

# **Elektromagnetická interference a její vyhodnocování**

Electromagnetic interference and its evaluation

Bc. Jaroslava Kazderová

---

Diplomová práce  
2010



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta aplikované informatiky

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta aplikované informatiky  
akademický rok: 2009/2010

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Jaroslava KAZDEROVÁ**  
Studijní program: **N 3902 Inženýrská informatika**  
Studijní obor: **Bezpečnostní technologie, systémy a management**  
Téma práce: **Elektromagnetická interference a její vyhodnocování**

Zásady pro vypracování:

1. Rozpracujte problematiku elektromagnetické kompatibility obecně a teoreticky.
2. Popište podrobně metody měření a vyhodnocování elektromagnetické interference a elektromagnetické susceptibility.
3. Proveďte základní členění oboru EMC.
4. Popište zdroje rušivých signálů a jejich vazební mechanismy při přenosu a způsoby a prostředky k omezení uvedeného rušení.
5. Uveďte problematiku normalizace v oblasti EMC.
6. Proveďte měření magnetické interference některých reálných přístrojů jako zdrojů rušení, asynchronní motor, frekvenční měnič, elektrodynamický reproduktor ap.
7. Vyhodnoťte výsledky měření.

Rozsah práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

1. CHUDÝ, V. a kol. Meranie technických veličin. Bratislava: STU, 1999. ISBN 80-227-1275-2
2. DYER, S., A. Survey of instrumentation and measurement. John Wiley and Sons, 2001, s. 1096. ISBN 0-471-39484-X.
3. Tumanski, S. Principles of electrical measurement. Taylor & Francis, Boca Raton, s. 472, ISBN 0-7503-1038-3
4. Svačina, J. Elektromagnetická kompatibilita -- Principy a poznámky, Blansko-Reprocentrum, 2001, ISBN 80-214-1873-7
5. Mezinárodní, evropské a české normy EMC - normy IEC, CISPR, EN, ETS, PENV, ČSN
6. Svačina, J. Základy elektromagnetické kompatibility, Brno- MJ servis, 2001, ISBN 80-214-1573-8

Vedoucí diplomové práce:

**doc. Ing. František Hruška, Ph.D.**

Ústav elektroniky a měření

Datum zadání diplomové práce:

**19. února 2010**

Termín odevzdání diplomové práce:

**7. června 2010**

Ve Zlíně dne 19. února 2010

  
prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.  
*děkan*



  
doc. RNDr. Vojtěch Křesálek, CSc.  
*ředitel ústavu*

## **ABSTRAKT**

Prudký rozvoj elektroniky, zejména v oblasti mikroprocesorové a komunikační techniky v posledních desetiletích je pro lidskou populaci nejen přínosem, ale i velkým nebezpečím, a to v podobě vzrůstajícího zatížení životního prostředí a kumulací různorodých škodlivých vlivů na lidský organismus. Není v zájmu lidské populace tyto skutečnosti ignorovat, ale naopak uvědomit si možné budoucí důsledky dnešního nezájmu na řešení dané problematiky.

Diplomová práce poskytuje základní přehled problematiky EMC. Její praktická část se věnuje oblasti elektromagnetické interference – měření hodnot elektromagnetického vyzařování reálného zařízení a jejich vyhodnocování. Samotný závěr práce poskytuje shrnutí obsahové náplně hlavních částí diplomové práce a návrh možného využití získaných poznatků.

**Klíčová slova:** elektromagnetická kompatibilita, rušivé signály, měření elektromagnetické susceptibility, měření elektromagnetické interference

## **ABSTRACT**

The rapid development of electronics, especially in the field of microprocessor and communication technology in recent decades is for human population not only beneficial, but also great danger and specialy in the form of growing environmental burden and also in the accumulation of diverse harmful effects on the human body. It is not in the interest of the human population to ignore these facts, on the contrary they need to recognize the possible future consequences of today's lack of interest in solving this issue.

Diploma thesis provides a basic overview of EMC problems. Its practical part deals with the electromagnetic interference - electromagnetic radiation measurements of real devices and their evaluation. The conclusion of this paper provides a summary of the content of the main parts of the thesis proposal and a proposition for the use of the gained knowledge.

**Keywords:** electromagnetic compatibility, interference signals, measurements of electromagnetic susceptibility, measurements of electromagnetic interference

V úvodu diplomové práce bych chtěla poděkovat doc. Ing. Františku Hruškovi, Ph.D. za odborné znalosti, vědomosti a rady poskytnuté v rámci odborných konzultací, za připomínky, poskytnuté materiály a návrhy k úpravě a formě zpracování diplomové práce.

Dále bych ráda poděkovala své rodině za podporu, kterou mi věnovali během mého studia.

**Prohlašuji, že**

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k prezenčnímu nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen v příruční knihovně Fakulty aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

**Prohlašuji,**

- že jsem na diplomové práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Ve Zlíně

.....  
podpis diplomanta

**OBSAH**

<b>OBSAH .....</b>	<b>7</b>
<b>ÚVOD .....</b>	<b>9</b>
<b>I. TEORETICKÁ ČÁST .....</b>	<b>10</b>
<b>1 ELEKTROMAGNETICKÁ KOMPATIBILITA.....</b>	<b>11</b>
1.1 ZÁKLADNÍ POJMY EMC .....	12
1.2 RUŠIVÉ SIGNÁLY A JEJICH ZDROJE.....	14
1.3 VAZEBNÍ MECHANISMY PŘENOSU RUŠIVÝCH SIGNÁLŮ.....	17
1.3.1 Galvanická vazba.....	18
1.3.2 Kapacitní vazba .....	19
1.3.3 Induktivní vazba.....	21
1.3.4 Vazba vyzařováním.....	22
1.4 METODY OMEZOVÁNÍ RUŠENÍ.....	22
1.5 ELEKTROMAGNETICKÉ STÍNĚNÍ.....	23
1.6 MĚŘENÍ RUŠIVÝCH SIGNÁLŮ.....	25
1.6.1 Měření s umělou sítí.....	26
1.6.2 Měření s vysokoimpedanční a kapacitní napěťovou sondou a proudovou sondou.....	27
1.6.3 Měření s absorpčními kleštěmi.....	28
1.6.4 Měření pomocí antén .....	29
1.7 ELEKTROMAGNETICKÁ SUSCEPTIBILITA A METODY TESTOVÁNÍ.....	32
1.7.1 Kritéria elektromagnetické susceptibility.....	32
<b>2 NORMALIZACE V OBLASTI EMC .....</b>	<b>35</b>
2.1 NORMALIZAČNÍ GRÉMIA A ORGANIZACE .....	36
2.2 CIVILNÍ NORMY EMC .....	38
2.3 VOJENSKÉ NORMY EMC .....	39
<b>3 POLE ELEKTRICKÉ A MAGNETICKÉ.....</b>	<b>40</b>
3.1 ELEKTRICKÉ POLE.....	40
3.2 MAGNETICKÉ POLE .....	41
3.3 MAGNETICKÁ INDUKCE .....	43
<b>II. PRAKTICKÁ ČÁST .....</b>	<b>46</b>
<b>4 POPIS PRACOVÍŠTĚ A MĚŘICÍHO ZARÍZENÍ.....</b>	<b>47</b>
<b>5 POSTUP MĚŘENÍ.....</b>	<b>52</b>
5.1 MĚŘENÍ CHARAKTERISTIKY SOND.....	52

---

5.2	PRVNÍ SADA MĚŘENÍ.....	59
5.2.1	<i>Vyhodnocení první sady měření.....</i>	<i>64</i>
5.3	DRUHÁ SADA MĚŘENÍ.....	75
5.3.1	<i>Vyhodnocení druhé sady měření.....</i>	<i>82</i>
<b>6</b>	<b>VÝSLEDKY MĚŘENÍ .....</b>	<b>89</b>
<b>7</b>	<b>ELEKTROMAGNETICKÉ POLE A SPOLEČNOST 21. STOLETÍ.....</b>	<b>91</b>
<b>8</b>	<b>ZÁVĚR.....</b>	<b>92</b>
	<b>CONCLUSION .....</b>	<b>93</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....</b>	<b>94</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....</b>	<b>96</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>97</b>
	<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>99</b>
	<b>SEZNAM GRAFŮ .....</b>	<b>101</b>



## ÚVOD

Pojem „Elektromagnetická kompatibilita“ a jím označovaná nová vědecko-technická disciplína se rozvíjela současně s vývojem v oblasti elektronických a elektrotechnických systémů, v oblasti telekomunikačních a radiokomunikačních služeb. Jedná se o systémovou a integrující disciplínu, která v sobě zahrnuje mnohé vědecké, technické a aplikační poznatky z řady jiných oborů. Základním předpokladem úspěchu tohoto oboru je funkční koexistence veškerých elektronických zařízení nejrůznějšího druhu. Realizace tohoto předpokladu je podmíněna respektováním elektromagnetické kompatibility již na samotném počátku – tedy při vývoji, konstrukci a výrobě všech elektronických a elektrotechnických zařízení. Následně pak je rovněž nutné zabývat se řešením vzniklým nežádoucím působením různých druhů rušivých elektromagnetických signálů přímo v praxi. Tyto signály mohou mít nepříznivý vliv na životní prostředí, na člověka, ztěžují popřípadě zcela znemožňují funkci okolních zařízení.

Pevným pilířem, který pomáhá zdolat tato úskalí je oblast normalizace pro obor elektromagnetické kompatibility. Respektování a dodržování ať již evropských či mezinárodních norem jednotlivých stupňů, které postupně zahrnují stále širší oblast technologií, zajišťuje nezbytnou podmínku pro jejich prodejnost na domácích i světových trzích, jejich funkčnost a spolehlivost v dané oblasti.

Diplomová práce je rozdělena na část teoretickou a část praktickou. Teoretická část seznamuje s problematikou vědecko-technického systémového oboru elektromagnetické kompatibility, jemuž je v současné době věnována stále rostoucí pozornost jak laické, tak především odborné veřejnosti. Je v ní uvedeno základní členění oboru EMC, zdroje rušivých signálů a jejich vazební mechanismy při přenosu a způsoby a prostředky k omezování uvedeného rušení. Nedílnou součástí teoretické části je seznámení s problematikou normalizace v oblasti EMC. Praktická část se věnuje seznámení s objektem měření a měřicí technikou, která byla použita pro získání základních zdrojových dat. Popisuje způsob provedení jednotlivých měření a věnuje se analýze a vyhodnocování naměřených hodnot z pohledu řady vztahových závislostí. Závěr práce je věnován shrnutí základních významných poznatků a návrhu jejich možného využití v rozšíření výukového programu v rámci úlohy DE 4 Řízení otáček motorů, projektu Laboratoří integrované automatizace.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

## 1 ELEKTROMAGNETICKÁ KOMPATIBILITA

**Elektromagnetická kompatibilita** (z ang. „*Electromagnetic Compatibility*“, z něhož je odvozena mezinárodně užívaná zkratka **EMC**) je definována jako schopnost zařízení, systému či přístroje vykazovat správnou činnost i v prostředí, v němž působí jiné zdroje přírodních či umělých elektromagnetických signálů, a naopak svou vlastní „elektromagnetickou činností“, nepřipustně neovlivňovat své okolí, to znamená nevyzařovat signály, jež by byly rušivé pro jiná zařízení.

Pojem elektromagnetická kompatibilita reprezentuje širší význam než pojem *spolehlivost* daného zařízení, systému či přístroje, s kterým byl v počátcích rozvoje tohoto vědeckotechnického oboru ztotožňován. Již v roce 1968 jeden ze zakladatelů tohoto oboru H.M.Schlike řekl: „*Systém sám o sobě může být dokonale spolehlivý – bude však prakticky bezcenný v provozu, pokud současně nebude elektromagneticky kompatibilní. Spolehlivost a elektromagnetická kompatibilita jsou neoddělitelné požadavky na systém, který má fungovat v každé době a za všech okolností*“. [[1]]

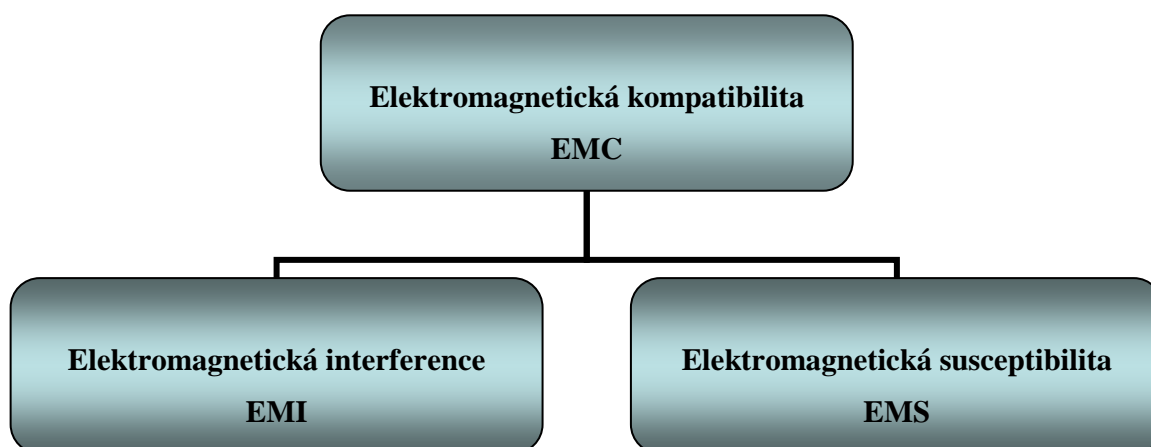
Problematiku EMC můžeme zkoumat jednak z hlediska EMC biologických systémů, a dále z hlediska EMC technických systémů a zařízení.

**EMC biologických systémů** se zabývá celkovým „elektromagnetickým pozadím“ životního prostředí a přípustnými úrovněmi rušivých i užitečných elektromagnetických signálů s ohledem na jejich vlivy na živé organismy. Jelikož biologické účinky elektromagnetických polí závisí na jejich charakteru, době působení i na vlastnostech živých organismů, je velmi obtížné provedení analýz vlivů a dopadů na živé organismy a následné zobecnění platných závěrů.

**EMC technických systémů a zařízení** se zabývá vzájemným působením a koexistencí technických prostředků, zejména elektrotechnických a elektronických přístrojů, prostředků a zařízení.

Problematiku EMC členíme do dvou základních skupin. Jedná se o elektromagnetickou interferenci a elektromagnetickou susceptibilitu. **Elektromagnetická interference** (z angl. „*Electromagnetic Interference*“ – *EMI*) neboli elektromagnetické rušení je proces, při kterém se signál generovaný zdrojem rušení přenáší prostřednictvím elektromagnetické

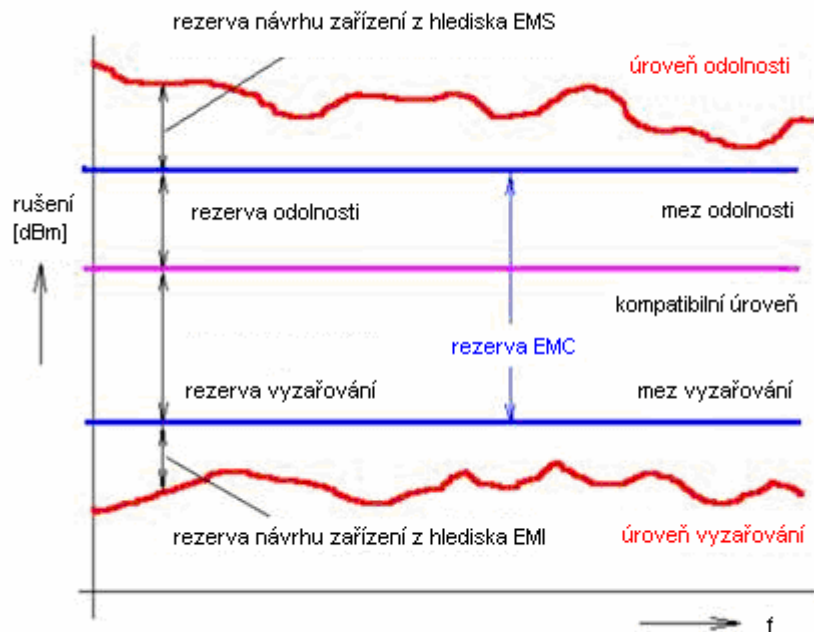
vazby do rušených systémů. Oblast EMI se tedy zabývá příčinami rušení a jejich odstraňováním. **Elektromagnetická susceptibilita** (z angl. „Electromagnetic Susceptibility“ – EMS) neboli elektromagnetická odolnost vyjadřuje schopnost zařízení či systému pracovat bez poruch nebo s přesně definovaným přípustným vlivem v prostředí, v němž se vyskytuje elektromagnetické rušení. Oblast EMS se tedy zabývá odstraňováním důsledků rušení, bez odstraňování jejich příčin.



Obr. 1: Základní členění problematiky EMC

## 1.1 Základní pojmy EMC

Při studiu problematiky EMC je důležitým krokem uvědomění, že každé elektrotechnické zařízení je současně jak zdrojem, tak rovněž přijímačem elektromagnetického rušení. Pro každé zařízení definuje Mezinárodní elektrotechnický slovník ČSN IEC 50 v kapitole 161 „Elektromagnetická kompatibilita“ [3] některé základní pojmy.



Obr. 2.: Obecné schéma definice úrovní, mezí a kompatibilní úrovně

**Elektromagnetické rušení** - jakýkoliv elektromagnetický jev, který může zhoršit činnost přístroje, zařízení nebo systému a nebo nepříznivě ovlivnit živou nebo neživou hmotu.

(Elektromagnetické rušení může být elektromagnetický šum, nežádoucí signál nebo změna v přenosovém prostředí.)

**Elektromagnetické vyzařování** - jev, při němž elektromagnetická energie vychází ze zdroje.

**Odolnost (proti rušení)** - schopnost přístroje, zařízení nebo systému být v provozu bez zhoršení charakteristik za přítomnosti elektromagnetického rušení.

**Úroveň** - velikost veličiny vyhodnocené předepsaným způsobem. (Úroveň veličiny může být vyjádřena v logaritmických jednotkách, například v decibelech vůči vztažné hodnotě.)

**Úroveň rušení** - úroveň daného elektromagnetického rušení měřeného předepsaným způsobem.

**Úroveň vyzařování** - úroveň elektromagnetického rušení vyzařovaného konkrétním přístrojem, zařízením nebo systémem, měřená určeným způsobem.

**Mez vyzařování** - maximální dovolená úroveň vyzařování.

**Úroveň odolnosti** - maximální úroveň elektromagnetického rušení působícího na konkrétní přístroj, zařízení nebo systém, při kterém se nevyskytuje zhoršení provozu.

**Mez odolnosti** - nejnižší požadovaná úroveň odolnosti.

**Kompatibilní úroveň** - předepsaná úroveň rušení, při které by měla být přijatelně vysoká pravděpodobnost elektromagnetické kompatibility.

**Rezerva vyzařování** - poměr úrovně elektromagnetické kompatibility a meze vyzařování.

**Rezerva odolnosti** - poměr meze odolnosti a úrovně elektromagnetické kompatibility.

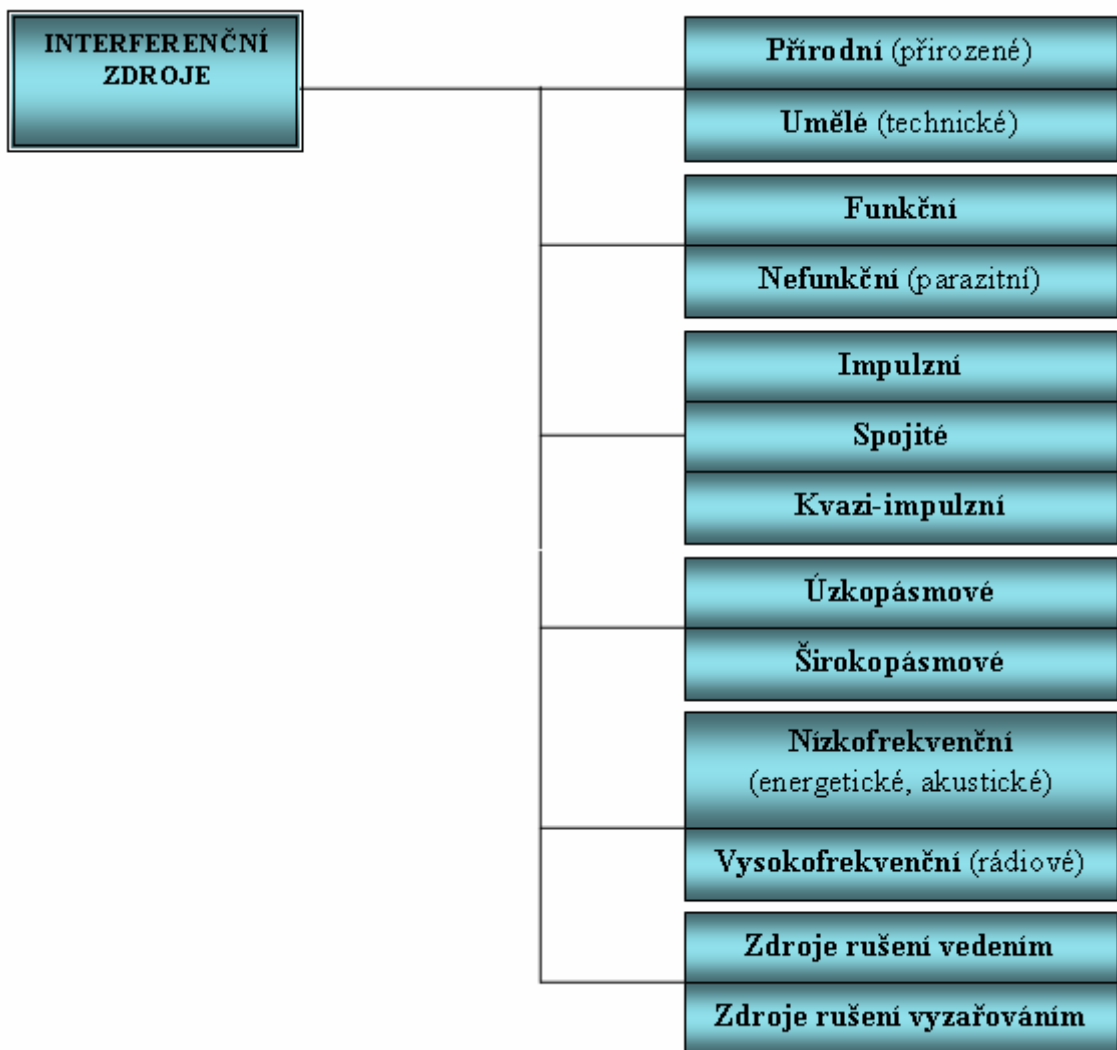
**Rezerva kompatibility** - poměr meze odolnosti a meze vyzařování. (Rezerva kompatibility je součinem rezervy odolnosti a rezervy vyzařování.)

**Potlačení rušení** - opatření, které zmenšuje nebo odstraňuje elektromagnetické rušení.

**Odrušování** - opatření k zeslabení nebo k odstranění elektromagnetické interference.

## 1.2 Rušivé signály a jejich zdroje

Jak již bylo uvedeno v předchozí kapitole, každý elektrotechnický systém můžeme považovat jak za zdroj, tak rovněž za přijímač elektromagnetického rušení. Systémy generující rušivé signály nazýváme **interferenční zdroje** neboli **zdroje elektromagnetického rušení**.



Obr. 3.: Příklad klasifikace interferenčních zdrojů

Jeden ze základních aspektů rozděluje interferenční zdroje na skupinu **přírodních (přírozených) zdrojů** rušivých signálů, které je nutné akceptovat, jelikož jejich vzniku většinou nelze zabránit (je možné pouze předcházet nebo eliminovat jejich následky) a skupinu **umělých interferenčních zdrojů**, tj. zdrojů vzniklých lidskou činností.

Umělé interferenční zdroje rušení rozdělujeme podle významu rušivého signálu na **funkční a nefunkční neboli parazitní**.

- **Funkční** interferenční zdroje jsou ty, které jsou základem funkce jednoho systému ale současně rušivě ovlivňují základní funkce jiného systému.

- **Nefunkční (parazitní)** interferenční zdroje produkují při svém provozu parazitní rušivá napětí či pole.

Z hlediska časového průběhu rušivého signálu lze rozdělit interferenční zdroje na **impulzní, spojitý a kvazi-impulzní průběhy** rušení.

- **Impulzní průběh** rušení je charakterizován časovou posloupností jednotlivých impulzů nebo přechodných jevů.
- **Spojité průběh** rušení je opakem impulzního průběhu a je charakterizován kontinuálním působením na rušené zařízení.
- **Kvazi - impulzní průběh** rušení je kombinací spojitého a impulzního rušení. V jeho průběhu nastává krátký časový úsek, během kterého je průběh rušení spojitý a po uplynutí časového úseku rušení ustává až do příchodu dalšího časového úseku.

Dalším kritériem, které je úzce vázáno s průběhem rušivých signálů je šířka kmitočtového spektra. Stanovení šířky pásma rušivého signálu je důležitým kritériem pro stanovení vhodných prostředků pro potlačení rušení. Dle tohoto kritéria se signály dělí na **úzkopásmové a širokopásmové průběhy** rušení.

- **Úzkopásmové** rušení je produkováno především „užitečnými“ signály rozhlasových a televizních vysílačů.
- **Širokopásmové** rušení je produkováno většinou tzv. průmyslových zdrojů rušení, jejichž signál je charakterizován časovým průběhem spojitým, impulzním či kvazi-impulzním.

Z hlediska pozice rušivých signálů v kmitočtovém spektru a z hlediska jejich fyzikálního působení je dále členíme na **nízkofrekvenční a vysokofrekvenční**.

- **Nízkofrekvenční rušení** se projevuje dvěma způsoby. *Energetické nízkofrekvenční rušení* působí na napájecí energetickou soustavu v kmitočtovém pásmu 0 – 2 kHz. Způsobuje zejména deformaci napájecího napětí a odebíraného proudu energetických sítí. *Akustické nízkofrekvenční rušení* působí v kmitočtovém pásmu do 10 kHz. Toto rušení negativně ovlivňuje funkci přenosových informačních systémů

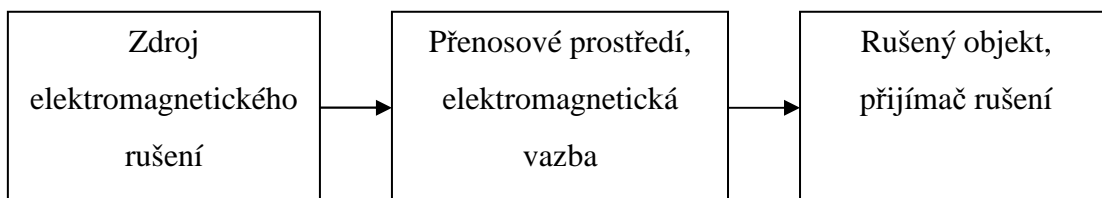


- **Vysokofrekvenční** neboli **rádiové rušení** působí v pásmu do 10kHz, kde se projevují negativní vlivy na funkci přenosových informačních systémů, jako jsou telefony, rozhlas, řídicí a měřicí zařízení, komunikační a informační soustavy apod.

Rušivé signály vysílané z interferenčních zdrojů se šíří jak vyzařováním prostorem, tak rovněž po napájecích či sdělovacích vedeních. Podle převažujícího způsobu šíření rozdělujeme zdroje interferenčního rušení na **zdroje rušení šířených vyzařováním (prostorem)** a na **zdroje rušení šířených vedením**.

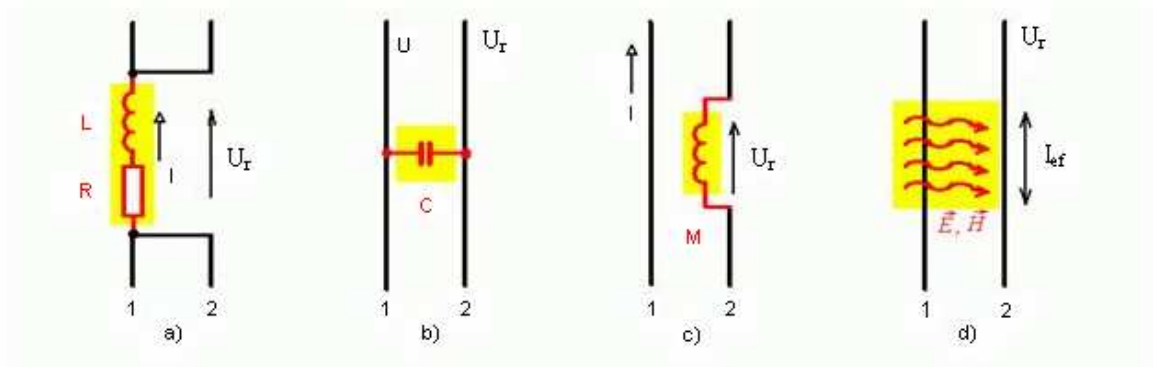
### 1.3 Vazební mechanismy přenosu rušivých signálů

Při zkoumání a zpracování technických analýz elektromagnetické kompatibility daných zařízení či systémů musí být akceptována skutečnost, že každé zařízení či systém může být současně jak zdrojem rušení (vysílačem), tak i přijímačem rušení (ovlivňovaným objektem). Rušivé signály od zdroje interferenčního rušení jsou šířeny elektromagnetickým přenosovým prostředím. Jednotlivé objekty zkoumání tedy tvoří **základní řetězec EMC**.



Obr. 4.: Základní řetězec EMC a příklady jednotlivých oblastí

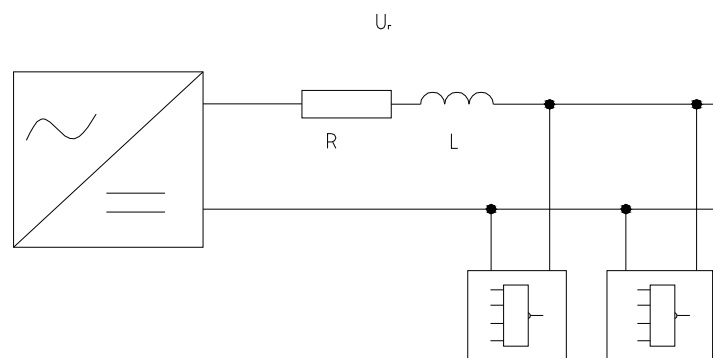
Na druhu a způsobu vazby mezi zdrojem a přijímačem rušení závisí možnost eliminace parazitních vazeb. Z fyzikálního principu, který je pro daný účel nejdůležitější rozlišujeme **vazbu galvanickou, kapacitní, induktivní** a **vazbu vyzařováním** (neboli vazbu elektromagnetickým polem). Následující schémata zobrazují základní principy působení mezi dvěma vodiči či obvody.



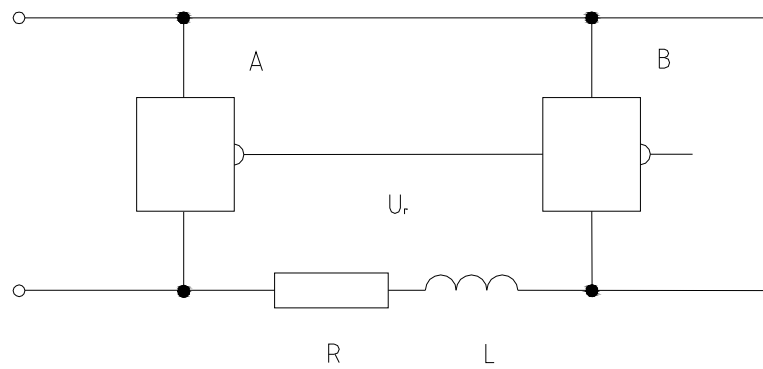
Obr. 5.: Základní druhy vazeb : a) galvanická, b) kapacitní, c) induktivní, d) vyzářováním [1]

### 1.3.1 Galvanická vazba

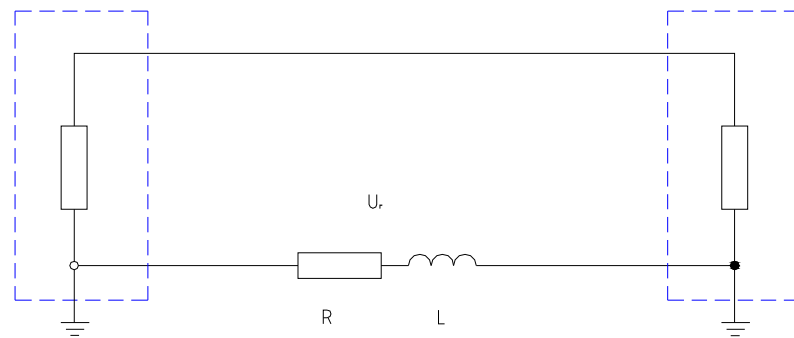
**Galvanická vazba neboli vazba společnou impedancí** je vazbou dvou elektrických systémů, jejichž proudové smyčky se uzavírají přes společnou impedanci. Společná impedance, obvykle charakteru sériového obvodu  $RL$ , může být tvořena vnitřní impedancí společného napájecího zdroje, vnitřní impedancí společného přívodu řídicích obvodů nebo impedancí společného zemnicího systému.



Obr. 6.: Galvanická vazba společným napájecím zdrojem



Obr. 7.: Galvanická vazba společným přívodem řídicích obvodů

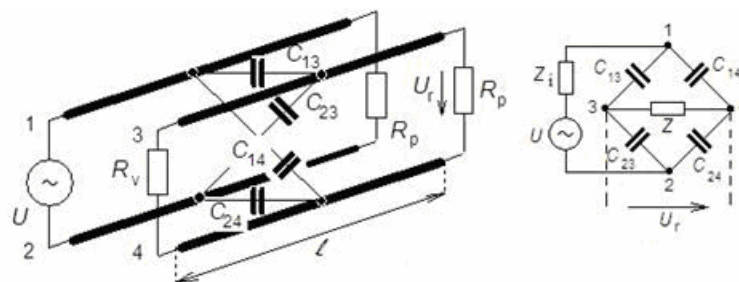


Obr. 8.: Galvanická vazba společným zemnicím systémem

### 1.3.2 Kapacitní vazba

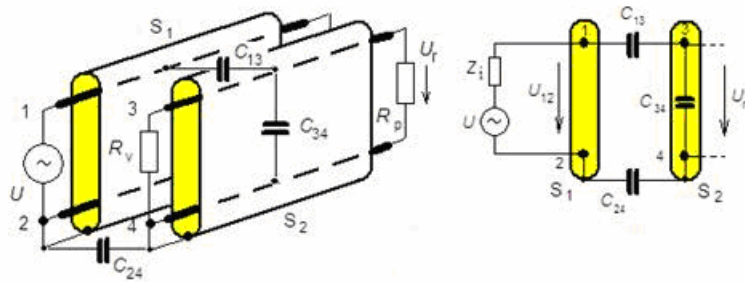
Vznik kapacitní vazby závisí na existenci parazitních kapacit mezi vodiči nebo mezi jednotlivými částmi obvodů nebo konstrukcí zařízení. Rozlišujeme uvedené typy kapacitních vazeb:

- **Kapacitní vazba galvanicky oddělených obvodů**



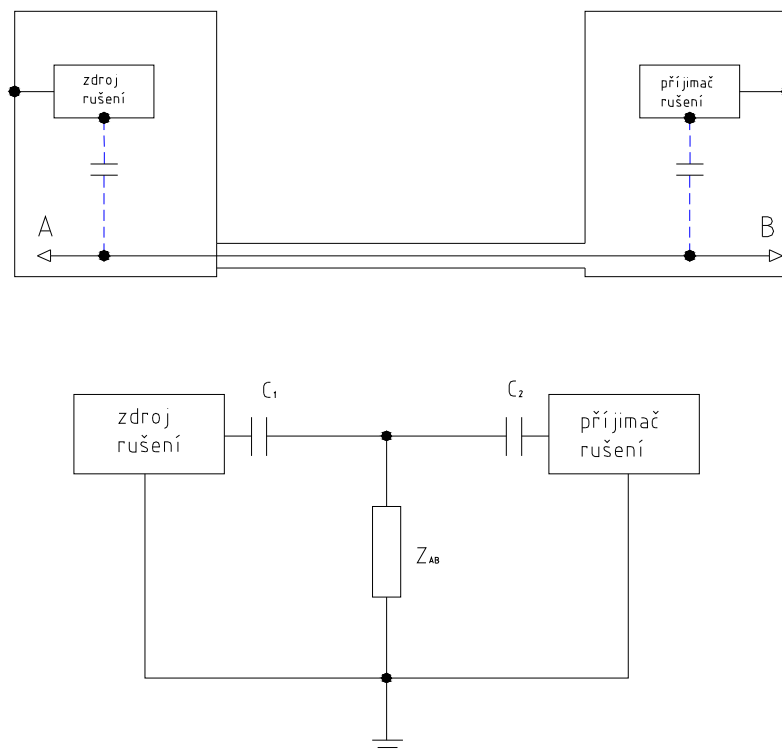
Obr. 9.: Kapacitní vazba galvanicky oddělených obvodů [1]

- Kapacitní vazba dvou stíněných párů



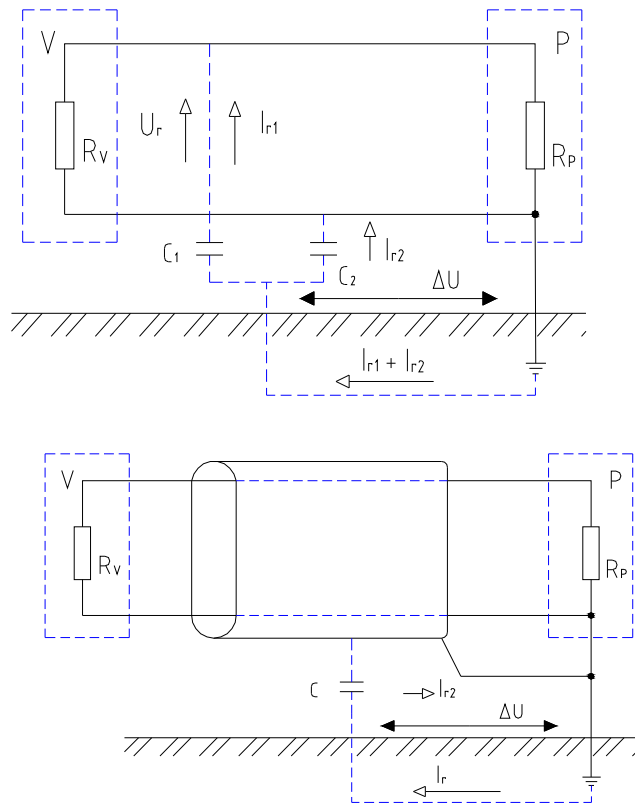
Obr. 10.: Kapacitní vazba dvou stíněných párů [1]

- Kapacitní vazba nezúčastněným vodičem



Obr. 11.: Kapacitní vazba nezúčastněným vodičem

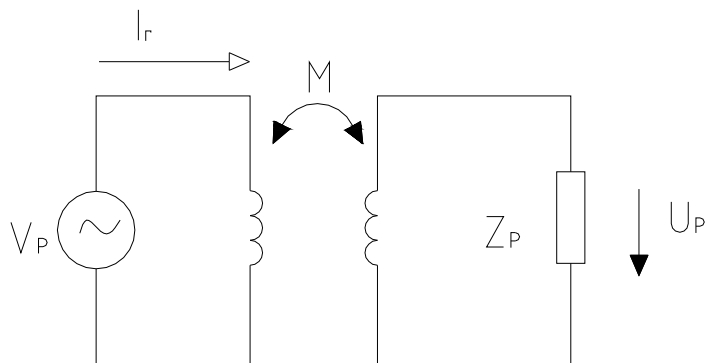
- **Kapacitní vazba vůči zemi**



Obr. 12.: Kapacitní vazba vůči zemi

### 1.3.3 Induktivní vazba

Induktivní vazba je podmíněna zejména velikostí vzájemné indukčnosti  $M$  a narůstá s rostoucím kmitočtem.



Obr. 13.: Induktivní vazba

### 1.3.4 Vazba vyzařováním

Vazba vyzařováním vzniká v případech větších vzdáleností mezi zdrojem a přijímačem rušení, kdy je vyloučena existence vazby kapacitní a induktivní.

Obr. 14.: Vazba elektromagnetického vyzařování

## 1.4 Metody omezování rušení

Budeme-li vycházet z principu základního řetězce EMC, lze aplikovat metody omezování rušení ve všech oblastech daného řetězce, to znamená:

- **omezování rušení u zdroje** (vysílače rušení)
- **omezování rušení na přenosové trase**
- **omezování rušení u rušeného objektu** (přijímače rušení)

Nejefektivnější metodou je omezování rušení u zdroje, čímž omezíme rušení vyšetřovaného přijímače ale rovněž ostatních stávajících a možných budoucích objektů rušení. Mohou ovšem nastat situace, kdy uvedený zásah u zdroje nelze aplikovat, a to v případech, kdy je rušivý signál šířen společně s užitečným signálem na stejném kmitočtu, nebo je dokonce uvedený rušivý signál pro jiná zařízení signálem užitečným.

Technické prostředky sloužící k potlačování nebo omezování účinků elektromagnetického rušení, použité v kterékoliv části základního řetězce EMC, nazýváme **odrušovací prostředky**. Mezi odrušovací prostředky řadíme:

- odrušovací tlumivky a jednoprvkové tlumivkové filtry
- odrušovací kondenzátory a kondenzátorové filtry
- odrušovací filtry LC
- přepět'ové ochranné prvky – bleskojistky, plynem plněné výbojky, varistory, omezovací diody
- elektromagnetické, elektrické a magnetické stínění

Výběr a použití vhodného odrušovacího prostředku závisí, mimo řady jiných aspektů, zejména na skutečnosti, zda bude řešena otázka šíření rušivého signálu po vedení nebo bude řešeno rušení šířící se vyzařováním. Při omezování rušivého signálu po vedení se používají zejména odrušovací tlumivky, kondenzátory, kmitočtové filtry LC a omezovače přepětí. Rušení vyzařováním je řešeno použitím uzemněného stínění s možnou kombinací s vhodnými odrušovacími prostředky a omezovači přepětí.

## 1.5 Elektromagnetické stínění

Elektromagnetické stínění je prostředek umožňující zmenšení objemu vyzařovaných elektromagnetických rušivých signálů na straně zdrojů uvedených signálů a současně prostředek umožňující zvýšení elektromagnetické odolnosti na straně přijímačů rušivých elektromagnetických signálů. V podstatě se jedná o technické, konstrukční prostředky, které zajišťují ochranu jak jednotlivých součástí, tak celých elektrotechnických zařízení. Tyto prostředky nazýváme **stíněním** nebo rovněž **stínícími kryty**. Aplikace uvedených konstrukčních prvků by měla následovat vždy až po vyčerpání veškerých možných metod v průběhu návrhu, konstrukce a testování daných zařízení.

Působení elektromagnetického stínění lze charakterizovat tzv. **koeficientem stínění  $K_s$** , který je definován poměrem intenzity elektrického pole  $E_t$  (nebo magnetického pole  $H_t$ ) v určitém bodě stíněného prostoru k intenzitě  $E_i$  ( $H_i$ ) pole dopadajícího na stínící přepážku. [[1]]

$$K_s = \frac{E_t}{E_i} \quad \text{nebo} \quad K_s = \frac{H_t}{H_i} \quad (1)$$

V praxi se většinou užívá logaritmická míra tohoto koeficientu nazývaná **efektivnost** či **účinnost stínění** (útlum stínění), (z ang. **Shielding Effectiveness**). [[1]]

$$SE = 20 \cdot \log \frac{1}{|K_s|} = 20 \cdot \log \left| \frac{E_i}{E_t} \right| \quad , \quad SE = 20 \cdot \log \left| \frac{H_i}{H_t} \right| \quad [\text{dB}] \quad (2)$$

Celková účinnost stínění se skládá z:

- **útlumu odrazem**
- **útlumu absorpcí**
- **útlumu vlivem mnohonásobných odrazů**

**Útlum odrazem** vzniká na základě částečného odrazu energie vlny na vstupním impedančním rozhraní (dielektrikum – kovová stěna) a na výstupním impedančním rozhraní (kovová stěna – dielektrikum). Na vstupním rozhraní dochází k vyššímu útlumu u elektrické složky pole a pouze její malá část přechází na výstupní rozhraní. U magnetické složky pole naopak dochází na vstupním rozhraní pouze k minimálnímu útlumu a útlum vyšší nastává na výstupním rozhraní.

**Útlum absorpcí** vzniká pohlcením energie elektromagnetické vlny při průchodu stínicí přepážkou vlivem tepelných ztrát.

**Útlum vlivem mnohonásobných odrazů** vzniká při dopadu elektromagnetické vlny na vodivou stínicí přepážku, kdy dochází k jejímu rozložení na odraženou vlnu a vlnu postupující, u které dochází na výstupním rozhraní k opakovanému odrazu.

Tab. 1.: Hodnocení elektromagnetického stínění dle orientačních hodnot SE [[1]]

ÚČINNOST STÍNĚNÍ ( DB )	KATEGORIE - HODNOCENÍ
0 ÷ 10	Nedostatečné stínění.
10 ÷ 30	Stínění pro minimální požadavky.
30 ÷ 60	Stínění dostačující pro většinu běžných požadavků.
60 ÷ 90	Velmi dobré stínění.
90 ÷ 120	Vysoce kvalitní stínění.



## 1.6 Měření rušivých signálů

Měření rušivých signálů je jednou z nejdůležitějších částí problematiky oboru elektromagnetické kompatibility. Jedná se o praktické ověření a stanovení dosaženého stupně EMC konkrétního zařízení či systému z hlediska jeho rušivého vyzařování. Současně je tímto způsobem deklarováno dodržení maximálních přípustných hodnot vyzařovaných rušivých signálů pro dané zařízení. Vzhledem ke skutečnostem, že i samotná zařízení či přístroje používaná při měření mohou být současně zdrojem i přijímačem rušivých signálů, vzhledem k rozmanitosti měřených zařízení a jejich pracovních podmínek a vzhledem k požadavkům reprodukovatelnosti a možnosti vzájemného porovnání provedených měření jsou veškeré metody a postupy měření EMC, podmínky i použité přístroje stanoveny příslušnými mezinárodními, popřípadě národními normami a regulačními předpisy. Stanovení konkrétního postupu měření a výběr měřících přístrojů je ovlivněn způsobem šíření rušivých elektromagnetických signálů, jak je zobrazeno v následujícím grafu.

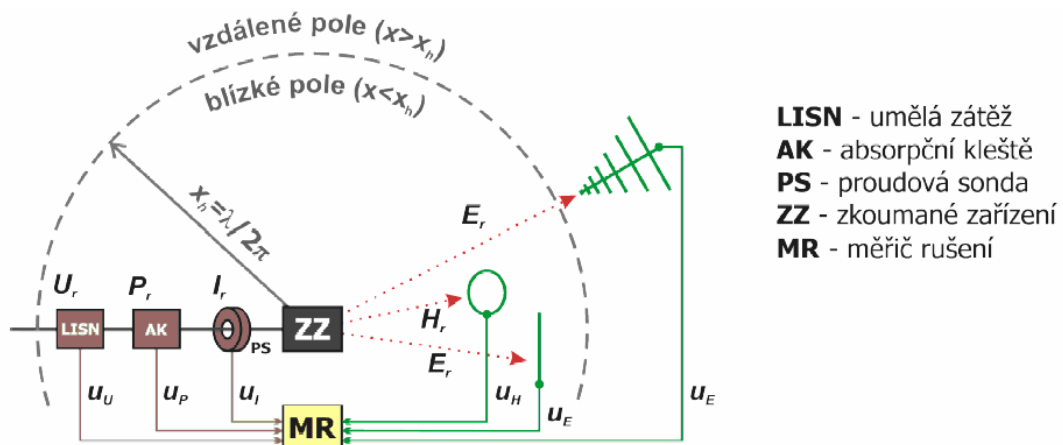


Obr. 15.: Způsoby šíření rušivých elektromagnetických signálů

Způsob šíření elektromagnetických rušivých signálů určuje typ měřených veličin. V případě přenosu vedením jsou měřenými veličinami **rušivé napětí  $U_r$** , **rušivý proud  $I_r$** ,

popřípadě **rušivý výkon signálu  $P_r$** . U přenosu vazbou a vyzařováním jsou charakteristickými veličinami parazitní vazby **intenzita rušivého elektrického pole  $E_r$**  a **intenzita rušivého magnetického pole  $H_r$**  popřípadě **hustota vyzářeného výkonu rušivého signálu  $p_r$** .

Základní možnosti a přístroje určené k měření rušivých signálů jsou znázorněny na následujícím Obr.16.



Obr. 16.: Způsoby měření rušení vedením a vyzařováním [3]

### 1.6.1 Měření s umělou sítí

**Umělá síť** AMN (z ang. „Artificial Mains Network“), častěji označovaná jako **umělá zátěž vedení LISN** (z ang. „Line Impedance Stabilizing Network“) se užívá k měření rušivých signálů, které vznikají v zařízení napájeném z rozvodné elektrické sítě a které z tohoto spotřebiče vystupují právě tímto napájecím vedením. [[1]] Úkolem umělé zátěže vedení je zajistit dodávku standardního napájecího napětí do zkoušeného objektu, čímž je splněna normou požadovaná reprodukovatelnost měření. Vkládá se pomocí sériového zapojení mezi svorky zkoušeného objektu (1. rozhraní) a skutečnou síť (2. rozhraní). Třetí rozhraní tvoří výstupní svorka, určená k připojení měřicího přístroje.

### 1.6.2 Měření s vysokoimpedanční a kapacitní napěťovou sondou a proudovou sondou

Pro měření rušivých signálů (měření rušivých napětí či rušivých proudů) v situacích, kdy nelze provést přerušování sítě a vložit tak umělou zátěž vedení, v situacích, kdy měření je prováděno na jiných než napájecích svorkách nebo se jedná o objekt s odběrem vyššího proudu, než pro jaký je dimenzována umělá zátěž používáme sondy.

- **Napěťová sonda**

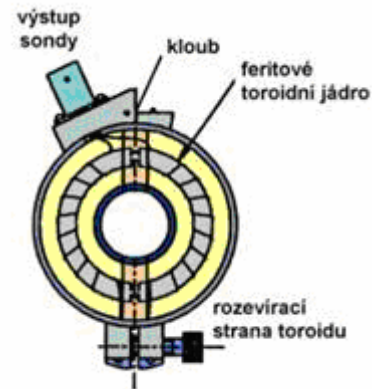


Obr. 17.: Napěťová sonda [4]

- **Proudová sonda** – slouží k měření rušivého elektrického proudu, protékajícího vodičem, a to bez jeho přerušování. Při použití proudové sondy dochází k rozevření feritového toroidního jádra (dále jen „toroid“), které představuje sekundární vinutí transformátoru, tak aby bylo možno vložit zkoumané vedení, které představuje primární vinutí. Po uzavření toroidu dochází k měření proudu, který je následně převeden na napětí na výstupu sekundárního vinutí sondy a změřeno připojeným měřicím zařízením. Pro měření vysokofrekvenčních rušivých proudů protékajících po kovovém povrchu se používají tzv. **sondy povrchových proudů**.



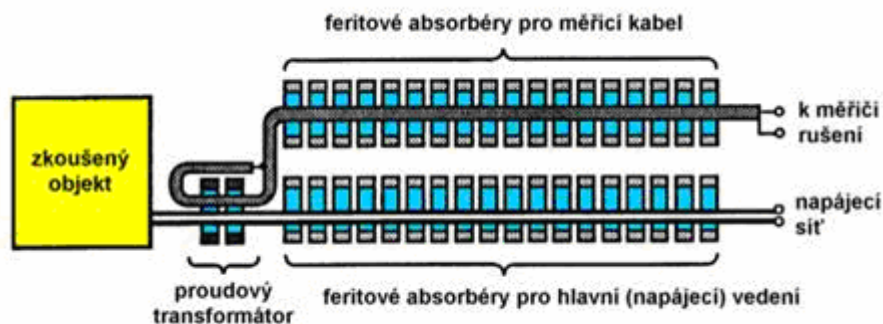
Obr. 18.: Proudová sonda [4]



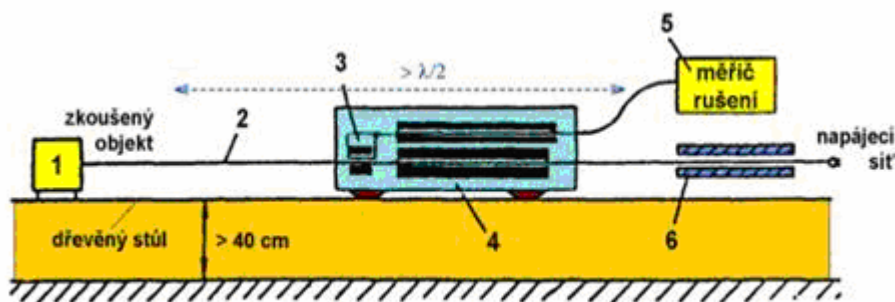
Obr. 19.: Konstrukční řešení proudové sondy [4]

### 1.6.3 Měření s absorpčními kleštěmi

Absorpční kleště představují kombinaci širokopásmové vysokofrekvenční proudové sondy (proudového transformátoru) a feritového absorbéru (přízpusobené zátěže). [[3]] Používají se pro měření rušivého výkonu vyzařovaného vedením zkoušeného objektu a to v kmitočtovém pásmu  $30 \div 1000$  MHz. Konstrukce sestává z proudové sondy pro uvedený kmitočtový rozsah a přibližně 60 feritových kroužků, neboli toroidů.



Obr. 20.: Konstrukce absorpčních kleští [1]



Obr. 21.: Uspořádání pracoviště pro měření s absorpčními kleštěmi  
[1]

#### 1.6.4 Měření pomocí antén

Antény jsou používány při měření vyzařovaných rušivých signálů v kmitočtovém pásmu od 10 kHz do řádu GHz. Jsou používány jak v oblasti EMI (měření emisí vyzařování), tak rovněž v oblasti EMS (měření imunity). Antény jsou jednou částí vysílacího nebo přijímacího systému, jeho druhou část tvoří měřicí přijímače. Přehled měřicích antén je uveden v následující tabulce č.2.

Tab. 2.: Přehled měřicích antén

DRUHY ANTÉNY	ROZSAH KMITOČTU	MĚŘENÁ SLOŽKA
Rámová (smyčková) anténa	9 kHz – 30 MHz	H
Prutová anténa (monopol)	9 kHz – 30MHz	E
Symetrické (laděné) dipóly	30 MHz – 1000 MHz	E
Bikónická anténa	20 MHz – 300 MHz	E
Logaritmicko-periodická anténa	200 MHz – 3000 MHz	E
Kónicko-logaritmická anténa	200 MHz – 3000 MHz	E
Složená širokopásmová anténa	30 MHz – 2000 MHz	E
Trychtýřové antény	1 GHz – 40 GHz	E, H

- **Rámová (smyčková) anténa**

Uvedený typ antény se používá v nejnižším kmitočtovém pásmu k měření **magnetického rušivého pole  $H_r$** . Cívka antény je umístěna do kovového stínění pro vyloučení parazitního vlivu elektrické složky pole. Antény mohou být pasivní nebo aktivní, vybavené měřicími zesilovači. Maximální velikost antény je 60 x 60 cm.



Obr. 22.: Rámová anténa [4]

- **Prutová anténa (monopól)**

Ve stejném kmitočtovém pásmu, v kterém měříme pomocí rámové antény magnetické rušivé pole, měříme pomocí nesymetrické vertikální **prutové antény**, tzv. **monopólu** o doporučené celkové délce 1 m **rušivé elektrické pole  $E_r$** .

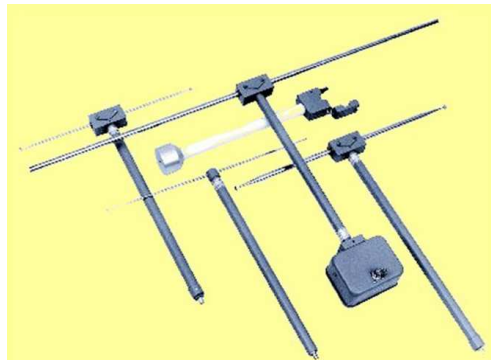


Obr. 23.: Prutová anténa

(monopól) [4]

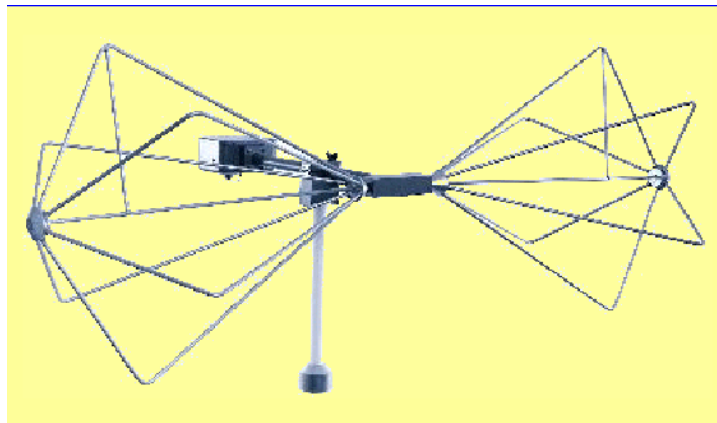
- **Symetricky (laděné) dipóly**

Symetrické dipólové antény sestávají ze dvou stejně dlouhých lineárních ramen se společnou osou. Ramena jsou od sebe oddělena úzkou šěrbinou, do níž je umístěn symetrický napěťový zdroj. Měříme jimi intenzitu rušivého elektrického pole  $E_r$ . Vzhledem k její velmi malé efektivní výšce, je určena především pro laboratorní měření.



Obr. 24.: Sada laděných symetrických dipólů [4]

- **Bikónická anténa**



Obr. 25.: Bikónická anténa [4]

## 1.7 Elektromagnetická susceptibilita a metody testování

Elektromagnetická susceptibilita (odolnost, imunita) tvoří druhou oblast základního členění problematiky EMC. [Obr.1] Protože nelze nikdy odstranit všechny skutečné či potenciální zdroje rušivých signálů (již proto ne, že řada z nich jsou signály funkční), je třeba zajistit, aby technická zařízení správně fungovala i za jejich přítomnosti, tj. aby tato zařízení byla dostatečně odolná vůči všem druhům rušení, která při jejich činnosti v daném čase a prostoru přicházejí v úvahu. [[1]] Celková EMS daného technického zařízení je souhrnem **interní a externí elektromagnetické odolnosti**. U **interní elektromagnetické odolnosti** se jedná o odolnost systému vůči rušivým zdrojům uvnitř vlastního systému, u **externí elektromagnetické odolnosti** pak o odolnost systému vůči vnějším zdrojům elektromagnetického rušení.

Pro posouzení celkové elektromagnetické odolnosti systému platí tři základní systémová pravidla [[1]] :

- 1) Interní elektromagnetická odolnost systému je závislá na interní odolnosti jeho subsystémů.
- 2) Výsledná interní elektromagnetická odolnost elektronického systému je určena odolností jeho „nejslabšího článku“, tj. subsystému s nejnižší vlastní elektromagnetickou odolností.
- 3) Výsledná externí elektromagnetická odolnost systému může záviset na jeho interní odolnosti, neboť zde může docházet ke skládání rušivých vlivů a tím ke snižování celkové odolnosti systému.

### 1.7.1 Kritéria elektromagnetické susceptibility

Pro stanovení stupně elektromagnetické susceptibility technického systému je nezbytné znát hodnotu tzv. **definované meze narušení funkcí systému**. Definované meze lze stanovit jednak z hlediska **kvantitativního** a jinak z hlediska **kvalitativního**.



Hledisko **kvantitativní meze odolnosti** je aplikováno především při vývoji elektrotechnických zařízení. Je stanoveno jako dosažení určitých sledovaných hodnot, které nezpůsobí negativní, nežádoucí změny systému.

Hledisko **kvalitativní meze odolnosti** je aplikováno na straně provozovatele, či uživatele technického systému a spočívá v posouzení změny provozního stavu nebo ovlivnění funkčnosti.

Funkční kritéria technických systémů jsou definována normou ČSN EN 50082 [[2]] . Jedná se o tři základní funkční kritéria:

- **Funkční kritérium A** – Zařízení musí **během** zkoušky pokračovat ve své činnosti dle svého určení. Není dovoleno žádné zhoršení činnosti zařízení či ztráta jeho funkce.
- **Funkční kritérium B** – Zařízení musí **po skončení** zkoušky pokračovat ve své činnosti dle svého určení. Během zkoušky je dovoleno zhoršení činnosti zařízení, není však dovolena změna aktuálního provozního stavu zařízení ani změna dat v paměti. Po skončení zkoušky není dovoleno žádné zhoršení činnosti zařízení či ztráta jeho funkce.
- **Funkční kritérium C** – Je dovolena výsledná **dočasná** ztráta funkce zařízení za předpokladu, že se tato funkce po skončení zkoušky odolnosti obnoví sama, nebo může být obnovena činností řídicího systému, nebo zásahem operátora dle specifikace v návodu k použití zařízení.

Ke stanovení daného funkčního kritéria dle výše citované normy je potřebné specifikovat pojem „**zhoršení funkce**“ a definovat vývojové fáze tohoto pojmu.

Vývojové fáze zhoršení funkce:

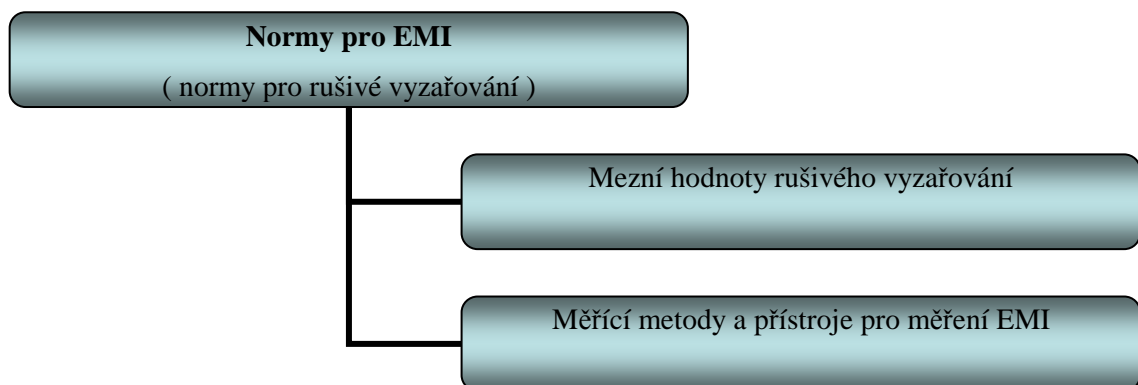
- **Stav bez zhoršení** – zařízení zcela splňuje své technická vlastnosti
- **Stav pozorovatelného zhoršení** – zařízení je ovlivněno elektromagnetickou interferencí po určitý časový interval, v kterém působí zdroj rušení. V okamžiku, kdy přestane působit zdroj rušení, zhoršení funkce zmizí.

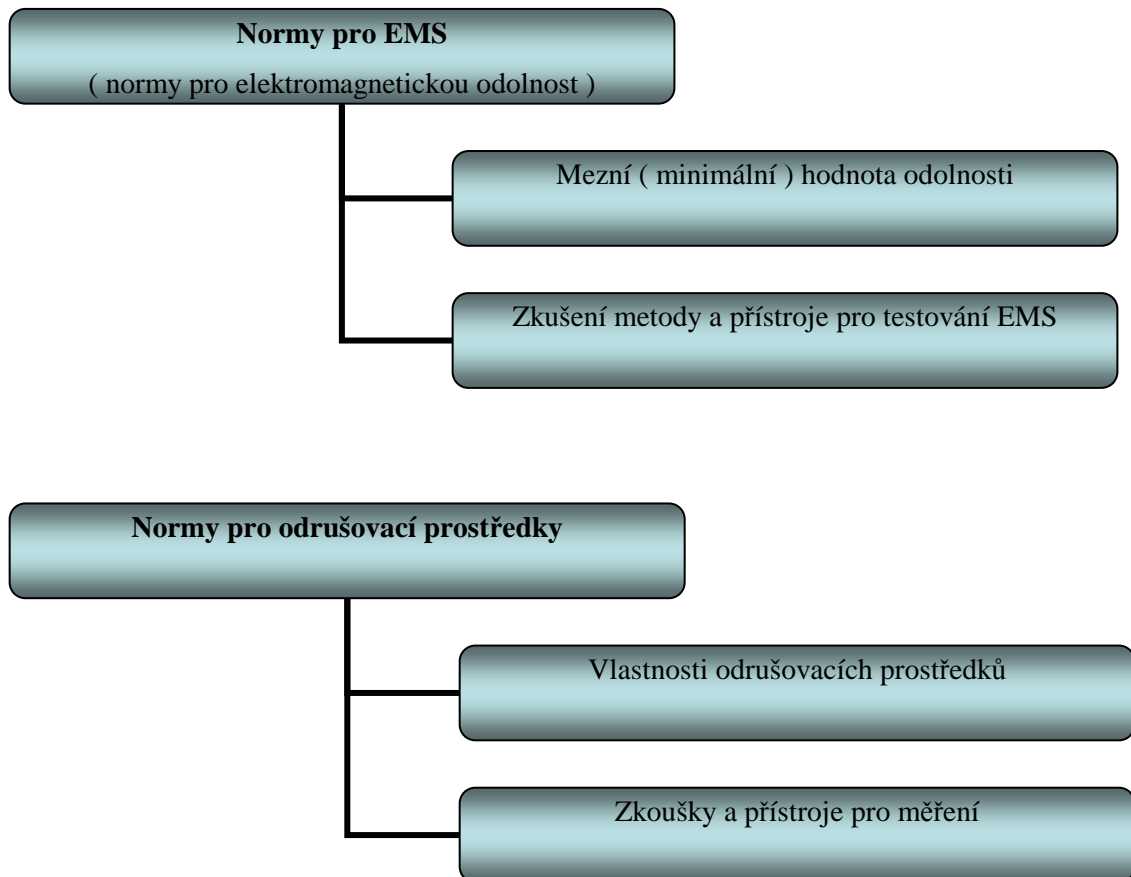
- **Stav vážného zhoršení** – zařízení není schopno souvislé, uspokojivé činnosti. Pro obnovení funkčnosti zařízení je nutné provést servisní zásah (identifikace a odstranění problému).
- **Stav výpadku – totální neschopnost funkce** – jedná se o totální selhání zařízení a jeho vyřazení z provozu.

## 2 NORMALIZACE V OBLASTI EMC

Základním pilířem normalizace v kterékoliv technické oblasti je existence **technické normy**. Technická norma je dokument, který jasně definuje u zařízení či systému požadované vlastnosti, provedení, tvar, uspořádání, způsob a postupy práce, popřípadě deklaruje všeobecně užívané technické pojmy. Je tedy souhrnem požadavků na kvalitu a bezpečnost, slučitelnost, ochranu zdraví a životního prostředí výrobku, procesu nebo služby, tak aby tyto byly schopny plnit za daných podmínek daný účel. Technická norma **není závazná**, jedná se o **kvalifikované doporučení**. Její aplikace je tudíž dobrovolná, ale výhodná z hlediska ekonomiky výroby, z hlediska bezpečnosti a zajištění ochrany životního prostředí, z hlediska konkurenceschopnosti na hospodářském trhu, z hlediska prestiže firmy ve vztahu ke spotřebiteli a usnadnění volného pohybu zboží v mezinárodním obchodu.

Základní normy v oblasti EMC vychází ze skutečnosti, že každé elektrotechnické zařízení je zdrojem elektromagnetické interference a současně disponuje určitou úrovní elektromagnetické susceptibility, přičemž k zajištění výsledné EMC daného zařízení či systému se využívá vhodných odrušovacích prostředků. Z uvedeného hlediska lze provést následující členění norem v oblasti EMC:





Obr. 26.: Rozdělení norem EMC

## 2.1 Normalizační grémia a organizace

Dne 4.9.1904 v St.Louis v USA byla založena **Mezinárodní elektrotechnická komise IEC** (z ang. „International Electrotechnical Commission“). Organizace byla zařazena do celosvětového normalizačního procesu řízeného a koordinovaného **Mezinárodní organizací pro normalizaci ISO** (z ang. „International Standard Organization“). Mezinárodní elektrotechnická komise IEC je složena z tzv. **technických komisí (TC** – z ang. „Technical Committee“) popřípadě **subkomisí (SC** – z ang. „Sub-Committee“), které se zabývají problematikou EMC v konkrétních technických oborech. Od roku 1946 je plnoprávnou komisí rovněž **Mezinárodní poradní sbor pro rádiovou interferenci CISPR** (z franc. „Comité International Spécial des Perturbations Radioélectriques“).



Obr. 27.: Mezinárodní elektrotechnická komise IEC [12]



Obr. 28.: Mezinárodní organizace pro normalizaci ISO [13]

Jednotný systém norem pro danou problematiku vzniká postupně rovněž na evropské úrovni. Jedná se o **evropské normy EN (European Norms)**, jejichž přípravou se zabývají komise Evropské unie. Hovoříme o **Evropské komisi pro normalizaci CEN (Comité Europeen de Normalisation)** a **Evropské komisi pro normalizaci v elektrotechnice CENELEC (Comité Europeen de Normalisation en Electrotechnique)**.

V České republice se uvedenou problematikou zabývá **Český normalizační institut ČNI** v Praze, jehož **technická normalizační komise TNK 47** „Elektromagnetická kompatibilita“ postupně reviduje existující **české normy ČSN** a přebírá světové a evropské normy pro EMC. Vznikají tak harmonizované normy ČSN.



Obr. 29.: Evropská komise pro normalizaci CEN [14]



Obr. 30.: Evropská komise pro normalizaci v elektrotechnice CENELEC [15]



Obr. 31.: Český normalizační institut ČNI [16]

## 2.2 Civilní normy EMC

V rámci CENELEC se otázkami EMC zabývá především technická komise TC 110. Na základě dohody o spolupráci přebírá komise od IEC již existující mezinárodní normy IEC a IEC CISPR beze změn a současně předkládá IEC požadavky a návrhy na vypracování nových norem. Takto vzniklé normy se podle jejich charakteru dělí do tří skupin: [2]

- **základní normy (Basic Standards)** – specifikují základní všeobecné podmínky pro dosažení EMC libovolného technického produktu. Nestanovují konkrétní meze rušení, meze odolnosti ani žádná vyhodnocovací kritéria.

- **kmenové normy (Generic Standard)** – definují minimální soubor požadavků a testovacích metod EMC pro technická zařízení pracujících v určitých typech elektromagnetických prostředí.
- **předmětové normy (Produkt Standards)** – určují detailní požadavky a testovací metody EMC pro jednotlivé výrobky a skupiny podobných výrobků a zařízení.

Veškeré typy norem členíme dle stupně legislativní podpory na:

- **závazné normy (Regulatory, Mandatory Standards)** – mají charakter zákona.
- **doporučené normy (Voluntary Standards)** – mají pouze doporučující charakter. Vznikají obvykle na základě společné práce výrobců a normalizačních organizací. Přestože se jedná pouze o doporučené normy, na trhu výrobků je jejich význam téměř stejný jako u závazných norem. Doporučené normy jsou často brány jako prodejní specifikace a jejich nesplnění je bráno v úvahu při pojišťovacích či náhradových řízeních apod. [2]

### 2.3 Vojenské normy EMC

Vojenské normy (z ang. „**Military Standards**“, dále jen **MIL-STD**) používané v mnoha armádách světa reprezentují historicky první existující normy a předpisy pro oblast EMC, které položily základ pro normy civilní. Soustava norem **MIL-STD** vznikla v amerických ozbrojených silách US Army, US Navy a US Air Force. Jedná se o soustavu nejpropracovanějších norem, které prostřednictvím **NATO** (z ang. „**North Atlantic Treaty Organisation**“) byly rozšířeny a převzaty armádami v celé západní Evropě. Na tyto normy ve srovnání s normami civilními jsou kladeny vysoké nároky. Vyžadují například širší kmitočtový rozsah při měření a testování, použití detekce špičkových hodnot pro měření a vyhodnocení elektromagnetického rušení proti použití detekce kvazi-špičkových hodnot u civilních norem, vyšší úroveň elektromagnetické odolnosti a povolují nižší mezní hodnoty elektromagnetického vyzařování.

### 3 POLE ELEKTRICKÉ A MAGNETICKÉ

#### 3.1 Elektrické pole

Elektrické pole je fyzikální pole, jehož zdrojem je elektricky nabitě těleso nebo časově proměnné magnetické pole. Toto pole se projevuje silovými účinky na jiná tělesa a je charakterizováno vektorovou veličinou nazvanou **intenzita elektrického pole**. Intenzitu elektrického pole vytvořeného nábojem **Q1** na jiný bodový náboj **Q2**, umístěný ve vzdálenosti **r** lze vyjádřit pomocí vztahu [20]:

$$E = \frac{F}{Q2} = \frac{1}{4\pi\epsilon} * \frac{(Q1 * Q2)}{r^2} * \frac{1}{Q2} = \frac{Q1}{4\pi\epsilon r^2} \quad (3)$$

kde: E – intenzita elektrického pole [V/m]

F – elektrická síla [N]

Q1, Q2 – bodové náboje

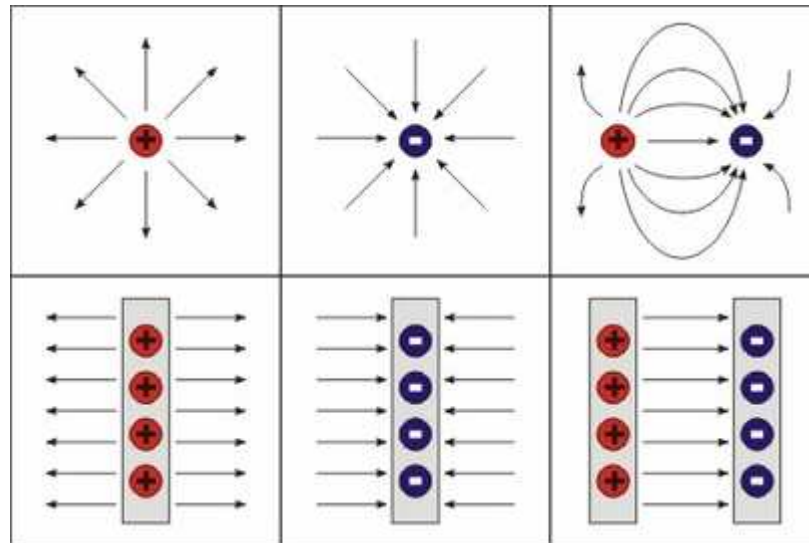
r – vzdálenost od nabitěho tělesa [m]

$\pi$  - konstanta

$\epsilon$ - absolutní permitivita daněho materiálu [F/m]

K vizuelnímu zobrazení elektrostatického pole používáme elektrické siločáry – jako myšlené čáry, jejichž tečna pak určuje v každém místě daněho pole směr intenzity.





Obr. 32.: Elektrický náboj a jeho siločáry [18]

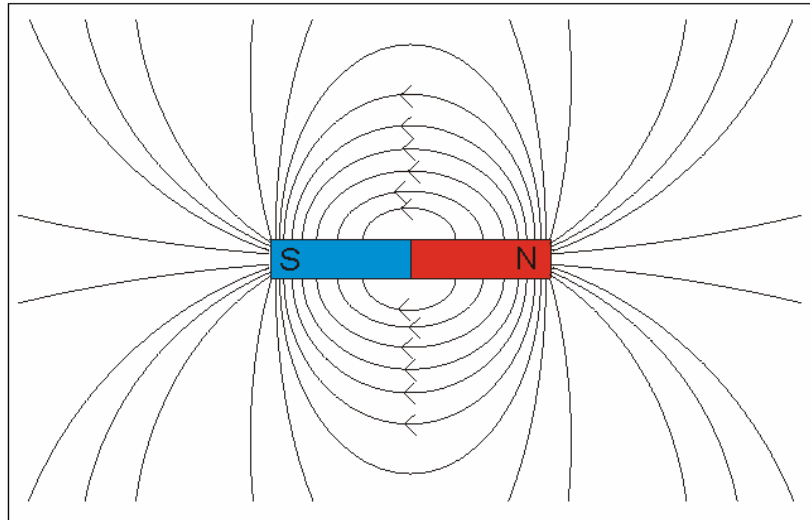
### 3.2 Magnetické pole

Magnetické pole je fyzikální pole, které se vyskytuje kolem elektrických vodičů, kde je jeho zdrojem volný elektrický proud a dále rovněž kolem tzv. permanentních magnetů, kde zdrojem pole jsou vázané elektrické proudy. Pokud bude uvedené fyzikální pole neměnné v čase, hovoříme pak o **stacionárním magnetickém poli**. Pole je charakterizováno vektorovou veličinou zvanou **magnetická indukce a indukčními čarami** – jedná se o uzavřené, neprotínající se orientované křivky, jejichž tečna v daném bodě má směr vektoru magnetické indukce a jejich hustota je úměrná velikosti vektoru magnetické indukce. Vzhledem k charakteru indukčních čar je pole magnetické **polem vírovým**. Charakteristickým znakem vírových polí je, že nemají klasický zdroj, ale vystupují jako doprovodná pole polí zřídlových, jejichž typickým zástupcem je pole elektrické. Společně pak vytváří **pole elektromagnetické**.

#### Magnetické pole permanentního magnetu

Permanentním magnetem je těleso, které kolem sebe šíří magnetické pole, jehož zdrojem jsou vázané elektrické proudy. Každý magnet má dva póly, které se nazývají severní pól (z angl. *N* – „North“, značen červenou barvou) a jižní pól (z angl. *S* – „South“, značen modrou barvou). Tato vlastnost je zachována i při rozdělení jednoho magnetu na libovolný

počet dílů. Nelze tedy oddělením získat nový díl pouze s jižním nebo pouze se severním pólem. Magnetické pole je znázorňováno magnetickými indukčními čarami, které vždy tvoří uzavřené křivky, začínající na severním a končící na jižním pólu permanentního magnetu.



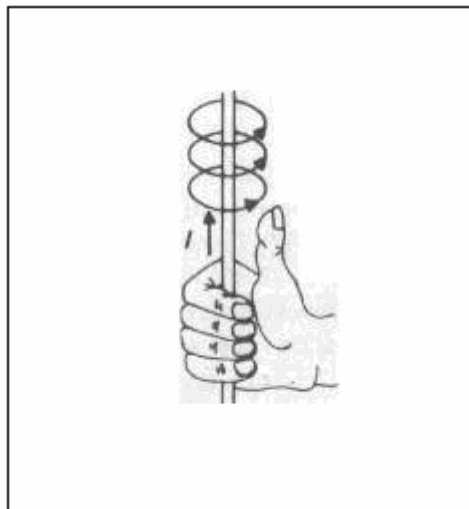
Obr. 33.: Siločáry permanentního magnetu [18]

### Magnetické pole přímého vodiče s proudem a cívky s proudem

Magnetické pole vzniká kolem každého vodiče jímž protéká elektrický proud. Je tvořeno magnetickými indukčními čarami (siločáry v podobě uzavřených křivek), jejichž rovina je pak kolmá ke směru protékajícího elektrického proudu.

V případě cívky, kdy se jedná o několik jednotlivých proudových závitů cívky uspořádaných v řadě za sebou, se magnetické indukční čáry protahují. Uvnitř cívky je magnetické pole homogenní. V místech, kde siločáry z cívky vystupují, se nachází severní magnetický pól, místa, kde siločáry do cívky vstupují jsou místem jižního magnetického pólu.

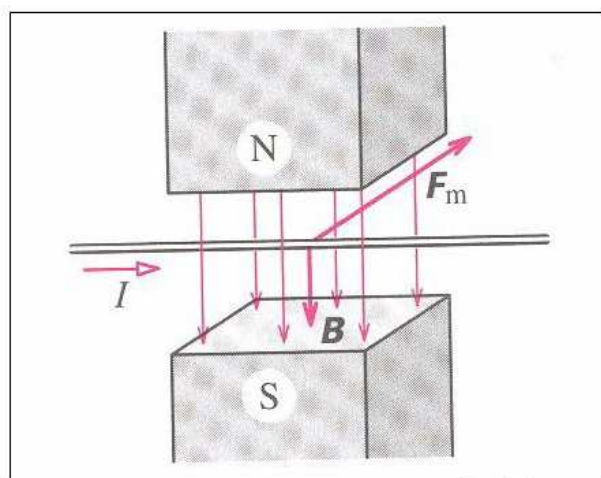
Ke stanovení orientace magnetických indukčních čar používáme **Ampérovo pravidlo pravé ruky**. Podle uvedeného pravidla pro přímý vodič platí, že pokud uchopíme vodič do pravé ruky tak, aby palec ukazoval dohodnutý směr proudu ve vodiči, pak prsty ukazují orientaci magnetických indukčních čar. Pokud pravidlo aplikujeme pro cívku, platí, že pokud prsty ukazují dohodnutý směr proudu v závitěch, pak palec ukazuje orientaci magnetických indukčních čar.



Obr. 34.: Ampérovovo pravidlo pravé ruky [18]

### 3.3 Magnetická indukce

V magnetickém poli na sebe vzájemně působí jednotlivá magnetická pole vytvořená např. mezi cívkami s elektrickým proudem, mezi dvěma vodiči s elektrickým proudem nebo mezi dvěma permanentními magnety. Magnetické pole charakterizujeme vektorovou veličinou **magnetická indukce  $B$** . Její velikost závisí jen na magnetickém poli, směr je definován jako tečna k magnetickým indukčním čarám a identickou orientací s magnetickými indukčními čarami (viz. Obr.29).



Obr. 35.: Vodič v homogenním poli dvou permanentních magnetů [18]

Hodnotu magnetické indukce přímého vodiče stanovíme ze vztahu:

$$B = \mu * \frac{I}{2\pi d} \quad (4)$$

Hodnotu magnetické indukce ve středu proudového závitů stanovíme ze vztahu:

$$B = \mu * \frac{I}{2r} \quad (5)$$

Hodnotu magnetické indukce cívky stanovíme ze vztahu:

$$B = \mu * \frac{N * I}{l} \quad (6)$$

kde: B – magnetická indukce [T]

$\mu$  – permeabilita prostředí

I – protékající proud [A]

d – vzdálenost od vodiče [m]

r – poloměr závitů [m]

N – počet závitů cívky

Pro velikost magnetické síly  $F_m$ , působící v magnetickém poli na vodič s proudem platí:

$$F_m = B * I * l * \sin \beta \quad (7)$$

kde:  $F_m$  – magnetická síla [N]

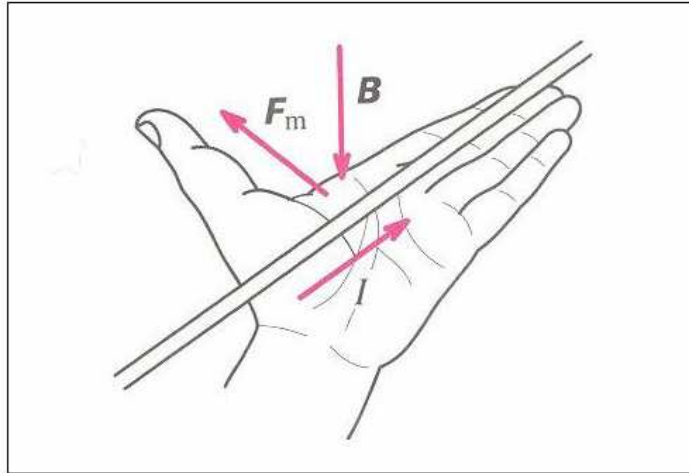
B – magnetická indukce [T]

I - proud protékající vodičem [A]

l – aktivní délka vodiče [m]

$\beta$  – úhel sevřený vektorem B a vodičem

Směr síly  $F_m$  stanovíme **Flemingovým pravidlem levé ruky**, které říká, že pokud prsty ukazují směr proudu a indukční čáry vstupují do dlaně, pak palec ukazuje směr síly, kterou působí magnetické pole na vodič s proudem (viz. Obr.30).



Obr. 36.: Zobrazení Flemingova pravidla levé ruky  
(18)

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 4 POPIS PRACOVIŠTĚ A MĚŘÍCIHO ZAŘÍZENÍ

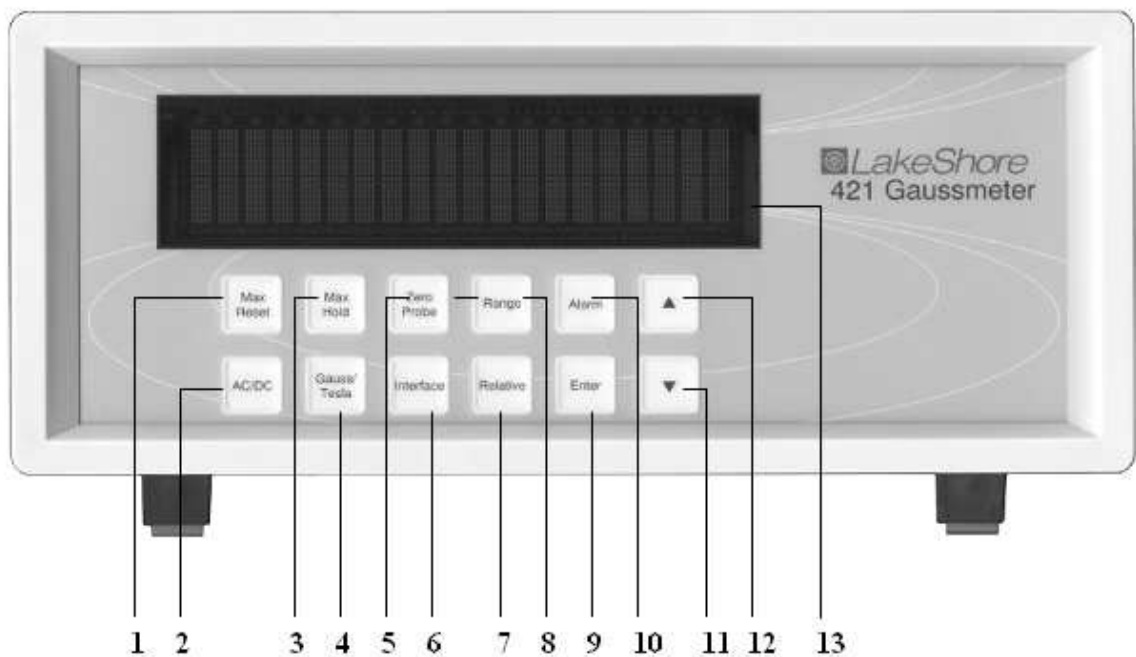
Úvodem k praktické části je seznámení s pracovištěm, měřeným a použitým měřícím zařízením. Veškerá měření byla realizována v prostorách laboratoře Fakulty aplikované informatiky UTB ve Zlíně.

### Měřící pracoviště

#### Měřící zařízení

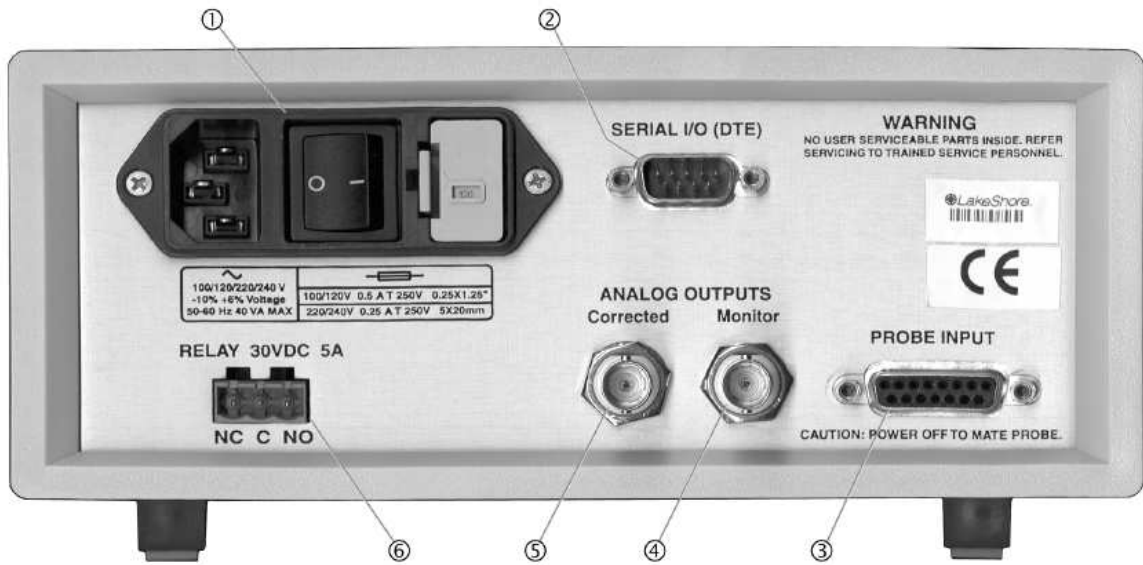
- LakeShore 421 Gaussmeter

Model LakeShore 421 Gaussmeter byl použit na měření elektromagnetické indukce. Zařízení se vyznačuje snadnou manipulací, rychlou aktualizací, vysokým rozlišením a lehce odečitatelnými hodnotami na rozsáhlém vakuovém fluorescenčním displeji. Na Obr. 32 je zobrazen přední panel a na Obr.33 zadní panel měřícího zařízení.



1. Tlačítko RESET pro vynulování měřených hodnot, 2. Přepínání měření stejnosměrných/střídavých polí, 3. Zobrazení maximální naměřené hodnoty, 4. Přepínání jednotek Gauss/Tesla, 5. Tlačítko pro kalibraci měřícího přístroje, 6. Tlačítko pro nastavení rozhraní, 7. Tlačítko Relative, 8. Nastavení rozsahu měření, 9. Tlačítko Enter, 10. Tlačítko pro nastavení alarmu, 11. Kurzorové tlačítko ▼, 12. Kurzorové tlačítko ▲, 13. Displej

Obr. 37.: LakeShore 421 Gaussmeter – přední panel [11]



1. Síťové napájení (konektor síťového kabelu + vypínač), 2. Sériové rozhraní RS232, 3. Vstupní rozhraní sondy (D konektor 15 pin), 4. Analogový výstup pro monitor (konektor BNC), 5. Korigovaný analogový výstup (konektor BNC), 6. Přenosový terminálový blok

Obr. 38.: LakeShore 421Gaussmeter - zadní strana [11]

• LakeShore Axiální sonda

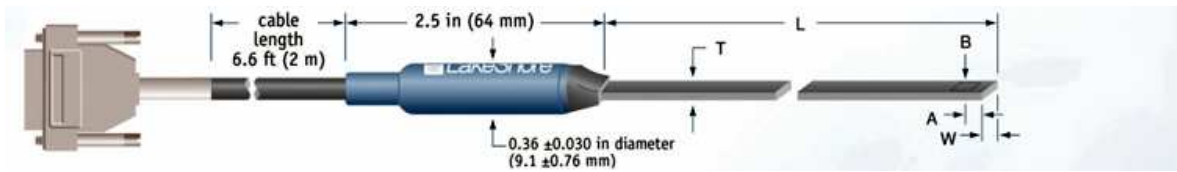


	L	D		Aktivní oblast	Stem Materiál	Frekvenční rozsah	Použitelná v rozsahu tlaků	Opravena přesnost (% rdg)	Provozní Temp Range	Temp koeficient (max) nulová	Temp koeficient (max) kalibrace
MMA-2502-VH	2 ± 0,063 V	0.25 in dia ± 0,006 V	0.015 s ± 0,005 V	0.030 s dia (cca)	Hliník	DC a 10 Hz až 400 Hz	30 G, 300 G, 3 kg, 30 kg	± 0,25% do 30 kg	0 ° C až +75 ° C	± 0,03 g / ° C	-0,04% / ° C
MNA-1904-VH	4 ± 0,125 V	0.187 s dia ± 0,005 V	0.005 s ± 0,003 V		Laminát epoxid		300 g, 3 kg, 30 kg	± 0,15% do 30 kg		± 0,13 g / ° C	-0,005% / ° C
MMA-2502-VG	2 ± 0,063 V	0.25 in dia ± 0,006 V	0.015 s ± 0,005 V		Hliník						
MNA-1904-VG	4 ± 0,125 V	0.187 s dia ± 0,005 V	0.005 s ± 0,003 V		Laminát epoxid						

Obr. 39: LakeShore Axiální sonda [11]



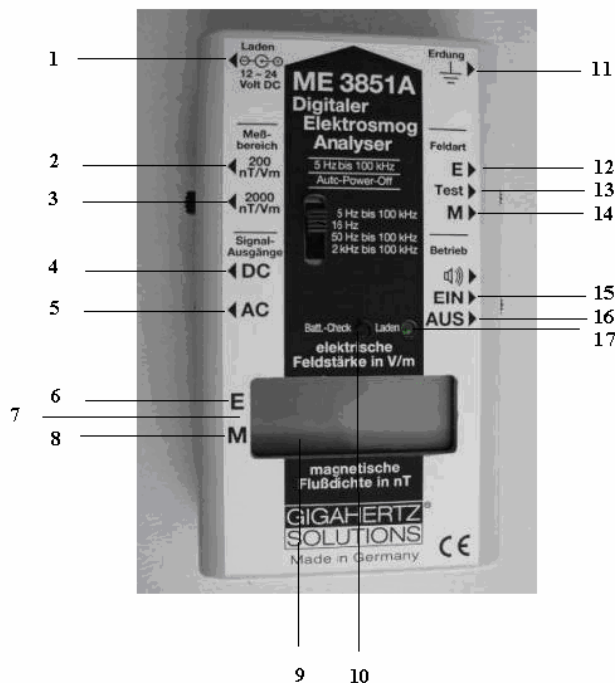
- LakeShore Příčná sonda



	L	T	W	A	Active area	Stem material	Frequency range	Usable full scale ranges	Corrected accuracy (% rdg)	Operating temp range	Temp coefficient (max) zero	Temp coefficient (max) calibration
MMT-6J04-VH	4 in ±0.125 in	0.061 in max	0.180 in ±0.005 in	0.150 in ±0.050 in	0.040 in dia (approx)	Aluminum	DC	30 G, 300 G, 3 kG, 30 kG	±0.25% to 30 kG	0 °C to +75 °C	±0.09 G/°C	-0.04%/°C
MNT-4E04-VH	4 in ±0.125 in	0.045 in max	0.150 in ±0.005 in			Rigid glass epoxy	DC and 10 Hz to 400 Hz	30 G, 300 G, 3 kG, 30 kG	±0.25% to 30 kG			
MMT-6J04-VG	4 in ±0.125 in	0.061 in max	0.180 in ±0.005 in			Aluminum	DC	300 G, 3 kG, 30 kG	±0.15% to 30 kG			
MNT-4E04-VG	4 in ±0.125 in	0.045 in max	0.150 in ±0.005 in			Rigid glass epoxy	DC and 10 Hz to 400 Hz	300 G, 3 kG, 30 kG	±0.15% to 30 kG			

Obr. 40.: LakeShore Příčná sonda [11]

- ME 3851A Digitaler Elektromog Analyser



1. Napájení, 2.,3. Měřené rozpětí, 4. DC-výstup signálu, 5. AC-výstup signálu, 6. Intenzita elektrického pole, 7. LC-displej, 8. Magnetická indukce, 9. Dvě čárky-testovací režim, 10.

LC-displej, 11. Uzemnění, 12. Elektrické pole, 13. Test, 14. Magnetické pole, 15. Zařízení zapnuto, 16. Zařízení vypnuto, 17. Světelná dioda

Obr. 41. : ME 3851A Digitaler Elektromog Analyser [11]

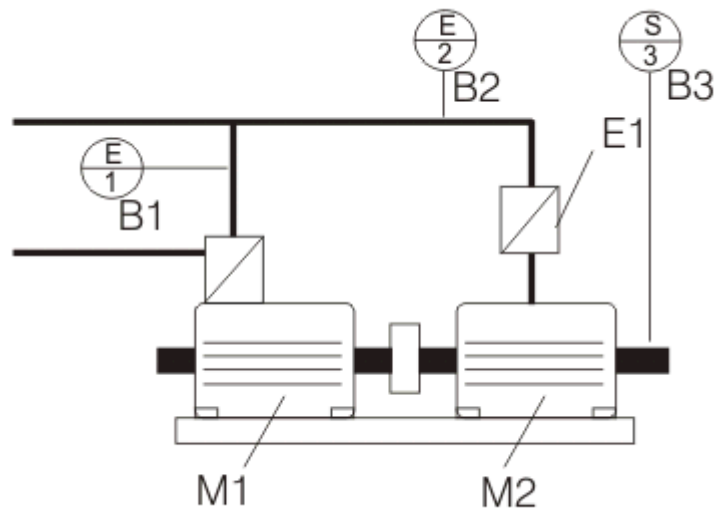
### Měřené zařízení



Obr. 42.: Měřené zařízení – sestava asynchronních motorů s integrovaným a externím frekvenčním měničem

Měřené zařízení reprezentuje sestava obsahující hnací asynchronní motor se spojitým integrovaným frekvenčním měničem a hnaný motor s externím frekvenčním měničem.

Frekvenční měniče jsou napojeny sběrnici PROFIBUS na centrální jednotku typu SIMATIC S7-300.



Obr. 43: Grafické schéma měřeného zařízení [10]

Sestava úlohy obsahuje hnací asynchronní motor (M1) se spojitým integrovaným frekvenčním měničem a hnaný motor (M2) s externím frekvenčním měničem (E1). Motor (M1) podle zadaného otáčení překonává odporový moment motoru (M2) podle jeho nastaveného otáčení. Elektronika frekvenčních měničů umožňuje měřit i příkony (E1) pro motor (M1), příkon (E2) pro motor (M2) a počet otáčení (E3). Frekvenční měniče jsou napojeny sběrnicí PROFIBUS na centrální jednotku typu SIMATIC S7-300. V následující tabulce č.3 je uveden seznam použitých technických prostředků pro sestavení měřeného zařízení..

Tab. 3.: Seznam použitých technických prostředků

Centrální jednotka	Parametr	Input	Output	Dodavatel
SIMATIC S7-300, CPU 313C-2D P	CPU SIMATIC	16DI	16 DO	Siemens
SIMATIC NET, CP 343-1	protokol TCP/IP			Siemens
SIMATIC S7-300, ANALOG INPUT SM 331		4-20mA		Siemens
SIMATIC S7-300, ANALOG OUTPUT SM 332			0-10V	Siemens
SIMATIC S7-300, POWER SUPPLY PS 307				Siemens
M1-COMBIMASTER 411 Profibus	DN25			Siemens
M2-Motor 1,5 KW, patkový, termistor ve vinutí	230VD/400, 1420ot/min.			Siemens
E1-Měnič MM 440 s příslušenstvím, Profibus	1,5kW, 400V			Siemens

## 5 POSTUP MĚŘENÍ

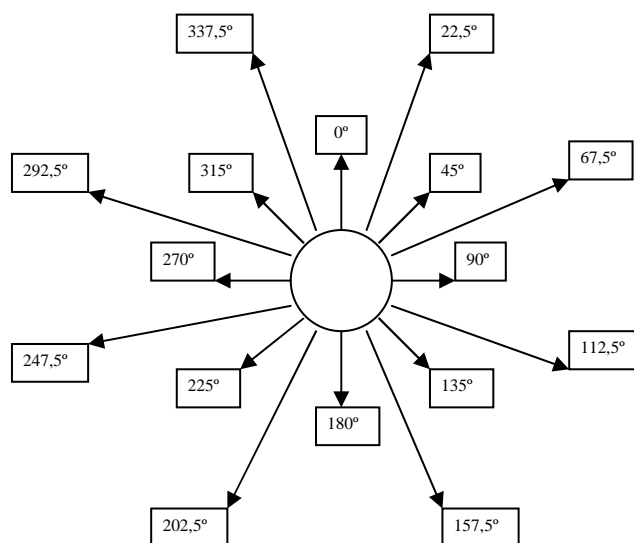
### 5.1 Měření charakteristiky sond

Pro měření byly použity dva typy měřících sond. Jednalo se o sondu axiální a příčnou. Prvním krokem bylo stanovení citlivosti a charakteristiky jednotlivých sond. Bylo provedeno zapojení a nastavení měřícího přístroje - LakeShore 421Gaussmeter a jeho propojení postupně s oběma sondami. Sonda byla upevněna k pevné podložce a byly vyznačeny tři měřené úseky - měření č.1 – 3. Následně byl přikládán permanentní magnet v jednotlivých měřených úsecích a to po obvodu sondy při úhlovém posuvu cca  $22,5^\circ$ . (viz. Obr. 39, 40)

#### Měření axiální sondy



Obr. 44.: Vyznačení měřených úseků: 1 – Měření č.1; 2 – Měření č.2; 3 – Měření č.3

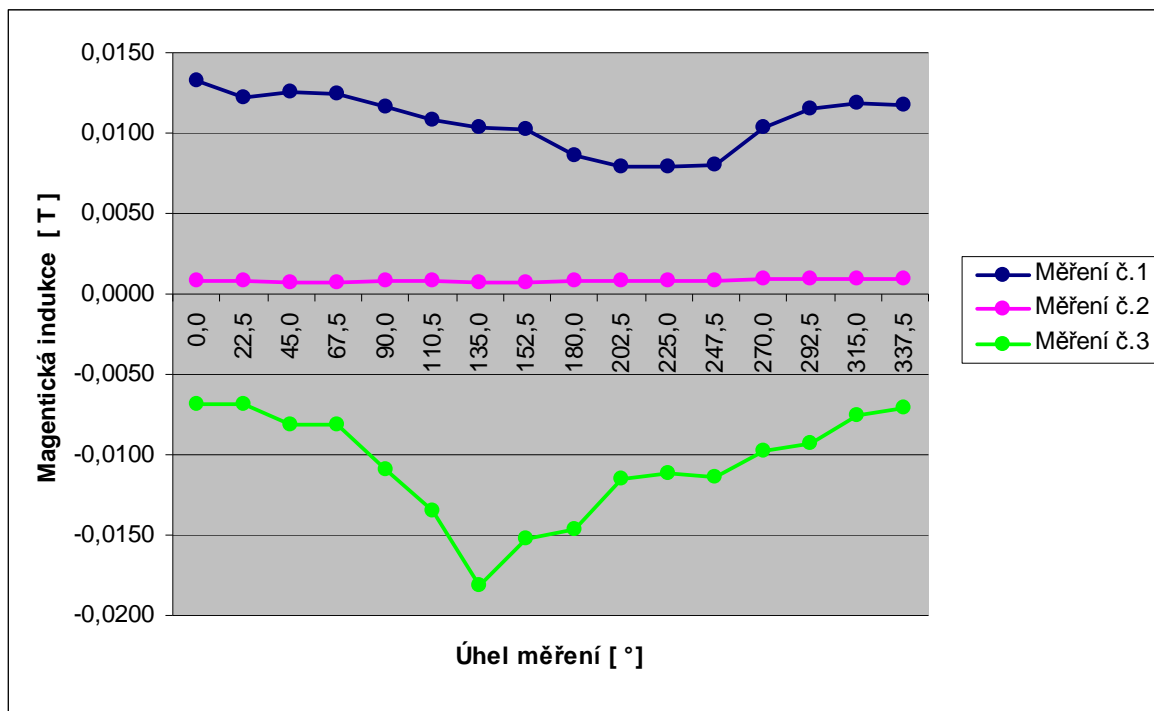


Obr. 45.: Úhlový posuv magnetu po obvodu sondy

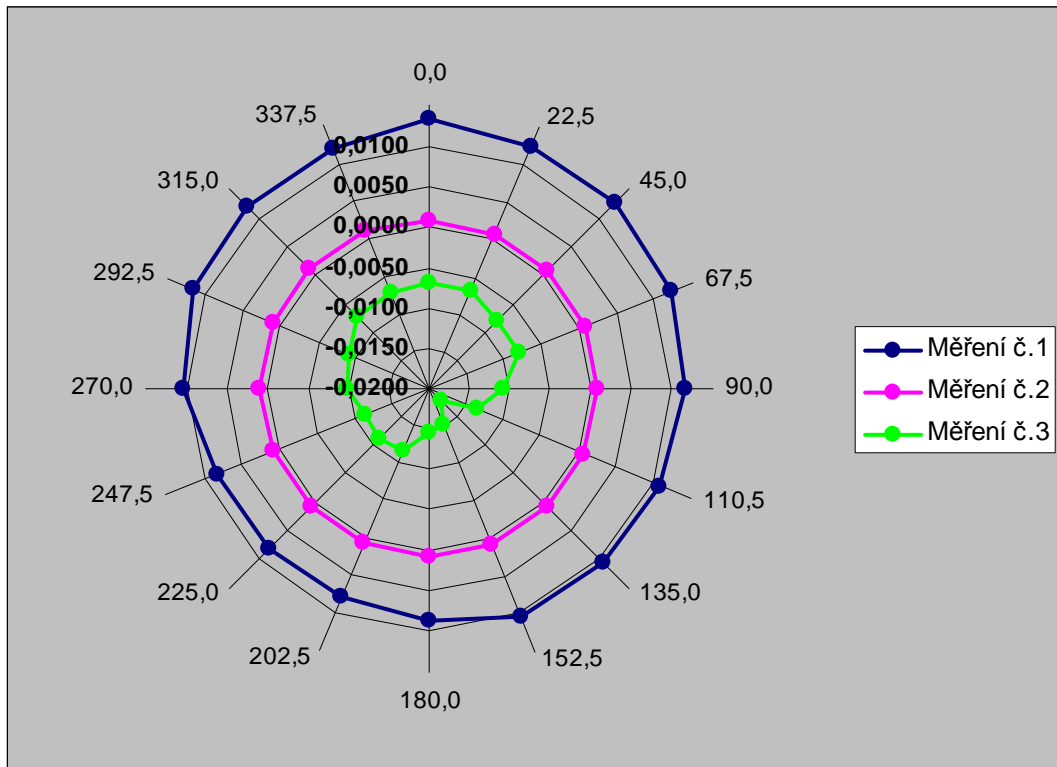
1. měření při použití jednoho permanentního magnetu:

Tab. 4.: Měření charakteristiky axiální sondy při použití 1 magnetu

Úhel měření [ ° ]	Měření č.1 [Tesla]	Měření č.2 [Tesla]	Měření č.3 [Tesla]
0,0	0,0132	0,0008	-0,0069
22,5	0,0122	0,0008	-0,0069
45,0	0,0126	0,0007	-0,0081
67,5	0,0124	0,0007	-0,0081
90,0	0,0116	0,0008	-0,0109
112,5	0,0108	0,0008	-0,0135
135,0	0,0103	0,0007	-0,0181
157,5	0,0102	0,0007	-0,0152
180,0	0,0086	0,0008	-0,0146
202,5	0,0079	0,0008	-0,0115
225,0	0,0079	0,0008	-0,0112
247,5	0,0080	0,0008	-0,0114
270,0	0,0104	0,0009	-0,0098
292,5	0,0115	0,0009	-0,0093
315,0	0,0119	0,0009	-0,0075
337,5	0,0118	0,0009	-0,0071



Graf 1.: Charakteristika axiální sondy při použití 1 magnetu (spojnicový graf)

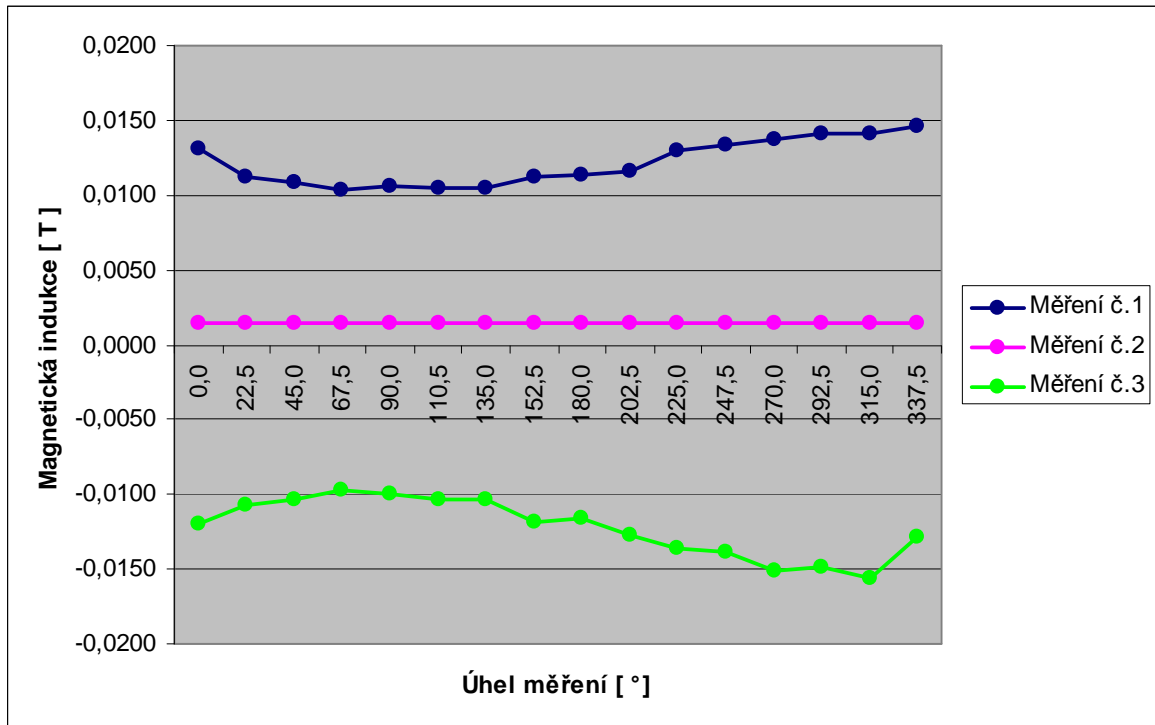


Graf 2.: Charakteristika axiální sondy při použití 1 magnetu (paprskový graf)

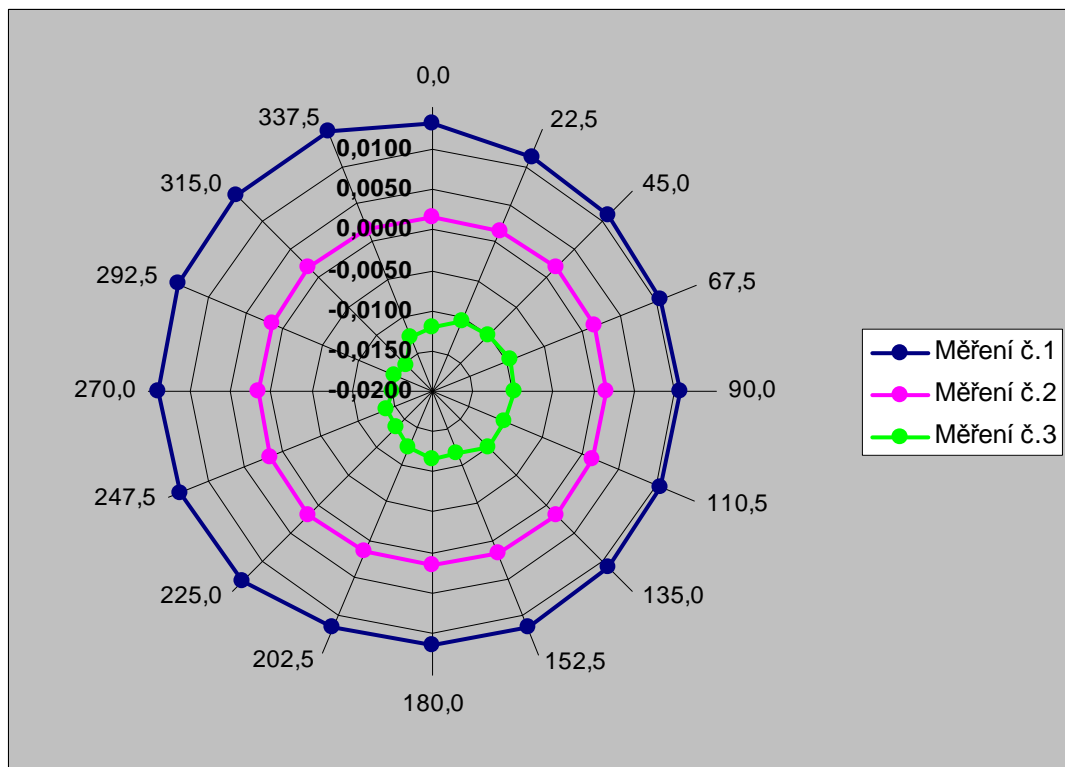
## 2. měření při použití dvou permanentních magnetů:

Tab. 5.: Měření charakteristiky axiální sondy při použití 2 magnetů

Úhel měření [ ° ]	Měření č.1 [Tesla]	Měření č.2 [Tesla]	Měření č.3 [Tesla]
0,0	0,0131	0,0015	-0,0120
22,5	0,0112	0,0014	-0,0107
45,0	0,0109	0,0014	-0,0104
67,5	0,0104	0,0014	-0,0097
90,0	0,0106	0,0014	-0,0100
112,5	0,0105	0,0014	-0,0104
135,0	0,0105	0,0014	-0,0104
157,5	0,0112	0,0014	-0,0118
180,0	0,0114	0,0014	-0,0116
202,5	0,0116	0,0014	-0,0127
225,0	0,0130	0,0014	-0,0136
247,5	0,0134	0,0014	-0,0139
270,0	0,0137	0,0015	-0,0151
292,5	0,0141	0,0015	-0,0148
315,0	0,0141	0,0014	-0,0156
337,5	0,0146	0,0015	-0,0128

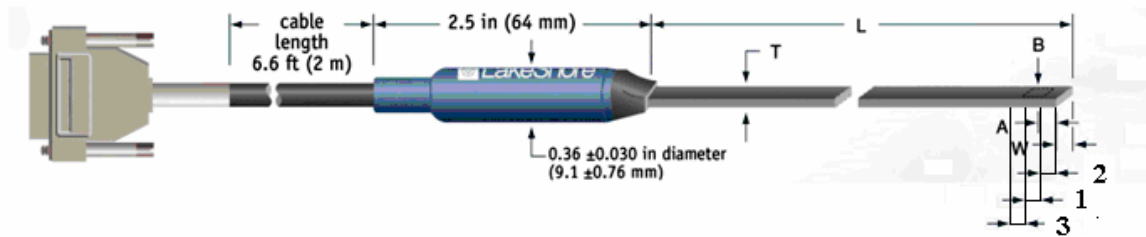


Graf 3.: Charakteristika axiální sondy při použití 2magnetů (spojnicový graf)



Graf 4.: Charakteristika axiální sondy při použití 2magnetů (paprskový graf)

## Měření příčné sondy



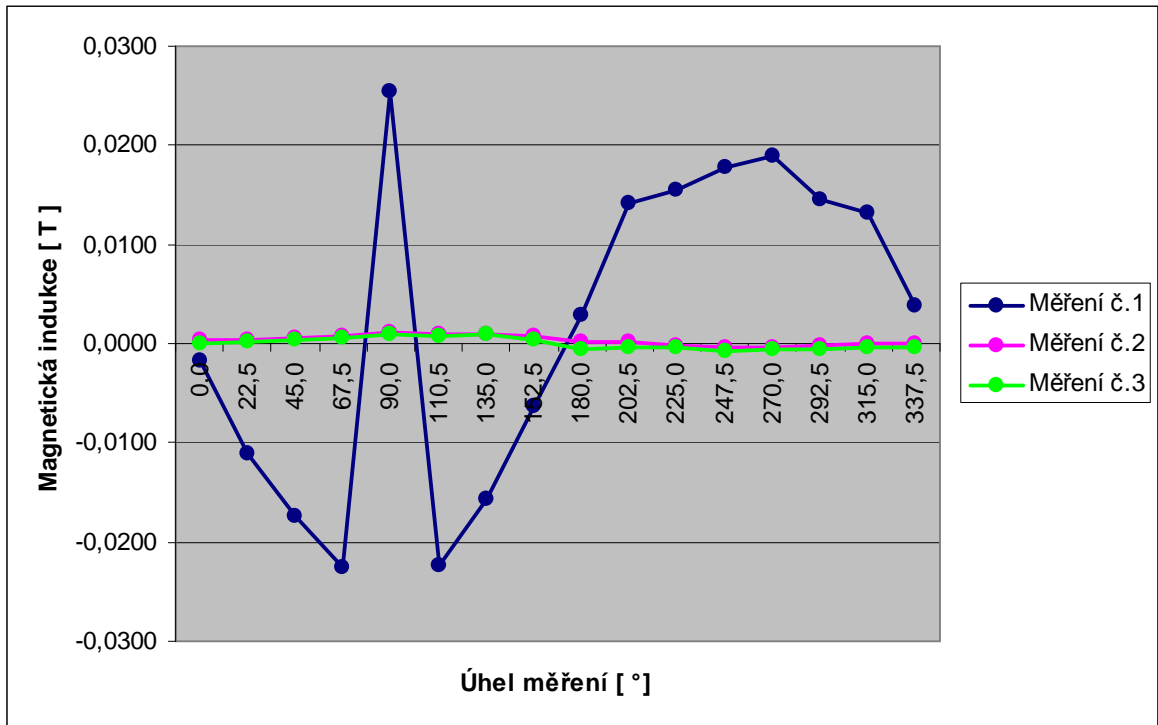
Obr. 46.: Vyznačení měřených úseků: 1 – Měření č.1; 2 – Měření č.2; 3 – Měření č.3

1. měření při použití jednoho permanentního magnetu:

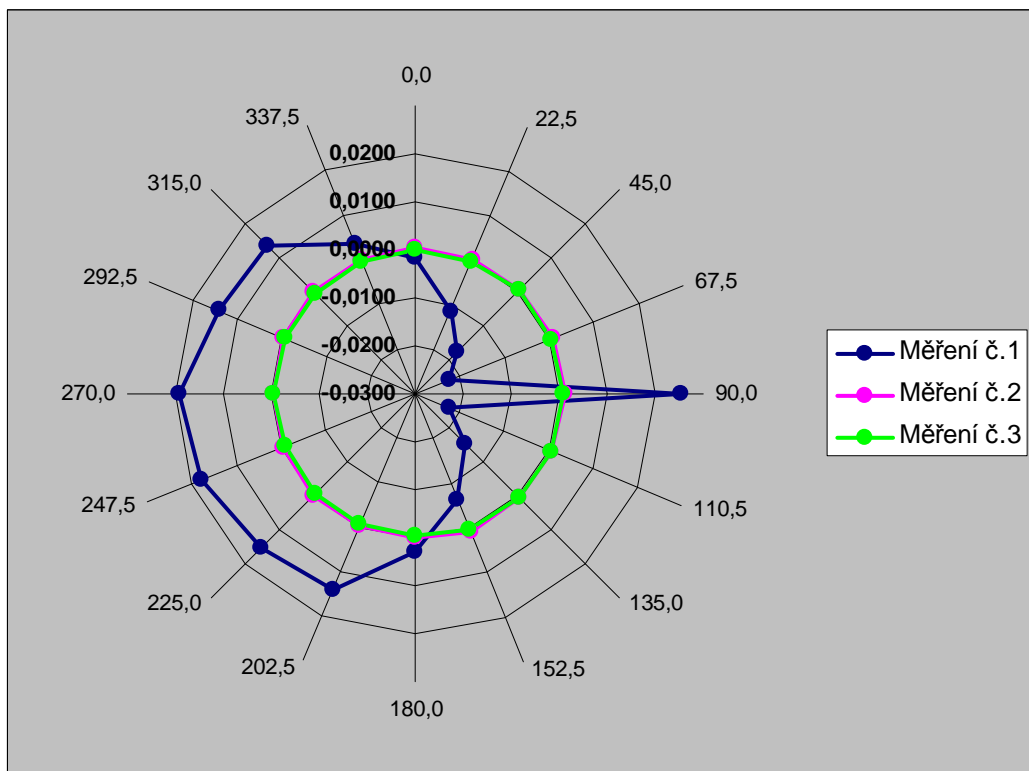
Tab. 6.: Měření charakteristiky příčné sondy při použití 1 magnetu

Úhel měření [ ° ]	Měření č.1 [Tesla]	Měření č.2 [Tesla]	Měření č.3 [Tesla]
0,0	-0,0017	0,0003	0,0000
22,5	-0,0111	0,0004	0,0002
45,0	-0,0174	0,0006	0,0004
67,5	-0,0226	0,0008	0,0005
90,0	0,0254	0,0012	0,0010
112,5	-0,0223	0,0010	0,0007
135,0	-0,0156	0,0010	0,0009
157,5	-0,0063	0,0007	0,0003
180,0	0,0028	0,0002	-0,0005
202,5	0,0142	0,0001	-0,0003
225,0	0,0155	-0,0001	-0,0004
247,5	0,0178	-0,0003	-0,0008
270,0	0,0190	-0,0003	-0,0006
292,5	0,0145	-0,0002	-0,0006
315,0	0,0132	0,0000	-0,0004
337,5	0,0038	0,0000	-0,0004





Graf 5.: Charakteristika příčné sondy při použití 1magnetu (spojnicový graf)

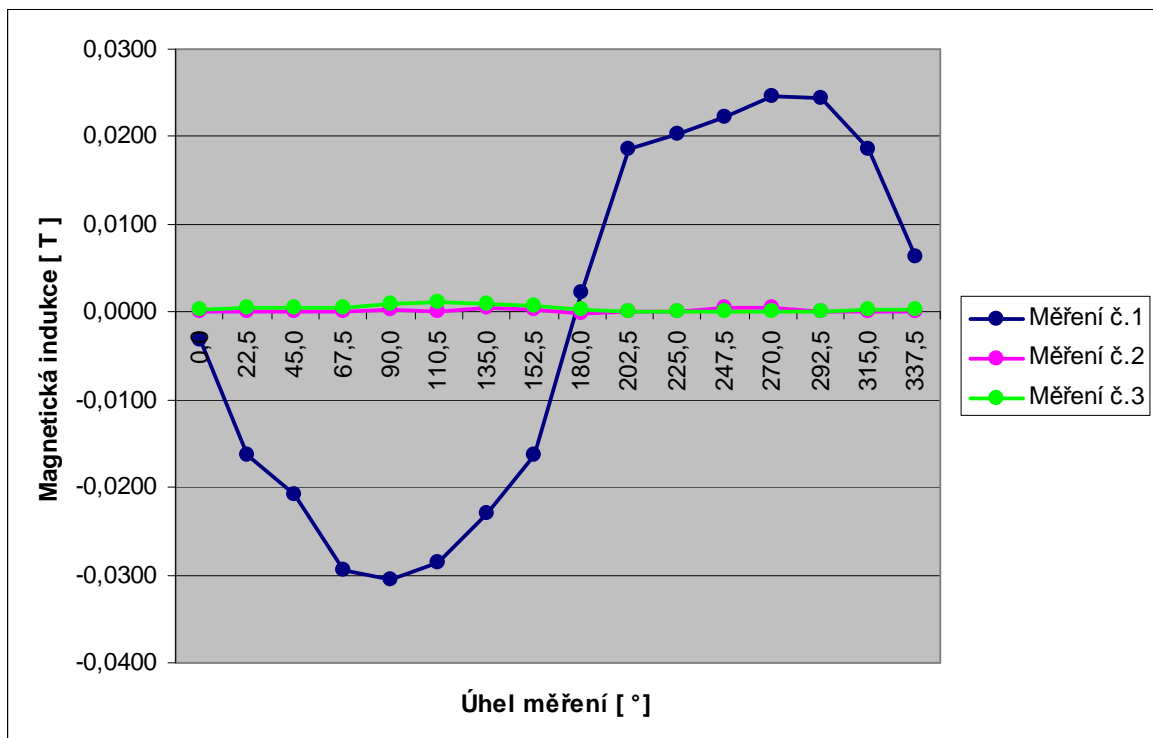


Graf 6.: Charakteristika příčné sondy při použití 1magnetu (paprskový graf)

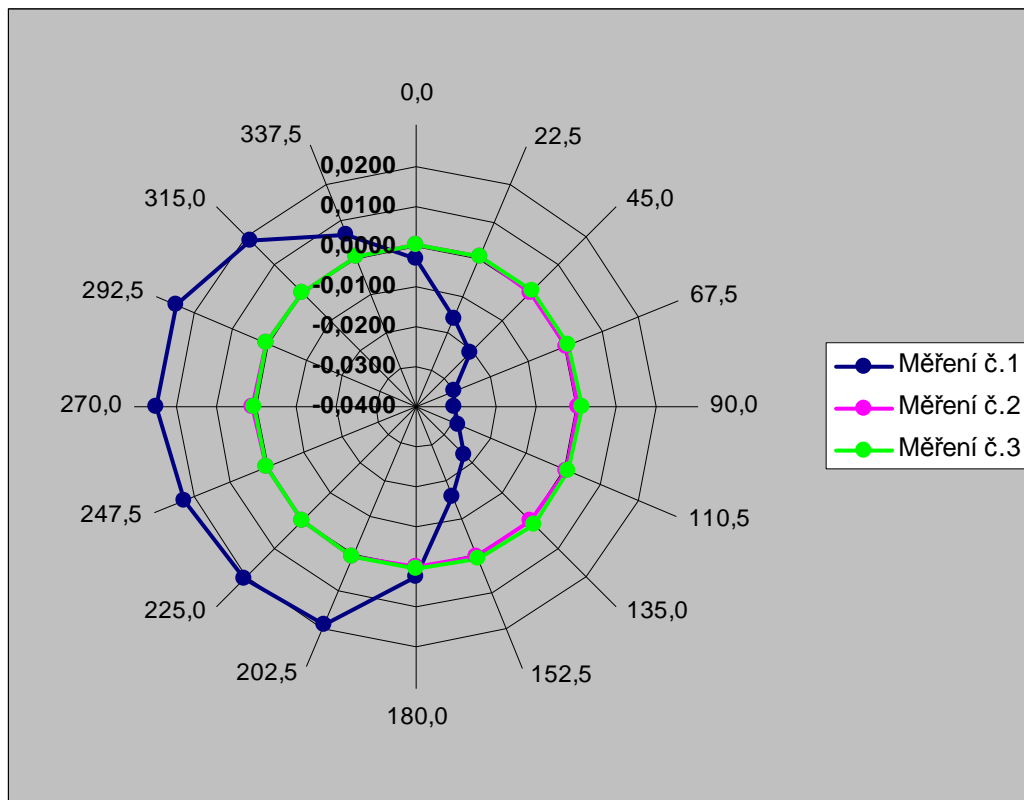
2. měření při použití dvou permanentních magnetů:

Tab. 7.: Měření charakteristiky příčné sondy při použití 2 magnetů

Úhel měření [ ° ]	Měření č.1 [Tesla]	Měření č.2 [Tesla]	Měření č.3 [Tesla]
0,0	-0,0032	0,0000	0,0002
22,5	-0,0162	0,0000	0,0004
45,0	-0,0209	0,0000	0,0006
67,5	-0,0294	0,0001	0,0005
90,0	-0,0305	0,0003	0,0010
112,5	-0,0285	0,0001	0,0011
135,0	-0,0230	0,0004	0,0010
157,5	-0,0164	0,0002	0,0007
180,0	0,0022	-0,0001	0,0002
202,5	0,0186	0,0000	0,0001
225,0	0,0204	0,0000	0,0000
247,5	0,0222	0,0004	0,0000
270,0	0,0246	0,0005	0,0001
292,5	0,0243	0,0000	0,0001
315,0	0,0185	0,0000	0,0003
337,5	0,0064	0,0001	0,0002



Graf 7.: Charakteristika příčné sondy při použití 2magnetů (spojnicový graf)



Graf 8.: Charakteristika příčné sondy při použití 2magnetů (paprskový graf)

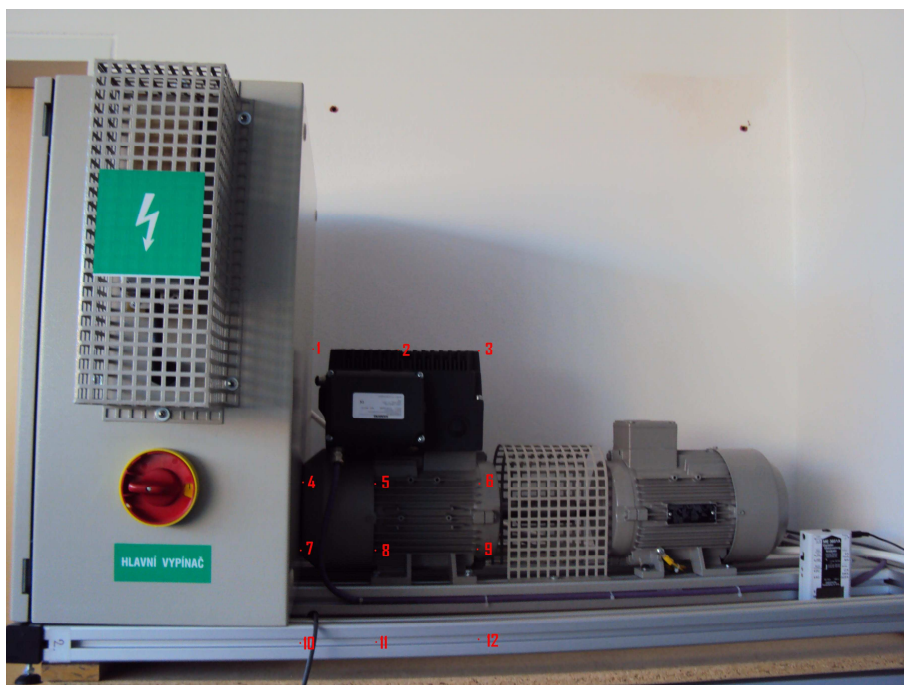
Měření bylo zjištěno, že maximální citlivost u obou druhů sond je vykazována v úseku, v kterém bylo realizováno měření č.1. Citlivost u axiální sondy je v tomto úseku rovnoměrně rozložena po celém obvodu sondy. U sondy příčné je nejvyšší citlivost vykazována v tomto úseku z obou zploštělých stran.

## 5.2 První sada měření

Výsledků měření citlivosti a charakteristiky jednotlivých sond bylo využito v navazujících krocích.

Nejprve bylo provedeno měření s axiální sondou. Na povrchu zařízení bylo stanoveno 12 bodů pro následné měření. Zařízení bylo zapojeno ke zdroji střídavého proudu 230V. Do prostoru zařízení byl umístěn Digitaler Elektromog Analyser ME 3851A, nastaveno měřené rozpětí 2000 nT/Vm, frekvenční rozpětí 5 Hz až 100 kHz a přístroj byl uzemněn. Vyvoláním adresy „<http://labi.fai.utb.cz>“ přes síť Internet byla spuštěna úloha DE 4 Řízení

otáček motorů, projektu Laboratoří integrované automatizace. V programu byly postupně nastaveny různé varianty hodnot otáček micromasteru a combimasteru [%] a délka experimentu [min]. Stiskem tlačítka “Spustit” bylo zařízení uvedeno do chodu. Axiální sonda byla přikládána k jednotlivým měřeným bodům ve směru osy “x” a naměřené hodnoty byly odečteny z displeje gaussmeteru, nastaveného na efektivní hodnotu, označovanou indexem RMS (z angl. „*Root Mean Square*“) a jednotky [mT] . Na displeji Digitaler Elektromog Analyseru byly odečteny získané hodnoty magnetického a elektrického pole.



Obr. 47.: Měřené zařízení s vyznačením měřených bodů

## 1. měření

Zadané parametry měřeného zařízení:

Micromaster	30 [%]
Combimaster	20 [%]
Délka experimentu	30 [min]

Tab. 8.: Hodnoty 1.měření

Body\Počet měření v jednotkách [mT]	1	2	3	4	5	6	max. hodnota [mT]	min. hodnota [mT]	$\bar{x}$ - střední hodnota [mT]	s - směrodatná odchylka
1.	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,00600	0,00000
2.	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,000	0,00100	0,00000
3.	0,004	0,004	0,005	0,004	0,004	0,004	0,005	0,004	0,00417	0,00037
4.	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	0,01700	0,00000
5.	0,192	0,180	0,184	0,185	0,185	0,186	0,192	0,180	0,18533	0,00354
6.	0,142	0,131	0,137	0,140	0,130	0,126	0,142	0,126	0,13433	0,00573
7.	0,023	0,023	0,023	0,023	0,023	0,024	0,024	0,023	0,02317	0,00037
8.	0,218	0,219	0,221	0,209	0,212	0,225	0,225	0,209	0,21733	0,00537
9.	0,144	0,132	0,154	0,153	0,132	0,135	0,154	0,132	0,14167	0,00929
10.	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,00200	0,00000
11.	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,00100	0,00000
12.	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,00100	0,00000

Hodnota magnetického pole	160[nT]
Hodnota elektrického pole	17 [V/m]

## 2. měření

Zadané parametry měřeného zařízení:

Micromaster 50 [%]

Combimaster 40 [%]

Délka experimentu 30 [min]

Tab. 9.: Hodnoty 2. měření

Body\Počet měření v jednotkách [mT]	1	2	3	4	5	6	max. hodnota [mT]	min. hodnota [mT]	$\bar{x}$ - střední hodnota [mT]	s - směrodatná odchylka
1.	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,00400	0,00000
2.	0,001	0,001	0,001	0,000	0,001	0,001	0,001	0,001	0,00083	0,00037
3.	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,00300	0,00000
4.	0,014	0,014	0,015	0,014	0,015	0,015	0,015	0,014	0,01450	0,00050
5.	0,156	0,157	0,144	0,157	0,147	0,158	0,158	0,144	0,15317	0,00552
6.	0,112	0,113	0,114	0,127	0,120	0,120	0,127	0,112	0,11767	0,00525
7.	0,021	0,021	0,021	0,021	0,021	0,020	0,021	0,020	0,02083	0,00037
8.	0,166	0,165	0,170	0,166	0,157	0,151	0,170	0,151	0,16250	0,00645
9.	0,132	0,130	0,121	0,109	0,097	0,096	0,132	0,096	0,11417	0,01453
10.	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,00200	0,00000
11.	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,00100	0,00000
12.	0,001	0,000	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,000	0,00083	0,00037

Hodnota magnetického pole	161 [nT]
Hodnota elektrického pole	15 [V/m]

### 3. měření

Zadané parametry měřeného zařízení:

Micromaster 75 [%]

Combimaster 65 [%]

Délka experimentu 30 [min]

Tab. 10.: Hodnoty 3. měření

Body\Počet měření v jednotkách [mT]	1	2	3	4	5	6	max. hodnota [mT]	min. hodnota [mT]	$\bar{x}$ - střední hodnota [mT]	s - směrodatná odchylka
1.	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,00300	0,00000
2.	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00000	0,00000
3.	0,003	0,002	0,002	0,003	0,003	0,002	0,003	0,002	0,00250	0,00050
4.	0,014	0,013	0,014	0,013	0,014	0,014	0,014	0,013	0,01367	0,00047
5.	0,136	0,143	0,140	0,143	0,143	0,137	0,140	0,136	0,14033	0,00292
6.	0,113	0,111	0,125	0,126	0,121	0,122	0,120	0,111	0,11967	0,00571
7.	0,019	0,019	0,019	0,018	0,019	0,019	0,019	0,018	0,01883	0,00037
8.	0,146	0,148	0,148	0,132	0,136	0,125	0,139	0,125	0,13917	0,00880
9.	0,136	0,128	0,127	0,127	0,100	0,101	0,120	0,100	0,11983	0,01402
10.	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,00100	0,00000
11.	0,001	0,001	0,001	0,001	0,000	0,000	0,001	0,000	0,00067	0,00047
12.	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,00100	0,00000

Hodnota magnetického pole	153 [nT]
Hodnota elektrického pole	17 [V/m]

## 4. měření

Zadané parametry měřeného zařízení:

Micromaster 100 [%]

Combimaster 90 [%]

Délka experimentu 30 [min]

Tab. 11.: Hodnoty 4. měření

Body\Počet měření v jednotkách [mT]	1	2	3	4	5	6	max. hodnota [mT]	min. hodnota [mT]	$\bar{x}$ - střední hodnota [mT]	s - směrodatná odchylka
1.	0,001	0,001	0,002	0,002	0,001	0,001	0,002	0,001	0,00133	0,00047
2.	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00000	0,00000
3.	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,00200	0,00000
4.	0,011	0,011	0,011	0,013	0,012	0,011	0,013	0,011	0,01150	0,00076
5.	0,138	0,127	0,126	0,126	0,124	0,122	0,138	0,122	0,12717	0,00511
6.	0,083	0,095	0,096	0,101	0,100	0,102	0,102	0,083	0,09617	0,00641
7.	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	0,01700	0,00000
8.	0,115	0,115	0,119	0,116	0,109	0,110	0,119	0,109	0,11400	0,00346
9.	0,104	0,129	0,126	0,119	0,125	0,105	0,129	0,104	0,11800	0,01000
10.	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,00100	0,00000
11.	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00000	0,00000
12.	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,00017	0,00037

Hodnota magnetického pole	140[nT]
Hodnota elektrického pole	17 [V/m]

Pro výpočet střední hodnoty a směrodatné odchylky byly použity následující vztahy:

$$\text{střední hodnota} \quad \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (8)$$

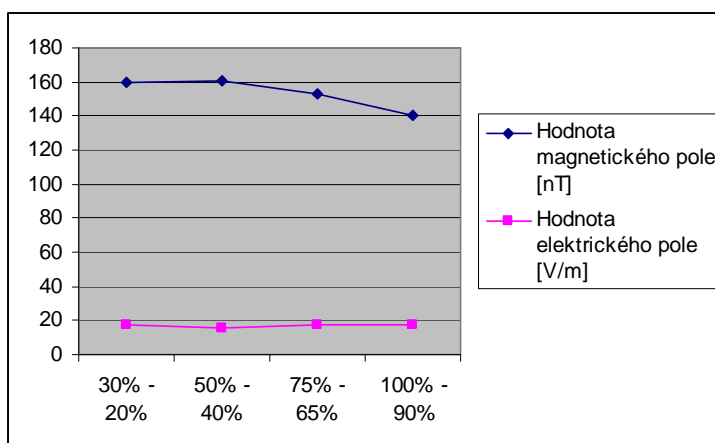
$$\text{směrodatná odchylka} \quad s = \sqrt{\left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i^2 \right) - \bar{x}^2} \quad (9)$$

### 5.2.1 Vyhodnocení první sady měření

V 1. sadě měření bylo v každé z variant provedeno šest měření v jednotlivých stanovených bodech. Z uvedených hodnot byly vypočteny střední hodnoty „ $\bar{x}$ “, které jsou využity v následujícím zpracování. Měřené zařízení bylo rozděleno imaginárními rovinami v horizontálním a vertikálním směru, tak jak je znázorněno na Obr. 48. V jednotlivých rovinách je graficky zobrazen průběh závislosti elektromagnetické indukce na variantách zatížení obou motorů. Jednotlivá nastavení motorů neovlivnila naměřené hodnoty elektrického pole, které zůstávaly téměř konstantní, na rozdíl od hodnot magnetického pole, u kterých s rostoucím zatížením docházelo k mírnému poklesu.

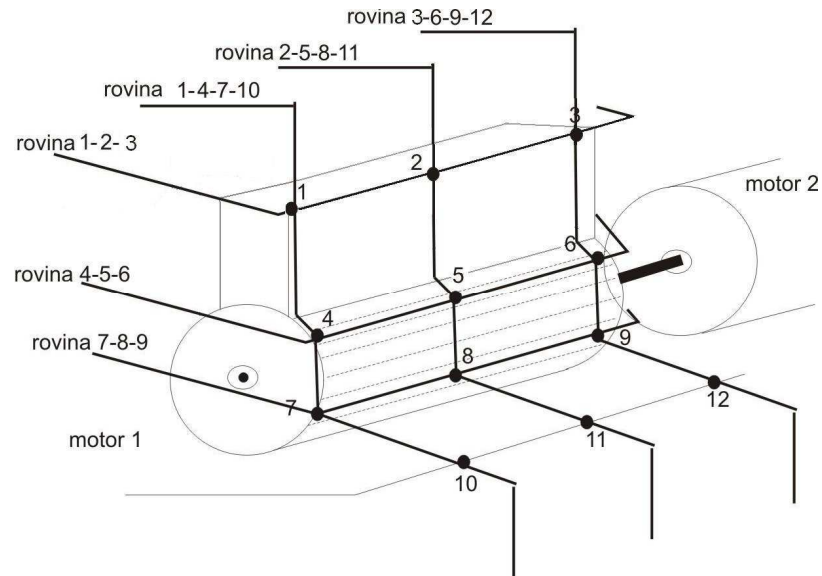
Tab. 12.: Závislost magnetického a elektrického pole na nastavení: Micromaster-Combimaster (M-C)

Nastavení: Micromaster- Combimaster	Hodnota magnetického pole [nT]	Hodnota elektrického pole [V/m]
30% - 20%	160	17
50% - 40%	161	15
75% - 65%	153	17
100% - 90%	140	17



Graf 9.: Závislost magnetického a elektrického pole na nastavení: M-C





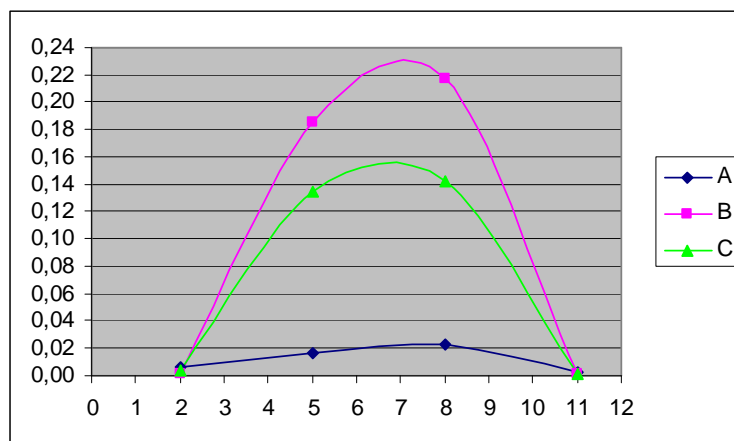
Obr. 48.: Měřené zařízení s vyznačením svislých a vodorovných rovin

**1. Nastavení 30% - 20% (Micromaster – Combimaster)**

**Vertikální roviny**

Tab. 13.: Závislost: nastavení 30% - 20% / vertikální roviny

	Rovina 1-4-7-10	Rovina 2-5-8-11	Rovina 3-6-9-12
	A [mT]	B [mT]	C [mT]
2	0,00600	0,00100	0,00417
5	0,01700	0,18533	0,13433
8	0,02317	0,21733	0,14167
11	0,00200	0,00100	0,00100

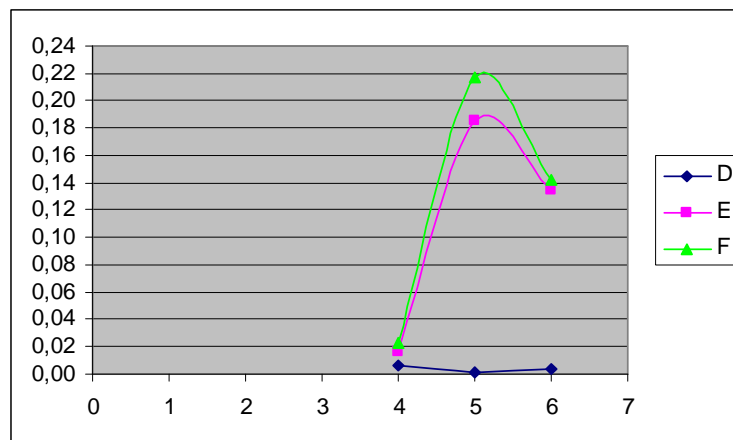


Graf 10.: Závislost: nastavení 30% - 20% / vertikální roviny

**Horizontální roviny**

Tab. 14.: Závislost: nastavení 30% - 20% / horizontální roviny

	Rovina 1-2-3	Rovina 4-5-6	Rovina 7-8-9
	D [mT]	E [mT]	F [mT]
4	0,00600	0,01700	0,02317
5	0,00100	0,18533	0,21733
6	0,00417	0,13433	0,14167

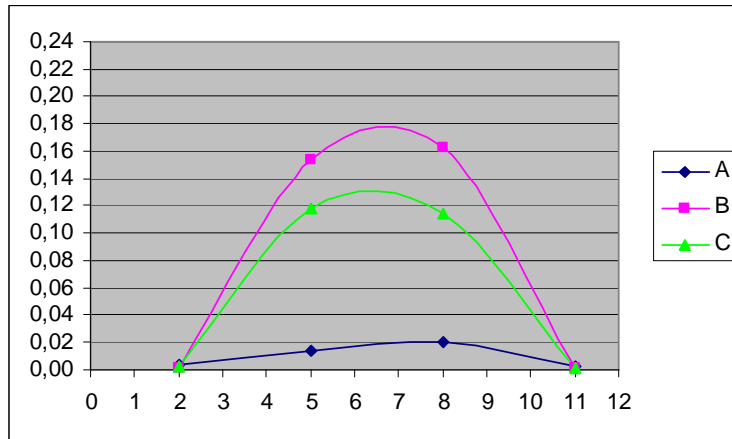


Graf 11.: Závislost: nastavení 30% - 20% / horizontální roviny

**2. Nastavení 50% - 40% (Micromaster – Combimaster)****Vertikální roviny**

Tab. 15.: Závislost: nastavení 50% - 40% / vertikální roviny

	Rovina 1-4-7-10	Rovina 2-5-8-11	Rovina 3-6-9-12
	A [mT]	B [mT]	C [mT]
2	0,00400	0,00083	0,00300
5	0,01450	0,15317	0,11767
8	0,02083	0,16250	0,11417
11	0,00200	0,00100	0,00083

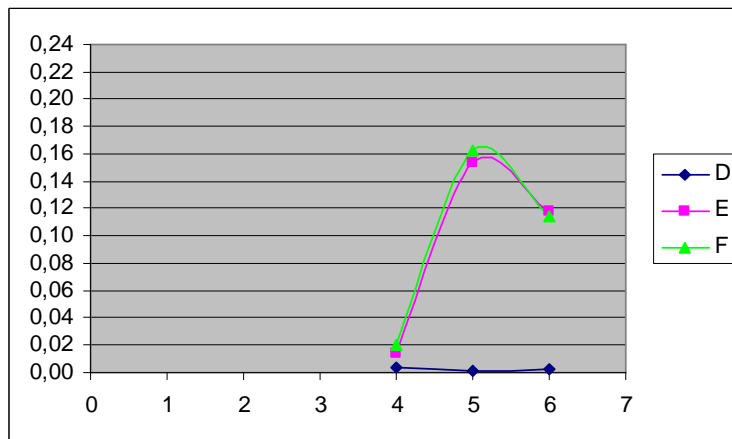


Graf 12.: Závislost: nastavení 50% - 40% / vertikální roviny

**Horizontální roviny**

Tab. 16.: Závislost: nastavení 50% - 40% / horizontální roviny

	Rovina 1-2-3	Rovina 4-5-6	Rovina 7-8-9
	D [mT]	E [mT]	F [mT]
4	0,00400	0,01450	0,02083
5	0,00083	0,15317	0,16250
6	0,00300	0,11767	0,11417



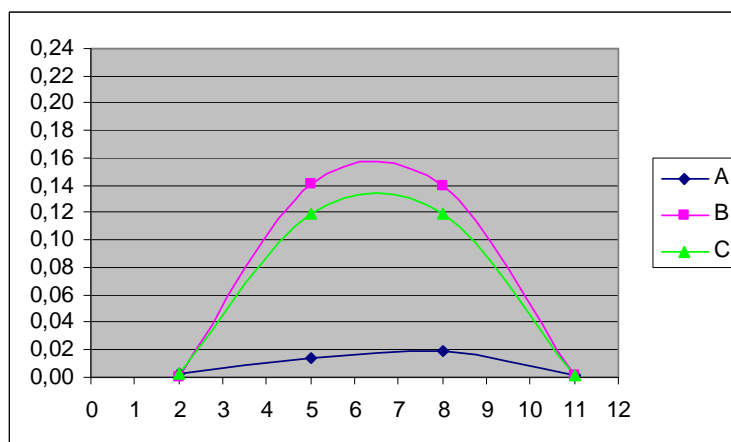
Graf 13.: Závislost: nastavení 50% - 40% / horizontální roviny

**3. Nastavení 75% - 65% (Micromaster – Combimaster)**

**Vertikální roviny**

Tab. 17.: Závislost: nastavení 75% - 65% / vertikální roviny

	Rovina 1-4-7-10	Rovina 2-5-8-11	Rovina 3-6-9-12
	A [mT]	B [mT]	C [mT]
2	0,00300	0,00000	0,00250
5	0,01367	0,14033	0,11967
8	0,01883	0,13917	0,11983
11	0,00100	0,00067	0,00100

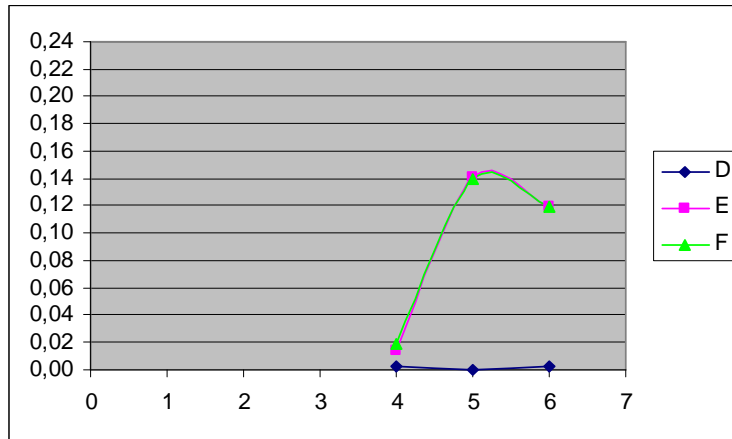


Graf 14.: Závislost: nastavení 50% - 40% / vertikální roviny

**Horizontální roviny**

Tab. 18.: Závislost: nastavení 75% - 65% / horizontální roviny

	Rovina 1-2-3	Rovina 4-5-6	Rovina 7-8-9
	D [mT]	E [mT]	F [mT]
4	0,00300	0,01367	0,01883
5	0,00000	0,14033	0,13917
6	0,00250	0,11967	0,11983



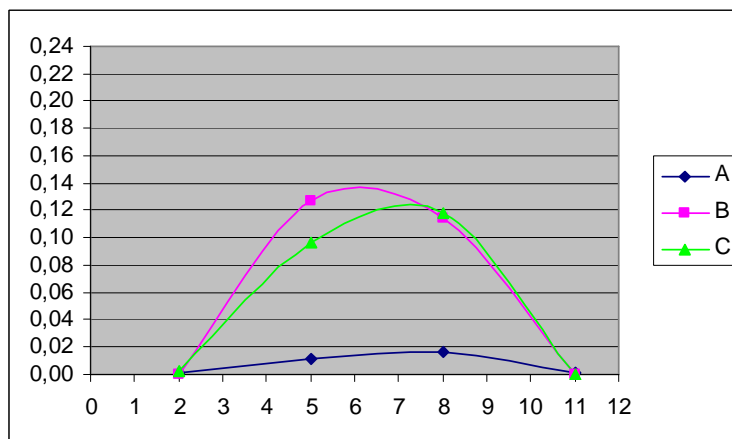
Graf 15.: Závislost: nastavení 75% - 65% / horizontální roviny

#### 4. Nastavení 100% - 90% (Micromaster – Combimaster)

##### Vertikální roviny

Tab. 19.: Závislost: nastavení 100% - 90% / vertikální roviny

	Rovina 1-4-7-10	Rovina 2-5-8-11	Rovina 3-6-9-12
	A [mT]	B [mT]	C [mT]
2	0,00133	0,00000	0,00200
5	0,01150	0,12717	0,09617
8	0,01700	0,11400	0,11800
11	0,00100	0,00000	0,00017

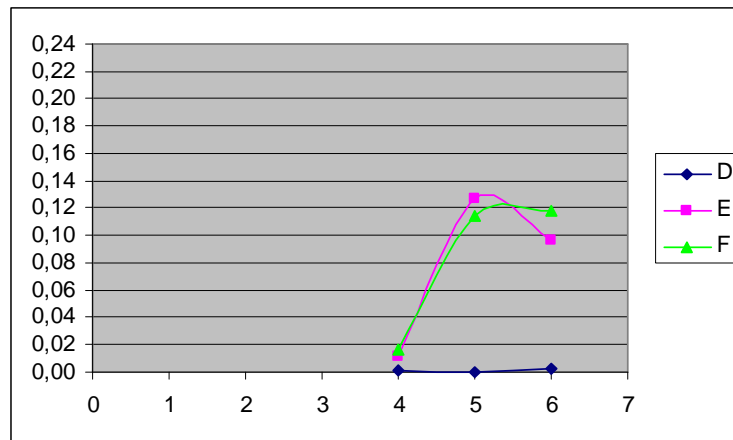


Graf 16.: Závislost: nastavení 100% - 90% / vertikální roviny

**Horizontální roviny**

Tab. 20.: Závislost: nastavení 100% - 90% /  
horizontální roviny

	Rovina 1-2-3	Rovina 4-5-6	Rovina 7-8-9
	D [mT]	E [mT]	F [mT]
4	0,00133	0,01150	0,01700
5	0,00000	0,12717	0,11400
6	0,00200	0,09617	0,11800



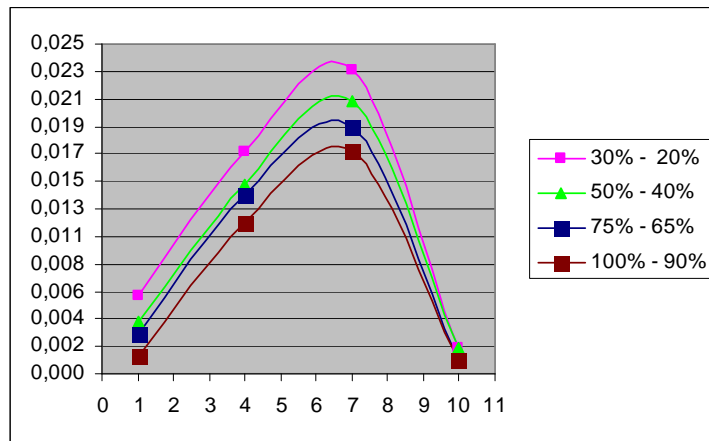
Graf 17.: Závislost: nastavení 100% - 90% /  
horizontální roviny

**Vyhodnocení závislosti vertikálních a horizontálních rovin na nastavení M-C**

**Vertikální roviny:**

Tab. 21.: Závislost roviny „1-4-7-10“ na nastavení M-C

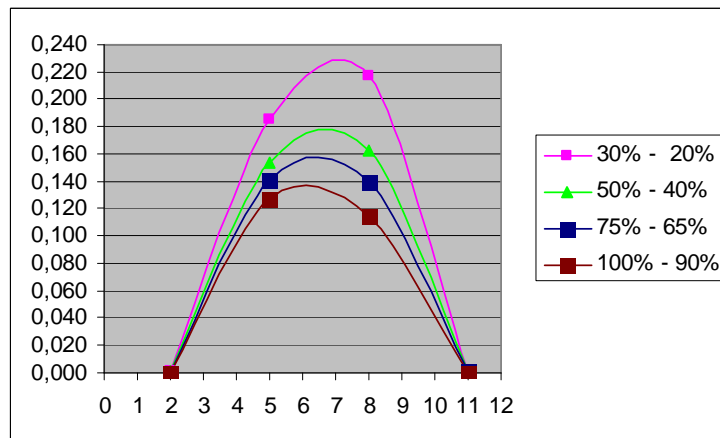
Rovina/Nastavení	30% - 20%	50% - 40%	75% - 65%	100% - 90%
1	0,00600	0,00400	0,00300	0,00133
4	0,01700	0,01450	0,01367	0,01150
7	0,02317	0,02083	0,01883	0,01700
10	0,00200	0,00200	0,00100	0,00100



Graf 18.: Zavislost roviny „1-4-7-10“ na nastavení M-C

Tab. 22.: Zavislost roviny „2-5-8-11“ na nastavení M-C

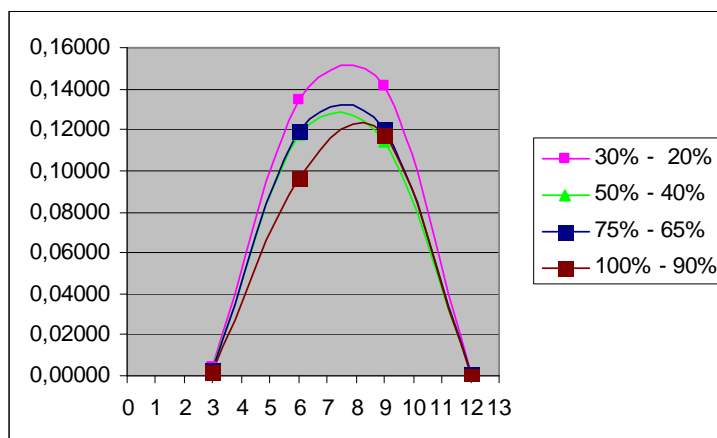
Rovina/Nastavení	30% - 20%	50% - 40%	75% - 65%	100% - 90%
2	0,00100	0,00083	0,00000	0,00000
5	0,18533	0,15317	0,14033	0,12717
8	0,21733	0,16250	0,13917	0,11400
11	0,00100	0,00100	0,00067	0,00000



Graf 19.: Zavislost roviny „2-5-8-11“ na nastavení M-C

Tab. 23.: Závislost roviny „3-6-9-12“ na nastavení M-C

Rovina/Nastavení	30% - 20%	50% - 40%	75% - 65%	100% - 90%
3	0,00417	0,00300	0,00250	0,00200
6	0,13433	0,11767	0,11967	0,09617
9	0,14167	0,11417	0,11983	0,11800
12	0,00100	0,00083	0,00100	0,00017



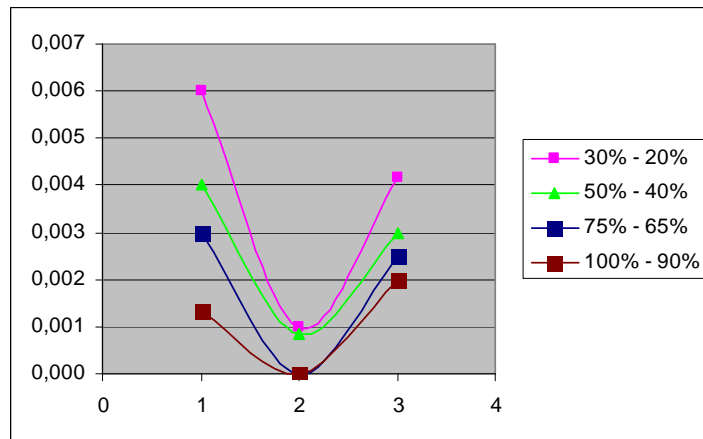
Graf 20.: Závislost roviny „3-6-9-12“ na nastavení M-C

### Horizontální roviny:

Tab. 24.: Závislost roviny „1-2-3“ na nastavení M-C

Rovina/Nastavení	30% - 20%	50% - 40%	75% - 65%	100% - 90%
1	0,00600	0,00400	0,00300	0,00133
2	0,00100	0,00083	0,00000	0,00000
3	0,00417	0,00300	0,00250	0,00200

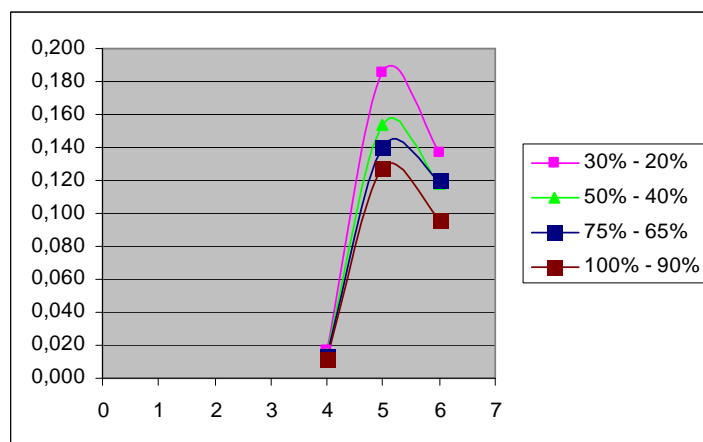




Graf 21.: Závislost roviny „1-2-3“ na nastavení M-C

Tab. 25.: Závislost roviny „4-5-6“ na nastavení M-C

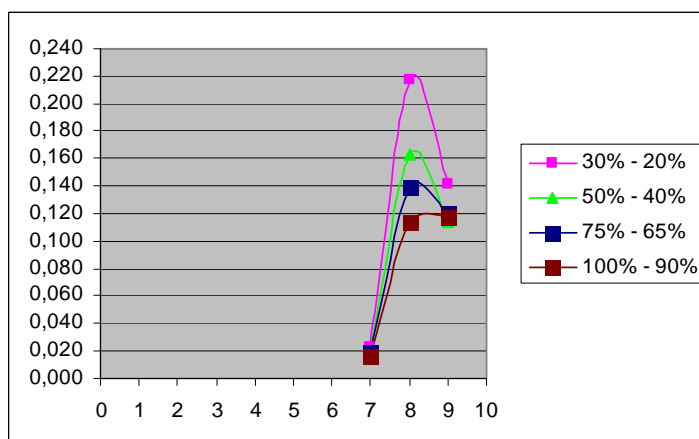
Rovina/Nastavení	30% - 20%	50% - 40%	75% - 65%	100% - 90%
4	0,01700	0,01450	0,01367	0,01150
5	0,18533	0,15317	0,14033	0,12717
6	0,13643	0,11767	0,11967	0,09617



Graf 22.: Závislost roviny „4-5-6“ na nastavení M-C

Tab. 26.: Závislost roviny „7-8-9“ na nastavení M-C

Rovina/Nastavení	30% - 20%	50% - 40%	75% - 65%	100% - 90%
7	0,02317	0,02083	0,01883	0,01700
8	0,21733	0,16250	0,13917	0,11400
9	0,14167	0,11417	0,11983	0,11800



Graf 23.: Závislost roviny „7-8-9“ na nastavení M-C

S rostoucími hodnotami v nastavení otáčení micromasteru a combimasteru dochází k poklesu naměřených hodnot elektromagnetické indukce a to jak v horizontální, tak vertikální rovině. Nejvyšších hodnot bylo dosaženo v oblasti bodů „5, 6, 8, 9“. Uvedené skutečnosti jsou nejlépe patrné v závěrečném vyhodnocení jednotlivých rovin vzhledem k zatížení motorů.

Z první sady orientačního měření pomocí axiální sondy dále vyplynuly následující skutečnosti. Naměřené hodnoty v bodech „10, 11, 12“, stanovených na rámu měřeného zařízení byly téměř zanedbatelné. Jednalo se o hodnoty jednotek v řádu tisícín mT. Rovněž hodnoty v bodech „1, 2, 3“, stanovených na externím frekvenčním měniči byly zanedbatelné. Lze konstatovat, že v daném případě tak byla prokázána kvalita neboli efektivnost stínícího krytu frekvenčního měniče. Na základě výsledků první sady měření byla provedena selekce stanovených bodů. Vzhledem k výše uvedeným skutečnostem byly pro druhou sadu měření eliminovány body „1, 2, 3, 10, 11 a 12“.

### 5.3 Druhá sada měření

Po eliminaci z první sady měření bylo pracováno s body 5, 6, 8 a 9 (viz. Obr.42). Byl dodržen totožný postup v zapojení měřeného zařízení, v nastavení měřicí techniky a hodnot v úloze DE 4 Řízení otáček motorů. Pro druhou sadu měření byla vybrána příčná sonda. Opět byly provedeny čtyři sady měření dle čtyř variant nastavení otáček micromasteru a combimasteru [%] a délky experimentu [min]. Příčná sonda byla přikládána k jednotlivým měřeným bodům postupně ve směru osy “x”, “y” a “z” (viz. Obr.43). Naměřené hodnoty v daných bodech a osách „x, y, z“ byly zpracovány dle níže uvedených matematických vztahů k vyjádření plošných vektorů „ $\downarrow x$ ,  $\downarrow y$ ,  $\downarrow z$ “ a výsledného prostorového vektoru „ $\downarrow xyz$ “. Tyto hodnoty se staly podkladem pro jejich následné grafické zobrazení.

Pro výpočet plošných vektorů a výsledného prostorového vektoru byly použity následující vztahy:

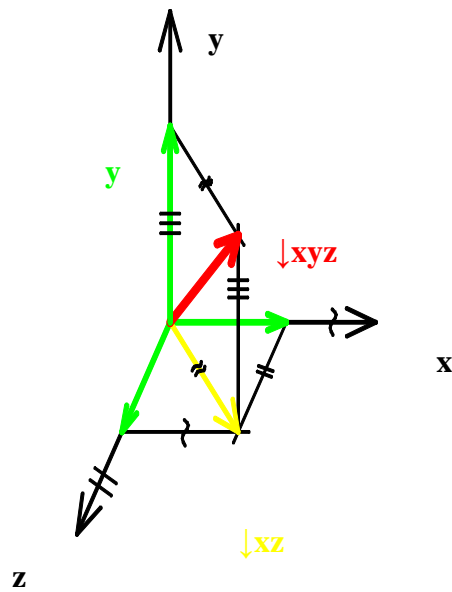
$$\text{Plošné vektory:} \quad \downarrow y = \sqrt{(z^2 + x^2)} \quad \square \text{ xz ; } \downarrow y \quad (10)$$

$$\downarrow x = \sqrt{(z^2 + y^2)} \quad \square \text{ yz ; } \downarrow x \quad (11)$$

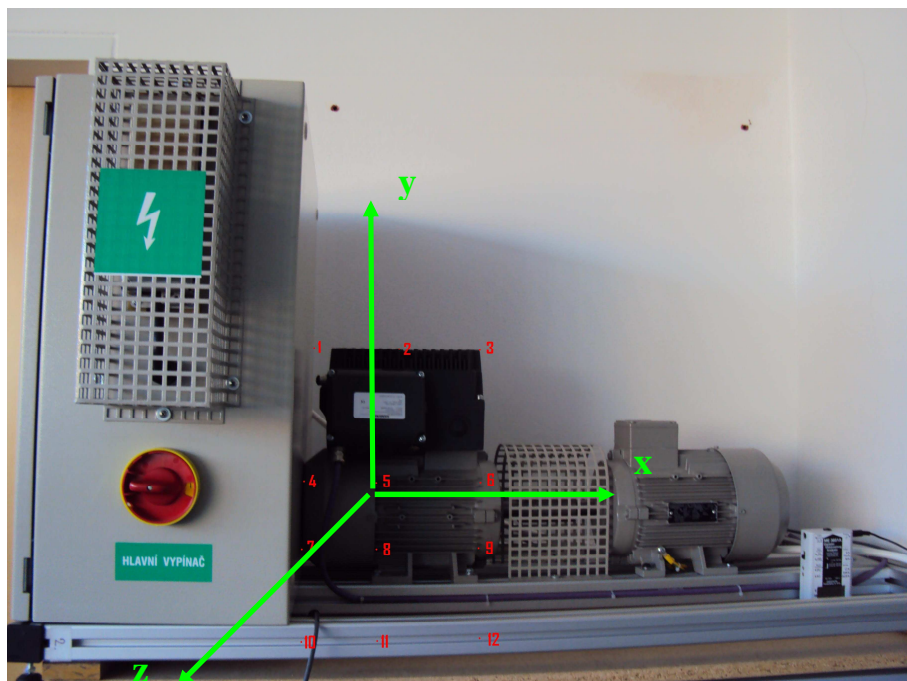
$$\downarrow z = \sqrt{(x^2 + y^2)} \quad \square \text{ xy ; } \downarrow z \quad (12)$$

$$\text{Prostorový vektor:} \quad \downarrow xyz = \sqrt{((\downarrow xz)^2 + y^2)} \quad (13)$$

Vizualizace prostorového vektoru:



Obr. 49.: Vizualizace prostorového vektoru



Obr. 50.: Měřené zařízení s vyznačením způsobu měření v osách

## 1. měření

Zadané parametry měřeného zařízení:

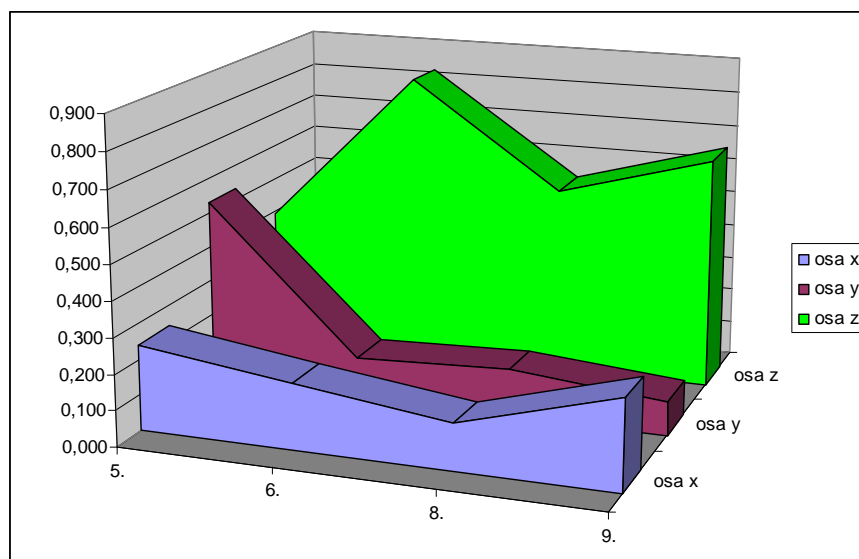
Micromaster 30 [%]

Combimaster 20 [%]

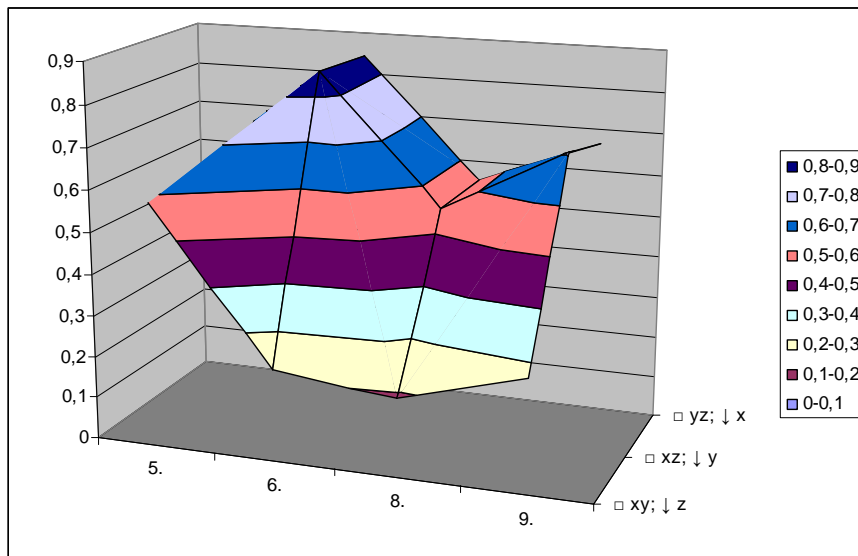
Délka experimentu 30 [min]

Tab. 27.: Hodnoty 1.měření

Body/Hodnoty v jednotkách [mT]	Hodnoty v ose " x "	Hodnoty v ose " y "	Hodnoty v ose " z "	□ xy; ↓ z	□ xz; ↓ y	□ yz; ↓ x	↓ xyz
5.	0,243	0,530	0,390	0,583051	0,459510	0,658027	0,70146204
6.	0,185	0,120	0,833	0,220511	0,853296	0,841599	0,86169252
8.	0,131	0,134	0,537	0,187395	0,552748	0,553466	0,56875830
9.	0,253	0,096	0,661	0,270601	0,707764	0,667935	0,71424506



Graf 24.: Plošný graf k prezentaci hodnot 1.měření



Graf 25.: Povrchový graf k prezentaci hodnot 1.měření

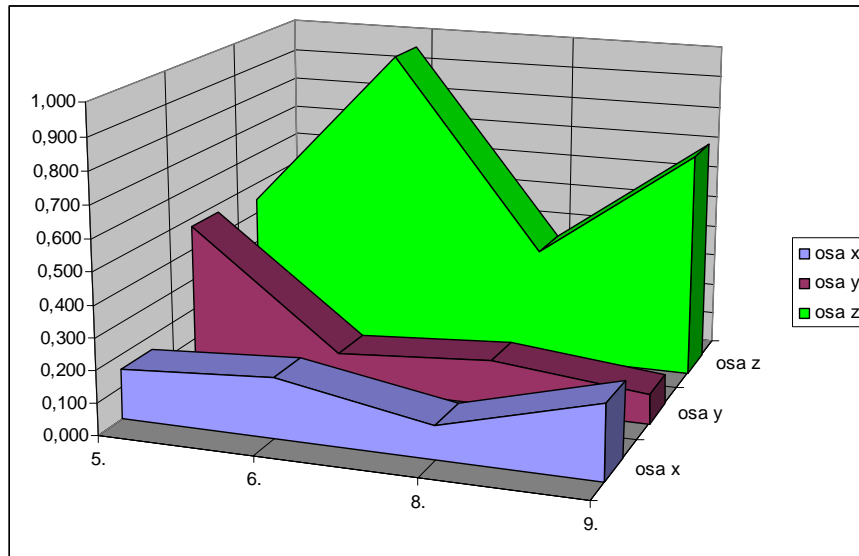
**2. měření**

Zadané parametry měřeného zařízení:

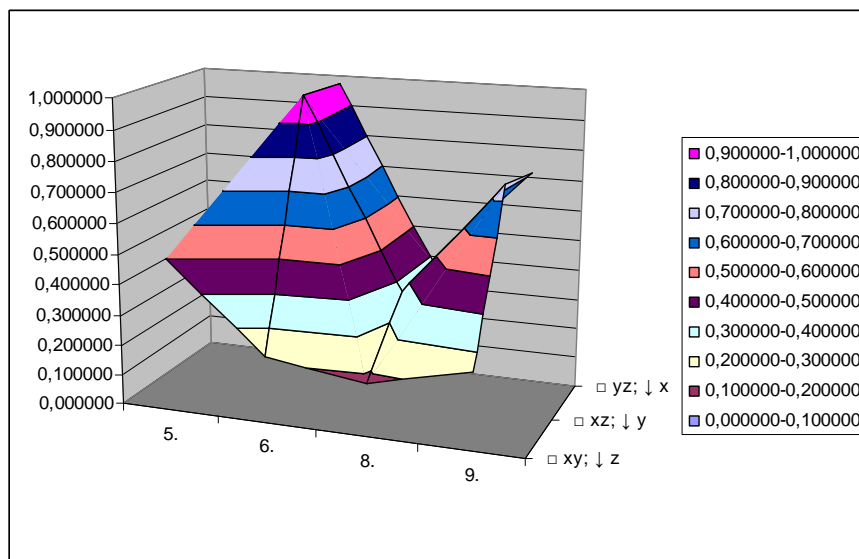
- Micromaster            50 [%]
- Combimaster           40 [%]
- Délka experimentu    30 [min]

Tab. 28.: Hodnoty 2.měření

Body/Hodnoty v jednotkách [mT]	Hodnoty v ose " x "	Hodnoty v ose " y "	Hodnoty v ose " z "	□ xy; ↓ z	□ xz; ↓ y	□ yz; ↓ x	↓ xyz
5.	0,158	0,475	0,442	0,500589	0,469391	0,648837	0,66779712
6.	0,188	0,110	0,965	0,217816	0,983142	0,971249	0,98927701
8.	0,104	0,140	0,355	0,174402	0,369920	0,381608	0,39552623
9.	0,233	0,090	0,710	0,249778	0,747254	0,715681	0,75265464



Graf 26.: Plošný graf k prezentaci hodnot 2.měření



Graf 27.: Povrchový graf k prezentaci hodnot 2.měření

### 3. měření

Zadané parametry měřného zařízení:

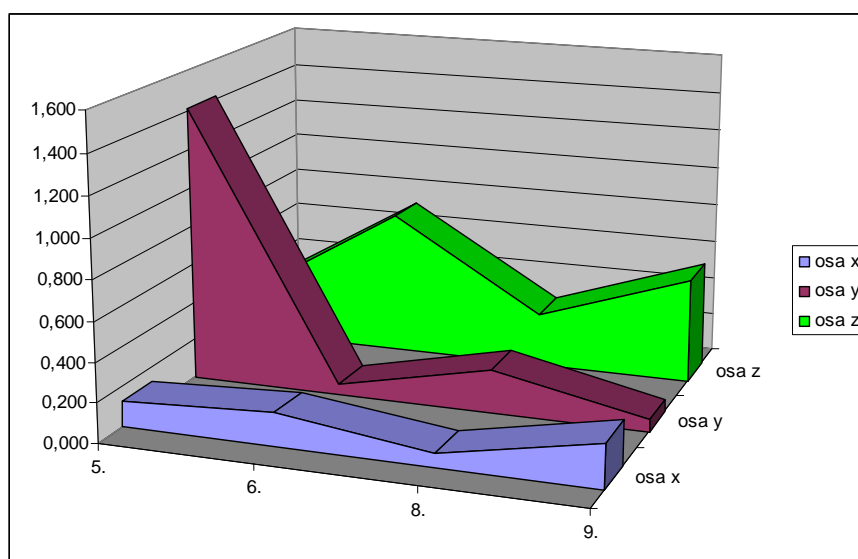
Micromaster 75 [%]

Combimaster 65 [%]

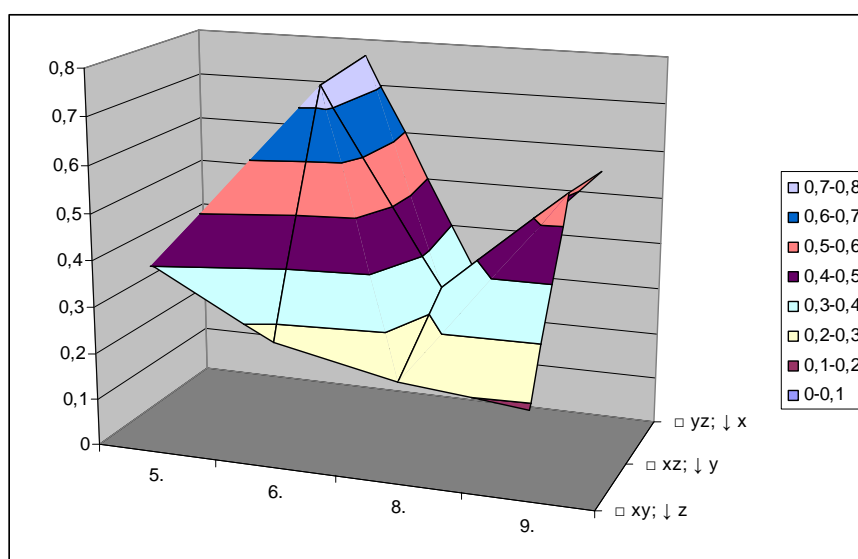
Délka experimentu 30 [min]

Tab. 29.: Hodnoty 3.měření

Body/Hodnoty v jednotkách [mT]	Hodnoty v ose " x "	Hodnoty v ose " y "	Hodnoty v ose " z "	□ xy; ↓ z	□ xz; ↓ y	□ yz; ↓ x	↓ xyz
5.	0,130	1,411	0,465	1,416976	0,482830	1,485647	1,49132357
6.	0,167	0,050	0,998	0,174324	1,011876	0,999252	1,01311056
8.	0,072	0,220	0,363	0,231482	0,370072	0,424463	0,43052642
9.	0,222	0,060	0,520	0,229965	0,565406	0,523450	0,56858069



Graf 28.: Plošný graf k prezentaci hodnot 3.měření



Graf 29.: Povrchový graf k prezentaci hodnot 3.měření



## 4. měření

Zadané parametry měřeného zařízení:

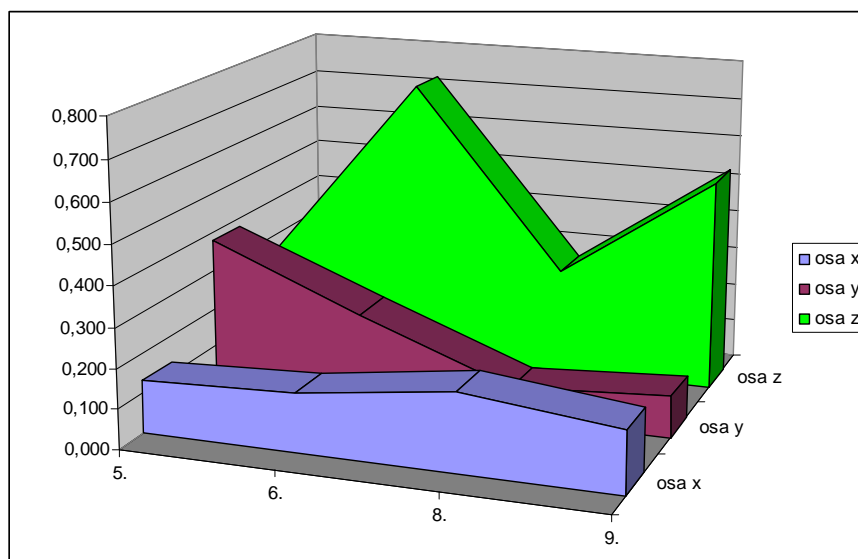
Micromaster 100 [%]

Combimaster 90 [%]

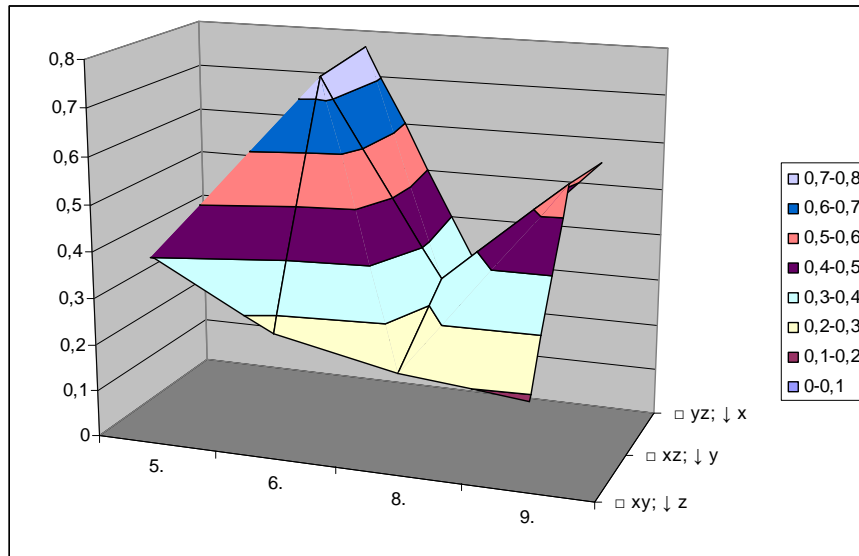
Délka experimentu 30 [min]

Tab. 30.: Hodnoty 4.měření

Body/Hodnoty v jednotkách [mT]	Hodnoty v ose " x "	Hodnoty v ose " y "	Hodnoty v ose " z "	□ xy; ↓ z	□ xz; ↓ y	□ yz; ↓ x	↓ xyz
5.	0,132	0,380	0,265	0,402274	0,296056	0,463276	0,48171465
6.	0,147	0,225	0,730	0,268764	0,744654	0,763888	0,77790359
8.	0,198	0,081	0,271	0,213928	0,335626	0,282846	0,34526222
9.	0,157	0,106	0,537	0,189433	0,559480	0,547362	0,56943305



Graf 30.: Plošný graf k prezentaci hodnot 4.měření



Graf 31.: Povrchový graf k prezentaci hodnot 4.měření

### 5.3.1 Vyhodnocení druhé sady měření

Pro výpočet orientovaných, tzv. polárních úhlů byly použity následující vztahy:

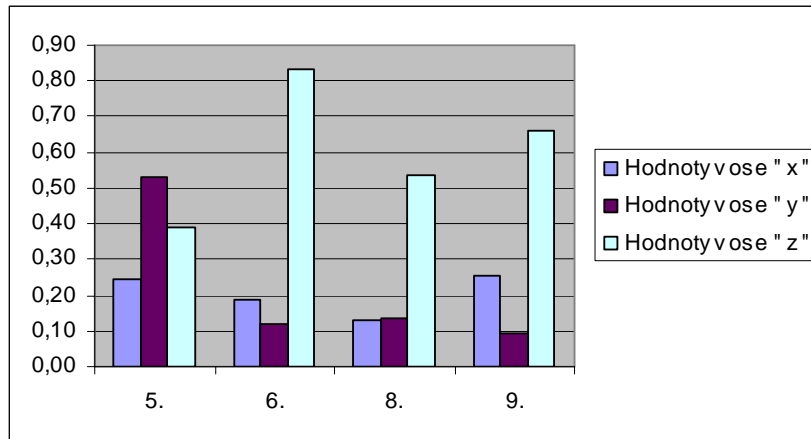
$$\frac{x = \rho \cos \varphi}{y = \rho \sin \varphi} \Rightarrow \frac{y}{x} = \operatorname{tg} \varphi \quad \text{tedy} \quad \varphi = \operatorname{arctg} \frac{y}{x} \quad (x > 0, y > 0) \quad (14)$$

$$\alpha_{xy} = \frac{180}{\pi} \operatorname{arctg} \frac{y}{x}, \quad \alpha_{xz} = \frac{180}{\pi} \operatorname{arctg} \frac{z}{x}, \quad \alpha_{yz} = \frac{180}{\pi} \operatorname{arctg} \frac{z}{y} \quad (15)$$

Pozn.: Při praktických výpočtech byla použita hodnota  $\pi = 3,14$ .

Tab. 31.: Závislost: nastavení 30% - 20% / hodnoty v osách x , y, z

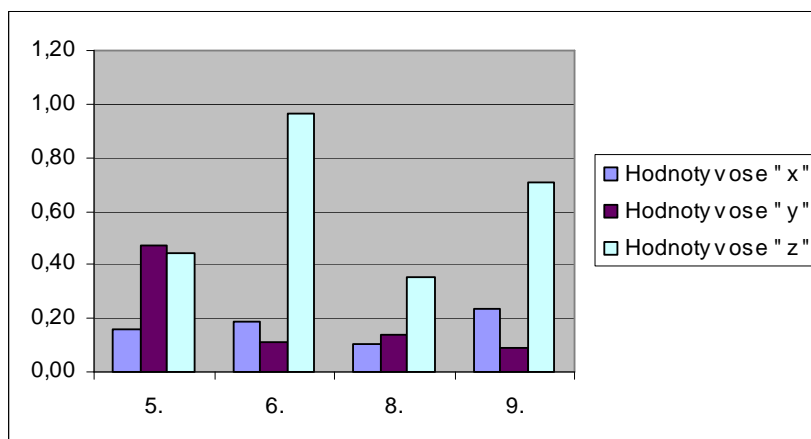
Zadané parametry: 30% - 20% (Micromaster - Combimaster)						
Body/Zadané parametry [%]	Hodnoty v ose " x " [mT]	Hodnoty v ose " y " [mT]	Hodnoty v ose " z " [mT]	$\alpha_{xy}$ [°]	$\alpha_{xz}$ [°]	$\alpha_{yz}$ [°]
5.	0,243	0,530	0,390	65,40215	58,10337	36,36589
6.	0,185	0,120	0,833	32,98613	77,51777	81,84399
8.	0,131	0,134	0,537	45,67176	76,32928	76,02741
9.	0,253	0,096	0,661	20,78962	69,09051	81,77791



Graf 32.: Závislost: nastavení 30% - 20% / hodnoty v osách x, y, z

Tab. 32.: Závislost: nastavení 50% - 40% / hodnoty v osách x, y, z

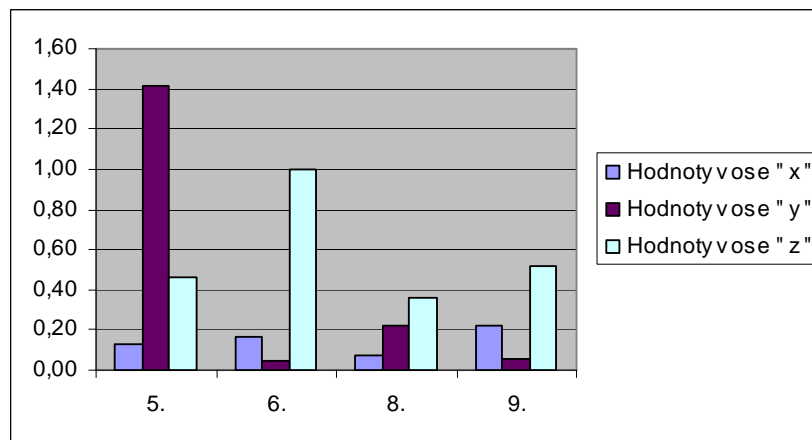
Zadané parametry: 50% - 40% (Micromaster - Combimaster)						
Body/Zadané parametry [%]	Hodnoty v ose "x" [mT]	Hodnoty v ose "y" [mT]	Hodnoty v ose "z" [mT]	$\alpha_{xy}$ [°]	$\alpha_{xz}$ [°]	$\alpha_{yz}$ [°]
5.	0,158	0,475	0,442	71,63756	70,36543	42,96077
6.	0,188	0,110	0,965	30,34756	79,01586	83,53929
8.	0,104	0,140	0,355	53,42001	73,70901	68,51213
9.	0,233	0,090	0,710	21,13057	71,86820	82,81767



Graf 33.: Závislost: nastavení 50% - 40% / hodnoty v osách x, y, z

Tab. 33.: Závislost: nastavení 75% - 65% / hodnoty v osách x, y, z

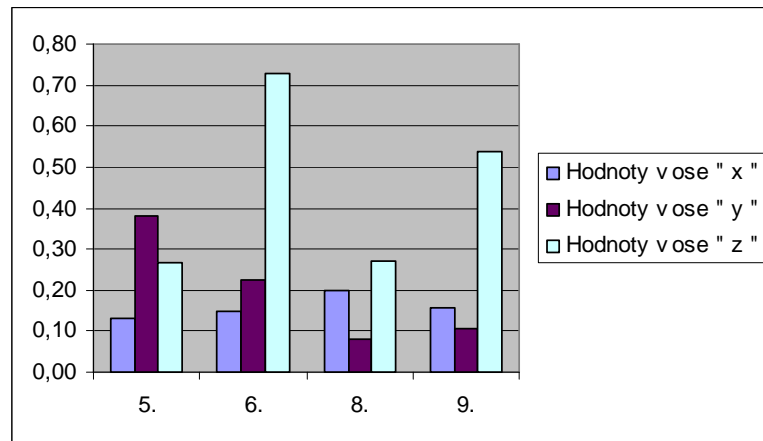
Zadané parametry: 75% - 65% (Micromaster - Combimaster)						
Body/Zadané parametry [%]	Hodnoty v ose " x " [mT]	Hodnoty v ose " y " [mT]	Hodnoty v ose " z " [mT]	$\alpha_{xy}$ [°]	$\alpha_{xz}$ [°]	$\alpha_{yz}$ [°]
5.	0,130	1,411	0,465	84,77899	74,41833	18,24907
6.	0,167	0,050	0,998	16,67622	80,54127	87,17606
8.	0,072	0,220	0,363	71,91460	78,82112	58,81141
9.	0,222	0,060	0,520	15,13168	66,91517	83,46037



Graf 34.: Závislost: nastavení 75% - 65% / hodnoty v osách x, y, z

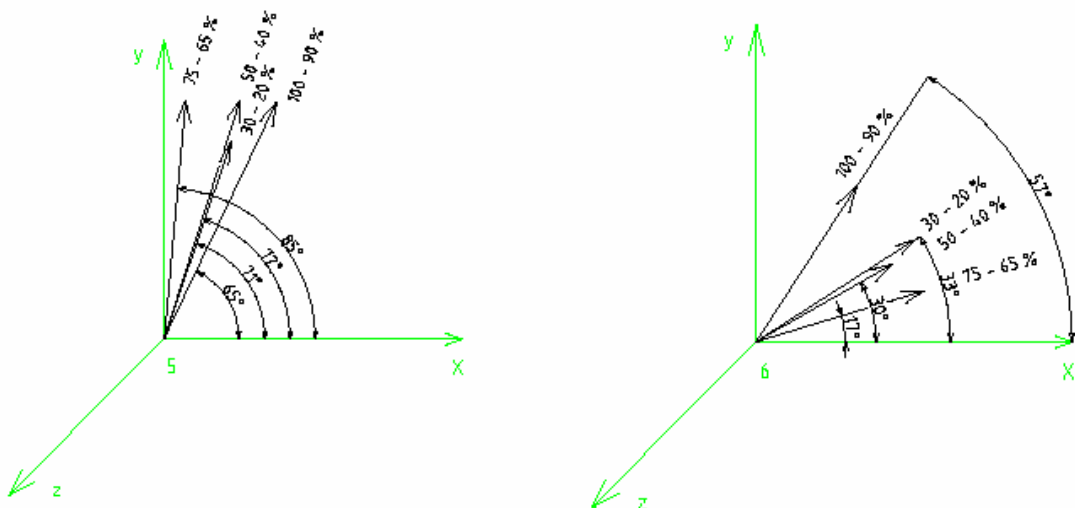
Tab. 34.: Závislost: nastavení 100% - 90% / hodnoty v osách x, y, z

Zadané parametry: 100% - 90% (Micromaster - Combimaster)						
Body/Zadané parametry [%]	Hodnoty v ose " x " [mT]	Hodnoty v ose " y " [mT]	Hodnoty v ose " z " [mT]	$\alpha_{xy}$ [°]	$\alpha_{xz}$ [°]	$\alpha_{yz}$ [°]
5.	0,132	0,380	0,265	70,88032	63,55372	34,90840
6.	0,147	0,225	0,730	56,87091	78,65449	72,90666
8.	0,198	0,081	0,271	22,26031	53,87443	73,39617
9.	0,157	0,106	0,537	34,04288	73,74031	78,87375

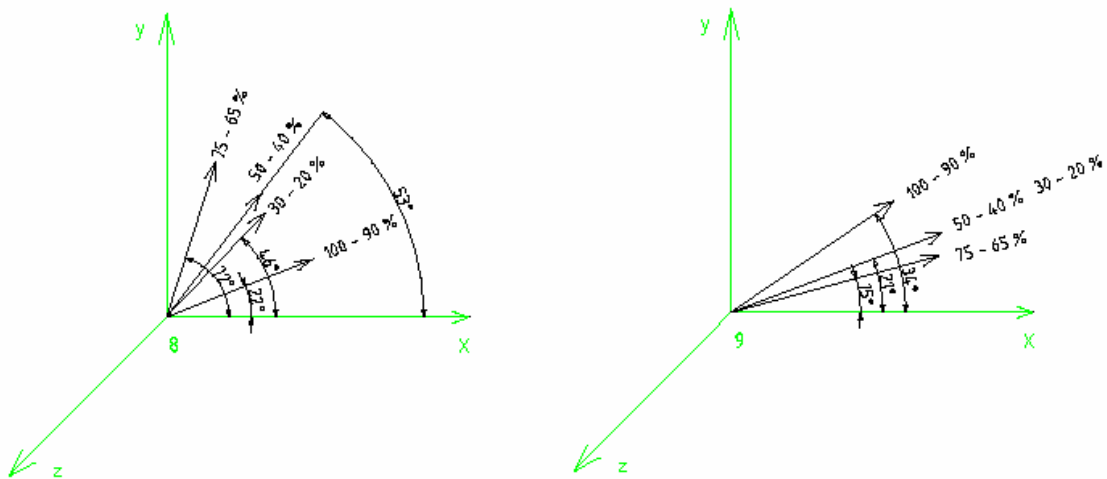


Graf 35.: Závislost: nastavení 100% - 90% /hodnoty v osách x, y, z

Hodnoty z Tab.31, 32, 33 a 34 byly využity rovněž pro následující grafické vyhodnocení úhlového posuvu vektoru v rovině „xy“ v závislosti na nastavení otáček micromasteru a combimasteru. Konkrétně se jednalo o hodnoty úhlu „ $\alpha_{xy}$  [°]“, u kterých bylo pro dané vyhodnocení provedeno zaokrouhlení na celá čísla. Daný způsob vyhodnocení by bylo možné aplikovat stejným způsobem na roviny „xz“ a „yz“.



Obr. 51.: Závislost: úhlový posuv vektoru v rovině „xy“/nastavení M-C v bodech 5 a 6

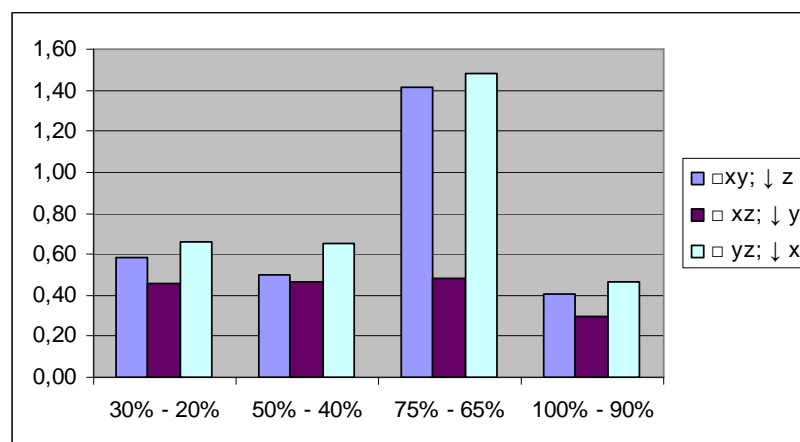


Obr. 52.: Závislost: úhlový posuv vektoru v rovině „xy“/nastavení M-C v bodech 8 a 9

**Závislost plošného vektoru na zatížení motoru pro jednotlivé body**

Tab. 35.: Závislost:  $\downarrow z$ ,  $\downarrow y$ ,  $\downarrow x$  / zatížení motorů / bod 5

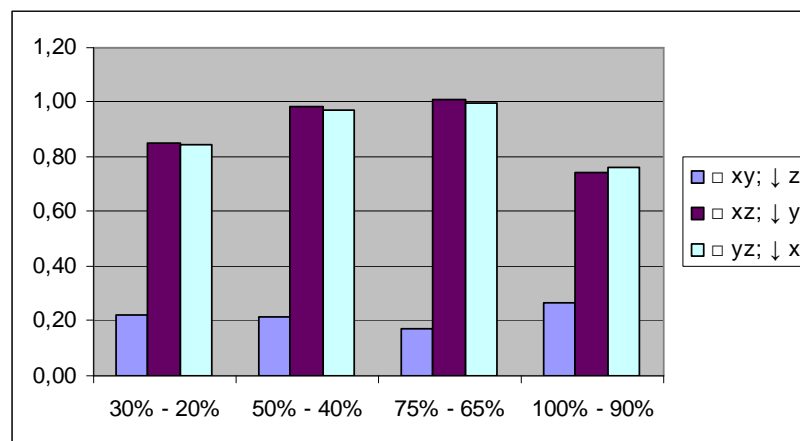
Bod 5	$\square xy; \downarrow z$	$\square xz; \downarrow y$	$\square yz; \downarrow x$
30% - 20%	0,58305	0,45951	0,65803
50% - 40%	0,50059	0,46939	0,64884
75% - 65%	1,41698	0,48283	1,48565
100% - 90%	0,40227	0,29606	0,46328



Graf 36.: Závislost:  $\downarrow z$ ,  $\downarrow y$ ,  $\downarrow x$  / zatížení motorů / bod 5

Tab. 36.: Závislost:  $\downarrow z$ ,  $\downarrow y$ ,  $\downarrow x$  / zatížení motorů /  
bod 6

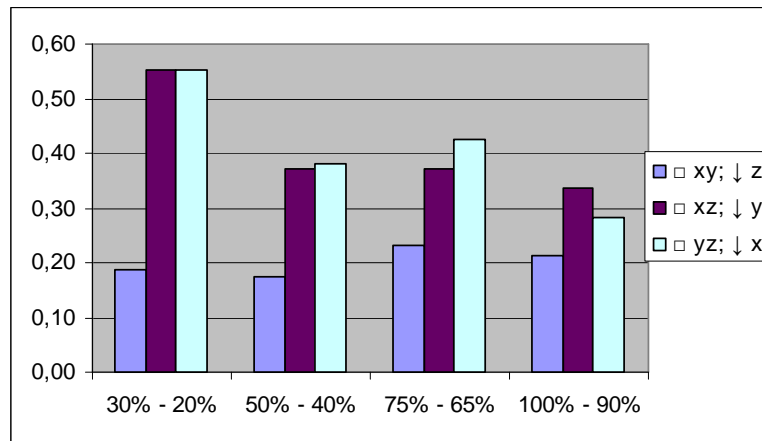
Bod 6	$\square xy; \downarrow z$	$\square xz; \downarrow y$	$\square yz; \downarrow x$
30% - 20%	0,22051	0,85330	0,84160
50% - 40%	0,21782	0,98314	0,97125
75% - 65%	0,17432	1,01188	0,99925
100% - 90%	0,26876	0,74465	0,76389



Graf 37.: Závislost:  $\downarrow z$ ,  $\downarrow y$ ,  $\downarrow x$  / zatížení motorů / bod 6

Tab. 37.: Závislost:  $\downarrow z$ ,  $\downarrow y$ ,  $\downarrow x$  / zatížení motorů /  
bod 8

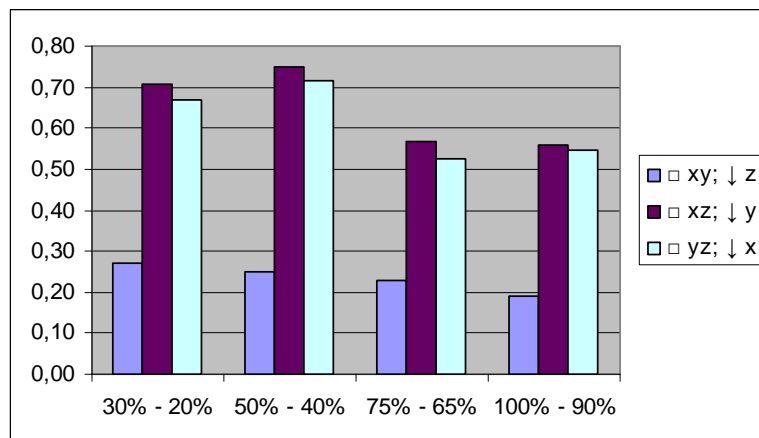
Bod 8	$\square xy; \downarrow z$	$\square xz; \downarrow y$	$\square yz; \downarrow x$
30% - 20%	0,18740	0,55275	0,55347
50% - 40%	0,17440	0,36992	0,38161
75% - 65%	0,23148	0,37007	0,42446
100% - 90%	0,21393	0,33563	0,28285



Graf 38.: Závislost: ↓z, ↓y, ↓x / zatížení motorů / bod 8

Tab. 38.: Závislost: ↓z, ↓y, ↓x / zatížení motorů / bod 9

Bod 9	xy; ↓z	xz; ↓y	yz; ↓x
30% - 20%	0,27060	0,70776	0,66793
50% - 40%	0,24978	0,74725	0,71568
75% - 65%	0,22997	0,56541	0,52345
100% - 90%	0,18943	0,55948	0,54736



Graf 39.: Závislost: ↓z, ↓y, ↓x / zatížení motorů / bod 9



## 6 VÝSLEDKY MĚŘENÍ

Jak již bylo uvedeno v úvodu praktické části, veškerá měření proběhla v prostoru laboratoře FAI UTB ve Zlíně. Uvedené prostory se řadí, dle klasifikace normy EN 61000-2-9 (EMC) – Část 2: Prostředí – Oddíl 9: Popis prostředí HEMP – vyzařované rušení – Základní norma EMC, do kategorie **II. – Vnitřní všeobecné.**

Naměřené hodnoty z jednotlivých měření 1 – 4 byly nejprve zpracovány plošnými grafy. Z těchto je patrný rozdíl hodnot naměřených v jednotlivých osách. Prokazatelně nejvyšších hodnot elektromagnetické indukce bylo dosaženo při měření v ose „z“ a to u všech čtyř variant nastavení otáček micromasteru a combimasteru. Ze sledovaných čtyř bodů pak nejvyšší dosažené hodnoty byly získány v bodech 6 a 9 (viz.Obr.43.). Porovnáním hodnot v ose „z“ u daných variant nastavení otáček, lze konstatovat, že vyšší úroveň elektromagnetické indukce se projevily při nastavení nižších hodnot otáček - konkrétně se jednalo o variantu č. 1 a 2. Nastavení hodnot těchto variant je blízké hodnotám magnetického pole s frekvencí energetické sítě (50Hz), tedy frekvencí zvláště citlivých reakcí nervové soustavy. Uvedená konstatování byla potvrzena rovněž následnou vizualizací pomocí povrchových grafů a vyhodnocením jednotlivých vztahových závislostí uvedených v kapitole 5.3.1. Přestože se jednalo o orientační měření provedené manuálním způsobem, byly získány základní informace reakce a chování uvedeného zařízení v oblasti nízkofrekvenčních polí a jeho možného negativního vlivu na biologické organismy.

Veškerý rozvoj v oblasti bezdrátových informačních technologií, telekomunikací, výroby elektrospotřebičů představuje nárůst umělých zdrojů elektromagnetických polí. Hovoří se o expozice stejnosměrným elektrickým a magnetickým polem, střídavým nízkofrekvenčním elektrickým a magnetickým polem a vysokofrekvenčním polem. Působení těchto elektromagnetických polí na živý organismus je rozdílné, i přes stejnou fyzikální podstatu, a to v závislosti na frekvenci. Nejvyšší přípustné hodnoty pro expozici osob neionizujícím zářením jsou v současné době v České republice stanoveny nařízením vlády č.480/2000 Sb., o ochraně zdraví před neionizujícím zářením ze dne 22.11.2000 a to pro frekvenční interval od 0Hz do  $1,7 \cdot 10^{15}$  Hz. Nařízení nahradilo vyhlášku č.408/1990 Sb., o ochraně zdraví před nepříznivými účinky elektromagnetického záření, která zahrnovala pouze frekvence od 60kHz výše, což znamenalo absenci závazného hygienického předpisu pro interval od 0Hz do 100kHz, kde jsou vyhodnocovány účinky netepelného působení, tedy

hustoty proudu indukovaného v různých částech těla.. Na rozdíl od tepelného působení, u kterého nejvyšší přípustná hodnota nezávisí na frekvenci, nejvyšší přípustná proudová hustota je na frekvenci silně závislá. U nízkofrekvenčních polí, tedy s frekvencí nižší než 100kHz, se projevují netepelné účinky indukovaného proudu na nervovou soustavu. Hodnotí se okamžitá expozice a o překročení proto může rozhodnout i krátkodobé maximum proudu indukovaného v těle například jediným impulsem magnetického pole. Souvisí to s charakterem rizika: elektrický proud v těle působí na nervovou soustavu prakticky bez zpoždění.

## 7 ELEKTROMAGNETICKÉ POLE A SPOLEČNOST 21. STOLETÍ

21. století, které je charakterizováno rozvojem elektroniky, zejména v oblasti mikroprocesorové a komunikační techniky, které s sebou přináší nejenom blahobyt v každodenním životě, ale současně negativní vliv těchto zařízení prostřednictvím účinků elektromagnetického pole na živé organismy. Tato oblast se tak dostává do popředí zájmu nejenom odborné ale i široké laické veřejnosti. Negativní biologické účinky elektromagnetického pole pro něž se celosvětově vžil pojem „elektrosmog“ nelze popřít, neboť vychází z fyzikálních zákonů. Přesto je i v současné době obtížné prokázat, vzhledem k dosavadním výsledkům biologických a biofyzikálních výzkumů, jejich negativní vliv na lidský organismus. Je závislý totiž na řadě faktorů, jako jsou : typ záření, jeho frekvence a intenzita, délka působení, ale především na samotném organismu člověka. Lze říci, že reakce každého lidského organismu je jedinečná. Zachycuje věkovou hranici, adaptační, regenerační a kompenzační schopnosti a aktuální zdravotní stav daného jedince.

Uvedené skutečnosti se týkají především tzv. netepelných účinků, tj. trvalých expozic polí s nízkou výkonovou úrovní. Těmto se připisuje vliv především na centrální nervový systém, srdečně cévní, krvetvorný a imunitní systém. Relativně většího úspěchu bylo doposud zaznamenáno pouze v objasnění tzv. tepelných účinků, které jsou výsledkem ohřevu tkání při působení vysokofrekvenčních polí (10kHz – 1000MHz).

Podle některých výzkumů se účinky elektrosmogu projevují negativním ovlivňováním vlastností a funkcí biomolekul a propustnosti buněčných membrán, v jejichž důsledku dochází ke změnám metabolismu a toku iontů některých látek v organismu. Uvedené změny pak zapříčiní oslabení nervového systému a imunity organismu a vznik nejrůznějších poruch – únava, deprese, bolesti hlavy apod. Nejdůležitější účinky elektromagnetického pole jsou účinky na produkci hormonu melatoninu. Hormon reguluje v těle fáze spánku, bdění a vnímání času. Vzhledem k tomu, že se jedná o antioxidant, zpomalující, mimo svých dalších funkcí, růst určitých nádorů, je účinek na něj spojován např. dětskou leukemií. Další velmi diskutovanou oblastí dané problematiky jsou sítě mobilních operátorů a především masové používání mobilních telefonů.

## 8 ZÁVĚR

Diplomová práce v úvodní teoretické části seznamuje s problematikou vědeckotechnického systémového oboru elektromagnetické kompatibility (dále jen EMC). Představuje EMC jako systémový obor s významnými finančními a ekonomickými aspekty a rovněž jako obor integrující vědecké, technické a aplikační poznatky širokého spektra technických oborů.

Praktická část práce je zaměřena na jednu ze základních oblastí EMC – oblast elektromagnetické interference. Měření a následná vyhodnocení byla realizována na sestavě obsahující hnací asynchronní motor se spojitým integrovaným frekvenčním měničem a hnaný motor s externím frekvenčním měničem. Po vyhodnocení charakteristik použité axiální a příčné sondy, byly provedeny dvě základní sady měření. I vzhledem ke skutečnostem, že se jednalo o orientační měření, byly naměřením a následným grafickým zpracováním závislostí jednotlivých parametrů z celé řady úhlů pohledů získány zajímavé hodnoty. První sada měření provedená ve dvanácti stanovených bodech poskytla základní soubor informací. Oblasti, v kterých byly naměřeny nulové popřípadě minimální hodnoty, jednalo se o oblast kolem externího frekvenčního měniče a rámu, v němž je sestava upevněna, byly pro druhou sadu měření eliminovány. Druhá sada měření realizovaná plošnou sondou rozšířila oblast informací. Naměřené hodnoty byly vyhodnoceny rovněž z pohledu velikosti a směru vektorů plošných a vektoru prostorového. Ke grafickému zpracování bylo využito prostředí MS Office Excel.

Získané výsledky a základní poznatky z této práce by bylo možné využít k rozšíření úlohy DE 4 Řízení otáček motorů, projektu Laboratoří integrované automatizace. Jednalo by se o sestavení měřicí aparatury ke stávající soustavě motorů, tedy především o realizaci vhodného mechanického uchycení měřících sond, současně s umožněním jejich posuvu ve směru osy „x“ (viz.Obr.50), propojení na měřicí přístroje, souřadnicový zapisovač a následné zpracování vhodným softwarovým nástrojem. Pevné uchycení měřících sond a jejich mechanický posuv při nastavení velikosti snímané oblasti a velikosti jednoho inkrementu by bylo možné získat dostatečně hustou sítí naměřených bodů, čehož nebylo možné docílit při manuálním měření. Tato by byla podkladem pro vizualizaci vyzařovaného elektromagnetického pole v třírozměrné grafické podobě např. v prostředí Matlab, Octave, popřípadě jiných softwarových nástrojů.

## CONCLUSION

Diploma thesis in the introductory theoretical part introduces the problems of scientific-technical field of system electromagnetic compatibility (furtheron EMC). EMC system is represented here as a system field with significant financial and economic aspects as well as a field integrating scientific, technical and application knowledge of a wide range of technical disciplines.

The practical part of the thesis is focusing on one of the core areas of EMC - electromagnetic interference. Measurements and its subsequent evaluation were made on the assembly containing the driving asynchronous motor with a continuous integrated frequency converter and motor powered by an external frequency converter. After evaluating the characteristics of the axial and transverse probes there were two basic sets of measurements made. And given the fact that they were indicative measurements only, interesting values were gained by measurements and subsequent graphic processing of dependence of each individual parameters from a range of various angles. The first set of measurements carried out in twelve specified points provided a basic set of information. The areas in which there were zero or minimum values measured, this was the area around the inverter and the external frame in which the assembly is fixed, the second set of measurements was carried out after eliminating these areas. The second set of measurements carried out by flat probe widened the scope of information. Readings were also evaluated in the terms of size and direction of area vector and vector space. MS Excel together with Autodesk Mechanical Desktop 2007 were used for the graphics processing.

Acquired results and basic knowledge of this work could be used to expand the role of DE 4 motor speed controls, Laboratory of Integrated Automation project. It would involve a compilation of the measuring apparatus to an existing system of engines, mainly concerning the implementation of a suitable mechanical attachment of probes, and at the same time allowing their displacement along the axis "x" (see pict.50), connection to measuring instruments, dataplotter and subsequent processing by appropriate software tool. It would be possible to achieve fixed mounting of measuring probes and their mechanical movement at the size setting of scanned field and the size setting of one increment by a sufficiently dense network of measurement points, which was previously during manual measurements impossible to achieve. These would be the basis for visualization of emitted electromagnetic field in the three-dimensional graphic form, such as Matlab, Octave, alternatively other software tools.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] Prof. Ing. Jiří Svačina, CSc.: Elektromagnetická kompatibilita – Principy a poznámky, Rok vydání 2001, Tisk Reprocentrum, a.s., Blansko, ISBN 80-214-1873-7
- [2] Mezinárodní, evropské a české normy EMC - normy IEC, CISPR, EN, ETS, PENV, ČSN (ČSN EN 50082-1: Všeobecná norma týkající se odolnosti)
- [3] Prof. Ing. Jiří Svačina, CSc.: Základy elektromagnetické kompatibility, Rok vydání 2001, Tisk MJ servis, s.r.o., Kouty 16, 621 00 Brno, ISBN 80-214-1573-8
- [4] Vaculíková, Polina - Vaculík, Emil: Elektromagnetická kompatibilita elektrotechnických systémů: Praktický průvodce techniky omezení elektromagnetického vř rušení, 1.vydání, Praha: Grada Publishing, 1998, 487 s., ISBN 80-7169-568-8
- [5] CHUDÝ, V. a kol.: Meranie technických veličin, Bratislava: STU, 1999, ISBN 80-227-1275-2
- [6] Tumanski, S.: Principles of electrical measurement, Tailor & Francis, Boca Raton, s.472, ISBN 0-7503-1038-3
- [7] DYER, S., A.: Survey of instrumentation and measurement, John Wiley and Sons, 2001, s.1096, ISBN 0-471-39484-X
- [8] Kováč D., Kováčová I., Kaných J.: EMC – z hlediska teorie a aplikace, 1.vydání, Praha: BEN – technická literatura, Praha 2006, s.216, ISBN 80-7300-202-7
- [9] Hans-Jochen BARTSCH: Matematické vzorce, Třetí, revidované vydání, Mladá fronta, ISBN 80-204-0607-7
- [10] <http://www.radio.feec.vutbr.cz/emc/prezentace.pdf>
- [11] <http://www.lakeshore.com>
- [12] <http://www.iec.ch/>
- [13] <http://www.iso.ch/>
- [14] <http://www.cenorm.be/>
- [15] <http://www.cenelec.org/>

- [16] [http://www.hamri.cz/novinky/normy\\_budou\\_levnejsi\\_dostupnejsi\\_a\\_srozumitelnejsi-2008-07-31/](http://www.hamri.cz/novinky/normy_budou_levnejsi_dostupnejsi_a_srozumitelnejsi-2008-07-31/)
- [17] <http://labi.fai.utb.cz/>
- [18] <http://techmania.cz/edutorium/>
- [19] Doc.RNDr.Zdeněk Karpíšek, CSc.: MATEMATIKA IV, Statistika a pravděpodobnost, Rok vydání březen 2007, Tisk FINAL TISK s.r.o. Olomoučany, ISBN 978-80-214-3380-9
- [20] ME 3851A mit F1B2H31, Technische Referenz

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

EMC	Elektromagnetická kompatibilita
EMI	Elektromagnetická interference
EMS	Elektromagnetická susceptibilita
LISN	Umělá zátěž
AK	Absorpční kleště
PS	Proudová sonda
ZZ	Zkoumané zařízení
MR	Měřič rušení
IEC	Mezinárodní elektrotechnická komise
ISO	Mezinárodní organizace pro normalizaci
TC	Technická komise
SC	Subkomise
CISPR	Mezinárodní poradní sbor pro rádiovou interferenci
CENELEC	Evropská komise pro normalizaci v elektrotechnice
ČNI	Český normalizační institut
TNK	Technická normalizační komise
M-C	Micromaster-Combimaster



## SEZNAM OBRÁZKŮ

OBR. 1: ZÁKLADNÍ ČLENĚNÍ PROBLEMATIKY EMC.....	12
OBR. 2.: OBECNÉ SCHÉMA DEFINICE ÚROVNÍ, MEZÍ A KOMPATIBILNÍ ÚROVNĚ .....	13
OBR. 3.: PŘÍKLAD KLASIFIKACE INTERFERENCE ZDROJŮ .....	15
OBR. 4.: ZÁKLADNÍ ŘETĚZEC EMC A PŘÍKLADY JEDNOTLIVÝCH OBLASTÍ.....	17
OBR. 5.: ZÁKLADNÍ DRUHY VAZEB : A) GALVANICKÁ, B) KAPACITNÍ, C) INDUKTIVNÍ, D) VYZAŘOVÁNÍM [1].....	18
OBR. 6.: GALVANICKÁ VAZBA SPOLEČNÝM NAPÁJECÍM ZDROJEM .....	18
OBR. 7.: GALVANICKÁ VAZBA SPOLEČNÝM PŘÍVODEM ŘÍDICÍCH OBVODŮ .....	19
OBR. 8.: GALVANICKÁ VAZBA SPOLEČNÝM ZEMNÍM SYSTÉMEM .....	19
OBR. 9.: KAPACITNÍ VAZBA GALVANICKY ODDĚLENÝCH OBVODŮ [1] .....	19
OBR. 10.: KAPACITNÍ VAZBA DVOU STÍNĚNÝCH PÁRŮ [1] .....	20
OBR. 11.: KAPACITNÍ VAZBA NEZÚČASTNĚNÝM VODIČEM.....	20
OBR. 12.: KAPACITNÍ VAZBA VŮČI ZEMI .....	21
OBR. 13.: INDUKTIVNÍ VAZBA.....	21
OBR. 14.: VAZBA ELEKTROMAGNETICKÉHO VYZAŘOVÁNÍ.....	22
OBR. 15.: ZPŮSOBY ŠÍŘENÍ RUŠIVÝCH ELEKTROMAGNETICKÝCH SIGNÁLŮ .....	25
OBR. 16.: ZPŮSOBY MĚŘENÍ RUŠENÍ VEDENÍM A VYZAŘOVÁNÍM [3].....	26
OBR. 17.: NAPĚŤOVÁ SONDA [4].....	27
OBR. 18.: PROUDOVÁ SONDA [4]                      OBR. 19.: KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ PROUDOVÉ SONDY [4] .....	28
OBR. 20.: KONSTRUKCE ABSORPČNÍCH KLEŠTÍ [1].....	28
OBR. 21.: USPOŘÁDÁNÍ PRACOVIŠTĚ PRO MĚŘENÍ S ABSORPČNÍMI KLEŠTĚMI [1] .....	29
OBR. 22.: RÁMOVÁ ANTÉNA [4].....	30
OBR. 23.: PRUTOVÁ ANTÉNA .....	30
OBR. 24.: SADA LADĚNÝCH SYMETRICKÝCH DIPÓLŮ [4].....	31
OBR. 25.: BIKÓNICKÁ ANTÉNA [4] .....	31
OBR. 26.: ROZDĚLENÍ NOREM EMC .....	36
OBR. 27.: MEZINÁRODNÍ ELEKTROTECHNICKÁ KOMICE IEC [12] .....	37
OBR. 28.: MEZINÁRODNÍ ORGANIZACE PRO NORMALIZACI ISO [13].....	37
OBR. 29.: EVROPSKÁ KOMISE PRO NORMALIZACI CEN [14] .....	38
OBR. 30.: EVROPSKÁ KOMISE PRO NORMALIZACI V ELEKTROTECHNICE CENELEC [15].....	38
OBR. 31.: ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT ČNI [16].....	38
OBR. 32.: ELEKTRICKÝ NÁBOJ A JEHO SILOČÁRY [18].....	41
OBR. 33.: SILOČÁRY PERMANENTNÍHO MAGNETU [18] .....	42
OBR. 34.: AMPÉROVO PRAVIDLO PRAVÉ RUKY [18] .....	43
OBR. 35.: VODIČ V HOMOGENNÍM POLI DVOU PERMANENTNÍCH MAGNETŮ [18].....	43
OBR. 36.: ZOBRAZENÍ FLEMINGOVA PRAVIDLA LEVÉ RUKY (18) .....	45
OBR. 37.: LAKE SHORE 421 GAUSSMETER – PŘEDNÍ PANEL [11].....	47
OBR. 38.: LAKE SHORE 421 GAUSSMETER - ZADNÍ STRANA [11].....	48

OBR. 39: LAKESHORE AXIÁLNÍ SONDA [11] .....	48
OBR. 40.: LAKESHORE PŘÍČNÁ SONDA [11].....	49
OBR. 41. : ME 3851A DIGITALER ELEKTROSMOG ANALYSER [11].....	50
OBR. 42.: MĚŘENÉ ZAŘÍZENÍ – SESTAVA ASYNCHRONNÍCH MOTORŮ S INTEGROVANÝM A EXTERNÍM FREKVENČNÍM MĚNIČEM .....	50
OBR. 43: GRAFICKÉ SCHÉMA MĚŘENÉHO ZAŘÍZENÍ [10].....	51
OBR. 44.: VYZNAČENÍ MĚŘENÝCH ÚSEKŮ: 1 – MĚŘENÍ Č.1; 2 – MĚŘENÍ Č.2; 3 – MĚŘENÍ Č.3 .....	52
OBR. 45.: ÚHLOVÝ POSUV MAGNETU PO OBVODU SONDY.....	52
OBR. 46.: VYZNAČENÍ MĚŘENÝCH ÚSEKŮ: 1 – MĚŘENÍ Č.1; 2 – MĚŘENÍ Č.2; 3 – MĚŘENÍ Č.3 .....	56
OBR. 47.: MĚŘENÉ ZAŘÍZENÍ S VYZNAČENÍM MĚŘENÝCH BODŮ .....	60
OBR. 48.: MĚŘENÉ ZAŘÍZENÍ S VYZNAČENÍM SVISLÝCH A VODOROVNÝCH ROVIN .....	65
OBR. 49.: VIZUALIZACE PROSTOROVÉHO VEKTORU .....	76
OBR. 50.: MĚŘENÉ ZAŘÍZENÍ S VYZNAČENÍM ZPŮSOBU MĚŘENÍ V OSÁCH.....	76
OBR. 51.: ZÁVISLOST: ÚHLOVÝ POSUV VEKTORU V ROVINĚ „XY“/NASTAVENÍ M-C V BODECH 5 A 6.....	85
OBR. 52.: ZÁVISLOST: ÚHLOVÝ POSUV VEKTORU V ROVINĚ „XY“/NASTAVENÍ M-C V BODECH 8 A 9.....	86

## SEZNAM TABULEK

TAB. 1.: HODNOCENÍ ELEKTROMAGNETICKÉHO STÍNĚNÍ DLE ORIENTAČNÍCH HODNOT SE [1].....	24
TAB. 2.: PŘEHLED MĚŘICÍCH ANTÉN .....	29
TAB. 3.: SEZNAM POUŽITÝCH TECHNICKÝCH PROSTŘEDKŮ.....	51
TAB. 4.: MĚŘENÍ CHARAKTERISTIKY AXIÁLNÍ SONDY PŘI POUŽITÍ 1 MAGNETU .....	53
TAB. 5.: MĚŘENÍ CHARAKTERISTIKY AXIÁLNÍ SONDY PŘI POUŽITÍ 2 MAGNETŮ .....	54
TAB. 6.: MĚŘENÍ CHARAKTERISTIKY PŘÍČNÉ SONDY PŘI POUŽITÍ 1 MAGNETU .....	56
TAB. 7.: MĚŘENÍ CHARAKTERISTIKY PŘÍČNÉ SONDY PŘI POUŽITÍ 2 MAGNETŮ .....	58
TAB. 8.: HODNOTY 1.MĚŘENÍ .....	61
TAB. 9.: HODNOTY 2. MĚŘENÍ.....	61
TAB. 10.: HODNOTY 3. MĚŘENÍ.....	62
TAB. 11.: HODNOTY 4. MĚŘENÍ.....	63
TAB. 12.: ZÁVISLOST MAGNETICKÉHO A ELEKTRICKÉHO POLE NA NASTAVENÍ: MICROMASTER-COMBIMASTER (M-C).....	64
TAB. 13.: ZÁVISLOST: NASTAVENÍ 30% - 20% / VERTIKÁLNÍ ROVINY .....	65
TAB. 14.: ZÁVISLOST: NASTAVENÍ 30% - 20% / HORIZONTÁLNÍ ROVINY .....	66
TAB. 15.: ZÁVISLOST: NASTAVENÍ 50% - 40% / VERTIKÁLNÍ ROVINY .....	66
TAB. 16.: ZÁVISLOST: NASTAVENÍ 50% - 40% / HORIZONTÁLNÍ ROVINY .....	67
TAB. 17.: ZÁVISLOST: NASTAVENÍ 75% - 65% / VERTIKÁLNÍ ROVINY .....	68
TAB. 18.: ZÁVISLOST: NASTAVENÍ 75% - 65% / HORIZONTÁLNÍ ROVINY .....	68
TAB. 19.: ZÁVISLOST: NASTAVENÍ 100% - 90% / VERTIKÁLNÍ ROVINY .....	69
TAB. 20.: ZÁVISLOST: NASTAVENÍ 100% - 90% / HORIZONTÁLNÍ ROVINY .....	70
TAB. 21.: ZÁVISLOST ROVINY „1-4-7-10“ NA NASTAVENÍ M-C.....	70
TAB. 22.: ZÁVISLOST ROVINY „2-5-8-11“ NA NASTAVENÍ M-C.....	71
TAB. 23.: ZÁVISLOST ROVINY „3-6-9-12“ NA NASTAVENÍ M-C.....	72
TAB. 24.: ZÁVISLOST ROVINY „1-2-3“ NA NASTAVENÍ M-C .....	72
TAB. 25.: ZÁVISLOST ROVINY „4-5-6“ NA NASTAVENÍ M-C .....	73
TAB. 26.: ZÁVISLOST ROVINY „7-8-9“ NA NASTAVENÍ M-C .....	74
TAB. 27.: HODNOTY 1.MĚŘENÍ .....	77
TAB. 28.: HODNOTY 2.MĚŘENÍ .....	78
TAB. 29.: HODNOTY 3.MĚŘENÍ .....	80
TAB. 30.: HODNOTY 4.MĚŘENÍ .....	81
TAB. 31.: ZÁVISLOST: NASTAVENÍ 30% - 20% / HODNOTY V OSÁCH X , Y, Z .....	82
TAB. 32.: ZÁVISLOST: NASTAVENÍ 50% - 40% / HODNOTY V OSÁCH X, Y, Z.....	83
TAB. 33.: ZÁVISLOST: NASTAVENÍ 75% - 65% / HODNOTY V OSÁCH X, Y, Z.....	84
TAB. 34.: ZÁVISLOST: NASTAVENÍ 100% - 90% / HODNOTY V OSÁCH X, Y, Z.....	84
TAB. 35.: ZÁVISLOST: ↓Z, ↓Y, ↓X / ZATÍŽENÍ MOTORŮ / BOD 5.....	86
TAB. 36.: ZÁVISLOST: ↓Z, ↓Y, ↓X / ZATÍŽENÍ MOTORŮ / BOD 6.....	87

---

TAB. 37.: ZÁVISLOST: $\downarrow Z, \downarrow Y, \downarrow X$ / ZATÍŽENÍ MOTORŮ / BOD 8 .....	87
TAB. 38.: ZÁVISLOST: $\downarrow Z, \downarrow Y, \downarrow X$ / ZATÍŽENÍ MOTORŮ / BOD 9 .....	88

## SEZNAM GRAFŮ

GRAF 1.: CHARAKTERISTIKA AXIÁLNÍ SONDY PŘI POUŽITÍ 1MAGNETU (SPOJNICOVÝ GRAF) .....	53
GRAF 2.: CHARAKTERISTIKA AXIÁLNÍ SONDY PŘI POUŽITÍ 1MAGNETU (PAPRSKOVÝ GRAF) .....	54
GRAF 3.: CHARAKTERISTIKA AXIÁLNÍ SONDY PŘI POUŽITÍ 2MAGNETŮ (SPOJNICOVÝ GRAF) .....	55
GRAF 4.: CHARAKTERISTIKA AXIÁLNÍ SONDY PŘI POUŽITÍ 2MAGNETŮ (PAPRSKOVÝ GRAF) .....	55
GRAF 5.: CHARAKTERISTIKA PŘÍČNÉ SONDY PŘI POUŽITÍ 1MAGNETU (SPOJNICOVÝ GRAF) .....	57
GRAF 6.: CHARAKTERISTIKA PŘÍČNÉ SONDY PŘI POUŽITÍ 1MAGNETU (PAPRSKOVÝ GRAF) .....	57
GRAF 7.: CHARAKTERISTIKA PŘÍČNÉ SONDY PŘI POUŽITÍ 2MAGNETŮ (SPOJNICOVÝ GRAF) .....	58
GRAF 8.: CHARAKTERISTIKA PŘÍČNÉ SONDY PŘI POUŽITÍ 2MAGNETŮ (PAPRSKOVÝ GRAF) .....	59
GRAF 9.: ZÁVISLOST MAGNETICKÉHO A ELEKTRICKÉHO POLE NA NASTAVENÍ: M-C .....	64
GRAF 10.: ZÁVISLOST: NASTAVENÍ 30% - 20% / VERTIKÁLNÍ ROVINY .....	65
GRAF 11.: ZÁVISLOST: NASTAVENÍ 30% - 20% / HORIZONTÁLNÍ ROVINY .....	66
GRAF 12.: ZÁVISLOST: NASTAVENÍ 50% - 40% / VERTIKÁLNÍ ROVINY .....	67
GRAF 13.: ZÁVISLOST: NASTAVENÍ 50% - 40% / HORIZONTÁLNÍ ROVINY .....	67
GRAF 14.: ZÁVISLOST: NASTAVENÍ 50% - 40% / VERTIKÁLNÍ ROVINY .....	68
GRAF 15.: ZÁVISLOST: NASTAVENÍ 75% - 65% / HORIZONTÁLNÍ ROVINY .....	69
GRAF 16.: ZÁVISLOST: NASTAVENÍ 100% - 90% / VERTIKÁLNÍ ROVINY .....	69
GRAF 17.: ZÁVISLOST: NASTAVENÍ 100% - 90% / HORIZONTÁLNÍ ROVINY .....	70
GRAF 18.: ZÁVISLOST ROVINY „1-4-7-10“ NA NASTAVENÍ M-C .....	71
GRAF 19.: ZÁVISLOST ROVINY „2-5-8-11“ NA NASTAVENÍ M-C .....	71
GRAF 20.: ZÁVISLOST ROVINY „3-6-9-12“ NA NASTAVENÍ M-C .....	72
GRAF 21.: ZÁVISLOST ROVINY „1-2-3“ NA NASTAVENÍ M-C .....	73
GRAF 22.: ZÁVISLOST ROVINY „4-5-6“ NA NASTAVENÍ M-C .....	73
GRAF 23.: ZÁVISLOST ROVINY „7-8-9“ NA NASTAVENÍ M-C .....	74
GRAF 24.: PLOŠNÝ GRAF K PREZENTACI HODNOT 1.MĚŘENÍ .....	77
GRAF 25.: POVRCHOVÝ GRAF K PREZENTACI HODNOT 1.MĚŘENÍ .....	78
GRAF 26.: PLOŠNÝ GRAF K PREZENTACI HODNOT 2.MĚŘENÍ .....	79
GRAF 27.: POVRCHOVÝ GRAF K PREZENTACI HODNOT 2.MĚŘENÍ .....	79
GRAF 28.: PLOŠNÝ GRAF K PREZENTACI HODNOT 3.MĚŘENÍ .....	80
GRAF 29.: POVRCHOVÝ GRAF K PREZENTACI HODNOT 3.MĚŘENÍ .....	80
GRAF 30.: PLOŠNÝ GRAF K PREZENTACI HODNOT 4.MĚŘENÍ .....	81
GRAF 31.: POVRCHOVÝ GRAF K PREZENTACI HODNOT 4.MĚŘENÍ .....	82
GRAF 32.: ZÁVISLOST: NASTAVENÍ 30% - 20% / HODNOTY V OSÁCH X, Y, Z .....	83
GRAF 33.: ZÁVISLOST: NASTAVENÍ 50% - 40% / HODNOTY V OSÁCH X, Y, Z .....	83
GRAF 34.: ZÁVISLOST: NASTAVENÍ 75% - 65% / HODNOTY V OSÁCH X, Y, Z .....	84
GRAF 35.: ZÁVISLOST: NASTAVENÍ 100% - 90% / HODNOTY V OSÁCH X, Y, Z .....	85
GRAF 36.: ZÁVISLOST: $\downarrow Z$ , $\downarrow Y$ , $\downarrow X$ / ZATÍŽENÍ MOTORŮ / BOD 5 .....	86
GRAF 37.: ZÁVISLOST: $\downarrow Z$ , $\downarrow Y$ , $\downarrow X$ / ZATÍŽENÍ MOTORŮ / BOD 6 .....	87

GRAF 38.: ZÁVISLOST: $\downarrow Z, \downarrow Y, \downarrow X$ / ZATÍŽENÍ MOTORŮ / BOD 8.....	88
GRAF 39.: ZÁVISLOST: $\downarrow Z, \downarrow Y, \downarrow X$ / ZATÍŽENÍ MOTORŮ / BOD 9.....	88