



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ**

ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS

KOAXIÁLNÍ KABELY V KOMUNIKAČNÍCH SÍTÍCH

COAXIAL CABLES IN COMMUNICATION NETWORKS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

LUKÁŠ HOTÁREK

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

prof. Ing. MILOSLAV FILKA, CSc.

BRNO 2013



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav telekomunikací

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor
Teleinformatika

Student: Lukáš Hotárek

ID: 115093

Ročník: 3

Akademický rok: 2012/2013

NÁZEV TÉMATU:

Koaxiální kabely v komunikačních sítích

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Úkolem práce je posoudit současný význam a uplatnění koaxiálních kabelů v informatice. Provedte srovnání výhod a nevýhod s optickými vlákny. Provedte rozbor současného využití koaxiálních kabelů. Navrhněte měřicí metody na současně využívané koaxiální kabely, vytipujte vhodné měřicí přístroje a metodiku měření a návrh ověřte měřením na dostupných kabelech.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

- [1] FILKA, M. Přenosová média. Skripta laboratoře. VUT FEKT, Brno 2003.
- [2] ŘÍČNÝ, V. Televizní kabelové rozvody. Skripta. VUT FEKT, Brno 2000.

Termín zadání: 11.2.2013

Termín odevzdání: 5.6.2013

Vedoucí práce: prof. Ing. Miloslav Filka, CSc.

Konzultanti bakalářské práce:

prof. Ing. Kamil Vrba, CSc.

Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

ANOTACE

Bakalářská práce je věnována problematice koaxiálních kabelů, jejich vývoji a současnému využití. V úvodu práce je popsána historie a vznik koaxiálních kabelů. Jsou zde zmíněny významné data a události, které ovlivnili jeho vývoj. Jelikož je koaxiální kabel jeden z typů metalického vedení, tak se část práce věnuje i teorii metalického vedení, jeho parametrům a vlastnostem. Je zde popsána teorie všech základních typů metalického vedení, tedy kroucené dvojlinky, strukturované kabeláže a samotného koaxiálního kabelu, kterému je věnováno nejvíce prostoru. Pro možnost srovnání parametrů koaxiálního vedení a optického vlákna je v následující kapitole stručný popis optického vedení, jeho základní rozdělení a využití. Nalezneme zde tedy srovnání koaxiálních kabelů s moderními optickými vlákny. Jsou zde popsány hlavní výhody, nevýhody a důvody proč se začínají více uplatňovat optická vlákna. Práce nám také popisuje současné využití koaxiálních kabelů. Jednak se stále využívají pro kabelovou televizi, počítačové sítě, televizní rozvody a telefonii, ale také se dále využívají jako napáječe vysílacích nebo přijímacích antén a svody od televizních antén. Jelikož mají koaxiální kabely široké možnosti využití, existuje celá řada kabelů s různými parametry a vlastnostmi. Proto se jedna z kapitol této práce věnuje jednotlivým typům vedení, popisuje jejich významné parametry a praktické využití. V poslední části jsou popsány parametry koaxiálního vedení, které je možné prakticky ověřit, a jsou v praxi velmi důležité. Jsou zde také popsány metody, jak správně tyto hodnoty změřit. Mezi tyto parametry například patří impedance, útlum a vzdálenost poruchy. Jsou zde popsány i moderní analyzátory, které se v dnešní době nejčastěji využívají pro měření již zmíněných parametrů koaxiálních kabelů a antén.

KLÍČOVÁ SLOVA

Metalické vedení, kroucená dvojlinka, koaxiální kabel, optická vlákna, analyzátory, měření parametrů vedení.

ABSTRACT

The thesis is focused on coaxial cables, its development and current utilization. In the prologue of this paper, the history and origin of the cable is described with mentioning important dates and events in its development. Since the coaxial cable is type of metallic cable, part of the paper deals with the theory, parameters and characteristics of metallic cables. The theory of all basic types of metallic cables is described, that implies twisted pair, structured cabling and coaxial cable, to which is dedicated most space. The next chapter presents brief description, basic division and utilization of fiber optic to enable comparison with coaxial cable. It presents main advantages and disadvantages as well as reasoning for prevalence of use of optic fibers. The current use of coaxial cable is presented. Aside from cable television, computer and telephone networks, the coaxial cables are also used as feeder lines for transmitting and receiving aerials and as television aerial lead. Due to great possibility of utilization of coaxial cables exists a broad spectrum of cables with different parameters and properties. Therefore a separate chapter focuses on particular types of cabling, describes its significant parameters and practical utilization. The last part of the paper presents parameters of coaxial cables that can be verified and that bear great importance in praxis. The methods of proper measurement are mentioned. Aforesaid parameters include impedance, cable loss and distance-to-fault. Described are also modern analyzers that are most commonly used for measuring said parameters of coaxial cables and aerials.

KEYWORDS

Metallic cables, twisted pair, coaxial cables, fiber optic, analyzers, measurements of cables parameters.

HOTÁREK, L. *Koaxiální kabely v komunikačních sítích*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2013. 33 s. Vedoucí semestrální práce prof. Ing. Miloslav Filka, CSc..

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou semestrální práci na téma Koaxiální kabely v komunikačních sítích jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené semestrální práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této semestrální práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom následku porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne

.....

(podpis autora)

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu semestrální práce prof. Ing. Miloslavu Filkovi, Csc. za velmi užitečnou metodickou pomoc a cenné rady při zpracování práce.

V Brně dne

.....
(podpis autora)

OBSAH

ÚVOD	1
1 HISTORIE A VÝVOJ KOAXIÁLNÍCH KABELŮ	2
2 METALICKÉ VEDENÍ	3
2.2 VLASTNOSTI METALICKÉHO VEDENÍ	4
2.3 KOAXIÁLNÍ KABEL	6
2.3.1 Parametry koaxiálního kabelu	6
2.3.2 Technologické provedení a značení koaxiálních kabelů	10
2.3.3 Stojaté vlny na vedení	11
2.3.4 Zkreslení způsobená průchodem signálu vedením	11
2.3.5 Druhy koaxiálních kabelů	12
2.3.6 Výhody koaxiálních kabelů	14
2.4 KROUCENÁ DVOJLINKA	14
2.5 STRUKTUROVANÁ KABELÁŽ	16
3 POROVNÁNÍ OPTICKÉHO A KOAXIÁLNÍHO VEDENÍ.....	17
3.1 VLASTNOSTI OPTICKÉHO VLÁKNA	17
3.1.1 Parametry optických vláken	18
3.2 VÝHODY A NEVÝHODY KOAXIÁLNÍHO VEDENÍ.....	19
4 VYUŽITÍ KOAXIÁLNÍCH KABELŮ	21
4.1 POČÍTAČOVÉ SÍTĚ	21
4.2 PŘENOS VIDEOSIGNÁLU	22
4.3 WLAN SYSTÉMY.....	23
4.4 DALŠÍ TYPY KABELŮ	23
5 MOŽNOSTI MĚŘENÍ KOAXIÁLNÍCH KABELŮ.....	25
5.1 ÚTLUM KABELU	25
5.2 ÚTLUM ZPĚTNÉHO ODRAZU A POMĚR STOJATÝCH VLN	26
5.3 VZDÁLENOST PORUCHY	26
5.4 MĚŘENÍ CHARAKTERISTICKÉ IMPEDANCE KABELU	27
5.5 ANALYZÁTORY	27
6 MĚŘENÍ KOAXIÁLNÍ KABELŮ V PRAXI	28
6.2 MĚŘENÍ SE SITEMASTEREM S331E.....	28
6.3 MĚŘENÍ VENKOVNÍHO OPTICKÉHO PŘEVODNÍKU	31
7 ZÁVĚR	35
LITERATURA	37
SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK	39

ÚVOD

V dnešní době se velmi často hovoří o optických vláknech, jako o vedení budoucnosti, proto je cílem této práce porovnat jednotlivé parametry optického vedení s vedením koaxiálním. Zjistit zda se v dnešní době stále využívají koaxiální kabely, a kde najdeme jejich uplatnění. Další bodem je prozkoumat možnosti měření vlastností a jednotlivých parametrů tohoto vedení. Samotná práce je tedy rozdělena do několika kapitol, které řeší jednotlivé cíle.

První kapitola je pouze informativní. Je zde popsáno, jak vlastně koaxiální kabel vznikl. Kdy vznikl první patent, kde vznikl a kdo ho vůbec získal. Jsou zde popsány významné momenty jeho historie, jako je například rok 1936, kdy se konaly letní Olympijské hry v Berlíně, a poprvé zde byl přenášen televizní signál pomocí koaxiálních kabelů na vzdálenost 240 km.

Následující kapitola je věnována teorii metalického vedení. V této části práce jsou popsány důležité fakta o jednotlivých typech vedení. Je zde zmíněna kroucená dvojlinka, strukturovaná kabeláž a koaxiální kabel. Popsány jsou zde i obecné primární a sekundární parametry metalického vedení. Hlavní část této kapitoly však patří samotnému koaxiálnímu kabelu, který je zde velmi podrobně popsán.

Protože jedním z cílů je porovnání koaxiálního vedení s optickými vlákny, je část práce věnována i teorii optického vedení. Jelikož tato kapitola je velmi obsáhlá, je zde pouze uvedeno základní rozdělení kabelů a stručný popis jednotlivých typů. Tato kapitola tedy tvoří pouze můstek pro spojení s další kapitolou, která se věnuje problematice výhod a nevýhod koaxiálního vedení. Jsou zde popsány nejvýznamnější rozdíly mezi těmito kabely. Jak již bylo v úvodu řečeno, optické kabely jsou velmi moderní a mají stále ještě velké rezervy. Velkou překážkou pro optiku byla její cena, ale v dnešní době, kdy se zvyšuje hodnota mědi, se začínají finanční investice do těchto vedení srovnávat na stejnou hladinu. Ale i přesto má koaxiální kabel stále významné využití. Tento problém řeší další kapitola, kde jsou popsány hlavní možnosti využití koaxiálních kabelů.

Koaxiální kabel se v současné době nejvíce využívá jako napáječ vysílacích anebo přijímacích antén, svod televizních antén a také jako vedení pro kabelové televize, počítačové sítě a telefonii. Ukazuje se tedy, že i přes velký posun optiky v před, se stále na trhu využívají optické kabely, které díky svým parametrům, jsou vhodným přenosovým vedením.

Na začátku práce byla uvedena celá řada parametrů různých kabelů. V závěrečné kapitole nalezneme ty parametry, které je možné změřit a ověřit jejich teoretický předpoklad. Pro měření se využívá analyzátorů, které jsou v dnešní době na výborné úrovni a poskytují nám velké množství informací, které jsou pro techniky velmi důležité. Práce se tedy zaměřuje i na tyto přístroje, které nám pomáhají udržovat a kontrolovat správnou chod vedení.

1 HISTORIE A VÝVOJ KOAXIÁLNÍCH KABELŮ

Historie koaxiálního kabelu začíná v letech 1880, kde anglický matematik Oliver Heaviside studoval skin efekt v telegrafních linkách. *Skin efekt* je fyzikální děj, při kterém dochází k vytlačování elektrického proudu k povrchu vodiče. Tento efekt nastává při vysoké frekvenci střídavého elektrického proudu. Tento proud vytváří ve vodiči nestacionární magnetické pole, které elektromagnetickou indukci opět vzbuzuje elektrické pole. Lenzovo pravidlo říká, že směr vzbuzeného elektrického pole je takový, aby zabránil změně, která jej vyvolala. Na povrchu válcového vodiče jsou směry proudové hustoty a intenzity elektrického pole souhlasné, a proto dochází ke zvýšení amplitudy proudové hustoty. Naopak v místech podélné osy válcového vodiče jsou vektory orientovány nesouhlasně a dochází tedy k poklesu amplitudy proudové hustoty. V roce 1881 si Oliver Heaviside nechal patentovat první koaxiální kabel v Anglii. [2]

O tři roky později v roce 1884 získala německá elektrotechnická firma Siemens & Halske podobný patent jako Oliver Heaviside. Společnost Siemens & Halske se díky vývoji elektrických generátorů, které začali vyrábět už o dvě desetiletí dříve, široce proslavila v Evropě.

Další důležitý pokrok přichází v roce 1894, kdy vynálezce Nikola Tesla získal od amerického patentního úřadu první patent na elektrické vodiče. Tyto tři body byly klíčové pro konstrukci koaxiálního kabelu, který používáme v dnešní době.

Lloyd Espenschied a Herman Affel získávají jménem AT&T Bell Telephone Laboratories patent na první rozpoznatelný koaxiální kabel. Tato verze koaxiálního kabelu jako první obsahuje dva přenosové vodiče, které sdílejí stejnou osu. Hlavní výhodou tohoto uspořádání je širší frekvenční rozsah.

Roku 1936 se konaly letní Olympijské hry v Berlíně, kde se poprvé přenášely televizní záběry pomocí koaxiálních kabelů. Snímky byly přenášeny v uzavřeném obvodu z Berlína do města Leipzig vzdáleného 240 km. Tato Olympiáda se tedy zapsala do dějin nejen výkony sportovců, ale i prvním úspěšným přenosem televizních záběrů přes koaxiální kabely na delší vzdálenost.

První komerční využití ve Spojených státech amerických dochází v roce 1941, kdy se pomocí koaxiálních kabelů propojily americké města Minneapolis, Minnesota a Stevens Point, Wisconsin. Vedení bylo dlouhé 340 km, což překonalo dosud nejdelší přenos. Vedení poskytovalo jeden televizní kanál nebo 480 telefonních linek.

Velmi významný rok je 1956, kdy dochází k propojení amerického a evropského kontinentu pomocí prvního podvodního telefonního kabelu. Koaxiální kabel měřil více než 1500 námořních mil, což je více jak 2700 km. Kabel propojoval UK General Post Office a AT&T. [10]

2 METALICKÉ VEDENÍ

Základem metalického vedení je drátový vodič, který tvoří telekomunikační vedení. Dlouho dobu bylo metalické vedení využíváno pro přenos nízkofrekvenčního signálu v pásmu 300 – 3400 Hz. Toto frekvenční pásmo odpovídá hovorovému signálu, proto bylo vedení využíváno v klasických telefonech. V budoucnosti se ukázalo, že metalické vedení poskytuje přenos mnohem širšího přenosového pásma.

Nyní se v následující kapitole zaměříme na obecný popis vlastností metalického vedení. Následně se zmíníme o jednotlivých základních prvcích metalického vedení. Celou skupinu metalického vedení můžeme rozdělit na dvě základní skupiny:

- **symetrické vedení**
- **asymetrické vedení**

Toto rozdělení však není dostačující. Symetrické vedení lze dále rozdělit do skupin podle frekvenčního pásma. Jedná se tedy o **nízkofrekvenční kabely**, které se dále dělí na pupinované a nepupinované, a **vysokofrekvenční kabely**, které se využívají pro nosné telefonní systémy a využívají příznivých vlastností v oblasti vyšších kmitočtů (od 10 kHz).

Nepupinované vedení je určeno pro místní a spojovací účely. Druhý typ nízkofrekvenčního vedení jsou **pupinované kabely**, které jsou založeny na principu pupinace, tedy umělém zvyšování indukčnosti vedení. Umožní se tak v omezeném kmitočtovém pásmu snížení útlumu vedení a zmenšení zkreslení útlumové charakteristiky. Do vedení jsou v pravidelných úsecích vkládány indukční cívky.

Hlavním představitelem asymetrického vedení je **koaxiální kabel**, který je jako první popsán v následující kapitole zmíněn koaxiální kabel, který měl velký význam při rozvoji lokálních počítačových sítí, a zvláště pak Ethernetu. Jedná se o asymetrické vedení, protože přenos elektrického signálu probíhá pomocí dvou vodičů, jejichž postavení a role není stejná. Technologie a vlastnosti koaxiálních kabelů budou důkladně popsány v následující kapitole.

Jestliže koaxiální kabely stály u zrodu lokálních počítačových sítí, pak současnost lokálních sítí patří **kroucené dvojlince**, optickým vláknům, strukturované kabeláži a bezdrátovému přenosu. Další kapitola je tedy věnována kroucené dvojlince, která je oproti koaxiálním kabelům vedením symetrickým. Základem kroucené dvojlinky je pravidelné kroucení vodičů, následně i těchto páru. Díky tomuto symetrickému zkroucení získává kroucená dvojlinka lepší elektrické vlastnosti kabelu. Hlavní využití tohoto vedení je pro dvojbodové spojení, které je však omezeno dosahem a nelze tvořit odbočky.

Metalické vedení lze dále rozdělit do skupin podle místa uložení. Základní rozdělení je na vedení uložené, závěsné, nadzemní a speciální. **Uložené vedení** je určeno na pokládku cca 80 cm pod povrch země. Kabely se pancéřují pomocí ocelových pásek a jsou opatřeny četnými ochanými obaly, které je chránění proti klimatickým vlivům a částečně i proti elektromagnetickému rušení. Využívá se převážně u domovní instalace. **Závěsná** nebo **nadzemní vedení** nejsou ve srovnání s uloženým vedením chráněny proti klimatickým

vlivům. Vedení využívá různých podpor pro zavěšení. Speciální typem jsou **kabely podmořské**, které se vyznačují vysokou provozní spolehlivostí a s tím také souvisí jejich vysoká odolnost izolačních obalů proti vlhkosti a mechanickému poškození. Dalším speciálním typem jsou **kabely rozhlasové**, které se využívají pro spojení mezi rozhlasovými studií, s vysílači, pro přenos modulačního signálu rozhlasu po drátě aj.

Mezi další standardní představitele speciálního vedení patří **telekomunikační vlnovody**, které jsou vyrobené ve tvaru trubek, nejčastěji kruhového průřezu, vyrobených kvalitních vodivých materiálů. Po vlnovodech se potom uskutečňuje přenos elektromagnetické energie v principu jako v atmosféře, ale s ostře ohraničeným směrem a s omezenou frekvencí. [4]

Posledním typem jsou **telekomunikační supravodiče**, jejichž princip se zakládá na faktu, že při teplotách jdoucí k absolutní nule (-273°C) klesá hodnota odporu, čímž se tedy snižuje i útlum vedení. V porovnání s klasickým vedením je útlum několikrát menší. Díky tomu je možné signál přenášet na velké vzdálenosti bez zesilovačů.

2.2 VLASTNOSTI METALICKÉHO VEDENÍ

Stejně jako u ostatních vedení, tak i u metalického vedení existuje rozdělení dle charakteristických vlastností. Při určování vlastností ideálního telekomunikačního vedení lze zjednodušeně předpokládat, že se jedná o vedení homogenní s rovnoměrně rozloženými elektrickými parametry, což znamená, že vedení má po celé jeho délce stejně přenosové vlastnosti. Parametry elektrických vlastností vedení se rozdělují na primární a sekundární.

Primární parametry jsou konstantní a jsou odlišné pro různým typ vedení a frekvenci přenosu. Za předpokladu, že vedení je homogenní, ho můžeme rozdělit na nekonečně krátké elementy dx , kde jednotlivé elementy popisují právě tyto primární parametry, které jsou vztažené na jednotku délky:

- měrný odpor R [Ω/km]
- měrná indukčnost L [mH/km]
- měrná kapacita C [nF/km]
- měrný svod G [$\mu\text{S}/\text{km}$]

$$\Delta U = L(R + j\omega L)\Delta x \quad , \quad (2-1)$$

$$\Delta I = U(G + j\omega C)\Delta x \quad . \quad (2-2)$$

Pro popis šíření napět'ových a proudových vln po vedení jsou vhodnější sekundární parametry vedení:

Charakteristická (vlnová) impedance Z_c , která je dána poměrem napětí a proudu. U metalického vedení je Z_c v libovolné části ideálního homogenního vedení konstantní a je vyjádřena v komplexním tvaru $|Z_c|$.

$$Z = \frac{U}{I} = \frac{\Delta U}{\Delta I} = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C}} = |Z_c| \cdot e^{j\phi_c} , \quad (2-3)$$

kde

$|Z_c|$ modul Z_c ,

$e^{j\phi_c}$ argument Z_c .

$|Z_c|$ v každém místě ideálního homogenního vedení vyjadřuje $|Z_c|$ poměr velikosti napěťové a proudové vlny. Naopak ϕ_c vyjadřuje rozdíl mezi fází napěťové vlny a proudové vlny [4].

Dalším sekundárním parametrem je **měrná vlnová míra přenosu γ** , která vyjadřuje relativní změnu napětí a proudu v libovolné části ideálního homogenního vedení, která je vztažená na jednotkovou délku. Měrná vlnová míra přenosu je v celé délce vedení konstantní.

$$\gamma = \frac{\Delta U}{U \cdot \Delta x} = \frac{\Delta I}{I \cdot \Delta x} = \sqrt{(R + j\omega L)(G + j\omega C)} = \alpha + j\beta , \quad (2-4)$$

kde

α měrný útlum [dB/km],

$j\beta$ měrný fázový posun [rad/km].

β vyjadřuje hodnotu zpoždění fáze šířící se vlny vztažené k jednotce délky.

Měrný útlum je daný vztahem:

$$\alpha = \frac{R_f}{2} \sqrt{\frac{C}{L}} + \frac{G}{2} \sqrt{\frac{L}{C}} , \quad (2-5)$$

kde všechny hodnoty jsou měrné a vztahují se na 1 km vedení. Vztah platí zejména pro vyšší kmitočty. U nízkofrekvenčních přenosů a u vodičů s průměrem $d < 2$ mm je možno zanedbat svodovou složku a za podmínky $\omega L \ll R$ platí přibližně

$$\alpha = \sqrt{\frac{R \omega C}{2}} . \quad (2-6)$$

Měrný svod [rad/km] popisuje vztah:

$$\beta = \omega \sqrt{L C} , \quad (2-7)$$

kde při nízkých kmitočtech a podmínky $\omega L \ll R$ platí

$$\beta = \sqrt{\frac{\omega R C}{2}} . \quad (2-8)$$

Fázová rychlost v_f [km/s] určuje hodnotu rychlosti šířící se fáze postupující harmonické vlny a je vyjádřena vztahem

$$v_f = \frac{\lambda}{T} = \lambda \cdot f = \frac{2\pi f}{\beta} = \frac{\omega}{\beta} . \quad (2-9)$$

2.3 KOAXIÁLNÍ KABEL

Jedná se o představitele asymetrického vedení. Asymetrie se projevuje v provedení a konstrukci kabelu. Na rozdíl od symetrických kabelů, kde jsou vždy vodiče v páru a jsou pravidelně skrouceny, se asymetrické kabely skládají z vnitřního a vnějšího vodiče. Jednotlivé vodiče však mají jinou funkci, a proto se konstrukce nazývá asymetrická.

Koaxiální kabel je tedy tvořen jedním vodičem, který je veden středem kabelu a druhým, který tvoří vodivou síťku, která obtéká izolační vrstvu (dielektrikum) středového vodiče. Středový vodič je veden po celé délce vedení a většinou má podobu plného drátu nebo lanka spleteného z více drátků, u větších koaxiálních kabelů bývá dutý. Standardní materiál pro výrobu středového vodiče je měď. Vnější opletení má za úkol odstínit středový vodič od okolních vlivů a bránit vyzařování opačným směrem. V koaxiálních kabelech tedy nevzniká vzájemné ovlivňování souběžných párů, což je jednou z největších výhod koaxiálního vedení.

Samotné stínění vnějším vodičem při nízkých frekvencích (řádově $n \cdot 10^4$ Hz) však není dostatečné, proto je nutné ho posílit pomocí dvou měděných pásek, které jsou vinuté na vnější vodič. Tyto pásky zároveň vodič zpevňují. Pro frekvence vysoké stačí pouze stínění vnějším vodičem. Proud tedy prochází povrchem středového vodiče a vnitřní stranou vnějšího vodiče.

Vnější vodič je většinou vyroben z měděného svinutého plechu, který obtéká izolační kroužky z polyetylenu. Samotné izolační kroužky jsou nasazeny na vnitřním vodiči, který je vzdálený od vnějšího vedení 20 – 25 mm. Alternativním způsobem vzájemné izolace je využití pěnové vrstvy polyetylenu nebo balónkové izolace. Balónková izolace je tvořená z polyetylenové trubičky, která je smáčknutá v malých vzdálenostech k vnitřnímu vodiči (využívá se u malých koaxiálních trubek). Vnější trubka bývá spojena ve švu pomocí zoubků nebo vroubkováním, případně se kraje jen přitisknou. Obvodová izolace je vinuta z papíru nebo polyesterové pásky a nese číslo příslušné trubky.

2.3.1 Parametry koaxiálního kabelu

Jelikož je koaxiální kabel druhem metalického vedení i zde můžeme parametry rozdělit na primární a sekundární. V této kapitole si tedy stručně popíšeme jednotlivé parametry.

a) Primární parametry

Odpor [Ω/km] obou vodičů není stejný, proto platí následující definice:

$$R = 83,5\sqrt{f} \left(\frac{1}{d} + \frac{1}{D} \right) , \quad (2-10)$$

kde

d je průměr vnitřního vodiče [mm],

D je průměr vnější trubky [mm],

f je kmitočet [Mhz].

Měrná kapacita [nF/km] je popsána vztahem:

$$C = \frac{56 \varepsilon_r}{\ln \frac{D}{d}} , \quad (2-11)$$

Měrná indukčnost [nH/km] je:

$$L = 0,2 \ln \frac{D}{d} . \quad (2-12)$$

Měrný svod je:

$$G = k_s \omega C , \quad (2-13)$$

kde

k_s bývá $0,5 \cdot 10^{-4} = 0,005\%$.

b) Sekundární parametry

Charakteristická impedance

Jedním ze základních parametrů koaxiálního kabelu je jeho *charakteristická impedance* (také vlnový odpor neboli vlnová impedance). Parametr vyjadřuje odpor, který kabel klade střídavému proudu. Je dán průměrem vnějšího vodiče, vnitřního vodiče a použitým dielektrikem. Udává se v Ohmech a lze vypočítat ze vztahu

$$Z_c = \frac{Z_0}{2\pi\sqrt{\varepsilon_r}} \cdot \ln \left(\frac{D}{d} \right) \approx \frac{60}{\sqrt{\varepsilon_r}} \cdot \ln \left(\frac{D}{d} \right) , \quad (2-14)$$

kde

Z_0 je impedance volného prostředí a činí přibližně 377Ω

ε_r je relativní permitivita použitého dielektrika (nabývá hodnot 1,15 – 1,5)

D je průměr vnějšího vodiče a d průměr vnitřního vodiče.

Při využití koaxiálních kabelů pro vzájemné propojení počítačů je nutné v souvislosti s charakteristickou impedancí kabelu zakončit oba konce kabelu pomocí zakončovacích členů. Pokud by vedení nebylo takto zakončeno a zůstal by i pouze jeden konec nezakončený, docházelo by na něm k odrazům přenášeného signálu. Vyslaný signál by se nejprve šířil od jednoho konce ke vzdálenějšímu konci kabelu, který by nebyl zakončený, zde by se signál odrazil a vrátil by se zpět. Docházelo by tedy k interferenci se signálem přicházejícím v opačném směru. Výsledný signál by byl zcela zkreslený, znehodnocený a ve výsledku nepoužitelný.

Zakončovací člen musí být tvořen běžným odporem, s velikostí, která se číselně rovná velikosti impedancí kabelu. Takže pro zakončení jednoho koaxiálního kabelu s impedancí 50Ω jsou potřeba dva zakončovací členy o velikosti 50Ω .

Typicky se vyrábějí koaxiální kabely, které mají svou charakteristickou impedanci o velikosti 50Ω nebo 75Ω . Kabely s impedancí 50Ω se používá v pomalejší verzi Ethernetu a jako napáječ antén u vysílačů a přijímačů. Je tedy hlavně využíván ve světě počítačů. Zatím co kabely s impedancí 75Ω jsou používány v televizní technice nebo také v telekomunikacích jako dálkový telefonní kabel pro nosnou telefonii.

Měrný útlum

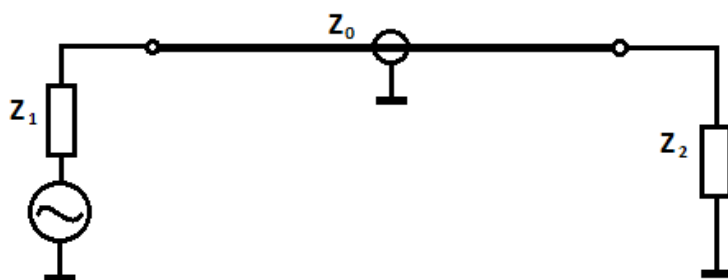
Mezi další parametr koaxiálního vedení patří *měrný útlum* b_k , který vyjadřuje, kolikrát se zmenší výkon signálu po průchodu kabelem definovatelné délky. Je způsobena ztrátami v mědi α_{Cu} , v dielektriku α_D a činitelem páskování. Udává se v dB/m nebo dB/100 m a je kmitočtově závislý.

$$b_k(f) \cong (1,1 \text{ až } 1,2) b_{k0}(f_0) \sqrt{\frac{f}{f_0}}, \quad (2-15)$$

kde

b_{k0} značí měrný útlum při $f = f_0$ [dB/100m].

Vliv zátěže a vstupního přizpůsobení koaxiálního vedení



Obr. 1 Schéma vlivu zátěže a vstupního přizpůsobení koaxiálního vedení.

Pro $Z_1 \cong R_1$ a $Z_2 \cong R_2$ lze definovat

a) **Činitel odrazu ρ_1 na vstupu:**

$$\rho_1 = \frac{R_1 - Z_0}{R_1 + Z_0} = \frac{m_1 - 1}{m_1 + 1} \quad \text{pro } R_1 > Z_0, \quad (2-16)$$

$$\rho_1 = \frac{Z_0 - R_1}{Z_0 + R_1} = \frac{1 - m_1}{1 + m_2} \quad \text{pro } R_1 < Z_0, \quad (2-17)$$

na výstupu

$$\rho_2 = \frac{R_2 - Z_0}{R_2 + Z_0} = \frac{m_2 - 1}{m_2 + 1} \quad \text{pro } R_2 > Z_0, \quad (2-18)$$

$$\rho_2 = \frac{Z_0 - R_2}{Z_0 + R_2} = \frac{1 - m_2}{1 + m_1} \quad \text{pro } R_2 < Z_0, \quad (2-19)$$

kde $m_1 = \frac{R_1}{Z_0}$ a $m_2 = \frac{R_2}{Z_0}$ (2-20) a (2-21)

jsou činitelé přizpůsobení.

b) **Útlum odrazu**

$$b_\rho = 20 \log \frac{1}{|\rho|} = 20 \log \frac{\text{psv} + 1}{\text{psv} - 1}, \quad (2-22)$$

kde psv je poměr stojatých vln a je definovaný jako

$$\text{psv} = \frac{U_{\max}}{U_{\min}} = \frac{1 + |\rho|}{1 - |\rho|}. \quad (2-23)$$

Při vstupním přizpůsobení ($R_1 \cong Z_0$) platí pro psv vlivem výstupního nepřizpůsobení ($R_2 \neq Z_0$)

$$\text{psv} = \frac{Z_0}{R_0} \quad \text{pro } R_2 < Z_0 \quad \text{a} \quad \text{psv} = \frac{R_2}{Z_0} \quad \text{pro } R_2 > Z_0. \quad (2-24) \text{ a } (2-25)$$

Naopak

$$\rho_2 = \frac{\text{psv} - 1}{\text{psv} + 1}. \quad (2-26)$$

c) **Účinnost přenosu na vstup (výstup) koaxiálního kabelu vlivem nepřizpůsobení**

Přenos napětí
$$\eta_U = \frac{U_P - U_0}{U_P} = \frac{2}{\sqrt{2 + m + \frac{1}{m}}} , \quad (2-27)$$

přenos výkonu
$$\eta_P = \frac{P}{P_{\max}} = \frac{4}{2 + m + \frac{1}{m}} . \quad (2-28)$$

d) **Fázová rychlost v_f na vedení vyjádřena vztahem**

$$v_f = \frac{c}{\sqrt{\mu_r \epsilon_r}} \cong \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r}} . \quad (2-29)$$

Relativní dielektrické konstanty jsou:

- pro pevné dielektrikum $\epsilon_r \cong 2,30$ a potom $v_f \cong 0,66 c$
- pro pěnové dielektrikum $\epsilon_r \cong 1,42$ a potom $v_f \cong 0,82 c$

2.3.2 **Technologické provedení a značení koaxiálních kabelů**

V České republice se užívá značení pomocí 5 písmen a dvou dvoumístných čísel

- 1. písmeno druh kabelu
V = vysokofrekvenční souosý kabel
P = vysokofrekvenční souměrný vodič
- 2. písmeno udává materiál a konstrukci vnitřního vodiče
C = měděný drát
L = lanko z měděných drátů
- 3. písmeno vyjadřuje materiál izolace (dielektrika)
C = izolace z pěnového polyetyleny (pPE)
E = izolace z plného polyetyleny (PE)
D = rourkobalónková (bambusová) izolace (u typů pro TKR)
- 4. písmeno určuje materiálově-konstrukční provedení vnějšího vodiče
O = jednoduché opředení měděnými drátky
D = dvojité opředení měděnými drátky
U = ovinutí měděnou páskou s jednoduchým opředením měděnými drátky
F = konstrukce s přeloženou měděnou fólií (u typů pro TKR)
V = ovinutí měděnou páskou s podélně uloženými měděnými drátky

Z = zvlněná měděná trubka
Al = ovinutí hliníkovou páskou

- 5. písmeno určuje materiálově konstrukční provedení pláště
- Číslo na první pozici označuje jmenovitou impedanci kabelu v Ω
- Číslo na druhé pozici určuje průměr dielektrika pod vnějším vodičem v mm

2.3.3 **Stojaté vlny na vedení**

a) **Změna napětí podél vedení**

Stojatá vlna U je superpozicí složek $U_0, U_1, U_2, U_3, \dots, U_n$

$$\frac{U}{U_{\max}} \cong \frac{U_0}{U_{\max}} + \frac{U_1}{U_{\max}} + \frac{U_2}{U_{\max}} + \dots + \frac{U_n}{U_{\max}}, \quad (2-30)$$

kde

U_0 průchozí neodraženou složku signálu,
 U_1 složku způsobenou odrazem na začátku a konci vedení,
 U_2 složku způsobenou čtyřmi odrazy,
 U_n složku způsobenou $2n$ odrazy.

Vliv odrazů klesá s růstem útlumu b_k kabelu. Na stoupacích vedeních je třeba zabránit velkému kolísání úrovně napětí.

b) **Kmitočtová závislost kolísání napětí podél vedení**

U jednotlivých účastníků vznikají rozdíly úrovní nosných signálů obrazu a zvuku, které vedou ke vzniku lineárních zkreslení. Zmenšením těchto rozdílů lze dosáhnout použitím kabelu s větším měrným útlumem.

2.3.4 **Zkreslení způsobená průchodem signálu vedením**

a) **Lineární zkreslení vlivem kmitočtové závislosti útlumu vedení**

Kompensace tohoto zkreslení se uskutečňuje změnou náklonu přenosové charakteristiky zesilovače. Kmitočtové závislosti úrovně signálu na délce trasy platí pro měrný útlum kabelu 3,84 dB/100m při 280 MHz a 1,77 dB/100m při 50 MHz. Následně jsou potřebné zisky zesilovače $A_{\text{zdB } 50} = 11,5 \text{ dB}$ a $A_{\text{zdB } 280} = 25 \text{ dB}$.

Možnosti realizace náklonu přenosové charakteristiky zesilovače:

- **plný kladný náklon:** výstup zesilovače má stejnou úroveň v celém kmitočtovém pásmu
- **plný záporný náklon:** vstup zesilovače má stejnou úroveň v celém kmitočtovém pásmu
- **poloviční náklon:** zabezpečuje stejnou úroveň v celém kmitočtovém pásmu uprostřed trasy

b) Zkreslení vlivem nepřizpůsobení sítě – kritická délka kabelu

Zpoždění to odraženého signálu v bodě X vlivem nepřizpůsobení v bodě Y je dáno vztahem

$$t_o = \frac{2 l \sqrt{\epsilon_r}}{c} . \quad (2-31)$$

Pro úroveň odstupu odraženého signálu (U_0/U) dB platí (měrný útlum kabelu $b_{\text{k dB}}$ v dB/100m)

$$\left(\frac{U_0}{U}\right)_{\text{dB}} = 20 \log \frac{U_0}{U} = 20 \log |\rho| - 2 b_{\text{k dB}} l . \quad (2-32)$$

Projev odrazu v obraze vlivem nepřizpůsobení je závislý na úrovni U_0 a době zpoždění t_o odraženého signálu v bodě připojení přijímače X.

Kritická délka odrazu

$$l = l_k \quad (2-33)$$

je měřená od místa nepřizpůsobení Y k místu připojení přijímače X. Při této délce se vyžaduje nejlepší přizpůsobení, protože pro ni je projev odrazu v obraze nejrušivější.[3]

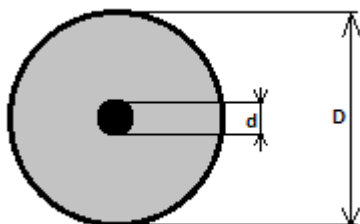
2.3.5 Druhy koaxiálních kabelů

Koaxiální kabely lze podle jejich parametrů rozdělit do několika skupin. Základním parametrem je samotná konstrukce kabelu, která určuje jeho vlastnosti a tím i jeho následné využití. Průměry jednotlivých vodičů nám rozdělují koaxiální kabely do tří skupin, které budou dále v kapitole popsány. Dalším rozdělení kabelů může být dle jeho využití.

a) Rozdělení koaxiálních kabelů dle konstrukce:

Jednotlivé druhy kabelů se od sebe vzájemně liší v průměru vnější trubky a vnitřního vodiče, jak je zobrazeno na Obr. 2. Poměr vnitřní a vnější trubky závisí na izolaci, která byla použita. Dalším faktorem, který rozhoduje a poměru je jeho charakteristická impedance. Optimální poměr, který zajišťuje vznik minimálního útlumu při vzduchovém dielektriku a použití měděného vodiče, je

$$\frac{D}{d} = 3,6 \quad . \quad (2-34)$$



Obr. 2 Souosé vedení – koaxiální .

- střední (standardní) koaxiální pár
- malý koaxiální pár
- mikrokoaxiální pár

Mezi nejrozšířenější typy v telekomunikacích patří malý a střední koaxiální pár. Maximální přenosová rychlost obou typů kabelů je 140 Mbit/s.

Střední koaxiální pár je tvořený vnějším vodičem z měděné pásky se zvlněnými okraji, stočený s podélným švem do tvaru o jmen. světlosti 9,4 mm. Průměr vnitřního měděného vodiče je 2,6 mm a využívá balónkové izolace. Tento pár umožňuje telekomunikační přenosy v pásmu 300 kHz – 60 MHz. Jedná se o historicky starší kabel, který měl několika násobné vodivé opletení. Vyráběl se nejčastěji v charakteristické žluté barvě. Byl ovšem relativně drahý a hlavně málo ohebný, což způsobovalo problémy při jeho instalaci. Proto se později přešlo na malý koaxiální pár.

Malý koaxiální pár vznikl jako doplněk frekvenční mezery, která vznikla mezi vysokofrekvenčními symetrickými čtyřkami a středními koaxiálními páry, které byly určeny pro přenosy na velké vzdálenosti s velkými počty kanálů. Malý koaxiální pár má kromě polovičního průměru i jednodušší provedení. Samotné opletení kabelu má pouze dvě či tři vodivé opletení, ale jeho výhodou je ohebnost a nižší náklady na výrobu. Malý koaxiální pár má v porovnání se středním párem menší průměr vnější trubky, a to pouze 4,4 mm. Průměr vnitřního vodiče je 1,2 mm. Jeho použití je do 18 Mhz a umožňuje přenos telefonního signálu, ale i televizního. Jeho nevýhodou je menší dosah.

Posledním typem je *mikrokoaxiální pár*, který má průměr vnější trubky 2,8 mm a vnitřní vodič 0,65 mm. Jeho využití je do 5 Mhz a maximální přenosová rychlost je 34 Mbit/s.

b) Dalším parametrem pro rozdělení je použití:

- vnitřní použití
- venkovní použití – koaxiální kabel by měl splňovat minimálně základní kritéria na rozsah teplot. Pokud chceme zaručit delší dobu bezporuchovosti je možné kabely opatřit UV krytím.
- Samonosné kabely – obsahují nosné lano, duši kabelu a plášť. Společně tvoří jeden celek. Druhou variantou je využití nosného lana, závěsu a objímky, ve které je kabel upevněn.

2.3.6 Výhody koaxiálních kabelů

Ve srovnání s kroucenou dvojlinkou nám poskytuje koaxiální kabel větší šířku pásma systému, ale i větší šířku pásma jednotlivých kanálů. Díky tomu koaxiální kabel podporuje smíšenou škálu služeb. Větší šířka pásma je výhodná pro přenos hlasu, dat, videa a multimédií.

Jednou z výhod koaxiálního kabelu je jeho dostatečný frekvenční rozsah pro více kanálů, což umožňuje mnohem větší propustnost. Další výhodou je kapacita kanálů, která závisí na tom, kde jste ve světě. V severní Americe je každý kanál 6MHz široký podle standardu National Television Systems Committee (NTSC). V Evropě jsou kanály široké 8 MHz a využívají normy Phase Alternate Line (PAL).

Vedení nám poskytuje vyšší odolnost vůči okolnímu rušení, díky tomu se snížila míra chyb a zlepšil se výkon oproti kroucené dvojlince. Míra chyb je obvykle 10^{-9} . Samotné stínění kabelu snižuje hluk a přeslechy, což znamená, že zesilovače mohou být umístěny dále od sebe, než u kroucené dvojlinky.

2.4 KROUCENÁ DVOJLINKA

Kroucená dvojlinka se prosadila do světa počítačových sítí díky ryze praktickému důvodu. Ve Spojených státech amerických se nové budovy vybavovaly značně předimenzovanými telefonními rozvody. Při následném rozvádění počítačových sítí a jejich datových rozvodů se začala využívat, již zabudovaná kroucená dvojlinka. Jediným problémem, který se musel vyřešit, byla nutná úprava přenosové sítě Ethernet. Standardy 10Base5 a 10Base2

říkají, jak provozovat Ethernet po koaxiálních kabelech, proto vznik standard 10BaseT, který umožňoval provozovat Ethernet po kroucené dvojlince.

Již samotný název nám napovídá, že kroucená dvojlinka neboli kroucený pár je tvořený ze dvou vodičů, které jsou pravidelně a symetricky po své délce kroucené. Díky pravidelnému zakroucení získá toto přenosové médium výrazné změny v jeho charakteristice. Symetričnost obou vodičů zmenšuje působení vnějších vlivů, které na kroucenou dvojlinku mohou působit. Signál, který je přenášený po tomto vedení, je vyjádřen rozdílem potenciálů obou vodičů, pokud by vnější elektromagnetické pole naindukovalo ve vodičích nějaké elektrické proudy, pak by jejich velikost byla v obou vodičích stejná a vzájemně by se vyrušily. Toto vyrušení však není nikdy dokonalé, proto využíváme dvou vylepšení, která umožňují docílit ještě lepších výsledků.

- **STP kabel** (Shielded Twisted Pair) je opatřen vodivým obalem, který nepřenáší žádný užitečný signál, ale slouží jako stínění vodičů od vnějšího okolí.
- **UTP kabel** (Unshielded Twisted Pair) je na rozdíl od STP nestíněný, proto je finančně a instalačně méně náročná než STP. STP linky jsou z těchto důvodů více rozšířené. Lze předpokládat, že s rostoucí délkou vedení poroste i útlum. V případě dlouhého vedení může velikost útlumu být natolik vysoká, že detektor nebude schopný správně dekodovat přijímané data.

Výsledkem působení vnějších vlivů jsou hodnoty, které určitým způsobem ovlivňují přenášený signál. Mezi tyto základní parametry patří útlum, impedance a přeslech. **Útlum vedení** se zvyšuje s rostoucí délkou vedení a zvyšující se frekvencí. **Impedance** je jednou z hlavních příčin útlumu, a to jak impedance přenosového média, tak nekvalitních konektorů. Posledním prvkem, který ovlivňuje kvalitu signálu, je **přeslech**. Přeslech může nastat na blízkém konci NEXT nebo na vzdáleném konci FEXT.

Kroucenou dvojlinku lze rozdělit do následující kategorií:

- Kategorie 1 – využití u telefonních a modemových linek. Šířka pásma 0,4 Mhz. Nevhodné pro moderní systémy
- Kategorie 2 – uplatnění u starších terminálů. Šířka pásma 4 MHz. Nevhodné pro moderní systémy
- Kategorie 3 – využití 10base-T a 100Base-T4 Ethernet. Šířka pásma 16 MHz. Nevhodné pro rychlosti nad 16 Mbit/s. Většinou telefonní rozvody
- Kategorie 4 – málo rozšířená kategorie. Šířka pásma 20 MHz
- Kategorie 5 – uplatnění 100Base-TX a 100Base-SE-T Ethernet. Málo využívaná kategorie, nahrazena kategorií 5e, která klade vyšší nároky na splnění standardu. Pro 1 Gbps požívá všechny čtyři páry. Šířka pásma 100 MHz
- Kategorie 6 – využití 10GBase-T Ethernet s omezením maximální délky kabelu. Šířka pásma 250 MHz. Rozšíření kategorie na 6a, která není omezena délkou kabelu (tj. maximálně 100 m). Šířka pásma 500 MHz

- Třída F – uplatnění CCTV a 1000Base-TX na stejném kabelu, samostatně 10GBase-T Ethernet. Čtyři páry, S/FTP). Šířka pásma 600 MHz

2.5 STRUKTUROVANÁ KABELÁŽ

S vývojem síťových prvků a s tím úzce souvisejícím nárůstem požadavků na komunikační síť se brzy projeví základní nedostatky prvních kabelážních systémů. Jedním z hlavních nedostatků byla jednoúčelovost kabelážních systémů. Použité vedení mohlo být využito pouze na jedinou technologii. Dalším nedostatkem byla omezená využitelnost při postupně narůstajících přenosových rychlostech, tj. Morální životnost kabelážního systému. Tyto nedostatky měly vyřešit univerzální přenosové média, které dokázaly přenášet telefonní signál, počítačové data, zabezpečovací systém, atd. Univerzální kabely však neřešily všechny nedostatky a neumožňovaly budoucí rozšíření.

Strukturovaná kabeláž využívá vícevodičových párových kabelů a je z pohledu zmíněných nedostatků nejefektivnější řešení. Z počátku byl převážně využíván koaxiální kabel, ale v současné době se pro strukturovanou kabeláž jako médium využívá výhradně metalický kroucený párový kabel nebo optický kabel. Jedním z cílů strukturované kabeláže byla možnost zvýšení přenosové rychlosti. Budování kabelážního systému vyžaduje promyšlené plánování, přehledné seskupení kabelů do kabelových svazků. Názorné označování těchto kabelů a kabelových svazků a dodržení norem.

Z předchozí kapitoly už víme, že kroucená dvojlinka neumožňuje tvořit odbočky a přenosová cesta bude mít dvoubodový charakter. Pro případ možného rozbočení je nutné zvolit elektronickou cestu pomocí určitých rozbočovačů. Tento fakt na druhou stranu poskytuje efektivnější provoz než při využití koaxiálních kabelů. Významný rozdíl může nastat v momentu poruchy, kdy u kroucené dvojlinky může být nefunkční pouze jeden koncový uzel, a to díky charakteru dvoubodového spoje.

Běžně se pro realizaci kabelového rozvodu používají čtyřpárové dvojlinky s nominální impedancí 100Ω , která je vyráběna v několika třídách kvality. Jednotlivé třídy se liší v maximální dosahované přenosové rychlosti. U strukturované kabeláže je důležitá nejen samotná kabeláž, ale i jaké parametry nabízí celá přenosová trasa. Různé komunikační sítě mohou využívat různé páry v kabelu, současné standardy však neumožňují využívat jeden kabel současně pro více než jednu aplikaci.

3 POROVNÁNÍ OPTICKÉHO A KOAXIÁLNÍHO VEDENÍ

Budoucnost v oblasti vysokorychlostních komunikací na větší vzdálenosti jednoznačně patří optickým přenosům. V případě koaxiálního kabelu nebo kroucené dvojlinky byla přenášená data reprezentována vhodným elektrickým signálem, jeho úrovní napětí či proudu, změnami frekvence či fáze harmonického signálu v případě modulovaných přenosů nebo kombinaci těchto základních druhů modulace. Nositelem signálu u optického vlákna jsou neutrální vazby tvořené fotony, které na sebe vzájemně nepůsobí. V optickém spoji nevznikají elektrické a magnetické pole, které mohou být příčinou rušivých signálů. Rovněž nedochází k zpětnému ovlivňování mezi vstupem a výstupem.

3.1 VLASTNOSTI OPTICKÉHO VLÁKNA

Základem optického přenosu je optické vlákno, které se vyrábí z SiO_2 a legovací příměsí (GeO_2 , B_2O_3 apod.), jejichž koncentrací a rozložením v průřezu jádra se dosahuje požadovaný průběh indexu lomu n_j a n_p vlákna. Dalším materiálem pro výrobu optických vláken jsou plastické hmoty (polymetylmetakrylové jádro). Skleněné vlákno na rozdíl od plastového vlákna, které má určité omezení, může být použito ve všech směrech a částech optických sítí. Širší možnosti využití mají skleněná vlákna díky čistotě zpracování. Vlákna jsou v porovnání s plastovými stabilnější, odolnější proti přeslechům, šumu a elektromagnetickému rušení. Signály jsou přenášeny s minimální ztrátou, a proto jsou optické vlákna ideální pro přenos na delší vzdálenosti. Nevýhodou optického skleněného vlákna je jeho křehkost a snížená odolnost proti ohybům a dalším mechanickým vlivům, proto je vhodné na kratší vzdálenosti nahradit skleněná vlákna plastovými, které ale vykazují poměrně velký měrný útlum (větší než 200 dB/km).

Optické vlákno je prostředím, kterým se šíří elektromagnetické vlnění. Pro přenos se využívá nejčastěji viditelné světlo 400 – 800 nm, infračervené světlo 760 nm – 1 mm nebo světlo ultrafialové 100 nm – 40 nm. Princip šíření elektromagnetického vlnění je založen na totálním odrazu paprsku na rozhraní dvou materiálů s rozdílným indexem lomu. Index lomu vyjadřuje změnu rychlosti šíření světla při průchodu mezi různými indexy prostředí, je to v podstatě podíl rychlosti světla ve vakuu a v jiném prostředí. Jedná se o bezrozměrnou veličinu, která je větší jak 1. Samotný princip fungování optického vlákna je založen na jevu, která se nazývá totální reflexe. Tento jev nastává při průchodu světla z opticky hustšího do opticky řidšího prostředí za podmínky, že procházející světlo dosáhne rozhraní mezi těmito prostředími pod úhlem menším než kritickým. Velikost kritického úhlu je pak závislá na poměru indexu lomů, kdy index lomu skla je vyšší než vzduchu. Hodnota indexu lomu jádra optického vlákna je poněkud vyšší než u jeho pláště, a to způsobuje záření, které je šířeno podél osy vlákna. Na základě vývoje indexu lomu jádra, pláště a průměru samotného jádra optického vlákna se liší způsoby šíření optického signálu vláknem. [6]

3.1.1 Parametry optických vláken

Využitelná šířka pásma, které mohou dosáhnout optické vlákna v pásmu vlnových délek 0,5 až 1,5 μm , je teoreticky až několik GHz. Pro optická vlákna je dále charakteristická tzv. **numerická apertura**, která definuje maximální úhel vstupujícího vlnění vůči ose vlákna, pod jehož hodnotou ještě neuniká energie pláště. U gradientních vláken se setkáme s pojmem lokální numerická aparatura.

$$NA = \sqrt{n_j^2 - n_p^2} , \quad (3-35)$$

kde

n_j je index lomu jádra a

n_p je index lomu pláště optického vlákna.

Numerická aparatura určuje maximální úhel dopadů optického svazku na čelo vlákna měrný k ose vlákna, při kterém se svazek vlákna šíří. Svazek se odráží od rozhraní jádra s pláštěm do vlákna.

Měrný útlum je závislý nejen na použitém materiálu, jak již bylo zmíněno, ale i na použité vlnové délce. Vlivem různých typů disperze v některých oblastech vlnových délek klesá měrný útlum. Tyto oblasti se nazývají **disperzní okna**, která jsou vhodné pro přenos, nacházejí se kolem 850 nm, 1250 nm a 1550 nm.

Disperse v optických vláknech může být:

- a) **Materiálová disperse** je důsledkem závislosti indexu lomu na vlnové délce. Uplatňuje se zejména u širokospektrých zdrojů záření. Vlivem této disperze dochází k časovému rozptylu jednotlivých kmitočtových složek a tím i k rozšiřování impulsů digitálních optických signálů.
- b) **Vidová disperse** nastává u mnohovidových vláken, protože jednotlivé vidy mají různý charakteristický směr šíření paprsku vzhledem k ose vlákna a tedy i různé dráhy šíření se stejnými důsledky na výstupní signál jako v případě materiálové disperze. Použitím jednomódových nebo gradientních optických vláken lze tato disperze eliminovat.
- c) **Vlnodná disperse** se uplatňuje u mnohovidových, ale i u jednovidových vláken. Disperze se také projevuje u vláken jednovidově buzených, protože rychlost šíření každého vidu závisí na kmitočtu. [3]

3.2 VÝHODY A NEVÝHODY KOAXIÁLNÍHO VEDENÍ

Výhody optických vláken ve srovnání s klasickým metalickým koaxiálním kabelem jsou výrazné. Proto se optická média stále více využívají a hovoří se o nich jako o médiu budoucnosti. Tato kapitola je tedy věnována porovnání optického vedení s klasickým metalickým vedením.

Koaxiální kabel vykazuje podstatně vyšší měrný útlum, s kterým blízce souvisí možnost distribuce. Díky přenosu bez nutnosti využití aktivních prvků dochází k výrazně nižšímu útlumu a vysoké integritě, což umožňuje distribuovat optické vedení na daleko větší vzdálenosti než u klasického metalického vedení.

Signál se regeneruje pomocí opakovačů až po desítkách kilometrů (konveční měděné kabely dosahují na vzdálenosti 1 km maximálně 100 Mbit/s pře regenerací).

Další výhodou optického vedení je výrazně vyšší využitelná šířka kmitočtového pásma, které umožňuje multiplexní vícekanálový přenos digitálních obrazových signálů. Optická přenosová frekvence se pohybuje v rozsahu od 10^{13} až 10^{16} Hz, šířka pásma pak dosahuje řádově THz, což mnohonásobně převyšuje možnost metalických kabelů. Díky této vlastnosti nám dovoluje optické vedení přenést po jednom vláknu podstatně vyšší množství informace než po celém svazku měděných párů.

Optické vedení disponuje velmi dobrou izolací přenosového média vůči okolí. Dalším kladem je nízký téměř až nepatrný vliv vnějších polí na kvalitu přenosu. Kabely v nemetalickém provedení pláště umožňují využívat přenos informace v prostředích s vysokým stupněm elektrické nebo vysokofrekvenčního zamoření. Optické kabely lze instalovat například v těsném sousedství silových kabelů pro rozvod elektrické energie, kabeláž je necitlivá vůči elektrickému a magnetickému rušení. Energie se optickým vláknem šíří pouze jádrem a nevychází za normálních okolností vůbec mimo plášť. Tím se výrazně zamezí vzniku přeslechů mezi jednotlivými vlákny v kabelu.

Rozměry vedení jsou jednou z dalších výhod optického vedení. Menší průměr a hmotnost kabelů dovoluje výrobě navinout kabel v podstatně vyšších délkách, menší průměr a nižší hmotnost se projeví mimo jiné i na výrazně nižších nárocích na kabelovou trasu a instalační technologie. Díky menším rozměrům tedy dochází k úspoře materiálu a mědi.

Relativně malé náklady na výrobu. Sklo se získává z písečnatých křemenných materiálů, které nejsou tak drahé na rozdíl od mědi, která se využívá na výrobu žil metalických kabelů.

Jak již bylo zmíněno, světlo procházející kabelem není vyzařováno z pláště ven, což v konečném důsledku znamená, že není jednoduše možné odposlouchávat přenos signálu v optickém vlákne tak, jako u metalických symetrických vedení. Avšak i optického vedením dá část optické energie vyvázat ven vhodně tvořeným ohybem. Potom je ovšem výkon dopadající na optický detektor na konci trasy snížen právě o tento zlomek vyvazaného světla. Optické kabely jsou tedy výrazně bezpečnější než koaxiální kabely nebo jiné metalické vedení.

V neposlední řadě nesmíme zapomenout na cenu optického vedení. Pokud srovnáme cenu kabelu typu CAT5 a dvouvláknového optického kabelu, vychází optický kabel dvakrát až třikrát draž. Pokud ale budeme hovořit o stíněných kabelech typu CAT6 a CAT7, bude již cena srovnatelná. Obdobně cena nových typů optických konektorů je srovnatelná s cenou kvalitní stíněné metalické zásuvky CAT6. Celkové náklady na vybudování optického kabelového systému jsou v dnešní době podobné jako náklady na výstavbu metalické sítě v kvalitě CAT6.

Výhodou optického přenosu je také jeho spolehlivost, dlouhá životnost a nízká chybovost.

Koaxiální kabel je velmi náchylný na poškození, stejně tak i optické vlákna jsou křehká a málo ohebná. Další nevýhodou optického vedení je především vysoká cena nářadí pro práci s optikou (svářečka, lámačka aj.), následně s tím i cena vlastního sváru a v případě poškození obtížná opravitelnost. Tyhle nevýhody se však postupem času budou vytrácet s tím, jak se bude užití kabelů rozšiřovat.

4 VYUŽITÍ KOAXIÁLNÍCH KABELŮ

Trend moderních přenosových vedení sice určuje optické vedení, ale koaxiální kabely mají stále své uplatnění. Kabely se zejména používají v:

- napáječe vysílacích nebo přijímacích antén
- svody od televizních antén
- televizní rozvody
- kabelová televize
- svody od parabolických antén pro družicové přijímače
- počítačové sítě
- telefonie

4.1 POČÍTAČOVÉ SÍTĚ

Základní a nejlevnější spojení je pomocí tenkého koaxiálního kabelu, který se také nazývá **tenký ethernet**, **Thinnet** nebo také **10Base2**. Kabel zaručuje snadnou a bezpečnou práci a sestavení sítě je pomocí jednoduchých nástrojů velmi snadnou záležitostí. Tenký ethernet umožňuje připojení přímo k síťové kartě pracovní stanice, která tím pádem musí obsahovat vestavěný transceiver.

Kabel je klasicky složený z vodivého jádra, které je izolováno plastem od měděné síťky nebo hliníkového pláště, které fungují jako stínění před okolními magnetickými vlivy. Stínění je ještě chráněno proti vnějším, povětrnostním vlivům umělohmotným obalem. Pro prostředí, kde hrozí interference s okolním magnetickým zařízením, se vyrábí koaxiální kabely s dvou a vícenásobným stíněním, případně i vícenásobným obalem. S rostoucí ochranou roste i jeho pořizovací cena.

Tenký ethernet je výrobcí označován například jako RG-58m. Jeho impedance je 50 Ω . K síťové kartě se připojuje pomocí BNC konektoru a BNC.T konektoru. Tenký ethernet dokáže přenést signál přibližně do vzdálenosti 185 m, ale mohou se projevit některé nežádoucí vlivy, které snižují tuto vzdálenost.

Druhou variantou **je tlustý ethernet**, kterému se dnes říká **10Base5** nebo **Thicknet**. Jedná se o starší variantu. Měděné jádro má větší průměr než u tenkého kabelu. Celkový elektrický odpor klesá s jeho průměrem, proto je možné využívat tento kabel až do vzdálenosti 500 m. V některých případech se používá pro spojení několika menších sítí, které využívají tenký ethernet.

Nevýhodou tlustého kabelu je jeho vyšší cena a horší práce při instalaci sítě než s tenkým kabelem. Kabely pro tlustý ethernet se pokládají do stěn nebo na podhledy a svádí se poblíž místa plánované stanice. Transciever se připevňuje přímo na kabel. K středovému vodiči se dostane dírou, která je provrtaná skrz vnější plášť, stínění a izolaci. Jeden z příkladů tlustého ethernetu je RG-8 s impedancí 50 Ω .

RG tedy většinou udává tloušťku koaxiálního kabelu nebo se využívá identifikačního čísla od výrobce.

Značení některých standardně používaných kabelů:

- **RG-6/U** – impedance 75 Ω , rychlost šíření 85%, vnější průměr 6,86 mm
- **RG-8/U** – impedance 50 Ω , rychlost šíření 75%, vnější průměr 10,24 mm
- **RG -11/U** – impedance 75 Ω , rychlost šíření 78 %, vnější průměr 10,29 mm
- **RG-58A/U** – impedance 50 Ω , rychlost šíření 66 %, vnější průměr 4,9 mm
- **10Base2** – impedance 50 Ω , rychlost šíření 80 %, vnější průměr 4,7 mm
- **10Base** – impedance 50 Ω , rychlost šíření 78 %, vnější průměr 10,29 mm

4.2 PŘENOS VIDEOSIGNÁLU

Pro přenos videesignálu z kamer se využívá koaxiální kabel s impedancí 75 Ω . Délka vedení je však omezena úbytkem signálu podél vedení, jenž je dán parametry použitého kabelu. Bez použití dodatečných technických prostředků, je přenos videesignálu od kamery k monitoru možný na vzdálenost řádově stovky metrů dle typu kabelu. Pro delší trasy je nutné využít korekční zesilovače signálu. Díky těmto zesilovačům lze docílit délky trasy až několika kilometrů.

Napájení kamer může být řešeno přímo u jednotlivých kamer nebo z centrálního zdroje, kdy je stejnosměrné napájení vedeno souběžně s rozvody videesignálu. V tomto případě se využívá *systemový kabel*, který se skládá z koaxiálního kabelu RG-59 a dvojice měděných vodičů pro napájení kamery. Existují dvě varianty - RG-59FeCu a RG-59Cu.

Využívá se tedy dvou typů kabelů, kde rozdíl je v průměru napájecích vodičů. Vodiče mohou mít průřez 0,5 nebo 1 mm².

Parametry, které rozhodují o vhodném průřezu, jsou:

- délka kabelu
- odběr kamery – úbytek napětí na konci vedení nesmí přesáhnout 10 %

4.3 WLAN SYSTÉMY

Rozsah bezdrátové sítě závisí na mnoha faktorech. Uživatel má vliv na některé z nich, ty další ve specifickém prostředí nelze měnit. Mezi základní faktory řadíme:

- **Faktory spojené s vlastnostmi použitých zařízení:**
 - výstupní výkon
 - útlum kabelů
 - zisk antén
 - citlivost
- **Vnější podmínky:**
 - útlum mezi anténami
 - interference pocházející z jiných systémů/záření (nelze odhadnout, lze pouze vyhradit určitou výkonovou rezervu pro jejich zdolání)
 - existující fyzické překážky (stěny, stropy atd.)

Pokles výkonu v kabelu lze snížit pomocí koaxiálních kabelů pracujících až při 6 GHz. Jejich útlum při 2,4 GHz je podstatně nižší než útlum klasických kabelů používaných v tomto pásmu. V roce 2006 byla na trh uvedena řada Tri-LAN kabelů, jejichž parametry jsou:

- **Tri-Lan 240** – impedance 50 Ω , rychlost šíření 81 %, průměr vodiče 6,1 mm, vnitřní vodič 1,4 mm
- **Tri-Lan 400** – impedance 50 Ω , rychlost šíření 83 %, průměr vodiče 10,3 mm, vnitřní vodič 2,7 mm

V současné době se také využívají kabely **Belden H-155** a **H-1000**, které mají slanovaný střední vodič. Tyto vodiče ovšem neumožňují přenesení WLAN sítě do 5 GHz pásma. Řady Tri-Lan tuto možnost poskytují, protože mají plný měděný vodič.

4.4 DALŠÍ TYPY KABELŮ

Jedním ze základních parametrů pro rozdělení je impedance koaxiálního kabelu. Zde rozlišujeme dva typy, a to 50 Ω a 75 Ω . Kabely s impedancí 75 Ω se převážně využívají v televizní technice, ale také v telekomunikacích jako dálkový telefonní kabel pro nosnou telefonii.

Kabely s impedancí 75 Ω se dále rozlišují dle svých vlastností na:

- **pro vnitřní použití**, které jsou vhodné jako účastnický přívod kabelových rozvodů. Příkladem mohou být kabely:
 - CB130 – pěnové dielektrikem, vnějším průměrem 6,8 mm

- CB500 – pěnové dielektrikum, dvojitě stínění, vnější průměr 5 mm, také je vhodný k vedení sekundárních rozvodů KTV
- 3C2V – PE dielektrikum, vnější průměr 5 mm, vhodný pro nenáročné aplikace
- CB135 – pěnové dielektrikum, trojitě stínění, také vhodný pro svod antén
- **k terciálním kabelovým rozvodům:**
 - CB113 – pěnové dielektrikum a trojitě stínění, vnější průměr 6,8 mm, vhodný pro vnitřní instalaci
 - CB113UV – odolný vůči UV záření a povětrnostním podmínkám, dvojitě stínění, vnější průměr 6,8 mm, vhodný pro venkovní instalaci
 - CB113N – pěnové dielektriku, trojitě stínění, vnější průměr 7,1 mm, také vhodný pro zemní rozvody
- **pro rozvody digitálního a satelitního terestriálního příjmu:**
 - CB114 – pěnové dielektrikum, vnější průměr 6,8 mm, vnitřní rozvody

Kabely s impedancí 50 Ω se nejčastěji využívají na vysílačích, nebo přijímačích jako napáječ antén a v pomalejších sítích Ethernet.

- RG58U – dielektrikum je vzduch, vnější průměr 5 mm, používá se pro přívod k anténám a rozvodům na kratší vzdálenost nebo k počítačovým sítím.
- RG174U – PE dielektrikum, vnějším průměr 2,8 mm, vhodný na krátká a ohybem namáhaná připojení v měřicí a telekomunikační technice.

5 MOŽNOSTI MĚŘENÍ KOAXIÁLNÍCH KABELŮ

Pro správný chod je nezbytně nutné kontrolovat parametry koaxiálního vedení. Zhoršené parametry kabelů mohou vést ke snížení výkonu, což může mít na příklad za následek zhoršení podmínek pro uskutečnění hovoru. Ve většině případů není jednoduché vyměnit celé kabelové vedení, proto je velmi důležitou součástí detekce závady, měření a následně oprava detekovaného místa, které je poškozeno. V současnosti se pro analýzu a diagnostiku závad, charakteru a řešení oprav využívají technici přenosné kabelové analyzátoři.

Parametry, které můžeme měřit pomocí vhodných analyzátorů:

- útlum kabelů – pro měření lze použít například FiedFox – N9912A
- délka kabelu – pro měření lze použít například Finest 900 TDR
- vzdálenost poruchy – pro měření lze použít například Site Master S331E
- charakteristickou impedanci – pro měření lze využít například miniVNA
- zkracovací činitel vedení – pro měření lze využít analyzátor MFJ-259B
- poměr stojatých vln - pro měření lze využít Agilent N9330A

5.1 ÚTLUM KABELU

Jedním z primárních parametrů, který podléhá kontrole a měření je útlum vedení. Signál, který prochází vedením, ztrácí část své energie. Aby se zabránilo nestandardnímu chování systému způsobenému útlumem, je nutné při samotné instalaci proměřit tento parametr. Pro měření se využívá funkce analyzátoru, kde se po zapojení kabelu na krátko odráží signál zpět a díky tomu lze vypočítat ztracenou energii v kabelu, tedy útlum.

Druhou možností je, která je doporučována výrobcem, je změřit průměrnou hodnotu útlumu kabelu pro široké pásmo frekvencí. Hodnotu průměru získáme tak, že vydělíme rozdíl maxima a minima dvěma, pokud využijeme funkce Cable Loss – útlum kabelu. V případě, že proměříme kabel pomocí Return Loss – útlum odrazu, musíme výsledek měření vydělit čtyřmi. Uvažujeme s šířením signálu oboustranně. Většina moderních analyzátorů poskytuje funkci pro měření útlumu kabelů zobrazením útlumu v širokém frekvenčním pásmu. Dále už pak není potřeba nic dopočítávat.

5.2 ÚTLUM ZPĚTNÉHO ODRAZU A POMĚR STOJATÝCH VLN

Měření útlumu zpětného odrazu RL a poměru stojatých vln VSWR jsou klíčové metody pro získání potřebných informací v terénu. Udávají přizpůsobení systému a to, jestli odpovídá technickým specifikacím. Problémy zjištěné během testování znamenají, že systém nefunguje zcela správně, což bude mít vliv na koncového uživatele.

Útlum zpětného odrazu a VSWR udávají přizpůsobení systému, ale každá metoda jiným způsobem. Útlum zpětného odrazu udává poměr odraženého výkonu k referenčnímu v decibelech. Toto zobrazení je obvykle preferovanější kvůli výhodám, které poskytuje logaritmické měřítko. Jednou z výhod je možnost snadného porovnání hodnot ve velkém rozsahu. Hodnoty při měření útlumu zpětného odrazu se obvykle nacházejí v rozsahu od 0 dB do 60 dB, kde hodnota 0 dB odpovídá zkratu nebo otevřenému konci a 60 dB by bylo téměř dokonalé přizpůsobení.

Oproti RL zobrazuje VSWR přizpůsobení systému v lineárním měřítku. VSWR měří poměr napět'ových maxim a minim. Pokud je systém špatně přizpůsoben, maxima a minima odraženého signálu budou ovlivňovat signál, který je přenášený. Čím větší tento poměr bude, tím horší bude přizpůsobení. Dokonalé přizpůsobení má hodnotu VSWR 1:1.

5.3 VZDÁLENOST PORUCHY

Jak již bylo zmíněno v úvodu této kapitoly, důležitým prvkem pro snadnou opravu chyby je její samotná detekce. Měření DFT vychází ze znalostí stejných parametrů jako RL nebo měření útlumu kabelů. Při měření metodou DFT je kabel skenován ve frekvenční doméně a následně pomocí inverzní Fourierovy transformace se mohou data převést z frekvenční oblasti do časové.

Pro přesné určení polohy potřebuje znát přesnou hodnotu přenosové rychlosti. Chyba 5% v hodnotě přenosové rychlosti nám může způsobit odchylku 1 metru při měření kabelu dlouhého 24 m. Dokonce, i když je hodnota přenosové rychlosti brána podle výrobce, může zde stále být nesrovnalost mezi zobrazovanou a skutečnou vzdáleností nehomogenity. Toto způsobují komponenty umístěné do systému – propojky, adaptéry, apod.

Většina přenosných analyzátorů, které jsou dnes dostupné, obsahuje hodnoty přesných přenosových rychlostí a útlumů pro různé frekvence běžně používaných kabelů. Technik tedy do přístroje zadá pouze typ měřeného kabelu a tím zjistí správné hodnoty přenosové rychlosti a útlumu.

5.4 MĚŘENÍ CHARAKTERISTICKÉ IMPEDANCE KABELU

Pomocí analyzátorů můžeme dále proměřit impedanci kabelu. Pro měření impedance připojíme jeden kabel do konektoru analyzátoru a na druhý konec připojíme potenciometr 500Ω . Na analyzátoru zvolíme položku Antenna a spustíme měření SWR a impedanci $|Z|$. Otáčením potenciometru se snažíme dosáhnout co nejmenší zvlnění SWR. Následně odečteme hodnotu impedance kabelu.

5.5 ANALYZÁTORY

Jednotlivých analyzátorů je celá řada. Liší se ve frekvenčním rozsahu nebo poskytovaných funkcích. V následující kapitola je věnována některým analyzátorům, které se často využívají. Firmy jako Site Master však poskytují několik variant analyzátorů.

Site Master S362E

- frekvenční rozsah 2 MHz až 6GHz
- měření útlumu odrazu,
- měření poměru stojatých vln
- měření vloženého útlumu
- měření vzdálenosti k chybě
- nabízí jednoportové a dvouportové měření
- GPS označení polohy
- vnitřní měřič výkonu
- spektrální analyzátor

FieldFox – N9912A

- frekvenční rozsah 2MHz až 4 GHz, resp. 6GHz
- vektorové měření odrazu včetně přepočtu na VSWR a vzdálenosti k chybě
- jednoportové měření útlumu
- dvouportové měření útlumu
- spektrální analyzátor
- vektorový voltmetr
- měření výkonu

MFJ-259B

- měření impedance
- rychlostní koeficient
- útlum odrazu
- délka vedení
- vzdálenost ke zkratu
- měření SWR

6 MĚŘENÍ KOAXIÁLNÍ KABELŮ V PRAXI

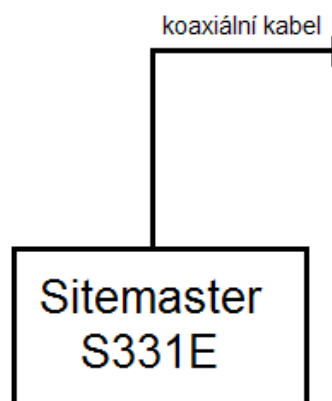
V předcházející kapitole byly uvedeny základní možnosti měření na koaxiálních kabelech. Následující kapitola je věnována měření vlastností koaxiálních kabelů, kontrola kabelů a následné hledání poruchy na kabelu. Měření probíhalo v laboratoři se společností HKE, která nám poskytla možnost změřit poměr stojatých vln koaxiálního kabelu DFT – VSWR a útlum zpětného odrazu DFT - RL. Druhé měření probíhalo na venkovním optickém převodníku společnosti UPC, kde jsou stále uloženy staré koaxiální kabely, které jsou nyní nahrazeny optickým vedením. Koaxiální kabely, které vedou z optického převodníku do jednotlivých bytových jednotek, jsme proměřit nemohli, protože by bylo nutné zákazníkům odpojit signál, což nám nebylo dovoleno. Během měření jsme tedy zkontrolovali úroveň signálu v optickém převodníku a délku starého koaxiálního vedení.

6.2 MĚŘENÍ SE SITEMASTEREM S331E

Cílem tohoto měření bylo najít poruchu na kabelu pomocí DFT –VSWR a DFT – RL. Výsledky měření jsme uložili do přístroje a následně exportovali po počítače. V první řadě je však nutné popsat samotný měřicí přístroj, který nám společnost HKE poskytla k měření. Jedná se Sitemaster S331E od firmy Anristu. Mezi jeho základní měřicí funkce patří:

- VSWR a RL - Return Loss
- CL - Cable Loss
- DTF - Distance – To – Fault
- Dvouportové měření
- GPS

Schéma zapojení měřicího přístroje:



Obr. 3 Schéma zapojení pro měření se Sitemaster



Obr. 4 Pracoviště HKE

Vzdálenost k poruše DFT nám umožňuje zjistit poruchu na kabelu a lokalizovat ji. Měření DFT je vyloženě nástroj pro hledání problémů a nejlépe se hodí v případě porovnávání dat a monitorování změn po delší časový interval. Použití hodnot absolutní amplitudy odvozených z dat naměřených pomocí DFT místo hodnot amplitudy z RL měření jako identifikátor chyby nelze doporučit, neboť DFT měření je závislé na mnoho parametrech (změny rychlosti šíření, rozptyl signálu, změny teploty atd.).

Měření DFT vycházejí ze znalostí parametrů systémů RL nebo měření útlumu kabelů. Při měření DFT je kabel proměřen ve frekvenční doméně a pak pomocí Inverzní Fourierovy transformace jsou data převedena z frekvenční oblasti do časové.

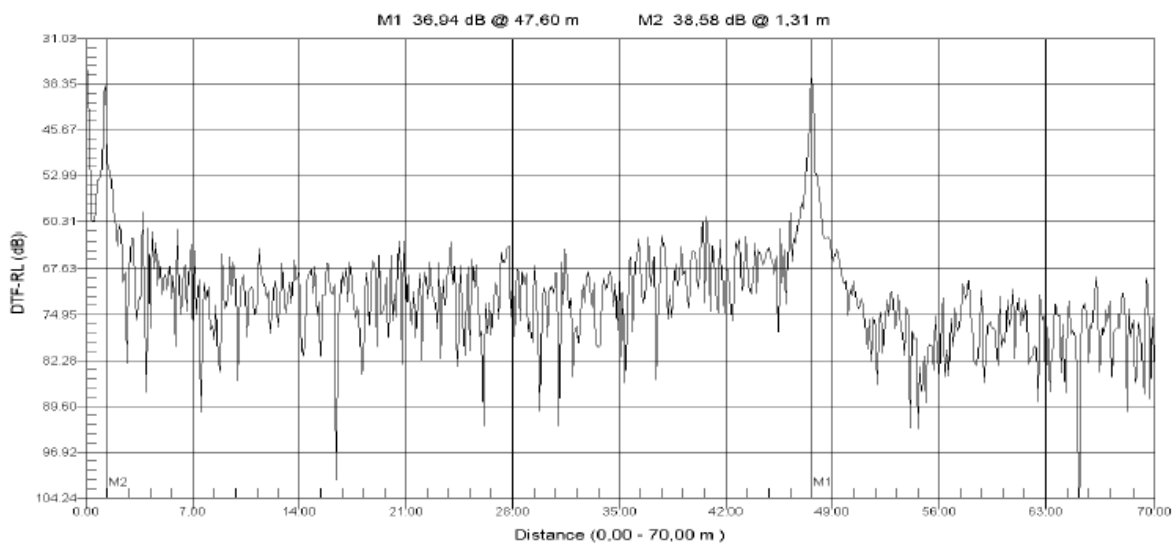
Přesnost určení polohy nehomogenity či poruchy kabelu určuje přesnost hodnoty přenosové rychlosti. Přenosová rychlost je ovlivněna dielektrickým materiálem kabelu a tím i výsledná rychlost, kterou se přenáší signál. Chyba 5% v hodnotě přenosové rychlosti ovlivní přesnost vzdálenosti v případě 24 m dlouhého kabelu až o jeden metr. Dokonce, i když je hodnota přenosové rychlosti brána podle výrobce, může zde stále vznikat nesrovnalost mezi zobrazenou a skutečnou vzdáleností poruchy. Tato chyba je způsobena komponenty, které jsou v systému umístěny. Mezi základní komponenty, které jsou často využívány, patří například hlavní spoje, hlavní propojky, adaptéry a zakončovací prvky. Tabulky přenosových rychlostí jednotlivých typů kabelů pro různé frekvence nalezneme přímo v měřicích přístrojích. Moderní přístroje tedy velmi usnadňují práci technikům v terénu. Následující tabulka zobrazuje útlumy jednotlivých běžně používaných kabelů.

Tabulka 1: Útlum kabelů pro jednotlivé frekvence

Výrobce	Typ kabelu	Koef. zkrácení	Útlum /100m	Útlum /100m	Útlum /100m
			100 Mhz	470 Mhz	860 Mhz
Vacha (Bamboo)	iks (7,3)	0,68	5,4	12,1	
	nkx (8,8)	0,88	2,8	6,2	
	qkx (13,5)	0,88	1,9	4,1	
	skx (19,4)	0,89	1,3	2,9	
Pope	C 3	0,84	1,84	4,22	5,92
	C 4	0,82	2,8	6,47	9,1
	C 6	0,81	3,8	8,55	11,9
	C 12	0,66	7,8	18	25,2
	H 47	0,83	5,3	11,8	16,3
	H 105	0,66	9,5	21,5	30,1
	H 106	0,66	11,6	27,5	39,2
	H 121	0,84	8	18	24,7
	H 125	0,81	5,5	13,4	18,8
	RG 6	0,82	6,4	13,2	19,2
	RG 7	0,83	5,1	11,4	15,7
	PRG 11	0,81	3,9	8,9	12,5
	RG 11	0,82	3,9	8,9	12,5
CommScope	QR 860	0,88	1,48	3,12	4,36
	QR 715	0,88	1,67	3,67	5,31
	TX 700	0,89	1,67	3,67	5,31
	QR 540	0,88	2,17	4,59	6,56
	TX 565	0,89	2,15	4,59	6,58

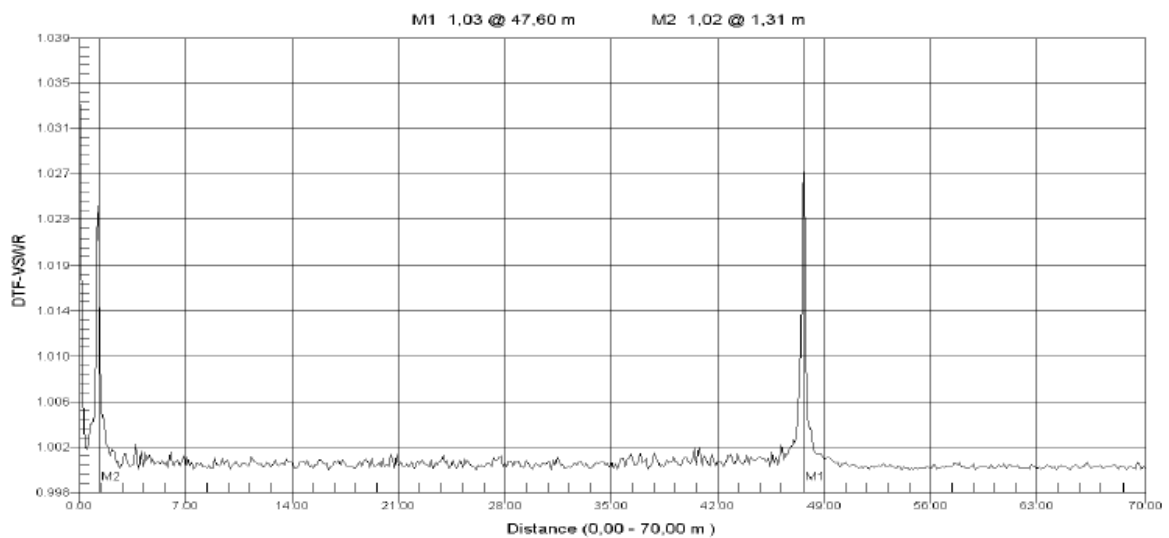
Exportované výsledky z přístroje Sitemaster S331E:

- Měření DTF – VSWR – nalezená porucha na 47,6 m



Obr. 5 Export výsledku: DTF - VSWR

- Měření DTF – RL – nalezená porucha na 47,6 m



Obr. 6 Export výsledku: DTF – RL

6.3 MĚŘENÍ VENKOVNÍHO OPTICKÉHO PŘEVODNÍKU

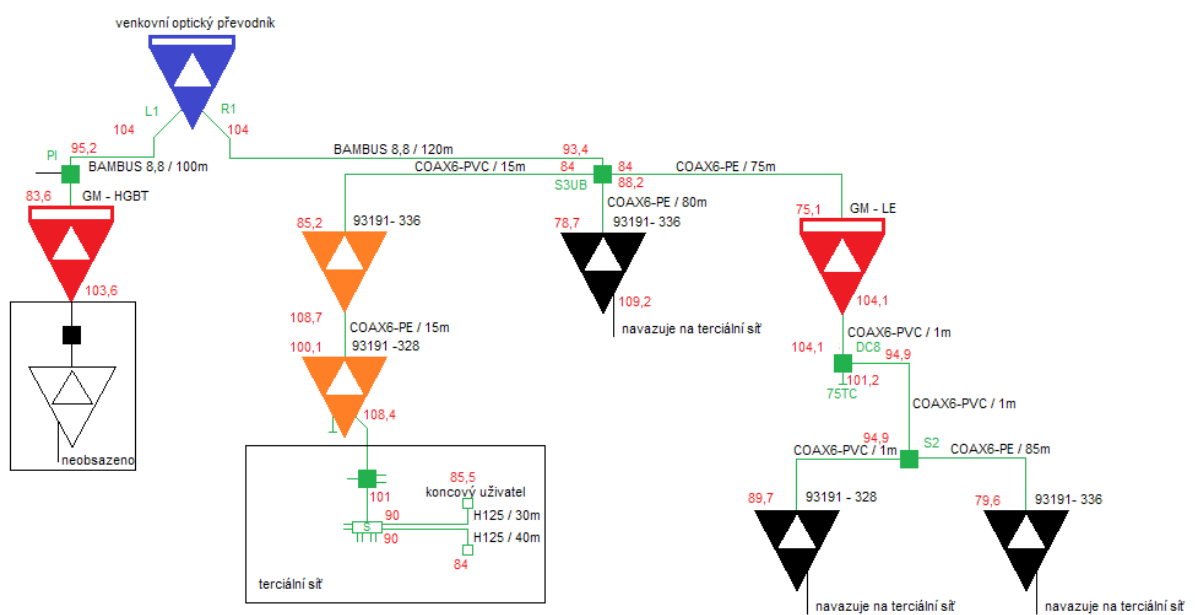
Druhá část měření probíhala ve spolupráci s UPC, která nám umožnila proměřit jeden z jejich venkovních optických převodníků. V současné době je tedy primární síť nahrazena optikou, ale sekundární síť a terciární síť je stále vedena pomocí koaxiálních kabelů. Primární síť se začala postupně převádět na optické vedení od roku 1994. Koaxiální vedení primární sítě však v zemi stále zůstalo.



Pokud chceme provádět měření na koaxiálních kabelech, je nutné kabel odpojit od signálu, což nám UPC dle předpokladu neumožnilo. Proto se naše měření týká pouze primární sítě, která již není využívána a kontroly úrovně signálu ve venkovním optickém převodníku.

Teoretický předpoklad nám říká, že koaxiální kabel vykazuje útlum vlivem stáří kabelu. Praxe nám však ukazuje, že tento útlum je tak nízký, že v praxi je zanedbatelný. Velké společnosti tuto hodnotu nekontrolují. Kontroluje se pouze stav celého vedení. Vliv stáří kabelu se pohybuje v řádu desetin dB, což vzhledem k dalším parametrům, které vytvářejí útlum vedení, zanedbatelná hodnota. Výraznou hodnotou, která ovlivňuje útlum na vedení je teplota. V případě, že je venku 25°C, tak ve skříni venkovního optického převodníku je teplota až 40°C. Naopak v zimě se teplota pohybuje v záporných hodnotách. Koaxiální kabel tedy musí pracovat při velkém teplotním rozdílu. Tento teplotní rozdíl může vykazovat útlum až 10dB, což už je hodnota, s kterou se musí počítat při návrhu sítě.

Stát určuje rozmezí, ve kterém se musí pohybovat hodnota příchozího signálu u koncového uživatele. Stanovené rozmezí je 60 – 80 dB μ V. Firma UPC garantuje signál v rozmezí 65 – 80 dB μ V. V praxi je signál v průměru přes 75 dB μ V, což ukazuje i obecný návrh sekundárního a terciárního vedení na následujícím Obr. 7 Návrh sekundární a terciální sítě. Zde také vidíme průběžné hodnoty signálu v jednotlivých místech sítě. Použité typy kabelů a jejich hodnoty odpovídají reálnému návrhu sítě.



Obr. 7 Návrh sekundární a terciální sítě

Pro samotné měření nám firma UPC poskytla dva měřicí přístroje. Jednalo se o Stealth Digital Analyzer WWG SDA 500 a Riser Bond Model 1205CXA. Pomocí WWG SDA 500 jsme proměřili úroveň signálu v optickém převodníku pro frekvence:

- 147,25 MHz – úroveň 100,3 dB μ V
- 551,25 Mhz – úroveň 101,1 dB μ V
- 860 Mhz – úroveň 103,1 dB μ V



Obr. 8 Ukázka měření úrovně pro frekvenci 147,25 MHz a 551,25 MHz

Jak již bylo zmíněno v úvodu, druhé měření probíhalo na starém primárním koaxiálním vedení. Pomocí přístroje Riser Bond Model 1205CXA jsme zjistili délku vedení, která byla 459,54 m, což odpovídalo předpokladu návrhu firmy UPC. Díky měření jsme tedy zjistili, že na celé délce koaxiálního kabelu nedošlo k jeho narušení. Měření je zobrazeno na Obr. 9



Obr. 9 Měření délky koaxiálního kabelu

Na Obr. 9 Měření délky koaxiálního kabelu je vidět výrazná amplituda na hodnotě 459,54 m, což nám zobrazuje konec vedení. Jelikož je amplituda kladná jedná se o otevřený konec kabelu, kdyby byla uplita záporná, jednalo by se o zkrat vedení.

Nejčastějším problémem u koaxiálních kabelů v síti UPC je mechanické poničení. V případě, že dojde k narušení izolace, hrozí zde oxidace kabelu vlivem vlhkosti půdy. Aby nedocházelo k rozšiřování vlhkosti a následné oxidace po celé délce kabelu, obsahují tyto kabely určené pro zemní využití speciální izolaci, která při porušení první izolační vrstvy tuto vlhkost vstřebává do sebe. Zde se uplatňuje velká výhoda v porovnání s optikou, a to jednoduchost opravy. Poničené místo se vykope a pomocí jednoduchých spojek se toto místo opraví.

7 ZÁVĚR

Úkolem této práce bylo posoudit současný význam a uplatnění koaxiální kabelů v komunikačních sítích. V první části této práce jsme se věnovali teoretickému rozboru daného cíle, který byl nezbytně nutný pro pochopení dané problematiky. Uvedená teorie nám poskytuje přehled nejen o koaxiálních kabelech, ale i ostatních přenosových mediích.

Hlavním bodem teoretického rozboru, ale stejně zůstal koaxiální kabel, který jsme potřebovali důkladně rozebrat. Popsat si jeho primární a sekundární parametry, ale také seznámit se s druhy vyráběných kabelů. Pro celistvost tématu se teorie také zabývá kroucenou dvojlinkou a strukturovanou kabeláží. Všechny tyto typy vedení tedy spadají do jedné kapitoly, a to metalické vedení.

Protože je jedním z cílů této práce porovnání koaxiálních kabelů a optických vláken, poslední část teoretického rozboru je věnována velmi krátké zmínce o parametrech optického vedení. Samotné téma o optických vláknech je natolik obsáhlé, že jsou zde opravdu uvedeny pouze základní myšlenky potřebné k pochopení tématu. Jsou zde popsány tři základní modely optických kabelů a jejich parametry.

Celý tento teoretický rozbor nám složil jako úvod pro následující část práce, kde je zodpovězena druhá otázka ze zadání. Měli jsme posoudit výhody a nevýhody optických vláken oproti koaxiálnímu kabelu. Zde jsme dospěli k několika zásadním poznatkům. Optické vlákna vykazují zásadně nižší měrný útlum, což umožňuje distribuovat optické vedení na výrazně delší vzdálenosti. Jednou z dalších výhod je výrazně vyšší využitelná šířka kmitočtového pásma, která umožňuje multiplexní vícekanálový přenos digitálních obrazových signálů. Optické vedení má také výbornou izolaci vůči okolí a lze je jen velmi těžce odposlouchávat. V neposlední řadě také musíme zmínit menší rozměry vedení, spolehlivost a dlouhou životnost.

Toto je celá řada faktorů, která je důvodem, myšlenky, že optické vlákno je naše budoucnost. Stále totiž ještě nevíme, kde jsou hranice optického vlákna. Důležitým poznatkem, ale stále zůstává, že optické kabely jsou stále využívány. Stále mají své místo na trhu jisté. V textu této práce je vypsáno několik variant využití koaxiálních kabelů. Pokud si chceme některé z nich připomenout, tak se jedná zejména o napáječe vysílacích a přijímacích antén, svody od televizních antén, televizní rozvody, kabelová televize, počítačové sítě a telefonie. Toto jsou všechno místa, kde koaxiální kabely jsou současně stále využívány.

V poslední teoretické části mé práce jsou zmíněny praktické možnosti měření koaxiálních kabelů. Pro měření se využívá moderních analyzátorů, které nám poskytují velké množství užitečných dat. V praxi tyto data hlavně slouží pro techniky, kteří mohou například lehce detekovat chybu vedení. V práci jsou tedy popsány jednotlivé parametry, které se dají změřit, ale i samotné analyzátory, které nezbytně potřebuje pro správných chod vedení. Je vidět, že vývoj nepokračuje pouze v optice, ale i u koaxiálních kabelů jsou stále nové produkty a technologie.

Závěrečná kapitola je věnována praktickému měření. Díky společnosti HKE a UPC jsme mohli prakticky změřit několik parametrů koaxiálních kabelů. V současné době se koaxiální kabely stále využívají v terciární a sekundární síti UPC. Primární síť je tvořena optickým vedením. Cílem do budoucna je rozšířit optickou síť až ke koncovému uživateli. V důsledku české legislativy, která přikazuje umožnění firmě, která optickou cestu vytvoří, poskytnout tuto cestu i konkurenčním firmám, se zatím do tohoto finančně náročného projektu žádná

firmě nechce. Na Slovensku již firma Orange začala vytvářet optické sítě až ke koncovému uživateli. Stále však platí, že optické vedení je finančně náročnější na opravy a výstavbu než koaxiální vedení, proto se stále využívá koaxiálních kabelů.

LITERATURA

- [1] FILKA, M. *Přenosová média: skripta laboratoře*. VUT FEKT, Brno 2003.
- [2] ŘÍČNÝ, V. *Televizní kabelové rozvody: skripta*. VUT FEKT, Brno 2000.
- [3] ŘÍČNÝ, V. *Televizní a kabelové rozvody: přednášky a numerická cvičení*. VUT FEKT, Brno 2001. ISBN 80-214-1819-2. 71s.
- [4] FILKA, M. *Telekomunikační vedení: skripta*. VUT FEKT, Brno, 1988. 225s.
- [5] FILKA, M. *Optoelektronika pro telekomunikace a informatiku*. První vydání. Brno: CENTA 2009. 369 s. ISBN 978-80-86765-14-1. 369s.
- [6] ZELINKOVÁ, V. *Optické kabeláže – srovnání*. Brno: FEKT VUT v Brně 2012. Ústav telekomunikací, 2012. 76 s., přílohy 17 s. diplomová práce. Vedoucí práce: prof. Ing. Miloslav Filka, CSc.
- [7] LÁSKO, J. *Problematika přenosu optického paprsku optickým vláknem*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2010. 65 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Jan Šporik.
- [8] KUCHARSKI, M. *Optické vlákna*. In *Elektrika* [online]. Dostupné na internetu <http://elektrika.cz/static/amper_2010/data/files/3.pdf>
- [9] HAMPL, M.; LAFATA, P. *Zdokonalení modelu primárních parametrů metalických vedení*. In *Access server* [online]. 30.7.2010. Dostupné na internetu: <<http://access.feld.cvut.cz/view.php?navezclanku=zdokonaleni-modelu-primarnich-parametru-metalicky-vedeni&cisloclanku=2010070003>> ISSN 1214-9675
- [10] CHADWICK, D. *The History of Coaxial Cable*. In *Coaxial-cable-review.toptenreviews* [online]. Dostupné na internetu: <<http://coaxial-cable-review.toptenreviews.com/the-history-of-coaxial-cable.html>>
- [11] WILFERT, O. *Optoelektronika*. Skriptum přednášky. VUT FEKT, Brno 2002. ISBN 80-214-1942-3.
- [12] GOLENIEWSKI, L.; JARRETT K. W. *Telecommunication Essentials, Second edition* > *The Complete Global Source*. In *Informat* [online]. 10.10.2006 [cit. 12.10.2007]. Dostupné na internetu: <<http://www.informat.com/articles/article.aspx?p=683070&seqNum=2>> ISBN-10: 0-321-42761-0.
- [13] MOLNÁR, K.; SOUMAR, M. *Praktikum z informačních sítí: skripta*. VUT FEKT, Brno. 128s.
- [14] *Výhody optické sítě*. In *Symp*. 26.12.2007. Dostupné na internetu: <www.symp.cz/text-11-vyhody-opticke-site.html>

- [15] *Satelitní technika*. In *Satelitní technika*. [online] 2011. Dostupné na internetu: <<http://www.satelitnitechcnika.cz/kategorie/prislusenstvi/kabely/koaxialni-kabely>>
- [16] ZEMAN, Z. *Měření koaxiálních kabelů a antén*. Jihočeská Univerzita v Českých Budějovicích. České Budějovice: 2010. Vedoucí bakalářské práce: Ing. Michal Šerý
- [17] TRULOVE, J. *Sítě LAN, hardware, instalace a zapojení*. Grada Publishing, a.s., Praha: 2009. 384 s. ISBN 978-80-247-2098-2.
- [18] *Měřicí technika*. In *Hke*. [online]. Dostupné na internet: http://www.hke.cz/index.php?option=com_content&task=view&id=136&Itemid=27
- [19] KOSKUBA, D. *Novinky v RF a MW oblasti*. In *Htest*. [online]. Dostupné na internet: < http://www.htest.cz/download/3_Novinky_RF_MW.pdf >

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

b_k - Měrný útlum

C - Měrná kapacita

CCTV - Closed Circuit Television

DTF – Distance To Fault

G - Měrný svod

IFFT – Inverse Fast Fourier Transform

$j\beta$ - Měrný fázový posun

L - Měrná indukčnost

MM - Multi Mode

MOV - Microstructure Fibre

NA - Numerická aparatura

n_j - Index lomu jádra

n_p - Index lomu pláště optického vlákna

R - Měrný odpor

SM - Single Mode

SWR - Standing Wave Ratio

v_f - Fázová rychlost

Z_c - Charakteristická (vlnová) impedance

α - Měrný útlum

β - Vyjadřuje hodnotu zpoždění fáze šířící se vlny vztažené k jednotce délky

γ - Měrná vlnová míra přenosu

ρ_1, ρ_2 - Činitel odrazu na vstupu a činitel odrazu na výstupu

η_U - Přenos napětí

η_P - Přenos výkonu