

# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ  
ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘICÍ TECHNIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION  
DEPARTMENT OF CONTROL AND INSTRUMENTATION

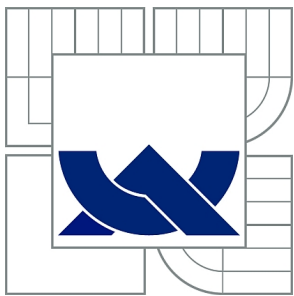
ZKOUŠKY ELEKTROMAGNETICKÉ KOMPATIBILITY

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE  
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

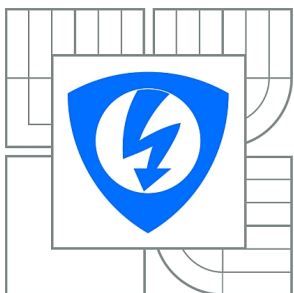
JAN KOLAŘÍK

BRNO 2013



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH  
TECHNOLOGIÍ

ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘICÍ TECHNIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION  
DEPARTMENT OF CONTROL AND INSTRUMENTATION

## ZKOUŠKY ELEKTROMAGNETICKÉ KOMPATIBILITY

ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY TESTS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

JAN KOLAŘÍK

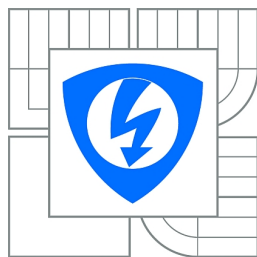
VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. MARIE HAVLÍKOVÁ, Ph.D.

BRNO 2013





VYSOKÉ UČENÍ  
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky  
a komunikačních technologií

Ústav automatizace a měřicí techniky

# Bakalářská práce

bakalářský studijní obor  
**Automatizační a měřicí technika**

**Student:** Jan Kolařík

**ID:** 134523

**Ročník:** 3

**Akademický rok:** 2012/2013

**NÁZEV TÉMATU:**

## Zkoušky elektromagnetické kompatibility

### POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Vypracujte přehled základních pojmů a členění oboru elektromagnetické kompatibility (EMC) se zaměřením na druhy a zdroje rušivých signálů.
2. Popište přístrojové vybavení zkušebny externího pracoviště AEV s.r.o. pro zkoušky elektromagnetických polí.
3. Sestavte přehled požadavků vztažných norem ČSN EN v oblasti EMC pro testované výrobky ve zkušebně AEV s.r.o.
4. Na základě souhlasu externího pracoviště sestavte protokol o zkouškách EMC pro vybraný výrobek.
5. Výsledky zkoušky zhodnoťte a diskutujte možné úpravy v případě negativního výsledku.

### DOPORUČENÁ LITERATURA:

ČSN IEC50(161) Mezinárodní elektrotechnický slovník – Kapitola 161, Elektromagnetická kompatibilita.  
SVAČINA, J. : Základy elektromagnetické kompatibility, seriál článků.  
Elektrorevue <http://www.elektrorevue.cz>. 2000, 2001

**Termín zadání:** 11.2.2013

**Termín odevzdání:** 27.5.2013

**Vedoucí práce:** Ing. Marie Havlíková, Ph.D.

**Konzultanti bakalářské práce:**

**doc. Ing. Václav Jirsík, CSc.**

*Předseda oborové rady*

### UPOZORNĚNÍ:

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

## **ABSTRAKT**

Cílem této bakalářské práce je rozebrat problematiku vědního oboru EMC. Bakalářská práce obsahuje základní rozdělení oboru a popis jednotlivých částí. Dále obsahuje podrobný popis jednotlivých měřících přístrojů a vybavení zkušebny EMC ve firmě AEV s.r.o. jako jsou generátory signálu, spektrální analyzátory a antény. Poslední část práce se zabývá samotným měřením elektromagnetické interference na výrobku z firmy AEV s.r.o. dle normy TL965 a návrhem protokolu o zkouškách pro zákazníka.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

EMC, EMI, EMS, šum, rušení, impulz, elektrostatika, Faradayova komora, anténa, spektrální analyzátor, umělá síť, norma

## **ABSTRACT**

The aim of this bachelor project is analysis problems branch of science EMC. The bachelor project contains basic distribution field and description individual parts of the field. Next bachelor project contains detailed description of individual measuring devices and equipment test room of EMC in company AEV s.r.o. like are signal generator, spectral analyzer and antennae. Last part of bachelor project deals with measurement electromagnetic interference on the product from the company AEV s.r.o. in accordance with the standard TL965 and design report of tests for a customer.

## **KEYWORDS**

EMC, EMI, EMS, noise, disturbance, impulse, electrostatics, Faraday cage, antenna, spectrum analyzer, artificial network, standard

KOLAŘÍK, Jan *Zkoušky elektromagnetické kompatibility*: bakalářská práce. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav automatizace a měřící techniky, 2013. 120 s. Vedoucí práce byl Ing. Marie Havlíková, PhD.

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma „Zkoušky elektromagnetické kompatibility“ 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 semestrální práce paní Ing. Marii Havlíkové, Ph.D. za odborné vedení, konzultace, trpělivost a podnětné návrhy k práci. Dále bych rád poděkoval Ing. Zdeňku Mlčákovi, jednatelem firmy AEV s.r.o., který mi umožnil provádět zkoušky elektromagnetické kompatibility na jejich pracovišti, Vladimíru Plchovi, který mě naučil pracovat s programem EMC32 a ESPI testovací soustavou a Ing. Pavlu Janáčovi za odbornou konzultaci.

Brno .....

.....

(podpis autora)

# OBSAH

<b>1</b>	<b>Úvod</b>	<b>15</b>
<b>2</b>	<b>Elektromagnetická kompatibilita</b>	<b>16</b>
2.1	Rozdělení oboru EMC . . . . .	16
2.1.1	EMC biologických systémů . . . . .	16
2.1.2	EMC technických systémů . . . . .	17
2.1.3	Elektromagnetická interference . . . . .	17
2.1.4	Elektromagnetická susceptibilita . . . . .	17
2.1.5	Shrnutí . . . . .	18
2.2	Základní pojmy . . . . .	19
2.3	Druhy a zdroje rušivých signálů . . . . .	21
2.3.1	Interferenční zdroje . . . . .	21
2.3.2	Průmyslové zdroje rušení . . . . .	23
2.3.3	Zdroje napětového rušení . . . . .	24
2.3.4	Zdroje kontinuálního rušení . . . . .	26
2.3.5	Zvláštní zdroje rušení . . . . .	27
<b>3</b>	<b>Zkušebna elektromagnetické kompatibility AEV s.r.o.</b>	<b>28</b>
3.1	Bezodrazová absorpční komora . . . . .	28
3.2	Antény . . . . .	30
3.2.1	Logaritmo-periodické PMM LP-02 a PMM LP-03 . . . . .	31
3.2.2	Prutová PMM RA-01 . . . . .	32
3.2.3	Bikonická PMM BC-01 . . . . .	33
3.3	Přístrojové vybavení . . . . .	34
3.3.1	Rohde & Schwarz ESPI Test Receiver . . . . .	34
3.3.2	Rohde & Schwarz FSV Signal Analyzer . . . . .	36
3.3.3	Rohde & Schwarz Signal Generator SMC100A . . . . .	38
3.3.4	PMM L2-16B a PMM L1-150M . . . . .	42
3.3.5	Rohde & Schwarz EMC32 . . . . .	44
3.4	Normy pro měření EMC . . . . .	46
<b>4</b>	<b>Protokol o zkouškách EMI</b>	<b>47</b>
4.1	Testované zařízení ( <i>EUT</i> ) . . . . .	47
4.2	Teoretický rozbor . . . . .	48
4.3	Postup měření pro EMI anténami . . . . .	51
4.4	Postup měření pro EMI do vedení . . . . .	54
4.5	Schéma zapojení pro EMI anténami a do vedení . . . . .	54

<b>5</b>	<b>Výsledný protokol zákazníkovi</b>	<b>55</b>
5.1	Navržený protokol . . . . .	55
5.1.1	Použité přístroje . . . . .	55
5.1.2	Klimatické podmínky . . . . .	55
5.1.3	Schéma zapojení měřicího pracoviště . . . . .	56
5.1.4	Výsledky měření EMI anténami . . . . .	66
5.1.5	Výsledky měření EMI do vedení . . . . .	76
<b>6</b>	<b>Zhodnocení zkoušek</b>	<b>82</b>
6.1	Rušení . . . . .	82
6.2	Subjektivní návrh ke zlepšení zkoušek EMI . . . . .	83
<b>7</b>	<b>Závěr</b>	<b>84</b>
	<b>Literatura</b>	<b>85</b>
	<b>Seznam symbolů, veličin a zkratk</b>	<b>87</b>
	<b>Seznam příloh</b>	<b>89</b>
<b>A</b>	<b>Externí pracoviště AEV s.r.o.</b>	<b>90</b>
A.1	Faradayova komora . . . . .	90
A.2	Antény . . . . .	92
A.3	Přístrojové vybavení . . . . .	94
<b>B</b>	<b>Měření EMI v absorpční komoře</b>	<b>97</b>
B.1	Měření interference anténami . . . . .	97
B.2	Měření interference do vedení . . . . .	102
<b>C</b>	<b>Měření EMI anténami (vadný kus)</b>	<b>105</b>
<b>D</b>	<b>Měření EMI do vedení (vadný kus)</b>	<b>115</b>

# SEZNAM OBRÁZKŮ

2.1	Rozdělení oboru EMC [1] . . . . .	16
2.2	Základní řetězec EMC [1] . . . . .	17
2.3	Definování úrovní a mezí odolnosti a rušení [1] . . . . .	19
2.4	Rozdělení interferenčních zdrojů [1] . . . . .	21
2.5	Podle normy definování impulsního rušení jako (a) seskupení impulsů a jako (b) spojitého rušení [1] . . . . .	22
2.6	Typické příklady interference signálů v napájecí síti [1] . . . . .	23
2.7	Závislost velikosti statického napětí na relativní vlhkosti pro různé druhy textilních materiálů [1] . . . . .	25
2.8	Příklad vzniku lokálního elektrostatického výboje [1] . . . . .	26
3.1	Faradayova komora - schéma . . . . .	29
3.2	Vztah mezi délkou antény a $\lambda$ . . . . .	32
3.3	Zapojení umělé sítě[1] . . . . .	42
3.4	Software EMC32 . . . . .	44
4.1	Nastavení frekvenčních úseků dle normy TL965 v šabloně pro biko- nickou anténu (BC01) v měřícím softwaru <i>EMC32</i> . . . . .	48
4.2	Nastavení šířky pásma, kroku a doby měření úseku dle normy TL965 v šabloně pro bikonickou anténu (BC01) v <i>EMC32</i> . . . . .	49
4.3	Nastavení parametrů cesty měřeného signálu . . . . .	50
4.4	<i>EMC32</i> - volba nové zkoušky . . . . .	51
4.5	<i>EMC32</i> - volba testování vyzařování anténou . . . . .	52
4.6	<i>EMC32</i> - volba šablony pro typ zkoušky . . . . .	53
4.7	<i>EMC32</i> - volba typu antény a šířky měřeného pásma . . . . .	53
4.8	<i>EMC32</i> - spuštění zkoušky . . . . .	53
5.1	Schéma zapojení měřícího pracoviště pro měření EMI prutovou anténou	56
5.2	Schéma zapojení měřícího pracoviště pro měření EMI prutovou anté- nou (boční pohled) . . . . .	57
5.3	Schéma zapojení měřícího pracoviště pro měření EMI bikonickou an- ténou . . . . .	58
5.4	Schéma zapojení měřícího pracoviště pro měření EMI bikonickou an- ténou (boční pohled, vertikální polarizace) . . . . .	59
5.5	Schéma zapojení měřícího pracoviště pro měření EMI logaritmicko- periodickou anténou . . . . .	60
5.6	Schéma zapojení měřícího pracoviště pro měření EMI logaritmicko- periodickou anténou (boční pohled, horizontální polarizace) . . . . .	61
5.7	Schéma zapojení měřícího pracoviště pro měření EMI logaritmicko- periodickou anténou (boční pohled, vertikální polarizace) . . . . .	61

5.8	Schéma zapojení měřicího pracoviště pro měření EMI do zemnicího vodiče . . . . .	63
5.9	Schéma zapojení měřicího pracoviště pro měření EMI do napájecího vodiče . . . . .	64
5.10	Schéma zapojení měřicího pracoviště pro měření EMI vedením (boční pohled) . . . . .	65
5.11	Měření EMI prutovou anténou (detektory PK+AV, šířka pásma 9kHz, krok 5kHz, čas měření úseku 50ms), EUT <i>Modul hodin</i> . . . . .	66
5.12	Měření EMI prutovou anténou (detektor QP, šířka pásma 9kHz, krok 5kHz, čas měření úseku 1s), EUT <i>Modul hodin</i> . . . . .	66
5.13	Měření EMI bikonickou anténou (detektory PK+AV, šířka pásma 9kHz, krok 5kHz, čas měření úseku 50ms, vertikální polarizace), EUT <i>Modul hodin</i> . . . . .	67
5.14	Měření EMI bikonickou anténou (detektory PK+AV, šířka pásma 120kHz, krok 50kHz, čas měření úseku 50ms, vertikální polarizace), EUT <i>Modul hodin</i> . . . . .	67
5.15	Měření EMI bikonickou anténou (detektor QP, šířka pásma 120kHz, krok 50kHz, čas měření úseku 1s, vertikální polarizace), EUT <i>Modul hodin</i> . . . . .	68
5.16	Měření EMI bikonickou anténou (detektory PK+AV, šířka pásma 1MHz, krok 500kHz, čas měření úseku 50ms, vertikální polarizace), EUT <i>Modul hodin</i> . . . . .	68
5.17	Měření EMI bikonickou anténou (detektory PK+AV, šířka pásma 9kHz, krok 5kHz, čas měření úseku 50ms, horizontální polarizace), EUT <i>Modul hodin</i> . . . . .	69
5.18	Měření EMI bikonickou anténou (detektory PK+AV, šířka pásma 120kHz, krok 50kHz, čas měření úseku 50ms, horizontální polarizace), EUT <i>Modul hodin</i> . . . . .	69
5.19	Měření EMI bikonickou anténou (detektor QP, šířka pásma 120kHz, krok 50kHz, čas měření úseku 1s, horizontální polarizace), EUT <i>Modul hodin</i> . . . . .	70
5.20	Měření EMI bikonickou anténou (detektory PK+AV, šířka pásma 1MHz, krok 500kHz, čas měření úseku 50ms, horizontální polarizace), EUT <i>Modul hodin</i> . . . . .	70
5.21	Měření EMI logaritmo-periodickou anténou (detektory PK+AV, šířka pásma 9kHz, krok 5kHz, čas měření úseku 50ms, vertikální polarizace), EUT <i>Modul hodin</i> . . . . .	71



5.22	Měření EMI logaritmo-periodickou anténou (detektory PK+AV, šířka pásma 120kHz, krok 50kHz, čas měření úseku 50ms, vertikální polarizace), EUT <i>Modul hodin</i> . . . . .	72
5.23	Měření EMI logaritmo-periodickou anténou (detektory PK+AV, šířka pásma 1MHz, krok 500kHz, čas měření úseku 50ms, vertikální polarizace), EUT <i>Modul hodin</i> . . . . .	73
5.24	Měření EMI logaritmo-periodickou anténou (detektory PK+AV, šířka pásma 9kHz, krok 5kHz, čas měření úseku 50ms, horizontální polarizace), EUT <i>Modul hodin</i> . . . . .	74
5.25	Měření EMI logaritmo-periodickou anténou (detektory PK+AV, šířka pásma 120kHz, krok 50kHz, čas měření úseku 50ms, horizontální polarizace), EUT <i>Modul hodin</i> . . . . .	74
5.26	Měření EMI logaritmo-periodickou anténou (detektory PK+AV, šířka pásma 1MHz, krok 500kHz, čas měření úseku 50ms, horizontální polarizace), EUT <i>Modul hodin</i> . . . . .	75
5.27	Měření EMI do napájecího kabelu (detektory PK+AV, šířka pásma 9kHz, krok 5kHz, čas měření úseku 50ms), EUT <i>Modul hodin</i> . . . . .	76
5.28	Měření EMI do napájecího kabelu (detektor QP, šířka pásma 9kHz, krok 5kHz, čas měření úseku 1s), EUT <i>Modul hodin</i> . . . . .	76
5.29	Měření EMI do napájecího kabelu (detektory PK+AV, šířka pásma 120kHz, krok 50kHz, čas měření úseku 50ms), EUT <i>Modul hodin</i> . . . . .	77
5.30	Měření EMI do napájecího kabelu (detektor QP, šířka pásma 120kHz, krok 50kHz, čas měření úseku 1s), EUT <i>Modul hodin</i> . . . . .	77
5.31	Měření EMI do napájecího kabelu (detektory PK+AV, šířka pásma 1MHz, krok 500kHz, čas měření úseku 500ms), EUT <i>Modul hodin</i> . . . . .	78
5.32	Měření EMI do zemnicího kabelu (detektory PK+AV, šířka pásma 9kHz, krok 5kHz, čas měření úseku 50ms), EUT <i>Modul hodin</i> . . . . .	79
5.33	Měření EMI do zemnicího kabelu (detektor QP, šířka pásma 9kHz, krok 5kHz, čas měření úseku 1s), EUT <i>Modul hodin</i> . . . . .	79
5.34	Měření EMI do zemnicího kabelu (detektory PK+AV, šířka pásma 120kHz, krok 50kHz, čas měření úseku 50ms), EUT <i>Modul hodin</i> . . . . .	80
5.35	Měření EMI do zemnicího kabelu (detektor QP, šířka pásma 120kHz, krok 50kHz, čas měření úseku 1s), EUT <i>Modul hodin</i> . . . . .	80
5.36	Měření EMI do zemnicího kabelu (detektory PK+AV, šířka pásma 1MHz, krok 500kHz, čas měření úseku 500ms), EUT <i>Modul hodin</i> . . . . .	81
6.1	Napájecí obvod, EUT <i>Modul hodin</i> . . . . .	83
A.1	Faradayova komora . . . . .	90
A.2	360° otočný systém Faradayovy komory . . . . .	90
A.3	Feritové a jehlanovité absorbéry . . . . .	91

A.4	Logaritmo-periodická anténa PMM LP-02 . . . . .	92
A.5	Logaritmo-periodická anténa PMM LP-03 . . . . .	92
A.6	Prutová anténa PMM RA-01 . . . . .	93
A.7	Bikonická anténa PMM BC-01 . . . . .	93
A.8	Rohde & Schwarz ESPI test receiver . . . . .	94
A.9	Rohde & Schwarz FSV signal analyzer . . . . .	94
A.10	Rohde & Schwarz Signal generator SMC100A . . . . .	95
A.11	PMM L2-16B . . . . .	95
A.12	PMM L1-150M . . . . .	96
B.1	Kompletní zapojení měření modulu hodin . . . . .	97
B.2	Zapojení do umělé sítě (LISN) . . . . .	97
B.3	Modul hodin . . . . .	98
B.4	Odstínění simulátoru řídicí jednotky . . . . .	98
B.5	Měření vyzařování prutovou anténou . . . . .	99
B.6	Uzemnění prutové antény k měděné zemnicí podložce . . . . .	99
B.7	Měření bikonickou anténou (horizontální polarizace) . . . . .	100
B.8	Měření bikonickou anténou (vertikální polarizace) . . . . .	100
B.9	Měření logaritmicko-periodickou anténou (horizontální polarizace) . . . . .	101
B.10	Měření logaritmicko-periodickou anténou (vertikální polarizace) . . . . .	101
B.11	Měření interference do zemnicího kabelu . . . . .	102
B.12	Měření interference do vedení - 50 $\Omega$ stabilizační zátěž . . . . .	102
B.13	Měření interference do vedení - zapojení simulátoru . . . . .	103
B.14	Měření interference do napájecího kabelu . . . . .	103
B.15	Měření interference do vedení - zapojení do LISN . . . . .	104
C.1	Měření EMI prutovou anténou (detektory PK+AV, šířka pásma 9kHz, krok 5kHz, čas měření úseku 50ms), EUT <i>Modul hodin</i> (vadný kus) . . . . .	105
C.2	Měření EMI prutovou anténou (detektory PK+AV, šířka pásma 9kHz, krok 5kHz, čas měření úseku 50ms), EUT <i>Modul hodin</i> (vadný kus), zoom na 16MHz . . . . .	105
C.3	Měření EMI prutovou anténou (detektor QP, šířka pásma 9kHz, krok 5kHz, čas měření úseku 1s), EUT <i>Modul hodin</i> (vadný kus) . . . . .	106
C.4	Měření EMI bikonickou anténou (detektory PK+AV, šířka pásma 9kHz, krok 5kHz, čas měření úseku 50ms, vertikální polarizace), EUT <i>Modul hodin</i> (vadný kus) . . . . .	107
C.5	Měření EMI bikonickou anténou (detektory PK+AV, šířka pásma 120kHz, krok 50kHz, čas měření úseku 50ms, vertikální polarizace), EUT <i>Modul hodin</i> (vadný kus) . . . . .	107

C.6	Měření EMI bikonickou anténou (detektor QP, šířka pásma 120kHz, krok 50kHz, čas měření úseku 1s, vertikální polarizace), EUT <i>Modul hodin</i> (vadný kus) . . . . .	108
C.7	Měření EMI bikonickou anténou (detektory PK+AV, šířka pásma 1MHz, krok 500kHz, čas měření úseku 50ms, vertikální polarizace), EUT <i>Modul hodin</i> (vadný kus) . . . . .	108
C.8	Měření EMI bikonickou anténou (detektory PK+AV, šířka pásma 9kHz, krok 5kHz, čas měření úseku 50ms, horizontální polarizace), EUT <i>Modul hodin</i> (vadný kus) . . . . .	109
C.9	Měření EMI bikonickou anténou (detektory PK+AV, šířka pásma 120kHz, krok 50kHz, čas měření úseku 50ms, horizontální polarizace), EUT <i>Modul hodin</i> (vadný kus) . . . . .	109
C.10	Měření EMI bikonickou anténou (detektor QP, šířka pásma 120kHz, krok 50kHz, čas měření úseku 1s, horizontální polarizace), EUT <i>Modul hodin</i> (vadný kus) . . . . .	110
C.11	Měření EMI bikonickou anténou (detektory PK+AV, šířka pásma 1MHz, krok 500kHz, čas měření úseku 50ms, horizontální polarizace), EUT <i>Modul hodin</i> (vadný kus) . . . . .	110
C.12	Měření EMI logaritmo-periodickou anténou (detektory PK+AV, šířka pásma 9kHz, krok 5kHz, čas měření úseku 50ms, vertikální polarizace), EUT <i>Modul hodin</i> (vadný kus) . . . . .	111
C.13	Měření EMI logaritmo-periodickou anténou (detektory PK+AV, šířka pásma 120kHz, krok 50kHz, čas měření úseku 50ms, vertikální polarizace), EUT <i>Modul hodin</i> (vadný kus) . . . . .	111
C.14	Měření EMI logaritmo-periodickou anténou (detektory PK+AV, šířka pásma 1MHz, krok 500kHz, čas měření úseku 50ms, vertikální polarizace), EUT <i>Modul hodin</i> (vadný kus) . . . . .	112
C.15	Měření EMI logaritmo-periodickou anténou (detektory PK+AV, šířka pásma 9kHz, krok 5kHz, čas měření úseku 50ms, horizontální polarizace), EUT <i>Modul hodin</i> (vadný kus) . . . . .	113
C.16	Měření EMI logaritmo-periodickou anténou (detektory PK+AV, šířka pásma 120kHz, krok 50kHz, čas měření úseku 50ms, horizontální polarizace), EUT <i>Modul hodin</i> (vadný kus) . . . . .	113
C.17	Měření EMI logaritmo-periodickou anténou (detektory PK+AV, šířka pásma 1MHz, krok 500kHz, čas měření úseku 50ms, horizontální polarizace), EUT <i>Modul hodin</i> (vadný kus) . . . . .	114
D.1	Měření EMI do napájecího kabelu (detektory PK+AV, šířka pásma 9kHz, krok 5kHz, čas měření úseku 50ms), EUT <i>Modul hodin</i> (vadný kus) . . . . .	115

D.2	Měření EMI do napájecího kabelu (detektor QP, šířka pásma 9kHz, krok 5kHz, čas měření úseku 1s), EUT <i>Modul hodin</i> (vadný kus) . . .	115
D.3	Měření EMI do napájecího kabelu (detektory PK+AV, šířka pásma 120kHz, krok 50kHz, čas měření úseku 50ms), EUT <i>Modul hodin</i> (vadný kus) . . . . .	116
D.4	Měření EMI do napájecího kabelu (detektor QP, šířka pásma 120kHz, krok 50kHz, čas měření úseku 1s), EUT <i>Modul hodin</i> (vadný kus) . .	116
D.5	Měření EMI do napájecího kabelu (detektory PK+AV, šířka pásma 1MHz, krok 500kHz, čas měření úseku 500ms), EUT <i>Modul hodin</i> (vadný kus) . . . . .	117
D.6	Měření EMI do zemnicího kabelu (detektory PK+AV, šířka pásma 9kHz, krok 5kHz, čas měření úseku 50ms), EUT <i>Modul hodin</i> (vadný kus) . . . . .	118
D.7	Měření EMI do zemnicího kabelu (detektor QP, šířka pásma 9kHz, krok 5kHz, čas měření úseku 1s), EUT <i>Modul hodin</i> (vadný kus) . . .	118
D.8	Měření EMI do zemnicího kabelu (detektory PK+AV, šířka pásma 120kHz, krok 50kHz, čas měření úseku 50ms), EUT <i>Modul hodin</i> (vadný kus) . . . . .	119
D.9	Měření EMI do zemnicího kabelu (detektor QP, šířka pásma 120kHz, krok 50kHz, čas měření úseku 1s), EUT <i>Modul hodin</i> (vadný kus) . .	119
D.10	Měření EMI do zemnicího kabelu (detektory PK+AV, šířka pásma 1MHz, krok 500kHz, čas měření úseku 500ms), EUT <i>Modul hodin</i> (vadný kus) . . . . .	120

# SEZNAM TABULEK

2.1	Prahové hodnoty výkonové hustoty tepelných účinků elektromag. pole [1] . . . . .	17
2.2	Ničivá energie různých druhů elektronických součástek [1] . . . . .	24
2.3	Rozdíly NEMP a LEMP [1] . . . . .	27
3.1	Rozměry Faradayovy komory v AEV s.r.o. . . . .	28
3.2	Popis součástí Faradayovy komory . . . . .	29
3.3	Parametry logaritmo-periodické antény PMM LP-02[13] . . . . .	31
3.4	Parametry logaritmo-periodické antény PMM LP-03[14] . . . . .	31
3.5	Parametry bikonické antény PMM RA-01[15] . . . . .	32
3.6	Parametry bikonické antény PMM BC-01[12] . . . . .	33
3.7	Základní parametry signálního analyzátoru FSV[7] . . . . .	37
3.8	Parametry signálního generátoru SMC100A [8] . . . . .	38
3.9	Modulace signálního generátoru SMC100A [8] . . . . .	40
3.10	Modulace pracující současně (+ může, - nemůže, (+) může s omezením) [8] . . . . .	41
3.11	Parametry umělých sítí PMM L2-16B a PMM L1-150M [10][11] . . . . .	42
4.1	Technické parametry testovaného zařízení, EUT <i>Modul hodin</i> . . . . .	47
5.1	Použité přístroje . . . . .	55
5.2	Tabulka součástí měřicího pracoviště pro měření EMI prutovou anténou	57
5.3	Tabulka součástí měřicího pracoviště pro měření EMI bikonickou anténou . . . . .	59
5.4	Tabulka součástí měřicího pracoviště pro měření EMI logaritmo-periodickou anténou . . . . .	62
5.5	Tabulka součástí měřicího pracoviště pro měření EMI vedením . . . . .	65

# 1 ÚVOD

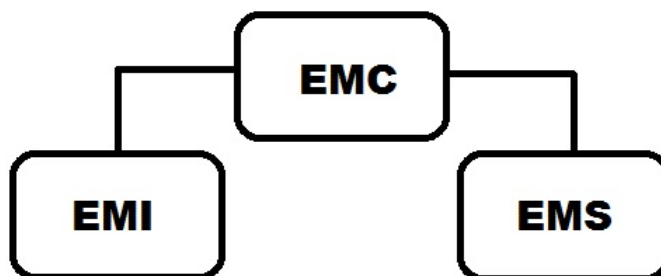
Bakalářská práce *Zkoušky elektromagnetické kompatibility* popisuje problematiku vědního oboru Elektromagnetické kompatibility ze všech možných úhlů. První část bakalářské práce se zabývá teoretickým rozбором problematiky, základním rozdělením oboru a druhy rušivých signálů. Druhá část se zaměřuje na popis základních měřících přístrojů a vybavení zkušebny elektromagnetické kompatibility ve firmě AEV s.r.o. Ve třetí části jsem navrhl měřící protokol pro zkoušky elektromagnetické kompatibility na vybraném výrobku firmy AEV s.r.o. V předposlední části jsem na základě mého vytvořeného protokolu pro zkoušky elektromagnetické kompatibility vytvořil výsledný protokol pro koncového zákazníka, který obsahuje grafy a výsledek zkoušky. Poslední část se zaměřuje na zhodnocení zkoušky z hlediska náročnosti a vzniklých problémů.

## 2 ELEKTROMAGNETICKÁ KOMPATIBILITA

Pojem **elektromagnetická kompatibilita** (dále jen **EMC**) představuje schopnost určitého elektronického zařízení neměnit svoji funkci při působení různých rušivých elektromagnetických signálů (pokud je zařízení přijímačem rušení) a na druhou stranu také neovlivňovat svoji funkci jiná elektrotechnická zařízení v okolí (pokud je zařízení zdrojem rušení). Elektromagnetická kompatibilita pochází z USA, kde tato elektrotechnická disciplína vznikla ve vojenském odvětví v 60. letech minulého století. V současné době se dotýká nás všech, jelikož skoro každé zařízení, které je v domácnosti vyzařuje elektromagnetickou energii a čím je větší počet těchto zařízení, tím je větší riziko špatné funkce zařízení. Ve světě, ale i u nás, jsou známy případy, kdy nedodržení EMC mělo za následek ztrátu na životech a techniky.[1]

### 2.1 Rozdělení oboru EMC

Obor se dělí na 2 hlavní části a to EMC biologických systémů a EMC technických systémů. Dále se dělí na **elektromagnetickou interferenci** (dále jen **EMI**) a **elektromagnetickou susceptibilitu** (dále jen **EMS**). Rozdělení je vidět na obr. 2.1.



Obr. 2.1: Rozdělení oboru EMC [1]

#### 2.1.1 EMC biologických systémů

Zabývá se vlivem rušení na živé organismy, především tedy vliv rušení na funkci lidského těla. Tyto rušení se vyskytují, jak na pracovišti, tak především v domácnosti, kde na nás rušení působí prostřednictvím domácích spotřebičů, jejichž počet s rostoucím technologickým rozvojem stále stoupá. Vliv elektromagnetických polí na různé živé organismy je různý a závisí na 3 hlediscích. Na charakteru rušivého pole, na jeho délce působení a na biologických vlastnostech organismu. Po celém

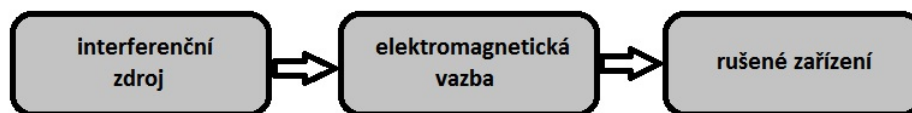
světě existují různá vědecko-lékařská pracoviště, která testují účinky elektromagnetických polí na organismus. Účinky se rozdělují do 2 kategorií a to na tepelné účinky (vlivem vysokofrekvenčních a mikrovlnných polí je tkáň organismus ohřívána) a netepelné účinky (např. účinky na centrální nervový systém, karcinogenní účinky a jiné). Ovšem žádné z těchto účinků nebyly nikde jednoznačně prokázány. V tab. 2.1 jsou naznačeny přípustné prahové hodnoty výkonové hustoty, po jejichž překročení může dojít k tepelnému poškození organismu.[1]

Pásmo elektromag. vln [GHz]	Prahová výkonová hustota [mW/cm <sup>2</sup> ]
0,3 - 3	40
3 - 30	10
30 - 300	7

Tab. 2.1: Prahové hodnoty výkonové hustoty tepelných účinků elektromag. pole [1]

### 2.1.2 EMC technických systémů

Zabývá se vzájemným působením elektrotechnických a elektronických zařízení. Pokud vyšetřuji EMC daného zařízení, tak postupuji podle tzv. **základního řetězce EMC** zobrazeného na obr. 2.2. Při zkoumání se vyšetřují všechny tři jeho oblasti jedna po druhé.



Obr. 2.2: Základní řetězec EMC [1]

### 2.1.3 Elektromagnetická interference

Tato část oboru se zabývá především identifikací zdroje rušivého signálu, jeho měření a zjištění elektromagnetické vazby s rušeným zařízením. Snaha je tedy najít příčinu rušení a následně ji odstranit.

### 2.1.4 Elektromagnetická susceptibilita

EMS zjišťuje do jaké míry je zařízení odolné vůči elektromagnetickému rušení a jakými způsoby lze zařízení před rušením ochránit. EMI řeší příčinu rušení, kdežto EMS řeší až následky tohoto rušení.



### 2.1.5 Shrnutí

Protože není možné zařízení úplně odrušit od elektromagnetického záření, byly napsány normy a předpisy, které stanovují maximální přípustné hodnoty rušivých signálů pro jednotlivé druhy zařízení platné ve většině vyspělých států světa. EMC se nedotýká jenom elektrotechnického oboru, ale například i ekonomického, kdy díky elektromagnetickému rušení může dojít ke ztrátě dat v bankách nebo zdravotnického, ve kterých správná odolnost přístrojů je důležitá pro záchranu lidského života. V dnešní době je nutnost dodržení norem a předpisů EMC důležité pro výrobu a prodej veškerých přístrojů.

## 2.2 Základní pojmy

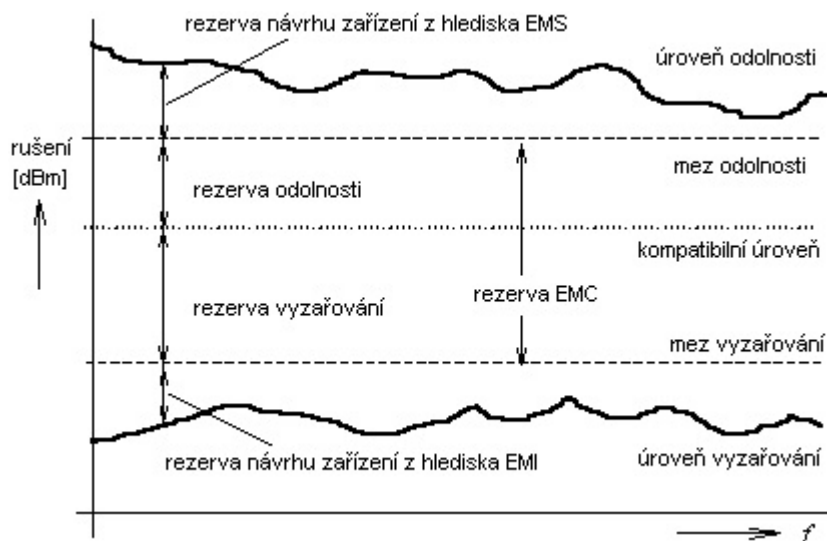
Pro další popis rušení je potřeba vysvětlit některé základní pojmy, které jsou pro charakterizování interference důležité a to **šum**, **impulzní rušení** a **přechodné jevy**.

**Šum** v oblasti EMC považují za rušivé signály ovlivňující užitečný signál, kdežto šum v jiných oblastech elektrotechniky považují za náhodný signál, který je spojen s funkcí různých součástek.

**Impulzní rušení** má charakter impulsů s velkým poměrem velikosti k časové délce působení impulsu. Tyto impulzy se přičítají k užitečnému signálu a vytváří na něm kladné a záporné špičky.

**Přechodné jevy** jsou také projevem rušení, které má krátkodobý jednorázový charakter (v řádech milisekund až sekund).

Jak jsem psal výše, každé elektronické zařízení se chová jako zdroj rušení i jako přijímač rušení a norma **ČSN-IEC 1000-1-1** z roku 1992 stanovuje základní pojmy pro tyto zařízení, které jsou vysvětleny na obr. 2.3.[19]



Obr. 2.3: Definování úrovní a mezí odolnosti a rušení [1]

**Úroveň vyzařování** je rušení samotného zařízení měřené podle EMI.

**Mez vyzařování** je podle normy stanovená maximální přípustná hranice rušení pro určitý typ zařízení.

**Úroveň odolnosti** je maximální úroveň rušení, při které ještě zařízení pracuje správně a nedochází u něj ke změně jeho funkce.

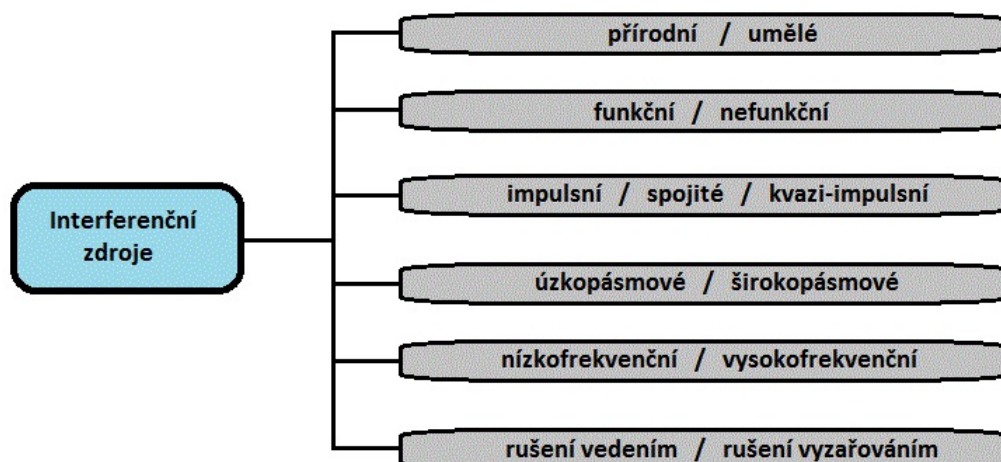
**Mez odolnosti** je podle normy stanovená minimální přípustná hranice odolnosti daného zařízení.

Při návrhu podle EMS se stanoví rezerva odolnosti a podle EMI rezerva vyzařování. Obě tyto úrovně jsou pro každé zařízení různé vzhledem k možnostem návrhu z hlediska finančních a technických a jejich hodnoty stanovují kompatibilní úroveň, při které je dosaženo optimálních hodnot, jak z hlediska EMI, tak z hlediska EMS. Rozdíl meze odolnosti a mezi vyzařování udává rezervu EMC.

## 2.3 Druhy a zdroje rušivých signálů

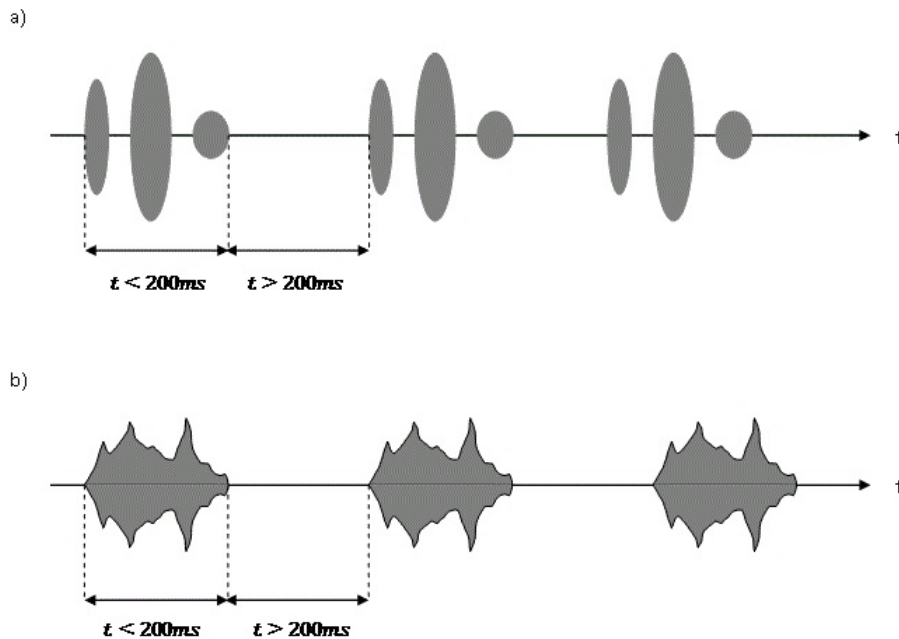
### 2.3.1 Interferenční zdroje

Zařízení u nichž převažuje generování rušivých signálů nad jejich příjmem se nazývají **interferenční zdroje**. Rozdělení interferenčních zdrojů je vidět na obr. 2.4. Ještě se rozděluje rušení na směr jeho působení a to na **vnější** (působící na zařízení v jeho okolí), **vzájemné** (navzájem mezi zařízeními) a **vnitřní** (vzniká přímo v samotném zařízení).



Obr. 2.4: Rozdělení interferenčních zdrojů [1]

**Přírodními zdroji** rušení jsou například blesky nebo sluneční erupce. Musí se brát v úvahu a zabránit jejich následkům. Umělé zdroje rušení jsou vytvořené lidskou činností. **Funkční zdroje** jsou takové, které mají za základní funkci přímo vysílání signálu a jiná zařízení může takovýto signál brát jako rušení. Můžou to být například různé mobilní a televizní vysílače. Naopak **nefunkční (parazitní)** vysílače nemají jako hlavní funkci vysílání signálu a rušení je pouze jejich parazitním jevem. **Impulsní zdroje rušení** se chovají jako impulsy o různé velikosti v různých časových okamžicích. **Spojitě rušení** je definováno jako nekončící působení rušení na zařízení. **Kvazi-impulsní rušení** je spojení impulsního a spojitého rušení. V praxi bylo ovšem nutné určit, které rušení můžeme považovat za impulsní a které za spojitě a proto byla vytvořena norma, která tento problém řeší. Tato norma definuje tzv. **mžikovou poruchu** jako impulsní poruchu, jejíž časové působení není delší než  $200\text{ ms}$  a je vzdáleno od dalšího působení více než  $200\text{ ms}$ . V opačném případě poruchy, které nevyhovují těmto podmínkám, považují za spojitě či kvazi-impulsní. Tato podmínka je naznačena na obr. 2.5, přičemž signál, jehož délka je kratší než  $200\text{ ms}$ , může být jak spojitý, tak i impulsní.[1]



Obr. 2.5: Podle normy definování impulsního rušení jako (a) seskupení impulsů a jako (b) spojitého rušení [1]

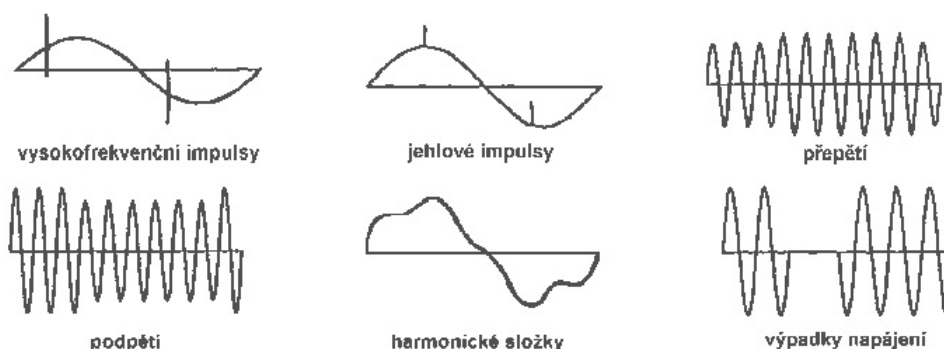
Do **úzkopásmového rušení** se zařazují například užitečné signály rádiových a televizních vysílačů, širokopásmové rušení se charakterizuje jako průmyslové rušení z elektromotorů, termostatů aj.

**Nízkofrekvenční rušení** patří do pásma od  $0$  do  $2\text{ kHz}$  a zkresluje (deformuje) napájecí napětí a odebíraný proud energetické sítě. Zdrojem tohoto rušení jsou především nelineární zátěže připojené do energetické sítě. Akustické nízkofrekvenční rušení spadá do pásma do  $10\text{ kHz}$ , v kterém ovlivňuje rozhlas, komunikační a informační systémy, telefony a jiné. **Vysokofrekvenční (rádiové) rušení** spadá do pásma od  $10\text{ kHz}$  do  $400\text{ GHz}$  a patří sem veškeré interferenční zdroje, protože jejich rušivé signály interferují v této frekvenční oblasti.

Každý interferenční zdroj své rušení přenáší, jak prostorem, tak i vedením. Protože však jeden druh rušení výrazně převažuje nad druhým, rozdělují se interferenční zdroje na rušení šířené vedením a na rušení šířené vyzařováním. Rozdělení interferenčních zdrojů je opravdu hodně a při klasifikaci zjišťují, že jednotlivá rozdělení se navzájem prolínají, takže není možné jednoznačně určit, do které klasifikace interference patří. Proto se rozdělují interferenční zdroje na několik dalších oborů podle jejich vzniku.

### 2.3.2 Průmyslové zdroje rušení

Jedním z hlavních průmyslových rušení jsou periodické spojitě rušivé signály produkované harmonickými složkami kmitočtu napájecí sítě  $50\text{ Hz}$ . Tyto harmonické složky jsou vytvářené přímo v elektrárnách silnoproudými generátory a nepříjemně ovlivňují nelineární impedance připojené v síti vznikem dalších harmonických složek. V dnešní době jsou řízené polovodičové měniče velkých výkonů největšími interferenčními zdroji, které produkují harmonické složky až do  $30\text{ MHz}$ . Rušení v energetické síti může mít jakýkoliv charakter a některé základní charakteristiky jsou zobrazeny na obr. 2.6.



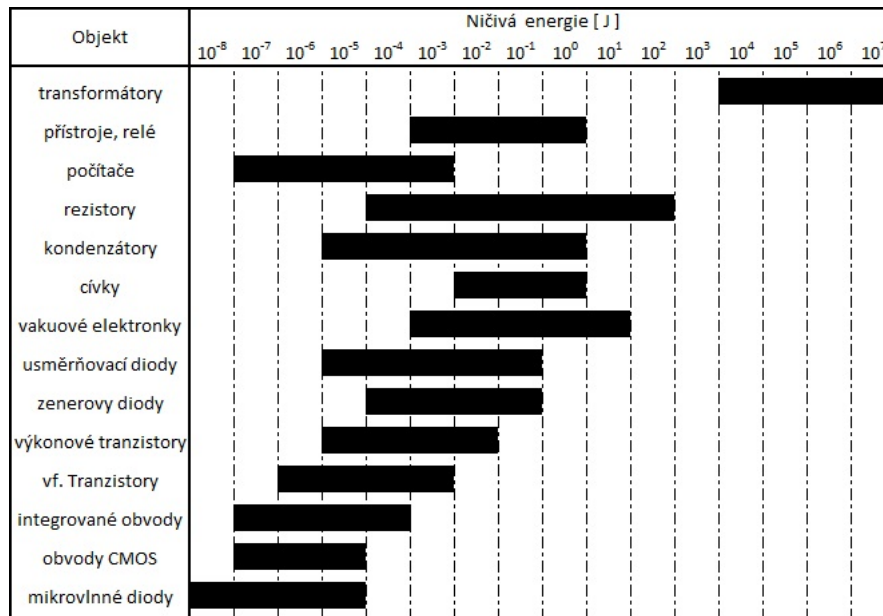
Obr. 2.6: Typické příklady interference signálů v napájecí síti [1]

V energetických soustavách vznikají vlivem spínacích a rozpínacích pochodů mechanických a elektrických spínačů přechodné jevy, které způsobují rušení. V sítích VN a VVN dochází k vysokofrekvenčním oscilacím při zapínání vlivem kapacity a indukčnosti spínaných vedení. Tyto oscilace dosahují několika tisíců Voltů a vlivem vysokých frekvencí oscilací se snadno přes kapacitu, která pro tyto oscilace představuje zkrat, dostávají do sítí NN. V napájecích sítích NN vzniká další typ rušení a to u různých mechanických relé. Při přechodném jevu rozpojování obvodu obsahujícího indukčnost dochází v určitém časovém okamžiku rozpojení kontaktů k rychlé změně proudu ( $di/dt$ ) a tím vzniku rušivého napětí na kontaktech spínače. Mezi kontakty tím vzniká obloukový výboj a napětí na nich klesá k nule, potom výboj zhasne a napětí na kontaktech opět narůstá. Pokud dojde opět k překročení průrazné pevnosti vzduchu, tak vznikne oblouk. Tento děj se několikrát opakuje, dokud velikost napětí mezi kontakty nepřekročí průraznou pevnost. Tím v napájecí síti vznikají velmi strmé impulzy s napětím řádu několika  $kV$ . Podobně to platí i pro spínání obvodů obsahujících indukčnost, u kterých jsou ovšem jiné počáteční podmínky a proto jsou impulzy menší. Další typ rušení vzniká v usměrňovačích diodového typu a v systémech tyristorového řízení výkonových zařízení (tramvaje, trolejbusy, lokomotivy a jiné), kde vlivem opakujícího spínání velkých proudů dochází ke vzniku

rušivých napětí a pokud jsou tyto usměrňovače připojené k energetické síti přímo bez jakýchkoliv ochran, tak může dojít k výpadkům v energetické síti.[1]

### 2.3.3 Zdroje napěťového rušení

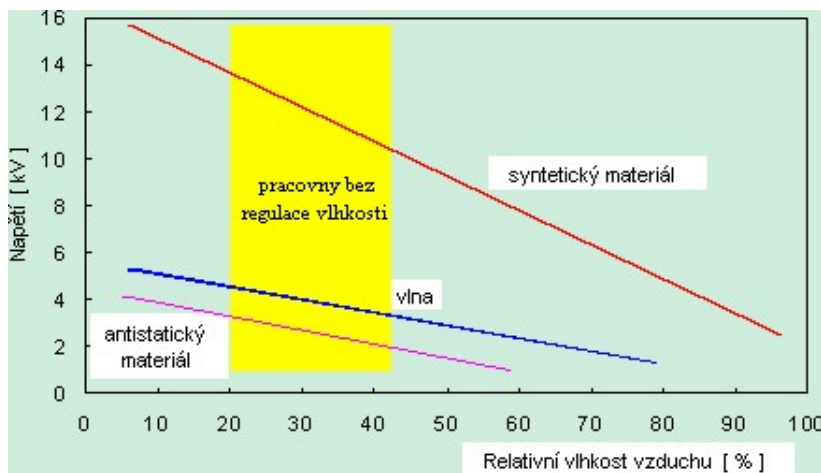
Zdroje napěťového přepětí se rozdělují stejně, jako jsem rozdělval obor EMC a to na **přírodní** a **umělé**. Vlivem rostoucího technologického pokroku je stále těžší zabránit rušení v elektronických zařízeních. Je to způsobeno rostoucím počtem součástek a jejich náchylností na přepětí. Transformátory jsou schopné vydržet přepětí až v řádu  $kV$ , kdežto integrované obvody nejsou schopny vydržet přepětí ani v řádu  $V$ . Především vznikem integrovaných obvodů s počtem součástek několik milionů na jednom čipu se ničivá energie snížila z  $10^6 J$  až na  $10^{-8} J$ , jak je patrné z tab. 2.2. Lze jen předpovídat, že s rostoucím technologickým pokrokem se energie potřebná ke zničení elektronických zařízení bude dále snižovat.



Tab. 2.2: Ničivá energie různých druhů elektronických součástek [1]

Nejhlavnějším a zároveň nejničivějším přírodním zdrojem rušení je **bleskový výboj**, který může ovlivnit funkci zařízení až do vzdálenosti  $4 km$ . Bleskový výboj má charakter strmého elektromagnetického impulsu (označován jako **LEMP - Lightning Electromagnetic Pulse**) o velikosti proudového výboje až  $200 kA$  a kmitočtovým rozsahem  $2 - 30 kHz$ . Bleskový výboj do budovy způsobuje rázový impuls proudu, který protéká všemi kovovými částmi budovy, pokud jsou uzemněné, jelikož výboj může přeskokovat z jednoho vodiče na druhý a tak protékat v blízkosti elektronických spotřebičů a tím v nich indukovat proudy, které zařízení zničí.

V tomto případě je důležité, aby silové rozvody budovy měly proudové chrániče a další různé ochranné prvky. Pro veškeré bleskové výboje je společným jevem velká strmost náběžné hrany (jednotky  $\mu S$ ) a malá strmost sestupné hrany (stovky  $\mu S$ ). [1]

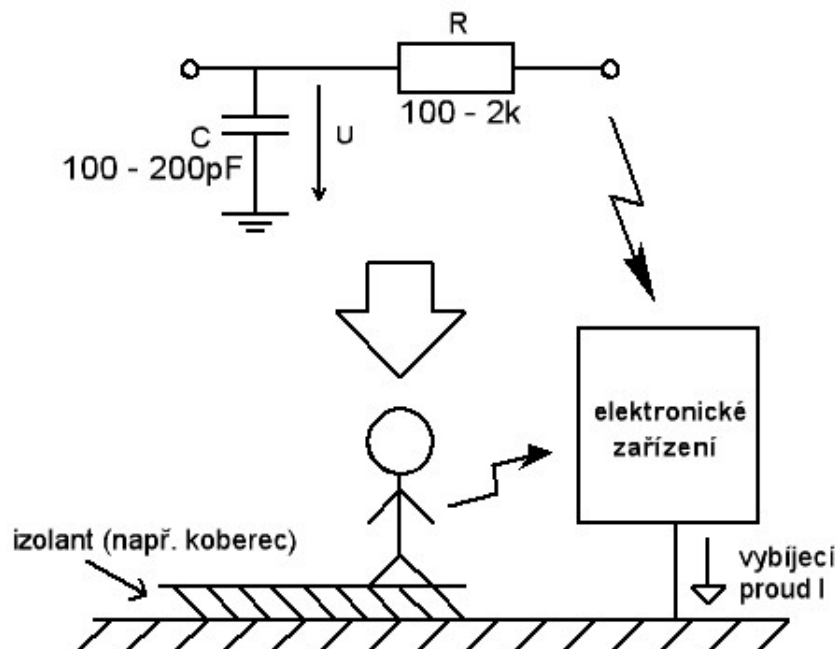


Obr. 2.7: Závislost velikosti statického napětí na relativní vlhkosti pro různé druhy textilních materiálů [1]

Umělé zdroje přepětí jsou prakticky všechny spínací zařízení. Jejich velikost závisí na různých faktorech, ale především na velikosti spínaného proudu a napětí, na kvalitě spínacích prvků u mechanických zařízení, na impedančních poměrech v energetické síti a na rychlosti spínání. Mezi umělé zdroje přepětí patří například **elektrostatické výboje (ESD - *Electrostatic Discharge*)**. Ty se vyskytují všude, kde dochází k mechanickému tření (kovových nebo dielektrických - pevných, kapalných a plyných). Přestože energie lokálních výbojů je velmi nízká (jednotky  $mJ$ ), jejich napěťová úroveň je v řádu desítek  $kV$ . Toto napětí je velmi nebezpečné pro integrované obvody (nejvíce náchylné jsou obvody CMOS), které pracují s malými proudy a napětím v řádu  $V$ . Pro příklad zničení integrovaného obvodu použijí člověka, který obsluhuje elektronické přístroje a který nemá adekvátní antistatické oblečení. Tento pracovník může být elektrostaticky nabitý (napětí  $5 - 15 kV$  proti zemi) a jediný jeho dotek s živou částí integrovaného obvodu zničí součástku. Elektrostatický výboj je silně závislý na vlhkosti vzduchu a elektrostatické napětí klesá s rostoucí relativní vlhkostí. Pokud je vlhkost v místnosti pod  $10\%$  a člověk má na sobě oblečení ze syntetického materiálu, pak tření, které vzniká, může vyvolat elektrostatické napětí až  $15 kV$ . Závislost vlhkosti vzduchu na elektrostatickém napětí je naznačena na obr. 2.7. Způsobení elektrostatického výboje člověkem je znázorněno na obr. 2.8. Člověk stojí na nějakém izolačním materiálu (v našem případě koberec) a obsluhuje elektronické zařízení. Kapacita lidského těla je přibližně  $100 - 200 pF$  a při každém tření se tato kapacita nabíjí. Odpor paže se pohybuje v rozmezí  $200$



$\Omega - 2\text{ k}\Omega$ . Jakmile se člověk dotkne živé části elektronického zařízení, tak se jeho kapacita vybíjí přes odpor paže do země přes elektronické zařízení.



Obr. 2.8: Příklad vzniku lokálního elektrostatického výboje [1]

### 2.3.4 Zdroje kontinuálního řešení

Dalším obávaným zdrojem rušení jsou rušivé signály **kontinuálního (spojitého) charakteru**, jejichž doba působení trvá nepřetržitě nebo mnohem delší dobu než rušení u průmyslových zdrojů a přepětí. Mezi hlavní představitele tohoto rušení jsou rozhlasové a televizní vysílače, příp. radarové vysílače. Jejich signály jsou buď parazitně injektovány do kabelových vedeních nebo se šíří pouze vyzařováním. Kontinuální charakter mají také vyšší harmonické složky proudu vyvolané některými nelineárními spotřebiči. Mezi další zdroje patří i **CBR (Citizen Band Radio)**, což je rádiové vysílání v pásmu  $27\text{ MHz}$ . Rušení u tohoto signálu je způsobeno zakázaným překračováním povoleného VF. Vyzařovaného výkonu zařazením výstupního výkonového zesilovače do anténního přívodu stanice. Spektrum tohoto signálu obsahuje kromě složky  $27\text{ MHz}$  ještě další harmonické složky, přičemž druhá už spadá do oblasti TV kanálu.[1]

### 2.3.5 Zvláštní zdroje rušení

Do této kategorie se zařazují např. tzv. **nukleární elektromagnetický impulz** (**NEMP - Nuclear Electromagnetic Pulse**), který doprovází jaderný výbuch. NEMP má podobnou charakteristiku jako bleskový výboj (LEMP), ovšem s mnohem většími účinky, které závisí na typu jaderné nálože a výšce výbuchu. Rozdíly NEMP a LEMP jsou sepsány v tab. 2.3.

	$E_{\max}$ [kV/m]	$H_{\max}$ [A/m]	náběžná hrana [ns]	frekvenční spektrum [kHz]	dosah účinku [km]
LEMP	10-100	100-1000	100-10000	1 - 5000	jednotky
NEMP	30-100	100-1000	5-8	100-100000	stovky až tisíce

Tab. 2.3: Rozdíly NEMP a LEMP [1]

Dále sem patří rušení, které vychází z kosmického prostoru a označují se všeobecně jako rušení mimozemského původu. Patří sem geomagnetické bouře, které vznikají srážkou nukleárních částic (např. ze sluneční erupce) s ionty a molekulami zemské atmosféry a které působí v širokém pásmu kmitočtů.

# 3 ZKUŠEBNA ELEKTROMAGNETICKÉ KOM- PATIBILITY AEV S.R.O.

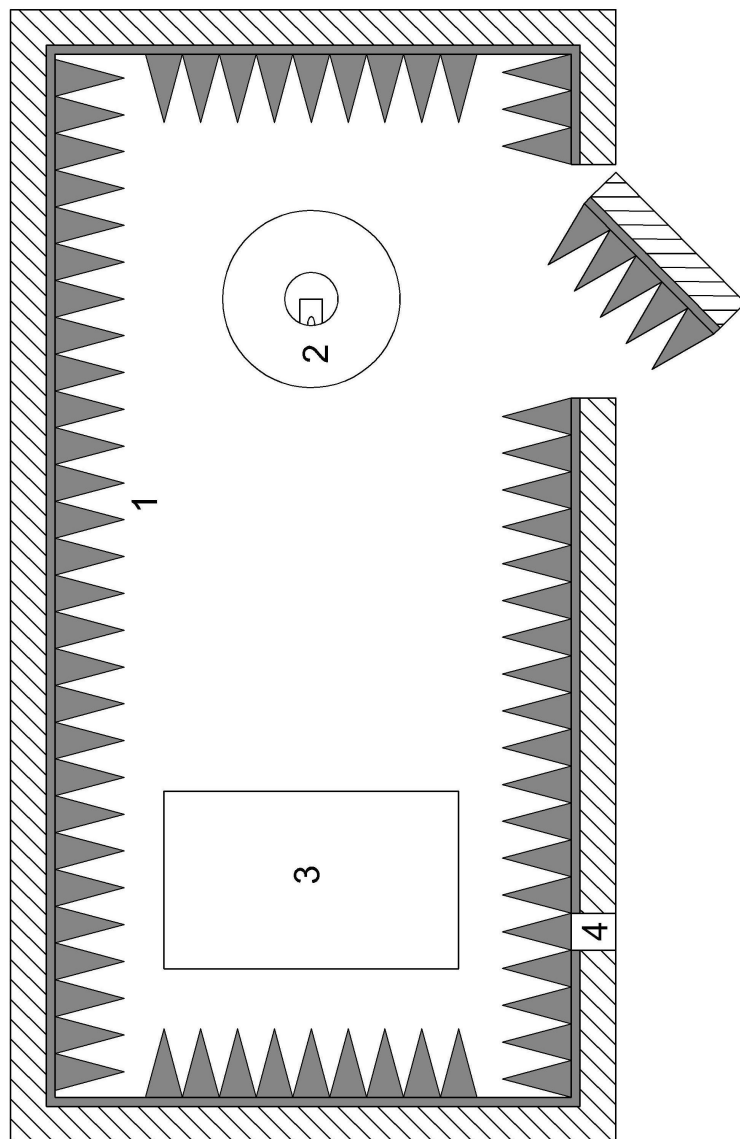
## 3.1 Bezodrazová absorpční komora

**Bezodrazová** (neboli **Faradayova**) **absorpční komora** je pojem známý již z počátku 19.století, kdy anglický fyzik a matematik Michael Faraday přišel na efekt stínění elektrického pole. Vytvořil měděnou krychli o hraně 3 metry a nabil ji elektrickým nábojem. Vložil do ní na niti uvázanou železnou kuličku a zjistil, že všechen náboj se rozloží po vnějšku krychle a vytvořil tím elektrický stín. Ze zákonů fyziky je známo, že náboje stejného znaménka se odpuzují a proto nabitá krychle se snaží udržet náboj od sebe, co nejdále. Faradayova komora se používá například tam, kde je potřeba ochránit zařízení nebo osoby před škodlivým elektromagnetickým polem. Jednak eliminuje veškeré rušivé vlivy zvenčí (FM rádia, GSM síť a jiné) a potom brání odrazům vyzařovaných polí uvnitř samotné komory. Ty se tak nenásobí a zpětně neovlivňují měření.[1]

Rozměry	Š 2 m, D 6 m, V 2.5 m
---------	-----------------------

Tab. 3.1: Rozměry Faradayovy komory v AEV s.r.o.

Faradayova komora ve firmě AEV s.r.o. slouží pro orientační měření vyrobených výrobků. Firma nemá oficiální licenci pro certifikaci výrobků z hlediska EMC. Pokud výrobek nevyhovuje, může firma udělat patřičnou technickou úpravu výrobku, aby prošel zkouškou EMC a následně potom výrobek poslat do certifikovaného měřícího pracoviště. To je výhodné z hlediska snížení nákladů. Rozměry komory jsou uvedeny v tab. 3.1. Komora obsahuje **360° otočný systém**, který slouží pro měření ze všech stran výrobku. Výrobek může například vyzařovat z jednoho úhlu jiné rušení než z jiného a tak při měření pouze z jednoho úhlu může docházet k chybnému měření. Ve vnitřních stranách komory jsou umístěny tzv. **feritové destičky**, které slouží pro tlumení elektromagnetického pole o frekvencích do *500 MHz*, pro vyšší frekvence slouží tzv. **jehlanovité absorběry** vyrobené z molitanu, které jsou umístěny na těch feritových. Feritové destičky stojí *1200 dolarů/m<sup>2</sup>* a jsou tak jedny z nejdražších věcí na komoře. Komora samotná nemá umělou síť pro oddělení koaxiálního měřícího kabelu. Obrázky komory z firmy AEV s.r.o. jsou umístěné v příloze A.1. Obr. 3.1 zobrazuje schéma Faradayovy komory ve firmě AEV s.r.o. a tab. 3.2 popis jednotlivých součástí.



Obr. 3.1: Faradayova komora - schéma

1	jehlanovité a feritové absorbéry
2	360° otočný systém
3	stůl pro zkoušený výrobek a další přípravy
4	oddělovací komora se zásuvkami a konektory pro měřící kabely

Tab. 3.2: Popis součástí Faradayovy komory

## 3.2 Antény

Anténa je zařízení, které slouží pro vysílání a příjem signálů. Je to vysokofrekvenční vedení technicky upravené tak, aby vysílalo energii do prostoru. Dělí se na přijímací, vysílací a přijímací a vysílací zároveň. Přijímací antény mění elektromagnetickou energii na elektrickou a vysílací naopak elektrickou energii na elektromagnetickou. Antény se popisují několika hlavními parametry. Prvním parametrem je **směrnost antény**. Je to schopnost antény přijímat a vysílat signály v určitém směru a tato schopnost se měří na základě vyzařovacích charakteristik, které se dělí na horizontální a vertikální. **Zesílení** antény je uváděno v jednotkách dB, dBi neboli zesílení antény v porovnání s izotropní anténou a dBd neboli zesílení antény v porovnání s půlvlnným dipólem. Dalším parametrem je **impedance antény**. Ta by měla být pouze reálná (bez imaginární složky) a měla by být zhruba stejná jako impedance přívodního kabelu, aby nedocházelo k odrazům signálu. Mezi další hlavní parametry patří **šířka přenášeného frekvenčního pásma**. Poslední hlavní parametr je **VSWR (Voltage Standing Wave Ratio)**. Jedná se o důležitý ukazatel kvality přenosu signálu. Pokud impedance antény a vysílacího vedení se nerovnájí, pak není všechna energie vyzářena anténou do prostoru, ale odrazí se zpět po vedení. Fáze zpětné vlny se přičítá k fázi vlny postupující k anténě a vznikají stojaté vlny s určitou maximální energií  $E_{max}$  a  $E_{min}$ . VSWR se vypočítá podle vzorce 3.1 jako poměr  $E_{max}$  a  $E_{min}$ . Proto se dbá na to, aby VSWR bylo rovno 0. Poslední hlavní parametr je tzv. **anténní faktor (AF [dB])**. Je to vztah mezi vstupní intenzitou pole a velikostí výstupního napětí a vypočítá se podle vzorce 3.2. Antény jsou pasivní zařízení, které nic nezesilují, ale pouze mění jeden druh energie na druhý.[4][5]

$$VSWR = \frac{E_{max}}{E_{min}} [-] \quad (3.1)$$

$E_{max}$  - maximální energie stojaté vlny

$E_{min}$  - minimální energie stojaté vlny

$$AF = \frac{E_r}{U_r} [1/m; V/m, V] \quad (3.2)$$

AF - anténní faktor

$E_r$  - vstupní intenzita elektrického pole

$U_r$  - výstupní napětí

### 3.2.1 Logaritmo-periodické PMM LP-02 a PMM LP-03

Hlavním parametrem těchto antén je jejich funkce v širokém kmitočtovém pásmu, proto se jim také jinak říká **širokopásmové antény**. Dalšími hlavními parametry jsou vstupní impedance a směrová charakteristika, která mají díky konstrukci antény logaritmický charakter. Nevýhodou je jejich směrovost, která je omezená. Proto jsou tyto antény nevhodné například pro analogový přenos signálu, kde vznikají neduhy odrazů (tzv. **duchy**). Logaritmo-periodické antény se hodí spíše pro přenos digitálního signálu, kde se neduhy odrazů méně projevují. Používají se především tam, kde je signál silnější a neprojevují se odrazy signálu. Tyto antény mají sousední dva elementy napájeny s posuvem o 180°. Délka jednotlivých elementů a vzdálenost mezi nimi se logaritmicky zvětšuje. Anténa **PMM LP-02** a **PMM LP-03** se vyznačují skvělým anténním faktorem a možností nastavení na horizontální nebo vertikální polarizaci. Parametry obou antén jsou popsány v tab. 3.3 a 3.4. Antény PMM LP-02 a PMM LP-03 ve firmě AEV s.r.o. jsou zobrazeny na obr. A.4 a A.5.[2]

Frekvenční rozsah	0.2 - 3 GHz
Impedance	50 $\Omega$ nominální
Zesílení	typicky 6 dB
Anténní faktor	13/36 dB typicky
VSWR	< 2:1 (1,2:1 typicky)
Max. vstupní výkon	> 100 W do 1 GHz > 50 W do 3 GHz
Materiál	hliník
Rozměry	Š 86 cm, D 70 cm, V 10 cm
Váha	1.1 kg

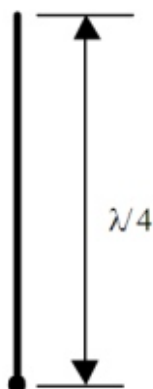
Tab. 3.3: Parametry logaritmo-periodické antény PMM LP-02[13]

Frekvenční rozsah	0.8 - 6 GHz
Impedance	50 $\Omega$ nominální
Zesílení	3.5 - 6.5 dBi
Anténní faktor	23/42 dB typicky
VSWR	< 1.7 typicky
Max. vstupní výkon	75 W
Materiál	hliník
Rozměry	Š 18.7 cm, D 32.5 cm, V 8.1 cm
Váha	0.25 kg

Tab. 3.4: Parametry logaritmo-periodické antény PMM LP-03[14]

### 3.2.2 Prutová PMM RA-01

Prutová anténa je nejjednodušší typ antén, který se hojně používá tam, kde jako hlavní parametr je požadován velký dosah antény. Její délka se počítá jako čtvrtina vlnové délky použité frekvence, tedy  $\lambda/4$ . Vztah mezi délkou antény a  $\lambda$  je zobrazena obr. 3.2. Anténa PMM RA-01 navíc obsahuje předzesilovač pro větší citlivost antény a dobíjecí baterii, která předzesilovač napájí. Parametry antény jsou popsány v tab. 3.5. Prutová anténa PMM RA-01 ve firmě AEV s.r.o. je zobrazena na obr. A.6.[4]



Obr. 3.2: Vztah mezi délkou antény a  $\lambda$

Frekvenční rozsah	9 kHz - 30 MHz
Impedance	50 $\Omega$ nominální
Anténní faktor	+10 dB typicky
Interní baterie	dobíjecí 7.2 V
Doba dobíjení	6 hod
Rozměry	Tyč: 1 m x 16 mm průměr Zemnicí rovina: 600 x 600 cm Elektronika: 150 x 135 x 120 mm
Váha	1.5 kg

Tab. 3.5: Parametry bikonické antény PMM RA-01[15]

### 3.2.3 Bikonická PMM BC-01

Bikonická anténa PMM BC-01 ve firmě AEV s.r.o. je zobrazena na obr. A.7. V tab. 3.6 jsou zobrazeny parametry bikonické antény PMM BC-01.

Frekvenční rozsah	30 - 200 MHz
Impedance	50 $\Omega$ nominální
Anténní faktor	8/14 dB
Max. vstupní výkon	100 W
Materiál	hliník
Rozměry	Š 137 cm, D 65 cm, V 65 cm
Váha	1.8 kg

Tab. 3.6: Parametry bikonické antény PMM BC-01[12]



## 3.3 Přístrojové vybavení

### 3.3.1 Rohde & Schwarz ESPI Test Receiver

**R&S ESPI testovací soustava** je nejhlavnější přístroj z celé zkušebny AEV s.r.o. Plní funkci **spektrálního analyzátoru** a zároveň **testovacího přijímače**, který vyhodnocuje rušivé signály. Komunikuje s počítačem pomocí softwaru **EMC32** dodávanému s přístrojem. Následuje popis některých obecných parametrů ESPI testovací soustavy:[6]

- rozsah měřené frekvence 9 kHz - 3 GHz
- maximální vstupní ss napětí 50 V
- maximální vstupní pulzní napětí 150 V
- na výběr 7 detektorů měření vstupního signálu
- vysoká rychlost měření
- předzesilovač se zesílením 20 dB
- 2x USB port
- výstupní VGA port na monitor
- COM port
- LPA port
- LAN port
- měření v souladu s mezinárodní normou CISPR 16-1-1
- nastavení limitních hodnot (čar) pro EMI nebo EMS při měření
- vysoká přesnost měření
- LabView ovladač

**Testovací přijímač** je zařízení, které zpracovává signály z měření ve Faradayově komoře. Jedná se tedy o zařízení pro měření z hlediska EMI. Parametry ESPI testovacího přijímače jsou:[6]

- Šířky pásma měření jsou:
  - 200 Hz
  - 9 kHz
  - 120 kHz
  - 1 MHz
- 7 detektorů vstupního signálu:
  - **maximální špičkový** (*MaxPeak detector*), který měří maximální (špičkové) napětí na vstupu detektoru
  - **minimální špičkový** (*MinPeak detector*), který měří minimální (špičkové) napětí na vstupu detektoru

- **kvazi-špičkový** (*Quasi-Peak detector*), který pomocí integrálů počítá plochu pod křivkou vstupního signálu. Kvazi-špičková hodnota je vždy menší než odpovídající špičková hodnota signálu
- **střední hodnoty** (*Average detector*), který počítá aritmetický průměr ze vstupního signálu, neboli vypočítává střední hodnotu signálu
- **střední hodnoty CISPR** (*CISPR Average detector*), který měří vstupní signál podle parametrů mezinárodní normy CISPR 16-1-1
- **efektivní hodnoty** tzv. *RMS detektor* (*Root-Mean-Square detector*), který měří efektivní hodnotu vstupního signálu
- **průměru efektivní hodnoty** (*Root-Mean-Square average detector*), který na rozdíl od předchozího detektoru ještě efektivní vzorky vstupního signálu zprůměruje

- nejistota měření <1.5 dB
- rychlost měření od 100  $\mu$ s do 100 s

**Spektrální analyzátor** je přístroj, který zobrazuje signál ve frekvenční oblasti, neboli že signál je funkcí frekvence (**frekvenční spektrum**). To umožňuje udělat tzv. **analýzu ve frekvenční oblasti**. Závislost mezi signálem a jeho spektrem vyjadřuje tzv. **Fourierova transformace**. Spektrální analyzátory budou popsány v kapitole 2.3.2 Rohde & Schwarz FSV Signal Analyzer. Parametry spektrálního analyzátoru:[6]

- nejistota měření 0,5 dB
- rychlost měření od 100  $\mu$ s do 16 000 s
- rozlišení šířky pásma od 10 Hz do 10 MHz
- 9 detektorů vstupního signálu:
  - **maximální špičkový**
  - **minimální špičkový**
  - **automatický špičkový** (*AutoPeak detector*)
  - **kvazi-špičkový**
  - **střední hodnoty**
  - **střední hodnoty CISPR**
  - **efektivní hodnoty**, který měří digitálně modulované signály
  - **průměru efektivní hodnoty**
  - **vzorkovací** (*Sample detector*), který zobrazí naměřené vzorky vstupního signálu

ESPI testovací soustava ve firmě AEV s.r.o. je zobrazena v příloze A.3. Verze měřicí karty je 4150-K0123/10.

### 3.3.2 Rohde & Schwarz FSV Signal Analyzer

**FSV Signal Analyzer** je přístroj, který zobrazuje signál ve frekvenční oblasti. Těmto druhům přístrojům se obecně říká spektrální analyzátory. Jak už jsem psal výše, signál může být vyjádřen jako funkce frekvence (neboli frekvenční spektrum). Závislost mezi signálem a jeho spektrem vyjadřuje tzv. **Fourierova transformace (FT)**. Výpočet FT je zobrazen ve vzorci 3.3. V případě, že jsou k dispozici pouze vzorky signálu, tak se používá tzv. **diskrétní Fourierova transformace (DFT)**. Výsledek DFT pak je posloupnost hodnot vzdálených od sebe o  $\Delta f$ . Výpočet  $\Delta f$  je zobrazen ve vzorci 3.4, kde  $N$  je počet vzorků signálu a  $T_S$  je celková doba vzorkování. Spektrální analyzátor měří buď amplitudové nebo fázové spektrum nebo dokáže měřit obě spektra.[3][20]

$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t)e^{-j\omega t} dt \quad (3.3)$$

$F(\omega)$  - výsledek FT

$f(t)$  - funkce, reprezentující měřený signál

$$\Delta f = \frac{1}{N \cdot T_S} [s^{-1}] \quad (3.4)$$

$\Delta f$  - vzdálenost hodnot

$N$  - počet vzorků

$T_S$  - celková doba vzorkování

FSV Signal Analyzer obsahuje 16-bitový A/D převodník, který vzorkuje signál s frekvencí 128 MHz a paměť pro až 200 milionů vzorků. To umožňuje měřit signál s velkou šířkou pásma. V našem případě má přístroj maximální šířku pásma 28 MHz. FSV Signal Analyzer umožňuje výměnu měřicí karty za jinou a tak změnit měřicí parametry přístroje. Například frekvenční rozsah, měřicí metody a jiné. Také přístroj může mít nainstalovaných několik druhů softwarů, podle toho, na které měření se přístroj používá. Může to být třeba analýza analogové modulace, měření fázového šumu, vektorovou signální analýzu aj. FSV signal analyzer ve firmě AEV s.r.o. obsahuje hardware pro audio demodulaci signálu, RF předzesilovač a pro další periferní zařízení (uživatelský port, USB, IF výstup, video výstup a jiné). V tab. 3.7 jsou zobrazeny základní parametry FSV signálního analyzátoru.[7]

<b>Obecné</b>		
Verze měřicí karty		4150-K0119/10
<b>Frekvence</b>		
Frekvenční rozsah	DC signál	10 Hz - 3.6 GHz
	AC signál	1 MHz - 3.6 GHz
Frekvenční rozlišení		0.01 Hz
Maximální šířka pásma		28 MHz
<b>Úroveň</b>		
Maximální DC napětí		50 V
Maximální špičkové napětí		150 V
<b>Rozsah teplot</b>		
pracovní		+5°C do +40°C
<b>Paměť</b>		
interní	harddisk	≥ 40 GB
externí	USB	2.0
<b>RF vstup</b>		
Impedance		50 Ω
Konektor		N samice
VSWR		< 1.5
zesílení předzesilovače		20 dB

Tab. 3.7: Základní parametry signálního analyzátoru FSV[7]

### 3.3.3 Rohde & Schwarz Signal Generator SMC100A

SMC100A je malý signálový tzv. **radiofrekvenční (RF)** generátor pro všestranné využití. Radiofrekvenční generátory se používají většinou pro radioelektronická měření v pásmu od stovek kHz do stovek MHz. SMC100A pracuje v pásmu kmitočtů od 9 kHz do 3.2 GHz.

Frekvence		
Frekvenční rozsah		9 kHz - 3.2 GHz
Odezva nastavených parametrů		< 5 ms
Rozlišení frekvence		0.001 Hz
Úrovně		
Rozsah úrovní	f = 200 kHz - 3.2 GHz	-120 dBm do +13 dBm
Chyba úrovně	f = 200 kHz - 3.2 GHz	< 0.9 dB
Back-feed	$1 \text{ MHz} \leq f \leq 1 \text{ GHz}$	50 W
	$1 \text{ GHz} \leq f \leq 2 \text{ GHz}$	25 W
	$2 \text{ MHz} \leq f \leq 3.2 \text{ GHz}$	10 W
Maximální přípustné DC napětí		50 V
Maximální vstupní proud		1.2 A (100 V) do 0.4 A (240 V)
Spotřeba		45 W
Rozsah teplot	pracovní	0 °C do +55 °C
	skladovací	-40 °C do +71 °C
Spektrální čistota		
harmonické	f > 1 MHz	< -30 dBc
neharmonické	offset > 10 kHz f ≤ 1.6 GHz	< -60 dBc (typ. < -72 dBc)
SSB fázový šum	offset = 20 kHz f = 1 GHz 1 Hz šířka pásma	< -105 dBc (typ. < -111 dBc)
širokopásmový šum	offset = 10 MHz f > 1 MHz 1 Hz šířka pásma	< -138 dBc (typ. < -146 dBc)
reziduální FM	0.3 kHz - 3 kHz	< 5 Hz
	0.03 kHz - 23 kHz	< 30 Hz
reziduální AM	0.03 kHz - 20 kHz	< 0.02 %

Tab. 3.8: Parametry signálního generátoru SMC100A [8]

V tab. 3.8 jsou uvedeny některé základní parametry generátoru. Následuje popis některých parametrů, které charakterizují přístroj SMC100A. Rozsah úrovní (napětí, proudu a výkonu) se počítá podle vzorce 3.5 a udává se v dBm. Jako příklad uvedu rozsah úrovně pro výkon. Úroveň zesílení se počítá jako desetinásobek logaritmu z poměru výkonu  $P$  k tzv. **referenčnímu výkonu**  $P_0$ .

$$G_{dB} = 10 \cdot \log\left(\frac{P}{P_0}\right) [dBm; W, W] \quad (3.5)$$

$G$  - hodnota poměru výkonů

$P$  - výkon generátoru

$P_0$  - referenční výkon

Dalším parametrem je tzv. **Back-Feed**. Přístroje mohou při své funkci indukovat do elektrické rozvodné sítě parazitní výkon a Back-Feed udává kolik výkonu je do elektrické sítě indukováno. Mezi důležité parametry patří **spektrální čistota**, kterou je potřeba chápat jako jakousi *stabilitu modulovaného signálu*. Jako jeho stálost buď v krátkodobém nebo dlouhodobém časovém horizontu. Jednotka dBc udává v dB tuto odchylku vztaženou k nosnému signálu. Reziduální AM a FM je zbytková frekvence, kterou vytvoří generátor při modulacích. Je skryta ve vytvořeném signálu a musí se s ní počítat. Hodnoty reziduálních frekvencí jsou v tab. 3.8.[16]

Hlavní funkce generátoru SMC100A jsou analogové modulace jako **amplitudová modulace** (AM), **frekvenční modulace** (FM) a **fázová modulace** ( $\varphi$ M) a diskrétní **pulzní modulace** (PWM - *Pulse Width Modulation*). V tab. 3.9 jsou popsány parametry jednotlivých modulací pro SMC100A. Následuje podrobnější popis jednotlivých modulací. Každý harmonický signál je popsán rovnicí 3.6. Pro amplitudovou modulaci se mění hodnota veličiny  $A$  ( $\Omega t$ ,  $\phi = \text{konst}$ ), pro frekvenční modulaci se mění hodnota veličiny  $\Omega$  ( $A$ ,  $\phi = \text{konst}$ ) a pro fázovou modulaci se mění hodnota veličiny  $\phi$  ( $A$ ,  $\Omega t = \text{konst}$ ).

$$y(t) = A \cdot \sin(\Omega t + \phi) \quad (3.6)$$

$y(t)$  - okamžitá hodnota v čase  $t$

$A$  - amplituda signálu

$\Omega$  - úhlová rychlost signálu (frekvence)

$\phi$  - fáze posunutí signálu

Pulzní modulace je obdélníkový signál, který nabývá dvou hodnot (zapnuto/vypnuto). Doba zapnutí se označuje veličinou  $\tau$ . Perioda tohoto signálu je součet doby zapnutí a doby vypnutí a je označována veličinou  $T$ . Poměr doby zapnutí k periodě, tedy

doby, kdy signál je ve stavu zapnuto a kdy ve stavu vypnuto se nazývá **střída S**. Vzorec 3.7 udává střídu vyjádřenou v %. Tab. 3.10 označuje možnosti, kdy můžu použít modulace současně, tedy vytvořit signál z různých modulací.

$$S = \frac{\tau}{T} \cdot 100 [\%] \quad (3.7)$$

S - střída

$\tau$  - doba zapnutí

T - perioda PWM signálu

<b>Modulace</b>		
AM	amplitudová výška	0% - 100%
	rozlišení	1%
FM	maximální odchylka ( $f > 1.6$ GHz)	4 MHz
	rozlišení	< 1% (minimálně 10 Hz)
$\varphi$ M	maximální odchylka ( $f > 1.6$ GHz)	40 rad
	rozlišení	< 1% (minimálně 0.001 rad)
PWM	náběžná/sestupná hrana	< 500 ns (typ. 100 ns)
	minimální šířka pulzu	1 $\mu$ s
	střída	> 80 dB
<b>Externí modulace</b>		
vstup pro AM/FM/ $\varphi$ M	typ konektoru	BNC samice
	vstupní impedance	220 k $\Omega$
	maximální vstupní napětí	1 V
	maximální destrukční napětí	$\pm 10$ V
vstup pro PWM	konektor	BNC samice
	vstupní impedance	8 k $\Omega$
	vstupní napětí	-0.5 V - +1.5 V
	maximální destrukční napětí	$\pm 10$ V

Tab. 3.9: Modulace signálního generátoru SMC100A [8]

	AM	FM	$\varphi$ M	PWM
AM		+	+	(+)
FM	+		-	+
$\varphi$ M	+	-		+
PWM	(+)	+	+	

Tab. 3.10: Modulační kombinace pracující současně (+ může, - nemůže, (+) může s omezením) [8]

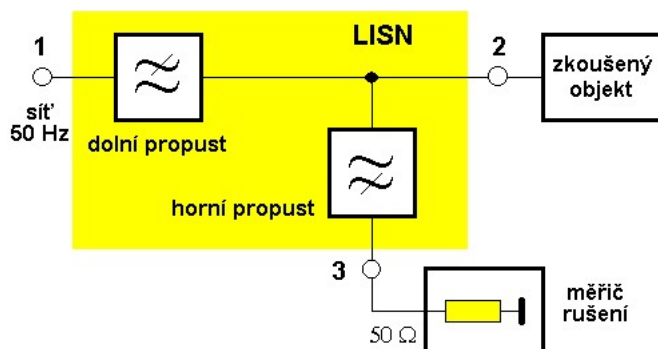
Vstupy/výstupy SMC100A:[8]

- USB 2.0
- USB IN
- LAN
- REF IN (vstup referenční frekvence, impedance 50  $\Omega$ , sinusovka)
- REF OUT (výstup referenční frekvence, impedance 50  $\Omega$ )
- PULSE EXT (externí vstup pulzního signálu)
- PULSE VIDEO (výstup pulzního signálu)
- GPIB/IEEE 488 (sběrnice)
- OCXO (referenční oscilátor)
- RF 50  $\Omega$  (výstup modulovaného signálu, např. generovaný signál pro anténu)
- MOD EXT (vstup pro externí analogovou modulaci)
- LF (nizkofrekvenční výstup generátoru modulační)



### 3.3.4 PMM L2-16B a PMM L1-150M

PMM L2-16B plní funkci tzv. **umělé napájecí sítě** (AMN - *Artificial Mains Network*) neboli jinak označovaná jako tzv. **LISN** (*Line Impedance Stabilization Network* - impedančně stabilizovaná síť vedení) pomocí které se měří rušivé signály pronikající po napájecím vedení z výrobku do rozvodné sítě. Je to vlastně oddělovací člen mezi výrobkem a rozvodnou sítí. Obr. 3.3 zobrazuje schéma LISN sítě.



Obr. 3.3: Zapojení umělé sítě[1]

	PMM L2-16B	PMM L1-150M
Frekvenční rozsah	9 kHz - 30 MHz	100 kHz - 200 MHz
Trvalý jmenovitý výstupní proud	16 A	100 A
Maximální přípustné pracovní napětí	250 VAC 350 VDC	250 VAC 600 VDC
Ekvivalentní obvod	$50 \Omega \parallel (5 \Omega + 50 \mu\text{H})$	$(5 \mu\text{H} + 0/1 \Omega) \parallel 50 \Omega$
Pracovní teplota	0°C do +45°C	-10°C do +45°C
Rozměry	Š 230 mm V 105 mm H 285 mm	Š 230 mm V 105 mm H 410 mm
Váha	5,5 kg	5 kg

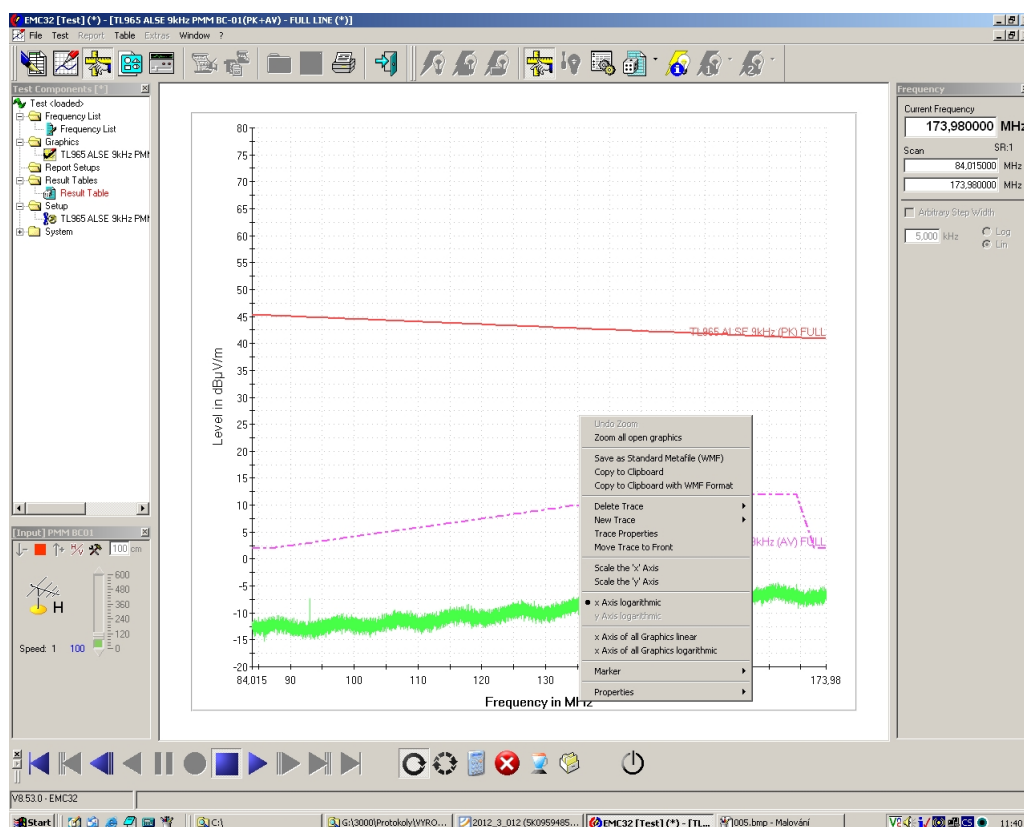
Tab. 3.11: Parametry umělých sítí PMM L2-16B a PMM L1-150M [10][11]

K tomuto přístroji je zároveň připojen měřicí přístroj (v našem případě ESPI Test Receiver), který měří veškeré rušivé signály z výrobku. Zároveň zajišťuje impedanční přizpůsobení mezi rozvodnou sítí a výrobkem a pak přizpůsobení mezi měřicím přístrojem a umělou sítí. Slouží pro měření pouze na jedné fázi vedení. Součástí umělé sítě je i obvod simulující vliv doteku uživatele s výrobkem tzv. **umělá ruka**.

Měřícím výrobkem může být například zařízení, které při svém provozu je v lidských rukách. Tento obvod je nezávislý na LISN obvodu a tudíž ho nijak neovlivňuje. **PMM L1-150M** plní podobnou funkci jako PMM L2-16B a tedy funkci tzv. **umělé sítě**. Jediný rozdíl je ve frekvenčním rozsahu a maximálním výstupním proudu. PMM L2-16B slouží jako umělá síť s 230V napájením, kdežto PMM L1-150M nemá vstup na 230V a slouží třeba jako impedanční oddělení 2 různých výrobků a připojený měřicí přístroj měří rušivé signály mezi výrobky. Parametry přístrojů PMM L2-16B a PMM L1-150M jsou zobrazeny v tab. 3.11.

### 3.3.5 Rohde & Schwarz EMC32

EMC32 je software dodávaný k přístrojům pro měření EMI od firmy Rohde & Schwarz. Především se jedná o ESPI testovací soustavu a FSV signální analyzátor. EMC32 slouží pro kompatibilitu přístroje s počítačem a jejich následné vyhodnocení. Obsahuje různé ovladače pro připojení dalších přístrojů, které nemusí pocházet z rodiny Rohde&Schwarz a tak umožňuje vykonávat mnohem náročnější měření s více přístroji. Umožňuje nastavení kompletního měření rušení s částečnou podporou lidského zásahu. Jednoduše se při prvním měření nastaví všechny potřebné parametry, které se uloží do paměti počítače a EMC32 pak podle těchto zadaných parametrů vykonává měření.



Obr. 3.4: Software EMC32

EMC32 má v sobě už přednastavené různé měření podle komerčních, mezinárodních a vojenských standardů pro EMC měření (*CISPR*, *EN*, *ETS*, *FCC*, *VCCI*, *VDE*, *MIL-STD*, *DEF-STAN*). Výsledky měření lze tisknout ve formátech *PDF*, *RTF* a *HTML*, data a nastavení parametrů měření se ukládá v textovém formátu a grafy se ukládají ve *WMF* formátu, ale je možné je exportovat i do jiných formátů jako je např. *BMP*, *JPEG* a jiné.[9]

Systémové požadavky pro software EMC32:

- Operační systém (32-bit):
  - Windows VISTA
  - Windows XP SP2
  - Windows 2000 SP4
- Pentium procesor (nejméně 3 GHz nebo více)
- RAM:
  - 1 GB (Windows Vista)
  - 512 MB (Windows XP)
  - 256 MB (Windows 2000)
- 200 MB místa na harddisku
- minimální rozlišení obrazovky 1024 × 768 pixelů, 65536 barev  
(optimální rozlišení 1280 × 1024 pixelů)
- IEC/IEEE sběrnice od firmy National Instruments s IEEE 488 ovladačem

### 3.4 Normy pro měření EMC

Ve zkušebně EMC ve firmě AEV s.r.o. se ve většině případů měří výrobky pro koncern Volkswagen (VW). VW má svou vlastní normu pro jejich výrobky, která se nazývá **TL965**. Norma TL965 vychází z mezinárodní normy **CISPR 25:2008** (pro ČR má tato norma označení: **ČSN EN 55025**), která se zaměřuje na meze a metody měření rádiového (vysokofrekvenčního) rušení. Norma se používá na jakékoliv elektrotechnické/elektronické zařízení, které je určeno pro použití ve vozidlech. Meze stanové normou jsou určeny k ochraně přijímačů instalovaných ve vozidlech, které jsou pod rušením jiných zařízení instalovaných ve vozidlech.

Firma AEV s.r.o. musí při výrobě výhradně splňovat požadavky normy TL965 a tato norma má pro firmu AEV s.r.o. přednost před normou CISPR 25:2008. TL965 obsahuje požadavky na bezporuchový příjem VF přijímačů provozovaných ve vozidle. Norma taktéž stanovuje provést zkoušky ve speciálních frekvenčních pásmech pro rádio, TV, mobilní telefon a mobilní vysílačku mezi 70 KHz a 2.5 GHz. TL965 obsahuje vysvětlivky některých pojmů z oblasti EMC, které byly popsány výše a vychází z normy CISPR 25:2008. Například AF, umělá síť, detektor střední hodnoty, detektor špičkové hodnoty, detektor kvazi-špičkový, šířka pásma a další. K těmto pojmům TL965 přidává ještě pojem **krátkodobý-dlouhodobý rušič**. Rušení, která nejsou odborným oddělením výslovně definována jako krátkodobé rušiče, jsou považována za dlouhodobé rušiče a je nutno je odrušit.[17][18]

TL965 dále obsahuje přesné návody, jak zkoušky EMC na vozidlech (popř. komponentech) provádět, jak nastavovat přístroje pro měření (spektrální analyzátory, přijímače, antény a jiné) a jak zpracovat naměřené údaje a tím vyhodnotit výsledek měření. Taktéž obsahuje tabulku pro subjektivní vyhodnocení výsledků a tím zajistit, kdy je funkce rušené komponenty ještě v přijatelných mezích.

## 4 PROTOKOL O ZKOUŠKÁCH EMI

Na externím pracovišti firmy AEV s.r.o. mi bylo umožněno provést zkoušky EMI pro vybraný výrobek. Díky této možnosti jsem vytvořil pro vybraný výrobek protokol pro zkoušky EMI. Měřicí protokol je v souladu s normou TL965 a je obecně použitelný i pro jiné výrobky, které podléhají zkoušce dle normy TL965. Skládá se z popisu testovaného zařízení (EUT), z teoretického rozboru měřicí metody, kde je popsán způsob měření a nastavení měřicího softwaru EMC32, dále se skládá z měřících postupů pro zkoušku EMI anténami a do vedení.

### 4.1 Testované zařízení (*EUT*)

Testovaným zařízením je modul hodin, který se montuje do automobilu Škody Superb II. Jeho umístění je do prostředního sloupku automobilu mezi předními 2 sedadly. Skládá se z LCD displeje a informuje pasažéry na zadních sedadlech o aktuálním čase a vnější teplotě. Modul hodin neobsahuje žádné ovládání a obsahuje pouze konektor, který slouží pro komunikaci s hlavní řídicí jednotkou automobilu, která modulu posílá údaje. Modul pracuje ve 3 funkčních módech. První je „sleep“ mód, v kterém je modul, pokud po sběrnici neběží žádné signály. Další mód je „stand by“ mód, v kterém modul přijímá signály z řídicí jednotky a posledním je „normal“ mód, v kterém modul zobrazuje údaje. Tabulka 4.1 zobrazuje technické parametry *Modulu hodin*.

Typové označení		3T0.919.201.A
Provozní napětí		9 - 15 V
Provozní teplota		-40°C až +70°C
Příkon		max. 100 $\mu$ A při 14 V
Displej		VA, negativní transmisní
Typ podsvětlení		LED, bílá
Kontrast		$\geq 300:1$
Úhel pohledu	vertikálně horizontálně	-3° $\pm 30^\circ$

Tab. 4.1: Technické parametry testovaného zařízení, EUT *Modul hodin*

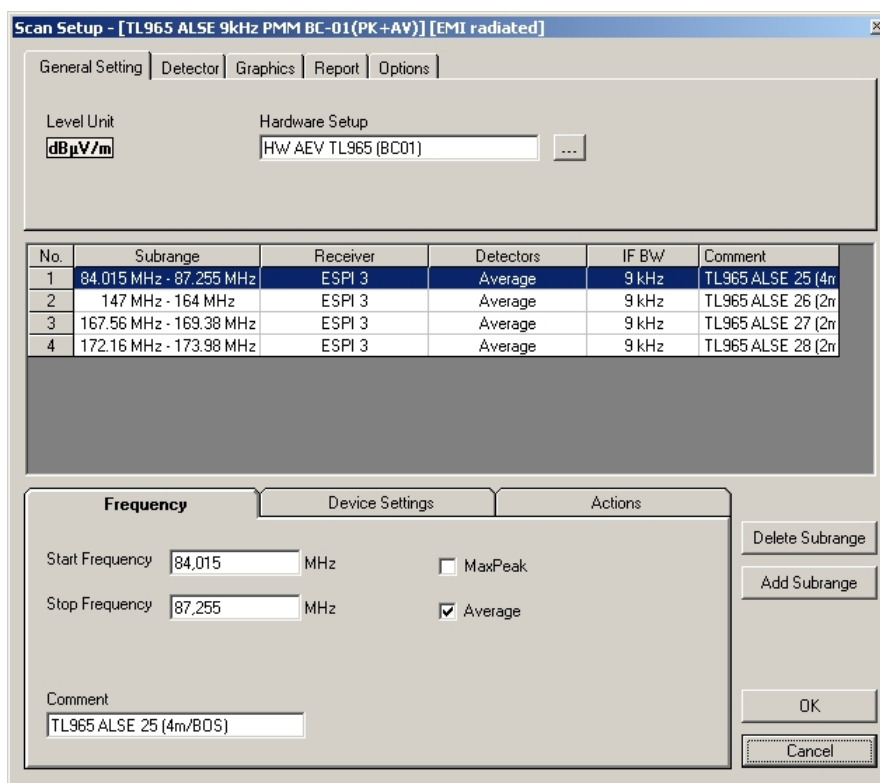
## 4.2 Teoretický rozbor

### Impedanční přizpůsobení

Při měření interference vedením musí mít ta část umělé sítě, která se neměří, impedanční přizpůsobení s měřenou částí umělé sítě. Zjednodušeně, je-li k měřené části umělé sítě připojen měřicí koaxiální kabel s impedancí  $50\Omega$ , tak musí i k druhé části umělé sítě být připojena zátěž  $50\Omega$ , aby na obou částech byla stejná impedance. Na obr. B.13 je vidět  $50\Omega$  zátěž.

### Nastavení EMC32

Před samotným měřením se musí vytvořit **šablona** (*template*), která obsahuje nastavení úrovní signálu pro různé antény dle normy TL965. Potom při měření je vidět jen linie, kterou nesmí úroveň signálu překročit, aby byla zkouška úspěšná.



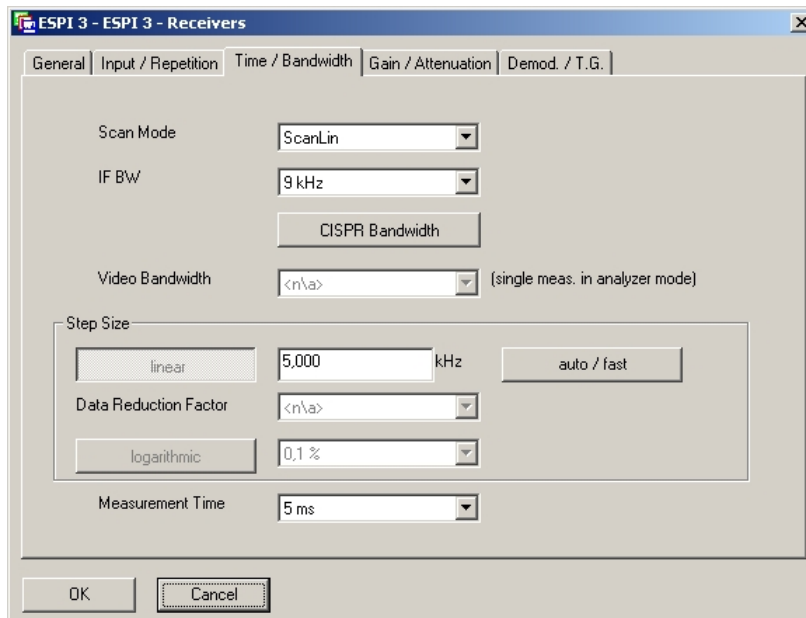
Obr. 4.1: Nastavení frekvenčních úseků dle normy TL965 v šabloně pro bikonickou anténu (BC01) v měřícím softwaru *EMC32*

Šablona především obsahuje tyto důležité parametry:

- Šířku měřeného pásma
  - 9kHz

- 120kHz
- 1MHz
- Krok
  - 5kHz
  - 50kHz
  - 500kHz
- Dobu měření úseku
  - 50ms
  - 1s
- Volbu detektoru
  - *Peak*
  - *Average*
  - *Quasi-Peak*

Nastavení šablony např. pro bikonickou anténu je zobrazeno na obr. 4.1 a obr. 4.2. Obr. 4.1 zobrazuje nastavení jednotlivých frekvenčních úseků a jim odpovídající detektor (v našem případě *Average*) dle normy TL965. Obr. 4.2 zobrazuje nastavení šířky měřeného pásma (9kHz), krok (5kHz) a dobu měření úseku (5ms). Podobně se vytvoří šablony i pro další antény dle normy TL965.

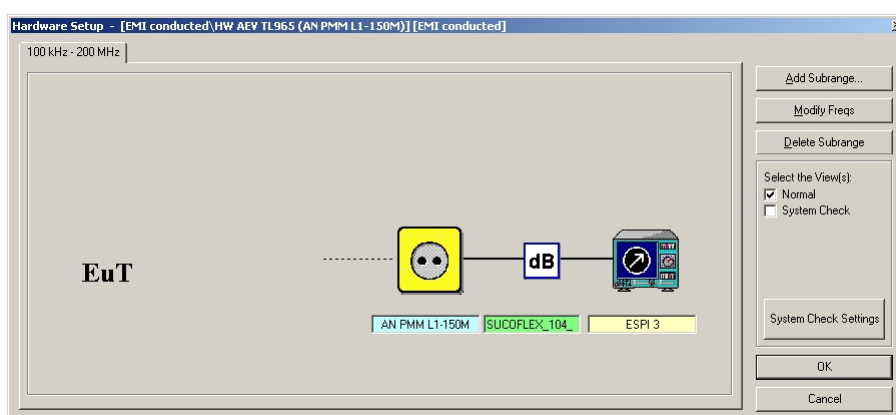


Obr. 4.2: Nastavení šířky pásma, kroku a doby měření úseku dle normy TL965 v šabloně pro bikonickou anténu (BC01) v *EMC32*

Jako poslední bylo potřeba nastavit parametry antén, kabelů a přístrojů, které stojí v cestě signálu a díky nimž by bylo měřena nepřesná hodnota. Pokud bych měřil



signál pouze přijímacím přístrojem (bez *EMC32*), dostal bych zkreslenou informaci o signálu, jelikož přijímací přístroj (*ESPI Test receiver*) neumožňuje nastavení těchto parametrů. Parametry, které ovlivňují měřený signál jsou zisk antény a útlum kabelu. Pro každou anténu je potřeba nastavit v šabloně jiný zisk antény. Umělá síť a měřicí přístroj mají svoje korekční tabulky, které se do měření musí též zahrnout. Obr. 4.3 zobrazuje nastavení cesty od měřeného signálu až k přijímači pro měření elektromagnetické interference do vedení. Podobné nastavení je potřeba provést v šablonách i pro měření elektromagnetické interference záření, kde je cesta pro každou anténu jiná. Měřicí program *EMC32* tyto nastavené parametry bere v úvahu a při měření s nimi počítá. Tím se získá přesná úroveň signálu.



Obr. 4.3: Nastavení parametrů cesty měřeného signálu

## Způsob měření

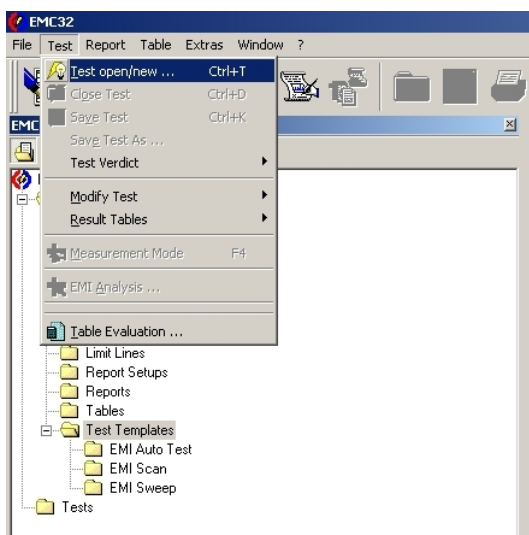
Pro různé úseky měřeného pásma se používají různé antény, protože každá má jiné vlastnosti a její frekvenční rozsah je jiný. U bikonické a logaritmické antény se proměřuje signál, jak horizontální, tak i vertikální polarizací. Samotné měření je založeno na principu opakovaného měření určitého úseku frekvence a vyhodnocení nejhorších výsledků. Pro měření jsou důležité tyto 4 parametry:

- Šířka měřeného pásma
  - je to určitý frekvenční rozsah, který je proměřován
- Krok (neboli frekvenční posuv)
  - je to velikost frekvence, která udává posuv ve frekvenční oblasti, kde se opět proměřuje danou šířku pásma
- Doba měření úseku
  - veličina, která udává dobu, po kterou je proměřována daná šířka pásma a po které se vyhodnotí nejhorší úroveň měřeného signálu

Pro samotnou zkoušku je dále potřeba, aby byl *Modul hodin* ve funkčním stavu, ve kterém bude po namontování do Škody Superb II. K tomu je potřeba „**Simulátor řídicí jednotky auta**“. Simulátor řídicí jednotky napodobuje CAN sběrnici, která v automobilovém průmyslu slouží pro připojení všech funkčních jednotek automobilu a zajišťuje komunikace mezi nimi. Simulátor řídicí jednotky zajišťuje pro měření EMI, aby byl *Modul hodin* ve stavu, kdy má displej největší svítivost a všechny segmenty displeje jsou zobrazené. Tento stav je nutný pro zajištění největšího rušení.

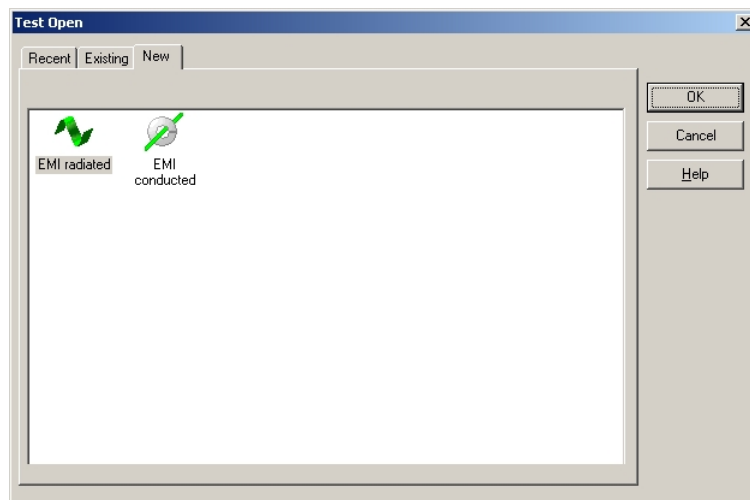
### 4.3 Postup měření pro EMI anténami

1. Zapojit měřící stanoviště podle schématu na obr. 5.1 a 5.2 (viz kapitola 5.1).
2. Spustit program *EMC32* a měřící přijímač *Rohde & Schwarz ESPI test receiver* (před měřením nechat přístroj 15min. naběhnout).
3. V programu *EMC32* otevřít záložku *Test* -> *open/new* (viz obr. 4.4).



Obr. 4.4: *EMC32* - volba nové zkoušky

4. Vybrat test vyzařování anténou (*EMI radiated*, viz obr. 4.5).



Obr. 4.5: *EMC32* - volba testování vyzařování anténou

5. Zvolit šablonu pro typ antény, šířku pásma, druh měřeného signálu a polarizaci (viz obr. 4.6 a 4.7).

RA-01 9kHz PK+AV

RA-01 9kHz QP

BC-01 9kHz PK+AV vertikální

BC-01 120kHz PK+AV vertikální

BC-01 120kHz QP vertikální

BC-01 1MHz PK+AV vertikální

BC-01 9kHz PK+AV horizontální

BC-01 120kHz PK+AV horizontální

BC-01 120kHz QP horizontální

BC-01 1MHz PK+AV horizontální

LP-02 9kHz PK+AV vertikální

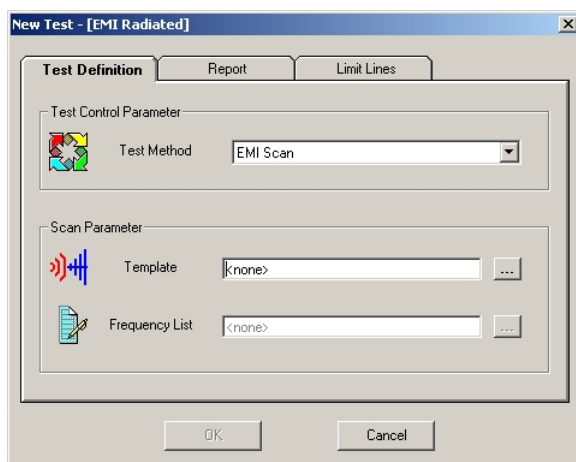
LP-02 120kHz PK+AV vertikální

LP-02 1MHz PK+AV vertikální

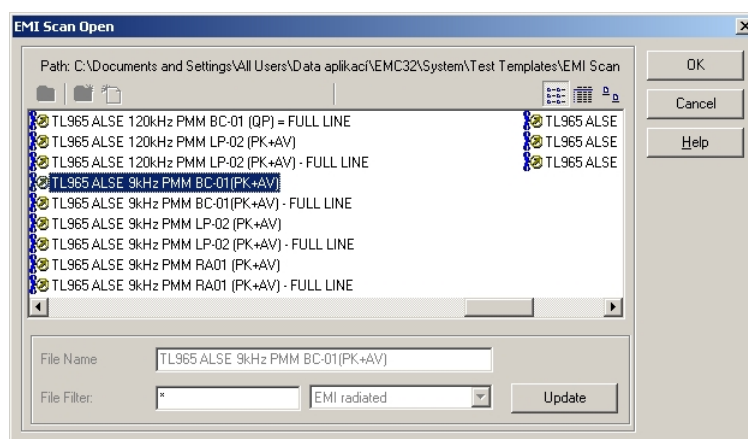
LP-02 9kHz PK+AV horizontální

LP-02 120kHz PK+AV horizontální

LP-02 1MHz PK+AV horizontální

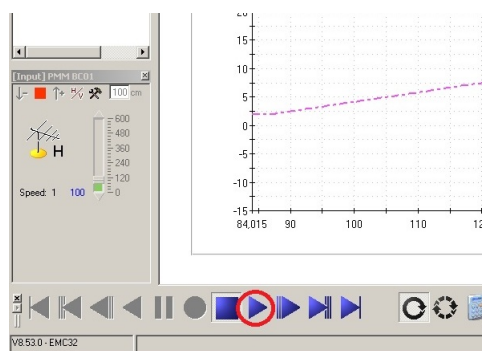


Obr. 4.6: EMC32 - volba šablony pro typ zkoušky



Obr. 4.7: EMC32 - volba typu antény a šířky měřeného pásma

6. Spuštění testu (viz obr. 4.8).



Obr. 4.8: EMC32 - spuštění zkoušky

7. Zapojte měřící stanoviště podle obr. 5.3 a 5.4 (viz kapitola 5.1) a opakujte od 3. bodu.

8. Zapojte měřicí stanoviště podle obr. 5.5, 5.6 a 5.7 (viz kapitola 5.1) a opakujte od 3. bodu.

## 4.4 Postup měření pro EMI do vedení

1. Zapojit měřicí stanoviště podle obr. 5.8 a 5.10 (viz kapitola 5.1).
2. Spustit program *EMC32* a měřicí přijímač *Rohde & Schwarz ESPI test receiver* (před měřením nechat přístroj 15min. naběhnout).
3. V programu *EMC32* otevřít záložku *Test -> open/new* (viz obr. 4.4).
4. Vybrat test vyzařování do vedení (*EMI conducted*, viz obr. 4.5).
5. Zvolit šablonu pro šířku pásma a druh měřeného signálu.

9kHz PK+AV

9kHz QP

120kHz PK+AV

120kHz QP

1MHz PK+AV

6. Spuštění testu (viz obr. 4.8).
7. Zapojte měřicí stanoviště podle obr. 5.9 a 5.10 (viz kapitola 5.1) a opakujte od 3. bodu.

## 4.5 Schéma zapojení pro EMI anténami a do vedení

V souladu s požadavky normy TL965 jsem v programu *AUTOCAD* vytvořil schémata zapojení měřicího pracoviště pro jednotlivé druhy antén a také pro zkoušky EMI do napájecího a zemnicího vodiče. Schémata obsahují zapojení a také rozmístění a vzdálenosti jednotlivých přístrojů od sebe a od měřicí antény. Schémata jsou zobrazeny v kapitole 5.1 *Navržený protokol*.

## 5 VÝSLEDNÝ PROTOKOL ZÁKAZNÍKOVI

Na základě vytvořených předchozích postupů jsem navrhl protokol o zkouškách EMI pro zákazníka. Protokol je obecný a je tak použitelný i pro jiná testovaná zařízení. Výsledný protokol obsahuje název zkoušky, datum a konec zkoušky, osobu pověřenou prováděním zkoušky, datum zpracování protokolu zákazníkovi a normu se kterou je zkouška v souladu.

### 5.1 Navržený protokol

<b>Typ testu:</b>	Elektromagnetická interference (EMI)
<b>V souladu s normou:</b>	TL965
<b>Začátek testu:</b>	9.dubna 2013
<b>Konec testu:</b>	12.dubna 2013
<b>Osoba pověřená testem:</b>	Jan Kolařík
<b>Vypracování protokolu:</b>	1.května 2013
<b>Výsledek testu:</b>	Úspěšný

#### 5.1.1 Použité přístroje

Přístroj/anténa	Sériové číslo	Datum kalibrace
PMM LP-02	0011X10102	3.5.2012
PMM RA-01	1130X00706	3.5.2012
PMM BC-01	0011X10102	3.5.2012
Rohde & Schwarz ESPI testovací soustava	4150-K0123/10	6.9.2012
PMM L1-150M 2x	000WX10501	3.5.2012
	000WE00302	
Modul hodin	-	-
Simulátor řídicí jednotky	-	-

Tab. 5.1: Použité přístroje

#### 5.1.2 Klimatické podmínky

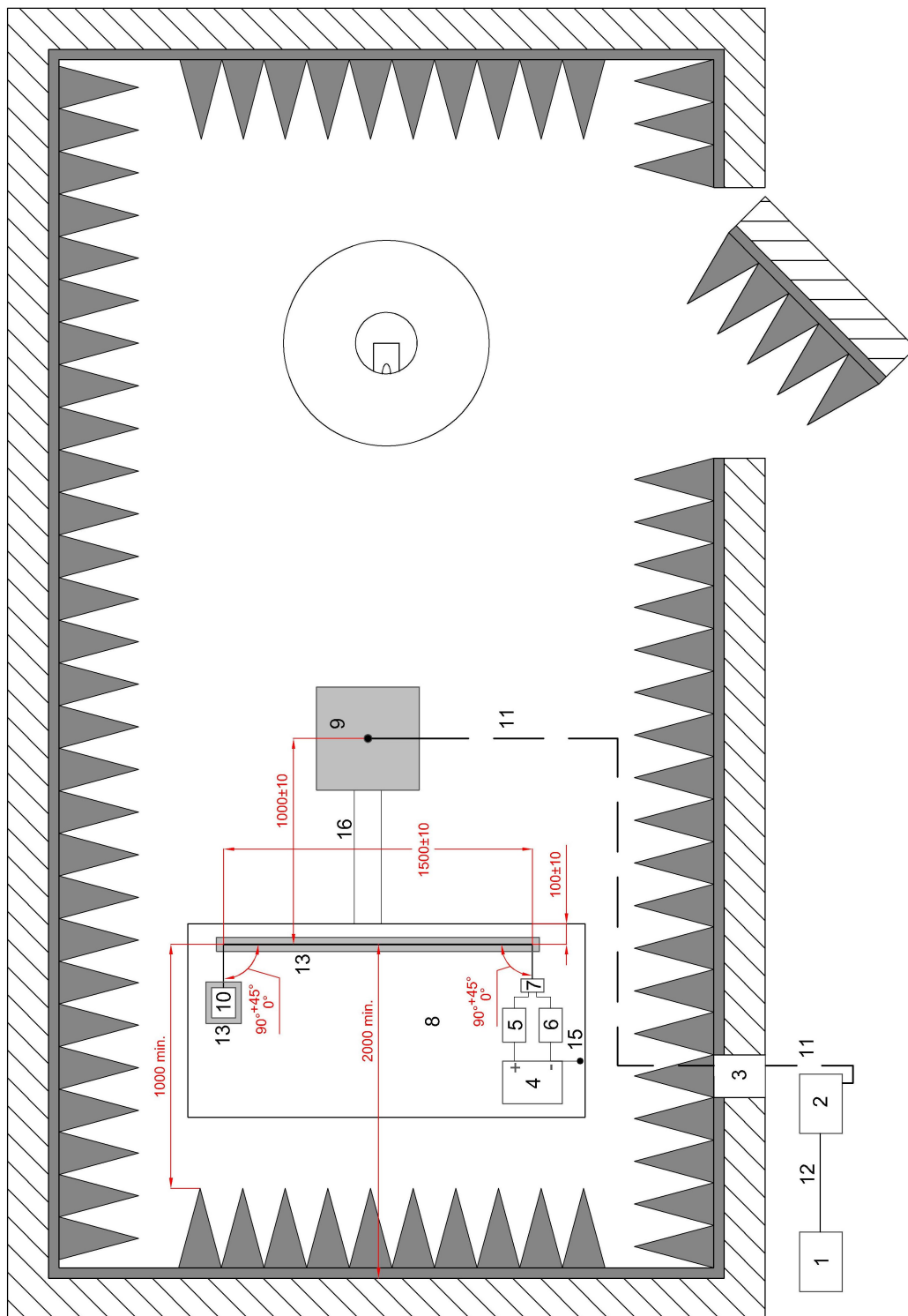
**Teplota:** 21 ( $\pm 1$  °C)

**Vlhkost:** 55 % $\pm$  5%

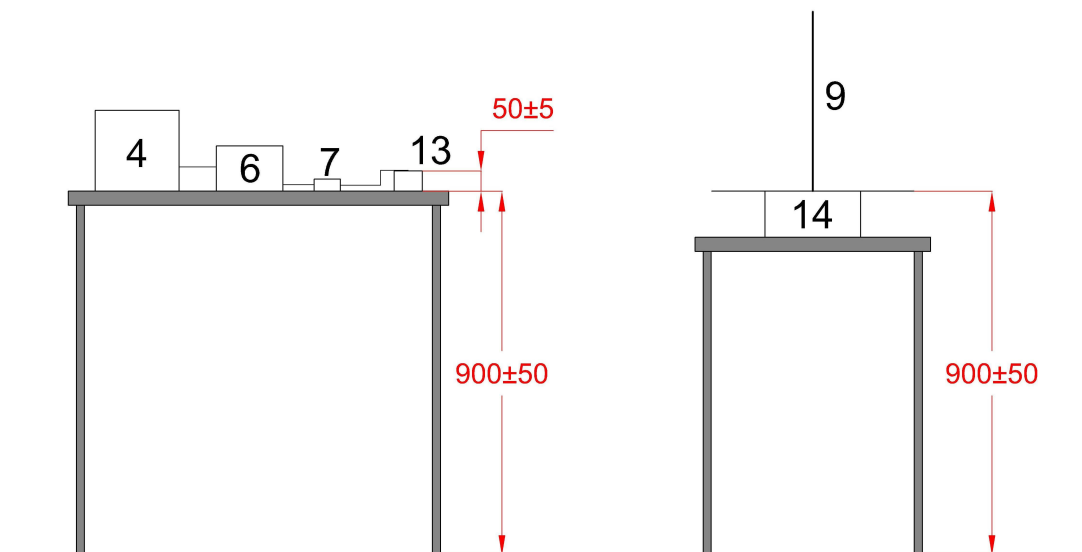
**Tlak:** 1010 hPa

### 5.1.3 Schéma zapojení měřicího pracoviště

#### Měření EMI prutová anténou PMM RA-01



Obr. 5.1: Schéma zapojení měřicího pracoviště pro měření EMI prutovou anténou



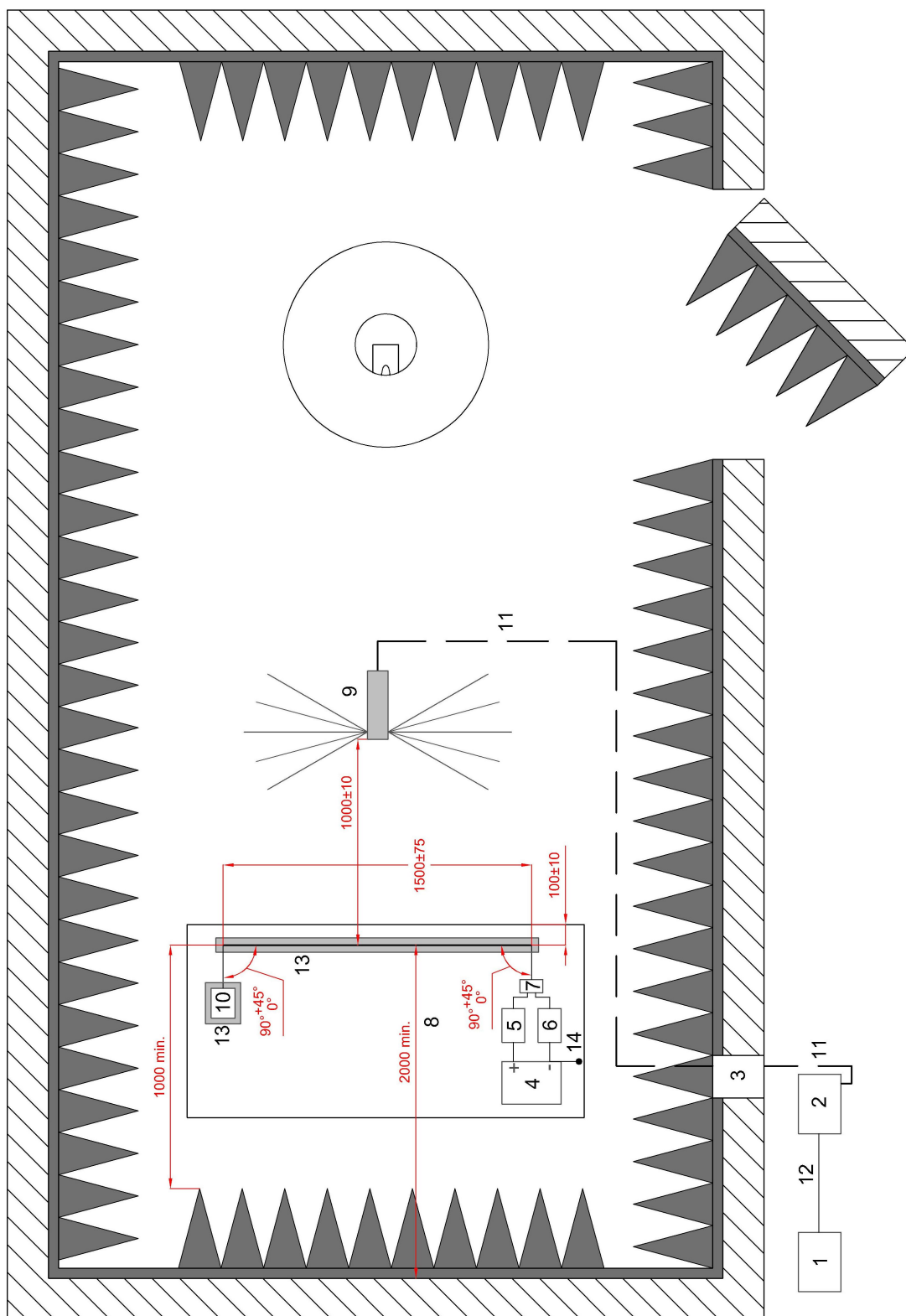
Obr. 5.2: Schéma zapojení měřicího pracoviště pro měření EMI prutovou anténou (boční pohled)

1	PC
2	R&S ESPI testovací soustava
3	Průchodka pro měřící kabely
4	Zdroj
5,6	Umělé síť
7	Simulátor funkce měřeného zařízení
8	Měděná zemnicí podložka
9	Prutová anténa
10	Měřené zařízení
11	Měřící kabel koaxiální dvojitě stíněný ( $50\Omega$ )
12	GPIB kabel
13	Podložka s nízkou relativní permeabilitou ( $\epsilon_r \leq 1,4$ )
14	Zesilovač prutové antény
15	Uzemnění
16	Uzemnění prutové antény k měděné zemnicí podložce

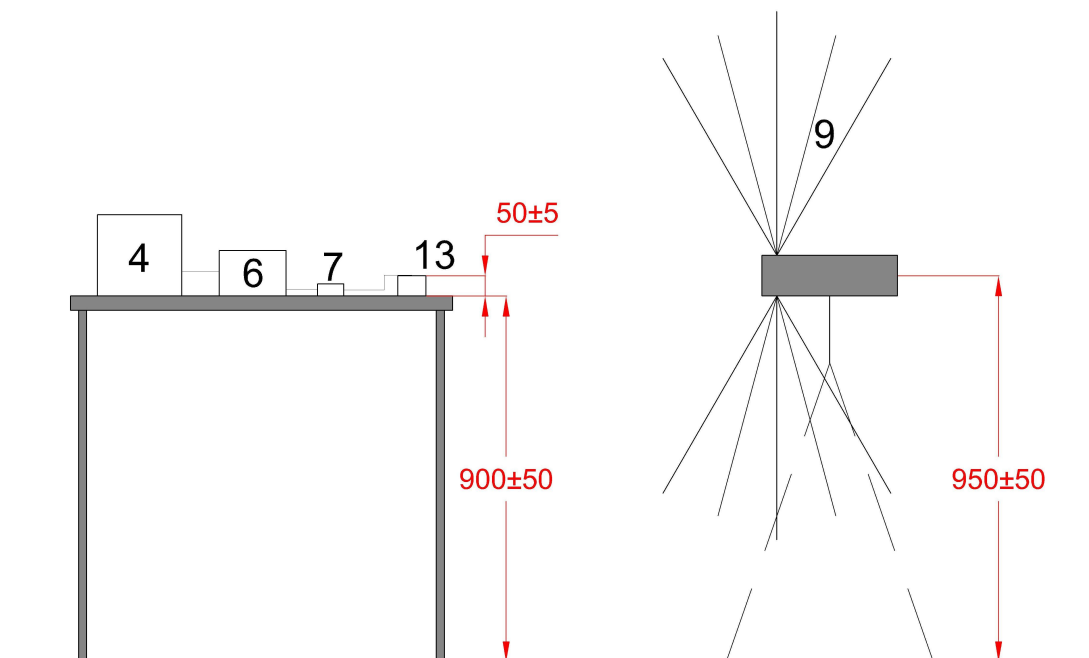
Tab. 5.2: Tabulka součástí měřicího pracoviště pro měření EMI prutovou anténou



## Měření EMI bikonickou anténou PMM BC-01



Obr. 5.3: Schéma zapojení měřicího pracoviště pro měření EMI bikonickou anténou

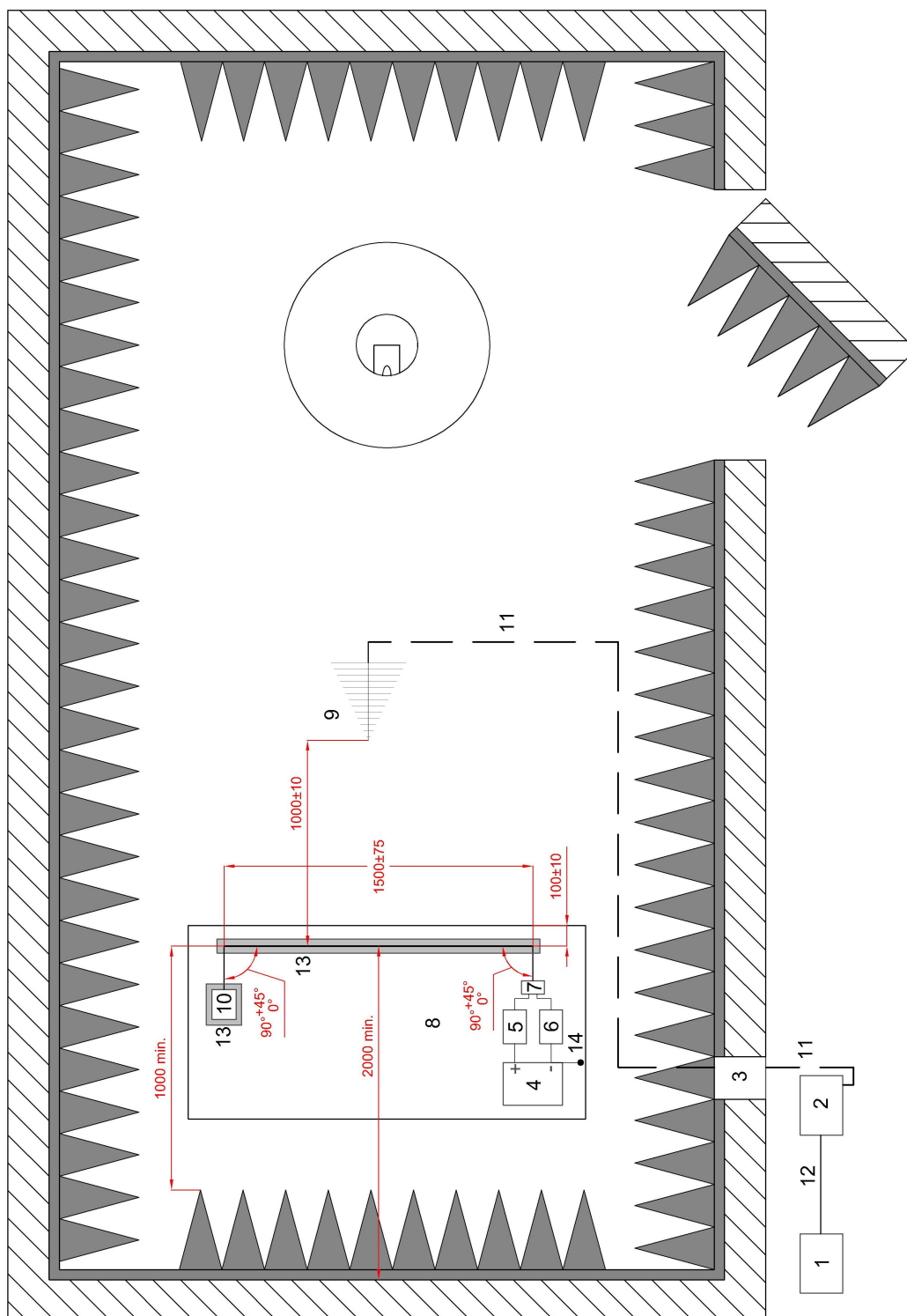


Obr. 5.4: Schéma zapojení měřicího pracoviště pro měření EMI bikonickou anténou (boční pohled, vertikální polarizace)

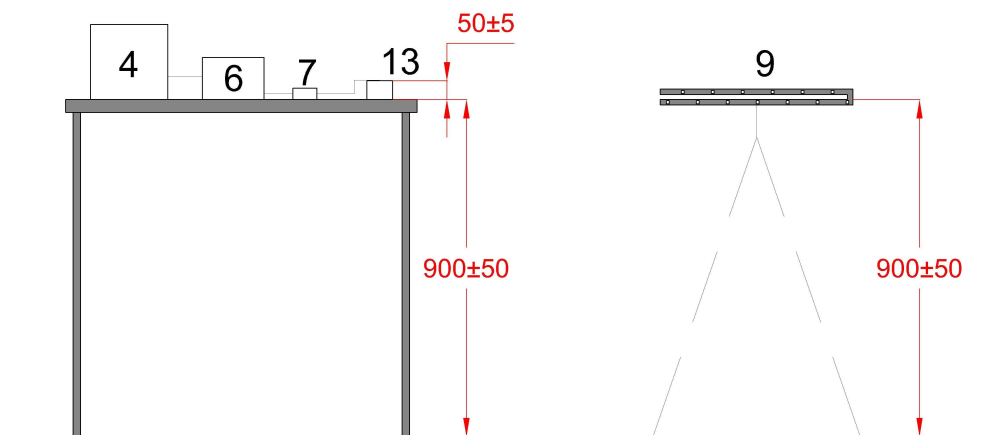
1	PC
2	R&S ESPI testovací soustava
3	Průchodka pro měřicí kabely
4	Zdroj
5,6	Umělé síť
7	Simulátor funkce měřeného zařízení
8	Měděná zemnicí podložka
9	Bikonická anténa
10	Měřené zařízení
11	Měřicí kabel koaxiální dvojitě stíněný ( $50\Omega$ )
12	GPIB kabel
13	Podložka s nízkou relativní permeabilitou ( $\epsilon_r \leq 1,4$ )
14	Uzemnění

Tab. 5.3: Tabulka součástí měřicího pracoviště pro měření EMI bikonickou anténou

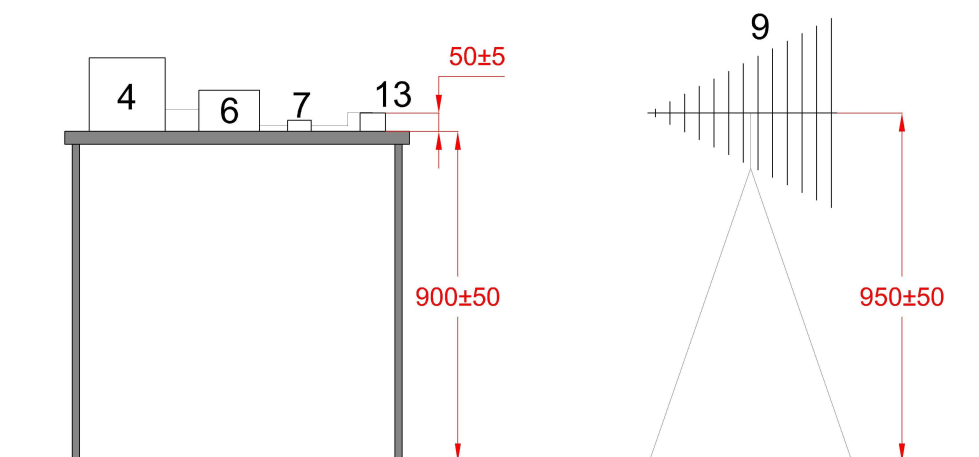
## Měření EMI logaritmicke-periodickou anténou LP-02



Obr. 5.5: Schéma zapojení měřicího pracoviště pro měření EMI logaritmicke-periodickou anténou



Obr. 5.6: Schéma zapojení měřicího pracoviště pro měření EMI logaritmicke-periodickou anténou (boční pohled, horizontální polarizace)

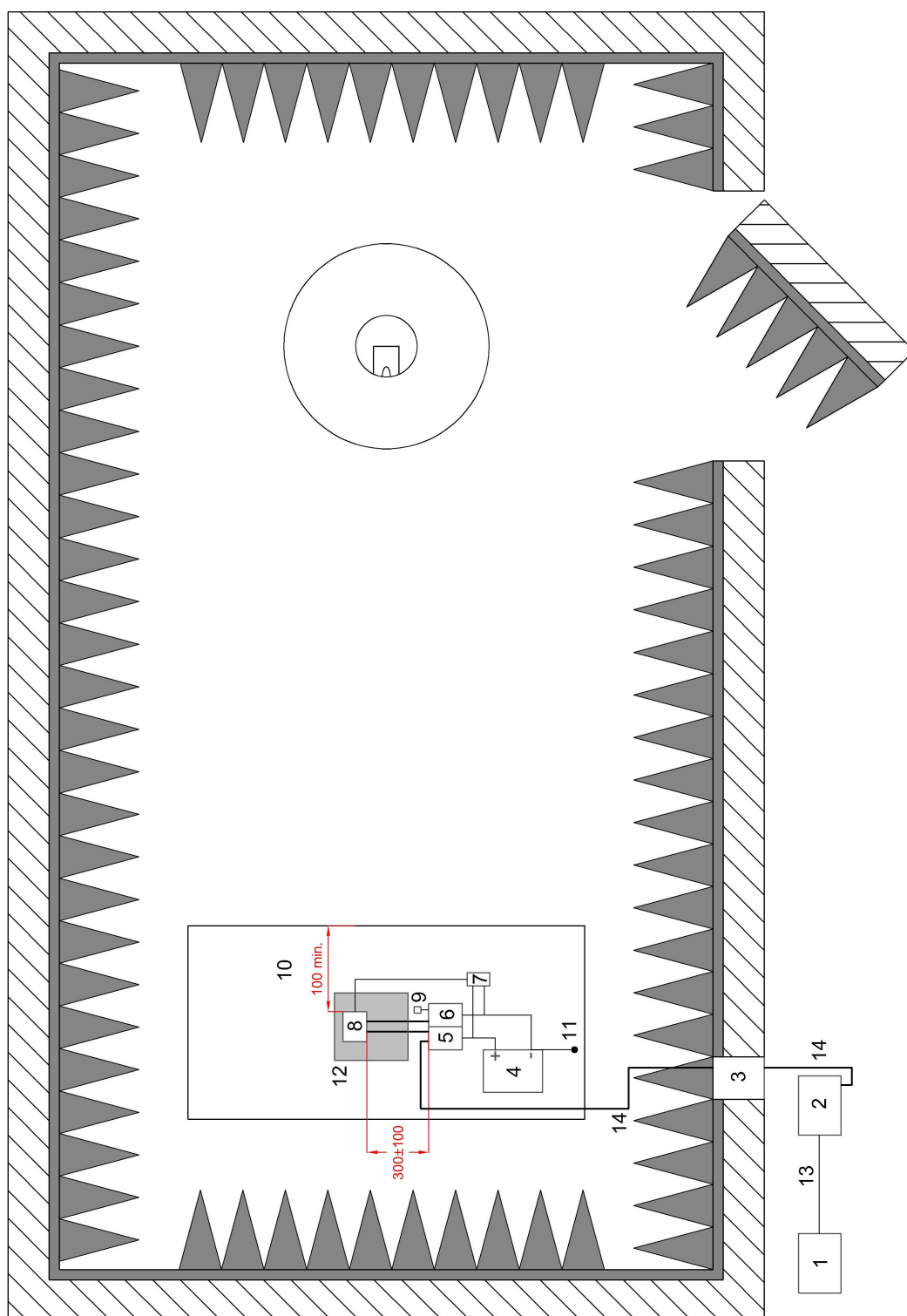


Obr. 5.7: Schéma zapojení měřicího pracoviště pro měření EMI logaritmicke-periodickou anténou (boční pohled, vertikální polarizace)

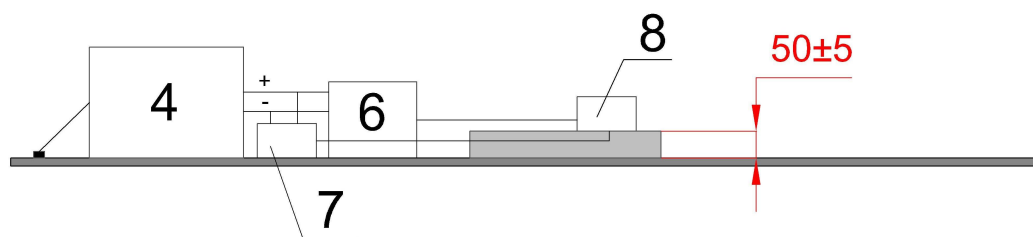
<b>1</b>	PC
<b>2</b>	R&S ESPI testovací soustava
<b>3</b>	Průchodka pro měřicí kabely
<b>4</b>	Zdroj
<b>5,6</b>	Umělé síť
<b>7</b>	Simulátor funkce měřeného zařízení
<b>8</b>	Měděná zemnicí podložka
<b>9</b>	Logaritmo-periodická anténa
<b>10</b>	Měřené zařízení
<b>11</b>	Měřicí kabel koaxiální dvojitě stíněný ( $50\Omega$ )
<b>12</b>	GPIB kabel
<b>13</b>	Podložka s nízkou relativní permeabilitou ( $\epsilon_r \leq 1,4$ )
<b>14</b>	Uzemnění

Tab. 5.4: Tabulka součástí měřicího pracoviště pro měření EMI logaritmicko-periodickou anténou





Obr. 5.9: Schéma zapojení měřicího pracoviště pro měření EMI do napájecího vodiče



Obr. 5.10: Schéma zapojení měřicího pracoviště pro měření EMI vedením (boční pohled)

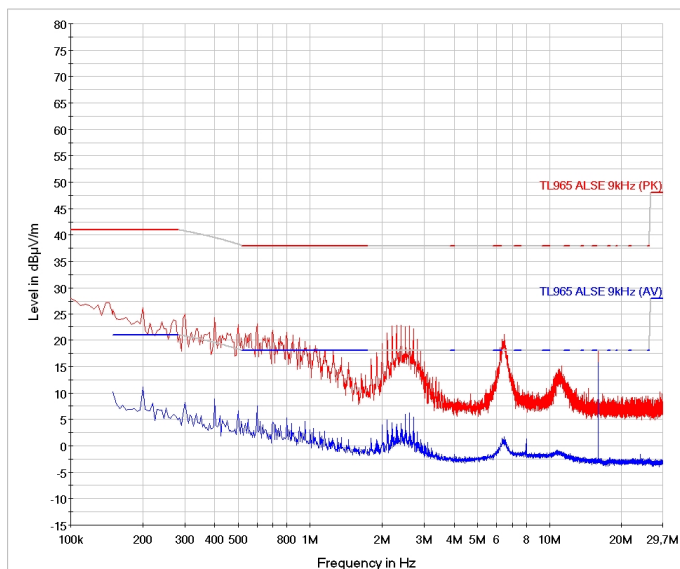
1	PC
2	R&S ESPI testovací soustava
3	Průchodka pro měřicí kabely
4	Zdroj
5,6	Umělé síť
7	Simulátor funkce měřeného zařízení
8	Měřené zařízení
9	Zátěž $50\Omega$
10	Měděná zemnicí podložka
11	Uzemnění
12	Podložka s nízkou relativní permeabilitou ( $\epsilon_r \leq 1,4$ )
13	GPIB kabel
14	Měřicí kabel koaxiální dvojitě stíněný ( $50\Omega$ )

Tab. 5.5: Tabulka součástí měřicího pracoviště pro měření EMI vedením

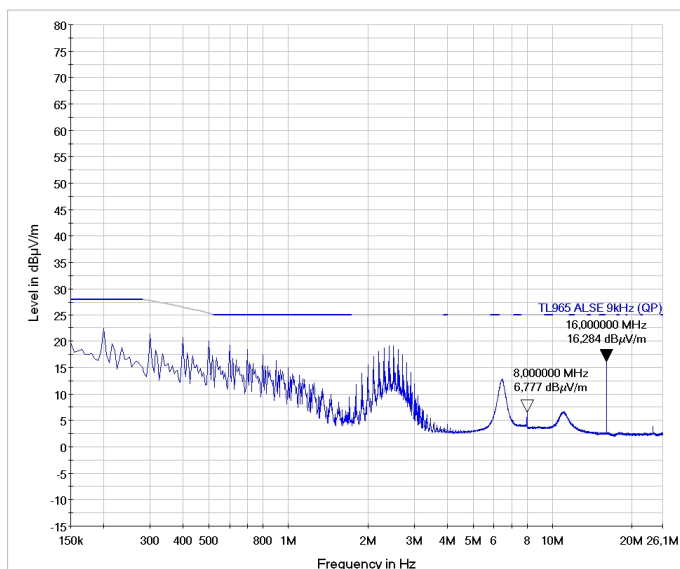


## 5.1.4 Výsledky měření EMI anténami

1. Měření prutovou anténou PMM RA-01 (9kHz - 30MHz) a R& S ESPI testovací soustavou. (viz kapitola B.1)

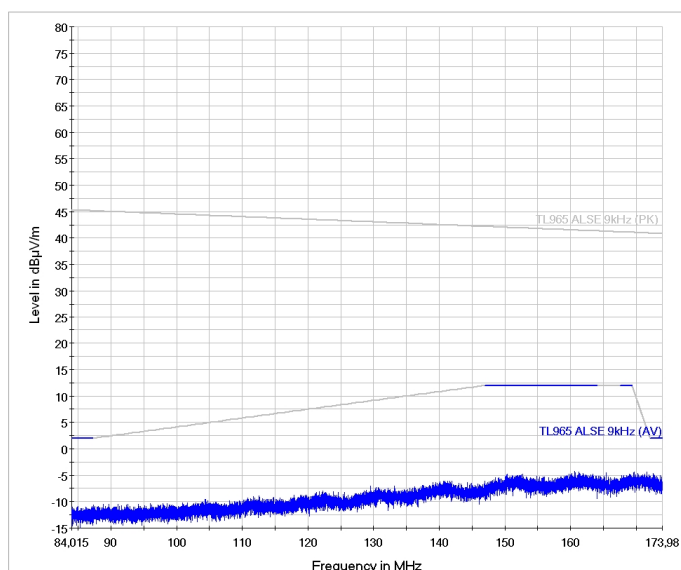


Obr. 5.11: Měření EMI prutovou anténou (detektory PK+AV, šířka pásma 9kHz, krok 5kHz, čas měření úseku 50ms), EUT *Modul hodin*

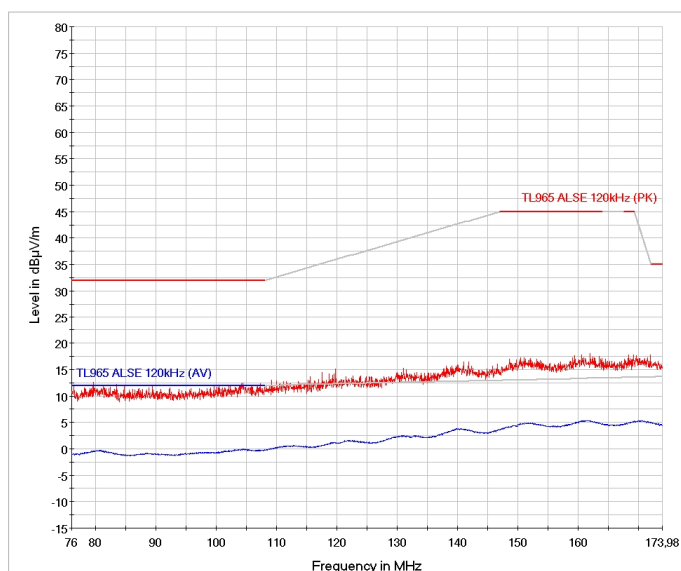


Obr. 5.12: Měření EMI prutovou anténou (detektor QP, šířka pásma 9kHz, krok 5kHz, čas měření úseku 1s), EUT *Modul hodin*

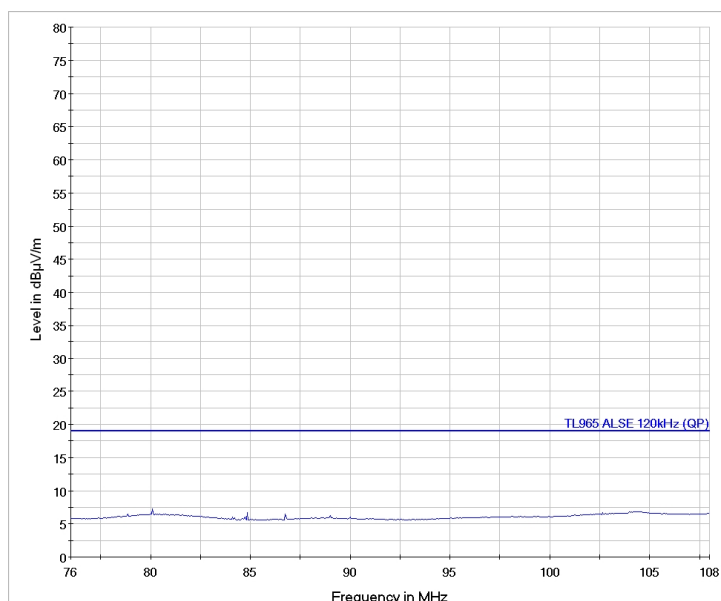
2. Měření bikonickou anténou PMM BC-01 (vertikální polarizace, 30MHz - 200MHz) a R& S ESPI testovací soustavou. (viz kapitola B.1)



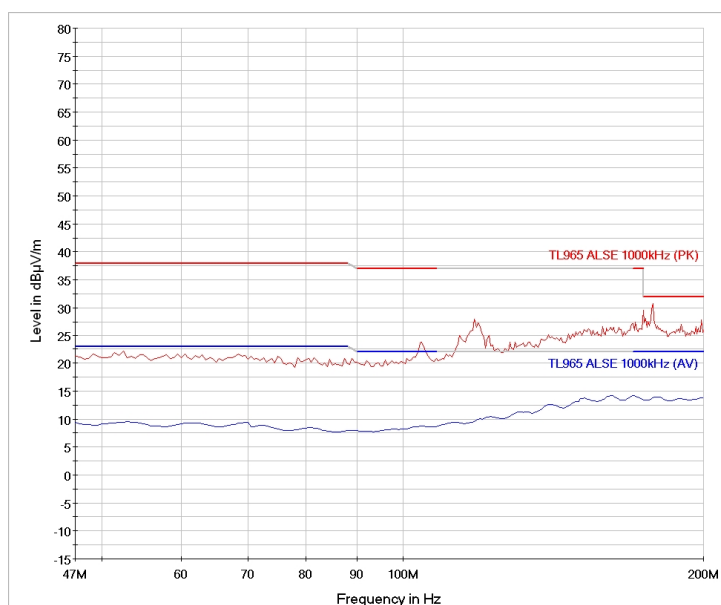
Obr. 5.13: Měření EMI bikonickou anténou (detektory PK+AV, šířka pásma 9kHz, krok 5kHz, čas měření úseku 50ms, vertikální polarizace), EUT *Modul hodin*



Obr. 5.14: Měření EMI bikonickou anténou (detektory PK+AV, šířka pásma 120kHz, krok 50kHz, čas měření úseku 50ms, vertikální polarizace), EUT *Modul hodin*

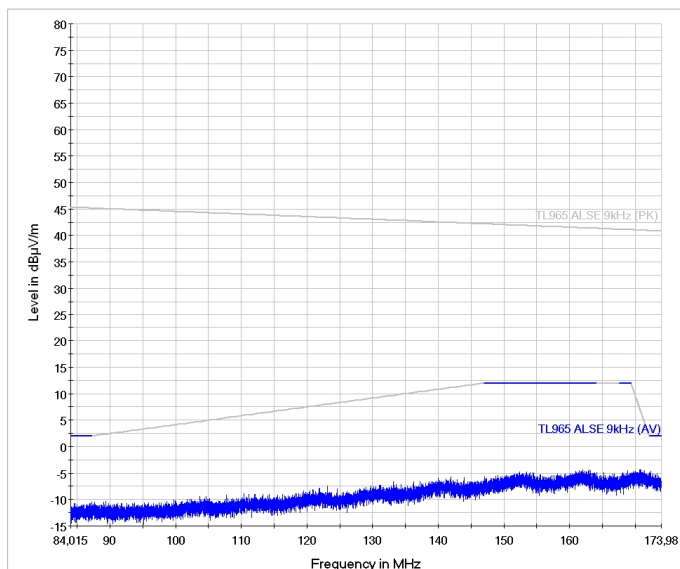


Obr. 5.15: Měření EMI bikonickou anténou (detektor QP, šířka pásma 120kHz, krok 50kHz, čas měření úseku 1s, vertikální polarizace), EUT *Modul hodin*

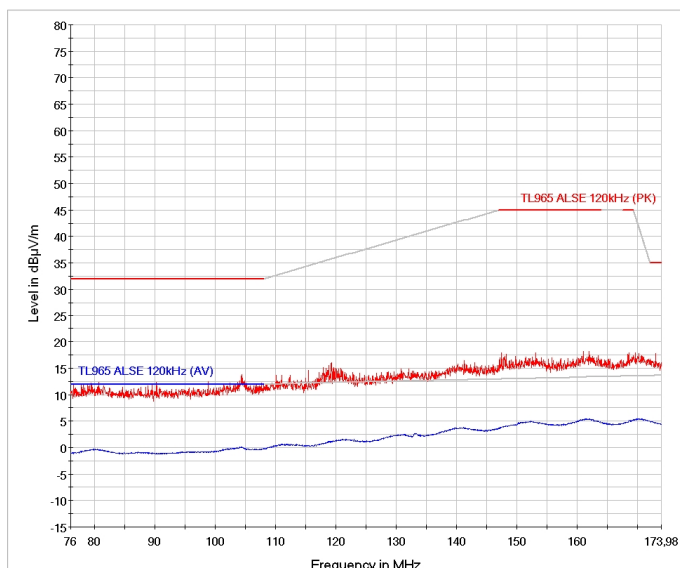


Obr. 5.16: Měření EMI bikonickou anténou (detektory PK+AV, šířka pásma 1MHz, krok 500kHz, čas měření úseku 50ms, vertikální polarizace), EUT *Modul hodin*

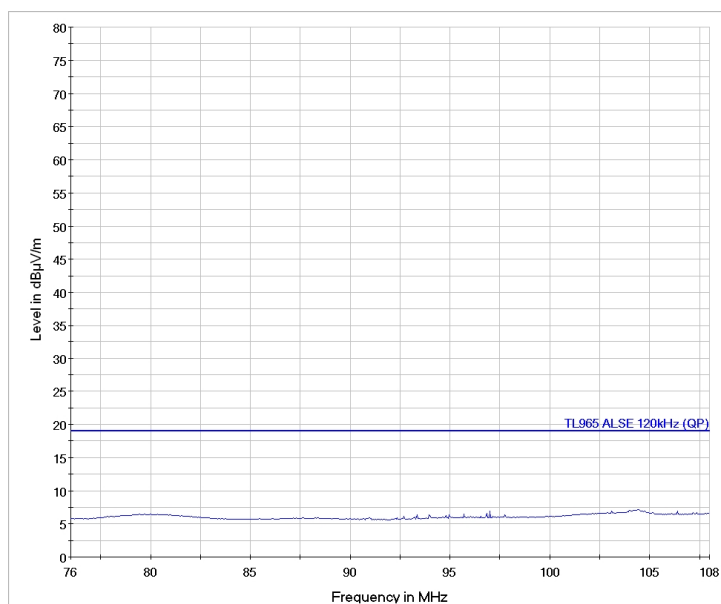
3. Měření bikonickou anténou PMM BC-01(horizontální polarizace, 30MHz - 200MHz) a R& S ESPI testovací soustavou. (viz kapitola B.1)



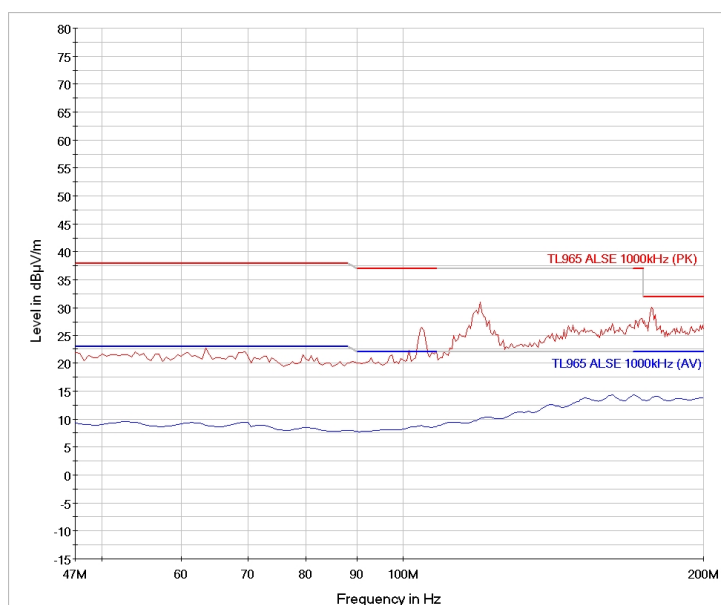
Obr. 5.17: Měření EMI bikonickou anténou (detektory PK+AV, šířka pásma 9kHz, krok 5kHz, čas měření úseku 50ms, horizontální polarizace), EUT *Modul hodin*



Obr. 5.18: Měření EMI bikonickou anténou (detektory PK+AV, šířka pásma 120kHz, krok 50kHz, čas měření úseku 50ms, horizontální polarizace), EUT *Modul hodin*

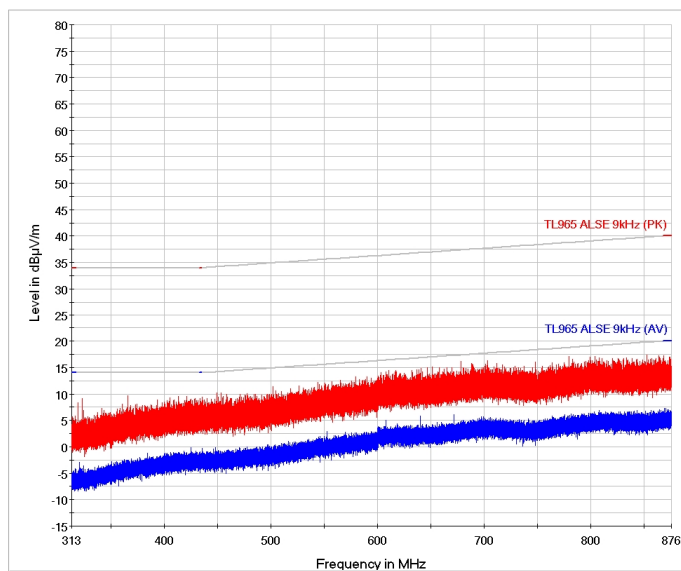


Obr. 5.19: Měření EMI bikonickou anténou (detektor QP, šířka pásma 120kHz, krok 50kHz, čas měření úseku 1s, horizontální polarizace), EUT *Modul hodin*

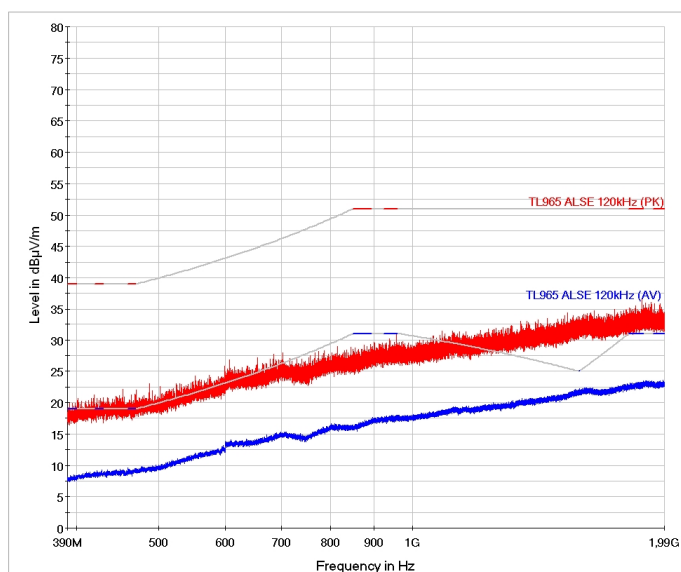


Obr. 5.20: Měření EMI bikonickou anténou (detektory PK+AV, šířka pásma 1MHz, krok 500kHz, čas měření úseku 50ms, horizontální polarizace), EUT *Modul hodin*

4. Měření logaritmicko-periodickou anténou PMM LP-02 (vertikální polarizace, 0.2GHz - 3GHz) a R& S ESPI testovací soustavou. (viz kapitola B.1)

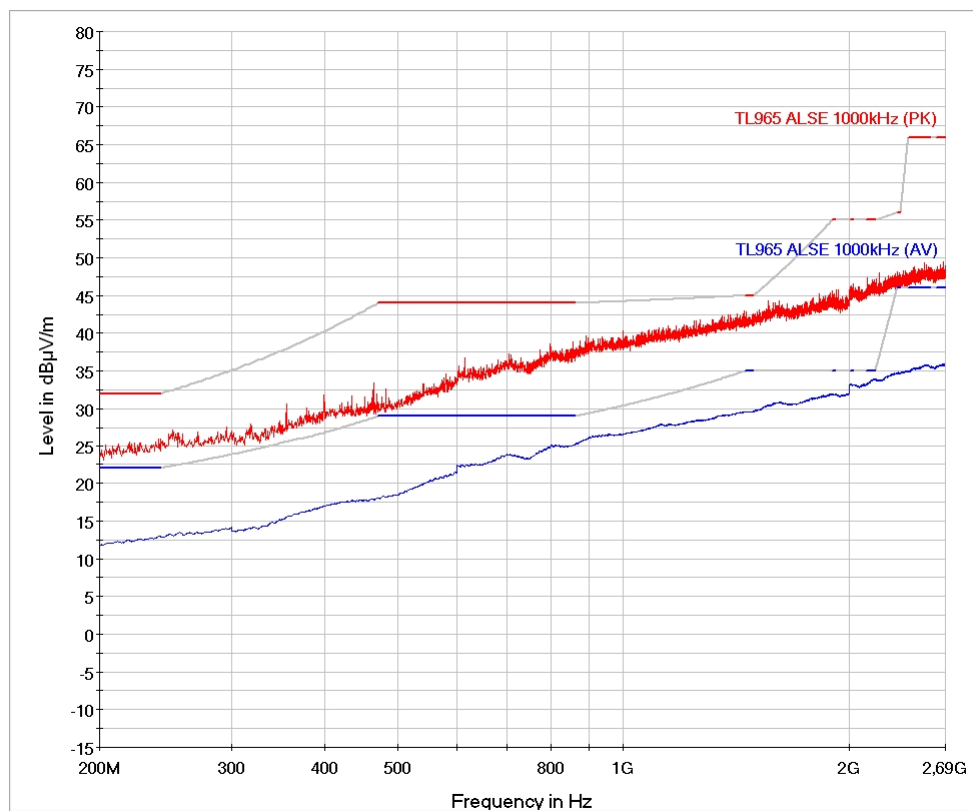


Obr. 5.21: Měření EMI logaritmo-periodickou anténou (detektory PK+AV, šířka pásma 9kHz, krok 5kHz, čas měření úseku 50ms, vertikální polarizace), EUT Modul hodin



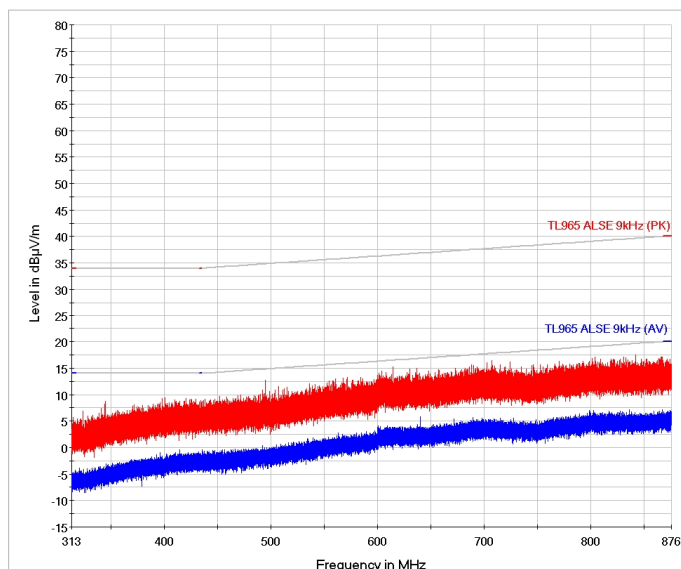
Obr. 5.22: Měření EMI logaritmo-periodickou anténou (detektory PK+AV, šířka pásma 120kHz, krok 50kHz, čas měření úseku 50ms, vertikální polarizace), EUT *Modul hodin*

5. Měření logaritmo-periodickou anténou PMM LP-02 (horizontální polarizace, 0.2GHz - 3GHz) a R& S ESPI testovací soustavou. (viz kapitola B.1)

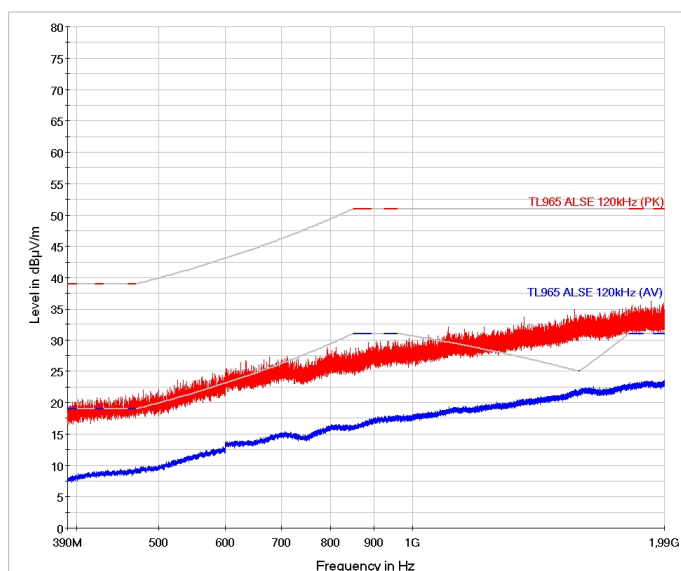


Obr. 5.23: Měření EMI logaritmo-periodickou anténou (detektory PK+AV, šířka pásma 1MHz, krok 500kHz, čas měření úseku 50ms, vertikální polarizace), EUT *Modul hodin*

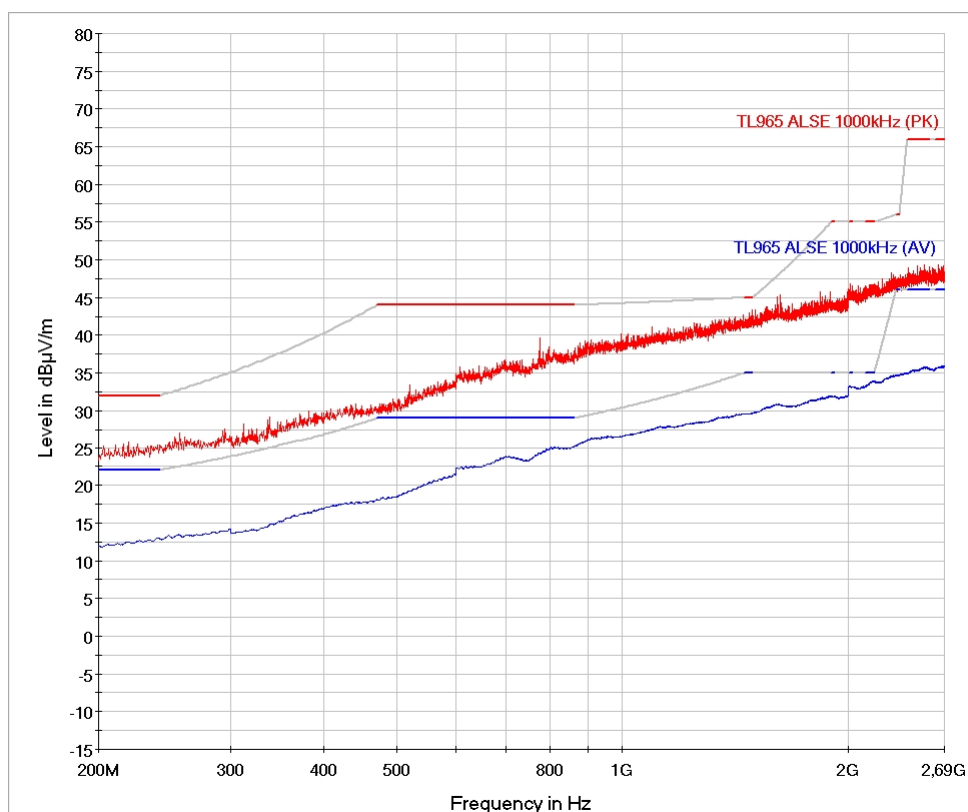




Obr. 5.24: Měření EMI logaritmo-periodickou anténou (detektory PK+AV, šířka pásma 9kHz, krok 5kHz, čas měření úseku 50ms, horizontální polarizace), EUT *Modul hodin*



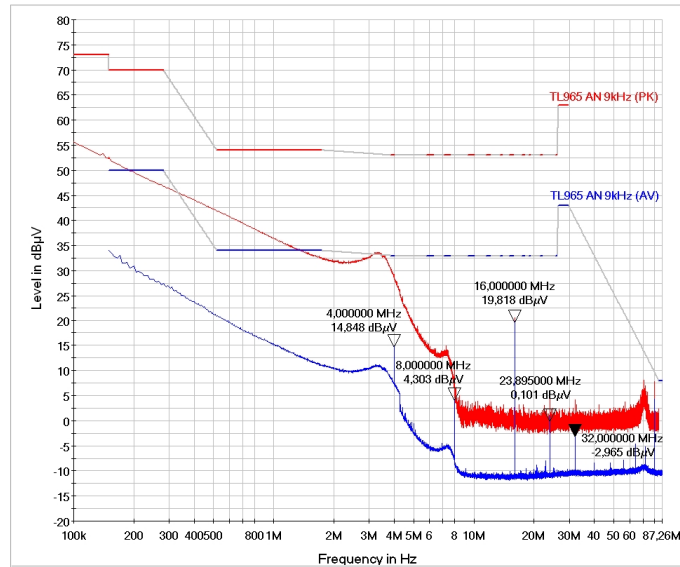
Obr. 5.25: Měření EMI logaritmo-periodickou anténou (detektory PK+AV, šířka pásma 120kHz, krok 50kHz, čas měření úseku 50ms, horizontální polarizace), EUT *Modul hodin*



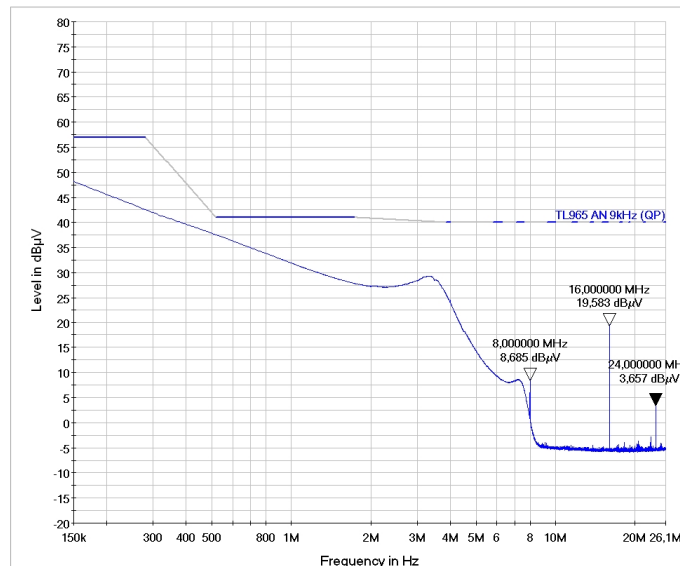
Obr. 5.26: Měření EMI logaritmo-periodickou anténou (detektory PK+AV, šířka pásma 1MHz, krok 500kHz, čas měření úseku 50ms, horizontální polarizace), EUT *Modul hodin*

### 5.1.5 Výsledky měření EMI do vedení

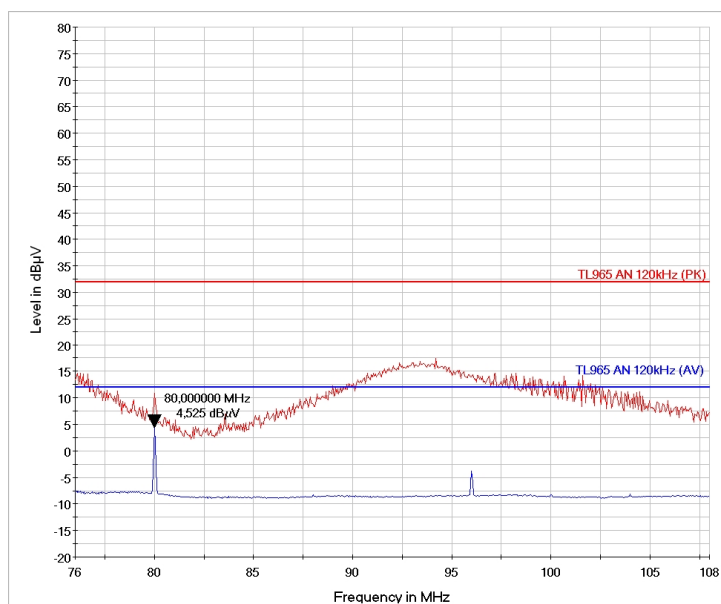
1. Do napájecího kabelu s přístrojem PMM L1-150 a R& S ESPI testovací soustavou. (viz kapitola B.2)



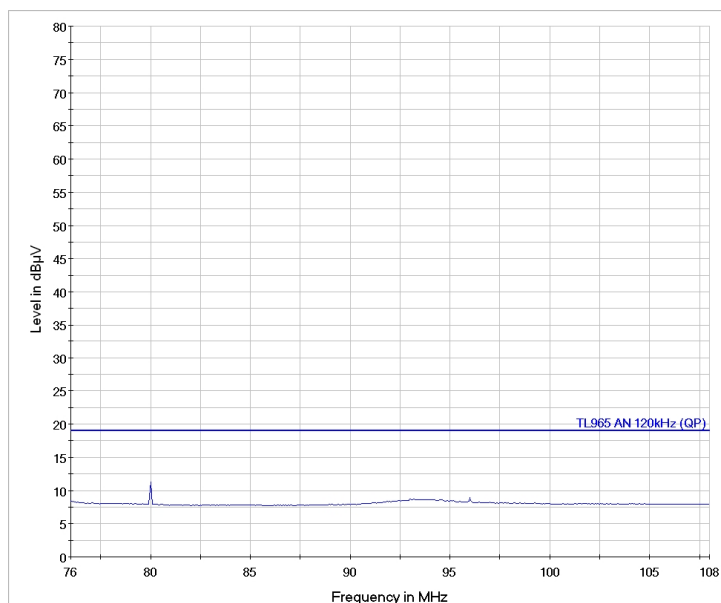
Obr. 5.27: Měření EMI do napájecího kabelu (detektory PK+AV, šířka pásma 9kHz, krok 5kHz, čas měření úseku 50ms), EUT Modul hodin



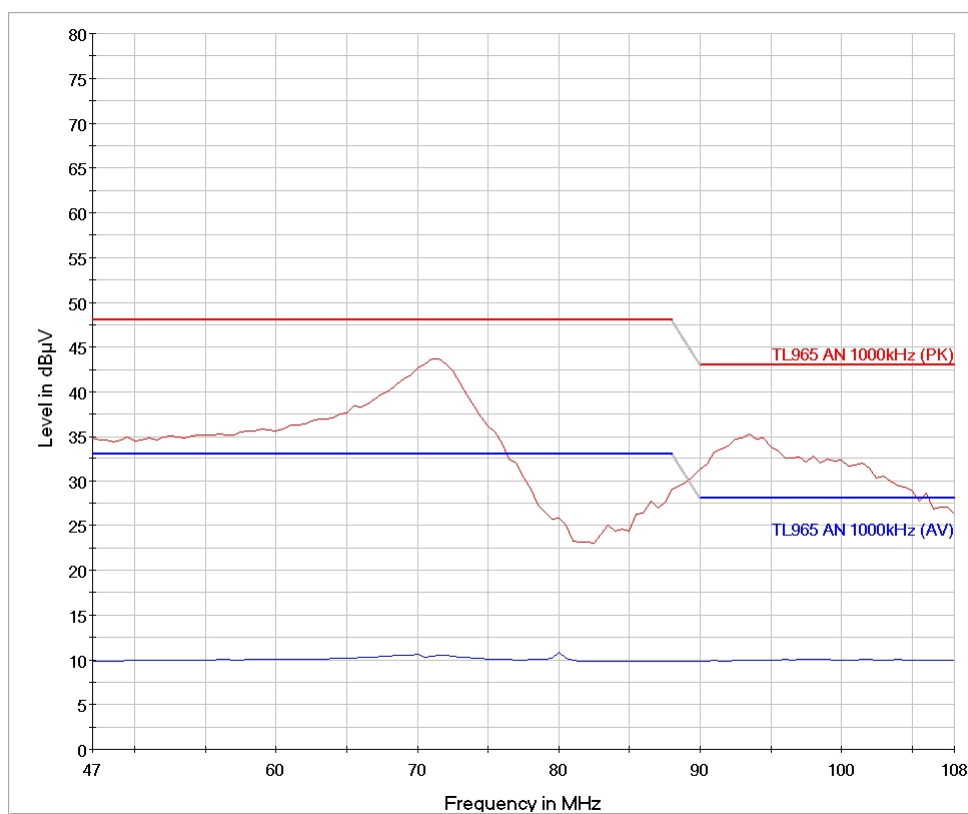
Obr. 5.28: Měření EMI do napájecího kabelu (detektor QP, šířka pásma 9kHz, krok 5kHz, čas měření úseku 1s), EUT Modul hodin



Obr. 5.29: Měření EMI do napájecího kabelu (detektory PK+AV, šířka pásma 120kHz, krok 50kHz, čas měření úseku 50ms), EUT *Modul hodin*

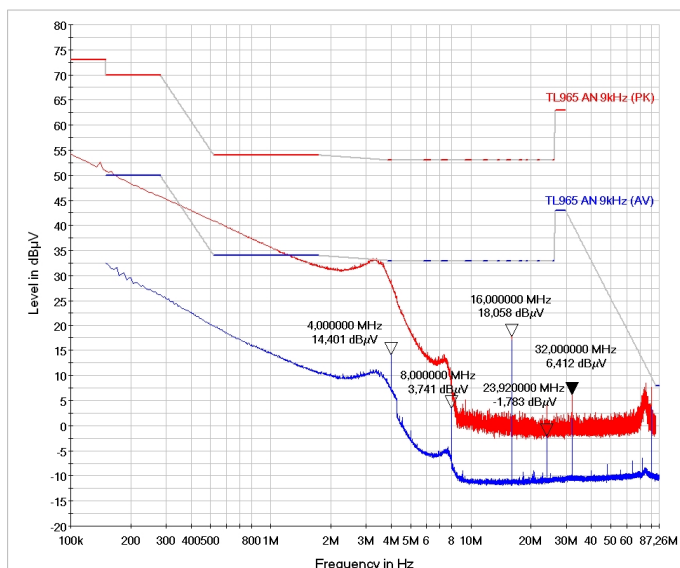


Obr. 5.30: Měření EMI do napájecího kabelu (detektor QP, šířka pásma 120kHz, krok 50kHz, čas měření úseku 1s), EUT *Modul hodin*

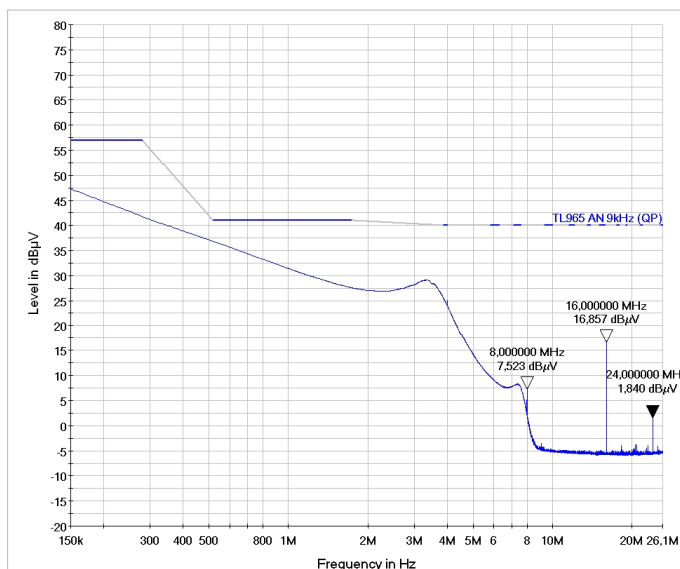


Obr. 5.31: Měření EMI do napájecího kabelu (detektory PK+AV, šířka pásma 1MHz, krok 500kHz, čas měření úseku 500ms), EUT *Modul hodin*

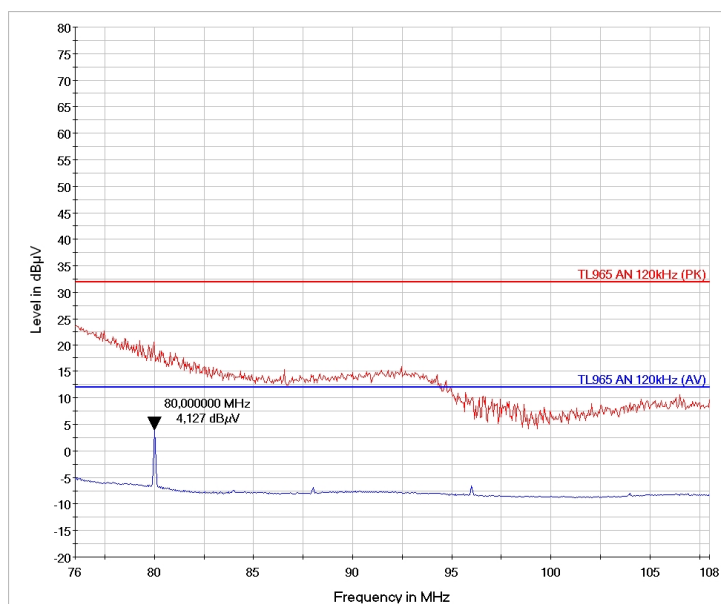
2. Do zemního kabelu s přístrojem PMM L1-150 a R& S ESPI testovací soustavou. (viz kapitola B.2)



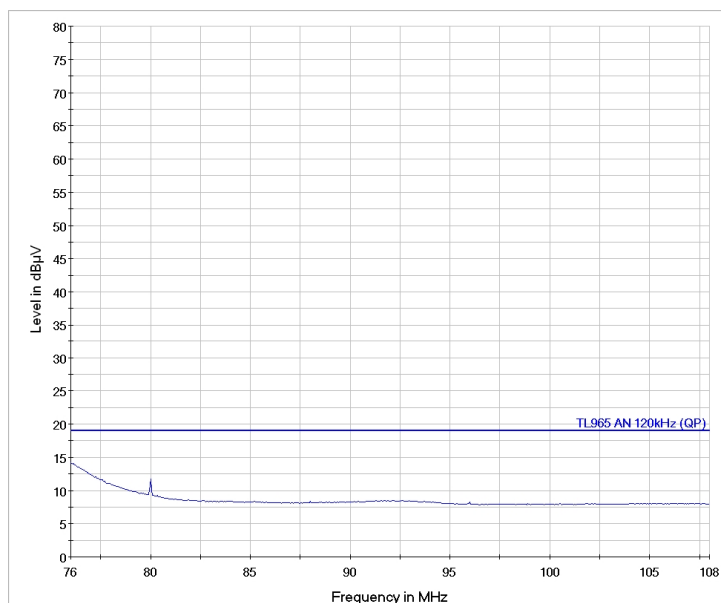
Obr. 5.32: Měření EMI do zemního kabelu (detektory PK+AV, šířka pásma 9kHz, krok 5kHz, čas měření úseku 50ms), EUT Modul hodin



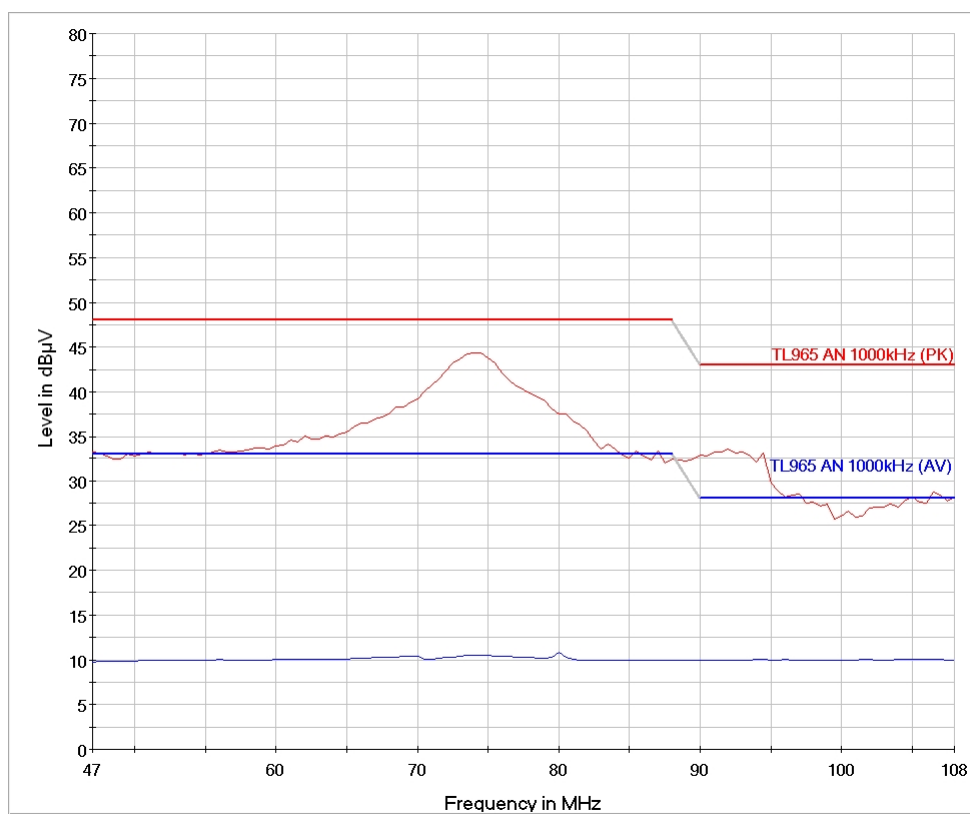
Obr. 5.33: Měření EMI do zemního kabelu (detektor QP, šířka pásma 9kHz, krok 5kHz, čas měření úseku 1s), EUT Modul hodin



Obr. 5.34: Měření EMI do zemního kabelu (detektory PK+AV, šířka pásma 120kHz, krok 50kHz, čas měření úseku 50ms), EUT *Modul hodin*



Obr. 5.35: Měření EMI do zemního kabelu (detektor QP, šířka pásma 120kHz, krok 50kHz, čas měření úseku 1s), EUT *Modul hodin*



Obr. 5.36: Měření EMI do zemního kabelu (detektory PK+AV, šířka pásma 1MHz, krok 500kHz, čas měření úseku 500ms), EUT Modul hodin



## 6 ZHODNOCENÍ ZKOUŠEK

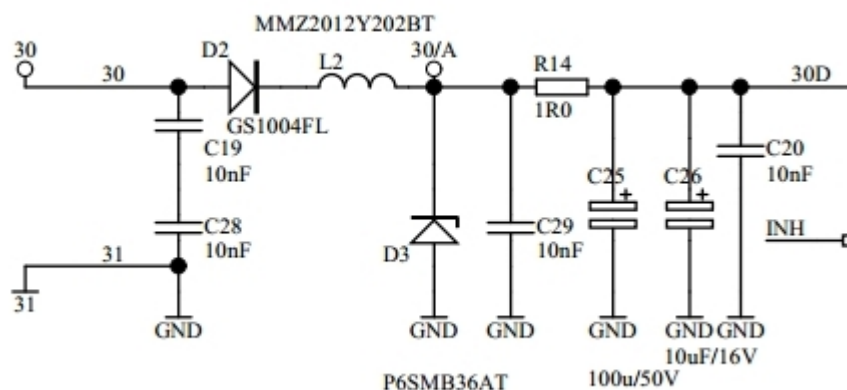
V této kapitole se zaměřuji na to, jakým způsobem probíhala zkouška na testovaném výrobku, na problémy vzniklé při zkoušce EMI a jejich následné odstranění. Dále se v této kapitole zaměřuji na můj subjektivní návrh, který by mohl vést k větší úspěšnosti zkoušek.

### 6.1 Rušení

Při prvním měření prutovou anténou při šířce pásma 9 kHz vzniklo rušení na hodnotě 16 MHz, viz. obr. C.1 a C.2. Toto rušení bylo způsobeno *Simulátorem řídicí jednotky*, jehož frekvence procesoru běží na hodnotě 16 MHz. Rušení jsem odstranil umístěním *Simulátoru* mezi umělé sítě PMM L1-150M a před něj jsem ještě umístil měděnou fólii tak, aby rušení ze *Simulátoru* bylo odstíněno od přijímací antény. Toto odstínění jsem použil po celou dobu zkoušek, jinak by *Modul hodin* neprošel zkouškami. Odstínění je vidět na obr. B.4.

První zkouška EMI anténami byla úspěšná. Následovala zkouška EMI do vedení, ve které bylo zjištěno významné rušení, které překračovalo povolenou hodnotu danou normou TL965. Rušení je vidět na obr. D.1, D.2, D.6 a D.7. Z těchto obrázků jsem vyvodil, že výrobek (*Modul hodin*), i když prošel zkouškami EMI anténami (po odstranění rušení na hodnotě 16 MHz), tak neprošel zkouškami EMI do vedení a tak celá zkouška byla neúspěšná. *Modul hodin* jsem po neúspěšné první zkoušce donesl konstruktérovi Ing. Pavlu Janáčovi, který ho odrušil. Rušení při měření EMI do vedení bylo způsobeno PWM modulací o frekvenci 500MHz, která v napájecím obvodu reguluje jas podsvícení displeje. Rušení bylo odstraněno snížením hodnoty odporu R14 v napájecím obvodu z hodnoty  $10\Omega$  na  $1\Omega$  a tím ke zlepšení filtrace rušivých signálů. Na obr. 6.1 je zobrazen napájecí obvod pro podsvit displeje a odpor R14. Celé první neúspěšné měření je v příloze C a D.

Po upravení *Modulu hodin* jsem výrobek podrobil znovu zkouškám EMI. Významné jsou grafy na obr. 5.1 a 5.2. Na těchto grafech jsou vidět 2 rušení. Jedno rušení je na hodnotě 8MHz, které je způsobeno frekvencí procesoru *Modulu hodin*, a druhé rušení je na hodnotě 16MHz, o kterém byla řeč v předcházejícím odstavci. Obě rušení budou vidět i v grafech pro zkoušku EMI do vedení, kde se objeví i vyšší harmonické složky signálu s frekvencí 8MHz a 16MHz. Obě rušení jsou ovšem pod úrovní normy TL965, takže je není potřeba odrušovat a druhá zkouška EMI anténami byla úspěšná.



Obr. 6.1: Napájecí obvod, EUT *Modul hodin*

Po té jsem výrobek podrobil druhé zkoušce EMI do vedení, kde při první zkoušce EMI do vedení bylo vidět významné rušení a *Modul hodin* tak neprošel zkouškám. Po upravení *Modulu hodin* se rušení významně snížilo a vyhovovalo tak úrovni dle normy TL965. Na obr. 5.17, 5.18, 5.22 a 5.23 jsou vidět grafy z druhé zkoušky EMI do vedení, kde je vidět snížení úrovně rušení oproti obr. D.1, D.2, D.6 a D.7. Výsledné grafy z druhé zkoušky EMI anténami a do vedení jsou v kapitole 5, kde jsem navrhl výsledný protokol o zkouškách zákazníkovi.

## 6.2 Subjektivní návrh ke zlepšení zkoušek EMI

Pro zlepšení měření by bylo potřeba, aby *Simulátor řídicí jednotky*, který mi komplikoval měření interference anténami, byl při měření umístěn mimo Faradayovu komoru. Faradayova komora má pro případy, kdy je potřeba k měření testovaného výrobku další zařízení, vyveden optický kabel vně komory, ke kterému se tyto zařízení připojují a neovlivňují tak samotné měření. Řešením tedy je připojit *Simulátor* k optickému kabelu. Jelikož posílá *Simulátor* elektrický signál testovanému zařízení (*Modul hodin*), tak pro připojení k optickému kabelu je potřeba vytvořit 2 převodníky. Jeden převodník by sloužil k převodu elektrického signálu na optický (připojení *Simulátoru*) a druhý převodník by sloužil zase jako převod optického signálu na elektrický (připojení *Modulu hodin*), který by byl umístěn uvnitř komory. Převodníkem by mohl být optočlen, který se skládá LED diody a fototranzistoru. Otázkou však je, jestli převodník optického signálu na elektrický, který bude uvnitř Faradayovi komory, mi taktéž nebude ovlivňovat zkoušky EMI.

## 7 ZÁVĚR

Elektromagnetická kompatibilita je dle mého názoru velice náročná, ale za to velmi důležitá oblast elektrotechniky, bez které by se technologická doba, ve které žijeme, neobešla. Uvědomuji si, že tato věda je velice rozsáhlá a že jsem poznal pouze malou část této problematiky, ale jsem rád, že mi bylo umožněno do této problematiky nahlídnout. Naučil jsem se, co to elektromagnetická kompatibilita je a jak moc je důležitá. Díky firmě AEV s.r.o. jsem měl možnost pracovat s přístroji pro zkoušky EMC a mohl jsem tak provádět zkoušky elektromagnetické interference na jejich výrobku. Dále jsem se naučil vyhodnocovat výsledky zkoušek a vyvozovat z nich patřičné závěry. Doufám, že má bakalářská práce bude přínosem pro další studenty a širokou veřejnost, kteří by se touhle problematikou chtěli zabývat stejně jako já.

## LITERATURA

- [1] SVAČINA, Jiří. *Elektromagnetická kompatibilita*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2002, 171 s.
- [2] RAIDA, Zbyněk. *Logaritmicko-periodická anténa (LPA)*. In: *Ústav radioelektroniky* [online]. Vysoké učení technické v Brně, 2010 [cit. 2012-11-29]. Dostupné z: <<http://www.urel.feec.vutbr.cz/~raida/multimedia/cz/10-8-A.pdf>>.
- [3] DŘÍNOVSKÝ, Jiří. ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY FEKT VUT V BRNĚ. *6. přednáška: Spektrální analyzátoři*. Brno, 2012, 25 s. Dostupné z: <[http://www.urel.feec.vutbr.cz/~drinovsky/?download=MREM\\_2010\\_P\\_06.pdf](http://www.urel.feec.vutbr.cz/~drinovsky/?download=MREM_2010_P_06.pdf)>.
- [4] PROCHÁZKA, Miroslav. *Antény: Encyklopedická příručka*. 3., rozšíř. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2000, 287 s. ISBN 80-730-0166-7.
- [5] HEWLETT PACKARD. *Understanding the Fundamental Principles of Vector Network Analysis*. Palo Alto (Kalifornie-USA), 1997, 14 s. Dostupné z: <[http://www.hpmemory.org/an/pdf/an\\_1287-1.pdf](http://www.hpmemory.org/an/pdf/an_1287-1.pdf)>.
- [6] ROHDE & SCHWARZ. *ESPI test receiver: Specifications* [online]. 6. vyd. Mnichov (Německo), 2009, 12 s. [cit. 2012-11-20]. Dostupné z: <[http://cdn.rohde-schwarz.com/dl\\_downloads/dl\\_common\\_library/dl\\_brochures\\_and\\_datasheets/part\\_10/ESPI\\_specs\\_en.pdf](http://cdn.rohde-schwarz.com/dl_downloads/dl_common_library/dl_brochures_and_datasheets/part_10/ESPI_specs_en.pdf)>.
- [7] ROHDE & SCHWARZ. *FSV Signal and Spectrum analyzer: Specifications* [online]. 8. vyd. Mnichov (Německo), 2012, 28 s. [cit. 2012-11-20]. Dostupné z: <[http://cdn.rohde-schwarz.com/dl\\_downloads/dl\\_common\\_library/dl\\_brochures\\_and\\_datasheets/part\\_13\\_16/FSV\\_dat-sw\\_en.pdf](http://cdn.rohde-schwarz.com/dl_downloads/dl_common_library/dl_brochures_and_datasheets/part_13_16/FSV_dat-sw_en.pdf)>.
- [8] ROHDE & SCHWARZ. *SMC100A Signal generator: Specifications* [online]. 1. vyd. Mnichov (Německo), 2011, 16 s. [cit. 2012-11-20]. Dostupné z: <[http://cdn.rohde-schwarz.com/dl\\_downloads/dl\\_common\\_library/dl\\_brochures\\_and\\_datasheets/part\\_13\\_16/SMC100A\\_dat-sw\\_en.pdf](http://cdn.rohde-schwarz.com/dl_downloads/dl_common_library/dl_brochures_and_datasheets/part_13_16/SMC100A_dat-sw_en.pdf)>.
- [9] ROHDE & SCHWARZ. *EMC32-EB: EMI Measurement Software* [online]. 1. vyd. Mnichov (Německo), 2008, 6 s. [cit. 2012-11-20]. Dostupné z: <[http://cdn.rohde-schwarz.com/dl\\_downloads/dl\\_common\\_library/dl\\_brochures\\_and\\_datasheets/part\\_10/EMC32-EB\\_dat\\_en.pdf](http://cdn.rohde-schwarz.com/dl_downloads/dl_common_library/dl_brochures_and_datasheets/part_10/EMC32-EB_dat_en.pdf)>.
- [10] NARDA SAFETY TEST SOLUTIONS. *PMM L1-150M: Multi-standard Single-path LISN* [online]. Segrate (Italy), 2009, 2 s. [cit. 2012-11-20]. Dostupné z: <<http://www.narda-sts.it/includes/sendfile.asp?nomep=L1-150M>>.

- [11] NARDA SAFETY TEST SOLUTIONS. *PMM LISN L2-16B: Artificial Mains V-Network for single phase and DC powered EUTs* [online]. Segrate (Italy), 2009, 2 s. [cit. 2012-11-20]. Dostupné z: <<http://www.narda-sts.it/includes/sendfile.asp?nomep=L2-16B>>.
- [12] NARDA SAFETY TEST SOLUTIONS. *PMM BC-01: Biconical antenna 30-200 MHz* [online]. Segrate (Italy), 2009, 2 s. [cit. 2012-11-20]. Dostupné z: <<http://www.narda-sts.it/includes/sendfile.asp?nomep=BC-01>>.
- [13] NARDA SAFETY TEST SOLUTIONS. *PMM LP-02: Log-periodic antenna 0.2-3 GHz* [online]. Segrate (Italy), 2009, 2 s. [cit. 2012-11-20]. Dostupné z: <<http://www.narda-sts.it/includes/sendfile.asp?nomep=LP-02>>.
- [14] NARDA SAFETY TEST SOLUTIONS. *PMM LP-03: Log-periodic antenna 0.8-6 GHz* [online]. Segrate (Italy), 2009, 2 s. [cit. 2012-11-20]. Dostupné z: <<http://www.narda-sts.it/includes/sendfile.asp?nomep=LP-03>>.
- [15] NARDA SAFETY TEST SOLUTIONS. *PMM RA-01: Low frequency rod antenna* [online]. Segrate (Italy), 2009, 2 s. [cit. 2012-11-20]. Dostupné z: <<http://www.narda-sts.it/includes/sendfile.asp?nomep=RA-01>>.
- [16] AGILENT TECHNOLOGIES. *Spectral purity* [online]. Santa Clara (USA), 2001, 8 s. [cit. 2012-11-20]. Dostupné z: <<http://literature.agilent.com/litweb/pdf/5952-2019.pdf>>.
- [17] ČSN EN 55025 ed.2. *Vozidla, čluny a zážehové motory - Charakteristiky vysokofrekvenčního rušení - Meze a metody měření pro ochranu palubních přijímačů*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009.
- [18] TL965. *Interference Emission*. Wolfsburg: Volkswagen AG, 2009.
- [19] ČSN IEC 1000-1-1. *Elektromagnetická kompatibilita (EMC). Část 1: Všeobecně. Díl 1: Použití a interpretace základních definic a termínů*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 1992.
- [20] JURA, Pavel. *Signály a systémy: Část 1: Spojité signály*. 2. vyd. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2010, 81 s.

## SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK

EMC elektromagnetic compatibility

EMI elektromagnetická interference

EMS elektromagnetická susceptibilita

NN nízké napětí

VN vysoké napětí

VVN velmi vysoké napětí

LEMP *Lightning Electromagnetic Pulse*

NEMP *Nuclear Electromagnetic Pulse*

ESD *Electrostatic Discharge*

CBR *Citizen Band radio*

VSWR *Voltage Standing Wave Ratio*

AF anténní faktor

RMS efektivní hodnota

AMN *Artificial Mains Network*

LISN *Line Impedance Stabilization Network*

$\lambda$  vlnová délka

Š šířka

D délka

V výška

H hloubka

CISPR Comité Européen de Normalisation en Electrotechnique - mezinárodní soubor norem pro oblast EMC

WMF *Windows MetaFile* (obrázkový formát)

AM *Amplitude modulation* (amplitudová modulace)

FM *Frequency modulation* (frekvenční modulace)

$\varphi$ M *Phase modulation* (fázová modulace)

PWM *Pulse Width Modulation* - pulzní šířková modulace

SSB *Single Side Band* - jedno postranní pásmo

RF *Radio frequency* - radiofrekvenční

LF *Low frequency* - nízkofrekvenční

FT Fourierova transformace

DFT diskrétní Fourierova transformace

$\Delta f$  vzdálenost hodnot diskrétního frekvenčního spektra

N počet vzorků signálu

$T_S$  doba vzorkování

DC stejnosměrný signál

AC střídavý signál

VW *Volkswagen AG*

TL965 koncernová norma firmy VW AG

LCD *Liquid Crystal Display*

EUT *Equipment Under Test* (testované zařízení)

BMP bitmapa

JPEG *Joint Photographic Experts Group*

PK *Peak*

AV *Average*

QP *Quasi-Peak*

CAN *Controller Area Network*

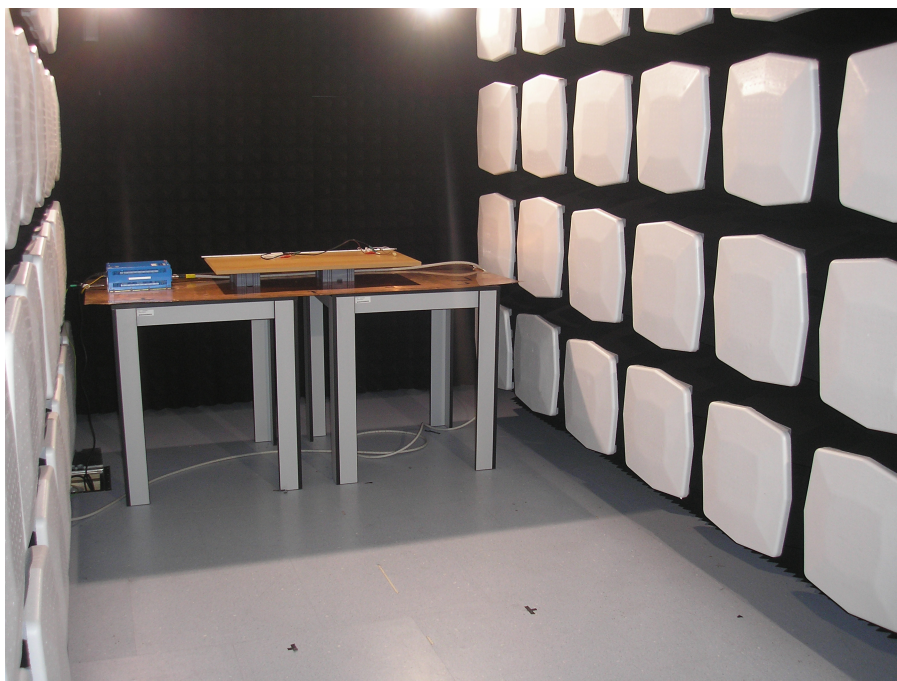
# SEZNAM PŘÍLOH

<b>A</b>	<b>Externí pracoviště AEV s.r.o.</b>	<b>90</b>
A.1	Faradayova komora . . . . .	90
A.2	Antény . . . . .	92
A.3	Přístrojové vybavení . . . . .	94
<b>B</b>	<b>Měření EMI v absorpční komoře</b>	<b>97</b>
B.1	Měření interference anténami . . . . .	97
B.2	Měření interference do vedení . . . . .	102
<b>C</b>	<b>Měření EMI anténami (vadný kus)</b>	<b>105</b>
<b>D</b>	<b>Měření EMI do vedení (vadný kus)</b>	<b>115</b>



## A EXTERNÍ PRACOVIŠTĚ AEV S.R.O.

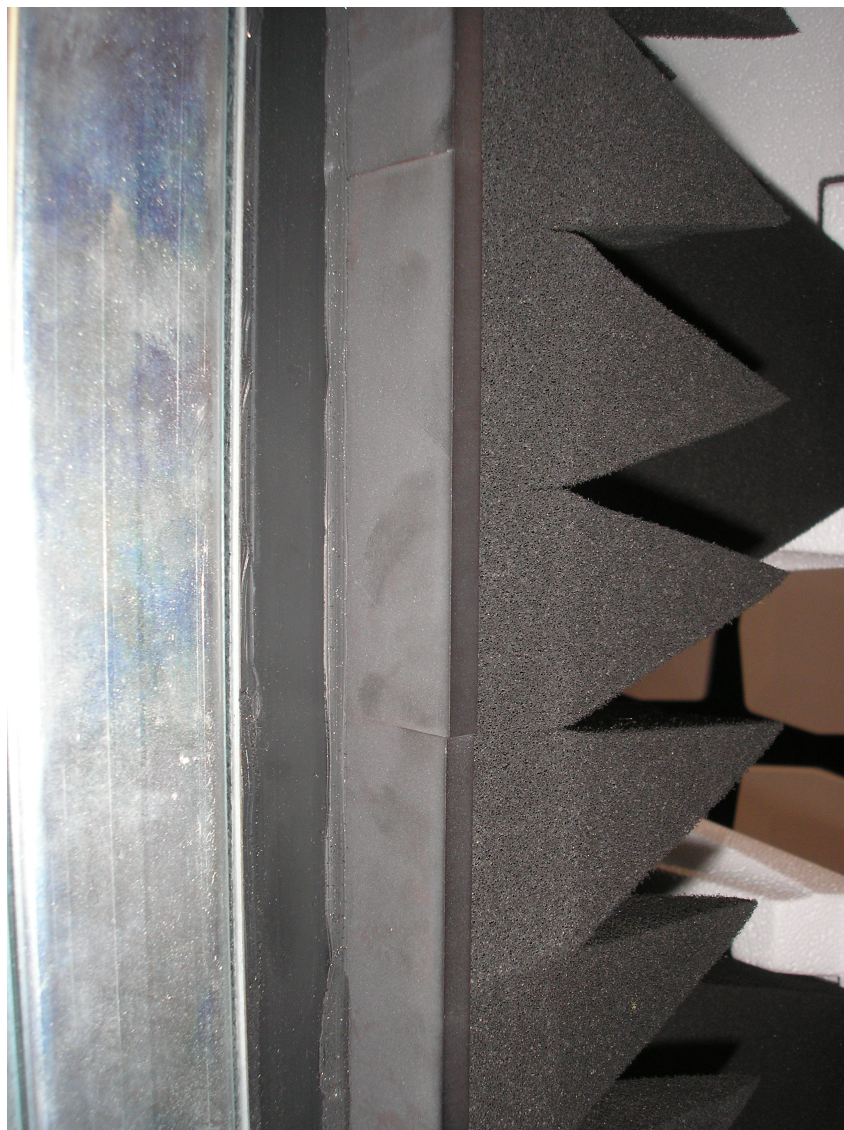
### A.1 Faradayova komora



Obr. A.1: Faradayova komora



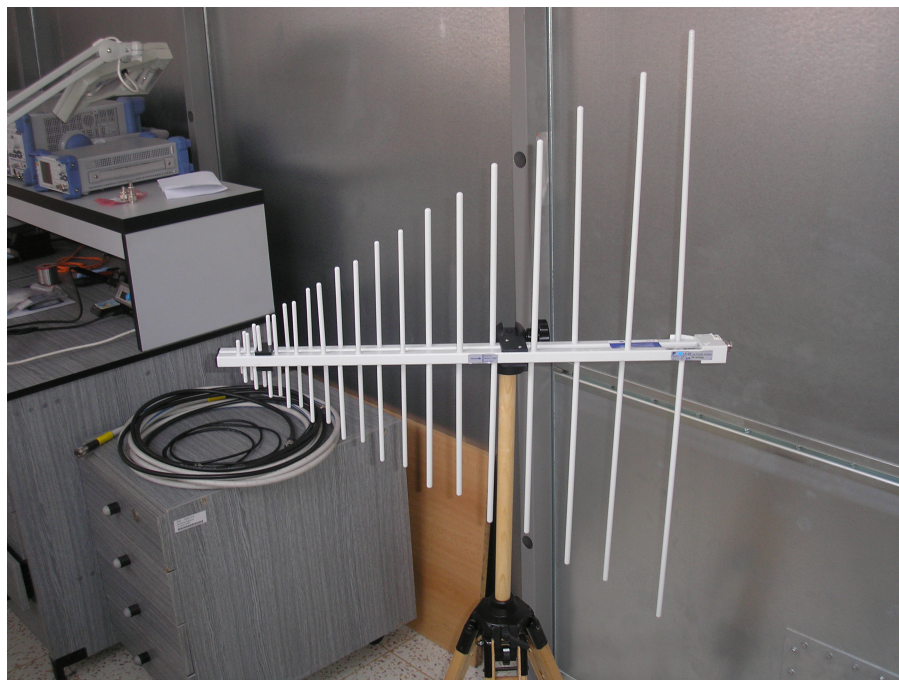
Obr. A.2: 360° otočný systém Faradayovy komory



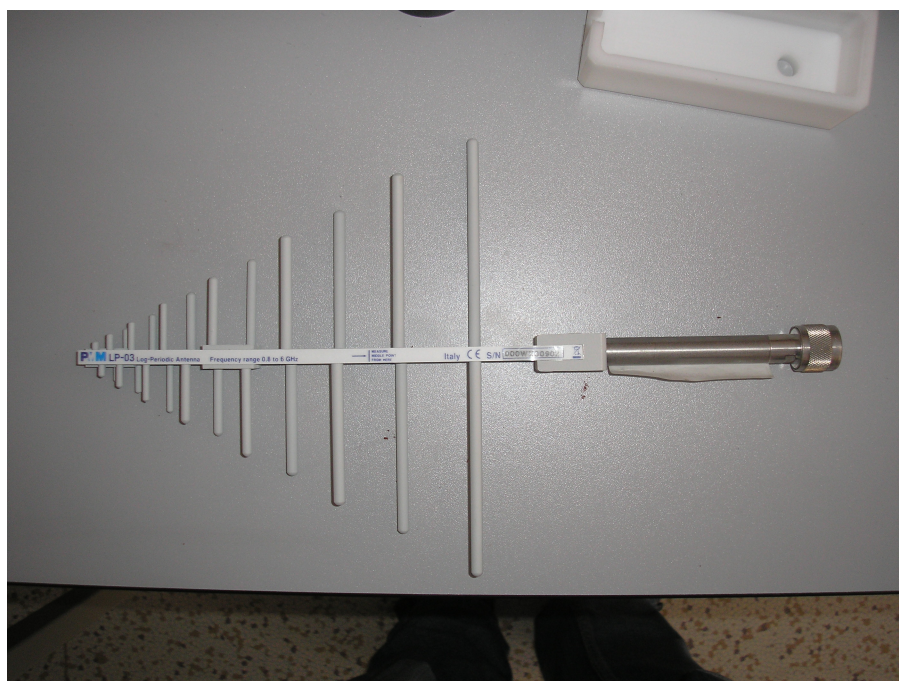
Obr. A.3: Feritové a jehlanovité absorbéry



## A.2 Antény



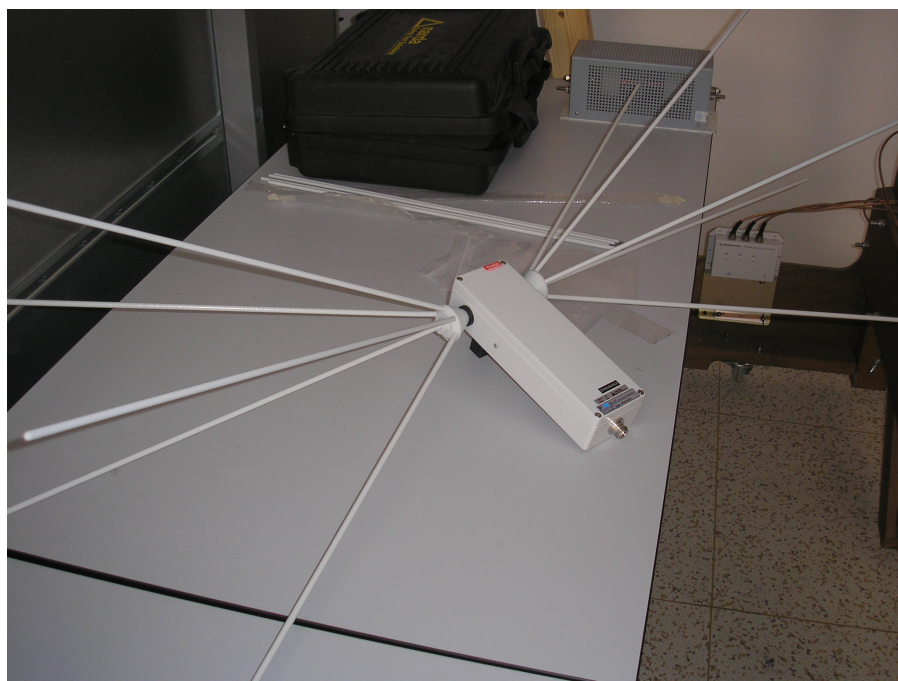
Obr. A.4: Logaritmo-periodická anténa PMM LP-02



Obr. A.5: Logaritmo-periodická anténa PMM LP-03



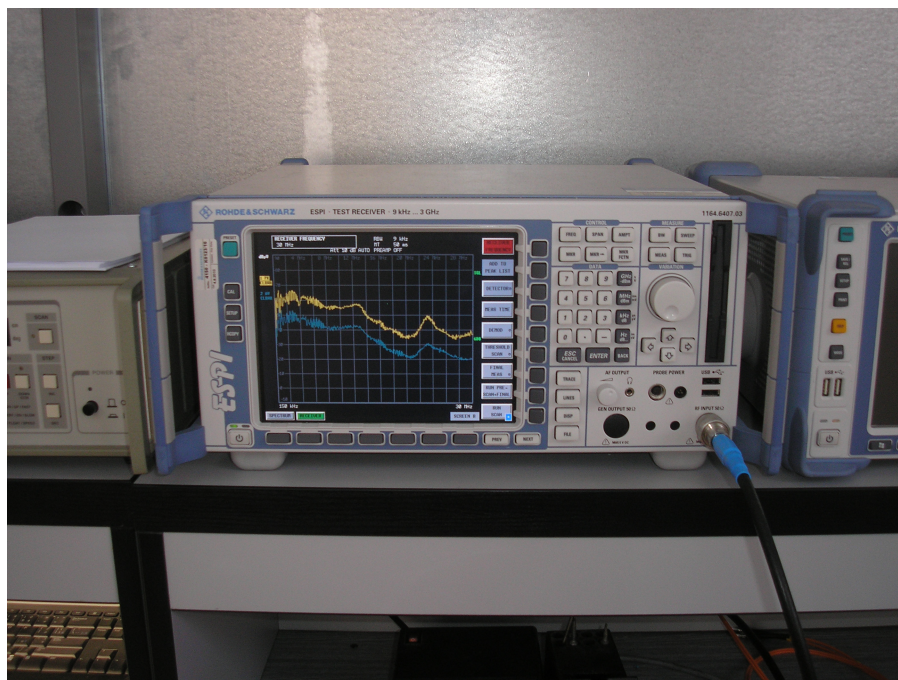
Obr. A.6: Prutová anténa PMM RA-01



Obr. A.7: Bikonická anténa PMM BC-01



### A.3 Přístrojové vybavení



Obr. A.8: Rohde & Schwarz ESPI test receiver



Obr. A.9: Rohde & Schwarz FSV signal analyzer

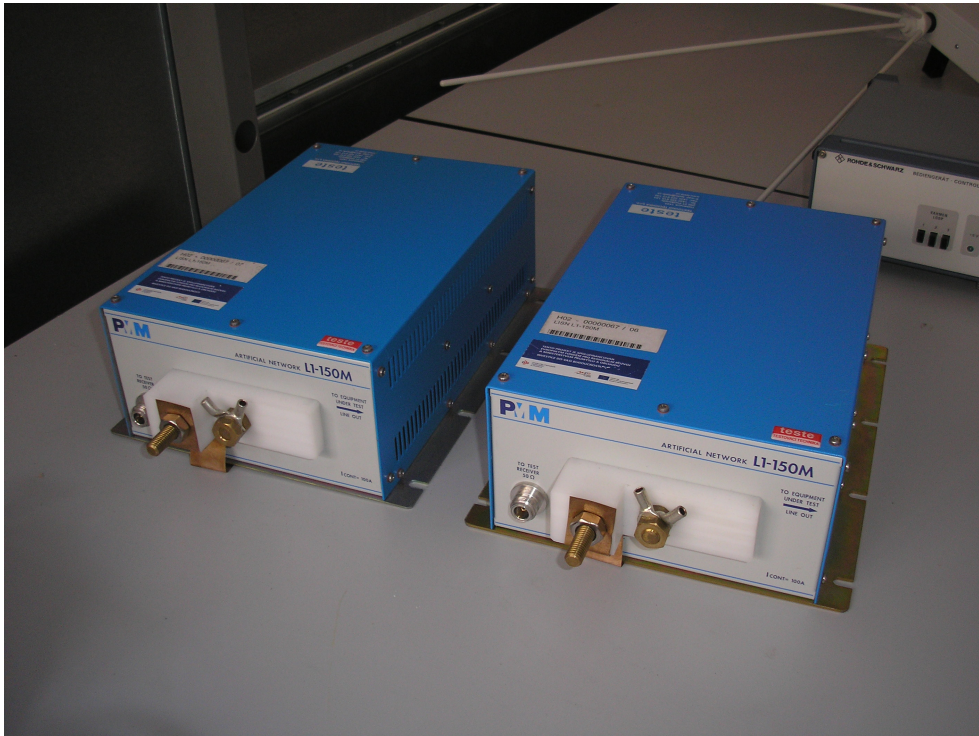


Obr. A.10: Rohde & Schwarz Signal generator SMC100A



Obr. A.11: PMM L2-16B





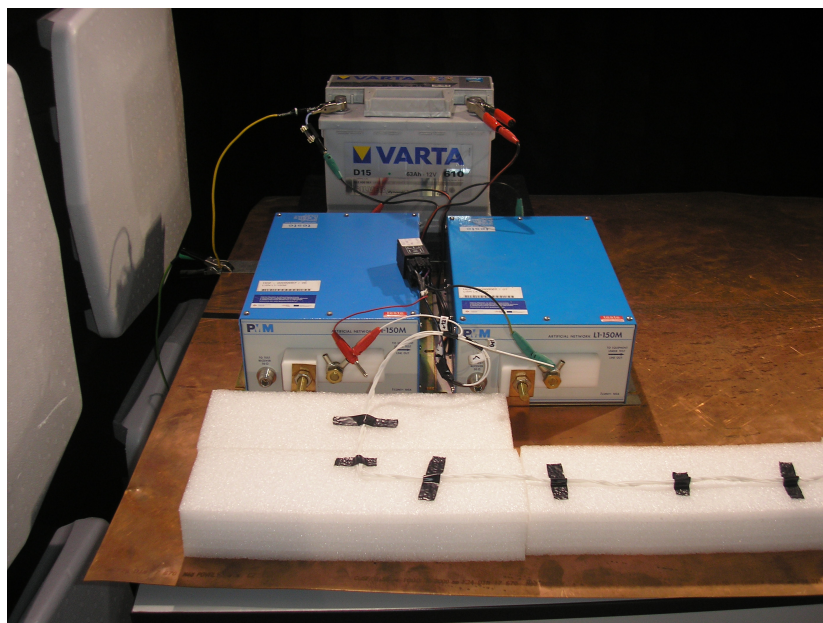
Obr. A.12: PMM L1-150M

## B MĚŘENÍ EMI V ABSORPČNÍ KOMOŘE

### B.1 Měření interference anténami



Obr. B.1: Kompletní zapojení měření modulu hodin



Obr. B.2: Zapojení do umělé sítě (LISN)





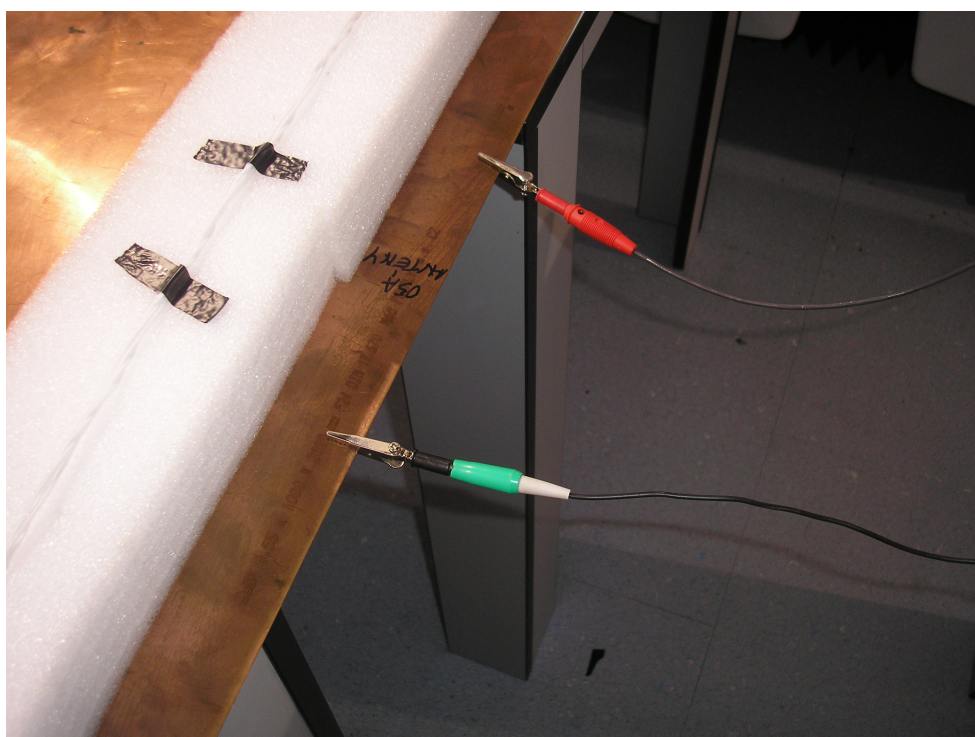
Obr. B.3: Modul hodin



Obr. B.4: Odstínění simulátoru řídicí jednotky

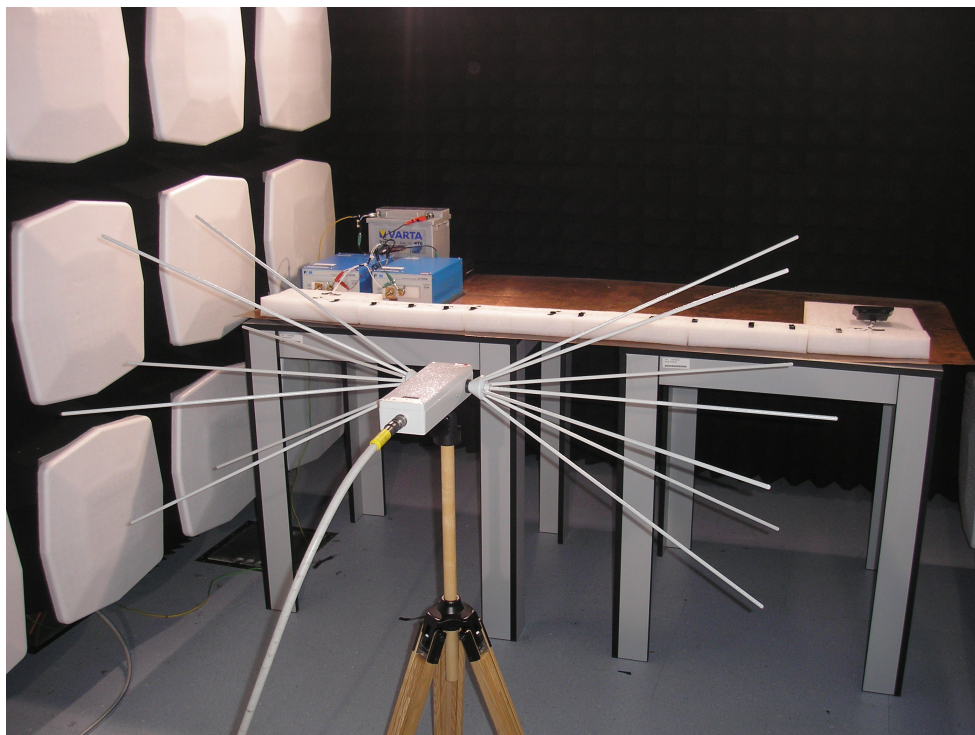


Obr. B.5: Měření vyzařování prutovou anténou

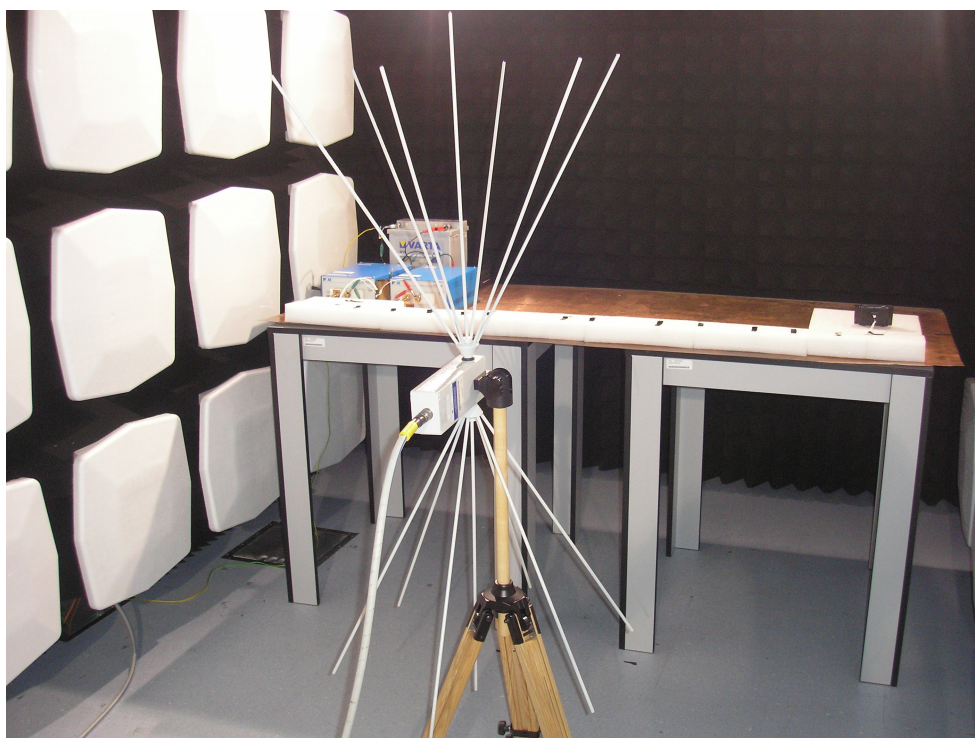


Obr. B.6: Uzemnění prutové antény k měděné zemnicí podložce



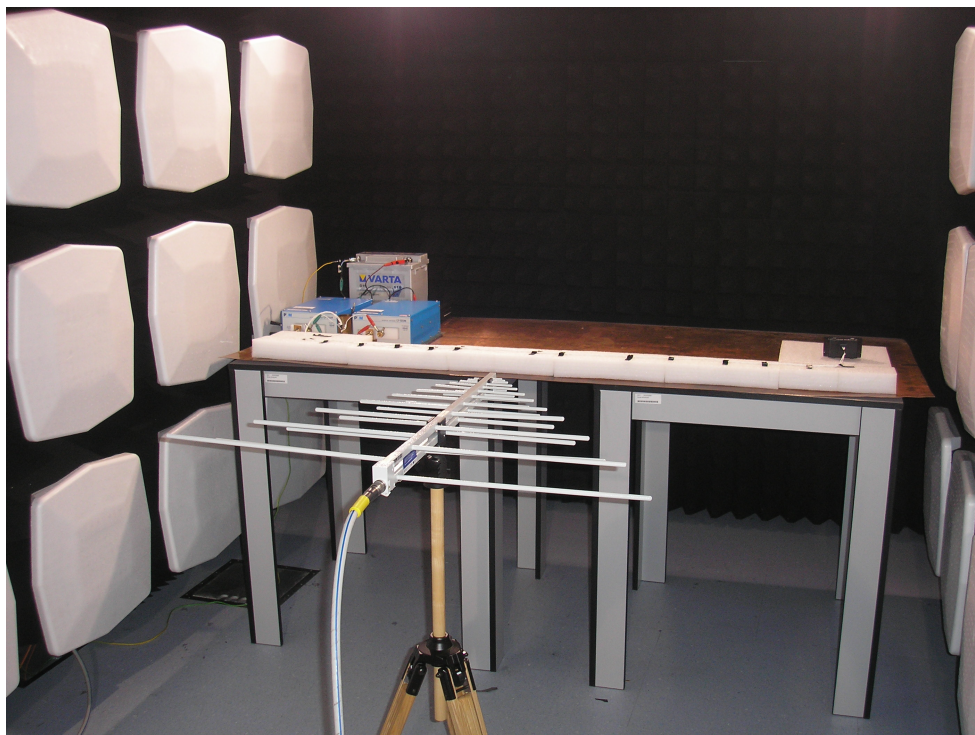


Obr. B.7: Měření bikonickou anténou (horizontální polarizace)

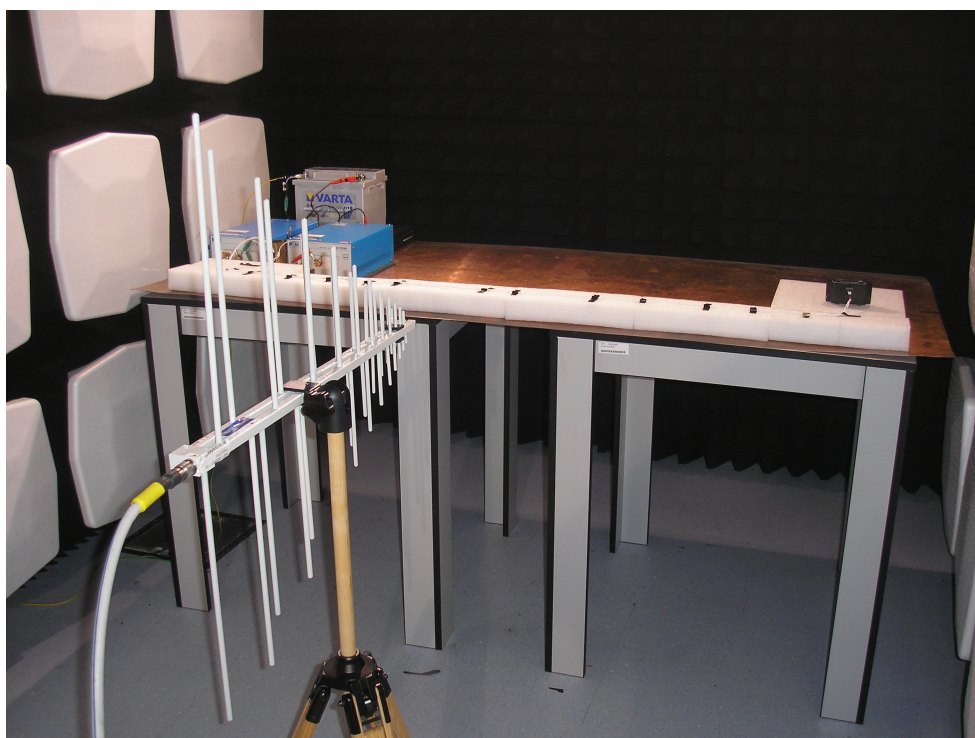


Obr. B.8: Měření bikonickou anténou (vertikální polarizace)



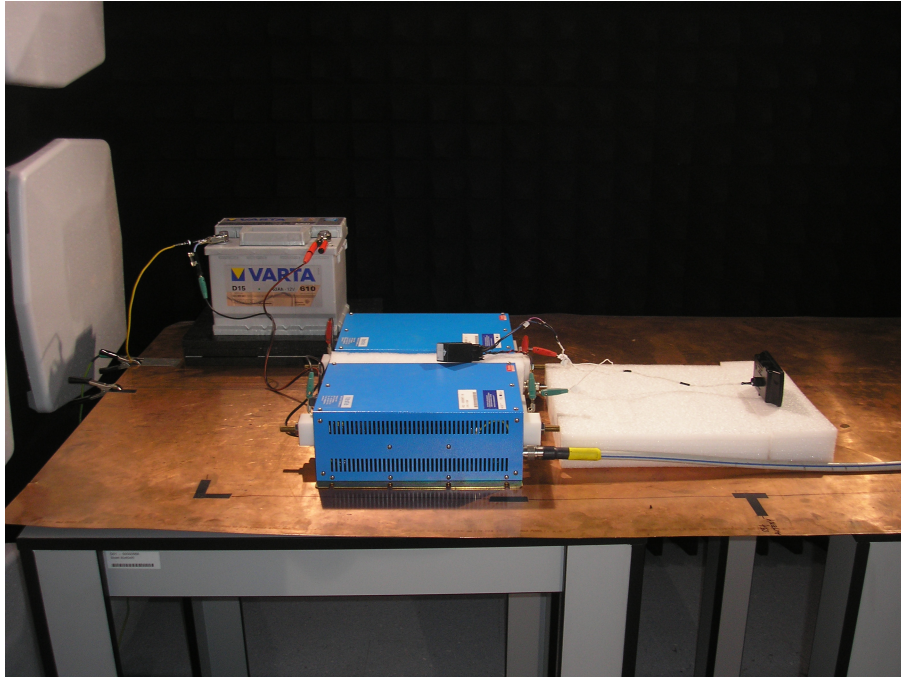


Obr. B.9: Měření logaritmicke-periodickou anténou (horizontální polarizace)

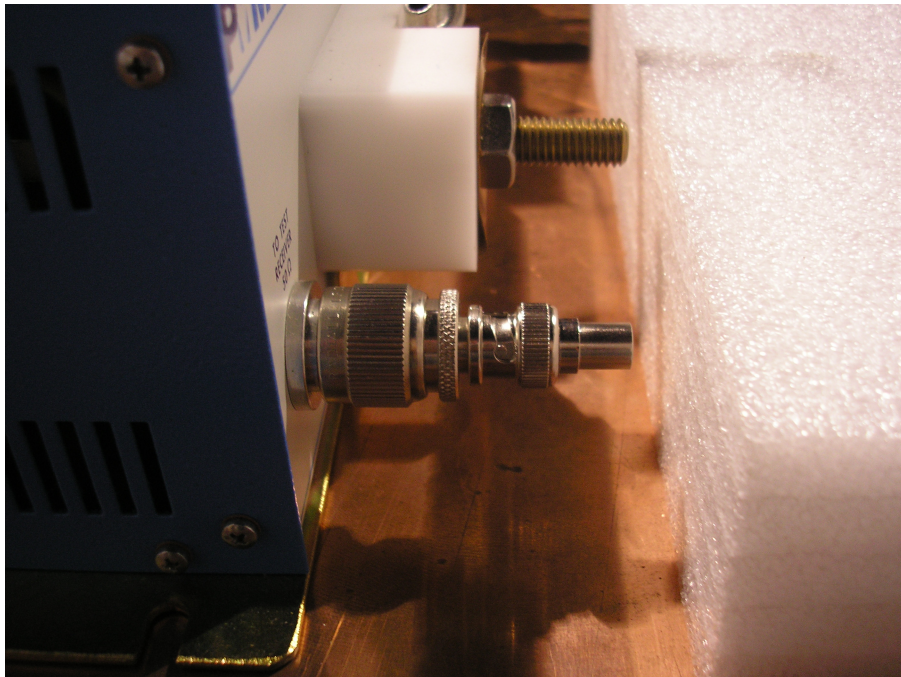


Obr. B.10: Měření logaritmicke-periodickou anténou (vertikální polarizace)

## B.2 Měření interference do vedení

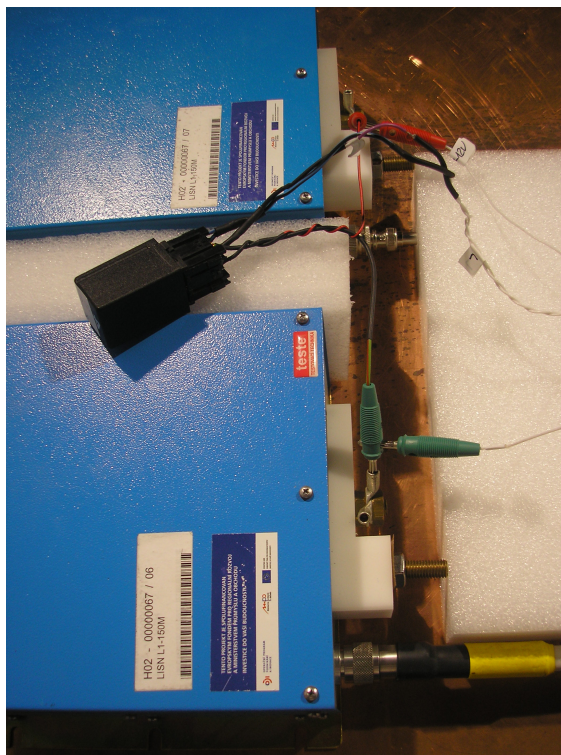


Obr. B.11: Měření interference do zemního kabelu

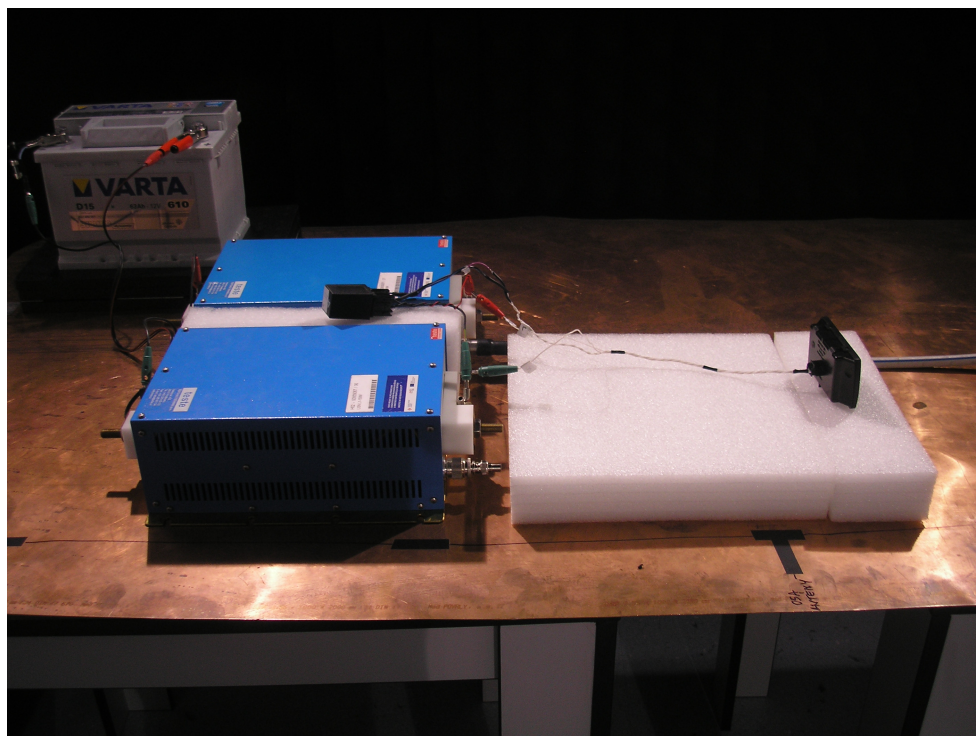


Obr. B.12: Měření interference do vedení -  $50\Omega$  stabilizační zátěž

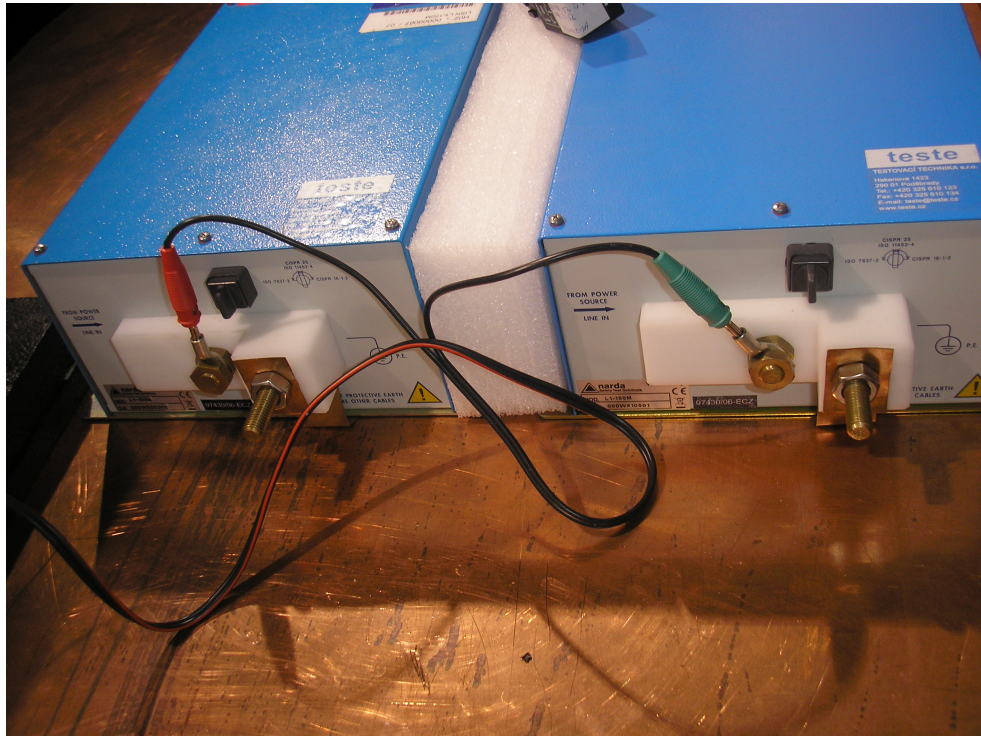




Obr. B.13: Měření interference do vedení - zapojení simulátoru



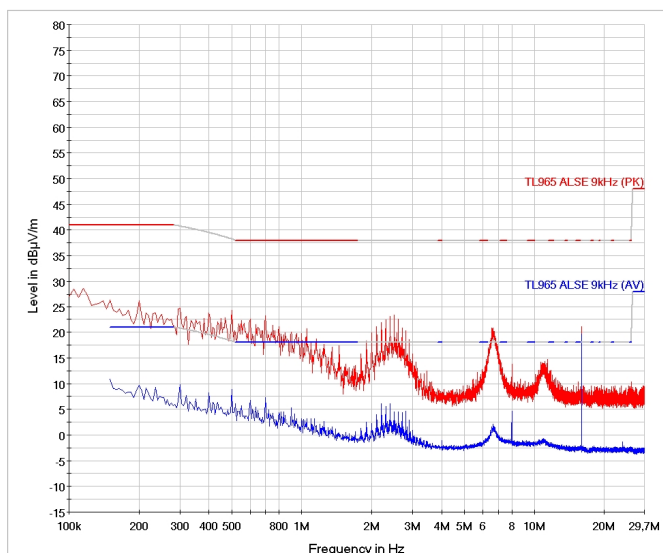
Obr. B.14: Měření interference do napájecího kabelu



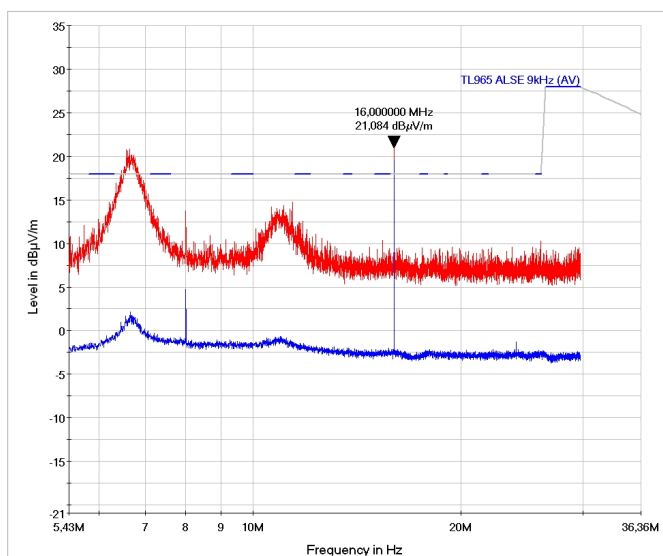
Obr. B.15: Měření interference do vedení - zapojení do LISN

## C MĚŘENÍ EMI ANTÉNAMI (VADNÝ KUS)

1. Měření prutovou anténou PMM RA-01 (9kHz - 30MHz) a R& S ESPI testovací soustavou.

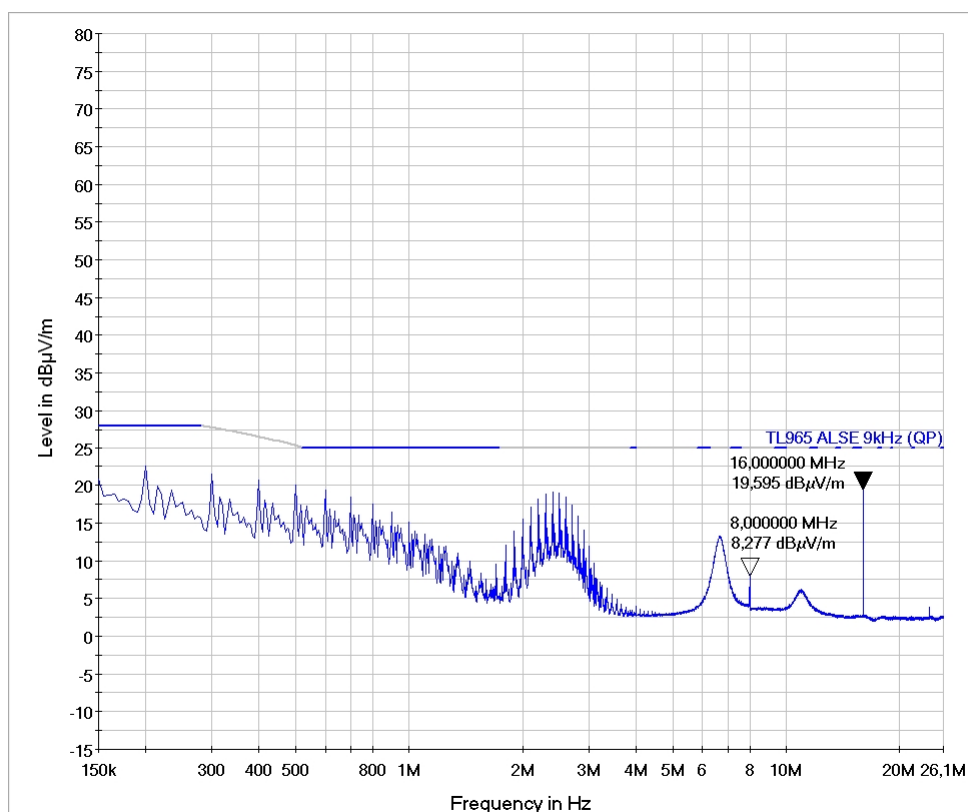


Obr. C.1: Měření EMI prutovou anténou (detektory PK+AV, šířka pásma 9kHz, krok 5kHz, čas měření úseku 50ms), EUT *Modul hodin* (vadný kus)



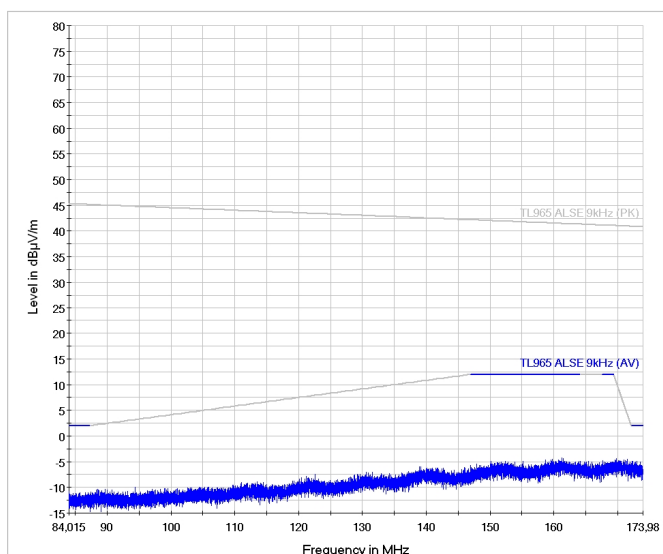
Obr. C.2: Měření EMI prutovou anténou (detektory PK+AV, šířka pásma 9kHz, krok 5kHz, čas měření úseku 50ms), EUT *Modul hodin* (vadný kus), zoom na 16MHz



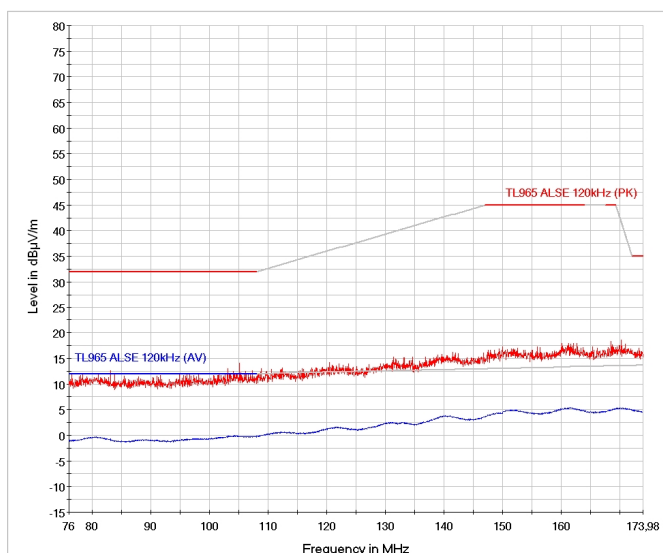


Obr. C.3: Měření EMI prutovou anténou (detektor QP, šířka pásma 9kHz, krok 5kHz, čas měření úseku 1s), EUT *Modul hodin* (vadný kus)

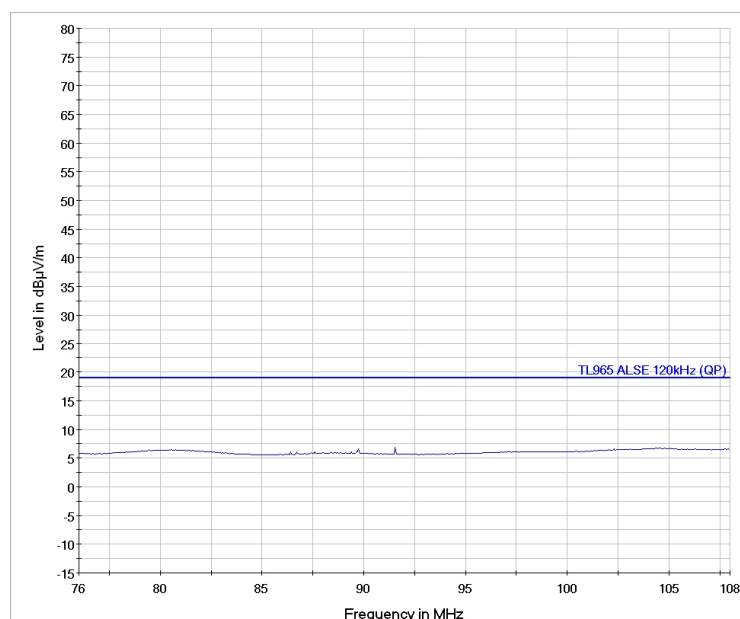
2. Měření bikonickou anténou PMM BC-01 (vertikální polarizace, 30MHz - 200MHz) a R& S ESPI testovací soustavou.



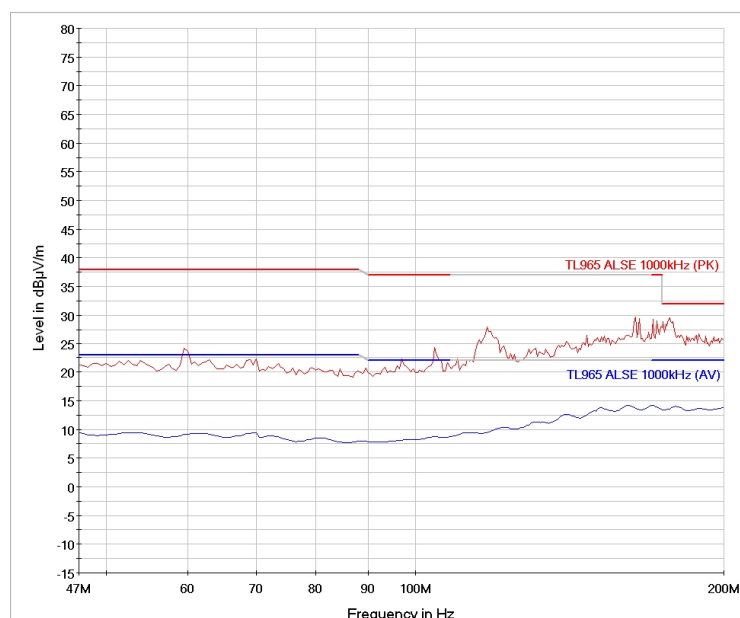
Obr. C.4: Měření EMI bikonickou anténou (detektory PK+AV, šířka pásma 9kHz, krok 5kHz, čas měření úseku 50ms, vertikální polarizace), EUT *Modul hodin* (vadný kus)



Obr. C.5: Měření EMI bikonickou anténou (detektory PK+AV, šířka pásma 120kHz, krok 50kHz, čas měření úseku 50ms, vertikální polarizace), EUT *Modul hodin* (vadný kus)

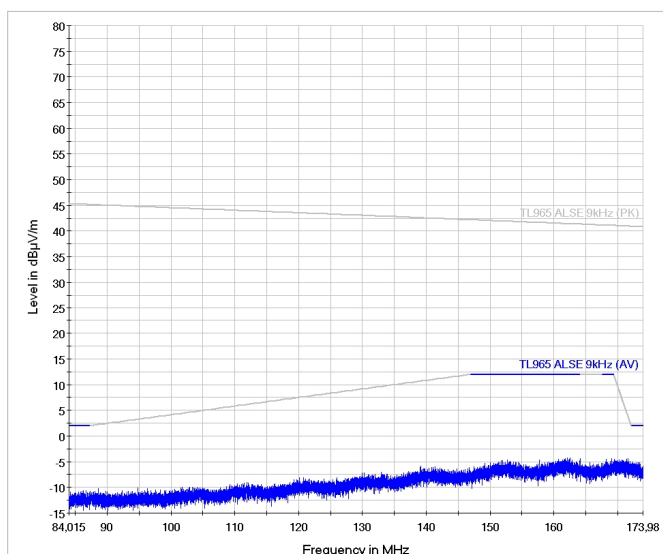


Obr. C.6: Měření EMI bikonickou anténou (detektor QP, šířka pásma 120kHz, krok 50kHz, čas měření úseku 1s, vertikální polarizace), EUT *Modul hodin* (vadný kus)

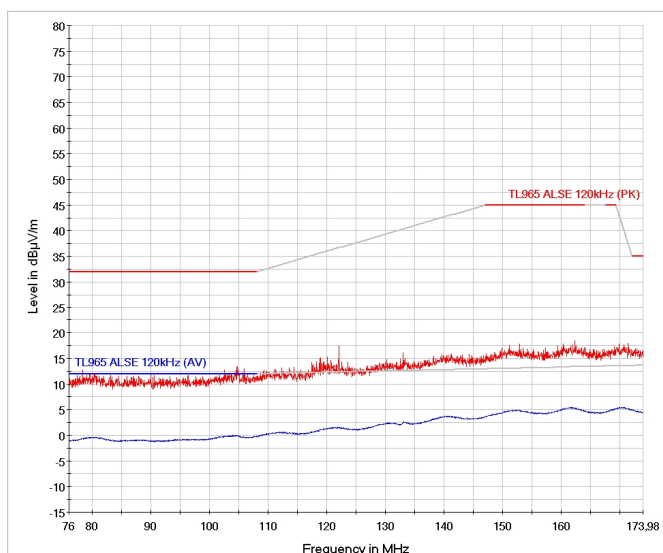


Obr. C.7: Měření EMI bikonickou anténou (detektory PK+AV, šířka pásma 1MHz, krok 500kHz, čas měření úseku 50ms, vertikální polarizace), EUT *Modul hodin* (vadný kus)

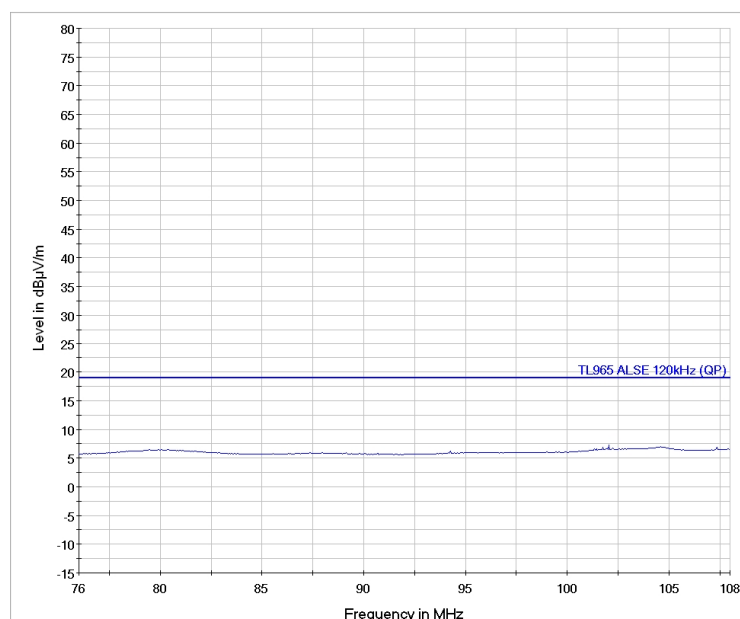
3. Měření bikonickou anténou PMM BC-01(horizontální polarizace, 30MHz - 200MHz) a R& S ESPI testovací soustavou.



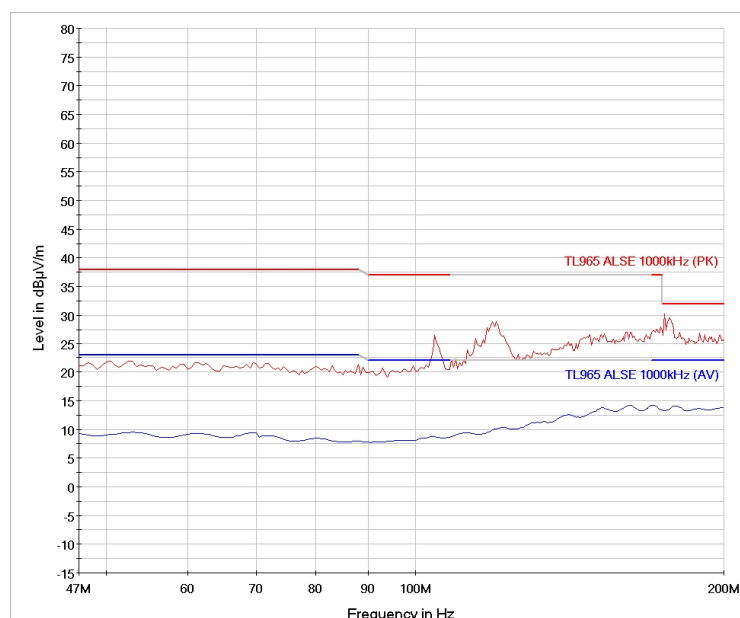
Obr. C.8: Měření EMI bikonickou anténou (detektory PK+AV, šířka pásma 9kHz, krok 5kHz, čas měření úseku 50ms, horizontální polarizace), EUT *Modul hodin* (vadný kus)



Obr. C.9: Měření EMI bikonickou anténou (detektory PK+AV, šířka pásma 120kHz, krok 50kHz, čas měření úseku 50ms, horizontální polarizace), EUT *Modul hodin* (vadný kus)

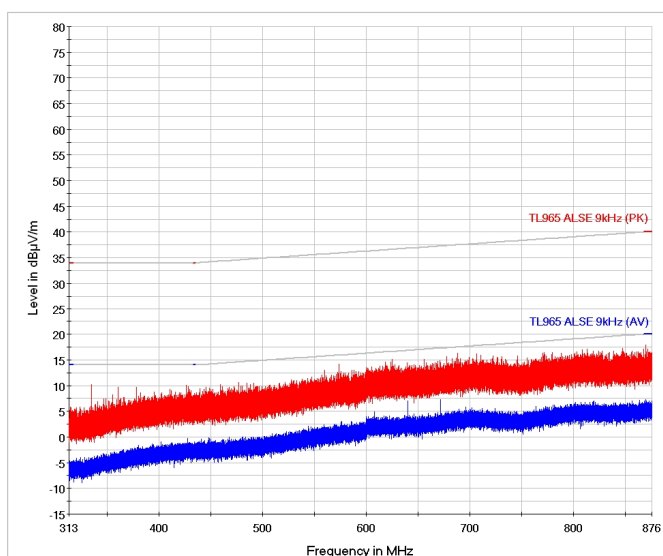


Obr. C.10: Měření EMI bikonickou anténou (detektor QP, šířka pásma 120kHz, krok 50kHz, čas měření úseku 1s, horizontální polarizace), EUT *Modul hodin* (vadný kus)

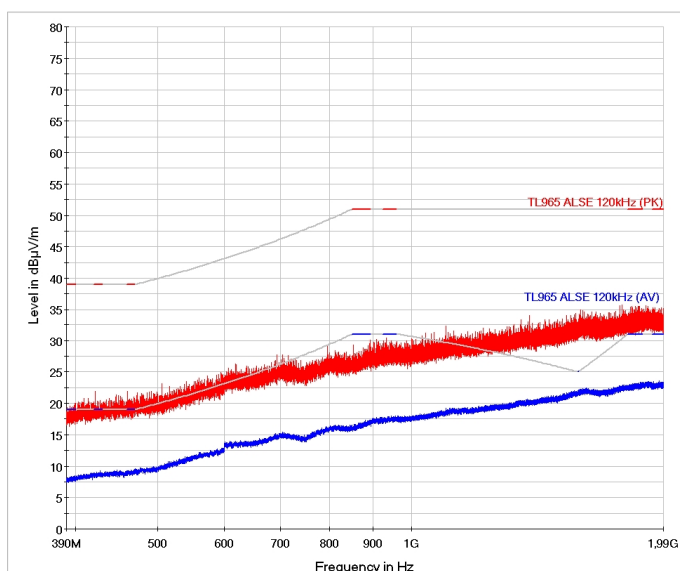


Obr. C.11: Měření EMI bikonickou anténou (detektory PK+AV, šířka pásma 1MHz, krok 500kHz, čas měření úseku 50ms, horizontální polarizace), EUT *Modul hodin* (vadný kus)

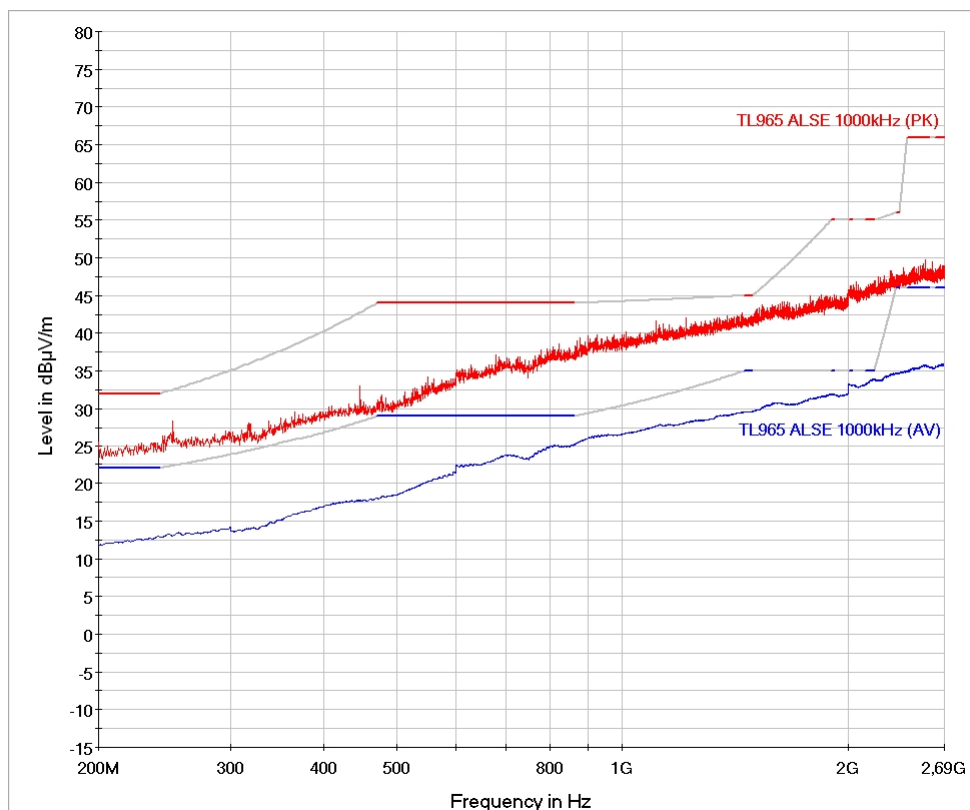
4. Měření logaritmo-periodickou anténou PMM LP-02 (vertikální polarizace, 0.2GHz - 3GHz) a R& S ESPI testovací soustavou.



Obr. C.12: Měření EMI logaritmo-periodickou anténou (detektory PK+AV, šířka pásma 9kHz, krok 5kHz, čas měření úseku 50ms, vertikální polarizace), EUT *Modul hodin* (vadný kus)

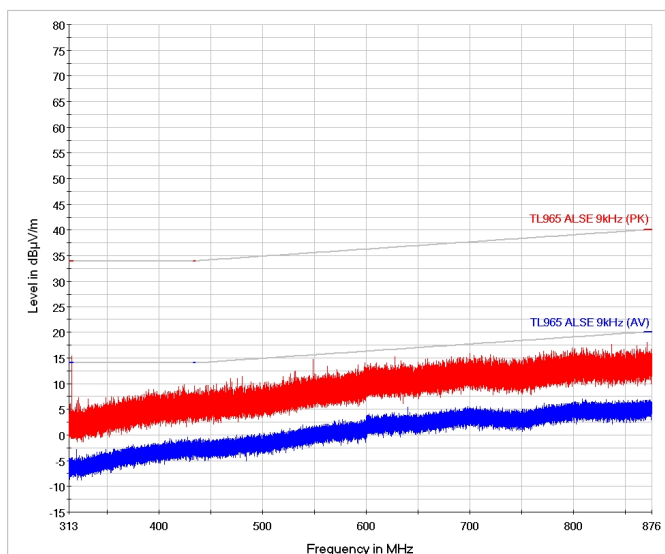


Obr. C.13: Měření EMI logaritmo-periodickou anténou (detektory PK+AV, šířka pásma 120kHz, krok 50kHz, čas měření úseku 50ms, vertikální polarizace), EUT *Modul hodin* (vadný kus)

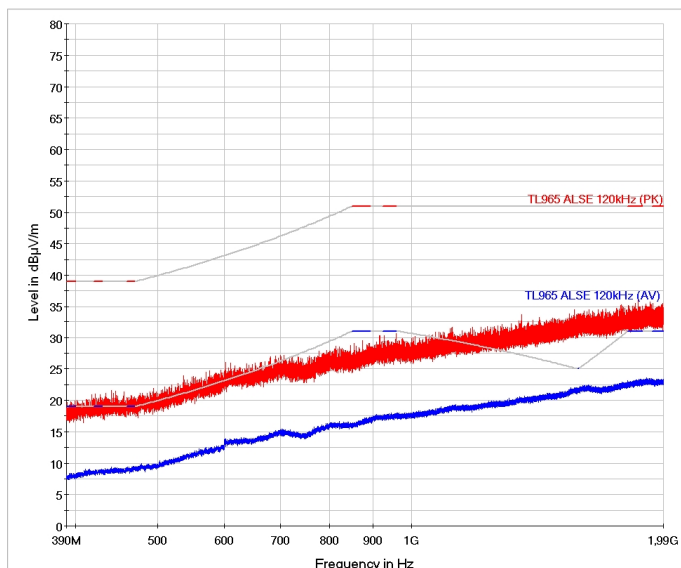


Obr. C.14: Měření EMI logaritmo-periodickou anténou (detektory PK+AV, šířka pásma 1MHz, krok 500kHz, čas měření úseku 50ms, vertikální polarizace), EUT *Modul hodin* (vadný kus)

5. Měření logaritmo-periodickou anténou PMM LP-02 (horizontální polarizace, 0.2GHz - 3GHz) a R& S ESPI testovací soustavou.

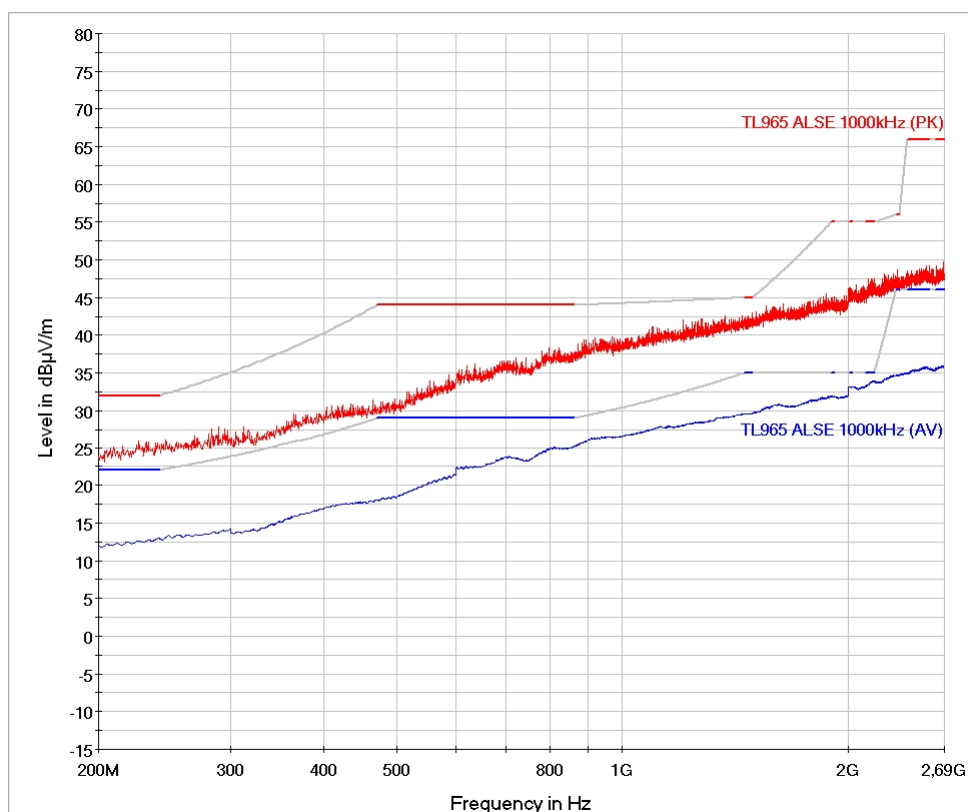


Obr. C.15: Měření EMI logaritmo-periodickou anténou (detektory PK+AV, šířka pásma 9kHz, krok 5kHz, čas měření úseku 50ms, horizontální polarizace), EUT *Modul hodin* (vadný kus)



Obr. C.16: Měření EMI logaritmo-periodickou anténou (detektory PK+AV, šířka pásma 120kHz, krok 50kHz, čas měření úseku 50ms, horizontální polarizace), EUT *Modul hodin* (vadný kus)

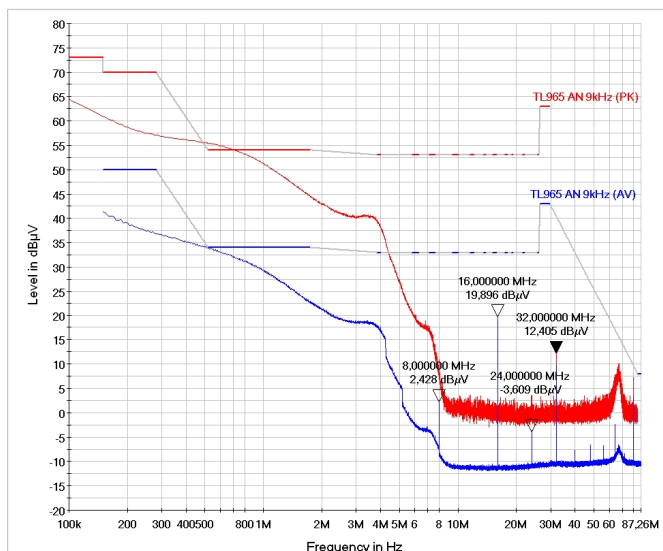




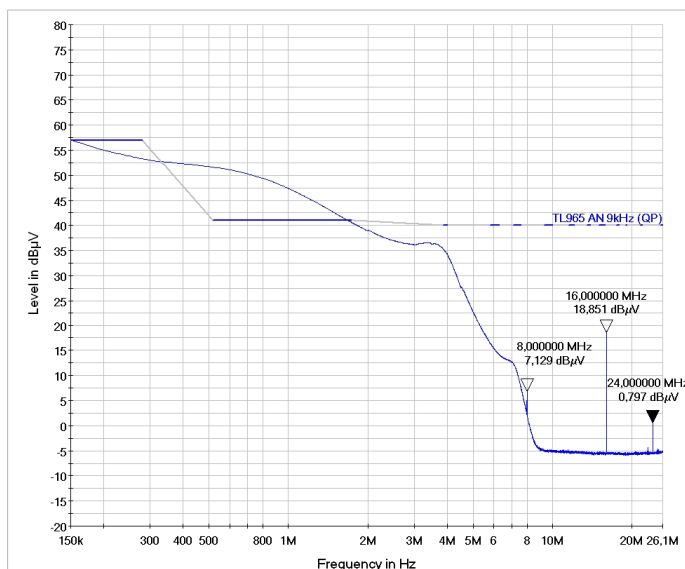
Obr. C.17: Měření EMI logaritmo-periodickou anténou (detektory PK+AV, šířka pásma 1MHz, krok 500kHz, čas měření úseku 50ms, horizontální polarizace), EUT *Modul hodin* (vadný kus)

## D MĚŘENÍ EMI DO VEDENÍ (VADNÝ KUS)

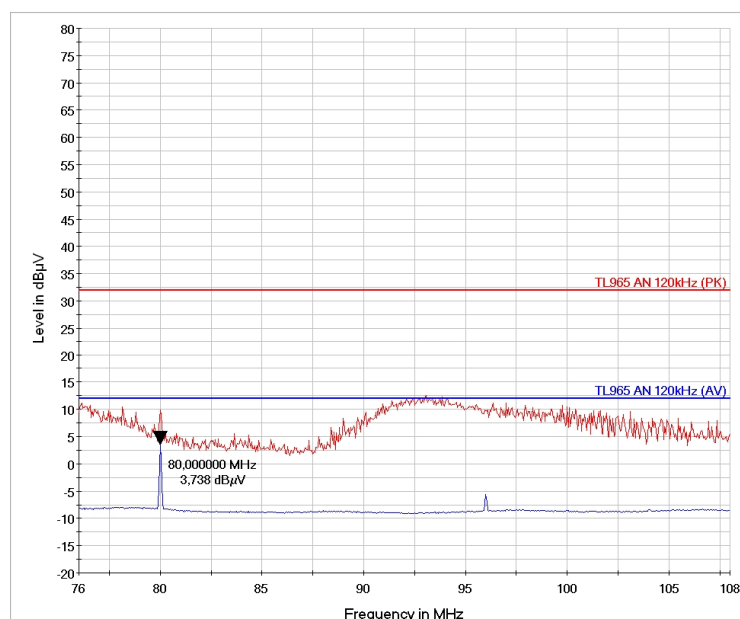
1. Do napájecího kabelu s přístrojem PMM L1-150 a R& S ESPI testovací soustavou.



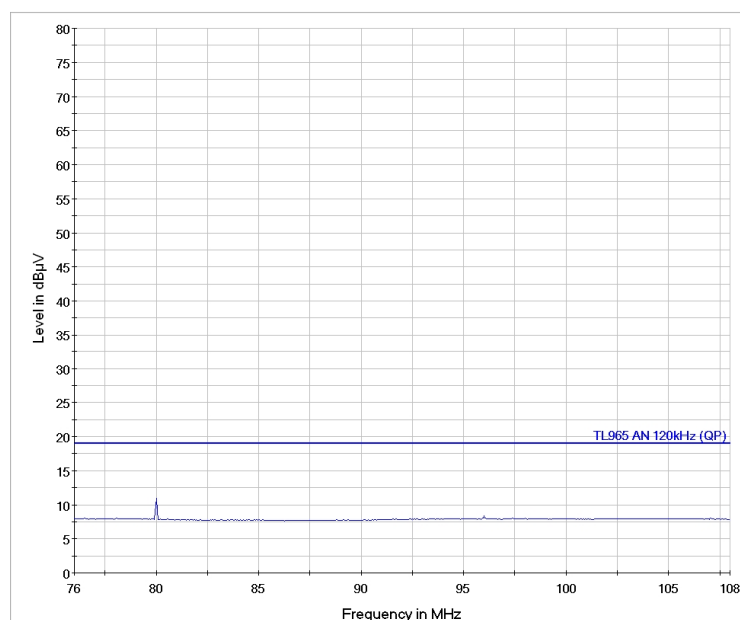
Obr. D.1: Měření EMI do napájecího kabelu (detektory PK+AV, šířka pásma 9kHz, krok 5kHz, čas měření úseku 50ms), EUT *Modul hodin* (vadný kus)



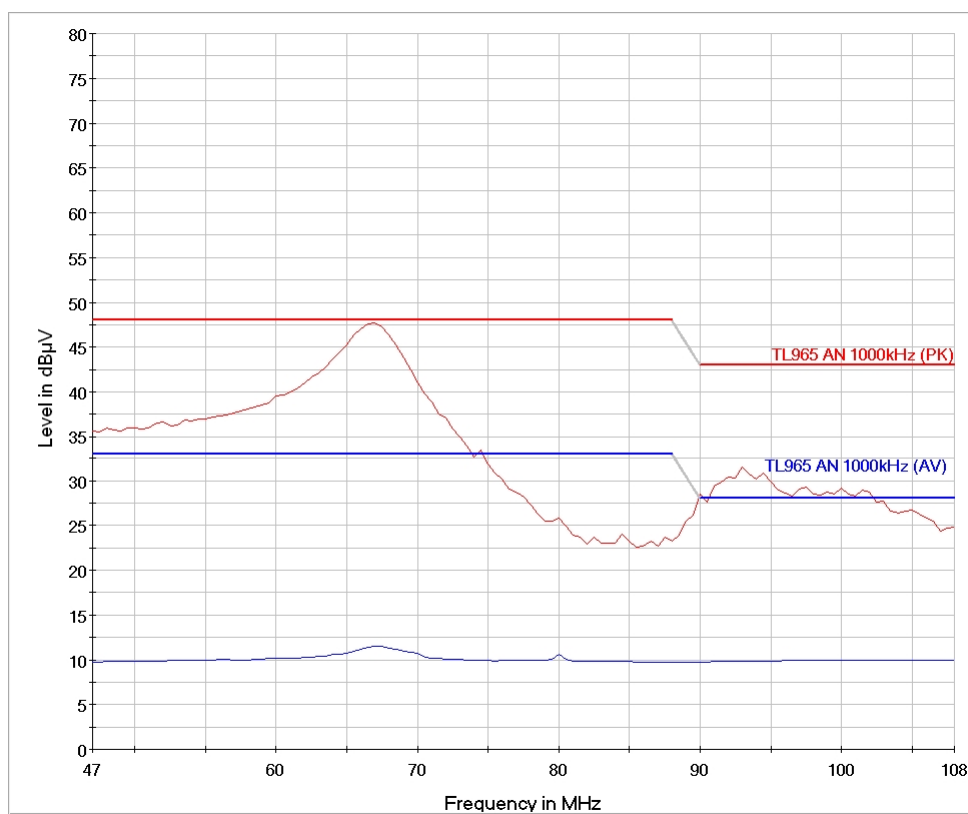
Obr. D.2: Měření EMI do napájecího kabelu (detektor QP, šířka pásma 9kHz, krok 5kHz, čas měření úseku 1s), EUT *Modul hodin* (vadný kus)



Obr. D.3: Měření EMI do napájecího kabelu (detektory PK+AV, šířka pásma 120kHz, krok 50kHz, čas měření úseku 50ms), EUT *Modul hodin* (vadný kus)

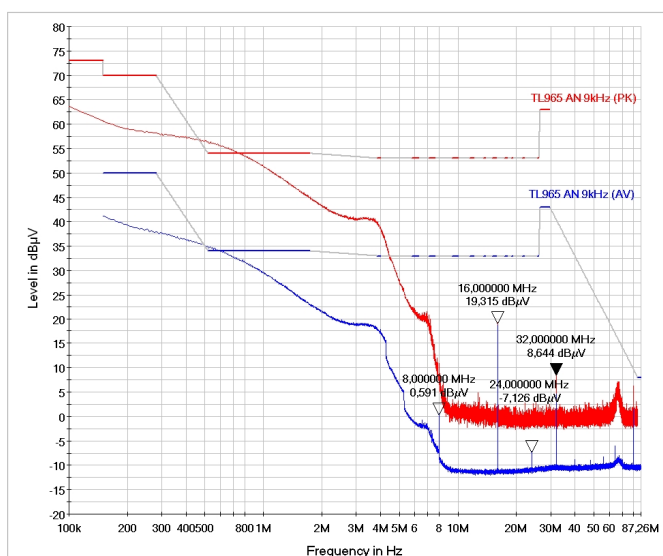


Obr. D.4: Měření EMI do napájecího kabelu (detektor QP, šířka pásma 120kHz, krok 50kHz, čas měření úseku 1s), EUT *Modul hodin* (vadný kus)

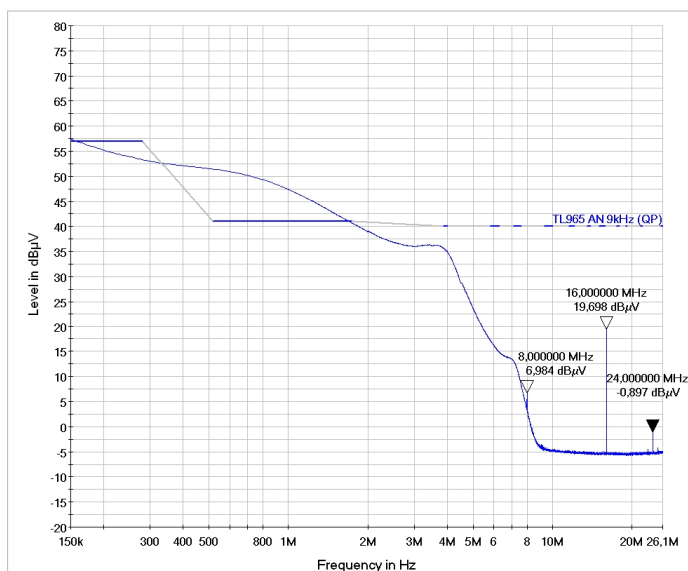


Obr. D.5: Měření EMI do napájecího kabelu (detektory PK+AV, šířka pásma 1MHz, krok 500kHz, čas měření úseku 500ms), EUT *Modul hodin* (vadný kus)

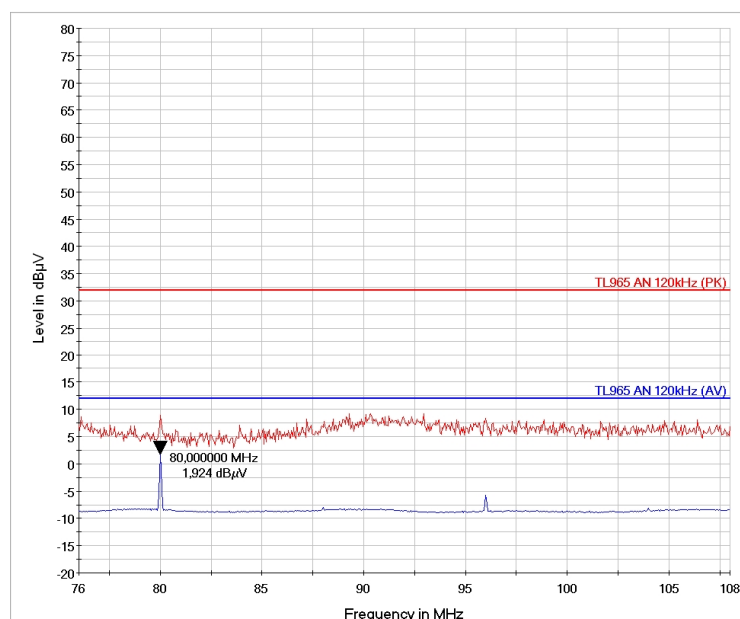
- Do napájecího kabelu s přístrojem PMM L1-150 a R& S ESPI testovací soustavou.



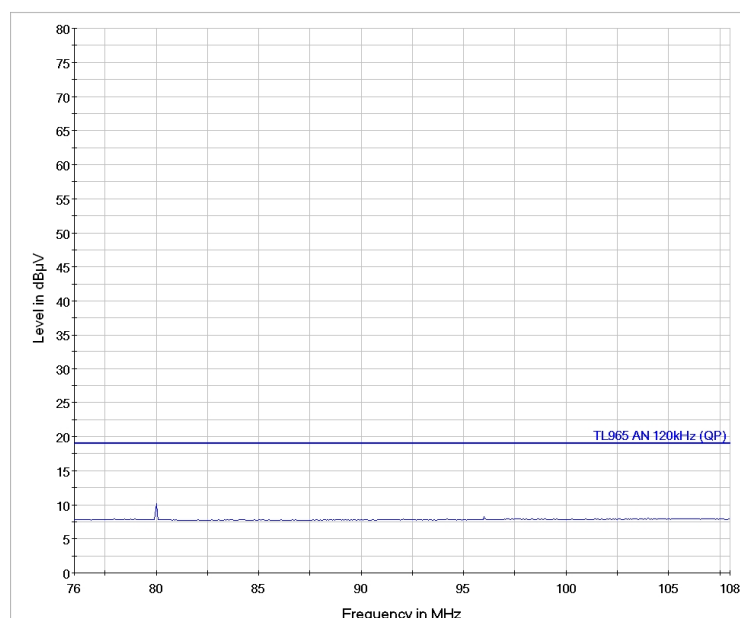
Obr. D.6: Měření EMI do zemnicího kabelu (detektory PK+AV, šířka pásma 9kHz, krok 5kHz, čas měření úseku 50ms), EUT *Modul hodin* (vadný kus)



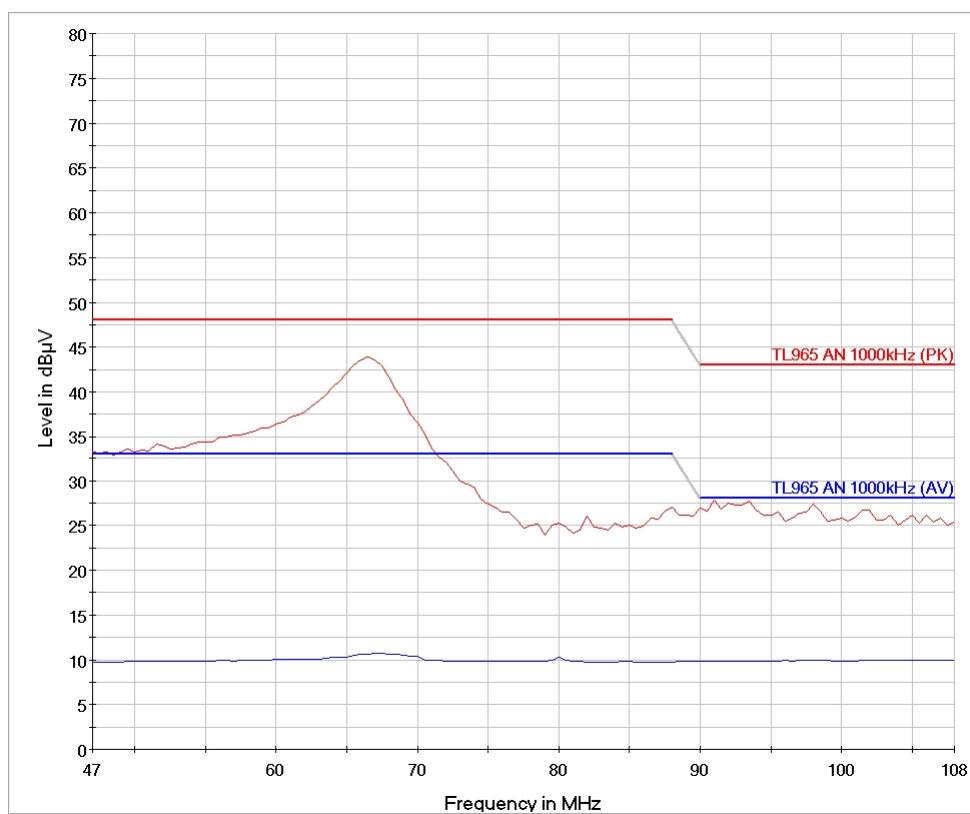
Obr. D.7: Měření EMI do zemnicího kabelu (detektor QP, šířka pásma 9kHz, krok 5kHz, čas měření úseku 1s), EUT *Modul hodin* (vadný kus)



Obr. D.8: Měření EMI do zemního kabelu (detektory PK+AV, šířka pásma 120kHz, krok 50kHz, čas měření úseku 50ms), EUT *Modul hodin* (vadný kus)



Obr. D.9: Měření EMI do zemního kabelu (detektor QP, šířka pásma 120kHz, krok 50kHz, čas měření úseku 1s), EUT *Modul hodin* (vadný kus)



Obr. D.10: Měření EMI do zemnicího kabelu (detektory PK+AV, šířka pásma 1MHz, krok 500kHz, čas měření úseku 500ms), EUT *Modul hodin* (vadný kus)