

Václav Kůs

Vliv polovodičových měničů na napájecí soustavu

*Vydáno s finanční podporou Grantové agentury České republiky,
číslo úkolu GAČR 102/02/1355.*

2002



Kniha se zabývá aktuální problematikou vlivu polovodičových zařízení na napájecí síť v oblasti nízkofrekvenčního rušení.

Jsou zde uvedeny jak postupy pro exaktní výpočty harmonických proudů, tak i zjednodušené návody na určení harmonických proudů s přesností, která je v praxi dostačující. Mnohé kapitoly jsou doplněny ukázkami časových průběhů proudů a výsledky jejich následné harmonické analýzy.

Je určena pro všechny, kteří se chtějí dozvědět více o polovodičových měničích, a to nejen z jejich kladné stránky. Projektanti a konstruktéři najdou návod na výpočty harmonických proudů, uživatelé měničů si mohou snadno zjistit jejich projevy v závodových sítích, možnosti jejich zjišťování a soulad s normami.

Václav Kůs

Vliv polovodičových měničů na napájecí soustavu

Bez předchozího písemného svolení nakladatelství nesmí být kterákoli část kopírována nebo rozmnožována jakoukoli formou (tisk, fotokopie, mikrofilm nebo jiný postup), zadána do informačního systému nebo přenášena v jiné formě či jinými prostředky.

Za původnost a jazykovou i věcnou správnost díla zodpovídá autor. Uvedené názvy výrobců, výrobků, metod a různých materiálů mohou být ochrannými známkami. Nároky na odškodnění na základě změn, chyb nebo vynechání jsou zásadně vyloučeny.

Recenzoval Prof. Ing. František Vondrášek, CSc.

Všechna práva vyhrazena.

© Doc. ing. Václav Kůs, CSc., Praha 2002

© Nakladatelství BEN – technická literatura, Věšínova 5, Praha 10

Kůs Václav: Vliv polovodičových měničů na napájecí soustavu
BEN – technická literatura, Praha 2002

1. vydání

ISBN 80-7300-062-8

Předmluva

S pojmem kompatibilita se u širší veřejnosti obvykle spojuje možnost užití určitého zařízení v součinnosti s jiným zařízením. Velmi často je to u výpočetní techniky, u různých televizních systémů či jiné audio – video techniky. Budeme-li hovořit o elektromagnetické kompatibilitě, pak je to v širším kontextu opět rušení televizi a podobných zařízení. V dnešní době, kdy jsou stále více nasazována polovodičová zařízení, je však celkový instalovaný výkon takový, že rušení, jak se někdy nesprávně zkráceně elektromagnetické kompatibilitě říká, se projevuje i ve frekvencích velmi nízkých, blízkých několika málo násobkům základní frekvence sítě. Takovému rušení pak říkáme nízkofrekvenční rušení.

Literatura se nízkofrekvenčním rušením zabývá velmi dlouho. U nás to byla například kniha „Zpětný vliv výkonových polovodičových měničů na napájecí síť“ [48], vydaná v roce 1979. Ve světě to jsou například knihy od Arrilagy [1], Pellyho [54] nebo Žeželenka [78]. Pouze negativními účinky měničů se zabývají knihy od Klosse [29], [30]. Od dob vydání těchto knih však pokrok výkonové polovodičové elektroniky velmi pokročil. Namátkou jmenujme pulzní usměrňovače a zejména měniče kmitočtu s napěťovými střídači. Přestože se v literatuře objevují dílčí články, popisující jednotlivé měniče, neexistuje souhrnná publikace, která by se vlivy polovodičových měničů na síť zabývala. Kniha „Elektromagnetická kompatibilita“ [67] se zabývá zejména vysokofrekvenčním rušením. Zůstává tedy nezpracována oblast vlivů měničů v nízkofrekvenčním pásmu.

Předkládaná kniha si klade za cíl uvedenou mezeru zaplnit. Snahou bylo napsat knihu takovým způsobem, aby v ní našli odpovědi jak specialisté, odborníci, ale i technici, kteří se chtějí (nebo i musí) vlivy měničů na síť zabývat. Proto je každá kapitola věnována jinému druhu měničů, včetně těch nejnovějších. V každé kapitole je obvykle proveden jak teoretický rozbor, tak jsou uvedeny výsledky simulací i praktických měření. Pokud se daným měničem zabývají normy, je uveden i vztah k danému měniči. Jak se mi podařilo cíl splnit, ponechám laskavě na čtenáři.

Rád bych též poděkoval kolektivu spolupracovníků z Katedry výkonové elektroniky Západočeské univerzity v Plzni za mnohé cenné rady a připomínky, které mi umožnily knihu dopsat. Můj dík patří též Grantové agentuře České republiky, s jejichž finanční podporou mohla tato kniha vyjít.

Autor

Obsah

1. Úvod	11
2. Definice a průběhy neharmonických veličin	16
2.1 Harmonická analýza	16
2.1.1 Základní vlastnosti Fourierovy řady	16
2.1.2 Komplexní tvar Fourierovy řady, Fourierova transformace	18
2.1.3 Volba kmitočtu vzorkování	20
2.2 Harmonické ve výkonové elektronice a v elektrických pohonech	20
2.3 Charakteristické a necharakteristické harmonické, meziharmonické	23
2.4 Výkony v obvodech s neharmonickými průběhy napětí a proudu	24
2.5 Poměrné hodnoty a celkoví činitelé zkraslení	26
3. Harmonické proudy usměřovačů	28
3.1 Harmonické proudy usměřovače při zjednodušených podmínkách činnosti	28
3.1.1 Idealizované podmínky činnosti, amplitudový zákon	29
3.1.2 Vliv úhlu komutace na harmonické proudy	32
3.2 Harmonické proudy usměřovače při uvažování reálných parametrů	34
3.2.1 Výpočet proudu procházejícího tyristorem	34
3.2.2 Zvlnění ve stejnosměrném obvodu	37
3.2.3 Vliv úhlu komutace	38
3.2.4 Vliv úhlu řízení	39
3.2.5 Výsledky numerické analýzy	39
3.2.6 Ukázka naměřených průběhů z praxe	41
3.2.7 Harmonické proudy při přerušovaných proudech motoru	42
3.2.8 Harmonické proudy usměřovačů při nesymetrických podmínkách činnosti	43
3.3 Harmonické proudy usměřovačů a normy	48
4. Harmonické proudy přímých měničů kmitočtu	50
4.1 Harmonické a meziharmonické vstupního proudu měniče	51
4.2 Amplitudy harmonických a meziharmonických přímých měničů kmitočtu	52

4.3	Harmonické přímých měničů kmitočtu a normy	53
5.	Harmonické proudy měničů napětí	54
5.1	Jednofázové měniče napětí	54
5.2	Třífázové měniče napětí	56
5.3	Harmonické měničů napětí a normy	58
6.	Harmonické proudy	
	podsyncronní polovodičové kaskády	59
6.1	Problematika transformace harmonických proudů přes stejnosměrný meziobvod	61
6.2	Harmonické proudy podsyncronní polovodičové kaskády	61
6.3	Harmonické podsyncronní polovodičové kaskády a normy	62
7.	Harmonické proudy	
	nepřímých měničů kmitočtu s proudovým střídačem	64
7.1	Charakteristické harmonické proudy měničů s proudovým střídačem	64
7.2	Meziharmonické proudy měničů s proudovým střídačem	65
7.3	Harmonické měničů s proudovým střídačem a normy	65
8.	Harmonické proudy	
	nepřímých měničů kmitočtu s napěťovým střídačem	66
8.1	Harmonické proudy měniče kmitočtu s napěťovým střídačem při zjednodušených podmínkách činnosti	66
8.1.1	Harmonická analýza proudu jednofázového můstku	67
8.1.2	Harmonická analýza proudu třífázového můstku	68
8.1.3	Zobecněný amplitudový zákon	69
8.1.4	Zpřesněný popis průběhu proudu odebíraného měničem	70
8.2	Měnič kmitočtu s napěťovým střídačem při uvažování reálných parametrů	73
8.2.1	Základní model obvodu	73
8.2.2	Indukčnost v obvodu na straně usměrňovače, jednofázové spojení	75
8.2.3	Třífázový můstek, indukčnost na straně usměrňovače	81
8.2.4	Střídač, připojený ke stejnosměrnému obvodu	84
8.2.5	Shrnutí poznatků k průběhu proudu, odebíraného měničem ze sítě	86

8.3 Vliv vlastností komponent měniče na harmonické proudy	
a energetické ukazatele	87
8.3.1 Simulační model měniče	87
8.3.2 Prvky použité v modelu měniče	88
8.3.3 Vliv kondenzátoru ve stejnosměrném obvodu	89
8.3.4 Vliv napájecí soustavy na harmonické proudy měniče kmitočtu	90
8.3.5 Vliv indukčnosti ve stejnosměrném meziobvodu měniče	96
8.3.6 Vliv indukčnosti na vstupní straně měniče	96
8.4 Měření harmonických proudů, výkonů a účinníku měniče	97
8.4.1 Měření v laboratorních podmínkách	97
8.4.2 Měření v průmyslových závodech	102
8.5 Harmonické proudy měničů	
při nesymetrických podmínkách činnosti	103
8.6 Harmonické proudy impulzních napájecích zdrojů	105
8.6.1 Základní blokové schéma síťového zdroje	106
8.6.2 Základní konfigurace výkonových obvodů impulzních zdrojů	107
8.6.3 Moderní řešení spínacích zdrojů	107
8.7 Harmonické proudy měničů kmitočtu	
s napěťovým střídačem a normy	108
9. Harmonické proudy pulzních usměrňovačů	110
9.1 Základní vlastnosti pulzních usměrňovačů	110
9.1.1 Napěťové pulzní usměrňovače	110
9.1.2 Proudové pulzní usměrňovače	112
9.2 Výpočty harmonických proudů	
pulzních usměrňovačů	114
9.3 Měření pulzního usměrňovače napěťového typu	116
9.4 Pulzní usměrňovače a normy	121
10. Současná práce více měničů	122
10.1 Současná práce dvou měničů	122
10.1.1 Eliminace proudů 5. a 7. harmonické	123
10.1.2 Rozdílný úhel řízení dvou měničů	123
10.2 Současná práce většího počtu měničů	125
10.3 Statistické vyhodnocení	127
10.4 Současná práce měničů kmitočtu	129
10.5 Soubory současně pracujících měničů a normy	129
11. Měření energetických parametrů měničů	132
11.1 Způsoby měření a vyhodnocení harmonických	132

11.2 Norma ČSN EN 61000-4-7	133
11.2.1 Předmět a rozsah použití normy	133
11.2.2 Charakteristiky měřeného signálu	134
11.2.3 Všeobecné požadavky na přístrojovou techniku	134
11.2.4 Požadavky na přístrojovou techniku pracující v časové oblasti	135
11.2.5 Časové intervaly měření	136
11.3 Antialiasing filtr	137
11.4 Vliv konečné doby pozorování signálu	
na jeho spektrum	140
11.4.1 Porovnání vlastností nejvíce používaných okének	142
11.4.2 Porovnání oken	143
11.4.3 Doporučené využití oken	143
11.5 Zpracování výsledků měření	144
11.5.1 Použití statistiky	144
11.5.2 Časové závislosti naměřených veličin	144
11.5.3 Frekvenční závislosti naměřených veličin	145
11.5.4 Znázorňované parametry	145
11.6 Ukázky měřených veličin	146
12. Normy a EMC	
v nízkofrekvenčním rušení	153
12.1 Základní zákony a nařízení o EMC	154
12.2 Popisy nejdůležitějších norem	
nízkofrekvenčního rušení	159
12.2.1 ČSN IEC 1000-2-1	159
12.2.2 ČSN EN 61000-2-2	160
12.2.3 ČSN EN 61000 – 2 – 4	161
12.2.4 ČSN EN 61000 – 3 – 2	162
12.2.5 IEC 61000-3-4	163
12.2.6 ČSN EN 61000-4-x	164
12.2.7 Normy pro vysokofrekvenční rušení	164
12.3 Vyhledávání platných norem	165
13. Literatura	167
14. Použité značky	172
Knihy nakladatelství BEN – technická literatura	176