

# Obsah

Předmluva .....	vii
1. Úvod .....	1
1.1 Klasické příklady z problematiky EMC .....	1
1.2 Důvody nárůstu energetického EMI .....	1
1.3 Důsledky změn charakteru spotřebičů .....	1
1.4 Schéma pro studium podmínek EMC .....	2
1.5 Charakter vztahu mezi prvkem ovlivňujícím a ovlivňovaným .....	2
1.6 Charakteristiky EMC energetických zařízení na ČD .....	3
1.6.1 Jednofázová trakční soustava 25 kV, 50 Hz ČD ve vztahu k napájecí síti 110 kV energetiky ČR .....	3
1.6.2 Jednofázová trakční soustava 25 kV, 50 Hz ČD ve vztahu ke sdělovacím a zabezpečovacím zařízením .....	3
1.6.3 Statické měniče 50/75 Hz pro napájení zabezpečovacích zařízení ve vztahu k rozvodu 6 kV, 75 Hz .....	3
1.7 Základní matematické a fyzikální pojmy z oblasti EMC .....	3
1.7.1 Pojem „harmonická složka“ .....	3
1.7.2 Souhrnné hodnocení harmonických složek .....	5
1.8 Normy z oblasti EMC .....	7
2. Elektromagnetická kompatibilita jednotlivých výkonových zařízení v oblasti dopravy .....	9
2.1 Elektrické vlastnosti prvků trakčního obvodu .....	9
2.1.1 Přívodní vedení od dodavatele elektrické energie .....	9
2.1.2 Trakční napájecí stanice .....	10
2.1.3 Trakční vedení .....	12
2.1.4 Hnací vozidla elektrické traktce .....	15
2.2 Přívodní vedení od dodavatele elektrické energie z pohledu EMC .....	16
2.3 Trakční napájecí stanice stejnosměrné soustavy ČD z pohledu EMC .....	17
2.3.1 EMC trakční napájecí stanice DC vůči napájecí síti .....	17
2.3.2 EMC trakční napájecí stanice DC vůči trakčnímu vedení .....	25
2.3.3 EMC napájecí sítě vůči trakční napájecí stanici .....	26
2.4 Trakční napájecí stanice AC ČD z pohledu EMC .....	26
2.5 Trakční vedení z pohledu EMC .....	27
2.6 Hnací vozidlo z pohledu EMC .....	29
2.6.1 Hnací vozidla DC soustavy .....	29
2.6.2 Hnací vozidla AC soustavy .....	30
2.6.3 Skládání harmonických proudů několika hnacích vozidel AC soustavy .....	34
3. Rezonanční jevy v trakčním obvodu .....	38
3.1 Výpočet hodnot vlastních frekvencí trakční napájecí soustavy .....	39
3.1.1 Jeden trakční transformátor, jednokolejná trať, bez přívodního vedení .....	40
3.1.2 Dva trakční transformátory, jednokolejná trať, bez přívodního vedení .....	42
3.1.3 Jeden trakční transformátor, dvojkolejná trať, bez přívodního vedení .....	42
3.1.4 Jeden trakční transformátor, dvojkolejná trať, s přívodním vedením .....	42
3.1.5 Jeden trakční transformátor, jednokolejná trať se dvěma úseky TV, bez přívodního vedení .....	43

3.2 Experimentální ověření .....	44
3.2.1 Výsledky první série měření .....	44
3.2.2 Výsledky druhé série měření .....	46
4. Důsledky existence vlastních frekvencí AC trakční napájecí soustavy .....	49
4.1 Odezva trakční napájecí soustavy na budicí signály .....	49
4.2 Chování trakční napájecí soustavy na její vlastní frekvenci .....	52
4.3 Kompenzace jalového výkonu .....	54
4.3.1 Stanovení výkonu kompenzačního zařízení .....	54
4.3.2 Možnosti připojení kompenzačního zařízení a jejich vlastnosti .....	56
5. Filtračně kompenzační zařízení (FKZ) v AC trakčních napájecích stanicích .....	61
5.1 Koncepce a návrh filtračně kompenzačního zařízení (FKZ) .....	61
5.1.1 Kompenzační výkon filtračně kompenzačního zařízení (FKZ) .....	63
5.1.2 Ladění L-C rezonančních větví filtračně kompenzačního zařízení (FKZ) .....	64
5.1.3 Funkce dekompenzační větve filtračně kompenzačního zařízení (FKZ) .....	65
5.2 Vstupní impedance trakční napájecí stanice jako celku na ovládací frekvenci systému hromadného dálkového ovládání (HDO) .....	69
5.3 Číselné příklady výpočtu prvků FKZ .....	71
5.3.1 Podklady pro vyčíslení .....	72
5.3.2 Výpočet kapacit obou kondenzátorových skupin $C_3$ a $C_5$ pro zadané hodnoty $ Q_{K,FKZ} $ a $ X_{TNS,HDO,MIN} $ při odpojení trakčním vedení .....	72
5.3.3 Výpočet $ Q_{K,FKZ} $ při zadaných kapacitách $C_3$ a $C_5$ .....	73
5.3.4 Výpočet prvků FKZ pro vyčleněné hodnoty ovládacího kmitočtu HDO při zadaných hodnotách $Q_{K,FKZ}$ a $X_{TNS,HDO,MIN}$ a při připojení trakčním vedení s kapacitou $C_{TV}$ bez trakčního odběru .....	73
5.3.5 Výpočet reaktance $X_{TNS,HDO}$ na jiném z ovládacích kmitočtů HDO při hodnotách $C_3$ , $C_5$ a $Q_{K,FKZ}$ odvozených pro kmitočet $f_{HDO}=216,67$ Hz a při připojení trakčním vedení s kapacitou $C_{TV}$ , bez trakčního odběru .....	74
5.3.6 Výpočet mezních hodnot kapacit $C_3$ a $C_5$ v závislosti na požadované reaktanci $X_{TNS,HDO,MIN}$ pro vyčleněné ovládací kmitočty HDO .....	74
5.3.7 Analýza vlivu činného zatížení v napájeném úseku .....	75
5.3.8 Zhodnocení postupu pro výpočet parametrů FKZ .....	76
5.3.9 Zapínání filtračně kompenzačního zařízení .....	76
5.3.10 Vybíjení kondenzátorové skupiny větve L-C FKZ pro 3. harmonickou přístrojovým transformátorem napětí .....	83
6. Symetrizace odběru elektrické energie vůči napájecí síti .....	88
6.1 Definice činitele nesouměrnosti .....	88
6.2 Použití sdružených napětí pro stanovení činitele napěťové nesouměrnosti .....	88
6.3 Trakční soustava DC z hlediska symetrie zátěže napájecí sítě .....	91
6.4 Trakční soustava AC z hlediska symetrie zátěže napájecí sítě .....	91
6.4.1 Použití speciálních trakčních transformátorů .....	92
6.4.2 Použití Steinmetzova schématu .....	93
7. Flickr - efekt .....	96
8. EMC netrakčních zařízení .....	97
8.1 Napájení kabelového rozvodu 6 kV z TNS DC soustavy .....	97



8.1.1 Náhradní schéma obvodu .....	97
8.1.2 Číselný příklad (měřením ověřený) .....	99
8.1.3 Odstranění zjištěného stavu (ověřeno měřením).....	100
8.2 Přístrojový transformátor napětí a proudu z hlediska EMC.....	101
8.2.1 Přístrojový transformátor napětí .....	102
8.2.2 Přístrojový transformátor proudu .....	105
8.3 Podmínky EMC mezi oběma stopami TV AC dvoukolejné trati.....	105
8.3.1 Obecně platné vztahy .....	106
8.3.2 Odpojené TV (varianta obvodu č. 1).....	107
8.3.3 Jednostranně ukolejňené TV (varianta obvodu č. 2) .....	107
8.3.4 Oboustranně ukolejňené TV (varianta obvodu č. 3).....	108
8.3.5 Číselné hodnoty .....	108
8.4 EMC izolovaného vodiče v poli trolejového vedení 25 kV, 50 Hz .....	109
8.5 Podmínky EMC výkonového transformátoru protékajícího nesinusovým proudem.....	110
9. Literatura .....	113