

OBSAH

1. Úvod	10
2. Základní vztahy, zdroje rušení	14
2.1. Základní vztahy	14
2.1.1. Výkony v obvodech s neharmonickými průběhy napětí a proudu	14
2.1.2. Poměrné hodnoty a celkový činitel zkreslení	16
2.1.3. Fourierovy řady, Fourierova transformace	17
2.2. Možnosti šíření rušení	18
2.3. Frekvenční pásma	20
2.4. Charakteristické ukazatele kvality elektrické energie	21
2.5. Zdroje harmonických	23
2.6. Harmonické generované obloukovými pecemi	24
2.7. Elektrotepelné spotřebiče – středofrekvenční ohřev	25
2.8. Vliv hromadného dálkového ovládání	26
2.9. Vliv světelných spotřebičů s elektronickými předřadníky	28
2.9.1. Teplotní zdroje	28
2.9.2. Výbojky s klasickým indukčním předřadníkem	29
2.9.3. Výbojky s elektronickým předřadníkem	30
2.9.4. Zatížení středního vodiče	30
2.9.5. Celkové zatížení napájecího kabelu, dimenzování vodičů	31
3. Impedance sítě, harmonická napětí	32
3.1. Náhradní model pro výpočet impedance sítě	34
3.1.1. Napájecí síť	35
3.1.2. Transformátory	35
3.1.3. Reaktory	36
3.1.4. Kondenzátorové baterie	37
3.1.5. Venkovní a kabelová vedení	37

3.1.6. Asynchronní motory.....	38
3.1.7. Synchronní motory.....	39
3.1.8. Zátěže nižších napěťových hladin.....	39
3.2. Pravidla pro tvoření celkových modelů.....	41
3.3. Charakteristické impedance zařízení.....	42
3.4. Ukázka průběhu.....	46
3.5. Harmonická napětí.....	48
4. Principy kompenzace účinníku a minimalizace harmonických.....	50
4.1. Princip kompenzace účinníku.....	50
4.2. Možnosti umístění kompenzačního zařízení.....	52
4.3. Technické prostředky pro kompenzaci účinníku.....	52
4.3.1. Prosté kondenzátory.....	52
4.3.2. Chráněné kompenzační sekce.....	53
4.3.3. Rotační kompenzátory.....	55
4.4. Užití kompenzace v dalších oblastech elektrických rozvodů.....	55
4.4.1. Kompenzace proudu transformátoru naprázdno.....	55
4.4.2. Určení kondenzátoru pro kompenzaci asynchronního motoru.....	56
4.5. Způsoby minimalizace harmonických.....	58
4.5.1. Omezení harmonických bez pomoci přídavných zařízení.....	58
4.5.2. Omezení vyšších harmonických s pomocí přídavných zařízení.....	60
5. Filtračně kompenzační zařízení.....	61
5.1. Požadavky na filtry.....	61
5.2. Základní vztahy pro návrh filtru.....	63
5.3. Podmínky pro volbu kondenzátorové baterie.....	65
5.3.1. Proudová podmínka.....	65
5.3.2. Napěťová podmínka.....	66
5.4. Vliv nekompensovaných harmonických.....	68
5.4.1. Proudová podmínka.....	69

5.4.2. Napět'ová podmínka.....	70
5.5. Volba kondenzátorové baterie podle potřebného kompenzačního výkonu.	71
5.6. Volba kondenzátorové baterie dle použitých kondenzátorových jednotek.	72
5.7. Výpočet základních parametrů tlumivky filtru.....	72
5.8. Vliv činného odporu tlumivky a rozladění obvodu na účinnost filtrace	73
5.9. Složitější typy filtrů.....	76
5.10. Napětí, proudy a výkony ve vícenásobných filtrech.....	77
5.10.1. Napět'ové poměry.....	77
5.10.2. Proudové poměry	80
5.10.3. Kompenzační výkon vícenásobných filtrů.....	80
5.10.4. Podmínky pro návrh vícenásobných filtrů.....	81
5.11. Komponenty kompenzačních zařízení.....	81
5.11.1. Regulátory jalového výkonu	81
5.11.2. Přístrojové transformátory	82
5.11.3. Kondenzátory	82
5.11.4. Tlumivky	82
5.11.5. Spínací prvky	83
5.12. Ukázka realizace filtračně kompenzačního zařízení.....	84
6. Filtr jako prvek sítě	85
6.1. Rozdělení harmonických proudů v síti s instalovaným filtrem	85
6.2. Možnosti vzniku rezonance	87
6.2.1. Sítě s instalovanou nechráněnou kompenzací.....	87
6.2.2. Sítě s instalovanou chráněnou kompenzací	87
6.3. Způsoby ladění filtrů a chráněné kompenzace.....	88
6.4. Zapínání a vypínání skupiny filtrů.....	89
6.5. Vlivy FKZ na stabilitu napětí sítě.....	90
6.5.1. Kompenzační účinek filtrů.....	90
6.5.2. Filtrační účinek filtrů.....	91

6.5.3. Celkový vliv filtračně kompenzačního zařízení	92
6.6. Příklad řešení výpočtu impedance sítě, využití filtru, vzniku paralelní rezonance a způsobu odstranění.....	92
6.7. Problematika připojení vybitého kondenzátoru.....	97
6.8. Interakce mezi kompenzátory a signálem HDO	97
7. Způsoby řízení kompenzačního výkonu	99
7.1. Pevná a proměnná kompenzace	99
7.2. Základní způsoby proměnné kompenzace	100
7.3. Kompenzační zařízení se stupňovitým spínáním kapacity	101
7.4. Kompenzace s rotačním kompenzátorem	101
7.5. Dynamická kompenzace účinníku	102
7.5.1. Tyristorově spínané kondenzátory	102
7.5.2. Tyristorově spínaná indukčnost	103
7.5.3. Další speciální zapojení.....	106
7.5.4. Příklady řešení dynamické kompenzace účinníku v praxi.....	108
8. Aktivní filtry.....	109
8.1. Rozdělení aktivních filtrů.....	109
8.1.1. Paralelní aktivní filtr	109
8.1.2. Sériový aktivní filtr	111
8.1.3. Kombinovaný aktivní filtr.....	111
8.2. Koncepce filtrů.....	112
8.3. Principy regulace aktivních filtrů.....	113
8.3.1. Filtrace harmonických.....	113
8.3.2. Kompenzace účinníku.....	114
8.4. Připojení k síti a aktivní zátěži	114
8.5. Požadavky na řídicí systémy aktivních filtrů.....	116
8.5.1. Požadavky na řídicí systém sériových aktivních filtrů	116
8.5.2. Požadavky na řídicí systém paralelních aktivních filtrů.....	116

8.6. Použití aktivních filtrů	117
8.6.1. Elektronický setrvačnick	117
8.6.2. Linkový kondicionér.....	117
8.6.3. Vývoj aktivních filtrů VN.....	118
8.7. Návaznost na standard ČSN EN 61000-2-4	119
9. Vlivy měničů na napájená zařízení.....	120
9.1. Modely pro vyšetřování jevů v soustavě měnič – kabel - motor.....	121
9.1.1. Model měniče	121
9.1.2. Model motoru	122
9.1.3. Model filtru	123
9.1.4. Model kabelu	123
9.2. Vlivy parametrů soustavy na velikost a frekvenci kmitů.....	125
9.2.1. Strmost náběžné hrany napětí měniče kmitočtu.....	125
9.2.2. Délka kabelu	126
9.2.3. Frekvence napěťových kmitů	127
9.2.4. Kapacita motoru.....	128
9.3. Projevy kmitů v asynchronních motorech, vliv na vinutí.....	129
9.4. Vlivy vysokofrekvenčních kmitů v kabelu na okolí.....	131
9.5. Související normy	132
10. Minimalizace negativních účinků na motory	133
10.1. Zmenšení strmosti výstupního napětí střídače	133
10.2. Terminátory	135
10.2.1. Zamezení vzniku velkého du/dt	136
10.2.2. Zamezení kmitů na vstupu do motoru	137
10.3. Filtry du/dt	137
10.3.1. Úbytek napětí na indukčnosti filtru	138
10.3.2. Návrh velikostí indukčnosti filtru.....	139
10.3.3. Návrh velikostí kondenzátoru filtru.....	140

10.3.4. Určení velikosti tlumicího odporu	140
10.3.5. Ukázky působení filtru	140
10.4. Sinusové filtry	142
10.4.1. Základní řešení	143
10.4.2. Návrh velikosti tlumicího odporu	143
10.4.3. Vliv velikosti zátěže motoru	145
10.4.4. Vliv výstupní frekvence střídače.....	145
10.4.5. Volba rezonanční frekvence filtru.....	146
10.4.6. Vliv frekvence pulzně šířkové modulace.....	146
10.4.7. Výsledky měření	146
10.5. Dimenzování motorů, určených pro napájení z měničů	149
11. Flicker.....	150
11.1. Definice a příčiny vzniku flickeru	150
11.2. Účinky flickeru na lidský organismus	151
11.3. Postup při výpočtu flickeru	152
11.3.1. Výpočet relativní změny napětí d	152
11.3.2. Výpočet (rušivého) činitele flickeru A	153
11.3.3. Činitel tvaru F	155
11.4. Měření a vyhodnocování flickeru	156
11.4.1. Způsoby měření a vyhodnocování flickeru.....	156
11.4.2. Měřicí technika pro měření flickeru.....	158
11.4.3. Měření flickeru.....	161
11.5. Snížení vlivu flickeru	162
11.6. Flicker a normy	164
12. Měření energetického rušení.....	166
12.1. Použité způsoby měření a vyhodnocení.....	166
12.2. Měřicí transformátory	167
12.3. Analyzátor BK 550	168

12.3.1. Základní popis.....	168
12.3.2. Programové moduly.....	169
12.4. Ukázky měření měničů.....	171
13. Rušení a normy	173
13.1. Základní pojmy	173
13.2. Základní struktura norem EMC.....	174
13.3. Základní normy EMC ve vysokofrekvenční oblasti.....	175
13.3.1. Normy EMC určující přípustné vyzařování elektrických zařízení....	175
13.3.2. Elektromagnetická prostředí a třídy odolnosti	175
13.3.3. Zkoušky odolnosti zařízení a systému.....	176
13.3.4. Stanovení rušivého vyzařování z hlediska EMC.....	177
14. Připojování měničů do distribučních sítí	178
14.1. Obecné zásady pro připojování měničů.....	178
14.2. Imunita citlivých obvodů ve vztahu k měničům kmitočtu	179
14.3. Šíření rušení, které vznikne provozem měničů	180
14.4. Základní postupy při instalaci měničů.....	180
14.5. Dodatečná opatření pro citlivé obvody měničů.....	181
14.6. Principy návrhu elektronických zařízení z hlediska EMC	182
14.6.1. Zemnění systému	182
14.6.2. Napájecí zdroj	182
14.6.3. Chlazení výkonových součástí.....	182
14.6.4. Stykové obvody	182
14.6.5. Stínění	183
14.7. Doporučení pro odběratele techniky, požadující splnění norem EMC	183
15. Literatura.....	184
16. Použité značky	187