

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky  
a komunikačních technologií

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

## ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ

DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS

## VYTVOŘENÍ LABORATORNÍCH ÚLOH ZAMĚŘENÝCH NA MĚŘENÍ ZÁKLADNÍCH PARAMETRŮ TELEKOMUNIKAČNÍHO VEDENÍ

CREATION OF LABORATORY EXERCISES FOCUSED ON MEASUREMENT OF BASIC PARAMETERS OF  
TELECOMMUNICATION CABLES

### BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Jan Mlatec

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Petr Münster, Ph.D.

BRNO 2020

# Bakalářská práce

bakalářský studijní program **Telekomunikační a informační systémy**

Ústav telekomunikací

**Student:** Jan Mlatec

**ID:** 158197

**Ročník:** 3

**Akademický rok:** 2019/20

**NÁZEV TÉMATU:**

## Vytvoření laboratorních úloh zaměřených na měření základních parametrů telekomunikačního vedení

**POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:**

Cílem práce je vytvoření tří laboratorních úloh zaměřených na měření základních parametrů vybraných typů vedení používaných v telekomunikacích (koaxiální kabel, UTP kabel, optické vlákno). Úlohy by měly vést k tomu, aby studenti byli schopni porozumět základním parametrům jednotlivých médií a porovnat média z pohledu přenosových parametrů.

**DOPORUČENÁ LITERATURA:**

[1] FILKA, Miloslav. Optoelektronika: Pro telekomunikace a informatiku. Vyd. 1. Brno : Centa, 2009. 369 s. ISBN 978-80-86785-14-1.

[2] HERRICK, Clyde N. a C. Lee MCKIM. Telecommunication wiring. 2nd ed. Upper Saddle River, N.J.: Prentice Hall PTR, c1998. ISBN 978-0136328452.

**Termín zadání:** 3.2.2020

**Termín odevzdání:** 8.6.2020

**Vedoucí práce:** Ing. Petr Münster, Ph.D.

**prof. Ing. Jiří Mišurec, CSc.**  
předseda rady studijního programu

**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.

## **ABSTRAKT**

Tato bakalářská práce je zaměřena na seznámení se základními parametry telekomunikačních vedení. K měření parametrů je využito měřicích zařízení, kterými je vybavena laboratoř.

Jednotlivé úlohy obsahují teoretický úvod k problematice úlohy, zadání úlohy. Nejdříve bylo provedeno zapojení jednotlivých kabelů k měřicím přístrojům. Potom následovalo spuštění přístrojů a detailní seznámení s jejich funkcemi. Po získání potřebných znalostí o zařízení byl vypracován zkrácený manuál, kde je popsán pracovní postup práce při měření, který je v příloze této práce. Dále byl proveden návrh laboratorních úloh pro studenty. V této práci je obsaženo vzorové vypracování jednotlivých laboratorních úloh. Jako první byla vytvořena úloha pro měření útlumové charakteristiky koaxiálních kabelů. Studenti tak poznají, jak se mění útlum jednotlivých typů kabelů.

Druhou úlohou je měření frekvenční závislosti impedance koaxiálních kabelů. Studenti si zde opět ověří důležité charakteristiky jednotlivých typů koaxiálních kabelů.

Třetí úlohou je měření parametrů kabelů UTP, díky které budou studenti schopni porovnat vlastnosti i s dalším typem kabelu.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Telekomunikační vedení, koaxiální kabel, útlumová charakteristika, impedance vedení, činitel odrazu

## ABSTRACT

This bachelor thesis is focused on getting acquainted with the basic parameters of telecommunication lines. The laboratory is equipped measuring equipments used to measure. First, the individual cables were connected to the measuring instruments. This was followed by the launch of the devices and a detailed acquaintance with their functions. After obtaining the requisite knowledge of the device, a manual was prepared, which describes the working procedure for working with measuring equipments. The attachment which is a part of the thesis contain the model design of the individual laboratory tasks.

Each of these exercises contains extensive theoretical introduction to solve problems and task assignment. First, the individual cables were connected to the measuring instruments. This was followed by the launch of the devices and a detailed acquaintance with their functions. After gaining the necessary knowledge about the device, an abbreviated manual was prepared, which describes the work procedure of measurement work, which is in the appendix to this work. Furthermore, a design of laboratory tasks for students was performed. This work contains a sample elaboration of individual laboratory tasks. The first task was created to measure the attenuation characteristics of coaxial cables. Students will learn how the attenuation of individual types of cables are different.

The second task is to measure the frequency dependence of the impedance of coaxial cables. Students will again check the important characteristics of individual types of coaxial cables.

The third task is to measure the parameters of UTP cables that will make students able to compare the properties with another type of cable.

## KEYWORDS

Telecommunication wiring, coaxial cable, attenuation characteristic, line impedance, reflection factor

MLATEC, Jan. *Vytvoření laboratorních úloh zaměřených na měření základních parametrů telekomunikačního vedení*. Brno, 2020, 48 s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav telekomunikací. Vedoucí práce: Ing. Petr Münster, Ph.D.

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma „Vytvoření laboratorních úloh zaměřených na měření základních parametrů telekomunikačního vedení“ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské 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 bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské 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 následků 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.

Brno .....

.....

podpis autora

## PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Petru Münsterovi, Ph.D. za odborné vedení, konzultace, trpělivost a podnětné návrhy k práci.

# Obsah

<b>Úvod</b>	<b>11</b>
<b>1 Vlastnosti vedení telekomunikačních sítí</b>	<b>12</b>
1.1 Základní charakteristiky sledované u přenosových médií . . . . .	12
1.2 Primární parametry vedení . . . . .	13
1.3 Sekundární parametry vedení . . . . .	16
1.3.1 Charakteristická impedance . . . . .	17
1.3.2 Měrná vlnová míra přenosu . . . . .	17
1.4 Nekonečně dlouhé homogenní vedení . . . . .	18
1.5 Koaxiální kabel . . . . .	18
1.6 Nestíněná kroucená dvojlinka ( <i>UTP</i> ) . . . . .	21
1.6.1 Standardy pro Ethernet over Twisted Pair . . . . .	22
1.7 Optické vlákno . . . . .	22
<b>2 Návrh laboratorních úloh</b>	<b>24</b>
2.1 Měření útlumové charakteristiky koaxiálních kabelů . . . . .	24
2.1.1 Zadání . . . . .	24
2.1.2 Teoretický úvod . . . . .	24
2.1.3 Výsledky měření . . . . .	26
2.1.4 Závěr . . . . .	28
2.2 Měření závislosti činitele odrazu na impedanci koaxiálních kabelů . .	29
2.2.1 Zadání . . . . .	29
2.2.2 Teoretický úvod . . . . .	29
2.2.3 Výsledky měření pomocí analyzátoru SiteMaster S331L . . . . .	32
2.2.4 Kontrolní otázka . . . . .	33
2.2.5 Závěr . . . . .	33
2.3 Měření kabelů UTP . . . . .	34
2.3.1 Zadání . . . . .	34
2.3.2 Teoretický úvod . . . . .	34
2.3.3 Výsledky měření . . . . .	35
2.3.4 Kontrolní otázka . . . . .	40
2.3.5 Závěr . . . . .	40
<b>Závěr</b>	<b>41</b>
<b>Literatura</b>	<b>42</b>
<b>Návody k měření laboratorních úloh</b>	<b>43</b>



# Seznam obrázků

1.1	Náhradní schéma elementu vedení . . . . .	15
1.2	Koaxiální kabel . . . . .	19
1.3	Nestíněná kroucená dvojlinka ( <i>UTP</i> ) kat.5 - zapojení . . . . .	21
1.4	Optické vlákno . . . . .	22
2.1	Měření útlumu pomocí SiteMaster . . . . .	25
2.2	Frekvenční závislost útlumu kabelu ZZF G686 561 B CE . . . . .	26
2.3	Frekvenční závislost útlumu kabelu RG 598/U . . . . .	27
2.4	Frekvenční závislost útlumu kabelu LLC200 low loss 50 $\Omega$ NFC/HYT 3D . . . . .	27
2.5	Činitel odrazu ve Smithově diagramu a) impedanční parametry b) admitanční parametry c) obraz činitele odrazu . . . . .	31
2.6	Závislost činitele odrazu kabelu ZZF G686 561 B CE . . . . .	32
2.7	Závislost činitele odrazu kabelu RG598/U . . . . .	32
2.8	Závislost činitele odrazu kabelu LLC200 low loss 50 $\Omega$ NFC/HYT 3D	33
2.9	Určení délky kabelu UTP cat7 . . . . .	35
2.10	Určení útlumu kabelu UTP cat7 . . . . .	36
2.11	Určení útlumu zpětného odrazu kabelu UTP cat7 . . . . .	36
2.12	Určení impedance kabelu UTP cat7 . . . . .	37
2.13	Určení délky kabelu UTP cat6 . . . . .	37
2.14	Určení útlumu kabelu UTP cat6 . . . . .	38
2.15	Určení útlumu zpětného odrazu kabelu UTP cat6 . . . . .	38
2.16	Určení impedance kabelu UTP cat6 . . . . .	39
2.17	Anritsu-Fotografie zařízení . . . . .	43
2.18	Fotografie zařízení MultiLAN 350 . . . . .	47

# Seznam tabulek

2.1	Tabulka frekvencí pro útlum 3 dB . . . . .	26
2.2	Tabulka změřených parametrů kabelů UTP . . . . .	39

# Úvod

Komunikace mezi zařízeními i mezi lidmi za pomoci elektronických zařízení nás provází již několik desetiletí. Pro přenos této komunikace je využíváno telekomunikačních vedení. Tato práce se zabývá návrhem laboratorních úloh zaměřených na měření parametrů telekomunikačního vedení. Pro přenos datových signálů mezi telekomunikačními zařízeními nejčastěji využíváme formu elektromagnetických vln. Tyto elektromagnetické vlny jsou nejčastěji přenášeny pomocí metalických přenosových médií. Další variantou jsou optická přenosová média.

Cílem této práce je seznámení studentů s parametry základních typů vedení používaných v telekomunikacích. Po vypracování těchto úloh by měli být studenti schopni popsat rozdíly v parametrech těchto vedení a určit oblast jejich použití. Součástí práce je i vypravování návodu k laboratorním úlohám.

V České republice poskytuje své služby založené na telekomunikačních sítích několik společností. Společnosti DIGI, O2 a T-Mobile zaručují klientům rychlost stahování až 250Mb/s při připojení technologií DSL. Společnosti DIGI, T-Mobile a O2 zaručují rychlost stahování až 1Gb/s na svých optických sítích. Společnost UPC garantuje rychlost stahování až 500Mb/s na optické síti. Avšak jako jediná využívá pro přenos dat také koaxiální kabel. Druhou nejrozáhlejší optickou páteřní síť provozuje ČD Telematika a.s. [7]

Je zřejmé, že pro páteřní síť a velké vzdálenosti je využíváno optických kabelů. V lokálních sítích je následně využíván přenos pomocí UTP kabelů.

# 1 Vlastnosti vedení telekomunikačních sítí

V této kapitole jsou popsány vlastnosti vedení používaných pro datové přenosy.

Důležitým parametrem pro výběr technologie vedení je vzdálenost, na kterou mají být data přenášena a objem dat, která mají být přenesena za určitý časový úsek.

Vedení jsou základním stavebním prvkem přístupových sítí, ale také páteřních sítí jednotlivých poskytovatelů služeb.

Dle přenosového média rozlišujeme tyto typy sítí:

1. metalické (dvoudrátové vedení, koaxiální kabel,...)
2. optické
3. bezdrátové vedení.

U kabelových vedení je také důležitým parametrem umístění kabelu. Jiné vlastnosti má kabel umístěný v zemi a jiné kabel zavěšený ve vzduchu. Jsou na ně také kladeny různé požadavky co se týká pevnosti a odolnosti.

**Metalická vedení** Telekomunikační vedení tvoří nejčastěji dvojice souběžných vodičů tzv. pár. Dle uspořádání rozlišujeme:

- Symetrická vedení - tvořena dvojicí paralelních, nebo spirálově stočených vodičů.
- Koaxiální vedení - tvořena dvojicí sousedících vodičů.

Metalická vedení mohou být provedena jako nadzemní vedení, která jsou ovšem závislá na klimatických podmínkách, mohou být rušena cizími elektromagnetickými poli, nebo kabelová vedení umístěná v zemi, kde jsou zároveň chráněny proti mechanickému poškození a vlivu klimatických změn.

## 1.1 Základní charakteristiky sledované u přenosových médií

Základními parametry přenosových médií jsou šířka pásma, útlum, impedance, odolnost vůči elektromagnetickému rušení, přeslech mezi vodiči a také cena. [2]

- **Šířka pásma** - je dána fyzikálními vlastnostmi přenosového média, určuje množství dat, které je možné daným médiem přenést. Pro analogové signály ji lze vyjádřit v Hertzích, nebo pro digitální signály v bitech za sekundu.

Každý signál lze vyjádřit různými frekvenčními složkami, které jsou omezeny právě přenosovým médiem. Pokud je signál přenášen pomocí média s velkou šířkou frekvenčního pásma, může být šířka pásma rozdělena na části především u médií využívajících frekvenční dělení šířky pásma na jednotlivé kanály. [2]

- **Útlum** - je reprezentován postupným snižováním amplitudy signálu na přenosovém médiu. S rostoucí vzdáleností přenosu klesá velikost signálu. Útlum vždy závisí na délce média. Pro zjištění útlumu musíme znát úroveň signálu na vstupu média a na jeho výstupu. Základní jednotkou je decibel (dB), využívá se také jednotka decibel na kilometr (dB/km), v takovém případě jde o *měrný útlum*. Rozeznáváme útlum napětí, proudu a výkonu. Pro útlum výkonu (P) platí výpočet:

$$A_p = 10 \cdot \log \frac{P_{výstupní}}{P_{vstupní}}. \quad (1.1)$$

Je patrné, že útlum 3 dB znamená snížení výkonu o 50%.

- **Impedance** - neboli elektrický odpor kladený střídavému proudu. Rozlišujeme impedanci vstupní, výstupní a charakteristickou (neboli vlnovou). Její jednotkou je Ohm ( $\Omega$ ). Na útlum přenosových médií má největší vliv vlnová impedance.
- **Odolnost vůči vnějšímu elektromagnetickému rušení** - elektromagnetické rušení představuje převážně energii z vnějších zdrojů, často náhodnou, nebo energii ostatních signálů na stejném vedení. Tyto signály se mohou navzájem rušit. Dochází tak ke zkreslení přenášeného signálu. Nejzávažnějšími zdroji rušení jsou elektromotory, ale také lékařské přístroje či mobilní telefony. [2]
- **Přeslech mezi vodiči** - jedná se o rušení signálem přenášeným po sousedním vodiči, například ve společném kabelu, nebo poblíž. Nejvíce se projeví u paralelních vedení. Jednotkou je dB.
- **Cena** - důležitý parametr z ekonomického hlediska. Většinou platí, že vedení s kvalitnějšími parametry je dražší, než vedení s méně kvalitními parametry. Na cenu mají vliv například přidané vrstvy stínění, které zvyšují odolnost vůči přeslechům. [2]

## 1.2 Primární parametry vedení

Protože se přenos po telekomunikačním vedení uskutečňuje prostřednictvím střídavého proudu o daném kmitočtu, působí na tento proud elektrické vlastnosti vedení. Veličiny, které udávají vlastnosti dvouvodičového vedení o délce 1 km nazýváme parametry vedení. Elektrické vlastnosti vedení jsou charakterizovány primárními parametry vedení. Primární parametry vedení jsou základními veličinami, které určují vlastnosti telekomunikačního vedení. Jsou dány konstrukcí vedení, materiálem vodičů, průměrem vedení a prostředím okolo vodičů. Nezávisí tedy na velikosti přenášeného proudu a napětí.

- Odpor vedení R

- Indukčnost vedení  $L$
- Kapacita vedení  $C$
- Svod  $G$

Primární parametry jsou závislé na konstrukci vedení, na použitém materiálu a frekvenci přenášeného signálu. Nezávisí tedy na velikosti přenášeného proudu a napětí.

### **Odpor vedení**

Značíme jej písmenem  $R$  ( $\Omega/km$ ).

Tento parametr ovlivňuje dosah vedení. Díky odporu se část elektrické energie vedením mění na tepelnou a vznikají ztráty určené vzorcem  $P=R \cdot I^2$ .

Odpor vedení je dán vztahem

$$R = \rho \cdot \frac{l}{s} \quad (\Omega) \quad (1.2)$$

### **Indukčnost vedení**

Značíme  $L$  ( $H/km$ ). Vodiče vedení jsou v podstatě jeden veliký závit. Průtokem proudu vzniká kolem vodičů magnetické pole kolmé k ostatním vodičům. Velikost pole roste s rostoucí vzdáleností mezi vodiči. Proto se uplatňuje především u nadzemních vedení, kde jsou vodiče dál od sebe. Indukčnost na vedení způsobuje napěťové ztráty, ale snižuje účinky provozní kapacity vedení, čímž zmenšuje proudové ztráty. Induktivní reaktanci určíme ze vztahu

$$X_L = 2\pi f L \quad (\Omega). \quad (1.3)$$

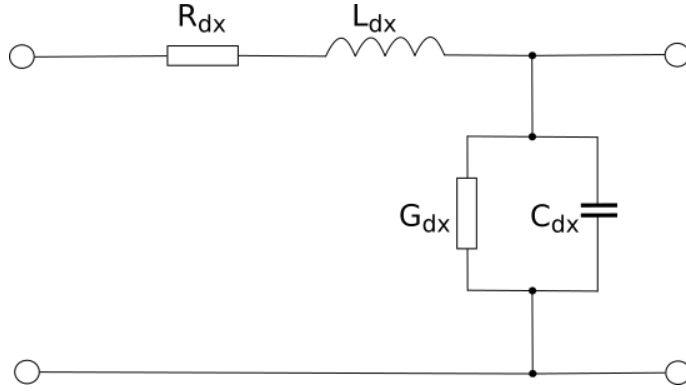
**Kapacita vedení** Značíme  $C$  ( $F/km$ ). Protože každá dvojice vodičů ve společné fázi tvoří desky kondenzátoru, vzniká nám mezi nimi kapacita. Její velikost je dána vzdáleností mezi vodiči a jejich průřezem. Tato kapacita vytváří útlumové zkreslení signálu a proudové ztráty. Tyto ztráty jsou ovlivněny kmitočtem přenášeného signálu, což je patrné ze vztahu pro kapacitní reaktanci

$$X_C = \frac{1}{2\pi f C} \quad (\Omega). \quad (1.4)$$

**Svod na vedení** Značíme  $G$  ( $S/km$ ). Izolace mezi vodiči vedení není zcela dokonalá a proto má svůj odpor. Protože tento odpor není nekonečný, dochází k průtoku proudu izolací a to je označováno jako svod. Ten je dán vztahem vodivosti izolace mezi vodiči

$$G = \frac{I}{U} \quad (S). \quad (1.5)$$

Všechny uvedené parametry vedení vztahujeme na element délky vedení  $dx$ . Celá délka vedení je následně složena z těchto jednotlivých elementů. Náhradní schéma elementu vedení je vyobrazeno na obrázku 1.1.



Obr. 1.1: Náhradní schéma elementu vedení

Na tomto elementu je možné vypočítat pomocí základních vztahů homogenního vedení jednotlivé hodnoty veličin:

Úbytek napětí je:

$$\frac{-dU_x}{dx} = (R + j\omega L)I_x, \quad (1.6)$$

úbytek proudu:

$$\frac{-dI_x}{dx} = (G + j\omega C)U_x. \quad (1.7)$$

Řešení získáme nejprve derivací rovnice (1.6):

$$\frac{-d^2U_x}{dx^2} = \frac{dI_x}{dx}(R + j\omega L). \quad (1.8)$$

Do této rovnice dosadíme (1.7) a získáme:

$$\frac{-d^2U_x}{dx^2} = -U_x [(R + j\omega L)(G + j\omega C)]. \quad (1.9)$$

Pokud si označíme

$$(R + j\omega L)(G + j\omega C) = \gamma^2 \quad (1.10)$$

lze rovnici upravit na tvar

$$\frac{d^2U_x}{dx^2} - \gamma^2 U_x = 0. \quad (1.11)$$

Výsledkem řešení lineární homogenní diferenciální rovnice druhého řádu je

$$U_x = A_1 e^{\gamma x} + A_2 e^{-\gamma x}. \quad (1.12)$$

Dále podle vypočteme hodnotu proudu elementem vedení vztahem

$$I_x = -\frac{1}{R + j\omega L} \frac{dU_x}{dx}. \quad (1.13)$$

Dosadíme derivaci do rovnice 1.12.

$$\frac{dU_x}{dx} = \gamma A_1 e^{\gamma x} - \gamma A_2 e^{-\gamma x} \quad (1.14)$$

potom

$$I_x = -\frac{1}{R + j\omega L} \frac{dU_x}{dx} \quad (1.15)$$

Po derivování napětí na elementu podle x získáme

$$dU_x = \gamma A_1 e^{\gamma x} - \gamma A_2 e^{-\gamma x} \quad (1.16)$$

Potom

$$I_x = \frac{\gamma}{R + j\omega L} (A_1 e^{\gamma x} + A_2 e^{-\gamma x}) = \sqrt{\frac{G + j\omega C}{R + j\omega L}} (-A_1 e^{\gamma x} + A_2 e^{-\gamma x}) \quad (1.17)$$

. Výraz v kulaté závorce má dimenzi napětí [1], proto výraz

$$\sqrt{\frac{G + j\omega C}{R + j\omega L}} = \sqrt{\frac{Y}{Z}} \quad (1.18)$$

má dimenzi admitance Charakteristická impedance je převrácenou hodnotou této admitance a lze ji určit z primárních parametrů R, L, C, G pro určitou frekvenci na daném vedení

$$Z_C = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C}} = \sqrt{\frac{Y}{Z}} \quad (1.19)$$

Pak lze určit

$$I_x = \frac{1}{Z_C} (-A_1 e^{\gamma x} + A_2 e^{-\gamma x}) \quad (1.20)$$

Z poměrů na konci vedení jsou následně vypočteny integrační konstanty. Poměry na konci vedení jsou  $x=1$ ;  $U_x = U_2$ ;  $I_x = I_2$ .

Vypočteme

$$U_2 = A_1 e^{\gamma I} + A_2 e^{-\gamma I} \quad (1.21)$$

$$Z_C I_2 = -A_1 e^{\gamma I} + A_2 e^{-\gamma I}. \quad (1.22)$$

A získáme konstanty

$$A_1 = \frac{1}{2} (U_2 - Z_C I_2) e^{-\gamma I} \quad (1.23)$$

$$A_2 = \frac{1}{2} (U_2 + Z_C I_2) e^{\gamma I}. \quad (1.24)$$

### 1.3 Sekundární parametry vedení

Sekundárními parametry jsou: charakteristická impedance a měrná vlnová míra přenosu. Sekundární parametry jsou komplexními veličinami.

### 1.3.1 Charakteristická impedance

Charakteristická impedance charakterizuje homogenní vedení. veličiny jsou vztaženy na jednotku délky. Značí se a vypočte podle vzorce

$$Z_0 = Z_V = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C}}. \quad (1.25)$$

Pokud bychom uvažovali zcela bezztrátové vedení, hodnoty  $R$  a  $G$  budou nulové. Pro takové vedení platí

$$Z_0 = \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (1.26)$$

### 1.3.2 Měrná vlnová míra přenosu

Měrná vlnová míra přenosu je komplexní veličina. Její reálná část  $\alpha$  se nazývá měrný, nebo také vlnový útlum. Udává se v  $dB \cdot km^{-1}$ . Imaginární část  $\beta$  je měrný fázový posuv v  $rad \cdot km^{-1}$ . Souvisí spolu podle následujícího vztahu

$$\gamma = \alpha + j\beta. \quad (1.27)$$

## 1.4 Nekonečně dlouhé homogenní vedení

Model nekonečně dlouhého homogenního vedení představuje nejčastěji sdělovací vedení u kterého platí  $l=\infty$ ,  $A_{1\infty} = 0$ .

Následně můžeme odvodit další vztahy

$$U_{(\chi\infty)} = A_2 e^{-\gamma l}, \quad (1.28)$$

$$I_{\chi\infty} = \frac{1}{Z_C} A_2 e^{-\gamma l}. \quad (1.29)$$

Protože známe poměry na počátku vedení, víme, že  $\chi=0$ . Můžeme určit integrační konstantu  $A_2$  jako

$$U_{(1\infty)} = A_2 \quad (1.30)$$

$$Z_C I_{(1\infty)} = A_2 \quad (1.31)$$

Vztahy lze upravit na

$$U_{(\chi\infty)} = U_{(1\infty)} e^{-\gamma \chi} \quad (1.32)$$

$$I_{(\chi\infty)} = I_{(1\infty)} e^{-\gamma \chi} \quad (1.33)$$

V rovnicích platí vztah

$$\gamma = \sqrt{(R + j\omega L)(G + j\omega C)}, \quad (1.34)$$

který lze upravit na komplexní veličinu vyjádřenou jako

$$\gamma = \alpha + j\beta. \quad (1.35)$$

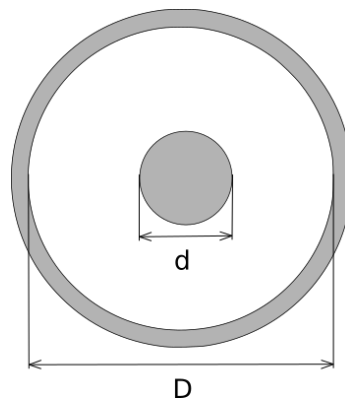
Reálnou složkou je měrný útlum, který se mění s typem vedení. Pokud tento měrný útlum vynásobíme délkou vedení, získáme útlum v dB vztažený k délce 1.

## 1.5 Koaxiální kabel

Vynález koaxiálního kabelu přinesl prudký rozvoj přenosu informací pomocí krátkých vln. Umožňuje kvalitnější a spolehlivější přenos, než doposud užívané kabely. Přinesl možnost přenášení dat mezi kontinenty. Koaxiální kabel je označován jako 10Base5. U koaxiálních kabelů nevzniká vzájemné ovlivňování souběžných párů. Jeden pár je tvořen koaxiální trubkou s vodičem uprostřed. Tato trubka je tvořena Cu plechem o tloušťce okolo 0,2 mm. Tento plech obepíná PE izolační kotoučky, které jsou od sebe vzdáleny 20 až 25 mm a jsou nasazeny na vnitřním vodiči. Vzájemná izolace může být řešena také plnou pěnovou vrstvou nebo balonkovou izolací. Elektromagnetické pole vznikající přenosem signálu zůstává uvnitř trubky. Při přenosu vyšších frekvencí je proud přenášen po povrchu vnitřního vodiče a vnitřním povrchem trubky. Protože pro nízké kmitočty je tento stínící účinek nedostatečný,

je kolem vodiče umístěno zvláštní stínění ze dvou poměděných ocelových pásků navinutých na vnější trubku. Rozměry vodičů mohou mít různé hodnoty, jak je vyobrazeno na obrázku 1.2. Obvodová izolace bývá vinuta z papíru nebo polyesterové pásky a je označena číslem příslušné trubky. Trubky se vkládají do profilu společně se symetrickými čtyřkami a páry bez ohledu na směr přenosu.

První koaxiální kabel mezi Evropou a Amerikou nesl označení TAT-7 a umožňoval přenos 36 analogových telefonních kanálů. Poslední koaxiální kabel mezi Evropou a Amerikou byl instalován v roce 1983. Měl označení TAT-1. Jeho kapacita je 4200 kanálů a vzdálenost mezi opakovači signálu činí 9 km. Roku 1988 byl nahrazen optickým kabelem s označením TAT-8.[1] Na obrázku 1.2 je vyobrazen koaxiální pár.



Obr. 1.2: Koaxiální kabel

Protože odpory vnitřního a vnějšího vodiče jsou různé, platí vzorec pro výpočet odporu vedení

$$R = 83,5\sqrt{f} \left( \frac{1}{d} + \frac{1}{D} \right) [\Omega/km]. \quad (1.36)$$

Písmena  $d$  a  $D$  značí průměr vnitřního vodiče a vnitřní průměr trubky v mm,  $f$  kmitočet v MHz.

Měrná kapacita koaxiálního kabelu je vyjádřena vztahem

$$C = \frac{56\epsilon_r}{\ln \frac{D}{d}} [nF/km]. \quad (1.37)$$

Nejčastěji se setkáme s rozmezím  $\epsilon_r 1,15 - 1,5$ .

Měrná indukčnost je

$$L = 0,2 \ln \frac{D}{d} [mH/km]. \quad (1.38)$$

Svod je dán vztahem

$$G = k_s \omega C, \quad (1.39)$$

kde  $k_s$  bývá  $0,5 \cdot 10^{-4}$ .

*Střední koaxiální pár* je tvořen vnitřním Cu vodičem o průměru  $d=2,6$  mm, balonkovou izolací a vnějším vodičem d měděné pásky se zvlněnými okraji. Vnější vodič je stočený s podélným švem do tvaru o jmen. světlosti 9,4 mm. Páry jsou označeny 2,6/9,4. Poměr vnitřní a vnější trubky je stanoven ze vztahu pro útlum, který je pro Cu a dielektrikum  $\epsilon^r = 1,2, \mu^r = 1$ .

Pro měrný útlum je odvozen vztah

$$\alpha = \frac{0,024}{D} \sqrt{f} \left( \frac{D}{d} + 1 \right) \frac{1}{\ln \frac{D}{d}}. \quad (1.40)$$

Pro určitý poměr

$$\frac{D}{d} = x \quad (1.41)$$

bude měrný útlum minimální. Pokud se první derivace útlumu položí nule, získáme vztah uvedený v [1].

$$x = \frac{D}{d} = 3,6 \quad (1.42)$$

Tato hodnota udává hodnotu poměru trubek, který minimalizuje měrný útlum. Díky tomu je možný telekomunikační přenos v pásmu 300 kHz - 60 MHz, hodnota impedance 75  $\Omega$  a měrný útlum 3,6 dB/km pro  $f=1$  MHz a teplotu 10°C.[1]

*Malý koaxiální pár* byl vytvořen pro frekvence, které se nacházejí mezi přenášenými frekvencemi pomocí vf symetrickými čtyřkami a středními koaxiálními páry. U malého koaxiálního páru je použit poměr trubek Cu 1,2/4,4 mm. Běžně se používá balónková izolace. Další parametry jsou: impedance 75  $\Omega$  při  $f=1$  MHz, měrný útlum 5,22 dB/km při  $f=1$  MHz a teplotě 10°C.

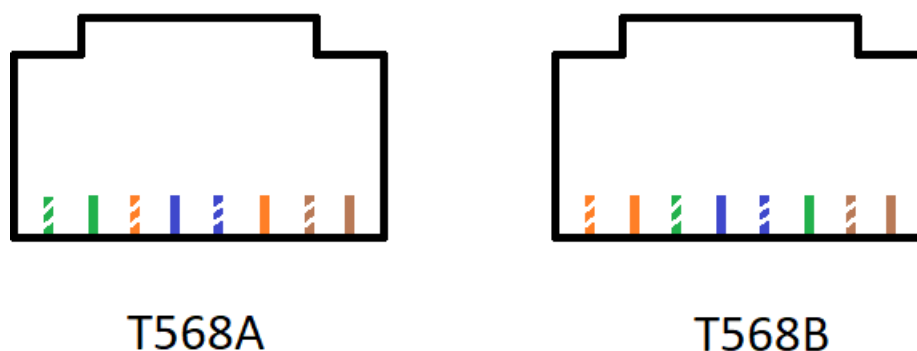
Malý koaxiální pár umožňuje přenos pro telefonní systémy i televizní signál do frekvence 12 MHz.[1]

*Mikrokoaxiální pár* je používáný pro provoz digitálních systémů 2. a 3. řádu a pro četné datové přenosy. Průměr vnitřní trubky bývá 0,6 - 0,8 mm, průměr vnější trubky 2,2 - 2,8 mm. Izolace je nejčastěji pěnová PE nebo balónková. Impedance 65 - 75  $\Omega$ . [1]

## 1.6 Nestíněná kroucená dvojlinka (*UTP*)

Kabeláž, a její kategorie, je definována ve standardech TIA/EIA-568 a ISO/IEC 11801. V kategoriích jsou definovány minimální parametry kladené na kabely. Určuje úroveň výkonu, šířku pásma signálu, útlumu a přeslechů. Každý standard Ethernetu vyžaduje určitou kategorii kabeláže.

Kroucená dvojlinka je vytvořena z párů vodičů, které jsou po své délce navzájem zkrouceny. Kabel *UTP* je tvořen čtyřmi páry kroucené dvojlinky. Při budování sítí se používají čtyřpárové kabely o impedanci  $100\ \Omega$ . Požadavky na tyto kabely jsou specifikovány v několika standardech. Zapojení vývodů fyzického spoje, barevné kódování párů, použití jednotlivých párů, přenosové charakteristiky, testovací parametry a metody a zásady budování kabeláže čtyřpáru kategorie 3, 4 a 5 nestíněné kroucené dvojlinky je popsáno mimo jiné standardem EIA/TIA-568. Nestíněný kabel kategorie 3 je běžně používán jako telefonní kabel. Je opatřen konektory RJ-45 s 8 vývody nebo Telco konektory s 50 vývody. Kabeláž je možné spojovat a spravovat pomocí propojovacích panelů. Vložení nových přípojných míst je snadné podobně, jako u strukturované telefonní, nebo datové kabeláže. Vyšší kategorie kabelu mají přísnější specifikace, což umožňuje propojení na delší vzdálenosti. Například kabely kategorie 5 podporují vzdálenost do 150 m. Kabely běžně končí v zásuvkách opatřených konektory RJ-45, nebo jsou samy opatřeny těmito konektory. Příklad zapojení jednotlivých párů včetně barevného rozlišení pomocí standardu T568A je popsán následovně pár 1 je označen modrou barvou, pár 2 oranžovou, pár 3 zelenou a pár 4 hnědou barvou. Takto zapojená kabeláž *UTP* kabelu je použita u kategorie 5. Zapojení je vyobrazeno společně se zapojením standardu T568B na obrázku 1.3.



Obr. 1.3: Nestíněná kroucená dvojlinka (*UTP*) kat.5 - zapojení

Takto zapojená nestíněná kroucená dvojlinka kategorie 5 se používá jako prostředek pro přenos dat v počítačových sítích používajících standardy Ethernet 10baseT a 100baseT. Každý vodič *UTP* kabelu má průměr 0,5 mm. Pokud jsou použity kabely, namísto drátů, je použito 7 kabelů o průměrech 0,2 mm.

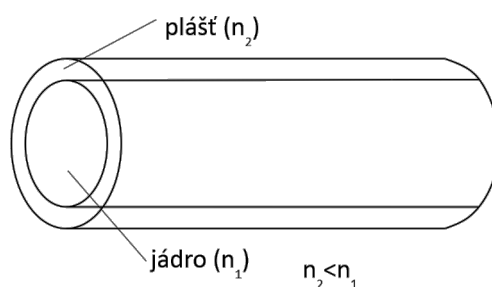
## 1.6.1 Standardy pro Ethernet over Twisted Pair

Ve všech běžných telekomunikačních sítích je využívána přenosová technologie **Ethernet**. Technologie je definována standardy IEEE 802.3 včetně používané kabeláže, přístupu k síti, rychlosti apod. Standardy využívající kroucenou dvojlinku jsou rozděleny podle podporované přenosové rychlosti. Mezi nejrozšířenější varianty patří tyto:

- **100Base-Tx Ethernet** - IEEE 802.3u - technologie z roku 1995, která podporuje přenos Ethernetových rámců rychlostí 100Mb/s, bývá označována *Fast Ethernet*
- **1000Base-T Ethernet** - IEEE 802.3ab - z roku 1999, rychlost 1000 Mb/s, označení *GigabitEthernet*
- **10GBase-T Ethernet** - IEEE 802.3an - z roku 2006, rychlost 10Gbit/s, označována *10GigabitEthernet*
- **40GBase-T Ethernet** - IEEE 802.3bq - z roku 2013, rychlost 40Gbit/s, označována *40GigabitEthernet*

## 1.7 Optické vlákno

V optickém vlákně probíhá přenos dat šířením světla v optickém vlnovodu. Je využito totálního odrazu paprsku od vnitřních stěn. Využívá se světelného impulsu, který je nosičem informace. Při dopadu paprsku na rozhraní dvou prostředí, kdy je index lomu jádra větší než index lomu pláště, dochází k totálnímu odrazu. Optické vlákno je vyobrazeno na obrázku 1.4. [4]



Obr. 1.4: Optické vlákno

Pro přenos informace se nejčastěji využívá vlnových délek v rozsahu 500 až 1600 nm. Nejmenší ztráty při přenosu vykazuje oblast 1300 až 1600 nm.

Optický přenosový systém je složen ze zdroje světelného záření, optického prostředí a detektoru záření.

Vysílací a přijímací část mají za úkol měnit elektrický signál na optický a naopak. Obsahují tedy elektrooptické měniče. Jako zdroje světla bývá využito laserové diody, nebo LED diody.

Optické vlákno je vyrobeno z oxidu křemičitého a dalších příměsí zaručujících fyzikální a přenosové vlastnosti.

Výhodou přenosu pomocí optického vlákna jsou menší energetické ztráty při přenosu oproti elektrickým signálům, větší šířka pásma, ve kterém může být přenášeno více kanálů současně, je dosaženo větší přenosové rychlosti, menší rozměry a hmotnost, nemožnost odposlechu, dielektrické oddělení vysílače a přijímače, dlouhá životnost. Nevýhodou je pak vyšší cena, obtížnější manipulace a malá mechanická pevnost.

Optická vlákna jsou využívána pro přenos informace na velmi velké vzdálenosti, například podmořské kabely apod.

## 2 Návrh laboratorních úloh

Cílem práce je navrhnout laboratorní úlohy zaměřené na měření základních parametrů běžných typů vedení používaných v telekomunikacích. V následující kapitole je uveden návrh laboratorních úloh, ve kterých studenti změří základní charakteristiky vybraných kabelů.

### 2.1 Měření útlumové charakteristiky koaxiálních kabelů

#### 2.1.1 Zadání

Pomocí analyzátoru Anritsu S331L změřte útlumové charakteristiky alespoň tří typů koaxiálních kabelů. Naměřené charakteristiky vyobrazte a porovnejte.

#### 2.1.2 Teoretický úvod

Nejlevnější variantou spojení v počítačové síti je pomocí tenkého koaxiálního kabelu, nazývaného také *tenký ethernet*, *Thinnet*, nebo také *10Base2*). Pomocí jednoduchých nástrojů je možné sestavit síť. Tenký ethernet je možné přímo připojit k síťové kartě stanice s vestavěným transceiverem. Připojení se provádí pomocí BNC konektoru a BNC.T konektoru.

Kabel tenkého ethernetu je složen z vodivého jádra, které je izolováno od měděné sítky nebo hliníkové pláště. Sítka nebo plášť stíní jádro před okolními magnetickými vlivy. Toto stínění je ještě chráněno plastovým obalem. Pro použití v prostředí s magnetickým zářením jsou vyráběny kabely s vícenásobným stíněním i obalem. Odpor vedení klesá s jeho průměrem. Tenký ethernet je možné používat až do vzdálenosti 185 m.

Další, starší, variantou je *tlustý ethernet* neboli *10Base5* případně *Thicknet*. Měděné jádro má větší průměr než tenký ethernet. Díky většímu průměru je odpor vedení nižší a kabel je možné využívat až do vzdálenosti 500 m. Příkladem použití je propojení několika sítí využívajících tenký ethernet.

Kabel tlustého ethernetu je silnější, oproti tenkému je s ním těžší práce při instalaci. Jeho cena je také vyšší. Instalace se provádí do stěn a podhledů a svádí ke stanicím. Transciever se připevní přímo na kabel. Příkladem tlustého ethernetu je RG-8/U.

### Značení některých koaxiálních kabelů:

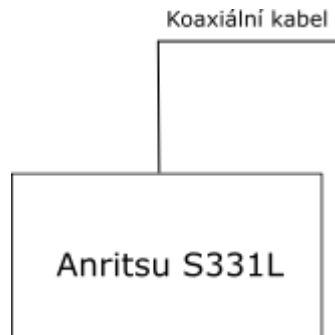
- **RG-6/U** - impedance  $75\Omega$ , rychlost šíření 85%, vnější průměr 6,86 mm.
- **RG-8/U** - impedance  $50\Omega$ , rychlost šíření 75%, vnější průměr 10,24 mm.
- **RG-11/U** - impedance  $75\Omega$ , rychlost šíření 78%, vnější průměr 10,29 mm.
- **RG-58A/U** - impedance  $50\Omega$ , rychlost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

### Útlum kabelu

Jedná se o jeden z primárních parametrů, které u kabelů měříme a kontrolujeme. Při průchodu vedením ztrácí signál část své energie. Aby se systém po zapojení tohoto kabelu nechoval nestandardně, musíme znát útlum kabelu. Pro jeho měření se využívá analyzátor, který při zapojení kabelu na krátko měří signál odražený na jeho konci. Díky tomu lze vypočítat energii ztracenou v kabelu, tedy útlum.

V tomto měření je využito druhé metody měření útlumu. Budeme měřit průměrnou hodnotu útlumu kabelu na širokém pásmu frekvencí. Pokud využijeme funkce Cable Loss – útlum kabelu, je třeba vydělit rozdíl maxima a minima dvěma. Pokud proměříme kabel funkcí Return Loss – útlum odrazu, musíme výsledek měření vydělit čtyřmi, jelikož se uvažuje šíření signálu obousměrně. Většina moderních analyzátorů, včetně Anritsu S331L, umožňuje měřit útlum kabelu se zobrazením útlumu v širokém frekvenčním pásmu. V tom případě není nutné nic dopočítávat.

Na obrázku 2.1 je vyobrazeno jednoduché zapojení, pomocí kterého lze měřit útlum měřicím přístrojem Anritsu SiteMaster.



Obr. 2.1: Měření útlumu pomocí SiteMaster

### 2.1.3 Výsledky měření

Pracovním postupem uvedeným v návodu k laboratorní úloze, který je přílohou této práce, byl změřen útlum koaxiálních kabelů.

Měřené koaxiální kabely byly vybrány následující:

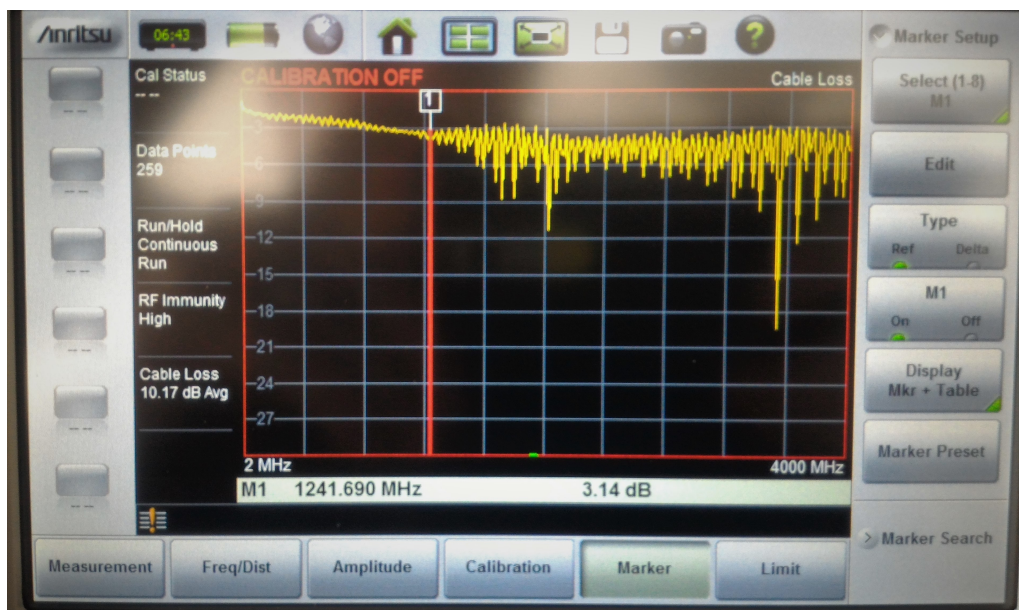
- TV/SAT koaxiální kabel 75  $\Omega$ , ZZF G686 561 B CE
- koaxiální kabel RG 598/U
- LLC200 low loss 50  $\Omega$  NFC/HYT 3D

V následující tabulce 2.1 je změřena frekvence, při které stoupl útlum kabelu nad 3 dB.

Kabel	frekvence pro útlum přes 3 dB [MHz]
ZZF G686 561 B CE class A	1241,6
RG 598/U	1412,15
LLC LOW LOSS 50 $\Omega$	513,37

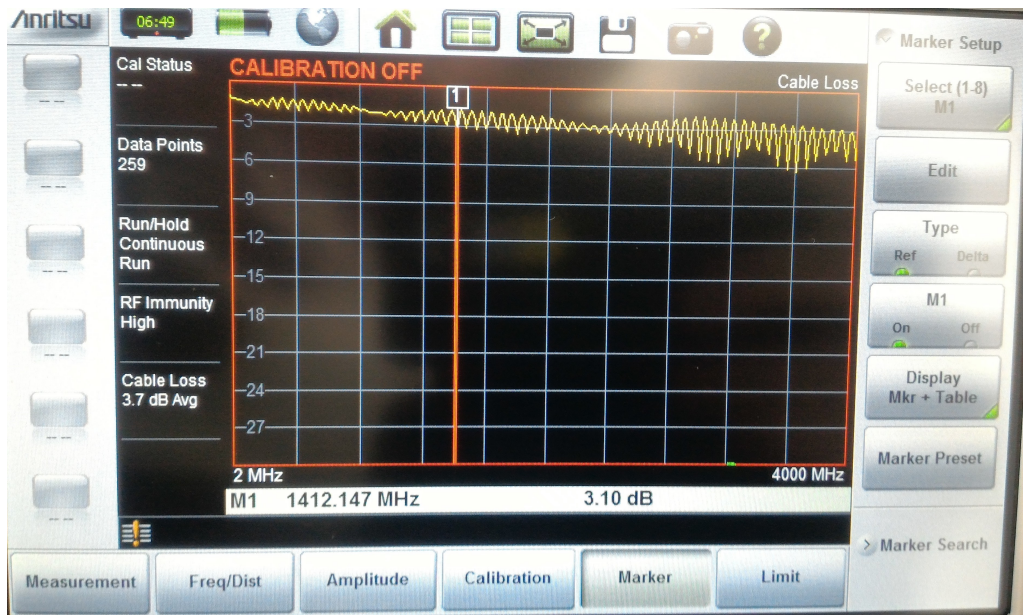
Tab. 2.1: Tabulka frekvencí pro útlum 3 dB

Jako příloha jsou přiloženy fotografie měřených hodnot frekvenční závislosti útlumu kabelu ZZF G686 561 B CE 2.2.

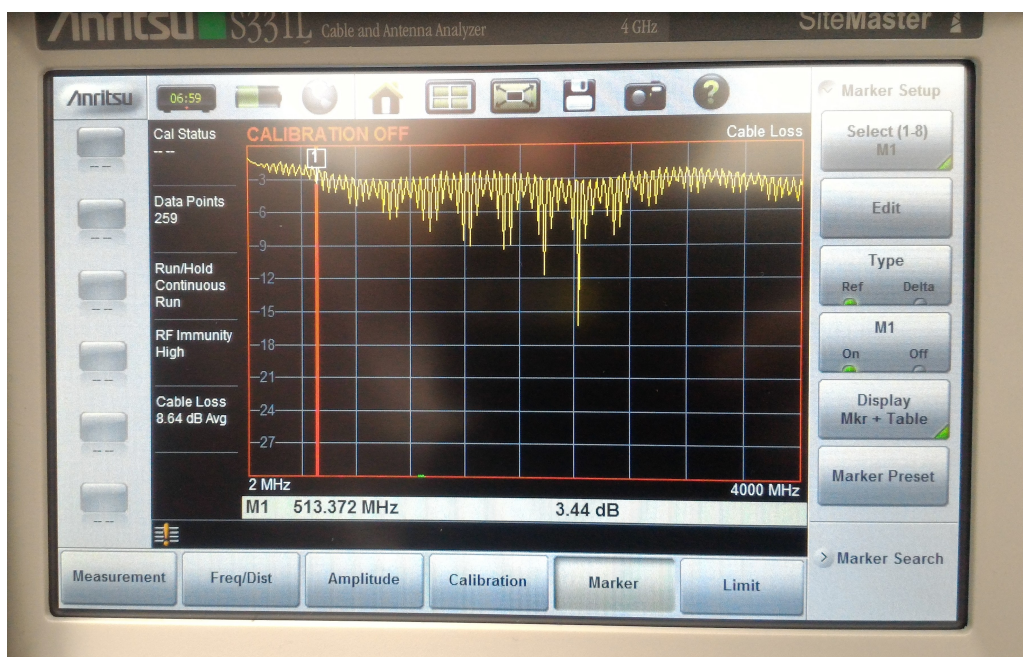


Obr. 2.2: Frekvenční závislost útlumu kabelu ZZF G686 561 B CE

Dále je vyfoceno měření útlumu kabelu RG 598/U obr.2.3 a kabelu LLC200 low loss 50  $\Omega$  NFC/HYT 3D obr.2.4.



Obr. 2.3: Frekvenční závislost útlumu kabelu RG 598/U



Obr. 2.4: Frekvenční závislost útlumu kabelu LLC200 low loss 50  $\Omega$  NFC/HYT 3D

### **Kontrolní otázka**

Který z měřených kabelů je nejvhodnější pro přenos signálu o větším frekvenčním pásmu. Své tvrzení zdůvodněte.

### **Odpověď**

Nejvhodnějším z měřených koaxiálních kabelů pro přenos většího rozsahu frekvencí je kabel RG 598/U, jelikož jeho útlum s frekvencí klesá nejpomaleji.

### **2.1.4 Závěr**

Měřením byly ověřeny frekvenční závislosti útlumu vybraných koaxiálních kabelů. Z výsledků je patrné, že nejstrmější průběh frekvenční závislosti útlumu má kabel LLC LOW LOSS 50 $\Omega$ , který útlumu 3 dB dosahuje již při frekvencích okolo 500 MHz. Nejvíce pozvolný průběh útlumu má kabel RG 598/U, který tohoto útlumu dosahuje až při frekvencích okolo 1,4 GHz.

## 2.2 Měření závislosti činitele odrazu na impedanci koaxiálních kabelů

### 2.2.1 Zadání

Pomocí analyzátoru Anritsu S331L změřte závislosti činitele odrazu na impedanci alespoň tří typů koaxiálních kabelů. Naměřené charakteristiky vyobrazte a porovnejte. Měřte v rozsahu maximálně do 4 GHz při měření kabelu s odporem 50  $\Omega$ .

### 2.2.2 Teoretický úvod

Charakteristická, nebo také vlnová, impedance je dána poměrem napětí a proudu. V libovolné části ideálního homogenního metalického vedení je vyjádřena v komplexním tvaru  $\overline{Z}_C$ .

Je jedním ze sekundárních parametrů vedení.

Charakteristickou impedanci vedení lze určit na základě měření vzorku nakrátko a naprázdno ( $\overline{Z}_K, \overline{Z}_0$ ).

Následně je vypočtena jako geometrický střed těchto hodnot.

$$\overline{Z}_C = \sqrt{\overline{Z}_V \cdot \overline{Z}_K} \quad (2.1)$$

Vztah je přesný pro vedení geometricky krátká s malým činným odporem. Dále platí

$$\gamma = \beta - j\alpha \quad (2.2)$$

$$\alpha = \omega \cdot \sqrt{L_0 \cdot C_0} \quad (2.3)$$

Na elementu vedení délky 1 m budeme uvažovat ideální bezztrátové vedení, kde je nulový odpor i svod. Potom lze charakteristickou impedanci určit vztahem

$$\overline{Z}_V = \sqrt{\frac{L_K}{C_P}}, \quad (2.4)$$

Ve vztahu (2.4) je indukčnost vedení zkratovaného páru  $L_K$  a kapacita mezi těmito vodiči rozpojeného páru  $C_P$ .

Kapacitu a indukčnost můžeme měřit pomocí měřiče RLC a pomocí uvedených vztahů vypočítat charakteristickou impedanci. Postup při tomto měření by byl následovný: Na měřiči RLC nastavíme frekvenci měřicího signálu na  $f=100$  kHz. Pro měření kapacity nastavíme funkci C-D. Můstek bude měřit kapacitu (C) a ztrátový činitel (D). Sousední vodiče je přitom nutné připojit k zemnímu vodiči, aby se neuplatňovala kapacita mezi nimi. Pro měření indukčnosti se měřič nastaví do funkce L-R. Můstek tak měří složky náhradního schématu  $L_s$  a  $R_s$ . Změří se indukčnost vedení na krátko  $L_k$ . Následuje výpočet charakteristické impedance ze vztahu 2.4.

Impedanci je třeba vypočítat pro celou škálu frekvencí, aby bylo dosaženo požadované přesnosti.

### Smithovy diagramy

Smithův diagram graficky znázorňuje závislosti činitele odrazu na impedanci kabelu v komplexní rovině. Činitel odrazu  $\bar{R}$  je vektor v komplexní rovině, jdoucí z počátku souřadnic do bodu odpovídajícímu příslušné impedanci. Impedance je v diagramu vynesena pomocí parametrických čar.

Činitel odrazu je obecně definován vztahem:

$$\bar{R} = \frac{\bar{Z} - Z_0}{\bar{Z} + Z_0}, \quad (2.5)$$

kde  $Z_0$  představuje charakteristickou impedanci vedení. Ta je u bezztrátového nebo nezkreslujícího vedení reálným číslem.  $\bar{Z}$  je impedance na konci vedení, případně impedance zátěže  $\bar{Z}_k$ . Ve Smithově diagramu jsou veličiny vyneseny v poměrných hodnotách. Impedance jsou vztaženy na charakteristickou impedanci a délka vedení je vztažena k vlnové délce.

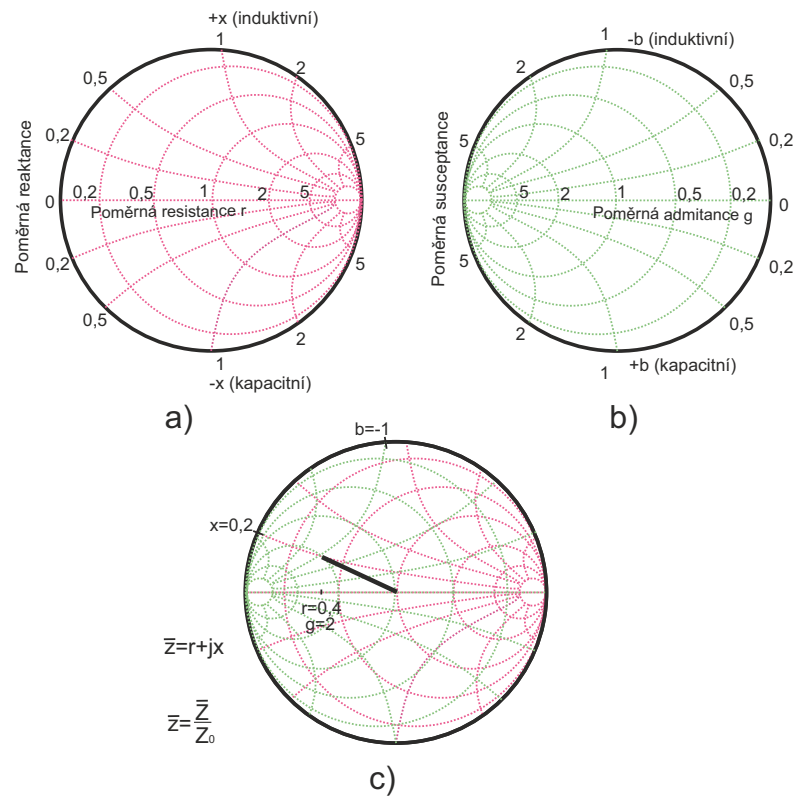
Vztah pro činitel odrazu je tak upraven na:

$$\bar{R} = \frac{\bar{z} - 1}{\bar{z} + 1}, \quad \bar{z} = \frac{\bar{Z}}{Z_0} \quad (2.6)$$

Vyhledem k tomu, že je činitel odrazu komplexní číslo, je nutné jej vykreslovat do grafu s reálnou částí na vodorovné ose a imaginární částí na svislé ose.

Smithův diagram v sobě zahrnuje reaktance i impedance vedení.

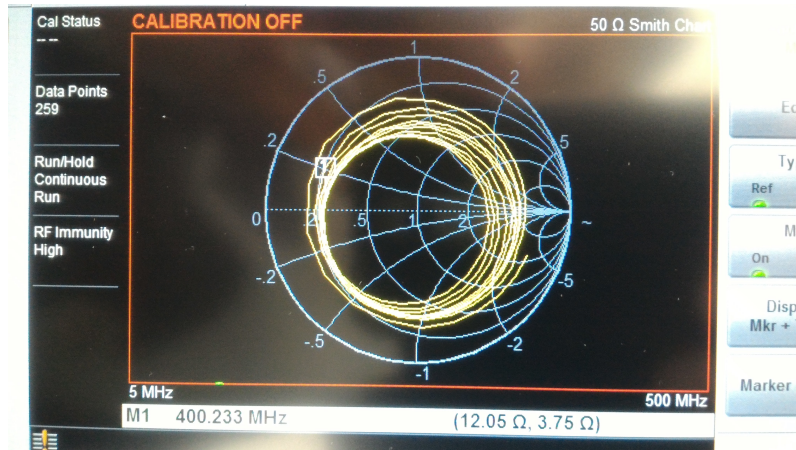
Na obrázku 2.5 a) je Smithův diagram pro zobrazení reaktancí. Na obrázku 2.5 b) je zobrazení admitancí. Výsledný smithův diagram je spojením těchto dvou 2.5c).



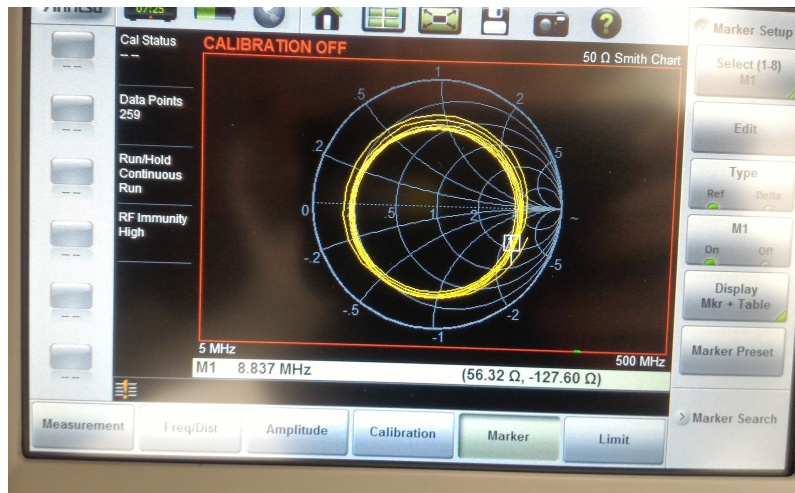
Obr. 2.5: Činitel odrazu ve Smithově diagramu a) impedanční parametry b) admitanční parametry c) obraz činitele odrazu

### 2.2.3 Výsledky měření pomocí analyzátoru SiteMaster S331L

Po připojení koaxiálního kabelu měříme nastavením frekvence od 5 MHz do 4 GHz a amplitudy od 0 dB do 15 dB měření *Smith chart*, jak je uvedeno v návodu k laboratorní úloze. Měření získáme grafy vyfocené na obrázku 2.6 pro kabel ZZF G686 561 B CE, obr.2.7 pro kabel RG598/U a obr.2.8 pro kabel LLC200 low loss 50  $\Omega$  NFC/HYT 3D. Ve výsledných Smithových diagramech lze kurzorem odečítat impedanci pro jednotlivé frekvence.



Obr. 2.6: Závislost činitele odrazu kabelu ZZF G686 561 B CE



Obr. 2.7: Závislost činitele odrazu kabelu RG598/U



Obr. 2.8: Závislost činitele odrazu kabelu LLC200 low loss 50 Ω NFC/HYT 3D

## 2.2.4 Kontrolní otázka

Který kabel je vhodný pro přenos signálu o nižší frekvenci a který pro přenos vyšších frekvencí?

### Odpověď

Z naměřených charakteristik je pro přenos vysokých frekvencí nejvhodnější kabel RG 598/U a pro přenos nízkých frekvencí postačí kabel ZZF G686 561 BE class A. Kabel LLC 200 je také spíše vhodný pro vyšší frekvence.

## 2.2.5 Závěr

Měřením byly ověřeny frekvenční činitele odrazu na impedanci koaxiálních kabelů. Získané výsledky byly znázorněny v grafech, Smithových diagramech, a porovnány. Z výsledků je patrné, že nejvhodnější kabel pro vyšší frekvence signálu je RG 598/U.

## 2.3 Měření kabelů UTP

### 2.3.1 Zadání

Seznamte se s přístrojem Multi LAN 350. Prostudujte jeho obsluhu.

Proveďte jednoduchý test (SINGLE TEST od strany 28 příloženého manuálu) pro parametry Attenuation, Length a Return Loss. V rámci úlohy změřte útlum, útlum zpětného odrazu, případně také impedanci, nebo délku kabelů UTP cat6 a cat7. Naměřené výsledky porovnejte s maximálními přípustnými hodnotami pro dané kabely.

### 2.3.2 Teoretický úvod

Měření je důležité pro správnou funkčnost strukturované kabeláže. Pro telekomunikační vedení jsou platné mezinárodní standardy důležité pro zabezpečení spolehlivého provozu aplikací. Dnes nejvyžívanější jsou kabely UTP CAT5e a CAT6. Zapojení kabelu UTP je popsáno na obrázku 1.3.

**Útlum kabelu** Útlum kabelu se měří měřením Attenuation. Útlum udává rozdíl mezi velikostí signálu na vstupu vedení a velikostí signálu na konci vodiče, který je způsoben především odporem, který vodič klade přenášenému signálu. Pro větší frekvence bývá útlum kabelu větší. Pro menší průměr vodiče je útlum také větší. Útlum kabelu lze určit vztahem výkonu signálu na vstupu vedení ( $P_1$ ) a na výstupu vedení ( $P_2$ ).

$$A(dB) = 10 \log \frac{P_2}{P_1} \quad (2.7)$$

**Měrný útlum** Měrný útlum kabelu představuje kolikrát se zmenší výkon po průchodu signálu kabelem jednotkové délky. Měrný útlum se určí dělením útlumu délkou kabelu.

$$A(dB/m) = A(dB)/l(m) \quad (2.8)$$

Délka kabelu má přímou úměru k velikosti útlumu.

Útlum zpětného odrazu Jedná se o ztrátu výkonu vzniklou odrazem signálu v přenosové lince. Ten vzniká z důvodu rozdílné impedance různých částí kabelu. Díky těmto impedančním rozdílům se část energie vrací zpět k vysílači. Při měření zpětného odrazu je měřený signál vyslán do kabelu a měří se signál odražený zpět. Útlum zpětného odrazu na vedení může způsobit nepřizpůsobení impedance zařízení připojeného k síti. Je vyjádřen v (dB), případně v (dB/m). Označován je anglickým výrazem Return Loss. Lze jej určit následujícím vztahem (2.7).

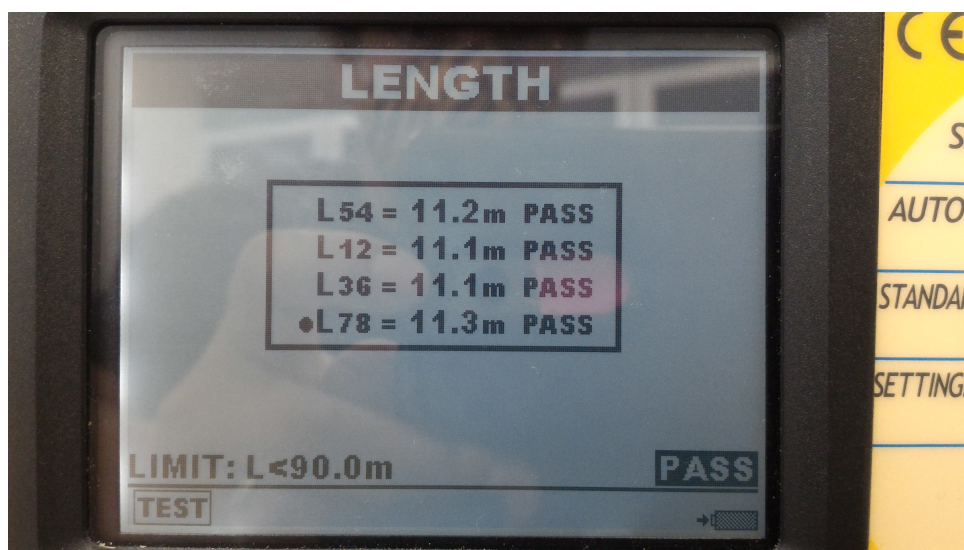
$$A_{RL} (dB) = 10 \cdot \log_{10} \frac{P_{in}}{P_{return}} \quad (2.9)$$

Kde  $A_{RL}(dB)$  je ztráta odrazem v dB,  $P_{in}$  je výkon dopadající do vedení a  $P_{return}$  je výkon odražený.

Pro měření impedance vedení je nutné zařízení, které je schopno analyzovat vstupní napětí naprázdno, proud procházející vedením při zatížení a napětí na výstupu vedení.

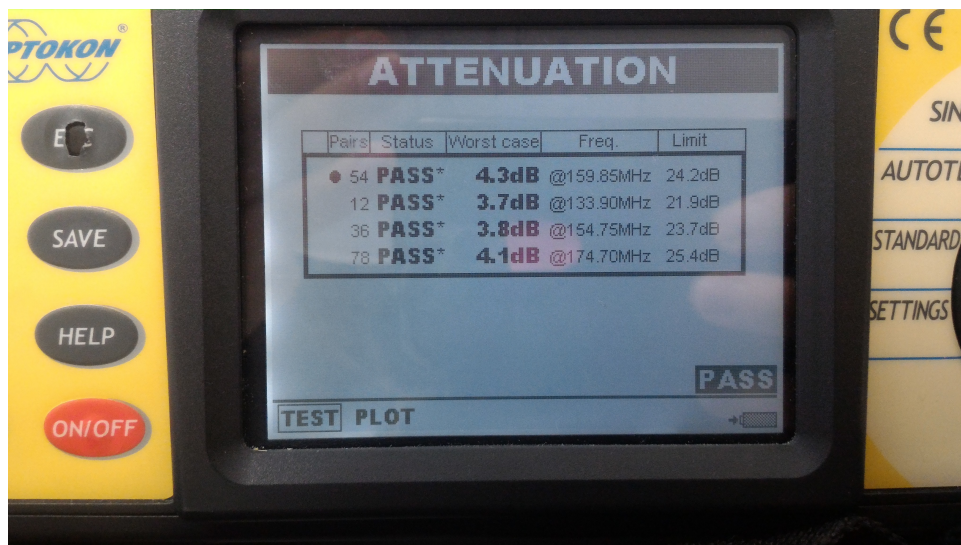
### 2.3.3 Výsledky měření

Určení délky prvního měřeného kabelu, kterým byl kabel UTP cat7 je vyobrazeno na obrázku 2.9. Na obrázku 2.10 je změřen útlum prvního kabelu. Na obr.2.11 je změřen útlum zpětného odrazu signálu. Během měření byla také určena impedance kabelu UTP cat7 obr.2.12. V tabulce 2.2 jsou naměřené parametry přehledně vyobrazeny.

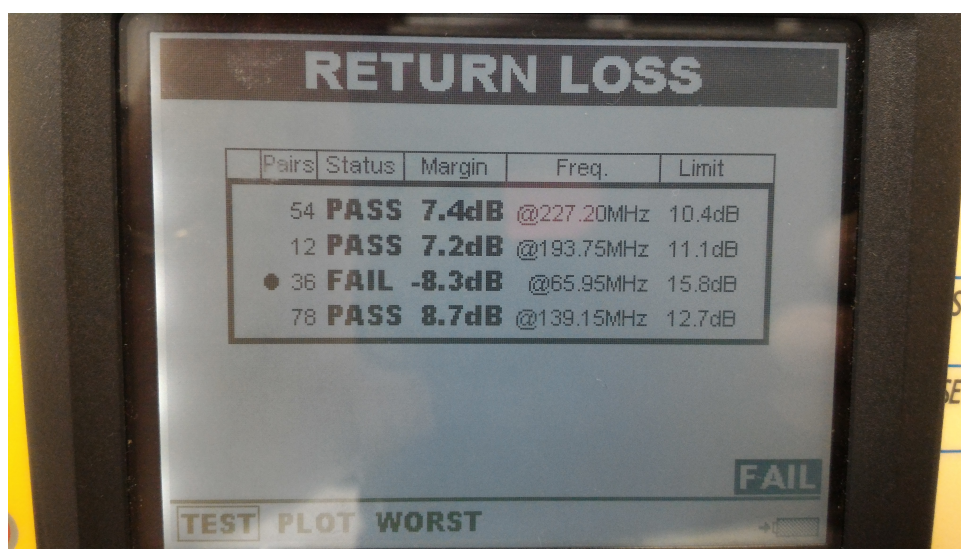


Obr. 2.9: Určení délky kabelu UTP cat7

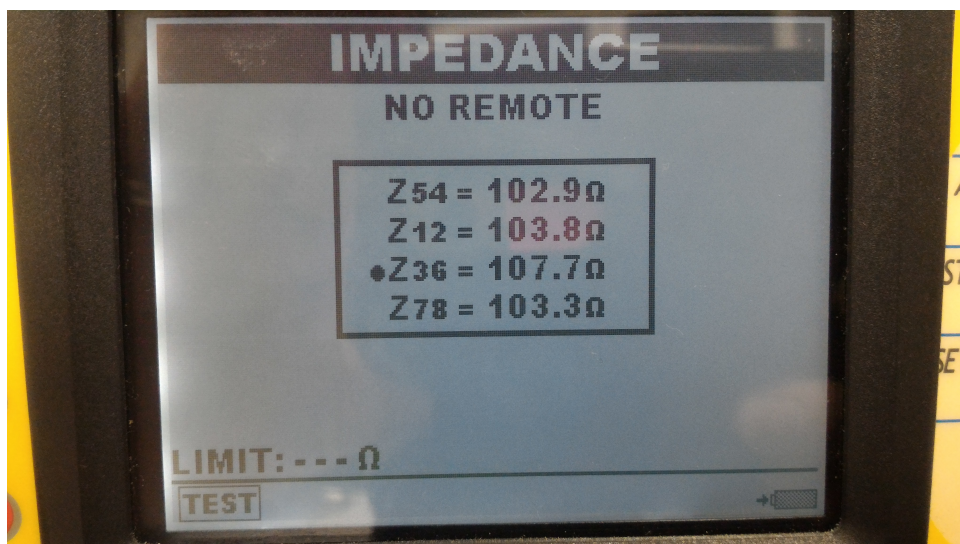
Po měření prvního kabelu byl do měřicí soustavy připojen druhý kabel UTP cat6. Při měření jeho parametrů byla změřena jeho délka na obr.2.13 útlum na obr.2.14, útlum zpětného odrazu na obr.2.15 a impedance obr.2.16.



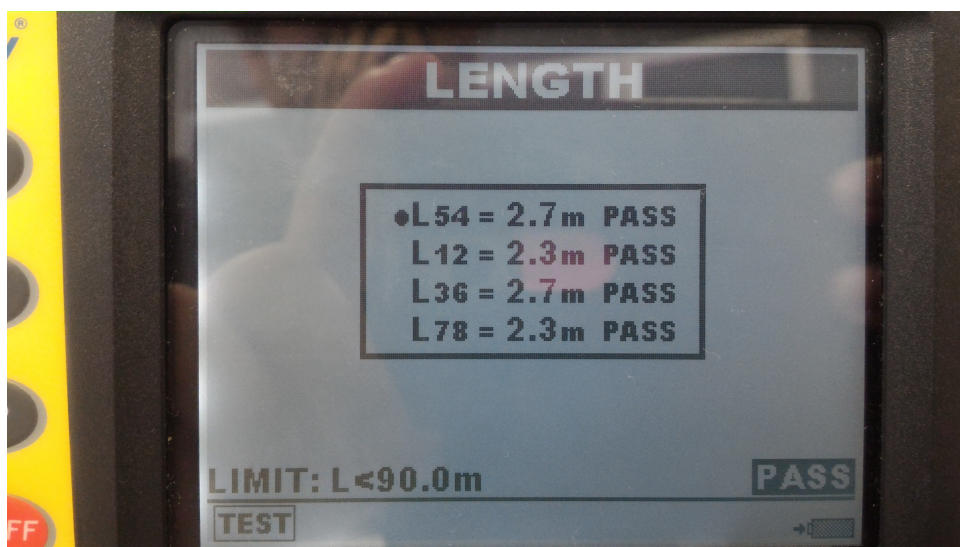
Obr. 2.10: Určení útlumu kabelu UTP cat7



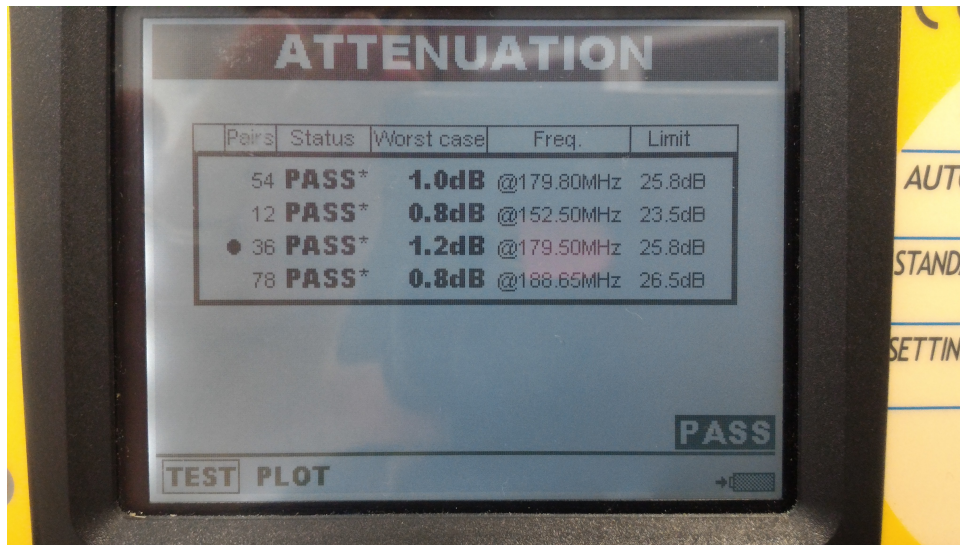
Obr. 2.11: Určení útlumu zpětného odrazu kabelu UTP cat7



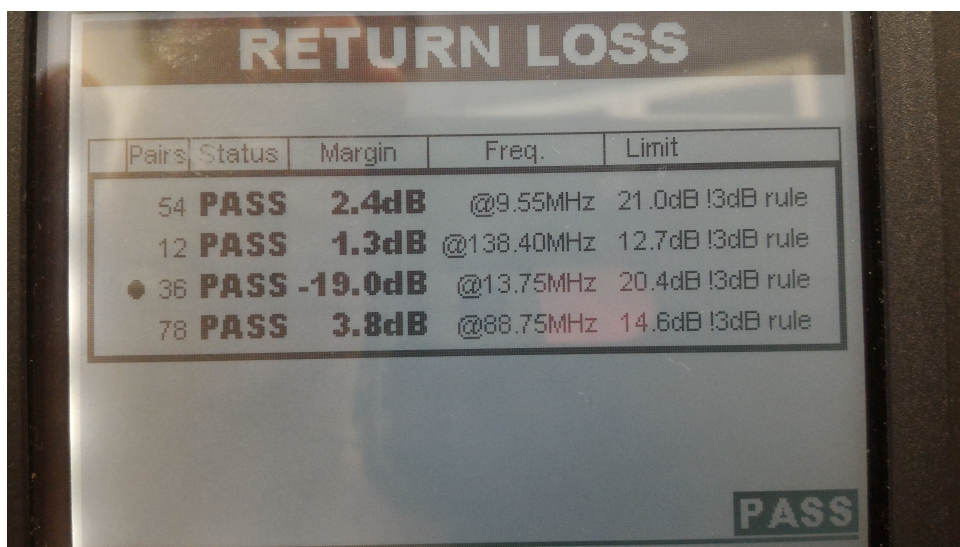
Obr. 2.12: Určení impedance kabelu UTP cat7



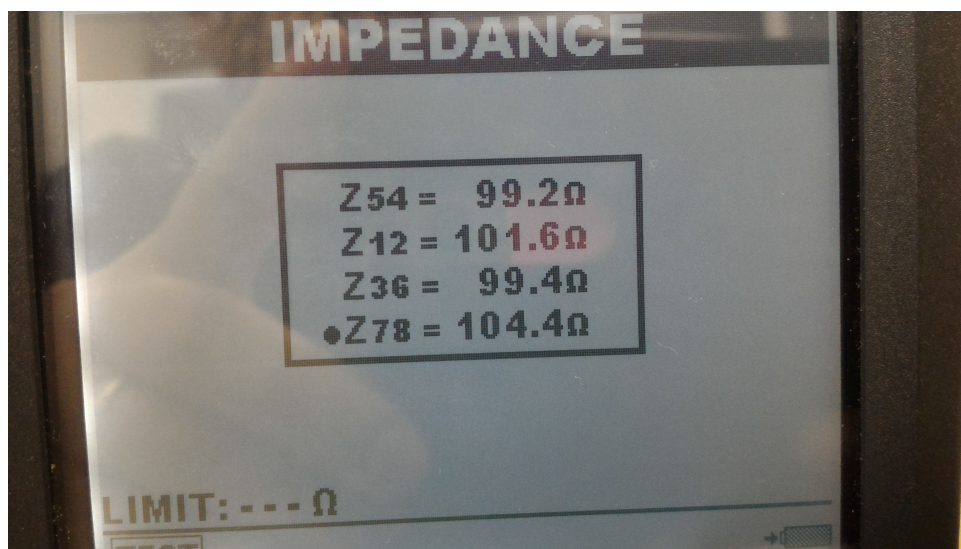
Obr. 2.13: Určení délky kabelu UTP cat6



Obr. 2.14: Určení útlumu kabelu UTP cat6



Obr. 2.15: Určení útlumu zpětného odrazu kabelu UTP cat6



Obr. 2.16: Určení impedance kabelu UTP cat6

Kabel	Pár	Útlum [dB]	Útlum zpět. odrazu [dB]	Impedance [Ω]	Délka[m]
UTP cat 6	5-4	1	2,4	99,2	2,7
	1-2	0,8	1,3	101,6	2,3
	3-6	1,2	-19	99,4	2,7
	7-8	0,8	3,8	104,4	2,3
UTP cat 7	5-4	4,3	7,4	102,9	11,2
	1-2	3,7	7,2	103,8	11,1
	3-6	3,8	-8,3	107,7	11,1
	7-8	4,1	8,7	103,4	11,3

Tab. 2.2: Tabulka změřených parametrů kabelů UTP

### 2.3.4 Kontrolní otázka

Z jakého důvodu můžou být některé parametry u jednoho páru výrazně odlišné od ostatních párů?

**Odpověď** Výrazně odlišné, případně nesmyslné výsledky měření mohou vzniknout u páru, který je přerušovaný, nebo na něm vznikla chyba.

### 2.3.5 Závěr

Měřením byly ověřeny vlastnosti kabelů UTP cat6 a UTP cat7. Kabel UTP cat7 byl delší, měl tedy očekávaně vyšší impedanci, útlum i hodnotu útlumu zpětného odrazu. Útlum kabelů ovšem nepřesáhl maximální dovolené hodnoty. Nejvyšší dovolená hodnota útlumu je například pro kabel UTP cat6 s PVC pláštěm při frekvenci signálu 10 MHz rovna 5,6 dB a s frekvencí roste.

## Závěr

Úkolem bakalářské práce bylo navržení nových laboratorních úloh pro měření parametrů telekomunikačních vedení. Jedním z cílů bylo zařazení vektorového síťového analyzátoru do měření laboratorních úloh.

V teoretické části práce jsou rozebrány parametry vedení, popsán koaxiální kabel a nestíněná kroucená dvojlinka. Zadání, teorie obsažená v práci a návod k obsluze zařízení budou studentům sloužit jako podklady k měření. Na základě podkladů a výsledků měření by měli studenti lépe porozumět parametrům jednotlivých přenosových médií a být schopni se rozhodnout, ve kterých aplikacích je vhodné tato média použít.

Praktickou částí práce bylo navržení laboratorních úloh měření s využitím dostupných zařízení. Výsledkem práce je kompletní zpracování tří úloh, konkrétně měření útlumové charakteristiky koaxiálních kabelů, měření závislosti činitele odrazu na impedanci koaxiálních kabelů a měření kabelů UTP. K těmto úlohám bylo vytvořeno zadání, zpracována teorie, vzorové vypracování úloh, které může vyučujícímu sloužit jako předloha do laboratorních cvičení a je vloženo jako příloha této práce.

V teoretické části jsou rozebrány vlastnosti vedení telekomunikačních sítí, jejich základní charakteristiky, hlavně primární a sekundární parametry.

Jednou z nejtěžších částí práce bylo naučit se pracovat se zařízením Site Master S331L od firmy ANRITSU. K zařízení našťestí existuje manuál od výrobce. Analyzátor nabízí možnost měření dalších parametrů a rozšíření pomocí externích modulů. Bude tak možné jej v budoucnu využít i pro další úlohy.

Výsledkem práce je rozšíření výuky o nové laboratorní úlohy.

# Literatura

- [1] *Přenosová média*. Prof. Ing. Miloslav Filka, CSc. Brno: 2011. 202 s. Skriptum VUT v Brně
- [2] *Komunikační technologie*. Doc. Ing. Jan Jeřábek, Ph.D. Brno: 2019. 176 s. Skriptum VUT v Brně
- [3] *Telecommunication wiring 2nd ed.* HERRICK, Clyde N. a C. Lee MCKIM Upper Saddle River, N.J.: Prentice Hall PTR, c1998. ISBN 978-0136328452.
- [4] *Optoelektronika: Pro telekomunikace a informatiku. Vyd. 1.* Prof. Ing. Miloslav Filka, CSc. Brno: Centa, 2009. 369 s. ISBN 978-80-86785-14-1
- [5] *The Essentials of Vector Network Analysis From  $\alpha$  to  $Z_0$*  Anritsu Company United States, 2009-01. PN: 11410-00476A
- [6] *Přístupové a transportní sítě* Škorpil, V., Kapoun, V., Gregořica, M. FEKT VUT, Brno: 2009.
- [7] Internetový portál srovnání poskytovatelů internetového připojení dostupný z [www.porovnejsito.cz](http://www.porovnejsito.cz), 2019

# Příloha č.1 Pracovní postupy k měření laboratorních úloh

## Zařízení Anritsu Site Master S331L



Obr. 2.17: Anritsu-Fotografie zařízení

Site Master S331E je kabelový a anténní analyzátor se spektrálním analyzátozem. Umožňuje měření a práci se signály od 9 kHz do 4 GHz. Umožňuje uživatelům efektivně udržovat nejen starší sítě, ale i nové 3G a 4G sítě.

Výkon přeneseného signálu vedením může být ovlivněn odrazem signálu a ztrátami na vedení. K odrazu signálu dochází, když se radiofrekvenční signál odrazívá v důsledku rozdílné impedance, nebo změnami velikosti impedance uprostřed vedení způsobenými nadměrným ohýbáním, zauzlením apod. Ztráty jsou způsobeny útlumem signálu, který prochází přenoovým vedením a konektory.

Pro ověření efektivnosti přenosu po vedení je vhodné analyzovat tři typy parametrů:

- Útlum zpětným odrazem (Return Loss)
- Ztráty na vedení (Cable Loss)
- Vzdálenost k poruše (Distance-To-Fault)

Pro měření těchto průběhů použijte měření následujících průběhů:

- Return Loss - System Sweep
- DTF - Load Sweep
- Cable Loss Sweep.

### ***Popis jednotlivých měření***

#### **Return Loss/VSWR**

Měření útlumu zpětného odrazu měří odražený signál v decibelech (dB). Měření je možné provést v režimu stojatých vln (SWR), což je poměr přenesené energie vůči odražené.

Měření se provádí při rozpojení na konci vedení, nebo pouze měřením vedení. Analizuje se, jak jsou jednotlivé komponenty propojeny a jak moc vznikají ztráty zpětným odrazem signálu.

#### **Cable Loss**

Měření ztrát na vedení se určí, kolik energie je absorbováno, nebo ztraceno, přenosem signálu po vedení v dB/m nebo dB/ft. Různé typy vedení mají různé hodnoty ztrát, které jsou frekvenčně závislé a závislé na délce vedení. Vyšší frekvence a větší délka vedení zvyšují ztráty.

Měření probíhá při zkratování konce vedení.

#### **Distance-To-Fault**

Umožňuje nalézt umístění poruchy vedení. Objeví chyby typu vadný konektor, propojka, zlomení kabelu, nebo vniknutí vlhkosti do kabelu.

Měření probíhá při připojeném rezistoru hodnoty 50  $\Omega$  na konci vedení.

Vlastnosti kabelového a anténního analyzátoru:

- Měření: Útlum zpětného odrazu (return loss), VSWR, útlum kabelu (cable loss), vzdálenost k chybě (distance-to-fault), fázový posuv, impedance.
- Dvouportové měření přenosu pomocí vysokého a nízkého výkonu.
- Rychlé čtení dat: 1 ms/datový bod
- Dotykový displej se zobrazením jednoho, nebo dvou měření
- Výdrž baterie až 4 hodiny

Pomocí nástroje EasyTest Tools je možné vytvářet, nahrávat a zobrazovat na obrazovce pracovní pokyny. Tím je možné ulehčit práci méně zkušeným uživatelům.

Funkce analyzátoru

- Analyzátor kabelů a antén: 2 MHz - 4 GHz
- Spektrální analyzátor: 9 kHz - 4 GHz

- Útlum zpětného odrazu, ztráty na vedení, VSWR, vzdálenost k poruše, Smithovi diagramy, 1-port phase

Zařízení lze ovládat buď pomocí tlačítek šipek, dotykovou obrazovkou, nebo otočným ovladačem.

## Pracovní postup měření útlumu zpětného odrazu

1. Ověřte, že je analyzátor v režimu Cable and Antenna Analyzer a nastavte jednotky.
2. Stiskněte klávesu **Measurement**, následně stiskněte tlačítko Return Loss.
3. V případě kalibrace stiskněte tlačítko Shift a následně Calibrate. Poté stiskněte Start Cal a pokračujte podle instrukcí na displeji. Jinak pokračujte na bod 10
4. Po kalibraci nastavte offset na 20 dB.
5. Stiskněte tlačítko Amplitude, pro nastavení Top na 17 dB a Bottom na 23 dB.
6. Ověřte, že je trasa vykreslena mezi 18,3 dB a 21.7 dB.
7. Stiskněte tlačítko Marker a následně Marker to Peak. Uložte si hodnotu a následně změřte Marker to Valley pomocí daného tlačítka. Zaznamenejte si největší rozdíl.
8. Měření opakujte při změně offsetu z 20 dB na 6 dB. Amplitude Top nastavte na 4 dB a Bottom na 8 dB. Ověřte, že je graf mezi 4,8 dB a 7,2 dB.
9. Stiskněte tlačítko Marker a následně Marker to Peak. Uložte si hodnotu a následně změřte Marker to Valley pomocí daného tlačítka. Zaznamenejte si největší rozdíl.
10. Připojte měřený kabel k R/F Out. K připojení můžete použít vhodného adapteru.
11. Stisknutím Amplitude nastavte počáteční a konečnou hodnotu amplitudy, která bude zobrazena.
12. Stisknutím Marker nastavíte kurzory.
13. Stiskněte Measurement a zvolte požadované měření (Return Loss, Smith Chart, Cable Loss,...) a spusťte.
14. Stisknutím tlačítka Marker můžete procházet naměřený graf v jednotlivých bodech. Vytiskněte si důležité hodnoty na jednotku USB, nebo opiště.
15. Měření je možné uložit pomocí funkce Print na jednotku USB, doporučujeme však naměřené výsledky vyfotit.

Měření dalších parametrů provedete obdobným způsobem, zvolíte pouze požadovaný typ parametru, který chcete měřit (např. Cable Loss).

### **Měření rozdílu fázového posunu dvou kabelů**

1. Stiskněte Measurement.
2. Následně v menu vyberte More.
3. Vyberte 1-Port Phase.
4. Stiskněte Freq/Dist pro nastavení počáteční a konečné frekvence měření.
5. Připojte kabel určený k měření a změřte jej. Zkopírujte průběh stisknutím Copy Trace To Display Memory.
6. Místo prvního kabelu připojete druhý měřený a provedte stejné měření.
7. Stiskněte Trace - Memory pro zobrazení rozdílů mezi prvním a druhým kabelem.

**Měření Smithových diagramů** Následující popis určuje měření Smithových diagramů pomocí zařízení Anritsu.

1. Stiskněte Measurements.
2. Vyberte More a následně Smith Chart.
3. Stiskněte Freq/Dist pro nastavení počáteční a konečné frekvence měření.
4. Připojte kabel určený k měření a změřte jej. Zkopírujte průběh stisknutím Copy Trace To Display Memory.

Originální popis zařízení je na adrese <https://dl.cdn-anritsu.com/en-us/test-measurement/files/Manual/10580-00253K.pdf>

## Měření parametrů UTP kabelů pomocí Multi LAN 350

Pomocí měřicí soustavy Multi LAN 350 lze měřit velkou škálu parametrů vedení. Je možné měřit měřicí frekvencí od 1 MHz do 350 MHz a útlum od 0 do 40 dB. Zařízení měří pro tuto úlohu důležité parametry: útlum signálu (attenuation), délku (length), útlum zpětného odrazu (return loss), impedanci kabelu. Fotografie měřicího zařízení je vyobrazena na obrázku 2.18

### Pracovní postup měření parametrů kabelů UTP

1. Zapněte obě části zařízení Multi LAN 350.
2. Vpravo na přepínači nastavte SINGLETEST.
3. Připojte měřený kabel UTP k oběma částem zařízení.
4. Šipkami vyberte měření LENGTH a změřte délku vedení jednotlivých párů.
5. Naměřené parametry si zaznamenávejte.
6. Opakováním postupu vyberte měření impedance, útlumu, útlumu zpětného odrazu.



Obr. 2.18: Fotografie zařízení MultiLAN 350

# Seznam příloh

Příloha č.1 Pracovní postupy k měření laboratorních úloh