

Vyšší odborná škola a Střední průmyslová škola dopravní, Praha 1, Masná 18
Masná 18, 110 00 Praha 1

OBOR VZDĚLÁNÍ

26-41-M/01 Elektrotechnika

ZAMĚŘENÍ

Telekomunikační a informační technika

MATURITNÍ PRÁCE

Telekomunikační spoje a optimalizace přenosové cesty

Shrnutí

Práce se zbývá základy telekomunikačních zřízení od stručné historie po vysvětlení pojmů telekomunikační spoj a přenosová cest. Popisují zde vznik elektromagnetických vln v oscilačním LC obvodu a vlastnosti vln jako amplituda, frekvence, fázový posun. Práce obsahuje šíření elektromagnetických vln prostorem a jejich šíření metalickými a optickými kabely.

K dalšímu porozumění šíření informací je v práci obsaženo základní rozdělení a popis struktury metalických kabelů jako UTP a STP kroucených dvoulinek nebo koaxiální kabely. Popisují zde také šíření elektromagnetických vln v optických vláknech.

Součástí práce je také praktická ukázka jednotlivých druhů kabelů, které doplňují teoretické popisy v práci.

Dále se v práci nachází základní rozdělení a popis modulací / klíčování signálu na analogový a digitální přenos s principy vícenásobného využití přenosových cest (multiplex) jako frekvenční multiplex, časový multiplex nebo ortogonální frekvenční multiplex.

Obsah

Úvod

1	Telekomunikační spoj a výběr typu přenosové cesty pro kvalitu a cenu přenosu	2
1.1	Telekomunikační spoj	2
1.2	Historie.....	4
1.3	Přenosová cesta	5
2	Vznik a vlastnosti elektromagnetické vlny a její šíření v metalických a optických kabelech	6
2.1	Co to je elektromagnetická vlna	6
2.2	Vznik elektromagnetické vlny – oscilace	7
2.2.1	Oscilace v LC obvodu	8
2.3	Rezonance.....	9
2.4	Polarizace elektromagnetické vlny	10
2.5	Vlastnosti elektromagnetických vln.....	10
2.5.1	Vlnová délka	10
2.5.2	Frekvence	12
2.5.3	Amplituda	13
2.5.4	Fázový posun ϕ	13
2.6	Rozdělení elektromagnetických vln	13
2.7	Obecné vlastnosti metalického vedení.....	15
2.8	Šíření signálu v metalických kabelech.....	16
2.8.1	Koaxiální kabel.....	17
2.8.2	Kroucená dvoulinka	18
2.9	Šíření signálu v optických vláknech.....	18
3	Šíření elektromagnetických vln prostorem, směřování a jejich chování na překážkách	19
3.1	Šíření elektromagnetických vln.....	19
3.1.1	Přímočaré šíření.....	19
3.1.2	Povrchové šíření	20
3.1.3	Prostorové šíření	21
3.2	Směřování	22
3.3	Vlny a překážky	22
3.3.1	Odraz	23

3.3.2	Lom	23
3.3.3	Ohyb	23
4	Vlastnosti a rozdělení metalických a optických kabelů, včetně praktických ukázek.....	24
4.1	Metalické vodiče	24
4.1.1	Kroucená dvoulinka	24
4.1.2	UTP	25
4.1.3	STP	25
4.2	Koaxiální kabel	25
4.3	Optická vlákna.....	27
4.3.1	Mnohovidová vlákna	27
4.3.2	Jednovidová vlákna	28
5	Modulace a klíčování signálu na nosnou vlnu a kvalita přenosu podle vybrané modulace a klíčování.....	29
5.1	Co to je modulace / klíčování.....	29
5.2	Analogové modulace	30
5.2.1	Amplitudová modulace (AM)	30
5.2.2	Frekvenční modulace (FM)	31
5.3	Digitální modulace	32
5.3.1	Amplitudové klíčování (ASK).....	32
5.3.2	Frekvenční klíčování (FSK)	33
5.3.3	Fázové klíčování (PSK)	33
5.3.4	Kvadrurní amplitudová modulace (QAM)	35
6	Principy vícenásobného využití přenosových cest a konkrétní příklady užití.	37
6.1	Frekvenční multiplex (FDM).....	37
6.2	Časový multiplex (TDM).....	38
6.2.1	Synchronní TDM	40
6.2.2	Statický TDM.....	40
6.3	Kódový multiplex (CDM)	40
6.4	Ortogonální frekvenční multiplex (OFDM)	41

Závěr

Zdroje

Seznam obrázků

Obrázek 1: Blokové schéma telekomunikačního spoje, obrázek z vlastního archivu	3
Obrázek 2: Telegraf	4
Obrázek 3: První telefon.....	4
Obrázek 4: Elektromagnetické vlny.....	6
Obrázek 5: Složky elektromagnetické vln	7
Obrázek 6: Schéma LC obvodu, obrázek z vlastního archivu	8
Obrázek 7: Tlumené kmity, obrázek z vlastního archivu.....	9
Obrázek 8: Elektromagnetické spektrum.....	12
Obrázek 9: Náhradní schéma metalického vedení, obrázek z vlastního archivu	15
Obrázek 10: Náhradní schéma metalického vedení, obrázek z vlastního archivu	16
Obrázek 11: Průřez koaxiálním kabelem, obrázek z vlastního archivu	17
Obrázek 12: Přímočaré šíření, obrázek z vlastního archivu	20
Obrázek 13: Povrchové šíření, obrázek z vlastního archivu	21
Obrázek 14: Prostorové šíření, obrázek z vlastního archivu	22
Obrázek 15: Kroucená dvoulinka	25
Obrázek 16: Koaxiální kabel	26
Obrázek 17: Optická vlákna.....	27
Obrázek 18: Šíření vidů v mnohovidovém vlákně, obrázek z vlastního archivu	28
Obrázek 19: Šíření vidu v jednovidovém vlákně, obrázek z vlastního archivu.....	28
Obrázek 20: Zobrazení 2-PSK, obrázek z vlastního archivu.....	34
Obrázek 21: Zobrazení 4-PSK, obrázek z vlastního archivu.....	34
Obrázek 22: Zobrazení 8-QAM, obrázek z vlastního archivu	35
Obrázek 23: Zobrazení 16-QAM, obrázek z vlastního archivu	36
Obrázek 24: Frekvenční osa FDM, obrázek z vlastního archivu	38
Obrázek 25: Graf časového multiplexu, obrázek z vlastního archivu	38
Obrázek 26: Kódový multiplex, obrázek z vlastního archivu.....	41
Obrázky z vlastního archivu: 1,6,7,9,10,11,12,13,14,18,19,20,21,22,23,24,25,26	

Seznam rovnic

Rovnice 1: Rychlost šíření elektromagnetických vln, obrázek z vlastního archivu.....	6
Rovnice 2: Okamžitá hodnota napětí, obrázek z vlastního archivu	7

Rovnice 3: Zjednodušené vyjádření elektromagnetických vln	7
Rovnice 4: Rezonanční kmitočet, obrázek z vlastního archivu.....	9
Rovnice 5: Okamžitá hodnota napětí, obrázek z vlastního archivu	10
Rovnice 6: Vlnová délka, obrázek z vlastního archivu.....	11
Rovnice 7: Kapacitní reaktance kondenzátoru, obrázek z vlastního archivu	15
Rovnice 8: Induktivní reaktance cívky, obrázek z vlastního archivu	16
Rovnice 9: Okamžitá hodnota napětí, obrázek z vlastního archivu	29
Rovnice 10: Hloubka modulace, obrázek z vlastního archivu	30
Rovnice 11: Šířka pásma, obrázek z vlastního archivu	31

Seznam tabulek

Tabulka 1: Rozdělení elektromagnetického spektra	12
Tabulka 2: Rozdělení elektromagnetických vln.....	13

Úvod

Téma telekomunikační spoje a optimalizace přenosové cesty jsem si vybral, protože mi toto téma přijde velmi zajímavé a pro většinu lidí neznámé. Chtěl jsem se také více dozvědět o telekomunikacích, jelikož jsou běžnou součástí našeho života. Mým cílem bylo více se do hloubky naučit elektromagnetické vlny a pochopit, kde se hodí nainstalovat jaký vodič. Jsem si jistý, že tato znalost se mi bude do praxe velice hodit. Telekomunikace je fascinující technologie, na kterých je dnes závislý celý svět a v případě poruchy nebo výpadku mezi sebou nemáme tolik možností, jak komunikovat. v tomto oboru vidím prosperující budoucnost a pochopení základů je začátek pro něco víc.

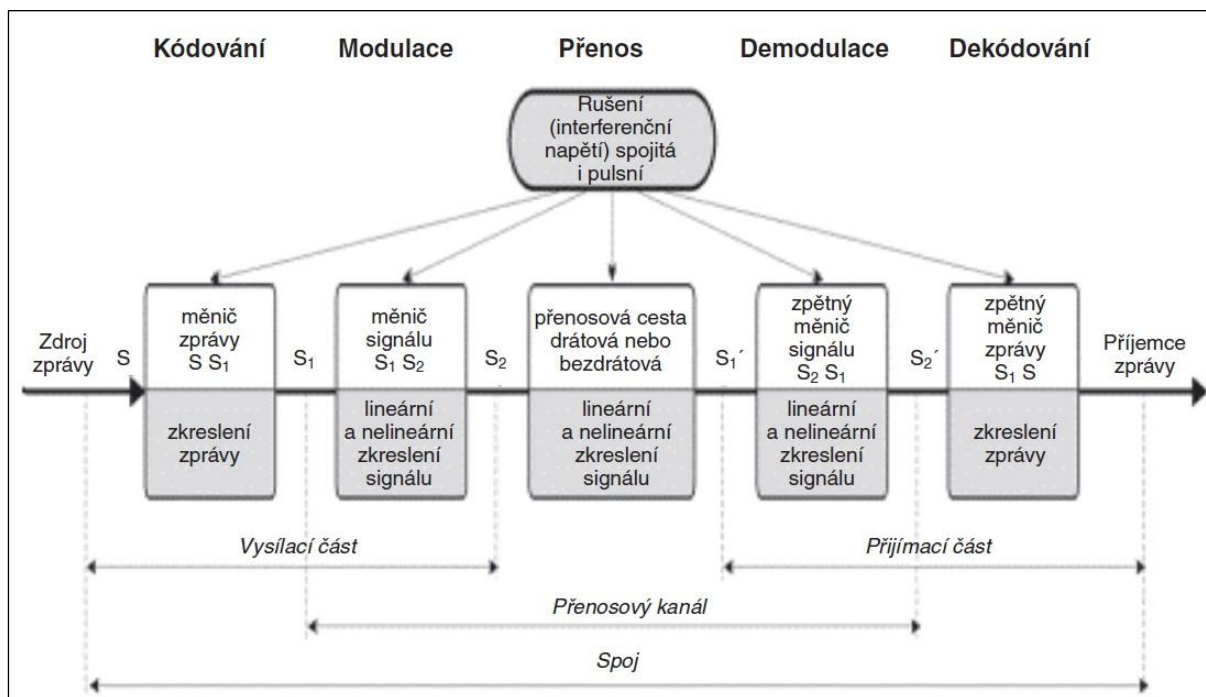
1 Telekomunikační spoj a výběr typu přenosové cesty pro kvalitu a cenu přenosu

Telekomunikace je elektrotechnický podobor zabývající se komunikační technikou (dříve sdělovací technika) a přenosem informací (zvuk, data, obraz, signál nesoucí informace) na dálku pomocí techniky. Za telekomunikaci se považuje pouze přenos informací pomocí technického zařízení např. mobilní telefon, modem, router, anténa, satelit nebo historicky telegraf, rozhlas, televize, kamera, monitor. Komunikace mezi těmito přístroji je označována jako telekomunikační spoj. Každý telekomunikační spoj se skládá z přenosové cesty, která má své dané parametry, které mají své specifické chování. Těchto cest existuje obrovská řada, naprosto nejpoužívanější množství těchto spojů, je ale realizováno těmito typy: metalické / optické vodiče, bezdrátový přenos elektromagnetickými vlnami a komunikační protokoly (TCP/IP). Cílem dnešních telekomunikací je přenos po těchto médiích co nejvíce zefektivnit ve smyslu přenesení velkého množství informací za nejkratší čas s největší spolehlivostí a s co nejmenšími energetickými nároky. Pro tento účel bylo vyvinuto několik typů multiplexu, modulace a více stavová modulace, TCP/IP a případně model OSI/ISO.

1.1 Telekomunikační spoj

Telekomunikační spoj je označení pro fyzické propojení dvou nebo více bodů (vysílač a přijímač), pomocí elektrických signálů.

Každý spoj se skládá z kodéru, modulátoru, přenosové cesty, demodulátoru a dekodéru, kde každý tento blok vykonává při přenosu informace jinou funkci. Blokové schéma telekomunikačního spoje:



Obrázek 1: Blokové schéma telekomunikačního spoje, obrázek z vlastního archivu

Zvuk, Obraz, Data – jsou vstupní informace např. z mikrofonu, kamery nebo čidla

Kodér – přetváří přijaté informace na elektrický signál

Modulátor – pomocí modulace přizpůsobuje elektrický signál přenosové cestě (více v samostatném bodu)

Přenosová cesta – fyzická cesta, po které putuje namodulovaná informace, vždy elektromagnetická vlna

Demodulátor – přijímá modulovaný signál a přetváří ho na původní elektrický signál

Dekodér – dekóduje elektrický signál na původní formu (zvuk, obraz, data)

Kvalita telekomunikačního spoje závisí na vzdálenosti mezi přijímačem a vysílače, na použitém materiálu, správné instalaci, rušení a stabilitě.

Každý spoj má své dané vlastnosti, které určují, jak dobře lze po dané cestě přenášet informace. Jeho základní rozdělení se dělí na:

- **Simplex** – Jednosměrná komunikace (rozhlas, rádio)
- **Poloduplex** – Komunikace probíhá oběma směry, ale vždy pouze jeden bod vysílá a druhý přijímá (vysílačky)
- **Duplex** – Komunikace probíhá oběma směry na dvou telekomunikačních spojích najednou (telefonní hovor, ethernet)

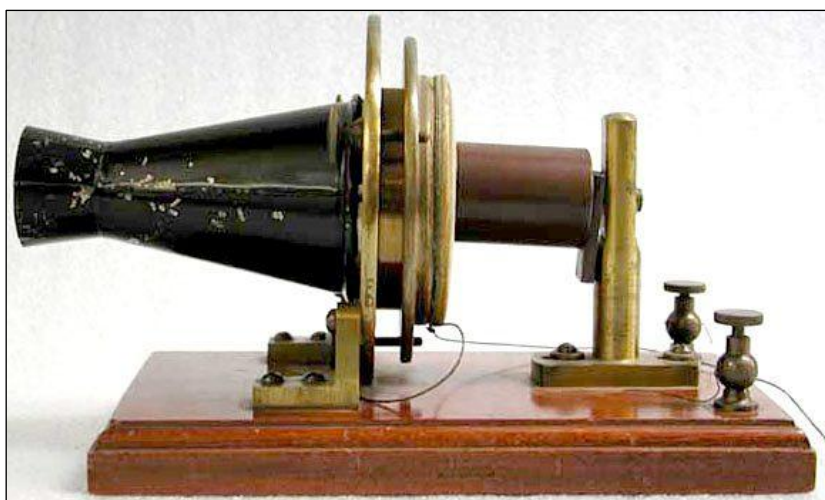
1.2 Historie

Historicky můžeme telekomunikačním spojem označit kouřové a světelné signály, používané převážně do 19. století. První opravdu použitelný telekomunikační spoj označujeme elektrický telegraf vynalezený v roce 1837 americkým vynálezcem Samuelem Morseem. Šlo o první elektricky posílané signály po kovovém vodiči na dlouhé vzdálenosti, které dali vznik Morseově abecedě.



Obrázek 2: Telegraf

Další značně důležitý vynález představil v roce 1876 Alexander Graham Bell. Bell dokázal pomocí vibrující membrány převést zvukovou vlnu na elektrický signál, který putoval na krátké vzdálenosti do stejné membrány kde se znovu proměnil na zvuk. Vznikl tak první telefon, o jehož prvenství se dnes vedou spory mezi zmíněným Bellem a Antoniem Meuccim, který s podobným principem přišel už v roce 1849.



Obrázek 3: První telefon

1.3 Přenosová cesta

Přenosovou cestou označujeme médium, které nám umožní přenos namodulovaného signálu mezi vysílačem a přijímačem. Ve všech případech se jedná o formu elektromagnetické vlny.

Přenosové cesty se dělí na mnoho typů, nejpoužívanější jsou bezesporu:

- Elektromagnetické vlny (bezdrátový přenos)
- Metalické vodiče (kroucená dvoulinka, koaxiální kabel)
- Optická vlákna

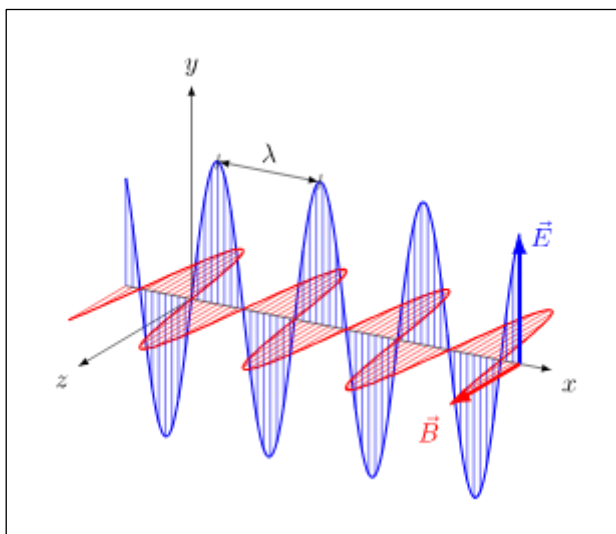
Kvalita přenosové cesty závisí na použitém médiu, jeho stabilitě, vzdálenosti mezi vysílačem a přijímačem, správné instalaci a rušení.

2 Vznik a vlastnosti elektromagnetické vlny a její šíření v metalických a optických kabelech

Tato kapitola se zabývá vznikem elektromagnetické vlny, jejími základními vlastnostmi a způsoby, jakými se signál šíří v metalických vodičích a optických vláknech.

2.1 Co to je elektromagnetická vlna

Elektromagnetická vlna je forma energie tvořená elektrickým (E) a magnetickým polem (H nebo B).



Obrázek 4: Elektromagnetické vlny

Tyto dvě složky se navzájem ovlivňují, kmitají kolmo k sobě a zároveň kolmo ke směru šíření. Vlna se vakuem šíří rychlostí rychlosti světla ($c \approx 300\,000\text{ km/s}$).

V dielektriku (např. vzduch, izolant atd.) se vlna kvůli jinému prostředí šíří pomaleji, v závislosti na permitivitě (značka: ϵ [F/m] – schopnost materiálu propouštět elektrické pole) a permeabilitě (značka: μ [H/m] – schopnost materiálu propouštět magnetické pole) prostředí. Rychlost šíření vlny v dielektriku lze vypočítat vzorcem:

Rovnice 1: Rychlost šíření elektromagnetických vln, obrázek z vlastního archivu

$$v = \frac{1}{\sqrt{\epsilon \cdot \mu}}$$

Kde:

v = Rychlost šíření [m/s]

ϵ = Permittivita prostředí [F/m]

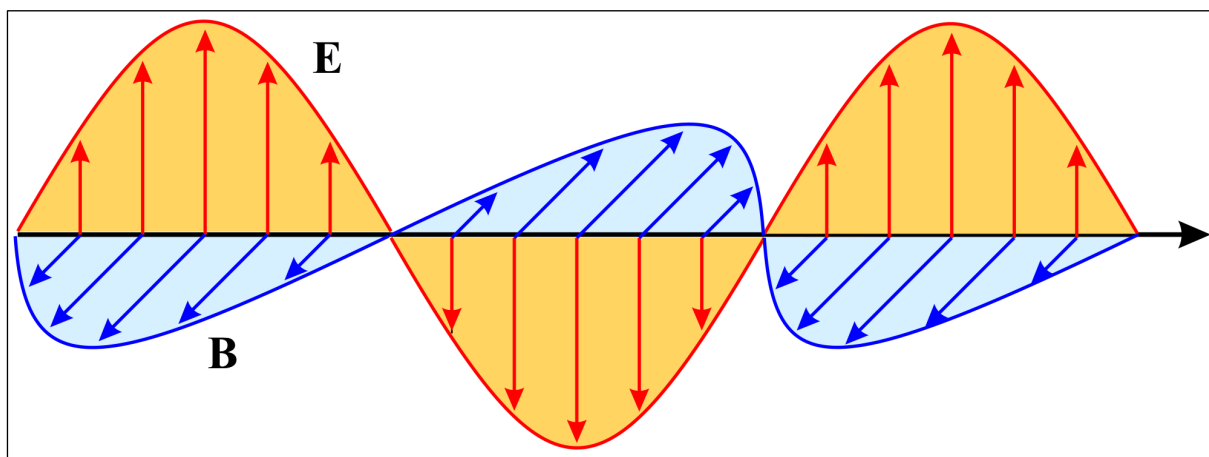
μ = Permeabilita prostředí [H/mg]

Změnou okamžité hodnoty amplitudy, frekvenci a fázovému posunu dokážou elektromagnetické vlny přenášet bezdrátově příslušné namodulované informace.

Rovnice 2: Okamžitá hodnota napětí, obrázek z vlastního archivu

$$u(t) = U_{\max} \cdot \sin(2\pi ft \pm \varphi)$$

Změnou těchto parametrů lze kódovat data, hlas nebo obraz, což z elektromagnetických vln činí základ všech bezdrátových komunikací (amplitudová, frekvenční nebo fázová modulace).



Obrázek 5: Složky elektromagnetické vln

Obrázek znázorňuje kmitající elektrické pole (E) a kmitající magnetické pole (B). Složky jsou na sebe kolmé a černá šipka znázorňuje směr šíření vlny.

2.2 Vznik elektromagnetické vlny – oscilace

Elektromagnetické vlny, vznikají mezi všemi vodiči, kterými prochází proud. Vlny, používané na bezdrátový přenos vznikají ve vysílacím LC obvodu, jehož kmitavý vysokofrekvenční proud se přesune na anténu, ve které se rozpohybují její volné elektrony. Podle Maxwellových rovnic tento pohyb elektrických nábojů způsobí změnu magnetického pole, jehož změnou vzniká elektrické pole s intenzitou úměrnou rychlosti změny. Výsledná elektromagnetická vlna se šíří od antény do prostoru. Zjednodušené vyjádření vzniku elektromagnetické vlny:

$$E = \frac{\Delta H}{\Delta t} \quad H = \frac{\Delta E}{\Delta t}$$

Rovnice 3: Zjednodušené vyjádření elektromagnetických vln

Kde:

E = Proměnné elektrické pole

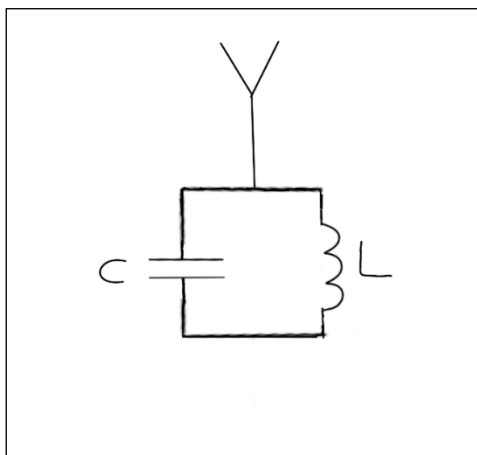
H = Proměnné magnetické pole

t = čas [s]

Tento zápis vyjadřuje zjednodušený princip vzájemného působení elektrického a magnetického pole, nikoli přesný matematický tvar Maxwellových rovnic.

Zápis rovnic zjednodušeně říká, že změna elektrického pole v čase vyvolá měnící se magnetické pole, které opět svou změnou vytvoří měnící se elektrické pole.

2.2.1 Oscilace v LC obvodu



Obrázek 6: Schéma LC obvodu, obrázek z vlastního archivu

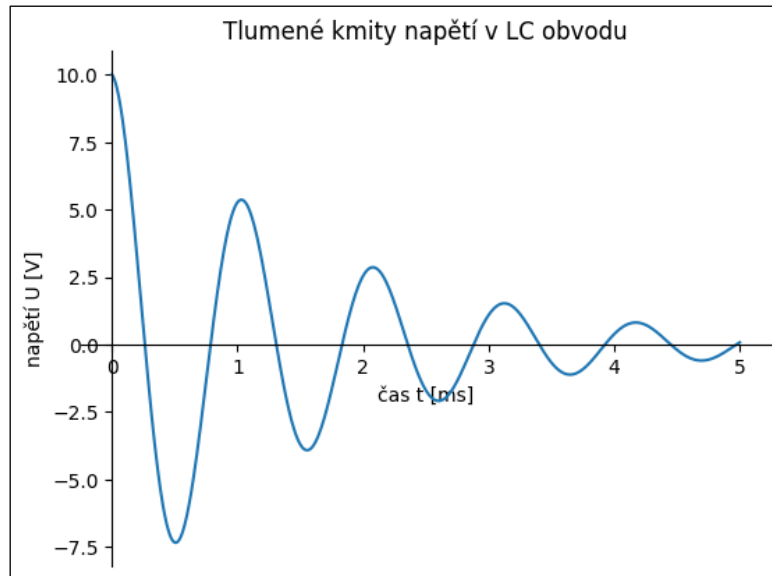
V LC obvodu se přelévá energie mezi kondenzátorem a cívkou. v obvodu se musí nejdříve nabít kondenzátor, který po odpojení zdroje zůstane s počátečním napětím.

Následně se kondenzátor začne vybíjet a posílat svou energii (elektrické pole) do obvodu.

Cívka z přijaté energie z obvodu vytvoří pomocí indukčnosti vlastní magnetické pole, které se bude vytvářet z energie elektrického pole kondenzátoru.

Cívka, poté co začne proud klesat, na sobě indukuje podle Faradayova zákona napětí, ovšem s opačnou polaritou než přicházející proud. Opačné napětí začne znovu nabíjet kondenzátor.

Proces se začne opakovat, ale kmitání nebude trvat do nekonečna, kvůli tepelným ztrátám, které v obvodu způsobí tlumené kmity. Část energie se vždy promění v cívce a vodičích v teplo, které opustí obvod místo toho, aby se dokončil přesun z kondenzátoru do cívky, nebo opačně.



Obrázek 7: Tlumené kmity, obrázek z vlastního archivu

2.3 Rezonance

Rezonance je stav, při kterém se rovnají kapacitní reaktance kondenzátoru a induktivní reaktance cívky. v paralelním LC obvodu se při rezonanci proudy tekoucí do cívky a kondenzátoru navzájem vyruší, takže jejich celkový součet je nulový ($I = 0$). v rezonanci má tento paralelní LC obvod teoreticky nekonečnou impedanci ($Z = U/I$, celkový odpor střídavého proudu), celkový proud obvodu tedy prochází jen odporem R .

Vysílače a přijímače používají rezonanční LC obvody k naladění potřebné frekvence, většinou přes změnu kapacity kondenzátoru. Signál této frekvence projde obvodem s maximální amplitudou a ostatní frekvence utlumí. Pro výpočet této frekvence, kterou chce vysílat nebo přijímat nám slouží Thomsonův vzorec.

Rovnice 4: Rezonanční kmitočet, obrázek z vlastního archivu

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

Kde:

L = Indukčnost cívky [H]

C = kapacita kondenzátoru [F]

f_0 = Rezonanční kmitočet [Hz]

2.4 Polarizace elektromagnetické vlny

Polarizace je určena směrem kmitání siločar elektrického pole v elektromagnetických vlnách. Polarizaci určujeme podle elektrické složky. Základní rozdělení polarizace elektromagnetických vln je buď horizontální nebo vertikální. Elektrické siločáry (jejich směr) jsou buď vodorovné nebo svislé.

Díky polarizaci dokážeme ve stejném kmitočtovém pásmu odeslat dvě na sebe nezávislé elektromagnetické vlny, jde tedy o velice jednoduchou formu multiplexu, což má za důsledek zdvojnásobení přenosové kapacity jednoho frekvenčního pásma.

Vertikální polarizace (svislá) se používá například u mobilních komunikací nebo námořních a leteckých komunikací.

Horizontální složka (vodorovná) se využívá například u satelitní komunikace nebo radarů.

Obě polarizace se využívají pro rozhlas i televizní vysílání.

Přijímací anténa bude přijímat pouze vlny, na které je polarizačně sladěna.

2.5 Vlastnosti elektromagnetických vln

Vlastnosti elektromagnetických vln nám určují, jak se vlny šíří prostorem, jak reagují na překážky a jak je lze využít pro přenos informace.

Základní vlastnosti vln:

- Polarizace
- Vlnová délka
- Frekvence (f)
- Amplituda (U_{\max})
- Fázový posun (ϕ)

Rovnice 5: Okamžitá hodnota napětí, obrázek z vlastního archivu

$$u(t) = U_{\max} \cdot \sin(2\pi ft \pm \varphi)$$

2.5.1 Vlnová délka

Vlnovou délkou popisujeme délku dvou bodů (např. dvě maximální amplitudy dvou period) ve směru šíření vlny v metrech. Závisí na kmitočtu a rychlosti světla. Podle vlnových délek dokážeme určit, jak se bude vlna chovat v interakci s překážkami, se kterými přijde do styku. Pro výpočet vlnové délky složí vztah:

Rovnice 6: Vlnová délka, obrázek z vlastního archivu

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

Kde:

c = Rychlost světla ve vakuu [m/s]

f = Frekvence vlny [Hz]

λ = Vlnová délka [m]

Vyplývá tedy, že čím větší máme frekvenci, tím menší bude vlnová délka. Toto můžeme pozorovat například u vlnových délek WIFI, kde je standartní kmitočet 2,4 GHz a vlnová délka je tedy přibližně 12,5 cm.

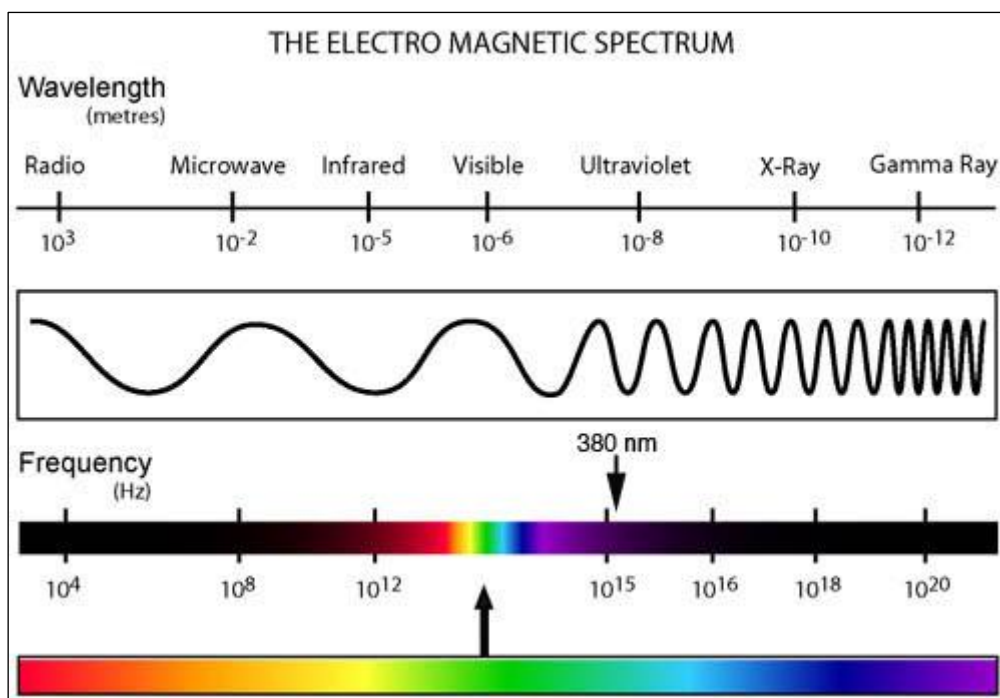
2.5.2 Frekvence

Frekvence je počet kmitů vlny za sekundu, které můžeme následně zařadit do elektromagnetického spektra. v telekomunikacích se využívá na zakódování informací, které chceme poslat elektromagnetickou vlnou, do změn frekvence (frekvenční modulace). Každý kmitočet vlny má své vlastní využití, některé se používají na přenos informace, jiné na ohřátí jídla a některé velmi vysoké frekvence způsobují vážné zdravotní problémy (s těmito frekvencemi se ale setkáváme jen minimálně).

Tabulka pro upřesnění obrázku:

Tabulka 1: Rozdělení elektromagnetického spektra

Pásmo	Frekvence	Vlnová délka
Rádiové vlny	3 kHz–300 MHz	100 km–1 m
Mikrovlny	300 MHz–300 GHz	1 m–1 mm
Infračervené	300 GHz–400 THz	1 mm–750 nm
Viditelné světlo	400–790 THz	750–380 nm
Ultrafialové	790 THz–30 PHz	380–10 nm
Rentgenové	30 PHz–30 EHz	10 nm–10 pm
Gama záření	nad 30 EHz	Pod 10 pm



Obrázek 8: Elektromagnetické spektrum

2.5.3 Amplituda

Amplituda je okamžitá hodnota výchylky veličiny (proud, napětí) periodického signálu (může být i maximální hodnota U_{max}). Vyjadřuje sílu, intenzitu a rozsah jevu. Může být degradována útlumem, odrazy, šumem a atmosférickými jevy (děšť, mlha), což způsobuje v přenosu změnu hodnoty amplitudy.

V telekomunikacích se využívá zakódování zpráv do změn amplitudy (amplitudová modulace). Existuje několik typů modulací (AM – analogová, ASK – digitální), dnes se spíše využívá digitální ASK a modernější QAM, která kombinuje změnu amplitudy a fáze.

AM – analogová modulace, přenáší informace změnou amplitudy nosné vlny.

ASK – digitální modulace, přenáší bity pomocí změny napětí.

QAM – digitální modulace, přenáší bity pomocí změny hodnoty amplitudy a změny hodnot fázového posunu.

2.5.4 Fázový posun ϕ

Fázový posun je časový posun jedné periodické vlny vůči druhé (v čase nula nezačíná sinusový periodický signál v nule), vyjadřuje se v úhlových jednotkách stupňů nebo radiánech. Můžeme si ho představit na časové ose nebo ve fázoru, kde první vlna začíná v čase 0 s fázovým posunem $\phi = 0^\circ$ a druhá vlna začínající v jiném čase s fázovým posunem např. $\phi = 90^\circ$

V telekomunikacích se využívá pro modulace, kde se kombinuje s dalšími veličinami jako je amplituda pro přenos s větším datovým tokem (QAM).

2.6 Rozdělení elektromagnetických vln

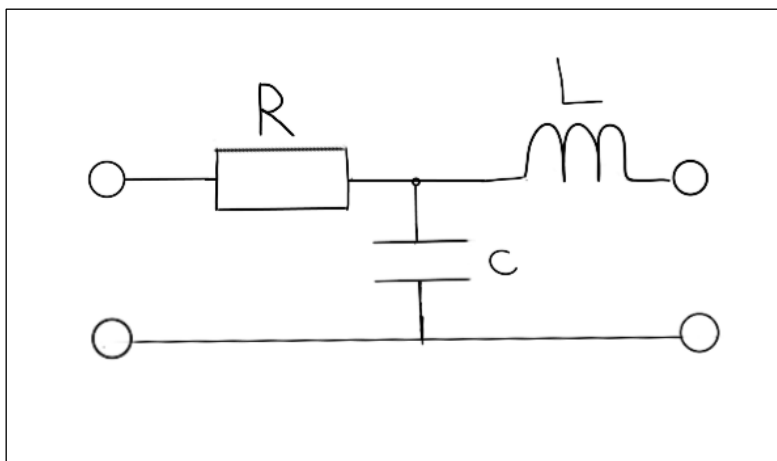
Elektromagnetické vlny se dělí do pásem podle své frekvence (nebo vlnové délky), což určuje jejich vlastnosti a použití v telekomunikacích:

Tabulka 2: Rozdělení elektromagnetických vln

Pásmo	Zkratka CZ / EN	Frekvenční rozsah	Vlnová délka
Dlouhé vlny	DV / LF	100–300 kHz	3–1 Km
Střední vlny	SV / MF	300–3000 kHz	1 km–100 m
Krátké vlny	KV / HF	3–30 MHz	100–10 m
Velmi krátké vlny	VKV / VHF	30–300 MHz	10–1 m
Ultra krátké vlny	UKV / UHF	300–3000 MHz	1 m–10 cm
Mikrovlny	-	3–300 GHz	10 cm–1 mm

2.7 Obecné vlastnosti metalického vedení

Obecné vlastnosti metalického vedení dokážeme popsat pomocí náhradního schéma dvou vodičového vedení (např. UTP kroucená dvoulinka).



Obrázek 9: Náhradní schéma metalického vedení, obrázek z vlastního archivu

Schéma představuje reálné parametry, kterými na sebe vodiče působí a ovlivňují se navzájem. Každý vodič má svůj vlastní odpor (R) a pokud vodičem prochází proud tak také magnetické pole, které je na schématu znázorněné cívkou (L). Mezi vodiči se v dielektriku nachází elektrické pole, znázorněné kondenzátorem (C).

Schéma nám pomocí odporu a kondenzátoru znázorňuje integrační člunek (kmitočtový filtr), díky čemuž dokáže popsat, jak se budou vodiče chovat při různých frekvencích. Matematicky lze pomocí napětí kondenzátoru vypočítat, jak velké bude elektrické pole mezi vodiči. Čím větší bude frekvence, tím menší bude impedance kondenzátoru, a tedy menší napětí a menší elektrické pole na konci vodiče.

Rovnice 7: Kapacitní reaktance kondenzátoru, obrázek z vlastního archivu

$$X_C = \frac{1}{2\pi f C}$$

Kde:

X_C = impedance kondenzátoru [Ω]

f = frekvence [Hz]

C = kapacita kondenzátoru [F]

Cívka v náhradním schématu znázorňuje intenzitu magnetického pole vytvořeného okolo vodiče. Čím větší proud cívkou protéká, tím větší magnetické pole cívka (vodič) vytvoří. Proud závisí dle Ohmova zákona na impedanci, která se v závislosti induktivní reaktance se změnou frekvencí mění.

Čím větší je frekvence, tím větší je impedance, která propustí menší proud a cívka (vodič) vytvoří menší magnetické pole.

Rovnice 8: Induktivní reaktance cívky, obrázek z vlastního archivu

$$X_L = 2\pi fL$$

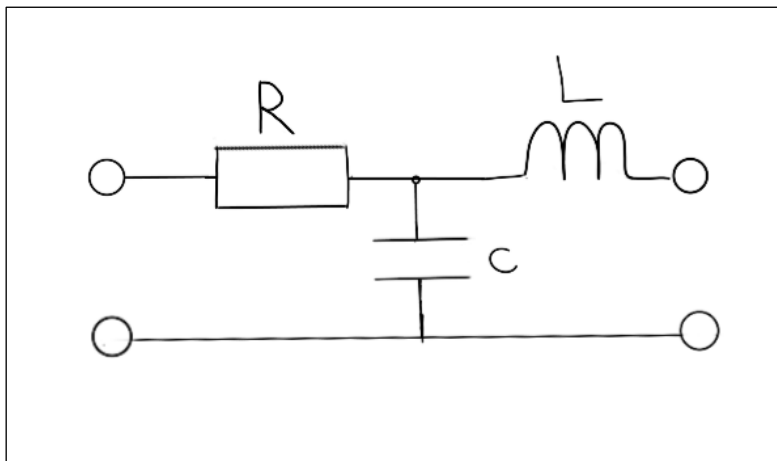
Kde:

X_L = impedance cívky [Ω]

f = frekvence [Hz]

L = indukčnost cívky [H]

Náhradní schéma metalického vedení:



Obrázek 10: Náhradní schéma metalického vedení, obrázek z vlastního archivu

2.8 Šíření signálu v metalických kabelech

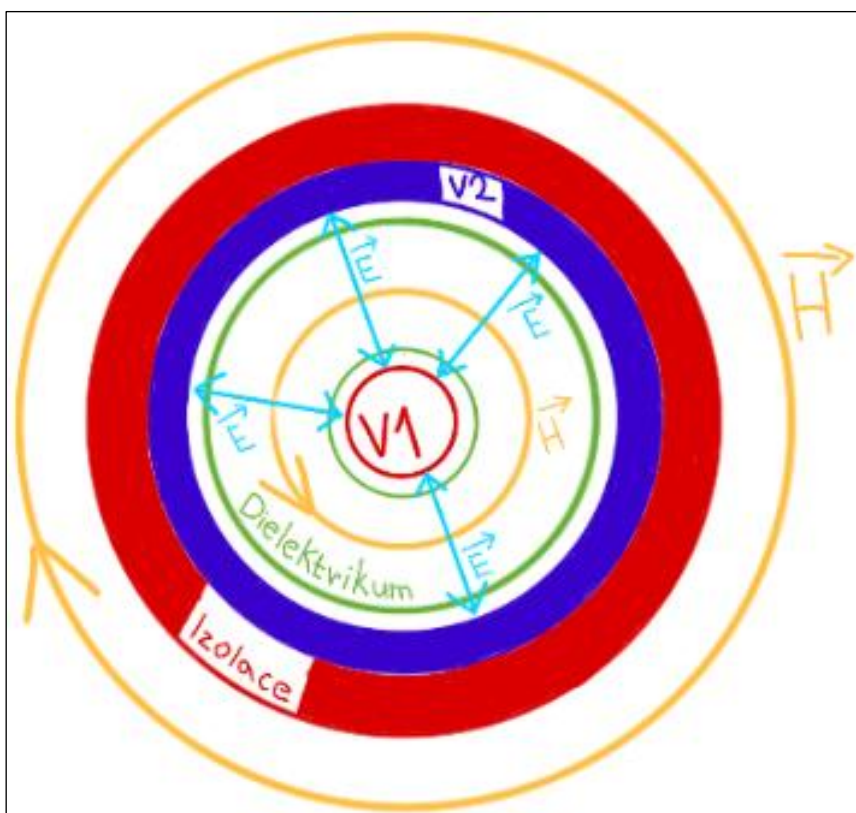
V metalických kabelech je signál veden vodivým médiem (měď, hliník, cín). Tento způsob přenosové cesty má odlišné vlastnosti než bezdrátový přenos elektromagnetických vln. v prostoru se vlna šíří všemi směry, ale ve vodičích je vlna vedena podél přenosového média. Metalická přenosová média kolem sebe díky proudu a podle Ampérova zákona vytvářejí magnetické pole (H). Mezi vodiči (i v izolantu) se vytváří pole elektrické (E).

2.8.1 Koaxiální kabel

Koaxiální kabel se skládá od středu ze středového vodiče, dielektrika, fólie, opletení a pláště (izolantu). Středový vodič a opletení vedou elektrický proud (signál), mezi nimi se tedy nachází elektrické pole, které je úplně uzavřeno v dielektriku a nezasahuje dále do prostoru okolo kabelu (stínění zamezuje elektrickému poli vyzařovat do prostoru). Není tak úplně snadné vodič odposlouchávat.

Magnetické pole (siločáry) je vyzařováno vnitřním vodičem a stíněním. Díky stejně velkým opačným proudům ve středovém vodiči a opletení je výsledné magnetické pole teoreticky nulové. v praxi bude v poměrech proudu vždy malá odchylka a slabé magnetické pole bude tedy vyzařovat ven do prostoru okolo koaxiálního kabelu.

Tato konstrukce vyniká minimálním vyzařováním signálu do okolí (stínění), kde opletení také chrání signál středového vodiče před okolními vlivy např. magnetickými poli z elektromotorů. Elektrické pole je nevyzařováno ven, což značně stěžuje odposlech kabelu a vhodnost použití konstrukce k vysokofrekvenčnímu přenosu signálů.



Obrázek 11: Průřez koaxiálním kabelem, obrázek z vlastního archivu

Popis obrázku: Na obrázku je znázorněn průřez koaxiálním kabelem, kde V1 představuje středový vodič, zeleně znázorněná izolace dielektrikum, modré šipky s popisem E elektrické pole mezi středovým vodičem a stíněním, V2 znázorňuje stínící vodič, červená izolace pláště a žlutá šipka H magnetické pole v podobě siločáry, kroužící okolo středového vodiče.

2.8.2 Kroucená dvoulinka

Kroucená dvoulinka se skládá ze dvou na sebe omotaných vodičů, oba vodiče bývají měděné a obalené v izolaci. U kroucené dvoulinky se setkáváme s UTP (nestíněné), STP (stíněné) a FTP (stíněné fólií), všechny tyto typy v sobě mají čtyři páry kroucených dvoulinek, tedy 8 jednotlivých vodičů, které se rozpoznávají barvou izolace.

Elektrické pole (E) existuje v izolační vrstvě (dielektrikum) mezi vodiči, nachází se tedy v izolaci a nevyzařuje do okolí.

Magnetické pole (siločáry) vzniká vždy okolo jednoho vodiče, kterým prochází proud. Jelikož každým vodičem protéká proud jiným směrem, celkové magnetické pole nebude vyzařovat do prostoru. v praxi, jako u koaxiálního kabelu proud ve vodičích není nikdy identický a vždy můžeme malé magnetické pole okolo kroucené dvoulinky naměřit.

2.9 Šíření signálu v optických vláknech

V optických vláknech neproudí proud, ale elektromagnetická vlna v podobě světelného paprsku (vid). Vidy v kabelu jsou absolutně imunní proti okolním rušivým elektromagnetickým vlivům, což je výhoda oproti metalickým vodičům.

Vid se šíří přímočaře od středu jádra směrem k jeho okraji, kde na rozhraní jádra a pláště dochází k odrazu, a vid je tak veden zpět do jádra. Při každém odrazu, se ale část energie vidu vytratí do okolního prostředí (pláště), čímž ztrácí vid svou původní amplitudu, pro odrazení celého vidu bez ztrát se musí paprsek vyslat pod určitým úhlem.

Vidy u jednovidového vlákna vychází ze speciálních laserových diod (LD), u vícevidových vláken se může použít na krátké vzdálenosti použít speciální LED dioda.

V jednovidových vláknech (Single Mode) proudí pouze jeden vid, nemůže zde tedy docházet k disperzi světla, jako u mnohovidových vláken.

V mnohovidových vláknech (Multi Mode) proudí najednou více vidů, což má za následek disperzi, která negativně ovlivňuje přenos signálu.

Disperze světla je jev, kdy vidy cestují různými cestami ve vláknu, což má za následek rozdílné časy doručení signálu na konec vlákna, každá cesta vidu je jinak dlouhá, a proto se příchozí časy na přijímací straně liší. To má za následek chyby a omezení přenosové rychlosti.

3 Šíření elektromagnetických vln prostorem, směřování a jejich chování na překážkách

Tato kapitola se zabývá šířením elektromagnetických vln volným prostorem mezi přijímačem a vysílačem. Narozdíl od dlouhého vedení mají vlny své vlastnosti s překážkami jako ohyb nebo rozptyl. Tyto jevy zásadně ovlivňují kvalitu přenosu a dosah bezdrátové komunikace.

3.1 Šíření elektromagnetických vln

Šíření elektromagnetických vln můžeme rozdělit do tří základních způsobů. Každý tento způsob má v telekomunikacích své uplatnění, výhody a nevýhody.

- Přímočaré šíření
- Povrchové šíření
- Prostorové šíření

3.1.1 Přímočaré šíření

Elektromagnetické vlny nesoucí signál, které se šíří přímočaře vyžadují přímou dráhu od jednoho bodu ke druhému, kde vlně nestojí nic v cestě. Využívá se k přenosu signálu mezi vysílačem a přijímačem, které na sebe mají přímou viditelnost (telekomunikační věže). Má tak z typů šíření nejkratší dosah (cca 10 až 50 Km, ale je teoreticky omezen zakřivením Země).

Využívá se v radarech, mobilních sítích, GPS nebo satelitní televizi. Přímočaré šíření nastává, pokud je frekvence vlny řádově 50MHz, na těchto frekvencích a od frekvence 50MHz a vyšší se vlny šíří pouze přímočaře.

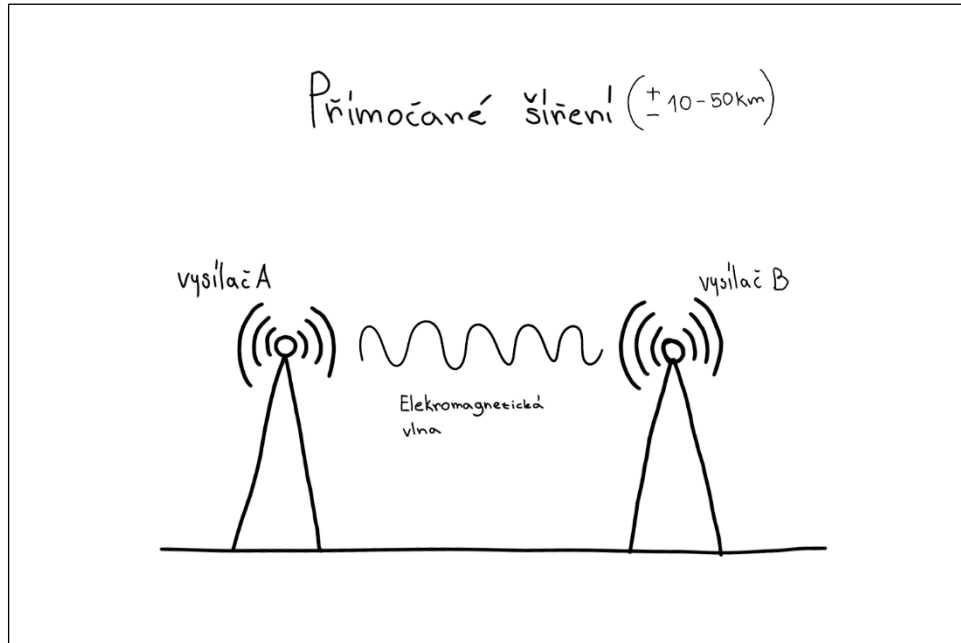
Konkrétní příklady jsou velmi krátké vlny (VKV / VHF) s frekvenčním rozsahem 30–300 MHz, poté ultrakrátké vlny (UKV / UHF) s ještě větším frekvenčním rozsahem 300–3000 MHz a případně mikrovlny s přibližným rozsahem frekvenčního pásma 3–300 GHz.

Výhody:

- Stabilní přenos
- Vysoká kvalita signálu

Nevýhody:

- Krátký dosah
- Citlivost na překážky
- Vliv atmosférických jevů (mlha, déšť)



Obrázek 12: Přímočaré šíření, obrázek z vlastního archivu

3.1.2 Povrchové šíření

Povrchové šíření je způsob přenášení elektromagnetických vln, které se na rozdíl od přímého šíření může šířit i podél zemského povrchu. Vlna kopíruje zakřivení Země a šíří se tak stovky kilometrů.

Pro tento způsob šíření se využívají dlouhé vlny (DV / LF) s frekvenčním rozsahem přibližně 100–300 kHz a střední vlny (SV / MF), které používají frekvenční rozsah 300 kHz až 3 MHz. Vlny s větší frekvencí se nepoužívají, protože nemají schopnost kopírovat zemský povrch.

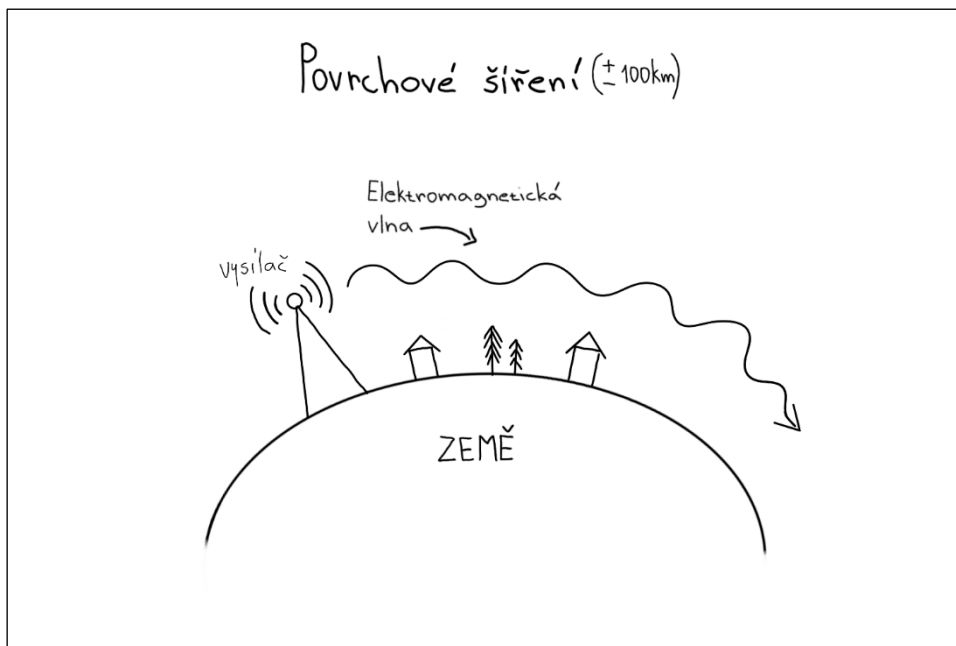
Šíření po povrchu se využívá u regionálních AM vysílání, námořní komunikace (ponorky) nebo letecké navigace.

Výhody:

- Dlouhý dosah
- Pokrytí i v údolí a za horizontem

Nevýhody:

- Velký útlum
- Potřebný velký výkon na vysílači



Obrázek 13: Povrchové šíření, obrázek z vlastního archivu

3.1.3 Prostorové šíření

Prostorové šíření je unikátní přenos signálu, protože využívá odrazy od atmosféry Země. Vyslané vlny jsou vyslány do nebe, kde se odrazí od ionosféry zpět k zemi. Na prostorové šíření jsou nejvhodnější krátké vlny (KV / SW), protože jako jediné mají na tento typ přenosové cesty vhodný frekvenční rozsah (3–30 MHz), odráží se ale vlny i s větší frekvencí, řádově 50 MHz. Vlny s frekvencí větší než řádově 50 MHz projdou skrze atmosféru do vesmíru, a proto se nepoužívají. Naopak vlny s menší frekvencí než řádově 3 MHz jsou ionosférou pohlceny a nelze je tedy použít na odražení.

Ionosféra je vrstva atmosféry přibližně od 50 Km do 400 Km od země. Tento prostor je ionizován slunečním zářením a obsahuje tedy volné elektrony, od kterých se krátké vlny dokáží, díky své vlnové délce odrazit zpět k zemskému povrchu.

Prostorové šíření se využívá k dálkovému KV rozhlasu, vojenské komunikaci, lodní komunikaci, radioamatérské komunikaci a vědeckému výzkumu ionosféry.

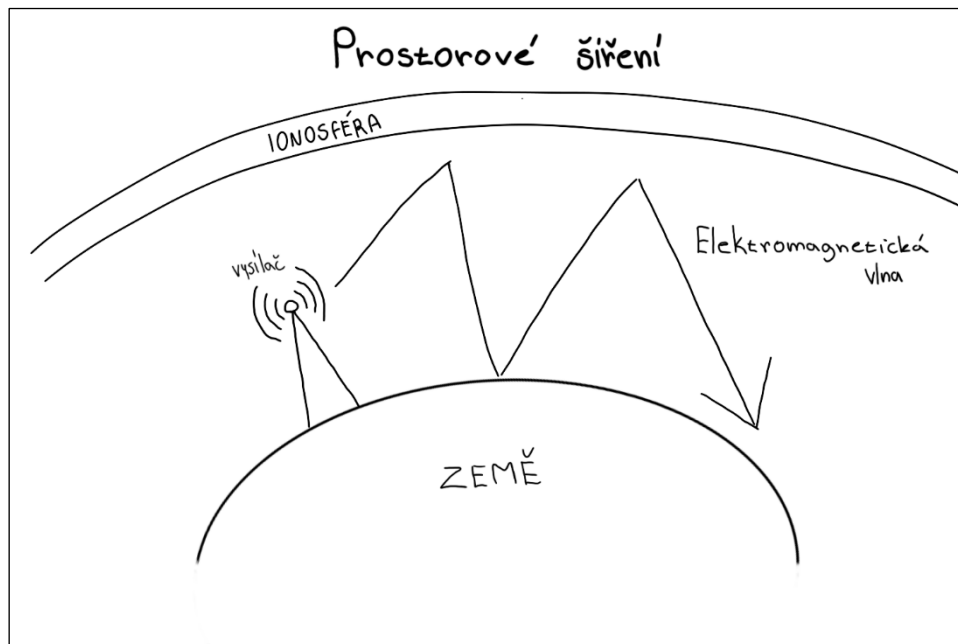
Výhody:

- Obrovský dosah
- Nízký výkon vysílače

Nevýhody:

- Zpoždění
- Rušení

— Jiné šíření přes den a jiné v noci



Obrázek 14: Prostorové šíření, obrázek z vlastního archivu

3.2 Směrování

Směrování je vlastnost antény, která určuje, do jakých směrů je vyzařována elektromagnetická vlna. Díky přesnému směrování dokážeme ušetřit energii, zvýšit dosah, zvýšit bezpečnost proti odposlechu a snížit rušení. Všechny tyto parametry závisí na konstrukci a směrování vysílací a přijímací antény.

Směrování lze podle antén rozdělit na:

- Všesměrová anténa (vysílá vlny do všech směrů)
- Směrová anténa (vysílá pouze jedním směrem)
- Sektorová anténa (vysílá pouze do určitého sektoru s daným rozptylem např. 90°)

Všesměrové antény se využívají u WIFI routerů nebo např. v autě.

Směrové antény jako parabolické se používají například na satelitní TV přenos a radioreléové spoje.

Sektorové antény nalezneme na telekomunikačních věžích u mobilních operátorů.

3.3 Vlny a překážky

Pod pojmem překážka označujeme vše, co stojí elektromagnetické vlně při šíření v cestě (budovy, hory, atmosféra, vegetace). Vlny na tyto překážky reagují převážně podle jejich vlnové délky, velikosti překážky a materiálu, ze kterého je překážka tvořena. Při interakci s překážkou mohou nastat tři různé způsoby, jak se vlna zachová.

- Odraz
- Lom (refrakce)
- Ohyb (difrakce)

3.3.1 Odraz

Odraz vlny nastává, když je překážka větší než vlnová délka, v tomto případě vlna překážkou neprojde a odrazí se podle úhlu dopadu. Často se děje u krátkých vln, mikrovln a samozřejmě světla.

Příkladem můžou být VKV vlny při prostorovém šíření, kdy se vlny odrazí od ionosféry.

3.3.2 Lom

Lom vlny nastává, když vlna prochází z jednoho prostředí do jiného s jinou hustotou (např. vzduch – voda). v tom případě vlna změní směr šíření podle Snellova zákona a putuje jiným směrem, než od kterého přišla.

Častým příkladem jsou vidové paprsky, které se lomí v optických vláknech.

3.3.3 Ohyb

Ohyb je jev, kdy vlna “obteče” překážku nebo změní směr při průchodu úzkým otvorem. Nastává, když je překážka menší nebo srovnatelná s vlnovou délkou vlny. Lze použít i k pokrytí signálem za překážky, kde by jinak nebylo žádné pokrytí.

Např. signál z rozhlasu na středním vlnách “obteče” kopec nebo mobilní signál se ohýbá ve městě mezi budovami.

4 Vlastnosti a rozdělení metalických a optických kabelů, včetně praktických ukázek

V této kapitole proberu základní rozdělení metalického vedení a optických vláken. Kapitola slouží jako doplňující informace k praktické části.

4.1 Metalické vodiče

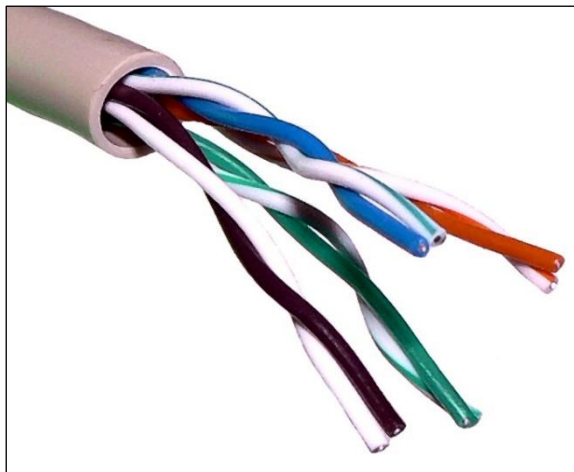
Metalické vodiče rozdělujeme na kroucenou dvoulinku a koaxiální kabely. Jako vodičový materiál dominuje měď, konkrétně vysoce čistá OFHC měď (Oxygen-Free High Conductivity), která kombinuje výbornou elektrickou vodivost s odolností proti korozi.

4.1.1 Kroucená dvoulinka

Kroucená dvoulinka se skládá z izolovaných žil, nejčastěji v PVC (polyvinylchlorid) pro vnitřní instalace nebo PE (polyethylen) pro venkovní rozvody odolné vůči UV záření a povětrnostním vlivům. Je nutné si dávat pozor na teplotní limity, okolní rušící zdroje a nesmí dojít k přímému ohnutí vodičů do pravého úhlu. Dosah kroucené dvoulinky je pro standartní Ethernet limitován na zhruba 100 metrů. Konkrétní datová rychlost, které lze na této trase dosáhnout, závisí na kategorii kabelu. Nejběžnější Cat5e dosahuje 1Gb/s a modernější Cat6 až 10Gb/s. Cenově se nejstarší kroucené dvoulinky pohybují okolo 5 Kč/m a nejmodernější až 40 Kč/m. Instalace závisí na spoustu faktorech, ale dosahuje od 2000 do 5 000 Kč.

Cat5 – druh kroucené dvoulinky, používané pro počítačové sítě jako Ethernet. Kabel standartně přenáší frekvenci do 100MHz a byl navržen s maximální rychlostí 100Mb/s. Dnes je zastaralý.

Cat6 – Tento kabel je navržen na 1 GB/s na 100 metrů, což bohatě stačí pro většinu domácností. Na rozdíl od Cat5 by podle výrobce měl zvládnout až 250MHz.



Obrázek 15: Kroucená dvoulinka

4.1.2 UTP

UTP je nestíněná kroucená dvoulinka s nestíněnými zakroucenými páry. Jedná se pravděpodobně o nejpoužívanější typ kroucené dvoulinky. oproti jiným modelům je levnější, lehčí, tenčí a ohebnější. Nejčastěji se používá pro ethernetové sítě LAN a internetové připojení. Jeho běžný udávaný dosah je 100 metrů.

Podle kvality a přenosu se rozděluje na několik základních typů:

- Cat 5e – nejrozšířenější (rychlost až 1 GB/s na krátké vzdálenosti)
- Cat 6 – pro náročnější sítě (rychlost až 10 GB/s)
- Cat 6a – vylepšená verze Cat 6 (garantovaná rychlost 10 GB/s na 100 metrů)

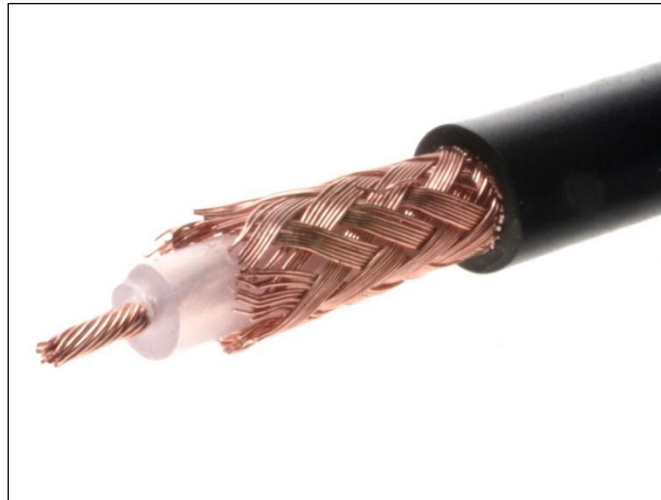
4.1.3 STP

STP je stíněný druh kroucené dvoulinky. Stínění je realizováno nejčastěji hliníkovou fólií nebo měděným opletením, kabel je tedy mnohem více imunní vůči okolním rušivým elektromagnetickým vlnám. Díky opletení je kabel tlustší, těžší a dražší. Pro správnou funkčnost musí být stínění uzemněno, protože zachycené elektromagnetické vlny musí být odvedeny pryč. v případě, že stínění není uzemněno, funguje stínění jako anténa, a tedy ruší celý STP kabel.

4.2 Koaxiální kabel

Koaxiální kabel je určený převážně na kabelovou televizi, připojení k internetu, satelitní systémy, vysokofrekvenční signály a mnohé další. Skládá se z vnitřního vodiče (nejvíce OFHC měď), dielektrické izolace (PE, teflon), kovového stínění (folie nebo kovové opletení) a ochranného pláště (PVC). Obvykle se koaxiální kabel rozděluje podle impedance, průměru, tloušťky kabelu, stínění a útlumu.

Používá se na vzdálenosti od stovek metrů až po desítky kilometrů, kde je ale za potřebí zesilovač nebo opakovač. Stejně jako kroucená dvoulinka se nesmí příliš ohýbat, jelikož by mohlo dojít k protržení ochranné folie. Maximální datová rychlost je dána šířkou pásma. Zatímco starší systémy jako 10BASE2 dosahovali pouze 10Mb/s, moderní standard DOCSIS 3.1 umožňuje rychlost větší než 1G/s až 10Gb/s. Hlavním limitujícím faktorem je útlum a stínění. Cena na metr u lepších typů vodičů se pohybuje okolo 15 Kč/m, instalace například od satelitu až do televize může být i 1000 Kč.



Obrázek 16: Koaxiální kabel

4.3 Optická vlákna

Optická vlákna propojují kontinenty obrovským množstvím podvodních kabelů, ale mohou se používat i v domácnostech na internetové připojení a mnohé další propojení. Jsou tedy vhodná na krátké i dlouhé vzdálenosti. Nositelem informace zde není elektrický proud, ale světlo (vid – elektromagnetická vlna). Tudiž jim nevádí žádné okolní rušení a jsou velmi obtížně odposlouchatelná bez fyzického narušení kabelu, což z nich činí bezpečné médium. Vlákna jsou vyrobena z čistého skla nebo z plastu, skládají se z jádra (125 μm) a pláště (5 μm). Mechanickou ochranu vlákna zajišťuje primární ochrana, která je většinou z akrylátu, teflonu nebo polyaminu. Vlákna jsou vyráběna především z křemene, ale kvalitnější optiky vyvinuté na vyšší vlnové délky bývají z chalkogenního skla. Existují i plastová (umělohmotná) optická vlákna (POF), které mají vyšší útlum než vlákna skleněná, ale mají menší dosah. Tloušťka celého vlákna bývá okolo 10 až 100 μm . Optická vlákna rozdělujeme na jednovidové a mnohovidové. Rychlost přenosu dat se liší podle toho, zda jde o domácí připojení, které je limitováno poskytovatelem na přibližně 100Mb/s až 1Gb/s, firemní a náročnější sítě využívají dražší vlákna s rychlostí od 10Gb/s až přibližně do 100Gb/s, nebo nejmodernější podmořské vlákna, která mají celý kabel stovky TB/s.



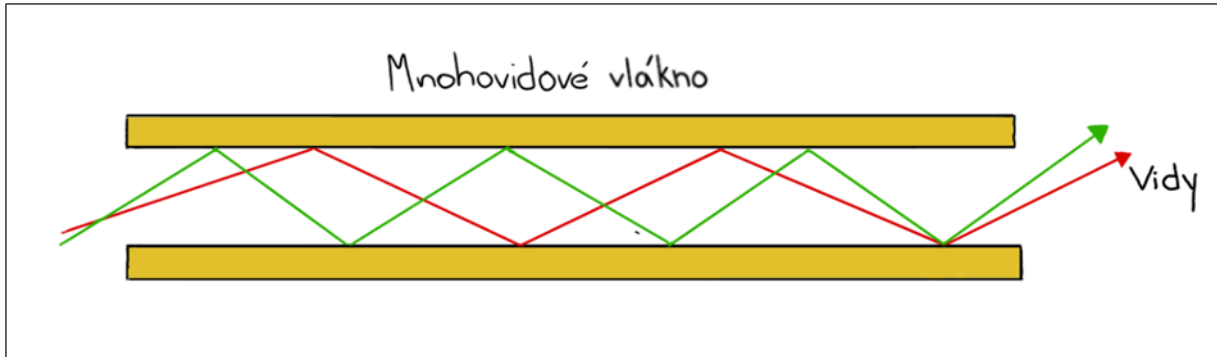
Obrázek 17: Optická vlákna

4.3.1 Mnohovidová vlákna

Mnohovidová vlákna se používají na rozvody v domácnostech a firmách. Mají ale problém s vidovou disperzí, která způsobuje zpoždování impulsů kvůli odrazům světla. Dochází tak k rozdílu drah paprsků, což je veliký problém při vysokých kmitočtech. Cena mnohovidového vlákna se pohybuje mezi 30 až 140 Kč/m v závislosti na počtu vláken a odolnosti. Instalace může být až 5000 Kč.

Vidová disperze – různé vidy se šíří vláknem po různých drahách a trvá jim různě dlouho dobu, než dorazí k cíli

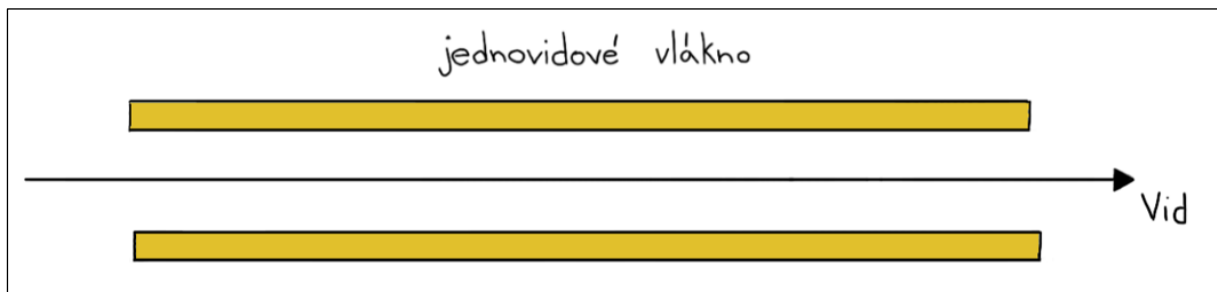
Vid – paprsek světla



Obrázek 18: Šíření vidů v mnohovidovém vlákně, obrázek z vlastního archivu

4.3.2 Jednovidová vlákna

Jednovidová vlákna jsou skvělá na přenos dat na dlouhé vzdálenosti hlavně proto, protože u nich nedochází k vidové disperzi a tím pádem mají téměř neomezenou šířku pásma. Jsou technologicky náročnější a dražší na výrobu. Cenově se jedno vlákno pohybuje okolo 12 Kč na metr, cena instalace může dosahovat až 15000 Kč.



Obrázek 19: Šíření vidu v jednovidovém vlákně, obrázek z vlastního archivu

5 Modulace a klíčování signálu na nosnou vlnu a kvalita přenosu podle vybrané modulace a klíčování

V tomto bodu vysvětlím, co to je modulace, jejich rozdělení a výhody a nevýhody jednotlivých druhů. Modulace a klíčování jsou dva různé termíny popisující stejnou věc, jediný rozdíl je, že klíčování se používá pouze pro digitální signál a modulace pro signál analogový.

5.1 Co to je modulace / klíčování

Modulace rozdělujeme na analogové (např. AM, FM, PM) a digitální (např. ASK, FSK, PSK, QAM, ΔM). Jde o proces upravování určitého parametru okamžité hodnoty sinusového signálu utvářejícího elektromagnetickou vlnu do příslušné podoby na přenesení informací (modulovaný signál). Modulovaný signál se skládá z nosné vlny a modulačního signálu. Nosná vlna je generována oscilátorem ve vysílači a modulační signál (např. zvuk z mikrofону) upravuje její parametry (nejčastěji fázi, amplitudu a frekvenci). Výsledný modulovaný signál je následně vyslán anténou do prostoru.

Parametry modulačního signálu, které dokážeme změnit jsou:

- Amplituda (U_{\max})
- Frekvence (f)
- Fázový posun (ϕ)

Rovnice 9: Okamžitá hodnota napětí, obrázek z vlastního archivu

$$u(t) = U_{\max} \cdot \sin(2\pi ft \pm \varphi)$$

Kde:

u = Okamžitá hodnota napětí [V]

U_{\max} = Maximální hodnota amplitudy [V]

f = Frekvence [Hz]

ϕ = Fázový posun [rad / °]

t = Čas [s]

Okamžitá hodnota napětí (nebo proudu) nám udává přesnou hodnotu napětí (nebo proudu) v určitém bodě definovaného času.

5.2 Analogové modulace

Analogové modulace jsou starší typ bezdrátového přenášení informací. Nejvíce se používají pro rozhlasové vysílání, leteckou navigaci nebo u analogového televizního vysílání.

Podle úpravy parametrů okamžité hodnoty rozdělujeme analogové modulace na:

- Amplitudová modulace (AM)
- Frekvenční modulace (FM)
- Fázová modulace (PM)

5.2.1 Amplitudová modulace (AM)

AM patří mezi nejjednodušší typ přenosu signálu. Funguje na principu změny amplitudy nosné vlny. Frekvence a fáze se v této modulaci nijak nemění. Změna amplitudy v tomto přenosu představuje namodulovanou informaci, kterou chceme přenášet.

Důležitým parametrem AM je hloubka modulace, která nám udává, jak moc je amplituda nosné vlny ovlivněna amplitudou modulačního signálu. Hloubku modulace řešíme, kvůli kvalitě přenosu, pokud by byla hloubka příliš malá amplituda nosné vlny by se změnila jen velmi málo a signál by tedy byl poměrně silný. Naopak příliš velká hloubka modulace způsobuje velikou změnu amplitudy nosné vlny, díky čemuž se objevuje zkreslení.

Pro hloubku AM modulace existuje vzoreček:

Rovnice 10: Hloubka modulace, obrázek z vlastního archivu

$$m = \frac{U_m}{U_n}$$

Kde:

m = Hloubka modulace [%]

U_m = Amplituda modulačního signálu [V]

U_n = Amplituda nosné vlny [V]

Optimální hloubka činí 60 %.

Výhody:

- Jednoduchost
- Malá šířka frekvenčního pásma
- Snadná demodulace

Nevýhody:

- Zkreslení při útlumu
- Malá odolnost proti šumu (atmosférické jevy, blesky)

5.2.2 Frekvenční modulace (FM)

FM na rozdíl od AM nemění amplitudu, ale frekvenci, informace je tedy kódovaná ve změně frekvence nosné vlny. Nemění se zde fáze, ani amplituda. Rozhodující věc pro demodulování FM vlny na přijímači je změna frekvence nosné vlny. Přijímač zaznamenává průchody signálu nulou, protože měřením času mezi jednotlivými průchody nulou zjistíme, jak se frekvence mění a nezajímají nás tedy špičky amplitudy. FM se začalo používat až po AM ve 30. letech 20. stol.

U FM modulace je velice důležitá šířka pásma (rozsah frekvencí, které modulovaný signál zabírá), jelikož FM nevytváří jen jednu frekvenci, ale celou řadu kmitočtů kolem nosné frekvence. Šířku pásma vytváří dva parametry:

- Frekvenční zdvih Δf – udává maximální změnu frekvence nosné vlny, maximální zdvih nastává, když je modulační signál nejsilnější (maximální amplituda)
- Maximální frekvence modulačního signálu f_m

Pro výpočet šířky pásma slouží vzorec:

Rovnice 11: Šířka pásma, obrázek z vlastního archivu

$$B = 2(\Delta f + f_m)$$

Kde:

B = Šířka pásma [Hz]

Δf = Frekvenční zdvih [Hz]

f_m = Modulační frekvence [Hz]

Šířka pásma nás zajímá, jelikož frekvenční spektrum je omezené a každá stanice může dostat pouze omezenou šířku pásma. Pro přenos znamená velká šířka pásma lepší kvalitu a více přenesených informací.

Výhody:

- Odolnost proti šumu
- Odolnost proti útlumu

Nevýhody:

- Cena (oproti AM)
- Větší šířka pásma

5.3 Digitální modulace

Digitální modulace, jiným názvem klíčování je úprava digitálního signálu pro přenos vysokofrekvenční nosnou vlnou pomocí změny parametrů nosné vlny.

Nekódují se zde analogové signály, ale bity "0" a "1".

Klíčování rozdělujeme podle počtu přenesených stavů, na dvoustavové (vlna přenese pouze jeden bit, a tedy dva stavy protože $2^1 = 2$) a vícestavové (vlna přenese za jednu sekundu více stavů, tedy na jednu modulační změnu připadá více bitů). Např. pokud vlna přenese 3 bity je osmi stavová ($2^3 = 8$).

Stav / stavy jsou kombinace parametrů nosné vlny, které představují informace. Jedná se tedy o předem definované hodnoty nosné vlny, které vysíláme přijímači.

Datová rychlost – počet bitů, které nosná vlna přenese za jednu sekundu.

Modulační rychlost – kolikrát daná vlna změní za jednu sekundu amplitudu, frekvenci nebo fázi.

Stavy jsou tedy změny amplitudy, frekvence, fáze a případně kombinace dvou těchto parametrů.

Výhodou přenášení dvoustavového digitálního signálu je, že budeme měnit pouze dva stavy a šířka pásma bude tím pádem menší. Přenášení digitálního signálu je tedy výhodnější.

5.3.1 Amplitudové klíčování (ASK)

Amplitudové klíčování je způsob kódování bitů do změn amplitudy nosné vlny. Na konkrétních hodnotách amplitudy se musí vysílací a přijímací strana domluvit, aby nedošlo k nesrovnalostem. Např. hodnota "1" může znázorňovat 5 V a hodnota "0" pouze 1 V.

V případě vícestavové modulace znázorňují různé hodnoty amplitudy různá binární čísla (001, 010, 011 atd.)

Výhody:

- Nízká cena
- Snadná detekce změny amplitudy

Nevýhody:

- Náchyllost na šum
- Náchyllost na útlum

5.3.2 Frekvenční klíčování (FSK)

Frekvenční klíčování je způsob kódování informace do změn kmitočtu nosné vlny. Dvoustavové klíčování využívá dvě frekvence nosné vlny, mezi kterými modulátor přepíná podle potřeby přenosu stavu, který chceme přenést.

V případě vícecestavového klíčování je vln s různými frekvencemi více. (8-FKS = osm stavů).

Výhody:

- Vysoká odolnost proti šumu
- Vysoká odolnost proti útlumu

Nevýhody:

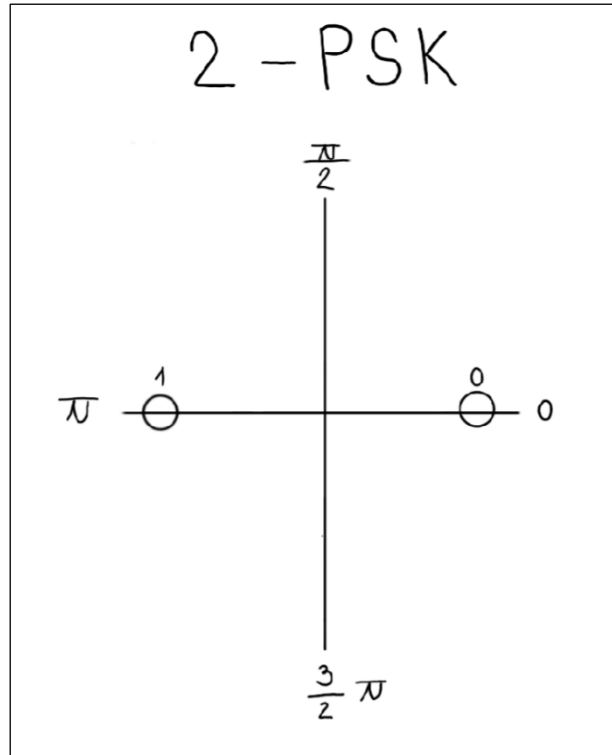
- Velká šířka frekvenčního pásma
- Energetická náročnost

5.3.3 Fázové klíčování (PSK)

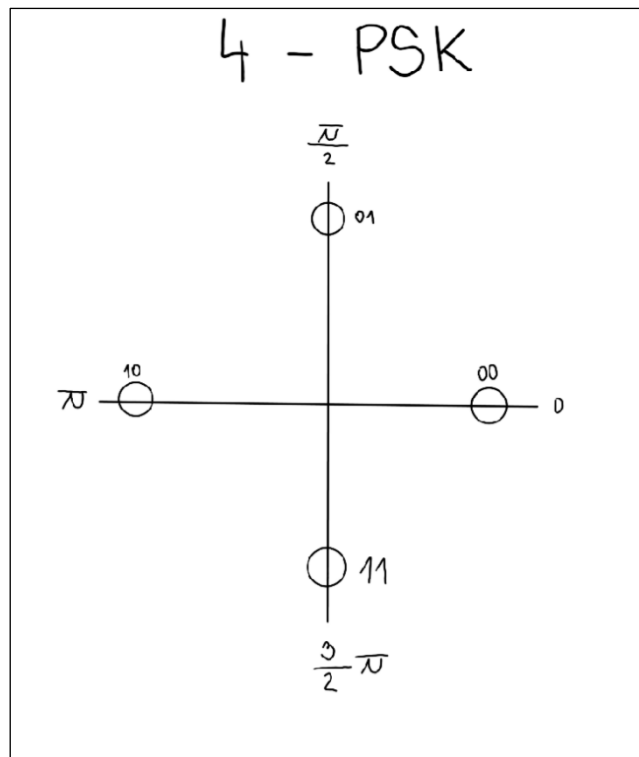
Fázové klíčování je založeno na změně fáze nosného signálu, do které je zakódovaný příslušný stav. U dvoustavového fázového klíčování (BPSK) se většinou používají fázové posuny 0° a 180° (záleží ale na domluvě). Přijímací strana BPSK potřebuje ke správnému určení fáze přijaté namodulované vlny tzv. referenční "porovnávací" vlnu, aby mohla určit, kde se nachází 0° .

Vícecestavové fázové klíčování využívá pro větší datovou rychlost, více fázových posunů. Pro vizualizaci slouží konstelační diagram, který nám znázorňuje, stavy v PSK.

Konstelační diagram zobrazuje signál v komplexní rovině čísel se znázorněnými stavy PSK nebo QAM.



Obrázek 20: Zobrazení 2-PSK, obrázek z vlastního archivu



Obrázek 21: Zobrazení 4-PSK, obrázek z vlastního archivu

Výhody:

- Odolnost proti šumu
- Šířka frekvenčního pásma

Nevýhody:

- Složitější modulátory a demodulátory

5.3.4 Kvadrurní amplitudová modulace (QAM)

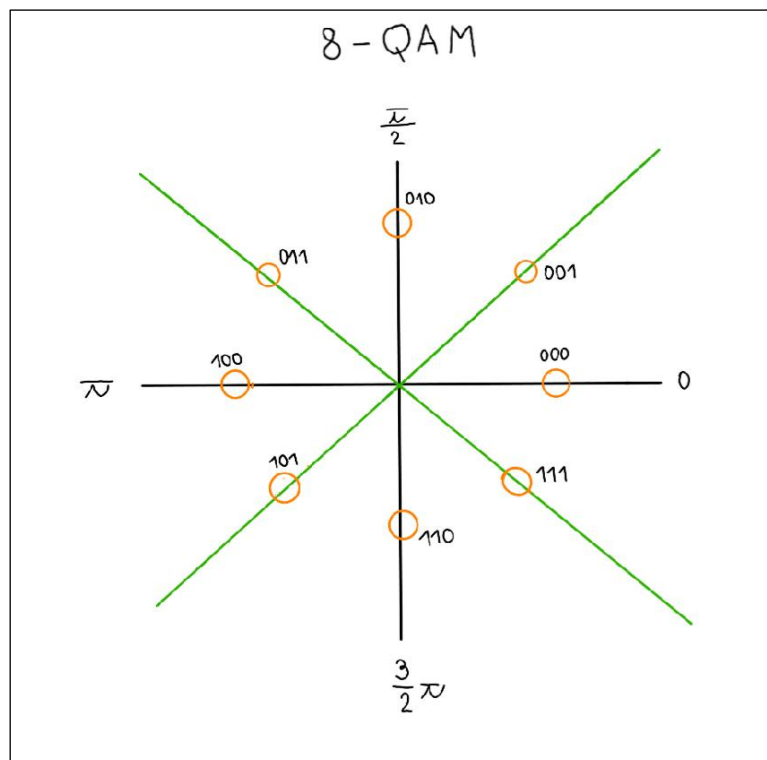
Kvadrurní amplitudová modulace je kombinace ASK a PSK a používá se pro vícestavové klíčování. U přijatého signálu rozdělujeme amplitudu a fázový posun, abychom poznali, o jaké binární číslo se jedná. QAM je nejrozšířenější digitální klíčování, kvůli velké datové rychlosti.

Výhody:

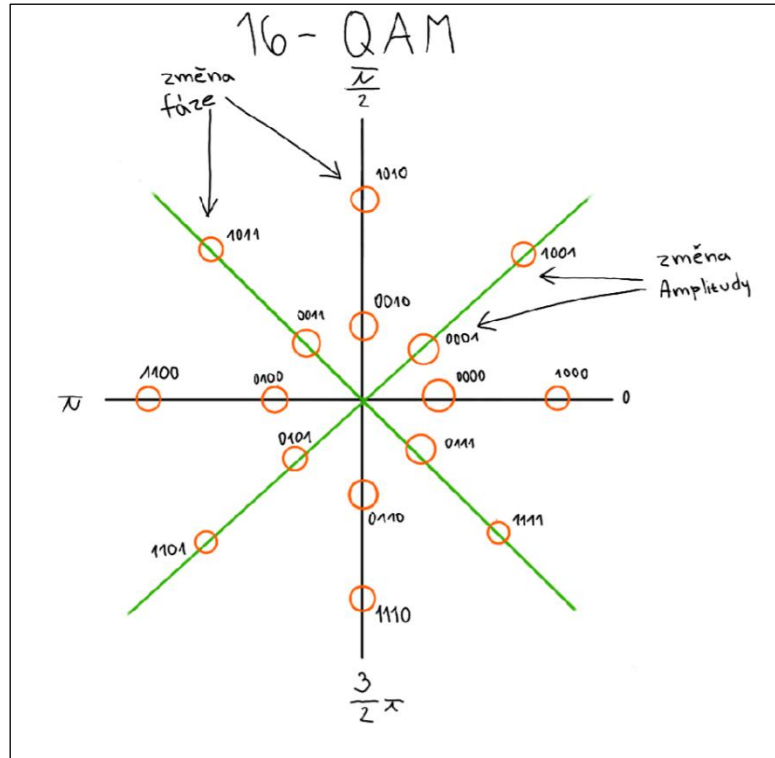
- Využití kmitočtového pásma
- Kompatibilita s moderními technologiemi

Nevýhody:

- Stav, které jsou na konstelačním diagramu blízko u sebe se mohou zaměnit, což způsobuje chyby
- Složitost



Obrázek 22: Zobrazení 8-QAM, obrázek z vlastního archivu



Obrázek 23: Zobrazení 16-QAM, obrázek z vlastního archivu

6 Principy vícenásobného využití přenosových cest a konkrétní příklady užití.

Vícenásobné využití přenosových cest, jinak nazvané multiplex, je technika, která umožňuje přenést více odlišných signálů po jedné přenosové cestě (optická vlákna, elektromagnetická vlna, metalické vedení), bez vzájemného rušení. Multiplex vznikl jako praktické řešení problému s nedostatkem přenosových cest. Pokládat pokaždé nové vedení bylo neefektivní a drahé. Bez multiplexů by kapacita propojení globálních sítí jako internet, nebo mobilních hlasových a datových služeb byla minimální, což by znemožňovalo masové propojení světa, jako je dnes.

Funkce multiplexu je tedy maximalizovat kapacity jednoho přenosového média mezi nejvíce uživateli, za účelem nejnižší energetické náročnosti a ušetření co nejvíce peněz.

Vysílané signály se tedy dokáží použitím určitého druhu multiplexu vyslat jednou fyzickou přenosovou cestou, bez vzájemného ovlivnění a na přijímací straně poté demultiplexor od sebe dokáže tyto příchozí signály rozdělit a předat k dalšímu zpracování.

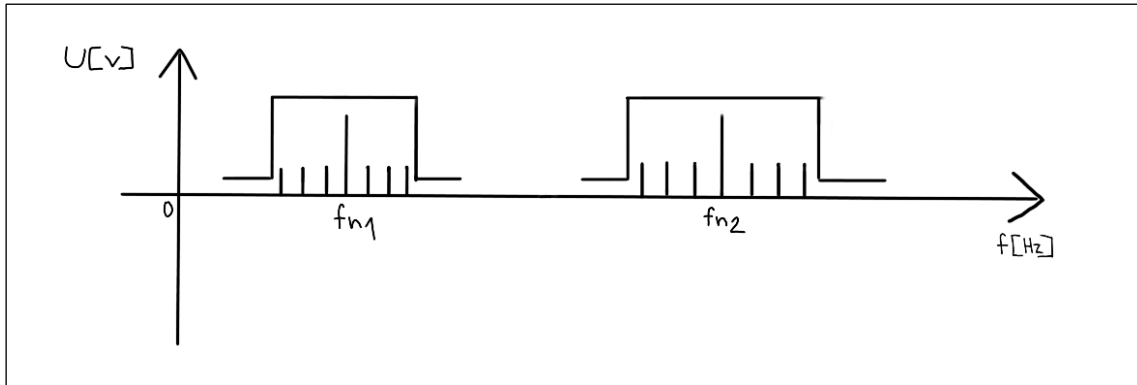
Typy multiplexů:

- Frekvenční multiplex (FDM)
- Časový multiplex (TDM)
- Kódový multiplex (CMD)
- Ortogonální frekvenční multiplex (ODFM)

6.1 Frekvenční multiplex (FDM)

Frekvenční multiplex je způsob přenášení informací pomocí rozdělení kmitočtového spektra. Každá informace má svojí nosnou vlnu na jiném kmitočtu, které se navzájem nepřekrývají. FDM tedy rozdělí frekvenční pásmo na několik frekvenčních kanálů a každému přidá jinou informaci. Na frekvenčním pásmu se signály nesmí překrývat a ani být "blízko u sebe", v opačném případě by mohlo docházet k rušení.

Využívá se například u rozhlasu, televizního vysílání nebo u stereofonního vysílání.



Obrázek 24: Frekvenční osa FDM, obrázek z vlastního archivu

Výhody:

- Použití pro analogové i digitální signály
- Snadné oddělení na přijímači

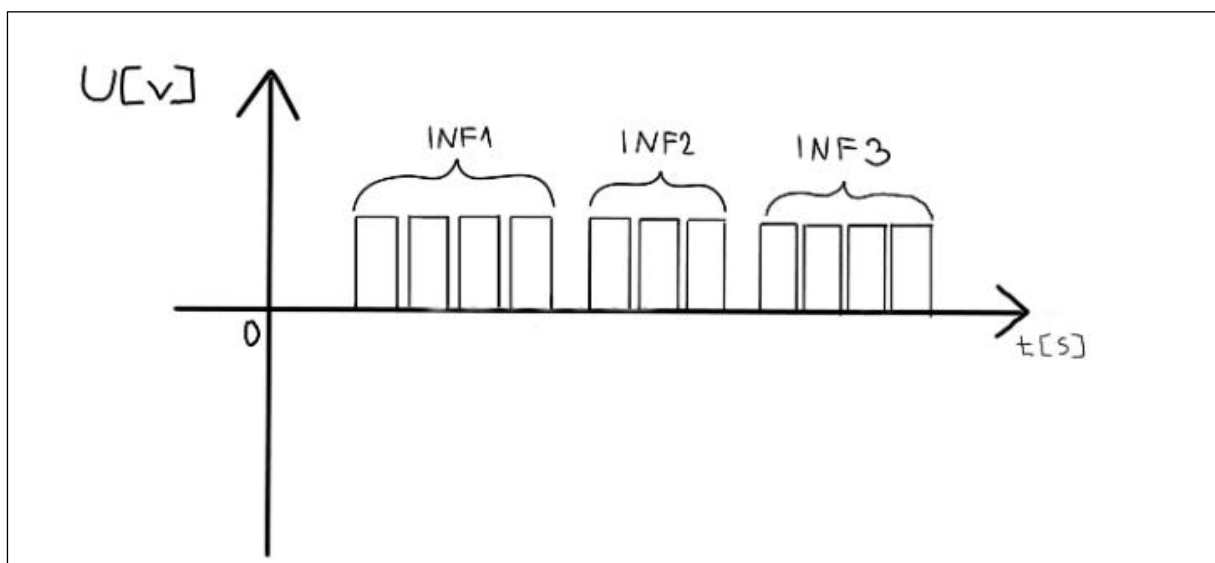
Nevýhody:

- Omezený počet pásem
- Mezera mezi kanály

6.2 Časový multiplex (TDM)

Časový multiplex je způsob přenášení informací na principu udělení jednotlivým signálům krátký časový úsek, na kterém se budou vysílat. Všechny signály mají stejnou frekvenci, ale každý má přidělený čas na vysílání po přenosové cestě (Timesloty). Tyto časové přenosy se pravidelně opakují, do doby přenesení celé informace.

Využívá se u ISDN.



Obrázek 25: Graf časového multiplexu, obrázek z vlastního archivu

Výhody:

- Vysoká odolnost proti rušení
- Efektivní využití kapacity přenosu (statický TDM)
- Jednoduchost

Nevýhody:

- Synchronizace vysílače a přijímače
- Složitost demultiplexoru
- Pouze pro digitální signál
- Zpoždění (pokud signál čeká na timesloty)

Rozdělujeme dva typy TDM:

- Synchronní TDM
- Statický TDM

6.2.1 Synchronní TDM

Synchronní časový multiplex má timesloty přiděleny natrvalo, i když daný signál nemá co vysílat, má stále přidělené timesloty.

6.2.2 Statický TDM

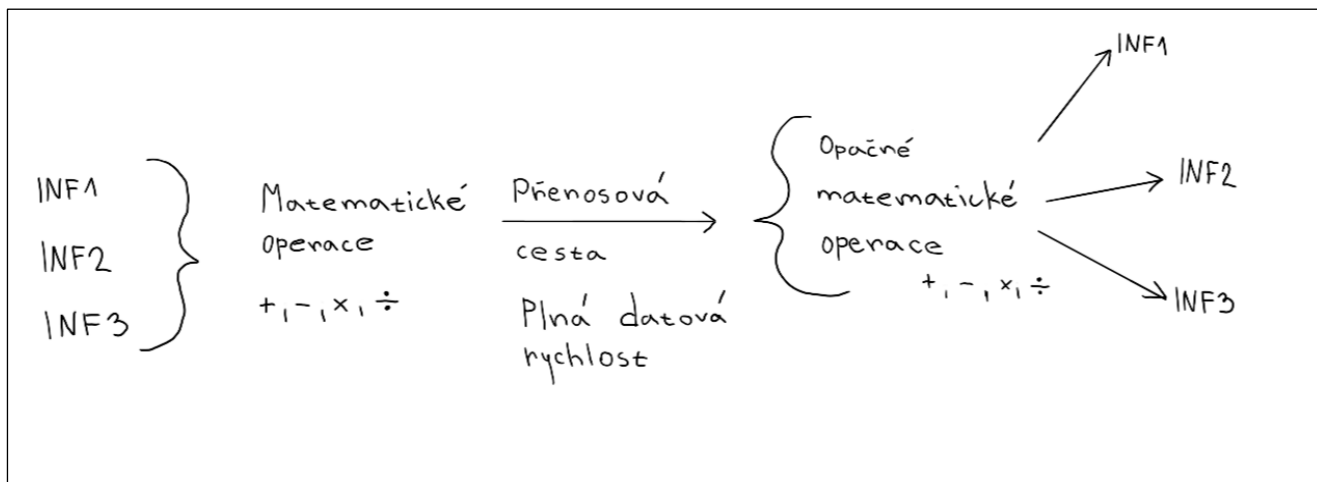
Statický časový multiplex přiděluje informacím timesloty podle aktuální potřeby. Pokud některý signál nemá data k přenosu, timesloty se nepřidělí.

6.3 Kódový multiplex (CDM)

Kódový multiplex je způsob přenesení více informací jednou nosnou vlnou s maximální datovou rychlostí (kolik bitů se přenesou za jednu sekundu). Vysílač kódového multiplexu využívá matematické operace k zakódování informací, každá informace dostane svůj unikátní kód, který následně přijímač pomocí matematických operací dešifruje a rozliší informace na další použití.

Kódový multiplex tedy posílá přenosovou cestou pouze jednu nosnou vlnu, která obsahuje více informací najednou.

Využívá se například u některých mobilních sítí (UTSM)



Obrázek 26: Kódový multiplex, obrázek z vlastního archivu

Výhody:

- Bezpečnost
- Využití celého frekvenčního pásma
- Vysoká odolnost proti rušení
- Přenos více informací současně

Nevýhody:

- Složitější realizace
- Vyšší nároky na výpočetní techniku

6.4 Ortogonální frekvenční multiplex (OFDM)

Ortogonální frekvenční multiplex vznikl jako řešení problému odrazu vln při přijímání. Při odrazu se vlny zpožďují a přicházejí na přijímací anténu ze všech směrů, což způsobuje časové zpoždění a zpožďující fáze. OFDM tento problém řeší vysláním tisíce nosných vln, naklícovaných dvoustavově pomocí PSK nebo vícestavově pomocí QAM, s rozstupem na frekvenční ose 10 – 15Hz, vlny podle zvolené modulace přenáší vlny určitý počet bitů (16-QAM 4 bitů, 64-QAM 6 bitů atd.)

Po vyslání vln vysílač čeká určitý čas, než začne znovu vysílat. Tento interval zajišťuje, že vyslané vlny z předchozího vyslání dorazí na přijímač.

OFDM tedy najednou vyšle tisíce vln, poté čeká určitý časový interval, než dorazí všechny vlny na přijímač a následně začne opět vysílat.

Výhody:

- Odolnost proti odrazům
- Vysoká datová rychlost

Nevýhody:

- Složitá realizace
- Vyšší spotřeba energie

Závěr

Cílem práce bylo popsat telekomunikační spoje a přenosové cesty realizované metalickými vodiči, optickými vlákny a elektromagnetickými vlnami. Dále jsem popsal vznik elektromagnetických vln, jejich šíření prostorem a reakci na překážky.

Stručně jsem sepsal šíření vln v metalických a optických kabelech, základní strukturu těchto kabelů a jejich využití.

V práci jsem se dále věnoval analogovým a digitálním modulacím, popsal jsem jednoduché modulace jako AM a FM, ale i složitější jako například QAM.

V posledním bodě jsem se věnoval technikám multiplexu, jejich základnímu rozdělení a výhodám a nevýhodám.

Při psaní této práce jsem uplatnil své znalosti ze školních přednášek a více si osvojil technologie, které denně používáme. Lze očekávat že telekomunikační technologie se budou s rostoucím propojením světa nadále vyvíjet kupředu, tato práce mi přijde jako dobrý základ pro pochopení složitějších věcí.

Zdroje

- ELEKTROMAGNETICKÉ_VLNĚ. *Elektromagnetické vlny* [online]. Wikimedia Foundation, 2026 [cit. 2026-02-18].
Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Elektromagnetick%C3%A9_vlny
- ELEKTROMAGNETICKÉ_ZÁŘENÍ. *Elektromagnetické záření* [online]. Wikimedia Foundation, 2026 [cit. 2026-02-18]. Dostupné z:
https://cs.wikipedia.org/wiki/Elektromagnetick%C3%A9_z%C3%A1%C5%99en%C3%AD
- FREKVENCE. *Frekvence* [online]. Wikimedia Foundation, 2026 [cit. 2026-02-18].
Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Frekvence>
- FS.COM. *From Twists to Turns: What Is UTP Cable?* [online]. FS Technology Co., Ltd., 2026 [cit. 2026-02-18]. Dostupné z: <https://www.fs.com/blog/from-twists-to-turns-what-is-utp-cable-7839.html>
- JEDNOVIDOVÉ_OPTICKÉ_VLÁKNO. *Jednovidové optické vlákno* [online]. Wikimedia Foundation, 2026 [cit. 2026-02-18].
Dostupné z:
https://cs.wikipedia.org/wiki/Jednovidov%C3%A9_optick%C3%A9_vl%C3%A1kno
- KOAXIÁLNÍ_KABEL. *Koaxiální kabel* [online]. Wikimedia Foundation, 2026 [cit. 2026-02-18].
Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Koaxi%C3%A1ln%C3%AD_kabel
- KROUCENÁ_DVOJLINKA. *Kroucená dvojlinka* [online]. Wikimedia Foundation, 2026 [cit. 2026-02-18].
Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Kroucen%C3%A1_dvojlinka
- KVADRATURNÍ_AMPLITUDOVÁ_MODULACE. *Kvadrurní amplitudová modulace* [online]. Wikimedia Foundation, 2026 [cit. 2026-02-18].
Dostupné z:
https://cs.wikipedia.org/wiki/Kvadrurn%C3%AD_amplitudov%C3%A1_modulace
- MODULACE. *Modulace* [online]. Wikimedia Foundation, 2026 [cit. 2026-02-18].
Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Modulace>
- OFDM. *OFDM* [online]. Wikimedia Foundation, 2026 [cit. 2026-02-18].
Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/OFDM>
- TELEKOMUNIKACE. *Telekomunikace* [online]. Wikimedia Foundation, 2026 [cit. 2026-02-18]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Telekomunikace>

- SAMURAJ-CZ.COM. *Optická a metalická kabeláž pro síť LAN a SAN* [online]. Samuraj-cz, 2026 [cit. 2026-02-18].
Dostupné z: <https://www.samuraj-cz.com/clanek/opticka-a-metalicka-kabelaz-pro-site-lan-a-san/>
- VÍCEVIDOVÉ_OPTICKÉ_VLÁKNO. *Vícevidové optické vlákno* [online]. Wikimedia Foundation, 2026 [cit. 2026-02-18].
Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/V%C3%ADcevidov%C3%A9_optick%C3%A9_vl%C3%A1kno
- WIKIMEDIA_FOUNDATION. *Kroucená dvojlínka* [online]. Wikimedia Foundation, 2026 [cit. 2026-02-18].
Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Kroucen%C3%A1_dvojlínka
- Wikipedie. BPSK [online]. [cit. 2026-02-18].
Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/BPSK>

Zdroje obrázků:

- ALDEBARAN.CZ. *Elektromagnetické spektrum* [online]. Aldebaran Group, 2026 [cit. 2026-02-18].
Dostupné z: https://www.aldebaran.cz/tabulky/tb_spektrum.php
- RASEL.CZ. *Koaxiální kabel 50 Ohm RG58* [online]. Rasel s.r.o., 2026 [cit. 2026-02-18].
Dostupné z: <https://www.rasel.cz/koaxialni-kabel-50-ohm-5-00mm-rg58-p17332/>
- Svoboda. Svoboda1 [online obrázek]. Odbornecasopisy.cz [cit. 2026-02-18].
Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/img/content/svoboda1.jpg>
- VOLTY.CZ. *Alexander Graham Bell získává patent na telefon* [online]. Volty.cz, 2026 [cit. 2026-02-18].
Dostupné z: <https://www.volty.cz/2022/03/07/29lety-alexander-graham-bell-ziskava-patent-na-svuj-telefon-revolucni-vynalez-slavi-146-let/>
- Wikipedie. Kroucená dvojlínka – Soubor: UTP cable.jpg [online]. [cit. 2026-02-18].
Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Kroucen%C3%A1_dvojlínka#/media/Soubor:UTP_cable.jpg
- WIRELESSLY.WEBNODE.CZ. *Rozdělení elektromagnetického záření* [online]. Wirelessly, 2026 [cit. 2026-02-18].
Dostupné z: <https://wirelessly.webnode.cz/bezdratove-prenosove-technologie/rozdeleni-elektromagnetickeho-zareni/>

Obrázky z vlastního archivu (podle čísla obrázku): 1,6,7,9,10,11,12,13,14,18,19,20,21,22,23,24,25,26