotliwość sygnału z generatora, zmierzyć amplitudy sygnałów wejściowego i wyjściowego dla różnych

- częstotliwości w zakresie od 1kHz do kilku MHz, zagęścić pomiary, gdy wartość napięcia wyjściowego zacznie spadać;
- 5) wykreślić charakterystykę amplitudową kabla na podstawie wyników pomiarów korzystając z programu Excell, określić zakres częstotliwości sygnałów, dla których skrętka nie wprowadza zniekształceń przesyłanych sygnałów;
 - 6) wykonać identyczne obserwacje jak w punktach 2-4 wykorzystując kabel koncentryczny;
 - 7) ocenić poprawność wykonania ćwiczenia;
 - 8) sformułować wnioski dotyczące przydatności różnych linii przewodowych do przesyłania sygnałów o dużych częstotliwościach.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- linie kablowe dwuprzewodowe i koncentryczne o długości co najmniej 25 metrów,
- sprzęt pomiarowy: generator regulowany napięcia sinusoidalnego, generator impulsowy, oscyloskop,
- komputer PC,
- oprogramowanie Excell,
- katalogi materiałów elektronicznych,
- literatura z rozdziału 6.

Ćwiczenie 3

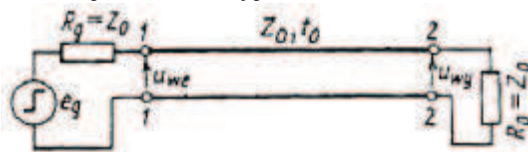
Analiza zjawisk zachodzących w liniach opóźniających dopasowanych i niedopasowanych, przy różnych stanach wyjścia.

Sposób wykonania ćwiczenia

Ćwiczenie polega na analizie przebiegów prądu i napięcia w liniach opóźniających dopasowanych, przy rozwarciu linii na końcu oraz przy obciążeniu o wartości większej niż impedancja falowa linii. Dane: $E_G=10V$, $Z_0=75\Omega$, $t_d=100ns$.

Aby wykonać ćwiczenie powinieneś:

- 1) zapoznać się z rodzajami przewodów łączących stosowanymi do przesyłania sygnałów pomiędzy układami scalonymi i parametrami linii długiej;
- 2) zapoznać się z metodą analizy zjawisk zachodzących w liniach opóźniających pobudzanych skokiem jednostkowym;
 - linia dopasowana na wejściu i na wyjściu:



- 3) określić przebieg fali padającej i wartość napięcia na obciążeniu i czas po jakim napięcie na wyjściu ustabilizuje się;
 - linia dopasowana na wejściu i rozwarta na wyjściu ($R_0=\infty$):
- 4) narysować schemat układu linii korzystając z rysunku z pkt.2;
- 5) określić przebieg fali padającej i wartość napięcia na wyjściu układu oraz czas po jakim napięcie na wyjściu ustabilizuje się;
- 6) określić wartość prądu w układzie w czasie przenoszenia impulsu z wejścia na wyjście;
- 7) określić charakter impulsu na rezystancji generatora w zadanych warunkach;
 - linia dopasowana na wejściu i niedopasowana na wyjściu ($R_0 = 100 \Omega$):
- 8) narysować schemat układu linii korzystając z rysunku z pkt.2;
- 9) określić przebieg fali padającej i wartość napięcia fali padającej u_{11} na wyjściu układu;

- 10) określić przebieg fali odbitej i wartość napięcia na rezystancji generatora;
- 11) określić wartość ustaloną napięcia na rezystancji obciążenia i czas po jakim napięcie na wyjściu ustabilizuje się;
- 12) sformułować wnioski dotyczące znaczenia dopasowania linii oraz możliwości rozpoznania uszkodzeń linii (zwarcie, przerwa) na podstawie oczekiwanych i rzeczywistych wartości napięć w układzie.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- papier milimetrowy,
- katalogi materiałów elektronicznych,
- literatura z rozdziału 6.

Ćwiczenie 4

Pomiary sygnałów w liniach dopasowanych i niedopasowanych, w stanie zwarcia, rozwarcia oraz przy $R_0 \neq Z_0$.

Sposób wykonania ćwiczenia

Ćwiczenie polega na pomiarze sygnałów na wyjściu kabla koncentrycznego o impedancji falowej 50Ω i długości co najmniej kilkunastu metrów w różnych stanach dopasowania linii na wyjściu.

Uwaga: Poproś nauczyciela o sprawdzenie układów praktycznych przed włączeniem zasilania.

Aby wykonać ćwiczenie powinieneś:

- 1) zapoznać się z rodzajami przewodów łączących stosowanymi do przesyłania sygnałów pomiędzy układami scalonymi i parametrami linii długiej;
- 2) wykorzystując metodę analizy zjawisk zachodzących w liniach opóźniających pobudzanych skokiem jednostkowym przewidzieć wartości napięć na obciążeniu w różnych stanach dopasowania linii;
- 3) wykorzystując generator o rezystancji wyjściowej 50Ω (w celu dopasowania linii na wejściu) i kabel koncentryczny z dołączoną rezystancją 50Ω (linia dopasowana na wyjściu), zmierzyć napięcie na obciążeniu, zanotować wynik;
- 4) wykorzystując generator o rezystancji wyjściowej 50Ω (w celu dopasowania linii na wejściu) i kabel koncentryczny z dołączoną rezystancją większą i mniejszą od 50Ω np. 100Ω i 25Ω (linia niedopasowana na wyjściu), zmierzyć napięcie na obciążeniu, zanotować wyniki;
- 5) zmierzyć wartość napięcia na wyjściu dla linii zwartej i rozwartej na wyjściu, dopasowanej na wejściu, zanotować wyniki;
- 6) porównać uzyskane wyniki z przewidywanymi;
- 7) ocenić poprawność wykonania ćwiczenia;
- 9) sformułować wnioski określające warunki, w których linia przewodowa nie zniekształca impulsów.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- linie kablowe koncentryczne o długości co najmniej kilku metrów,
- sprzęt pomiarowy i laboratoryjny: mierniki uniwersalne, generator regulowany napięcia prostokątnego, generator impulsowy, oscyloskop,
- katalogi materiałów elektronicznych,
- literatura z rozdziału 6.

4.1.4. Sprawdźan postępów

Czy potrafisz:	Tak	Nie
1) określić, czy dane połączenie przewodowe należy traktować jak linię długą?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2) określić parametry linii długiej?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3) obliczyć opóźnienie wnoszone przez linie przewodowe o znanej długości?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4) określić wartości przewidywane napięć sygnału wyjściowego dla linii dopasowanych i nie, przy różnych obciążeniach?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5) zaobserwować uzyskane przebiegi na oscyloskopie?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6) wyjaśnić różnice pomiędzy obliczeniami teoretycznymi a rzeczywistymi czasami opóźnienia impulsów?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7) podać zakresy częstotliwości, dla których różne linie przewodowe nie zniekształcają przenoszonych sygnałów?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

4.2. Układy transmisji sygnałów cyfrowych

4.2.1 Materiał nauczania

Sygnały cyfrowe można przesyłać w postaci unipolarnych sygnałów po liniach jedнопrzewodowych ekranowanych lub nieekranowanych albo w postaci sygnałów różnicowych po dwuprzewodowych symetrycznych liniach przesyłowych. Typowe media przesyłowe to: ścieżki drukowane, pojedyncze przewody izolowane, skręcona para przewodów tzw. skrętka, symetryczne linie dwuprzewodowe oraz kabel koncentryczny. Jednostkowe parametry wybranych mediów traktowanych jako linia długa przedstawia Tabela 1.

Tabela 1. Parametry linii transmisyjnych [2,s.196]

Rodzaj połączenia	Impedancja falowa [Ω]	Opóźnienie [ns/m]
dwa przewody 0,38mm (tzw. skrętka)	110	6,2
obwód drukowany	100	6
kabel koncentryczny 75 Ω	75	5
kabel koncentryczny 50 Ω	50	3,9
linia paskowa	170	5,6

Tabela ta uświadamia aktualną skalę problemów związanych z transmisją sygnałów cyfrowych wynikających z bardzo szybkich zmian przesyłanych sygnałów. Czasy narastania i opadania zboczy impulsów mogą być krótsze niż czas propagacji sygnału przez przewody, co narzuca traktowanie przewodów służących do przesyłu szybkich sygnałów jako linii długiej. Typowa wartość szybkości propagacji sygnału w przewodach wynosi od 13 do 22 cm/ns. Oznacza to, że przy czasach narastania i opadania zboczy impulsów rzędu 10 ns, już przewodów o długości 50 cm nie można traktować jak zwarcia. Transmisja sygnałów może odbywać się dwoma sposobami:

- za pośrednictwem linii niesymetrycznych,
- za pośrednictwem linii symetrycznych.

Transmisja sygnałów cyfrowych liniami niesymetrycznymi

Układy z liniami niesymetrycznymi można stosować do transmisji sygnałów tylko na niewielkie odległości ze względu na ich wrażliwość na zakłócenia. Mniej wrażliwe, a więc umożliwiające transmisje na większe odległości są układy wykorzystujące koncentryczne linie przesyłowe, ale wiąże się to ze wzrostem kosztów. Jednak ograniczenia wynikające z właściwości tych linii nie pozwalają na uzyskanie odległości większych niż kilkudziesięciu metrów. Podstawowymi źródłami zakłóceń w urządzeniach elektronicznych są:

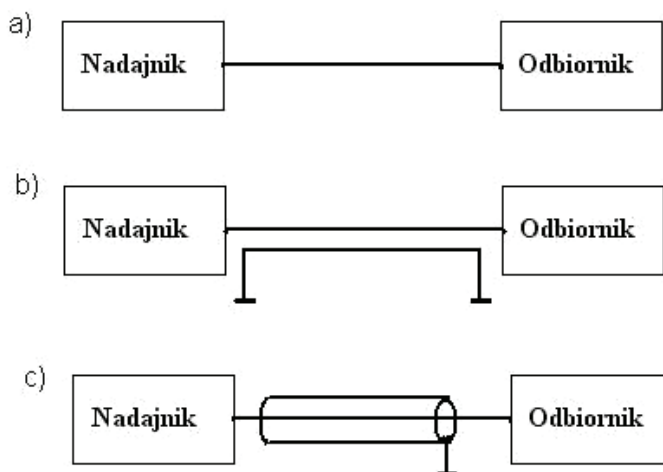
- sieć zasilająca 50Hz i urządzenia sieciowe,
- prądy płynące przewodami masy i ziemi powodujące powstawanie znacznych napięć między punktami masy różnych urządzeń,
- sygnały o krótkich czasach narastania i opadania, powodujące generacje zakłóceń elektromagnetycznych,
- układy mocy pobierające impulsowo znaczne prądy lub powodujące zakłócenia napięciowe,
- źródła promieniowania elektromagnetycznego.

Transmisja liniami niesymetrycznymi polega na przesyłaniu sygnałów cyfrowych – Rys.10:

- jedнопrzewodowo (przewody nie ekranowane np. przewody izolowane, ścieżki drukowane),
- skręconą parą przewodów (przewody ekranowane częściowo),
- przewodem koncentrycznym (przewody ekranowane).

W elektrycznie długich przewodach występują oscylacje wynikające z odbić sygnału od końców przewodów z uwagi na niedopasowanie pomiędzy impedancją falową linii a rezystancjami wejściową i wyjściową nadajników i odbiorników.

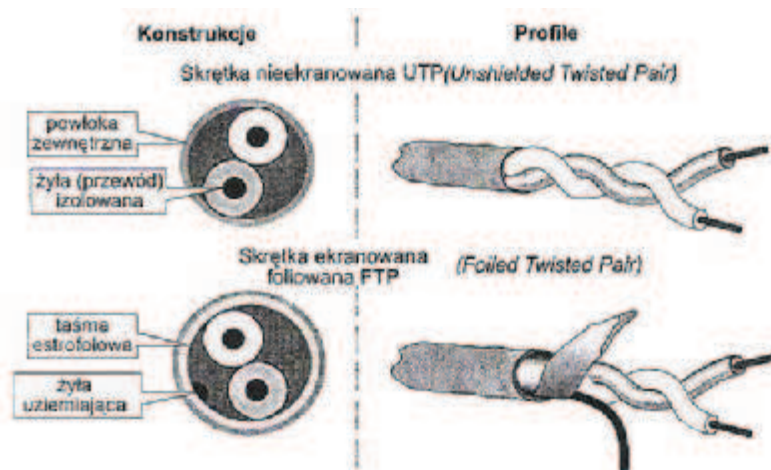
Impedancje falowe linii przesyłowych wynoszą zwykle od 50 do 150 Ω tj.; dla skrętek (częściowo ekranowane linie) jest to 100 do 150 Ω , dla linii paskowych (ścieżek), na dwustronnie foliowanym laminacie impedancja falowa wznosi ok. 100 Ω , a kable koncentryczne mają znamionowe impedancje – od 50 Ω do 125 Ω .



Rys.10. Typowe układy przesyłania sygnałów cyfrowych: a) jedнопроводовые; b) скрученą parą przewodów; c) przewodem koncentrycznym [4,s.608]

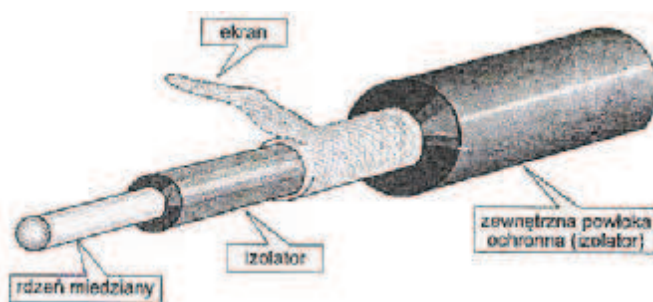
Często stosowanymi nadajnikami i odbiornikami linii przy przesyłaniu sygnałów cyfrowych są bramki logiczne. Przy zmianie stanu na wyjściu bramki nadawczej, w przypadku linii niedopasowanej, pojawiają się niekorzystne wartości napięć, z zakresu wartości zabronionych, a ustabilizowanie się napięć zachodzi dopiero po około 5-8 t_d .

Przy jedнопроводовым przesyłaniu sygnałów cyfrowych konieczne jest użycie odbiornika o dużej odporności na zakłócenia i ograniczenie długości linii, tak aby zakłócenia nie przekroczyły określonego poziomu. Dodatkowym warunkiem jest zbliżona wartość potencjałów mas nadajnika i odbiornika, tak aby różnica nie przekroczyła minimalnej odporności odbiornika na zakłócenia. Zakłócenia mogą indukować się na przewodach sygnałowych oraz wynikać z istnienia przesłuchów pomiędzy liniami przesyłowymi. **Przesłuchy** pojawiają się wówczas, gdy pole elektryczne wokół jednego przewodu powoduje generowanie fałszywych sygnałów elektrycznych w sąsiednim przewodzie. Niekorzystny wpływ przesłuchów i zakłóceń rośnie wraz ze wzrostem prędkości transmisji sygnałów. Z tych powodów wielu producentów sprzętu cyfrowego zabrania stosowania nieekranowanych linii przesyłowych, a zaleca stosowanie częściowo ekranowanych niesymetrycznych linii przesyłowych – Rys.11, tzw. **skrętki**, w których jeden z przewodów jest przewodem sygnałowym, a drugi jest z obu końców dołączony do mas podzespołów. Przewody każdej pary w skrętce są ze sobą skręcone w celu eliminacji sprzężeń elektrycznych pomiędzy nimi oraz zmniejszenia poziomu emitowanych zakłóceń elektrycznych. Skręcanie przewodów parami daje efekt wzajemnego ekranowania. W ten sposób ogranicza się emisję i absorpcję fal elektromagnetycznych, nie jest on jednak tak skuteczny jak zewnętrzny oplot lub folia metalowa.



Rys.11. Skrętki przewodów [6,s.28]

Kabel koncentryczny – Rys.12, zbudowany jest z rdzenia, którym jest przewód miedziany w postaci drutu lub linki, otoczony zewnętrznym ekranem z oplotu miedzianego lub folii aluminiowej. Oplot i przewodnik centralny mają wspólną oś (stąd określenie koncentryczny, rzadziej współosiowy).



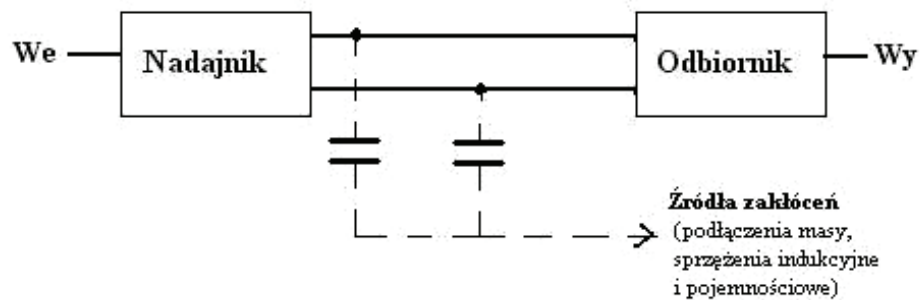
Rys. 12. Budowa kabla współosiowego (koncentryk) [6,s.30]

Zewnętrzny i wewnętrzny przewodnik rozdziela warstwa elastycznej izolacji plastycznej, a dodatkowa warstwa izolacji pokrywa kabel od zewnątrz. Przewodnik zewnętrzny chroni przewodnik wewnętrzny przed zewnętrznymi sygnałami elektrycznymi i redukuje emisję sygnałów z wewnątrz. Odległość pomiędzy dwoma przewodnikami, rodzaj izolacji i inne czynniki określają dla każdego kabla specyficzną charakterystykę elektryczną, nazywaną impedancją. Typowe impedancje kabli koncentrycznych to 50 Ω , 75 Ω , 95 Ω i 125 Ω .

Transmisja sygnałów cyfrowych liniami symetrycznymi

Różnicowe systemy przesyłania sygnałów cyfrowych są stosowane wtedy, gdy odległości między nadajnikami i odbiornikami są duże lub gdy systemy te mają różne potencjały masy. Odbiornik w takim systemie ma wejście różnicowe. W liniach symetrycznych sygnały są przesyłane za pośrednictwem dwóch przewodów. Sygnały zakłócające indukują się w obu przewodach i na wejściu różnicowym odbiornika odejmują się, dzięki czemu są eliminowane. Podstawową więc zaletą różnicowych systemów przesyłania sygnałów cyfrowych jest tłumienie sygnałów wspólnych. Ta właściwość powoduje, że systemy te są stosowane do przesyłania sygnałów w warunkach silnych zakłóceń. Ze względu na pożądaną dużą szybkość przesyłania sygnałów dwuprzewodowe linie przesyłowe są dopasowane, co umożliwia uniknięcie odbić. Jeżeli nadajnikiem linii jest układ o niewielkiej rezystancji wyjściowej, czyli źródło napięciowe, to wystarczy aby linia była dopasowana na końcu odbiorczym, natomiast jeśli nadajnik ma dużą

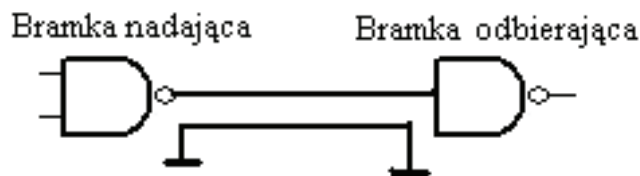
impedancję wyjściową, tzn. jest źródłem prądowym, to linia musi być dopasowana na obu końcach.



Rys.13. Różnicowy system transmisji sygnałów cyfrowych [4,s.620]

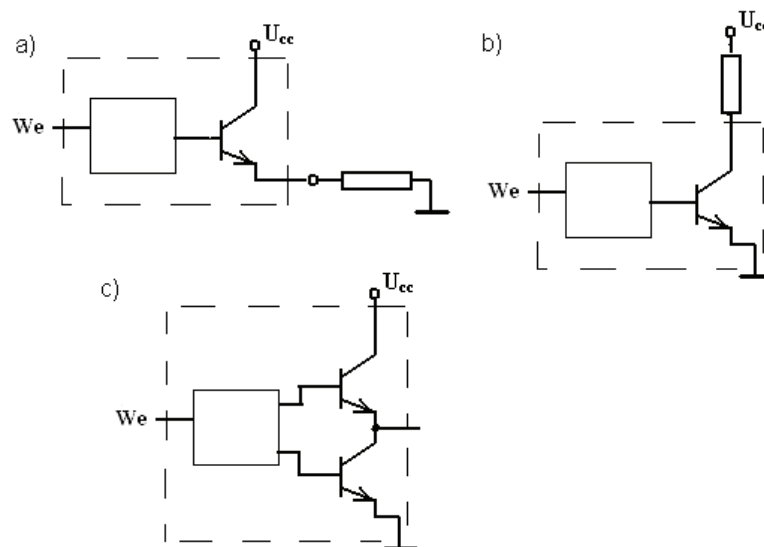
Nadajniki i odbiorniki linii

Standardowa bramka TTL może pracować jako źródło sygnału przesyłanego, czyli nadajnik linii jak i odbiornik.



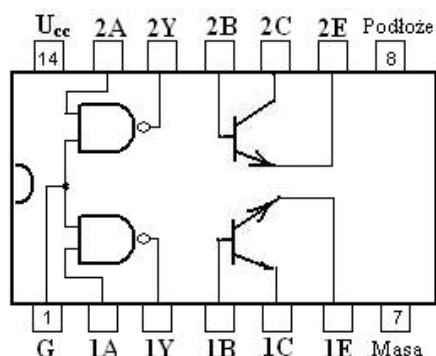
Rys.14. Układ przesyłania sygnałów cyfrowych z zastosowaniem bramek TTL na wejściu i na wyjściu linii przesyłowej [4,s.610]

Bramki nadawczej nie należy obciążać dodatkowo żadną inną bramką, zalecana wartość impedancji falowej linii wynosi 100Ω . Stosując skrętki można do standardowej bramki dołączyć linię o długości do kilku metrów, jednak przy liniach o impedancjach falowych 50Ω i 75Ω (przewody koncentryczne) konieczne jest stosowanie bramek mocy. W układach transmisji sygnałów cyfrowych można wykorzystywać wiele typów układów scalonych np. bramki z otwartym kolektorem (OC) lub bramki z tranzystorem mocy na wyjściu (seria 75). Rodzaje układów wyjściowych nadajników przedstawia Rys.15.



Rys.15. Układy wyjściowe nadajników: a) z rezystorem dołączonym do masy; b) z rezystorem dołączonym do źródła zasilania; c) z wyjściem przeciwsobnym [2,s.198]

Typowym nadajnikiem linii jest układ 75450, którego strukturę przedstawia Rys.16.



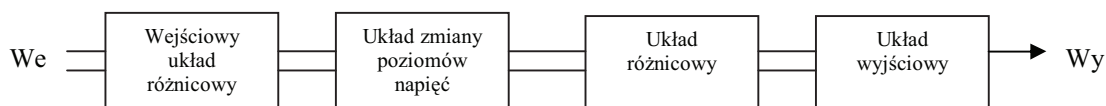
Rys.16. Schemat funkcjonalny układu UCY 75450N, UCA65450N [1,s.478]

Do współpracy z koncentryczną linią przesyłową o impedancji powyżej 50Ω stosuje się np. układy SN75121(LM75121) – nadajnik i SN75122 (LM75122) – odbiornik, lub układy firmy Motorola MC1488 (SN75188, LM1488) – nadajnik i MC1489/1489A – odbiornik, produkowane również pod zmienionymi nazwami przez inne firmy.

Układy transmisji danych liniami symetrycznymi wraz z nadajnikami i odbiornikami linii powinny charakteryzować się:

- dużą szybkością transmisji danych (ok.20 MHz),
- stosowaniem standardowych napięć zasilających,
- dużą czułością wejściową odbiornika ($< 50 \text{ mV}$),
- dużą impedancją wejściową odbiornika,
- dużą zdolnością tłumienia zakłóceń na wejściu odbiornika,
- długością połączeń rzędu kilkuset do kilku tysięcy metrów,
- małym poborem mocy,
- możliwością współpracy nadajnika z liniami o małej impedancji,
- możliwością wykorzystania wspólnej linii przesyłania dla wielu nadajników i odbiorników.

Nadajnik składa się ze stopnia zamieniającego poziomy logiczne na napięcia, które sterują układem przełączania prądu. Przełączenie prądu narusza równowagę napięcia w linii, powodując różnicę potencjałów na wejściach odbiornika. Stopień wejściowy odbiornika ma wejście różnicowe, które zapewnia duże tłumienie zakłócających sygnałów zewnętrznych indukowanych w linii. Stopień pośredni odbiornika przyporządkowuje biegunowość sygnału odpowiednim poziomom logicznym, a układ wyjściowy posiada typowe dla układów TTL wyjście przeciwobne (75107) lub z otwartym kolektorem (75108). Schemat typowego odbiornika przedstawia Rys.17.



Rys.17. Schemat blokowy odbiornika [4,s.623]

4.2.2. Pytania sprawdzające

Odpowiadając na pytania sprawdzisz czy jesteś przygotowany do wykonania ćwiczeń.

1. Jakich mediów używa się do przesyłania sygnałów cyfrowych?
2. W jakich układach może odbywać się transmisja sygnałów cyfrowych?
3. Jakie są przyczyny zakłóceń i przesłuchów w liniach transmisyjnych?
4. Jakie są typowe układy transmisji sygnałów cyfrowych liniami niesymetrycznymi?
5. Jak zbudowana jest skrętka, a jak koncentryk?
6. Dlaczego na duże odległości konieczne jest stosowanie różnicowych układów transmisji?
7. Jakie bramki TTL wykorzystuje się jako nadajniki i odbiorniki linii?

4.2.3. Ćwiczenia

Ćwiczenie 1

Badanie transmisji sygnałów w linii niesymetrycznej.

Sposób wykonania ćwiczenia

Ćwiczenie polega na zmontowaniu niesymetrycznego układu przesyłania danych cyfrowych z wykorzystaniem skrętki o długości co najmniej kilku metrów i pomiarze parametrów przesyłanych sygnałów.

Uwaga: Poproś nauczyciela o sprawdzenie układów praktycznych przed włączeniem zasilania.

Aby wykonać ćwiczenie powinieneś:

- 1) zapoznać się z rodzajami i parametrami niesymetrycznych linii transmisyjnych;
- 2) zmontować niesymetryczny układ transmisji sygnałów wykorzystując odpowiednie trenażery;
- 3) podłączyć generator impulsowy na wejście i oscyloskop na wyjście układu,
- 4) zaobserwować przebiegi na wyjściu układu, zmierzyć opóźnienie i poziomy napięcie sygnałów wejściowych i wyjściowych;
- 5) porównać uzyskane wartości opóźnienia z wartościami z Tabeli 1;
- 6) obliczyć tłumienie linii;
- 7) odłączyć z jednej strony przewód masowy skrętki (w celu spowodowania zakłóceń), dokonać obserwacji przebiegów na wyjściu oraz zmierzyć opóźnienie i tłumienie w linii;
- 8) zmontować linię transmisyjną wykorzystując nadajniki i odbiorniki linii, zaobserwować przebiegi na wejściu i wyjściu linii, ocenić jakość transmisji;
- 9) ocenić poprawność wykonania ćwiczenia;
- 10) sformułować wnioski dotyczące warunków poprawnej transmisji sygnałów cyfrowych za pomocą częściowo ekranowanych przewodów - skrętki.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- makiety (trenażery) z układami transmisji umożliwiające obserwację zjawisk związanych z przesyłaniem sygnałów linią długą,
- nadajniki i odbiorniki linii,
- sprzęt pomiarowy i laboratoryjny: oscyloskop cyfrowy, generatory impulsowe,
- katalogi elementów i układów elektronicznych
- literatura z rozdziału 6.

Ćwiczenie 2

Badanie transmisji sygnałów w linii niesymetrycznej.

Sposób wykonania ćwiczenia:

Ćwiczenie polega na zmontowaniu niesymetrycznego układu przesyłania danych cyfrowych z wykorzystaniem kabla koncentrycznego długości co najmniej kilkunastu metrów i pomiarze parametrów przesyłanych sygnałów.

Uwaga: Poproś nauczyciela o sprawdzenie układów praktycznych przed włączeniem zasilania.

Aby wykonać ćwiczenie powinieneś:

- 1) zapoznać się z rodzajami i parametrami niesymetrycznych linii transmisyjnych;
- 2) zmontować niesymetryczny układ transmisji sygnałów wykorzystując odpowiednie trenażery;
- 3) podłączyć generator impulsowy na wejście i oscyloskop na wyjście układu,
- 4) zaobserwować przebiegi na wyjściu układu, zmierzyć opóźnienie i poziomy napięcie sygnałów wejściowych i wyjściowych;
- 5) porównać uzyskane wartości opóźnienia z wartościami z Tabeli 1;
- 6) obliczyć tłumienie linii;
- 7) zmontować linię transmisyjną wykorzystując odpowiednie nadajniki i odbiorniki linii, zaobserwować przebiegi na wejściu i wyjściu linii, ocenić jakość transmisji;
- 8) ocenić poprawność wykonania ćwiczenia;
- 9) sformułować wnioski dotyczące warunków poprawnej transmisji sygnałów cyfrowych za pomocą kabla koncentrycznego.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- makiety (trenażery) z układami transmisji umożliwiające obserwację zjawisk związanych z przesyłaniem sygnałów linią długą,
- nadajniki i odbiorniki linii,
- sprzęt pomiarowy i laboratoryjny: oscyloskop cyfrowy, generatory impulsowe,
- katalogi elementów i układów elektronicznych,
- literatura z rozdziału 6.

Ćwiczenie 3

Badanie transmisji sygnałów w linii symetrycznej.

Sposób wykonania ćwiczenia

Ćwiczenie polega na zmontowaniu symetrycznego układu przesyłania danych cyfrowych z wykorzystaniem skrętki o długości co najmniej kilkunastu metrów i pomiarze parametrów przesyłanych sygnałów.

Uwaga: Poproś nauczyciela o sprawdzenie układów praktycznych przed włączeniem zasilania.

Aby wykonać ćwiczenie powinieneś:

- 1) zapoznać się z rodzajami i parametrami symetrycznych linii transmisyjnych;
- 2) zmontować symetryczny układ transmisji sygnałów wykorzystując odpowiednie trenażery;
- 3) podłączyć generator impulsowy na wejścia i oscyloskop na wyjście układu,
- 4) zaobserwować przebiegi na wyjściu układu;
- 5) zmontować linię transmisyjną wykorzystując nadajniki i odbiorniki linii, zaobserwować przebiegi na wejściu i wyjściu linii, ocenić jakość transmisji;
- 6) ocenić poprawność wykonania ćwiczenia;
- 7) sformułować wnioski dotyczące warunków poprawnej transmisji sygnałów cyfrowych za pomocą symetrycznej linii przesyłowej.

- Wyposażenie stanowiska pracy:
- makiety (trenażery) z układami transmisji umożliwiające obserwację zjawisk związanych z przesyłaniem sygnałów linią długą,
 - nadajniki i odbiorniki linii,
 - sprzęt pomiarowy i laboratoryjny: oscyloskop cyfrowy, generatory impulsowe,
 - katalogi elementów i układów elektronicznych,
 - literatura z rozdziału 6.

Ćwiczenie 4

Badanie nadajników i odbiorników linii.

Sposób wykonania ćwiczenia:

Ćwiczenie polega na pomiarze parametrów wybranych nadajników i odbiorników linii.

Uwaga: Poproś nauczyciela o sprawdzenie układów praktycznych przed włączeniem zasilania.

Aby wykonać ćwiczenie powinieneś:

- 1) zapoznać się z rodzajami i parametrami nadajników i odbiorników linii wykorzystując katalog układów elektronicznych;
- 2) zmierzyć poziomy napięcie wejściowych i wyjściowych nadajników linii różnych typów wykorzystując odpowiednie trenażery;
- 3) zmierzyć poziomy napięcie wejściowych i wyjściowych odbiorników linii różnych typów wykorzystując odpowiednie trenażery;
- 4) zmontować układ transmisji wykorzystując nadajniki i odbiorniki dobrane do rodzaju i długości przewodu łączącego;
- 5) dokonać obserwacji sygnałów na wejściu i na wyjściu toru transmisyjnego dla różnych długości linii transmisyjnych;
- 6) porównać uzyskane wyniki z danymi katalogowymi;
- 7) ocenić poprawność wykonania ćwiczenia;
- 8) sformułować wnioski dotyczące warunków poprawnej transmisji sygnałów cyfrowych pomiędzy nadajnikiem a odbiornikiem linii z wykorzystaniem różnego typu mediów – skrętki, kabla koncentrycznego.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- makiety (trenażery) z układami transmisji umożliwiające obserwację zjawisk związanych z przesyłaniem sygnałów linią długą,
- nadajniki i odbiorniki linii,
- sprzęt pomiarowy i laboratoryjny: oscyloskop cyfrowy, generatory impulsowe,
- katalogi elementów i układów elektronicznych,
- literatura z rozdziału 6.

4.2.4. Sprawdzian postępów

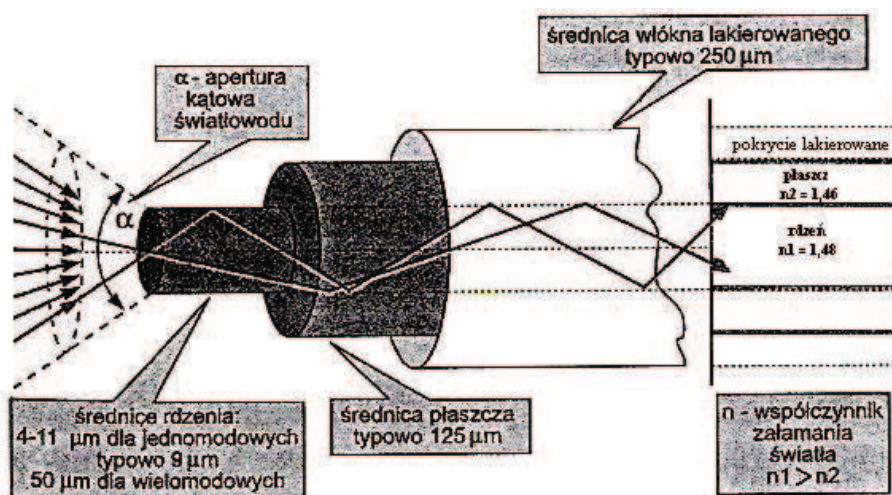
Czy potrafisz:	Tak	Nie
1) podać wady, zalety i obszary stosowania symetrycznych i niesymetrycznych układów transmisji sygnałów cyfrowych?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2) prawidłowo zmontować układy transmisji sygnałów z wykorzystaniem różnych mediów: skrętki, kabla koncentrycznego?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3) omówić przenoszenie sygnałów w różnych układach transmisji?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4) dobrać nadajniki i odbiorniki linii w zależności od rodzaju układu transmisji i długości przewodu łączącego?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5) zmierzyć parametry nadajników i odbiorników linii?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

4.3. Technika światłowodowa

4.3.2. Materiał nauczania

Ze względu na znikome zjawisko tłumienia, odporność na zewnętrzne pola elektromagnetyczne i brak emisji poza tor transmisyjny światłowody stanowią obecnie najlepsze medium transmisyjne.

Transmisja światłowodowa polega na prowadzeniu przez włókno szklane promieni optycznych generowanych przez laserowe źródła światła. Medium transmisyjne światłowodu stanowi czyste szklane włókno kwarcowe (SiO_2) o kołowym przekroju, w którym światło jest zamknięte w centralnie położonym rdzeniu, dzięki otoczeniu go nieprzeźroczystym płaszczem, zbudowanym ze szkła domieszkowanego GeO_2 , P_2O_5 , B_2O_3 i F w celu zmiany współczynnika załamania światła. Dla wykorzystywanych w światłowodach promieni świetlnych z zakresu bliskiej podczerwieni, różnica współczynników odbicia światła pomiędzy rdzeniem a płaszczem (w rdzeniu większy niż w płaszczu) powoduje całkowite wewnętrzne odbicie światła i prowadzenie go wzdłuż osi włókna. Budowę pojedynczego włókna światłowodowego przedstawia Rys.18.



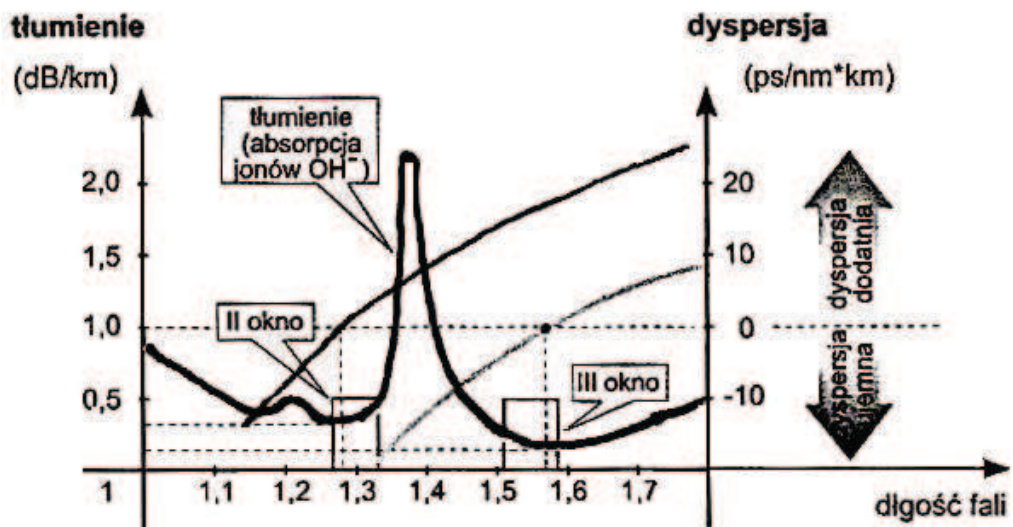
Rys.18. Struktura włókna światłowodowego [6,s.31]

Włókna światłowodowe klasyfikuje się według liczby prowadzonych modów (promieni wiązki świetlnej), zakresu zmian współczynnika załamania światła, tłumienności, dyspersji oraz średnicy.

Szkło kwarcowe różni się tłumiennością dla fal o różnych długościach. Wykorzystywane są tzw. okna charakterystyki tłumienia w funkcji częstotliwości, w których tłumienie włókien światłowodowych jest najmniejsze – Rys.19. Z wykorzystaniem kolejnych okien wiąże się również istnienie kolejnych generacji światłowodów o coraz mniejszym tłumieniu i większej szybkości transmisji:

- światłowody I generacji używały fal o długości $\lambda=850$ nm, tłumienie wynosiło ok. 4dB/km, a pojemność transmisyjna była mniejsza niż 50Mb/s,
- światłowody II generacji wykorzystują fale o $\lambda=1300$ nm, dla których tłumienie przy podanej długości fali wynosi 0,35dB/km,
- światłowody III generacji wykorzystują fale o $\lambda=1550$ nm, dla których tłumienie jednostkowe dla podanej częstotliwości mieści się w granicach od 0,16 do 0,20 dB/km,

- światłowody IV i V generacji wykorzystują II i III okno charakterystyki tłumienności szkła kwarcowego, a poprawę szybkości transmisji uzyskano w nich dzięki wprowadzeniu nowych urządzeń np. szerokopasmowych wzmacniaczy optycznych.



Rys.19. Tłumienie i dyspersja w światłowodzie [6,s.32]

Dyspersja określa zniekształcenia sygnału powodowane różnymi szybkościami rozchodzenia się fal o różnych częstotliwościach, wzajemnym wpływem różnych modów światła oraz stratami w światłowodzie. Dyspersja jest parametrem określającym przydatność światłowodu do transmisji długodystansowych, ponieważ powoduje przenoszenie impulsów świetlnych w zniekształconej postaci. Całkowita wartość dyspersji zależy od trzech składowych:

- dyspersji falowodowej, wynikającej z częściowego (ok. 20%) wędrowania wiązki przez płaszcz światłowodu,
- dyspersji materiałowej, nazywanej też chromatyczną, wynikającej z różnych prędkości fal monochromatycznych składających się na widmo impulsów w rdzeniu, co powoduje poszerzenie przesyłanych impulsów,
- dyspersji modowej, wynikającej z różnych prędkości różnych modów światła, niewystępującej w światłowodach jednomodowych.

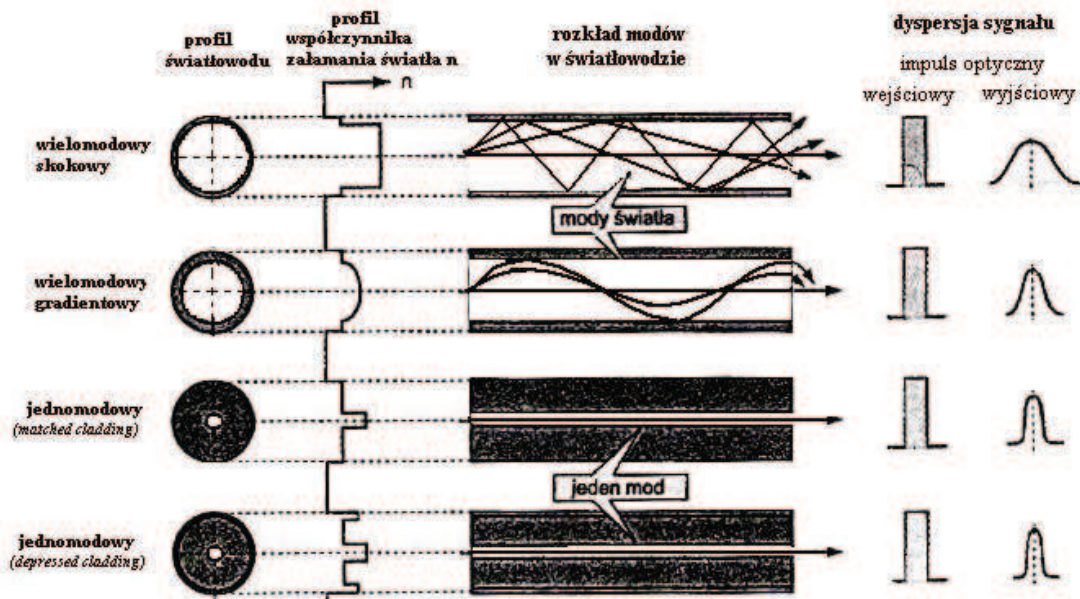
Podział światłowodów na **światłowody jedno** i **wielomodowe** wynika z ilości przesyłanych równocześnie modów światła. Mod światła jest to „paczka” fal odmiennej długości fali świetlnej i szybkości propagacji. W światłowodach wielomodowych możliwe jest transmitowanie wielu modów w światłowodzie równocześnie, natomiast w światłowodach jednomodowych równocześnie może być transmitowany tylko jeden mod światła – Rys.20, co całkowicie likwiduje możliwość zniekształceń wynikających z interferencji fal świetlnych.

Kolejny podział światłowodów wynika z profilu rozkładu współczynnika załamania światła, który ma duży wpływ na sposób i jakość transmisji światłowodowej:

- światłowody skokowe, w których zmiana współczynnika załamania światła na granicy rdzenia i płaszcza jest skokowa,
- światłowody gradientowe, w których zmiana współczynnika załamania światła zachodzi stopniowo i nie ma wyraźnej granicy.

Wszystkie te właściwości światłowodów wynikające z budowy, wartości tłumienności i dyspersji wpływają na sposób przenoszenia promieni świetlnych przez światłowód – Rys.20. Kryteria wartościujące światłowody jako tory transmisyjne to przede wszystkim straty transmisji na jednostkę długości oraz dyspersja, czyli poszerzenie impulsu. Analiza Rys.20 pozwala na stwierdzenie, że najmniej zniekształcają impuls światłowody jednomodowe III generacji i dlatego obecnie są najczęściej stosowanym medium światłowodowym. Tłumienie i dyspersja

impulsu określają wartość tzw. odległości regeneracyjnej, czyli maksymalnej odległości w jakiej muszą znajdować się regeneratory przesyłanego sygnału. Dla światłowodów wielomodowych gradientowych wynosi ona ok. 50 km, a dla jednomodowych III generacji do 200km.



Rys.20. Profile i mody światłowodowe [6,s.32]

4.3.3. Pytania sprawdzające

Odpowiadając na pytania sprawdzisz czy jesteś przygotowany do wykonania ćwiczenia.

1. Dlaczego światłowody są najlepszym medium transmisyjnym?
2. Jak zbudowany jest światłowód?
3. Jakie podstawowe parametry określają właściwości światłowodów?
4. Jakie kryteria są podstawą wyróżnienia pięciu generacji światłowodów?
5. Czym różnią się światłowody jedno i wielomodowe?
6. Jak profil światłowodu (profil współczynnika załamania światła) wpływa na kształt przenoszonych impulsów?

4.3.4. Ćwiczenia

Ćwiczenie 1

Badanie właściwości światłowodów.

Sposób wykonania ćwiczenia

Ćwiczenie polega na wyznaczeniu wybranych parametrów światłowodów: apertury numerycznej i stożka akceptacji dla promieni wchodzących do światłowodu

Aby wykonać ćwiczenie powinieneś:

- 1) zapoznać się z rodzajami i właściwościami światłowodów;
- 2) obliczyć wartość apertury numerycznej światłowodu NA na podstawie danych określających współczynniki załamania światła w rdzeniu i w płaszczu dla różnych typów światłowodów: n_1 – współczynnik załamania światła w rdzeniu, n_2 – wsp. załamania światła w płaszczu

$$NA = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$

- 3) obliczyć wartość kąta akceptacji dla poszczególnych typów światłowodów oraz wyznaczyć kąt wierzchołkowy stożka akceptacji promieni dla poszczególnych typów światłowodów wg zależności

$$\sin \theta = NA \quad \alpha = 2 \cdot \theta \quad \theta - \text{kąt akceptacji}; \quad \alpha - \text{kąt wierzchołkowy stożka akceptacji}$$

- 4) sformułować wnioski dotyczące różnic współczynników załamania światła w rdzeniu i płaszczu światłowodów i wielkości kąta wierzchołkowego stożka akceptacji dla różnych typów światłowodów.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- materiały określające wartości współczynników załamania światła szkła stosowanego w różnych typach światłowodów - tabela,
- katalogi elementów i układów elektronicznych
- komputer PC,
- oprogramowanie Excell,
- literatura z rozdziału 6.

Tabela. Wartości współczynników załamania światła dla różnych typów światłowodów [6,s.31]

Rodzaj światłowodu	n_1	n_2
Włókno wielomodowe ze skokowym profilem rozkładu współczynnika załamania światła	1,48 1,527	1,46 1,515
Włókno wielomodowe gradientowe	od 1,527 do 1,562	1,540
Włókno jednomodowe skokowe	1,471	1,457

4.3.4. Sprawdźan postępów

Czy potrafisz:

- | | Tak | Nie |
|--|--------------------------|--------------------------|
| 1) scharakteryzować różne typy światłowodów ? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 2) wymienić i scharakteryzować parametry światłowodów? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 3) uzasadnić stosowanie światłowodów jako medium transmisyjnego pomimo stosunkowo dużych kosztów w porównaniu do innych mediów przewodowych? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

6. LITERATURA

1. Borczyński J., Dumin P., Mliczewski A.: Podzespoły elektroniczne. Półprzewodniki. Poradnik, WKiŁ, Warszawa 1990.
2. Głocki W. : Układy cyfrowe, WSiP, Warszawa 1998
3. Łakomy M., Zabrodzki J. : Liniowe układy scalone w technice cyfrowej, PWN, Warszawa 1981
4. Pieńkos J. Turczyński J.: Układy scalone TTL w systemach cyfrowych, WKiŁ, Warszawa 1986
5. Rusek A.: Podstawy elektroniki cz.2, WSiP, Warszawa 1986
6. Vademecum teleinformatyka, praca zbiorowa, IDG Poland S.A., Warszawa 1999
7. www.elektronikapraktyczna.pl