



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

## ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY

DEPARTMENT OF RADIOENGINEERING

## MĚŘENÍ ZÁKLADNÍCH PARAMETRŮ SYSTÉMU LTE

TESTING OF THE LTE BASIC PARAMETERS

### BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Jan Hocz

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

prof. Ing. Stanislav Hanus, CSc.

BRNO 2020

# Bakalářská práce

bakalářský studijní program **Elektronika a komunikační technologie**

Ústav radioelektroniky

**Student:** Jan Hocz

**ID:** 203232

**Ročník:** 3

**Akademický rok:** 2019/20

**NÁZEV TÉMATU:**

## Měření základních parametrů systému LTE

### POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Prostudujte zpracování signálů v mobilním systému LTE v uplinku i downlinku. Na základě získaných poznatků vyberte vhodné parametry systému LTE, které bude možné měřit s přístroji dostupnými v laboratoři mobilních komunikací na UREL. Vybrané přístroje, včetně jejich základních parametrů, stručně popište. U každého vybraného parametru systému LTE uveďte jeho definici a podrobně popište způsob jeho měření s konkrétními typy přístrojů. Dále navrhnete zadání laboratorní úlohy, ve které si studenti prakticky ověří měření vybraných parametrů systému LTE. Sestavte vzorový protokol laboratorní úlohy, včetně tabulek připravených pro praktické měření.

### DOPORUČENÁ LITERATURA:

- [1] ELNASHAR, Ayman. Design, deployment and performance of 4G-LTE networks: a practical approach. Chichester, West Sussex, United Kingdom: Wiley, 2014. ISBN 978-1-118-68321-7.
- [2] FURHT, Borivoje a Syed AHSON. Long Term Evolution: 3GPP LTE radio and cellular technology. Boca Raton, FL: CRC Press/Taylor & Francis, c2009. ISBN 9781420072105.
- [3] HOLMA, Harri a Antti TOSKALA. LTE for UMTS: OFDMA and SC-FDMA based radio access. Chichester, U.K.: Wiley, 2009. ISBN 0470994010.

**Termín zadání:** 3.2.2020

**Termín odevzdání:** 4.6.2020

**Vedoucí práce:** prof. Ing. Stanislav Hanus, CSc.

**prof. Ing. Tomáš Kratochvíl, Ph.D.**  
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 práce se zabývá stručným seznámením se systémem LTE a jeho zpracováním signálu v uplinku a downlinku. Dále je popsáno několik základních parametrů, které musí zařízení dodržovat pro správnou funkci. Tyto parametry jsou rozděleny podle toho, jestli se jedná o vysílač nebo o přijímač. Z těchto parametrů byly vybrány ty, které lze měřit ve školních laboratořích pomocí dostupných přístrojů. Pro měření těchto parametrů byl připraven návod k laboratorní úloze. Dále byl také nachystán vzorový protokol s připravenými tabulkami, pro usnadnění zaznamenání naměřených výsledků.

## **Klíčová slova**

LTE, parametr, měření, vysílač, přijímač, kanál

## **Abstract**

This thesis deals with brief introduction to LTE system and processing of signal in uplink and downlink. There is also presented some basic parameters that must be met for correctly working equipment in system. These parameters are divided for transmitter and receiver. From these parameters were chosen those, which can be measured in school labs with available measurement devices. For measuring these parameters were created instructions. For easier record of measured data was prepared protocol with blank tables.

## **Keywords**

LTE, parameter, measurement, transmitter, receiver, channel

## **Bibliografická citace:**

*HOCZ, Jan. Měření základních parametrů systému LTE. Brno, 2020 Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/126108>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav radioelektroniky. Vedoucí práce Stanislav Hanus.*

## **Prohlášení**

„Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma Měření základních parametrů systému LTE 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 jsem si 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.

V Brně dne:

.....

podpis autora

## **Poděkování**

Děkuji vedoucímu bakalářské práce prof. Ing. Stanislavu Hanusovi, CSc. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc, a mé sestře Anně za pomoc při korekci mé bakalářské práce.

V Brně dne:

.....  
podpis autora

# Obsah

1.	Úvod .....	11
2.	Stručný popis systému LTE .....	12
2.1	Kmitočtová pásma systému LTE .....	12
2.2	Přenos rádiovým kanálem.....	13
2.2.1	Struktura rámců.....	13
2.2.2	Struktura bloků.....	14
2.2.3	Přenos v downlinku .....	16
2.2.4	Přenos v uplinku.....	17
3.	Základní parametry systému LTE .....	18
3.1	Měření parametrů vysílače.....	18
3.1.1	Maximální a minimální výstupní výkon.....	18
3.1.2	Velikost chybového vektoru .....	19
3.1.3	Prosakování nosné .....	19
3.1.4	Měření emise přiřazených RB do nepřirazených RB .....	20
3.1.5	Šířka využitého pásma.....	20
3.1.6	Maska spektrální emise.....	20
3.1.7	Adjected Channel Leakage Power Ratio .....	21
3.1.8	Měření rušivé emise .....	22
3.1.9	Přenesená intermodulace .....	22
3.2	Měření parametrů přijímače.....	23
3.2.1	Referenční úroveň citlivosti.....	23
3.2.2	Maximální vstupní výkon .....	24
3.2.3	Selektivita sousedního kanálu.....	24
4.	MĚŘICÍ Přístroje a software.....	25
4.1	Vektorový signální generátor SMU200A Rohde & Schwarz.....	25
4.2	Analyzátor signálů FSQ8 Rohde & Schwarz.....	26
5.	Závěr.....	27

# Seznam symbolů a zkratek

## Symboly:

P	výkon	[W]
RCLR	Relative carrier leakage ratio	[dB]

## Zkratky:

3GPP	3 <sup>rd</sup> Generation Partnership Project
ACLR	Adjected Channel Leakage Power Ratio
ACS	Adjacent Channel Selectivity
AWGN	Additive White Gaussian Noise
CP	Cyclic Prefix
DwPTS	Downlink Pilot Timeslot
EPC	Evolved Packet Core
E-UTRAN	Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network
EVM	Error Vector Magnitude
FDD	Frequency Division Duplex
HSPA	High Speed Packet Access
ICI	Inter Carrier Interference
LTE	Long Term Evolution
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
OFDMA	Orthogonal Frequency Division Multiple Access
PRB	Physical Resource Block
RB	Resource Block
SC-FDMA	Single Carrier -Frequency Division Multiple Access
TDD	Time Division Duplex
UE	User Equipment
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
UpPTS	Uplink Pilot Timeslot
W-CDMA	Wideband Code Division Multiple Access



## Seznam obrázků

Obr. 2.1: Rámec typu 1 (FDD) [4] .....	13
Obr. 2.2: Porovnání referenčních signálů v downlinku a uplinku [3] .....	14
Obr. 2.3: Fyzický zdrojový blok (PBR) [4] .....	15
Obr. 2.4: Zobrazení přidělených PRB pro více uživatelů .....	15
Obr. 2.5: Zobrazení přenosu OFDM symbolů v downlinku [3] .....	16
Obr. 2.6: Zobrazení přenosu OFDM symbolů v uplinku [3] .....	17
Obr. 3.1: Zobrazení EVM v konstelačním diagramu [5] .....	19
Obr. 3.2: Zobrazení kanálu s maskou spektrální emise .....	20
Obr. 3.3: Zobrazení měření ACLR .....	21
Obr. 3.4: Zapojení pro měření přenesené intermodulace[1] .....	23
Obr. 3.5: Zapojení pro měření ACS [9] .....	24

## Seznam tabulek

Tab. 2.1 Kmitočtová pásma systému LTE [2] .....	12
Tab. 2.2 Konfigurace uplink - downlink pro rámcový typ 2 .....	14
Tab. 2.3: Počet přiřazených PRB v závislosti na šířce kanálu [1].....	14
Tab. 3.1: Maximální hodnota výstupního výkonu v závislosti na výkonové třídě zařízení [1] .....	18
Tab. 3.2: Maximální hodnoty EVM v závislosti na použité modulaci [1] .....	19
Tab. 3.3: Limitní hodnoty RCLR v závislosti na výstupním výkonu zařízení [1] ...	20
Tab. 3.4: Limitní hodnoty spektrální emise [1].....	21
Tab. 3.5: Minimální požadavky pro E-UTRA <sub>ACL<sub>R1</sub></sub> [1].....	21
Tab. 3.6: Minimální požadavky pro UTRA <sub>ACL<sub>R1/2</sub></sub> [1] .....	22
Tab. 3.7: Limitní hodnoty rušivé emise [1] .....	22
Tab. 3.8: Hodnoty úrovně výkonu pro měření citlivosti přijímače [9].....	23
Tab. 3.9: Hodnoty pro měření ACS [9] .....	24
Tab. 4.1: Podporované typy modulací ve vektorovém signálovém generátoru SMU200A [8].....	25

# 1. ÚVOD

Cílem této práce je seznámení se systémem LTE a navrhnutí laboratorní úlohy pro měření základních parametrů tohoto systému. Měření těchto parametrů je důležité z důvodu zajištění bezpečnosti a kvality přenosu signálu. Pokud by některý z parametrů nesplňoval dané požadavky, mohlo by docházet k jevům, které by snížily efektivitu přenosu signálu.

V první části práce je popsán přenos signálu a zpracování datového toku v uplinku a downlinku. Dále je zde představeno několik základních parametrů, které jsou rozděleny v závislosti na tom, zdali se jedná o měření parametrů vysílače nebo přijímače zařízení. V poslední části jsou popsány přístroje, které jsou k dispozici v laboratoři SE7.107 na Ústavu radioelektroniky FEKT VUT v Brně, a lze je použít pro měření požadovaných parametrů.

První přílohou k této práci je návod k laboratorní úloze, týkající se měření základních parametrů vysílače pomocí vektorového signálového generátoru Rohde & Schwarz SMU200A a signálového analyzátoru Rohde & Schwarz FSQ8 s modulem pro měření LTE. Druhou přílohou je vzorový protokol, do kterého je možné zaznamenat výsledky měření této laboratorní úlohy.

## 2. STRUČNÝ POPIS SYSTÉMU LTE

Systém LTE (Long Term Evolution) je následovníkem mobilního systému HSPA+, využívající ryze paketového přenosu. Mezi jeho klíčové vlastnosti patří nižší odezva na rádiovém rozhraní, větší flexibilita použití spektra a jeho spektrální účinnost a také výrazně vyšší přenosová rychlost. Všechny tyto vlastnosti byly definovány a vydány skupinou 3GPP pod označením Release 8, [3].

Celý systém se skládá ze dvou částí: Přístupové sítě E-UTRAN (Evolved Universal Terrestrial Access Network), která zajišťuje spojení uživatelských zařízení UE (User Equipment) a páteřní sítě EPC (Evolved Packet Core). Cílem sítě E-UTRAN je zajistit spojení mezi uživatelskými zařízeními (UEs) a sítí EPC pomocí základnových stanic eNode B. Cílem sítě EPC je správa celkového systému, a to od přiřazení dočasné identifikace, zabezpečení, až po vyúčtování využitých služeb, [3].

### 2.1 Kmitočtová pásma systému LTE

Jelikož je systém LTE evolucí systému UMTS, může používat stejná pásma jako technologie W-CDMA/HSPA. Výhradně pro LTE však byla definována pásma, která jsou uvedena v **Tab. 2.1.**, [3].

**Tab. 2.1 Kmitočtová pásma systému LTE [2]**

Číslo pásma	Uplink	Downlink	Duplexní mód
	MHz	MHz	
1	1920 - 1980	2110 – 2170	FDD
2	1850 – 1910	1930 – 1990	FDD
3	1710 – 1785	1805 – 1880	FDD
4	1710 – 1755	2110 – 2155	FDD
5	824 – 849	869 – 894	FDD
6	830 – 840	875 – 885	FDD
7	2500 – 2570	2620 – 2690	FDD
8	880 – 915	925 – 960	FDD
9	1749,9 – 1784,9	1844,9 – 1879,9	FDD
10	1710 – 1770	2110 – 2170	FDD
11	1427,9 – 1452,9	1475,9 – 1500,9	FDD
12	698 – 716	728 – 746	FDD
13	777 – 787	746 – 756	FDD
14	788 – 798	758 – 768	FDD
33	1900 – 1920	1900 – 1920	TDD
34	2010 – 2025	2010 – 2025	TDD
35	1850 – 1910	1850 – 1910	TDD
36	1930 – 1990	1930 – 1990	TDD
37	1910 – 1930	1910 – 1930	TDD
38	2570 – 2620	2570 – 2620	TDD
39	1880 – 1920	1880 – 1920	TDD
40	2300 – 2400	2300 – 2400	TDD

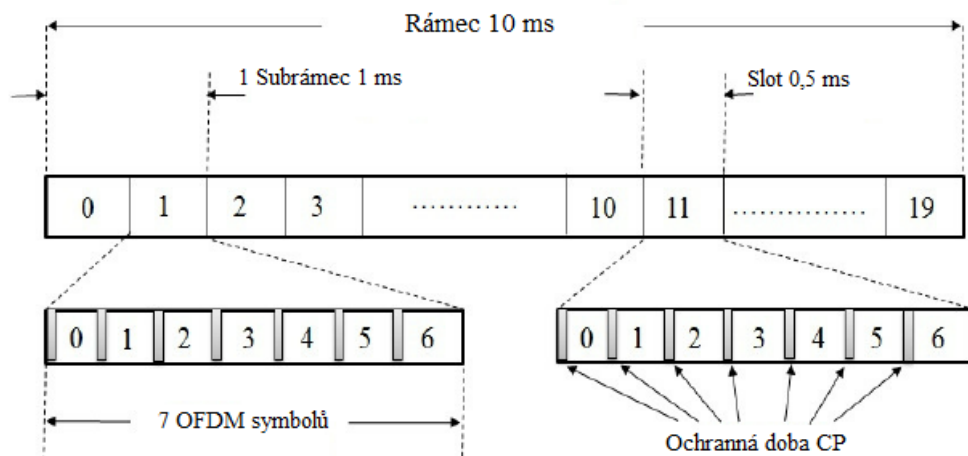
## 2.2 Přenos rádiovým kanálem

V systému LTE jsou data přenášena rádiovým kanálem. Šířka pásma kanálu není pevně dána, ale je zvolena jako jedna ze šesti možných. Pro kmitočtový duplex FDD se využívají kanály o šířce 1,4; 3; 5; 10; 15 a 20 MHz, přičemž volba závisí na počtu přidělených PRBs (Physical Resource Blocks). Pro časový duplex TDD se používají pásma o šířce 1,6 MHz a 3,2 MHz, [3].

### 2.2.1 Struktura rámců

Systém LTE využívá k přenosu datového toku takzvané rámce. Existují dva typy rámců, přičemž jejich typ je odvozen od použitého duplexu. Doba trvání každého rámce je dána vztahem  $T_f = 307\,200 \cdot T_s = 10\text{ ms}$  ( $T_s = 32,55\text{ ns}$  je základní časová jednotka).

**Rámec typu 1** (pro FDD) je rozdělen do dvaceti stejně velkých slotů o délce 0,5 ms. Ty obsahují OFDM symboly, a to 6 nebo 7, v závislosti na délce ochranné doby CP (Cyclic Prefix), která odděluje jednotlivé symboly od sebe. Použití CP omezuje vliv odražených signálů, avšak za cenu snížení přenosové rychlosti. Každé dva po sobě jdoucí sloty tvoří jeden subrámec, tudíž každý rámec je tvořen deseti subrámcemi, [3].



Obr. 2.1: Rámec typu 1 (FDD) [4]

**Rámec typu 2** (pro TDD) je symetricky rozdělen na dva půlrámce o délce 5 ms, které jsou dále rozděleny na pět subrámců o délce 1 ms. Všechny subrámce, které nejsou "speciální subrámce" a přenášejí jen uživatelská data, jsou stejně jako u rámcového typu 1 rozděleny na dva sloty o délce 0,5 ms. Speciální subrámce obsahují informace pro přepínání mezi downlinkem a uplinkem. Jedná se o DwPTS (Downlink Pilot Timeslot) a UpPTS (Uplink Pilot Timeslot). DwPTS a UpPTS mohou mít různou délku. Aby šlo tyto informace od sebe oddělit, je subrámec doplněn pomocí GP (Guard Period), který leží mezi nimi a doplňuje subrámec do délky 1 ms, [3].

Celkem je systémem LTE podporovaných sedm konfigurací rozložení downlinku a uplinku v subrámcích, kde v každé variantě musí být minimálně jeden subrámec přiřazen pro uplink nebo downlink. Je dáno, že po subrámcích s downlinkem musí vždy následovat speciální subrámec. Počet subrámců v jednom rámci závisí na periodě přepínání mezi uplinkem a downlinkem, kde pokud je perioda přepínání 10 ms, objevuje se v rámci pouze jeden speciální subrámec, kdežto pokud je perioda 5 ms, objevují se subrámce dva.

Zobrazení rozložení uplinku (U), downlinku (D) a speciálního subrámece (S) je uvedeno v **Tab. 2.2.**, [3].

**Tab. 2.2 Konfigurace uplink - downlink pro rámcový typ 2 [3]**

Konfigurace	Perioda přepínání	Číslo subrámece									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	5 ms	D	S	U	U	U	D	S	U	U	U
1	5 ms	D	S	U	U	D	D	S	U	U	D
2	5 ms	D	S	U	D	D	D	S	U	D	D
3	10 ms	D	S	U	U	U	D	D	D	D	D
4	10 ms	D	S	U	U	D	D	D	D	D	D
5	10 ms	D	S	U	D	D	D	D	D	D	D
6	5 ms	D	S	U	U	U	D	S	U	U	D

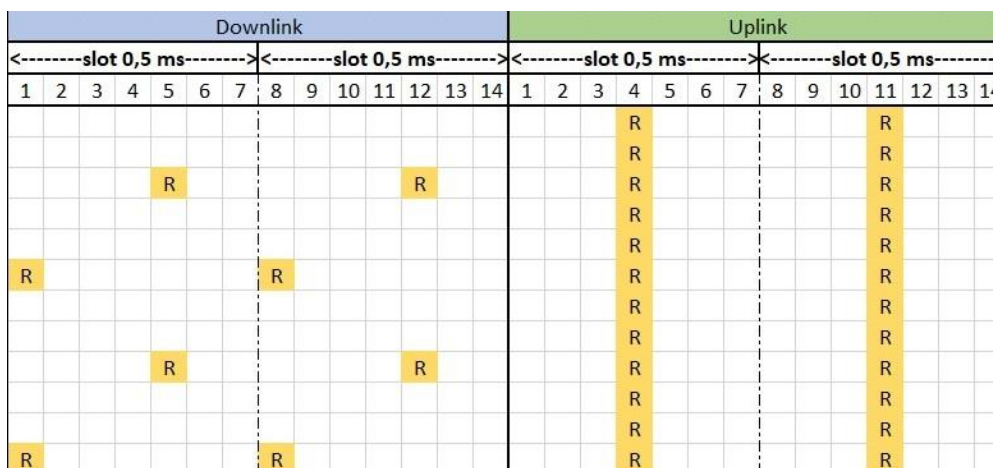
## 2.2.2 Struktura bloků

**Fyzický zdrojový blok** (Physical Resource Block) je základní kmitočtově časová jednotka, která zobrazuje přenos jednotlivých symbolů. Jednotlivé PRB se skládají z dvanácti subnosných pro jeden slot, což je sedm OFDM symbolů viz **Obr 2.3**. Jednotlivý symbol za jednu symbolovou periodu a jedné subnosné se označuje jako zdrojový element, [3].

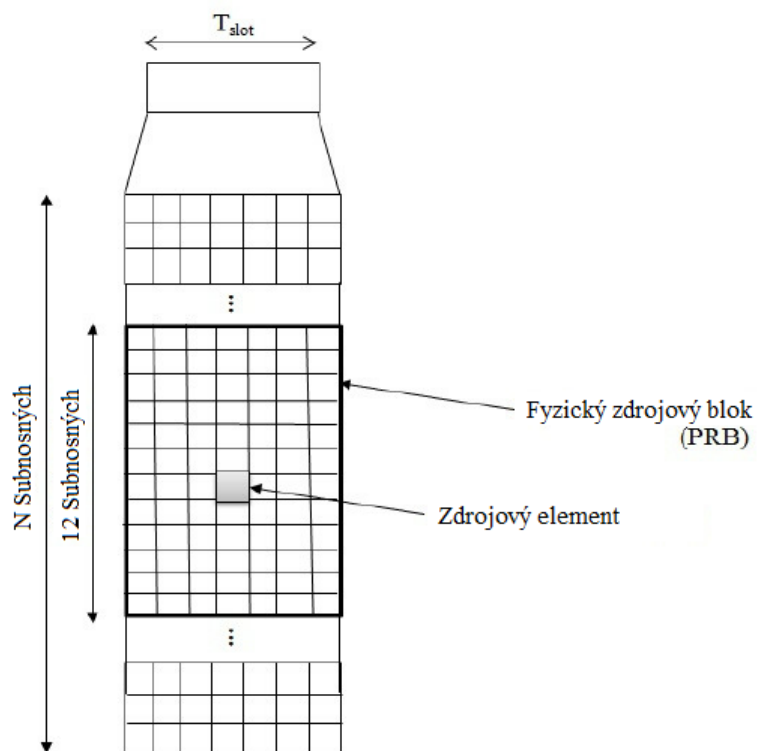
**Tab. 2.3: Počet přiřazených PRB v závislosti na šířce kanálu [1]**

Šířka kanálu (MHz)	1,4	3	5	10	15	20
Počet přiřazených PRB	6	15	25	50	75	100

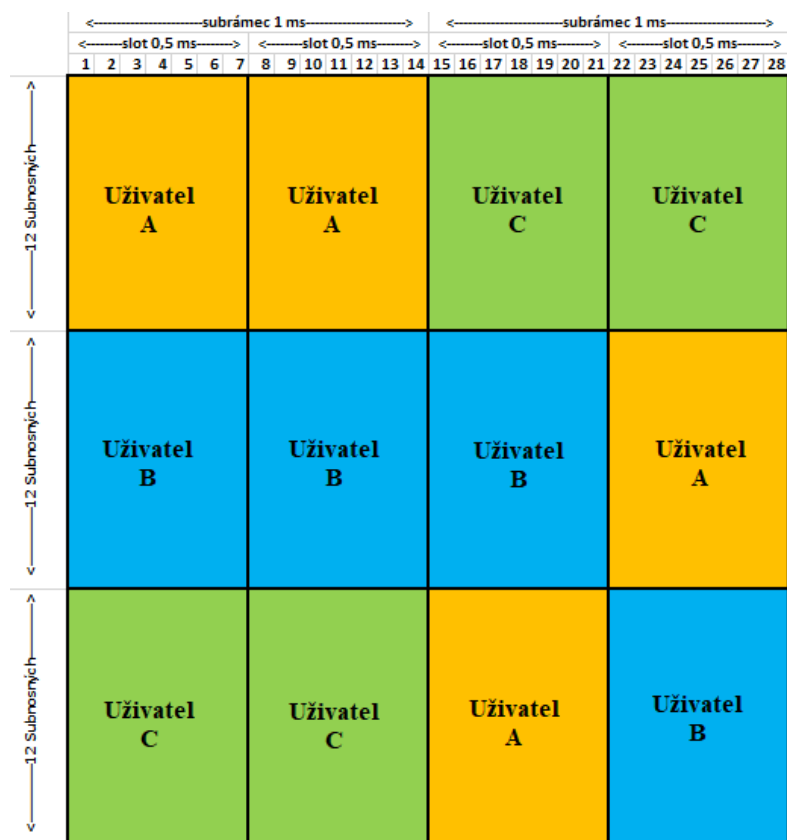
Jednotlivým uživatelům může být přiděleno více bloků v závislosti na šířce kanálu **Tab. 2.3**, přičemž jednotlivé bloky nemusí ležet vedle sebe **Obr. 2.2**. Obsahem jednotlivých bloků jsou kromě uživatelských dat také řídicí a referenční signály. Poloha referenčních signálů v blocích závisí na tom, zda se jedná o uplink nebo o downlink viz **Obr 2.2**, [2],[3].



**Obr. 2.2: Porovnání referenčních signálů v downlinku a uplinku [3]**



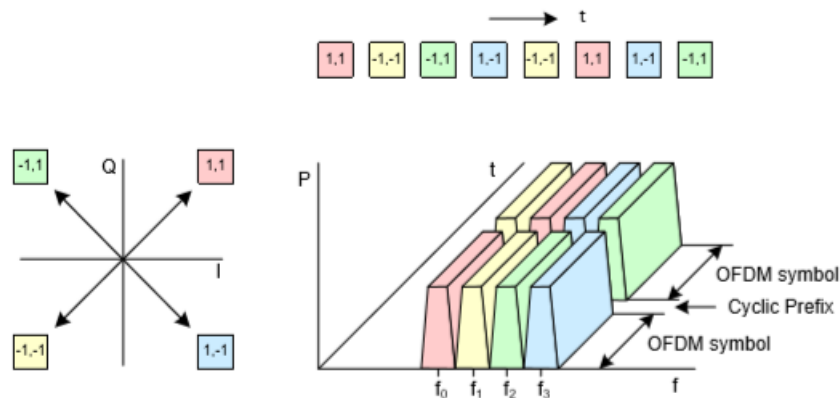
Obr. 2.3: Fyzický zdrojový blok (PRB) [4]



Obr. 2.4: Zobrazení přidělených PRB pro více uživatelů [3]

### 2.2.3 Přenos v downlinku

Aby byl přenos v downlinku co nejefektivnější, používá se v systému LTE přenos pomocí OFDM(A) (Orthogonal Frequency Division Multiple Access). Jednotlivé OFDM symboly jsou tímto posílány subnosnými, kde první je otočena o  $45^\circ$  a každá další o  $90^\circ$  vůči předchozí. Toho lze dosáhnout vhodným rozestupem jednotlivých subnosných, který činí 15kHz. Díky tomu, že jsou tyto nosné tak blízko u sebe, má OFDM vyšší spektrální účinnost. Vzdálenost mezi jednotlivými subnosnými je taková, aby jednotlivé kanály mohly být na přijímači perfektně rozděleny. To zaručuje, že implementace přijímače může být méně komplexní, což dělá OFDM atraktivní pro vysokorychlostní přenos mobilních dat. Pokud by symboly nedodržely vzájemnou ortogonalitu, mohlo by začít docházet k ICI (Inter Carrier Interference). Tento problém vzniká vlivem Dopplerova jevu, kdy dochází k posunutí sousedních subnosných, [3].

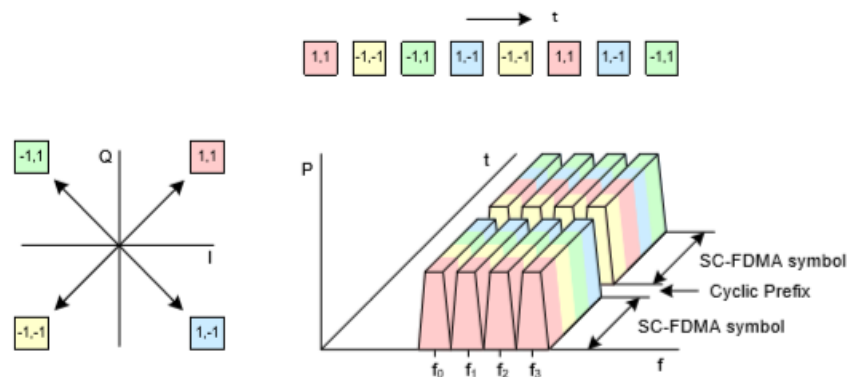


Obr. 2.5: Zobrazení přenosu OFDM symbolů v downlinku [3]



## 2.2.4 Přenos v uplinku

Kvůli požadavku na nízkou spotřebu uživatelského zařízení, nelze při uplinku použít OFDMA. Z tohoto důvodu se používá SC-FDMA (Single Carrier Frequency Division Multiple Access). Rozdíl od downlinku je takový, že namísto posílání symbolů na jednotlivých subnosných, se posílá vždy jen jeden symbol rozprostřený na všech subnosných. Přenos symbolů může být následně lokalizovaný nebo distribuovaný. Při lokalizovaném přenosu jsou subnosné vedle sebe a požadavky na kmitočtovou synchronizaci nejsou vysoké. Při distribuovaném přenosu mohou být subnosné rozmístěny po celém kmitočtovém pásmu, avšak musí být dobře zajištěna kmitočtová synchronizace,- [3].



Obr. 2.6: Zobrazení přenosu OFDM symbolů v uplinku [3]

## 3. ZÁKLADNÍ PARAMETRY SYSTÉMU LTE

Systém LTE lze jako ostatní standardy popsat určitými parametry, které popisují nejen kvalitu přenosu, ale také požadované vlastnosti pro správný přenos. Pokud by však tyto podmínky nebyly splněny, mohlo by docházet například k interferencím a následné ztrátě přenášené informace. Parametry, které lze poměrně jednoduše měřit můžeme rozdělit na parametry pro vysílač a pro přijímač, [3].

### 3.1 Měření parametrů vysílače

Každý vysílač musí dodržet dvě kategorie požadavků, aby mohl bezpečně fungovat v síti a to: požadavky na úroveň a kvalitu přenášeného signálu, a požadavky předepisující maximální úroveň nežádoucích emisí, [3].

#### 3.1.1 Maximální a minimální výstupní výkon

Maximální výstupní výkon je důležitým parametrem pro správné fungování uživatelského zařízení v síti a vyvarování se interferencí. Velikost tohoto parametru je definována jako průměrná hodnota výkonu v jednom subrámcí. Hodnota tohoto parametru závisí na výkonové třídě zařízení, viz **Tab. 3.1.**, [3].

**Tab. 3.1: Maximální hodnota výstupního výkonu v závislosti na výkonové třídě zařízení [1]**

Třída UE	Max. úroveň výkonu [dBm]
1	30
2	27
3	23
4	21

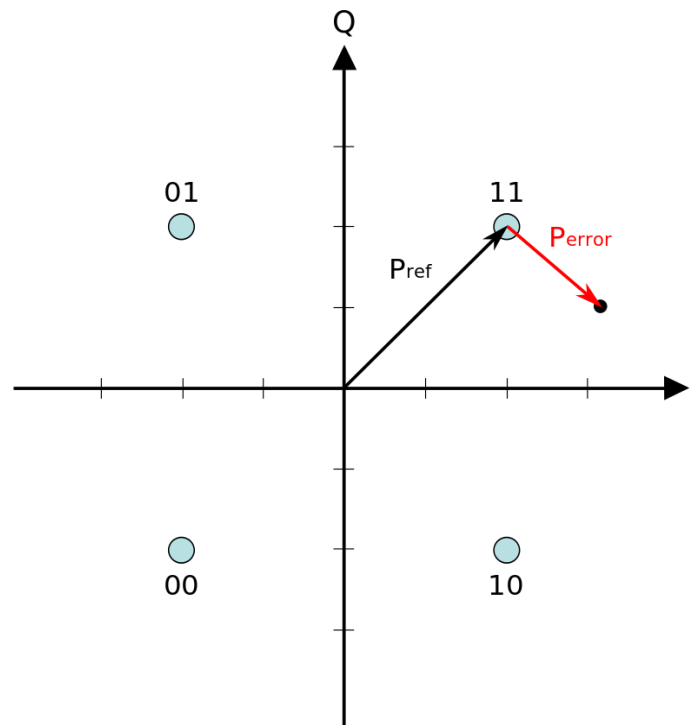
Minimální výstupní výkon zajišťuje, že šum neovlivní signál natolik, že by nebyl čitelný. Proto byla stanovena hodnota úroveň výkonu na -40 dBm (střední výkon v jednom subrámcí), pod kterou by výstupní výkon neměl klesnout. Tím je stanovena dynamika výstupního výkonu zařízení. Pro zařízení 3. třídy výkonu je pracovní oblast úrovní výkonu od -40 dBm do +23 dBm. Pokud zařízení nevysílá v daném subrámcí, neměla by hodnota výstupní úroveň výkonu převyšovat -50 dBm, [1].

### 3.1.2 Velikost chybového vektoru

Velikost chybového vektoru EVM (Error Vector Magnitude) vyjadřuje kvalitu přijímaného signálu u vícecestavové modulace. Při zvyšování tohoto parametru dochází ke snížení propustnosti. Měří se, jak moc se liší poloha měřeného symbolu od referenčního v konstelačním diagramu. Vektor, který tvoří tyto dva body se nazývá chybový vektor (Error Vector). Velikost EVM se dá vypočítat jak v dB, tak i v procentech. Maximální hodnota EVM je závislá na použité modulaci, viz **Tab. 3.2** [1], [5].

**Tab. 3.2: Maximální hodnoty EVM v závislosti na použité modulaci [1]**

Použitá modulace	EVM [%]
QPSK, BPSK	17,5
16QAM	12,5
64QAM	8



**Obr. 3.1: Zobrazení EVM v konstelačním diagramu [5]**

### 3.1.3 Prosakování nosné

Prosakování nosné (Carrier Leakage) je děj, kdy se na nosné objeví sinusový nedomulovaný signál, který způsobuje interference. Jak moc dochází k prosakování nosné lze zobrazit pomocí parametru "relativní poměr prosakování nosné" (Relative Carrier Leakage Ratio), který lze vypočítat pomocí rovnice (1), kde  $P_{\text{add sin}}$  je výkon nechtěného sinusového signálu a  $P_{\text{modul sig}}$  je výkon modulovaného signálu. Výsledná hodnota by neměla překročit dané limity, viz

Tab. 3.3 [1].

$$RCLR = 10 \log_{10} \left( \frac{P_{add\ sin}}{P_{modul\ sig}} \right)$$

Tab. 3.3: Limitní hodnoty RCLR v závislosti na výstupním výkonu zařízení [1]

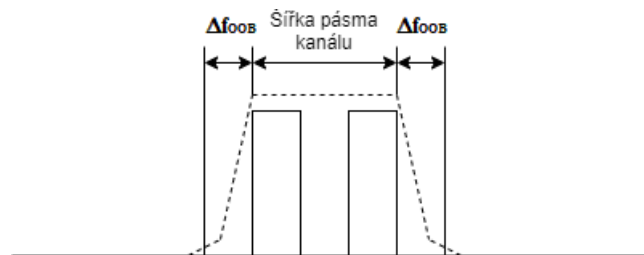
Parametry	Limit (dBc)
výstupní výkon >0 dBm	-25
-30 dBm ≤ výstupní výkon ≤ 0 dBm	-20
-40 dBm ≤ výstupní výkon ≤ -30 dBm	-10

### 3.1.4 Měření emise přiřazených RB do nepřřazených RB

Jedná se o měření interference v nepřřazených RB (Resource Block) způsobených přiřazenými RB. Je počítána v RB, které jsou odděleny definovaným RB offsetem od přiřazených RB. Velikost této emise lze vypočítat jako poměr výstupního výkonu v nealokovaných RB k výstupnímu výkonu v alokovaných RB, [1].

### 3.1.5 Šířka využitého pásma

Šířka využitého pásma je parametr, který je daný jako pásmo obsahující 99 % efektivního výkonu vyzářeného spektra. To znamená, že na každé straně pásma by nemělo dojít k vyzáření více než 0,5 %. Naměřená hodnota by neměla být větší než dané šířky kanálů, [1].



Obr. 3.2: Zobrazení kanálu s maskou spektrální emise [3]

### 3.1.6 Maska spektrální emise

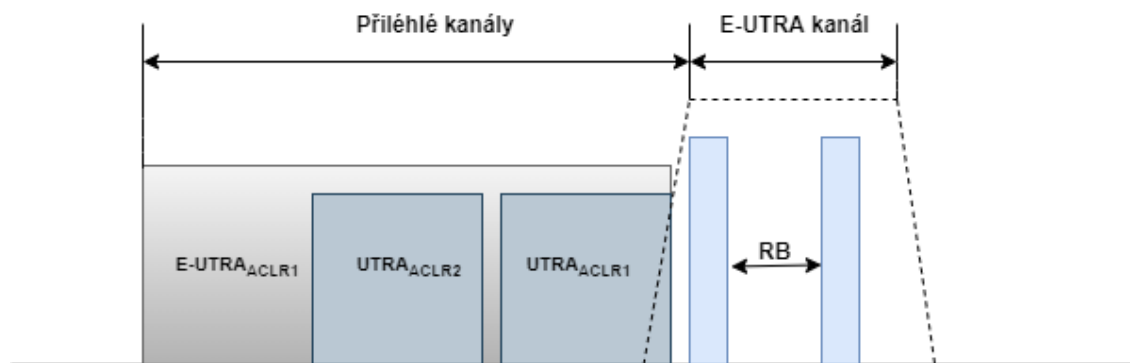
Maska spektrální emise udává detailní požadavky na spektrum signálu v uplinku. Tyto limity jsou dány v závislosti na vzdálenosti od hrany kanálu. Tato vzdálenost se označuje  $\Delta f_{00B}$ , viz Obr. 3.2. Pro měření v těsné blízkosti kanálu je nutné použít měřicí filtr s vysokým rozlišením s měřicím pásmem 30 kHz. Pro vzdálenější měření až do 25 MHz už však není nutno použít tak detailní měřicí filtr, a tak je možno použít filtr s širším pásmem měření, a to 1 MHz. Limitní hodnoty spektrální emise jsou dány v Tab. 3.4, [1].

Tab. 3.4: Limitní hodnoty spektrální emise [1]

Limit spektrální emise (dBm) v závislosti na šířce kanálu							
$\Delta f_{\text{OOB}}$ (MHz)	1,4 MHz	3 MHz	5 MHz	10 MHz	15 MHz	20 MHz	Šířka měřicího pásma
$\pm 0$ až 1	-10	-13	-15	-18	-20	-21	30 kHz
$\pm 1$ až 2,5	-10	-10	-10	-10	-10	-10	1 MHz
$\pm 2,5$ až 2,8	-25	-10	-10	-10	-10	-10	1 MHz
$\pm 2,8$ až 5		-10	-10	-10	-10	-10	1 MHz
$\pm 5$ až 6		-25	-13	-13	-13	-13	1 MHz
$\pm 6$ až 10			-25	-13	-13	-13	1 MHz
$\pm 10$ až 15				-25	-13	-13	1 MHz
$\pm 15$ až 20					-25	-13	1 MHz
$\pm 20$ až 25						-25	1 MHz

### 3.1.7 Adjected Channel Leakage Power Ratio

Je to velmi důležitý parametr, který ověřuje, zda vysílač nezpůsobuje nechtěné interference v přilehlých kanálech. Jeho minimální hodnota je měřena pro jedno přilehlé E-UTRA pásmo a pro dvě UTRA pásma ( $\text{UTRA}_{\text{ACLR1}}$  a  $\text{UTRA}_{\text{ACLR2}}$ ), viz Obr. 3.3. Velikost ACLR je definována jako poměr průměrné hodnoty výkonu v LTE kanálu a průměrné hodnoty výkonu v přilehlých kanálech, [1].



Obr. 3.3: Zobrazení měření ACLR [1]

Tab. 3.5: Minimální požadavky pro  $\text{E-UTRA}_{\text{ACLR1}}$  [1]

Šířka pásma kanálu/ $\text{E-UTRA}_{\text{ACLR1}}$ / šířka pásma měření							
	1,4 MHz	3 MHz	5 MHz	10 MHz	15 MHz	20 MHz	
$\text{E-UTRA}_{\text{ACLR1}}$	30 dB	30 dB	30 dB	30 dB	30 dB	30 dB	
Šířka pásma měření E-UTRA kanálu	1,08 MHz	2,7 MHz	4,5 MHz	9 MHz	13,5 MHz	18 MHz	

**Tab. 3.6: Minimální požadavky pro UTRACLRI/2 [1]**

Šířka pásma kanálu/ E-UTRACLRI/2 /šířka pásma měření						
Šířka pásma kanálu	1,4 MHz	3 MHz	5 MHz	10 MHz	15 MHz	20 MHz
UTRACLRI	33 dB	33 dB	33 dB	33 dB	33 dB	33 dB
Střední kmitočtový offset přilehlého kanálu [MHz]	0,7 +BW <sub>UTRA</sub> /2 / -0,7 BW <sub>UTRA</sub> /2	1,5 +BW <sub>UTRA</sub> /2 / -1,5-BW <sub>UTRA</sub> /2	2,5 +BW <sub>UTRA</sub> /2 / -2,5-BW <sub>UTRA</sub> /2	5 + BW <sub>UTRA</sub> /2 / -5-BW <sub>UTRA</sub> /2	7,5 +BW <sub>UTRA</sub> /2 / -7,5 BW <sub>UTRA</sub> /2	10 + BW <sub>UTRA</sub> /2 / -10-BW <sub>UTRA</sub> /2
UTRACLRI2	-	-	36 dB	36 dB	36 dB	36 dB
Střední kmitočtový offset přilehlého kanálu [MHz]	-	-	2,5 +BW <sub>UTRA</sub> /2 / -2,5-BW <sub>UTRA</sub> /2	5 + BW <sub>UTRA</sub> /2 / -5-BW <sub>UTRA</sub> /2	7,5 +BW <sub>UTRA</sub> /2 / -7,5 BW <sub>UTRA</sub> /2	10 + BW <sub>UTRA</sub> /2 / -10-BW <sub>UTRA</sub> /2
Šířka pásma měření UTRA 5 MHz kanálu	-	-	3,84 MHz	3,84 MHz	3,84 MHz	3,84 MHz
Šířka pásma měření UTRA 1,6 MHz kanálu	-	-	1,28 MHz	1,28 MHz	1,28 MHz	1,28 MHz

### 3.1.8 Měření rušivé emise

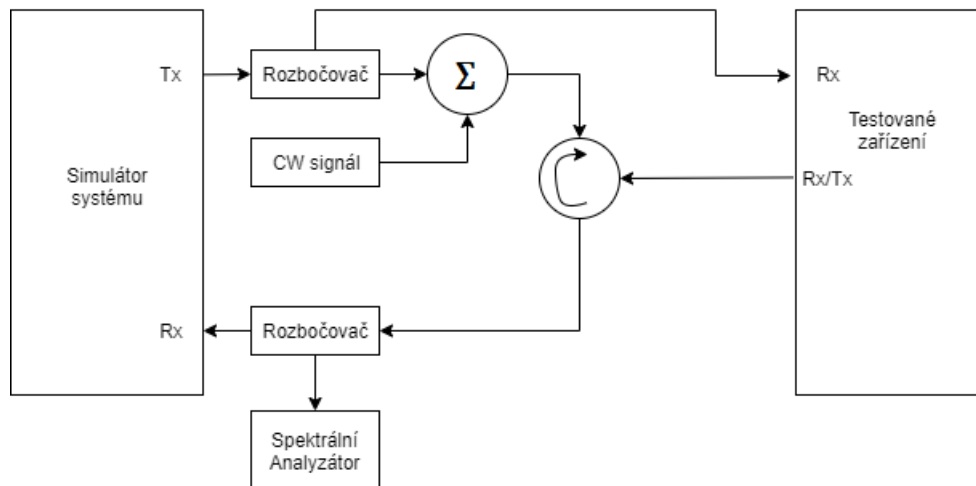
Rušivé emise jsou způsobeny nechtěnými efekty vysílače. Jsou měřeny ve vzdálenosti větší, než  $\Delta f_{\text{OOB}}$  od hrany pásma kanálu. Limity rušivé emise jsou pro všechny konfigurace a šířky pásma kanálů stejné, [1].

**Tab. 3.7: Limitní hodnoty rušivé emise [1]**

Kmitočtový rozsah	Maximální hodnota	Šířka měřicího pásma
$9 \text{ kHz} \leq f < 150 \text{ kHz}$	-36 dBm	1 kHz
$150 \text{ kHz} \leq f < 30 \text{ MHz}$	-36 dBm	10 kHz
$30 \text{ MHz} \leq f < 1000 \text{ MHz}$	-36 dBm	100 kHz
$1 \text{ GHz} \leq f < 12,75 \text{ GHz}$	-30 dBm	1 MHz

### 3.1.9 Přenesená intermodulace

Měření přenesené intermodulace měří schopnost vysílače potlačit generování signálů, které jsou způsobeny chtěným a interferujícím signálem ve vysílači. Zařízení vysílající v těsné blízkosti dalšího zařízení může tvořit intermodulační produkty, které by se jevily jako nechtěný interferující signál v pásmu přijímače, [1].



Obr. 3.4: Zapojení pro měření přenesené intermodulace[1]

## 3.2 Měření parametrů přijímače

### 3.2.1 Referenční úroveň citlivosti

Test referenční úrovně citlivosti ověřuje citlivost přijímače zařízení. Pro testování je použit signál ve fixně daném referenčním kanálu s velmi nízkou úrovní výkonu  $P_{REFSENS}$ . Velikost tohoto výkonu dále závisí na tom, zda se jedná o základnovou stanici (pro velké a malé vzdálenosti pokrytí), mobilní nebo přenosnou stanici, viz **Tab. 3.8**. Ověřuje se, že zařízení dokáže přijmout data s danou průměrnou propustností. Testované zařízení by mělo dosáhnout alespoň 95 % maximální hodnoty propustnosti pro testovaný referenční kanál. Tento test citlivosti přijímače je důležitý pro zajištění dostatečného pokrytí základnové stanice. Pokud zařízení není schopno dosáhnout požadované propustnosti, sníží se pro něj efektivní oblast pokrytí základnovou stanicí, [1].

**Tab. 3.8: Hodnoty úrovně výkonu pro měření citlivosti přijímače [9]**

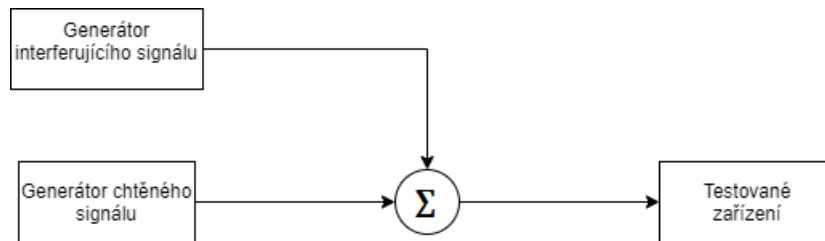
	Šířka kanálu	Základnová stanice	Mobil / přenosné stanice
Úroveň výkonu v referenčním kanálu $P_{REFSENS}$ (dBm) pro <b>velké</b> vzdálenosti pokrytí	1,4 MHz	-106,8	-101,7
	3 MHz	-103	-98,7
	5 MHz	-101,5	-97
	10 MHz	-101,5	-94
	15 MHz	-101,5	-92,2
	20 MHz	-101,5	-91
Úroveň výkonu v referenčním kanálu $P_{REFSENS}$ (dBm) pro <b>malé</b> vzdálenosti pokrytí	1,4 MHz	-98,8	/
	3 MHz	-95	
	5 MHz	-93,5	
	10 MHz	-93,5	
	15 MHz	-93,5	
	20 MHz	-93,5	

### 3.2.2 Maximální vstupní výkon

Maximální vstupní úroveň výkonu ověřuje schopnost přijímače pracovat s vysokou úrovní výkonu. Střední úroveň výkonu chtěného signálu je -25 dBm pro všechny kanály. Tento test je důležitý, protože pokud zařízení není schopno dosáhnout požadované propustnosti, jeho oblast pokrytí základnovou stanicí se zmenší, [1].

### 3.2.3 Selektivita sousedního kanálu

Selektivita sousedního kanálu ACS (Adjacent Channel Selectivity) ověřuje možnost zařízení dosáhnout dané propustnosti, za předpokladu, že je v sousedním kanále signál s daným kmitočtovým offsetem. Tento signál simuluje signál z další základnové stanice, která je poblíž. Velikost tohoto interferujícího signálu závisí na tom, jestli se jedná o základnovou stanicí s velkým (-52 dBm) nebo malým (-44 dBm) pokrytím. ACS je definováno jako poměr útlumu filtru přijímače v přiřazeném kanále k útlumu filtru přijímače v sousedním kanále, [1], [9], [10].



Obr. 3.5: Zapojení pro měření ACS [9]

Tab. 3.9: Hodnoty pro měření ACS [9]

	Šířka kanálu	Základnová stanice- střední výkon chtěného signálu(dBm)	Mobil / přenosné stanice- ACS (dB)
Základnové stanice pro <b>velké</b> vzdálenosti pokrytí	1,4 MHz	-95,8 (P <sub>REFSENS</sub> +11dB)	33
	3 MHz	-95 (P <sub>REFSENS</sub> +8dB)	33
	5 MHz	-95,5 (P <sub>REFSENS</sub> +6dB)	33
	10 MHz	-95,5 (P <sub>REFSENS</sub> +6dB)	33
	15 MHz	-95,5 (P <sub>REFSENS</sub> +6dB)	30
	20 MHz	-95,5 (P <sub>REFSENS</sub> +6dB)	27
Základnové stanice pro <b>malé</b> vzdálenosti pokrytí	1,4 MHz	-87,8 (P <sub>REFSENS</sub> +11dB)	/
	3 MHz	-87 (P <sub>REFSENS</sub> +8dB)	
	5 MHz	-87,5 (P <sub>REFSENS</sub> +6dB)	
	10 MHz	-87,5 (P <sub>REFSENS</sub> +6dB)	
	15 MHz	-87,5 (P <sub>REFSENS</sub> +6dB)	
	20 MHz	-87,5 (P <sub>REFSENS</sub> +6dB)	



## 4. MĚŘICÍ PŘÍSTROJE A SOFTWARE

### 4.1 Vektorový signální generátor SMU200A Rohde & Schwarz

Vektorový signálový generátor SMU200A je špičkový generátor určený pro generování modulovaných signálů v moderních komunikačních systémech, viz **Tab. 4.1.**, [8].

Mezi jeho přední vlastnosti patří:

- generování signálů ve frekvenčním rozsahu od 100 kHz do 3GHz
- úroveň výkonu výstupního signálu od -145 dBm do +19 dBm
- I/Q modulátor s šířkou pásma 200MHz
- možnost přidání únikových kanálů a AWGN (Additive White Gaussian Noise),
- USB konektory pro připojení klávesnice a myši
- možnost dálkového ovládní přes GPIB a LAN

**Tab. 4.1: Podporované typy modulací ve vektorovém signálovém generátoru SMU200A [8]**

<b>AM</b>	0 kHz až 500 kHz
<b>Pulzní</b>	0 kHz až 100 kHz
<b>ASK</b>	0 % až 100 %
<b>FSK</b>	MSK, 2FSK, 4FSK
<b>PSK</b>	BPSK, QPSK, OQPSK, $\pi/2$ DBPSK, $\pi/4$ DBPSK, $\pi/8$ DBPSK, $\pi/4$ QPSK, 8PSK, 8PSK EDGE
<b>QAM</b>	16 QAM, 32 QAM, 64 QAM, 256 QAM, 1024 QAM
<b>Podporované standardy a digitální systémy</b>	GSM/EDGE, 3GPP FDD, 3GPP TDD, TD-SCDMA, cdmaOne, CDMA2000®, 1 × EV-DO, IEEE 802.11a, IEEE 802.11b, IEEE 802.11g, TETRA, Bluetooth <sup>® 2)</sup> , AWGN, uživatelem definovaný multicarrier CW

## 4.2 Analyzátor signálů FSQ8 Rohde & Schwarz

Jedná se o přístroj schopný měřit spektrum a provádět vektorovou analýzu signálu. Pomocí jeho 120MHz I/Q demodulační šířky pásma lze měřit širokopásmové signály, jako je např. WLAN, IEEE802. 11n/ac, 3GPP LTE nebo 3GPP WCDMA, [5].

Mezi jeho přední vlastnosti patří:

- zpracování signálů v rozsahu od 20Hz do 8GHz
- pokročilá analýza spektra
- výpočet parametrů kvality modulace
- analýza signálů v základním pásmu (analogový nebo digitální) s rozšířenou pamětí na 705MSample
- měření výkonu v časové i frekvenční doméně
- měření kvality modulace (EVM)
- měření parametrů ve spektru (maska spektrální emise, ACLR) systému LTE.

## 5. ZÁVĚR

V této práci byla představena funkčnost systému LTE a parametry, které ji ovlivňují. Z důvodu toho, že ne všechny uvedené parametry lze měřit, byly vybrány parametry vysílače, které lze měřit pomocí signálového analyzátoru Rohde & Schwarz FSQ8 s modulem pro měření LTE, který je dostupný v laboratoři. Těmito parametry jsou: výstupní výkon, EVM, maska spektrální emise a ACLR.

Dále je součástí práce vytvořená laboratorní úloha s podrobným návodem, zaměřená na měření těchto parametrů. Návod obsahuje teoretický úvod, popis nastavení vektorového signálového generátoru Rohde & Schwarz SMU200A pro generování FDD downlinku. Dále pak nastavení signálového analyzátoru Rohde & Schwarz FSQ8 a postup měření. Přílohou k laboratorní úloze je připravený vzorový protokol, určený pro jednoduché zaznamenání naměřených výsledků.

# Literatura

- [1] GESSNER, Christina. *Long Term Evolution: A concise introduction to LTE and its measurement requirements*. Germany: Rohde & Schwarz GmbH & Co. KG 2011, 2011. ISBN 978-3-939837-11-4
- [2] LTE-the UMTS long term evolution: from theory to practise. Chichester, 2009. ISBN 978-047-0697-160.
- [3] HANUS, Stanislav. *Nové technologie mobilních komunikací pro integrovanou výuku VUT a VŠB-TUO* [online]. Vysoké učení technické v Brně, 2013 [cit. 2019-11-11]. ISBN 978-80-214-4824-7. Dostupné z: <https://vut-vsrb.cz/home/get-file?file=422&%3Bportal=Portal2>
- [4] KHLIFI, Abdelhakim. *Comparison between Performances of Channel estimation Techniques for CP-LTE and ZP-LTE Downlink Systems* [online]. 2012, 4(4), 223-233 [cit. 2019-11-11]. DOI: 10.5121/ijcnc.2012.4414. ISSN 09752293. Dostupné z: <http://www.airccse.org/journal/cnc/0712cnc14.pdf>
- [5] Error vector magnitude: Constellation diagram and EVM. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2019-12-10]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Error\\_vector\\_magnitude](https://en.wikipedia.org/wiki/Error_vector_magnitude)
- [6] *R&S®FSQ Signal Analyzer Signal analysis and high-end spectrum analysis in one instrument: Product Brochure* [online]. Rohde&Schwarz [cit. 2019-12-09]. Dostupné z: [https://scdn.rohde-schwarz.com/ur/pws/dl\\_downloads/dl\\_common\\_library/dl\\_brochures\\_and\\_datash eets/pdf\\_1/FSQ\\_bro\\_en.pdf](https://scdn.rohde-schwarz.com/ur/pws/dl_downloads/dl_common_library/dl_brochures_and_datash eets/pdf_1/FSQ_bro_en.pdf)
- [7] JOHNSON, Chris. *LTE Visualisation Tool* [online]. [cit. 2019-12-09]. Dostupné z: [http://www.lte-bullets.com/visualisation\\_tool.html](http://www.lte-bullets.com/visualisation_tool.html)
- [8] *Vector Signal Generator ,SMU200A: Product brochure* [online]. 02.03. Rohde&Schwarz, 2006 [cit. 2019-12-09]. Dostupné z: [https://scdn.rohde-schwarz.com/ur/pws/dl\\_downloads/dl\\_common\\_library/dl\\_brochures\\_and\\_datash eets/pdf\\_1/SMU200A\\_en.pdf](https://scdn.rohde-schwarz.com/ur/pws/dl_downloads/dl_common_library/dl_brochures_and_datash eets/pdf_1/SMU200A_en.pdf)
- [9] *The equipment characteristics for LTE FDD transmitters and receivers* [online]. National Telecommunications and Information Administration [cit. 2019-12-10]. Dostupné z: [https://www.ntia.doc.gov/files/ntia/meetings/lte\\_technical\\_characteristics.pdf](https://www.ntia.doc.gov/files/ntia/meetings/lte_technical_characteristics.pdf)
- [10] *ACS - Adjacent Channel Selectivity* [online]. Telecom ABC [cit. 2019-12-10]. Dostupné z: <http://www.telecomabc.com/a/acs.html>

## **Seznam příloh**

Příloha 1 - Návod k laboratorní úloze.....	30
Příloha 2 - Vzorový protokol .....	39

## **Příloha 1 - Návod k laboratorní úloze**

# Měření základních parametrů systému LTE

## Zadání

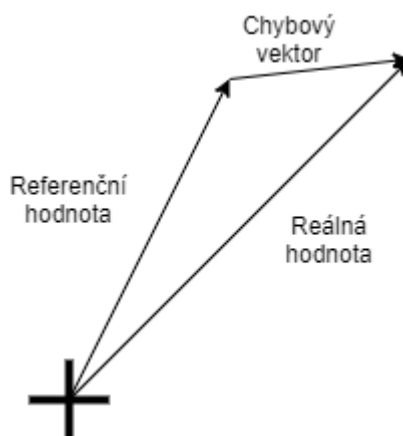
1. Seznamte se s obsluhou přístrojů Rohde & Schwarz
2. Určete hodnotu výstupního výkonu a zdali nepřesahuje maximální povolenou hodnotu
3. Změřte EVM signálu
4. Ověřte, že nejsou překročeny limity masky spektrální emise
5. Změřte parametr prosakování do přilehlých kanálů ACLR
6. Zhodnoťte jednotlivé naměřené výsledky

## Úvod

Aby mohl systém LTE v pořádku fungovat, musí být vysílače designovány tak, aby mohly nejen generovat čistý signál v dané frekvenční oblasti, ale také tak, aby dokázaly udržet nechtěné interference na přijatelné úrovni. Co se přijímačů týká, ty musí být stavěny tak, aby spolehlivě přijímaly požadovaný signál a splňovaly určité minimální požadavky pro jejich fungování v síti LTE.

Každý vysílač musí splňovat dvě kategorie parametrů, a to parametry které se vztahují na úroveň a kvalitu vysílaného signálu, a parametry které udávají tolerovatelnou úroveň nechtěných emisí.

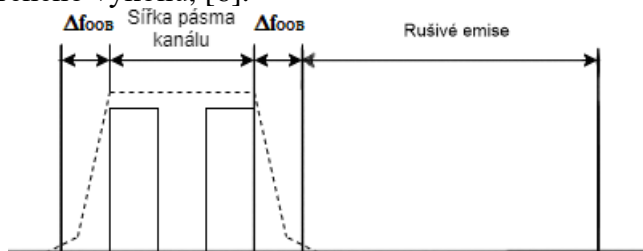
Jako hlavní parametr pro měření kvality vysílaného rádiového signálu se udává velikost chybového vektoru EVM (Error Vector Magnitude). Tento parametr udává o kolik se poloha reálného symbolu vícecestavové modulace liší od referenční hodnoty. Maximální povolená hodnota EVM je dána v závislosti na použité modulaci. Se zvyšujícím se počtem stavů klesá maximální povolená hodnota viz **Tabulka 1.**, [1].



**Obr. 1: Zobrazení chybového vektoru [1]**

Aby zařízení mohlo fungovat v síti, nesmí výstupní výkon překročit hodnotu 23 dBm (+2 dB) a zároveň nesmí být nižší než -40 dBm. Výstupní výkon totiž přímo ovlivňuje velikost nežádoucích emisí mimo přenášené pásmo. Proto je důležité, aby vysílače byly schopny nastavit přesně svůj výstupní výkon. Díky tomu lze maximalizovat spektrální efektivitu, [6].

Co se týče nechtěných emisí, bylo by ideální nemít žádné. Nicméně v praxi tomu tak není, a proto byly stanoveny určité limity, které musí být splněny. Jedná se o emise, které se objevují mimo přiřazený kanál. Velikost přiřazeného kanálu je určena jako oblast, která obsahuje 99 % vyzářeného výkonu, [6].



**Obr. 2: Zobrazení spektra a jednotlivých oblastí emisí [1]**



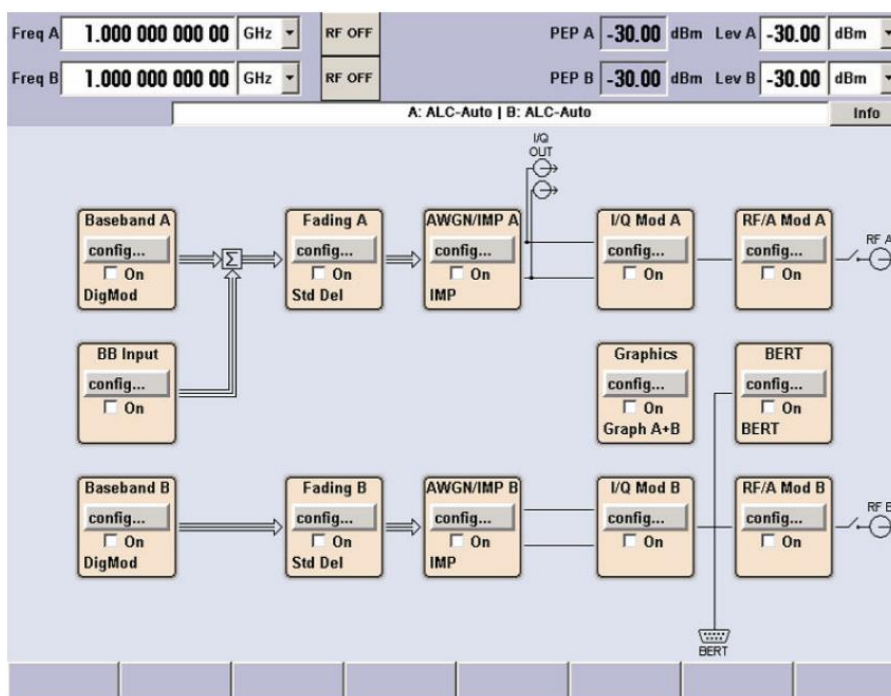
Tyto nechtěné emise lze rozdělit podle vzdálenosti od hrany kanálu. Ty, které jsou v blízkosti kanálu nazýváme "out-of-band" emise. Pro jejich měření se používá maska spektrální emise, která udává maximální povolenou hodnotu výkonu ve vzdálenosti od hrany viz **Tabulka 2**, [1].

Další metoda měření OOB emisí je měření ACLR. Zatím co maska spektrální emise udává pouze maximální hodnoty v dané vzdálenosti od hrany, ACLR měří, jak OOB emise ovlivňuje sousední kanály. ACLR je definováno jako poměr výkonu v LTE kanálu a výkonu v přilehlém kanálu. Limitní hodnoty jsou závislé od toho, zdali přilehlý kanál je pro E-UTRA nebo UTRA viz **Tabulka 3** a **Tabulka 4**, [1].

Emise, které jsou dále než oblast OOB nazýváme rušivé emise. Tyto emise jsou způsobeny vlastnostmi vysílače zahrnující emise harmonického signálu nebo intermodulační produkty. Požadavky pro rušivé emise jsou naproti OOB požadavkům sice více přísné, avšak lehce dosažitelné. Tyto požadavky jsou navíc pro všechny šířky pásma stejné, [1].

## Postup měření

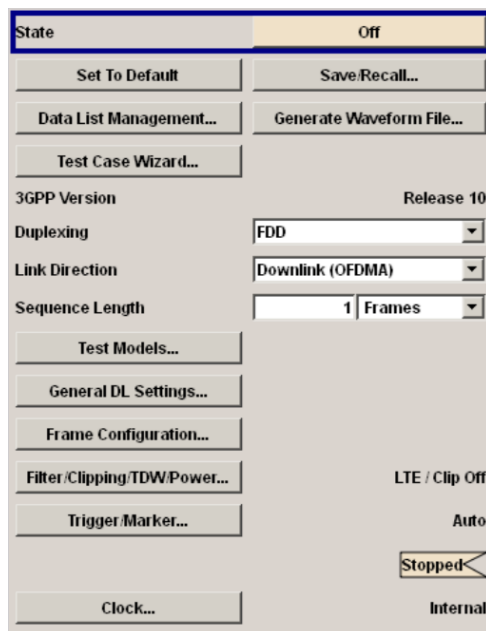
Před samotným měřením zkontrolujte připojení kabelu mezi vektorovým signálovým generátorem R&S SMU200A a signálovým analyzátozem R&S FSQ8. Poté zapnete oba přístroje a po inicializaci stisknete tlačítko PRESET. Tím přístroje dostanete do počátečního nastavení.



**Obr. 3: Grafické okno vektorového signálového generátoru R&S SMU200A [3]**

1. Nyní je potřeba nastavit generátor pro generování LTE signálu. Počáteční frekvenci lze nastavit v levém horním rohu grafického okna. Pro generování použijte kanál A. Nastavte tedy hodnotu frekvence na 1930 MHz. Výkonovou úroveň nastavte na -15 dBm. Otevřete v bloku **Baseband A** > **config...** a zvolte **EUTRA/LTE**. Zobrazí se vám dialogové okno ve kterém lze nastavit jednotlivé systémové

parametry. V tomto okně zkontrolujte, zdali je zvolen *Dulpexing* - FDD, *Směr přenosu* – Downlink a *délka sekvence* 1 rámeček.



Obr. 4: Dialogové okno EUTRA/LTE[5]

Physical Settings	
Channel Bandwidth	10 MHz
Number of Resource Blocks per Slot	50
FFT Size	1024
Physical Resource Block Bandwidth	12 * 15 kHz
Occupied Bandwidth	9.015 MHz
Sampling Rate	15.360 MHz
Number of Occupied Subcarriers	601
Number of Left Guard Subcarriers	212
Number of Right Guard Subcarriers	211

Obr. 5: Dialogové okno General settings [5]

Klikněte na **General settings**. Zaměřte se pouze na oblast Physical Settings. Zde nastavte *šířku pásma kanálu* na 3 MHz a okno zavřete. Dále je potřeba nastavit jednotlivý rámeček. V dialogovém okně EUTRA/LTE klikněte na tlačítko **Frame Configuration**. V tomto okně změňte *Počet konfigurovatelných subrámečků* na 10 a *Počet použitých alokací* na maximální možnou hodnotu. V alokační tabulce ve spodní části okna nastavte *Modulaci* 16-QAM a *Počet RB* 15. Toto nastavení následně nakopírujte do ostatních subrámečků. Pro vizualizaci nastavených alokací klikněte na tlačítko **Show Time Plan**. Okno zavřete a aktivujte blok **Baseband A** (pomocí tlačítka State v dialogovém okně EUTRA/LTE nebo zaškrtnutím On v grafickém okně).

General Frame Configuration																
No. Of Configurable Subframes					10					Behaviour In Unscheduled REs (OCNG)					Dummy Data	
Reset Subf. Config.				Configure User...				Dummy Data Configuration								
Subframe Configuration																
Cell Index		0		Subframe		0		Prev		Next		Copy		Paste		
Cyclic Prefix				Normal				Configure PCFICH, PHICH, PDCCH...								
No. of Used Allocations				5				Show Time Plan...								
CW	Mod.	Enh. Sett.	VRB Gap	No. RB	No. Sym.	Offs RB	Offs Sym.	Auto	Phys. Bits	Data Source	DList Pattern	Rho A /dB	Content Type	State	Conf.	
0	1/1	QPSK	Config...	-	6	4	22	7(1/0)	Off	480	PN9	-	0.000	PBCH	On	

Obr. 6: Dialogové okno Frame Configuration [5]

Na signálovém analyzátoru FSQ8 stiskněte tlačítko EUTRA/LTE v levém dolním rohu. Před samotným měřením je potřeba FSQ nakonfigurovat, aby bylo dosaženo správných výsledků. Stiskněte tlačítko **SETTINGS (GEN DEMOD)**. Popis GEN zelená a otevře dialogové okno „General Settings“. V kartě **General** se ujistěte, aby byl zvolen *standard* 3GPP LTE FDD Downlink. Do kolonky *frequency* nastavte 1930 MHz a *Channel Bandwidth BW* 3 MHz.

General	MIMO	Advanced	Trigger	Spectrum
<b>Signal Characteristics</b>				
Standard		3GPP LTE TDD Downlink		
Frequency		1.00768 GHz		
Channel Bandwidth <i>BW</i>		10 MHz		
Number of RB		50		
FFT Size <i>N<sub>FFT</sub></i>		1024		
Sampling Rate		15.36 MHz		
Cyclic Prefix		Normal		

Obr. 7: Dialogové okno General Settings [2]

DL Demod	DL Frame Config	DL Adv Sig Config
<b>Data Analysis</b>		
Channel Estimation		Optml, Pilot, Payload
EVM Calculation Method		EVM 3GPP Definition
Coded Bits Scrambling		<input type="checkbox"/>
Auto PDSCH Demodulation		<input type="checkbox"/>
PDSCH Subframe Detect		Physical Detection
Boosting Estimation		<input checked="" type="checkbox"/>
PDSCH Reference Data		Auto Detect
Multicarrier Filter		<input type="checkbox"/>
<b>Tracking</b>		
Phase		Off
Timing		<input type="checkbox"/>

Obr. 8: Dialogové okno Demod Settings [2]

Nyní se přesuňte do nastavení demodulace stisknutím tlačítka **SETTINGS (GEN DEMOD)**. Po stisknutí zelená nápis DEMOD a otevře se požadované dialogové okno. V kartě **DL Demod** nastavte tyto parametry a okno zavřete.

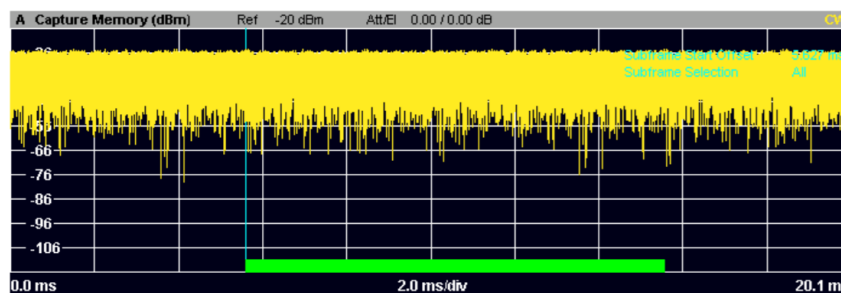
## Data Analysis

- *Channel estimation* – Optiml, Pilot, Payload
- *EVM Calculation Method* – EVM 3GPP Definition
- *Coded bits Scrambling* – ano
- *Auto PDSCH Demodulation* – ano
- *PDSCH Subframe detection* – Physical Detection
- *Boosting Estimation* – ne
- *PDSCH Reference Data* – Auto Detection
- *Multicarrier filter* – ne

## Tracking

- *Phase* – Pilot and Payload

2. Nyní máte nastavené oba přístroje pro měření požadovaných parametrů. Ve vrchní polovině vám probíhá měření výkonu v čase. Zelený pás pod diagramem reprezentuje rámec, který je momentálně analyzován. Z hlavičky výsledků odečtete naměřený výkon LTE signálu.



Obr. 9: Zobrazení diagramu průběžného měření výkonu [2]

3. Stiskněte tlačítko **EVM** v pravé části obrazovky. Dále pak stiskněte tlačítko **DISPLAY (LIST GRAPH)** tak, aby se **LIST** rozsvítil zeleně. Zobrazí se vám tabulka. Ta je rozdělena do dvou částí. Zaměřte se na horní část. Ta ukazuje výsledky, které odkazují na celý rámec, a proto ukazuje jak průměrnou hodnotu, tak i minimální a maximální. Pokud výsledná hodnota splňuje požadavky, naměřená hodnota bude mít zelenou barvu. Pokud je překročena limitní hodnota, hodnota bude červená. Naměřené hodnoty si zapište.
4. Pro měření Masky spektrální emise otevřete kartu **Spectrum** v dialogovém okně General Settings a v části SEM settings nastavte *channel* na Category A. Okno zavřete. Stiskněte tlačítko **SPECTRUM** v pravé části obrazovky. Maska spektrální emise je v grafu reprezentována červenou barvou. Uprostřed pak můžete nalézt označení, zdali byly limity překročeny nebo ne. V tabulce pak naleznete sedm sloupců. Zapište si první tři sloupečky a poslední. První dva sloupečky udávají Start a stop frekvence měření ve vzdálenosti od počáteční. Třetí sloupec udává rozlišení pro jednotlivé úseky měření. Poslední sloupec udává minimální vzdálenost k limitu masky spektrální emise. Záporná hodnota udává, že signál nepřekročil limitní hodnotu.

5. Pro měření ACLR je třeba se vrátit do dialogového okna General Settings a v části *ACLR Settings* nastavit *Assumed Adj. Chnl Carrier* na EUTRA same BW. Po navrácení zpět do **SPECTRUM** byste měli být schopni již měřit. Žlutou barvou je opět zobrazeno spektrum. Jednotlivé kanály jsou zobrazeny pomocí svislých červených čar. V tabulce pak naleznete hodnoty výkonu v jednotlivých kanálech. Tyto hodnoty si zaznamenejte. Vraťte se zpět do nastavení ACLR v okně General Settings a vyberte měření pro UTRA 1.28MHz. Měření zopakujte.

## Seznam zkratk

EVM	Error Vector Magnitude
SEM	Spectral Emission Mask
ACLR	Adjacent Channel Power Leakage Ratio

## Použité přístroje a pomůcky

- Vektorový signálový generátor Rohde & Schwarz SMU200A
- Signálový analyzátor Rohde & Schwarz FSQ8 s modulem pro měření LTE
- Koaxiální kabel

## Reference, doporučená literatura

- [1] LTE-the UMTS long term evolution: from theory to practise. Chichester, 2009. ISBN 978-047-0697-160
- [2] Rohde & Schwarz FSQ-K10x (LTE Downlink) LTE Downlink Measurement Application User Manual [online]. [cit. 2020-06-03]. Dostupné z: [https://scdn.rohde-schwarz.com/ur/pws/dl\\_downloads/dl\\_common\\_library/dl\\_manuels/gb\\_1/f/fsq\\_1/FSQ-K10x\\_LTE\\_DL\\_UserManual\\_v6.pdf](https://scdn.rohde-schwarz.com/ur/pws/dl_downloads/dl_common_library/dl_manuels/gb_1/f/fsq_1/FSQ-K10x_LTE_DL_UserManual_v6.pdf)
- [3] Rohde & Schwarz SMU200A Vector Signal Generator Operating Manual [online]. [cit. 2020-06-03]. Dostupné z: [https://cdn.rohde-schwarz.com/pws/dl\\_downloads/dl\\_common\\_library/dl\\_manuels/gb\\_1/s/smu200a\\_1/SMU200A\\_OperatingManual\\_en\\_19.pdf](https://cdn.rohde-schwarz.com/pws/dl_downloads/dl_common_library/dl_manuels/gb_1/s/smu200a_1/SMU200A_OperatingManual_en_19.pdf)
- [4] Rohde & Schwarz FSQ Signal Analyzer Operating Manual [online]. [cit. 2020-06-03]. Dostupné z: [https://cdn.rohde-schwarz.com/pws/dl\\_downloads/dl\\_common\\_library/dl\\_manuels/gb\\_1/f/fsq\\_1/FSQ\\_OpMa\\_en\\_02.pdf](https://cdn.rohde-schwarz.com/pws/dl_downloads/dl_common_library/dl_manuels/gb_1/f/fsq_1/FSQ_OpMa_en_02.pdf)
- [5] EUTRA/LTE Digital Standard for Rohde & Schwarz Signal Generators Operating Manual [online]. [cit. 2020-06-03]. Dostupné z: [https://scdn.rohde-schwarz.com/ur/pws/dl\\_downloads/dl\\_common\\_library/dl\\_manuels/gb\\_1/s/smu200a\\_1/digitale\\_standards\\_smuxamu/SMxAMU\\_EUTRA\\_LTE\\_Operating\\_en\\_26.pdf](https://scdn.rohde-schwarz.com/ur/pws/dl_downloads/dl_common_library/dl_manuels/gb_1/s/smu200a_1/digitale_standards_smuxamu/SMxAMU_EUTRA_LTE_Operating_en_26.pdf)
- [6] GESSNER, Christina. *Long Term Evolution: A concise introduction to LTE and its measurement requirements*. Germany: Rohde & Schwarz GmbH & Co. KG 2011, 2011. ISBN 978-3-939837-11-4

## Tabulky

Tabulka 1: Maximální povolená velikost EVM v závislosti na použité modulaci

Použitá modulace	EVM [%]
QPSK, BPSK	17,5
16QAM	12,5
64QAM	8

Tabulka 2: Limit spektrální emise (dBm) v závislosti na šířce kanálu

$\Delta f_{\text{OOB}}$ (MHz)	1,4 MHz	3 MHz	5 MHz	10 MHz	15 MHz	20 MHz	Šířka měřicího pásma
$\pm 0$ až 1	-10	-13	-15	-18	-20	-21	30 kHz
$\pm 1$ až 2,5	-10	-10	-10	-10	-10	-10	1 MHz
$\pm 2,5$ až 2,8	-25	-10	-10	-10	-10	-10	1 MHz
$\pm 2,8$ až 5		-10	-10	-10	-10	-10	1 MHz
$\pm 5$ až 6		-25	-13	-13	-13	-13	1 MHz
$\pm 6$ až 10			-25	-13	-13	-13	1 MHz
$\pm 10$ až 15				-25	-13	-13	1 MHz
$\pm 15$ až 20					-25	-13	1 MHz
$\pm 20$ až 25						-25	1 MHz

Tabulka 3: Minimální požadavky pro E-UTRA<sub>ACLRI</sub> [1]

Šířka pásma kanálu/E-UTRA <sub>ACLRI</sub> / šířka pásma měření						
	1,4 MHz	3 MHz	5 MHz	10 MHz	15 MHz	20 MHz
E-UTRA <sub>ACLRI</sub>	30 dB	30 dB	30 dB	30 dB	30 dB	30 dB
Šířka pásma měření E-UTRA kanálu	1,08 MHz	2,7 MHz	4,5 MHz	9 MHz	13,5 MHz	18 MHz

Tabulka 4: Minimální požadavky pro UTRA<sub>ACLRI/2</sub> [1]

Šířka pásma kanálu/ E-UTRA <sub>ACLRI/2</sub> /šířka pásma měření						
Šířka pásma kanálu	1,4 MHz	3 MHz	5 MHz	10 MHz	15 MHz	20 MHz
UTRA <sub>ACLRI</sub>	33 dB	33 dB	33 dB	33 dB	33 dB	33 dB
Střední kmitočtový offset přilehlého kanálu [MHz]	$0,7 + BW_{\text{UTRA}}/2$ / $-0,7 BW_{\text{UTRA}}/2$	$1,5 + BW_{\text{UTRA}}/2$ / $-1,5 - BW_{\text{UTRA}}/2$	$2,5 + BW_{\text{UTRA}}/2$ / $-2,5 - BW_{\text{UTRA}}/2$	$5 + BW_{\text{UTRA}}/2$ / $-5 - BW_{\text{UTRA}}/2$	$7,5 + BW_{\text{UTRA}}/2$ / $-7,5 BW_{\text{UTRA}}/2$	$10 + BW_{\text{UTRA}}/2$ / $-10 - BW_{\text{UTRA}}/2$
UTRA <sub>ACLRI2</sub>	-	-	36 dB	36 dB	36 dB	36 dB
Střední kmitočtový offset přilehlého kanálu [MHz]	-	-	$2,5 + BW_{\text{UTRA}}/2$ / $-2,5 - BW_{\text{UTRA}}/2$	$5 + BW_{\text{UTRA}}/2$ / $-5 - BW_{\text{UTRA}}/2$	$7,5 + BW_{\text{UTRA}}/2$ / $-7,5 BW_{\text{UTRA}}/2$	$10 + BW_{\text{UTRA}}/2$ / $-10 - BW_{\text{UTRA}}/2$
Šířka pásma měření UTRA 5 MHz kanálu	-	-	3,84 MHz	3,84 MHz	3,84 MHz	3,84 MHz
Šířka pásma měření UTRA 1,6 MHz kanálu	-	-	1,28 MHz	1,28 MHz	1,28 MHz	1,28 MHz

## **Příloha 2 - Vzorový protokol**

<b>Měření základních parametrů systému LTE</b>	
Jméno:	
Spolupracoval:	Studijní skupina:
Měřeno dne:	Hodnocení:

**2. Naměřený výkon**

P = .....

**3. EVM**

Frame Result 1/1	Min	Mean	Max	Limit	Unit

**4. Měření masky spektrální emise**

Start frekvence [MHz]	Stop frekvence [MHz]	RBW	Vzdálenost k masce



## 5. Měření ACLR

a) EUTRA

<b>Typ kanálu</b>	<b>Sířka pásma</b>	<b>Spodní hodnota</b>	<b>Horní hodnota</b>	<b>Limit</b>
<b>TX</b>				

b) UTRA

<b>Typ kanálu</b>	<b>Sířka pásma</b>	<b>Spodní hodnota</b>	<b>Horní hodnota</b>	<b>Limit</b>
<b>TX</b>				

**Závěr**