

ЕЛЕКТРОМАГНІТНА СУМІСНІСТЬ У СИСТЕМАХ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

Підручник для магістрів



**Дніпропетровськ
2009**

УДК 537.53
ББК 31.211
Е 50

Затверджено Міністерством освіти і науки України
як підручник для студентів вищих навчальних закладів
(Лист № 1/11-6418 від 03.08.09)

Рецензенти:

заступник директора з наукової роботи Інституту електродинаміки НАН України, чл.-кор. НАН України **А. Ф. Жаркін**,
професор кафедри теоретичних основ електротехніки Національного технічного університету України "КПІ", д-р техн. наук **В. С. Бойко**,
член НМК з напрямку 6.050701 "Електротехніка та електротехнології",
доцент, канд. техн. наук **В. А. Баженов**

Е 50 **Електромагнітна сумісність у системах електропостачання:**
Підручник / І. В. Жежеленко, А. К. Шидловський, Г. Г. Півняк,
Ю. Л. Саєнко. – Д., Нац. гірнич. ун-т, 2009. – 319 с.: іл.

ISBN 978-966-350-153-6

Розглянуто електромагнітні процеси, що викликані кондуктивними та польовими електромагнітними перешкодами (ЕМП) з орієнтацією на особливості промислового виробництва. Розкрито економічні та правові питання електромагнітної сумісності (ЕМС). Особливу увагу приділено інтергармонічним ЕМП, що зумовлені роботою частотного електроприводу, та питанням електромагнітної екології. Викладено фізичні явища, що супроводжують обумовлені процеси, методи їхнього аналізу та розрахунку. Матеріал проілюстровано практичними прикладами.

Для студентів, які навчаються за спеціальностями напряму підготовки «Електротехніка». Може бути використаний також студентами інших електроенергетичних спеціальностей, аспірантами, науковцями у сферах проектування й експлуатації систем електропостачання підприємств та виробництв.

УДК 537.53
ББК 31.211

ISBN 978-966-350-153-6

© Жежеленко І. В., Шидловський А. К.,
Півняк Г. Г., Саєнко Ю. Л., 2009
© Національний гірничий університет, 2009

З М І С Т

Передмова.....	7
Частина I	
Кондуктивні перешкоди.....	9
<i>Розділ перший</i>	
Роль електромагнітної сумісності в системі електротехнічної освіти.....	9
1.1. Основні положення.....	9
1.2. Електромагнітна сумісність: історія й розвиток.....	11
1.3. Основні поняття й терміни.....	14
1.4. Методичні рекомендації.....	17
<i>Розділ другий</i>	
Нормування електромагнітних перешкод і електромагнітної сумісності.....	19
2.1. Нормування показників.....	19
2.2. Норми якості електричної енергії.....	23
2.3. Нормування коливань напруги.....	28
2.4. Нормування інтергармонік.....	32
2.5. Імпульси й провали напруги.....	35
2.6. Вимір показників електромагнітної сумісності.....	39
2.7. Вимір амплітудно-частотних характеристик вузлів мережі	46
<i>Розділ третій</i>	
Джерела електромагнітних перешкод.....	49
3.1. Вентильні перетворювачі.....	49
3.2. Перетворювач частоти з ланкою постійного струму.....	51
3.3. Безпосередні перетворювачі частоти.....	57
3.4. Асинхронний інверторний каскад.....	65
3.5. Вимикачі з тиристорним керуванням.....	67
3.6. Дугові сталеплавильні печі та електрозварювальні установки.....	72
3.7. Перешкоди в контактних мережах електричного транспорту.....	77

<i>Розділ четвертий</i>	
Особливості впливу електромагнітних перешкод.....	80
4.1. Вплив на електроустаткування, системи захисту та автоматики.....	80
4.2. Втрати активної потужності.....	92
4.3. Скорочення терміну служби ізоляції.....	101
4.4. Уточнені розрахунки впливу електромагнітних перешкод.....	104
<i>Розділ п'ятий</i>	
Внутрішні перенапруги.....	124
5.1. Перенапруги при роботі вимикачів.....	124
5.2. Комутаційні перенапруги.....	125
5.3. Перенапруги при однофазних замиканнях на землю.....	129
5.4. Ферорезонансні перенапруги.....	132
<i>Розділ шостий</i>	
Розрахунок рівнів електромагнітних перешкод у вузлах електричного кола.....	139
6.1. Вихідні положення.....	139
6.2. Розрахунок відхилень напруги.....	142
6.3. Розрахунок несиметрії напруг.....	145
6.4. Розрахунок вищих гармонік та інтергармонік.....	154
6.5. Розрахунок коливань напруги.....	166
6.6. Розрахунок провалів напруги.....	177
<i>Розділ сьомий</i>	
Методи й засоби забезпечення електромагнітної сумісності	185
7.1. Зниження несиметрії напруг.....	185
7.2. Оцінка реактивної потужності.....	193
7.3. Засоби компенсації реактивної потужності.....	196
7.4. Фільтрокомпенсуючі пристрої.....	198
7.5. Активні фільтри.....	207
7.6. Зниження ЕМП на тягових підстанціях.....	210
7.7. Компенсація коливань напруги.....	213
7.8. Поділ навантажень.....	220

Частина 2	
Польові перешкоди.....	223
<i>Розділ восьмий</i>	
Атмосферні перенапруги.....	223
8.1. Блискавка.....	223
8.2. Атмосферні перенапруги.....	226
8.3. Засоби захисту від перенапруг.....	229
8.4. Захист електроустановок від перенапруг.....	232
<i>Розділ дев'ятий</i>	
Вплив електромагнітних перешкод на навколишнє середовище та організм людини.....	237
9.1. Електромагнітна обстановка на об'єктах систем електропостачання.....	237
9.2. Особливості впливу електромагнітних перешкод на організм людини.....	239
9.3. Нормування безпечних значень напруженостей електромагнітного поля.....	241
9.4. Екранування магнітних полів.....	242
9.5. Заземлення.....	247
9.6. Вплив електростатичних полів.....	257
9.7. Безпека праці й охорона середовища.....	259
9.8. Вплив на навколишнє середовище.....	260
Частина 3	
Правові та економічні питання електромагнітної сумісності.....	265
<i>Розділ десятий</i>	
Економічні питання електромагнітної сумісності.....	265
10.1. Збитки через незадовільну електромагнітну сумісність.....	265
10.2. Оцінка економічного збитку.....	269
10.3. Розрахунок часткового внеску електромагнітних перешкод.....	271
Додатки.....	276
Список літератури.....	317

ПЕРЕДМОВА

На сучасному етапі проблема електромагнітної сумісності (ЕМС) є найбільш значущою і стоїть поряд із проблемами екології, енергетичної безпеки та енергоресурсозбереження. Щорічні економічні збитки, обумовлені незадовільним рівнем сумісності в промисловості та побуті, склали (за різними оцінками) від 100 до 500 млрд. євро.

Вирішенню теоретичних і прикладних питань ЕМС присвячені роботи відомих учених і практиків. Ці роботи знайшли відображення як у фундаментальних монографіях, так і в публікаціях у спеціальних журналах і матеріалах міжнародних організацій, таких, як МЕК, CENELEC та ін. В Україні широко відомі монографії, інші праці таких фахівців у галузі ЕМС, як А.К. Шидловський, В.Г. Кузнецов, Е.Г. Курінний та інші; у Росії – колективу авторів МЕІ за ред. А.Ф. Дьякова, І.В. Карташева та ін.

В університетах Європи в більшості випадків курс ЕМС входить до навчальних планів. У Росії з 2002 року цей курс викладається в технічних університетах. За курсом ЕМС написані й видані підручники та навчальні посібники за ред. проф. М.В. Костенка (СпбТУ), проф. Вагіна Г.Я. (Нижегородський ТУ) та низка інших. В Україні в 1990 р. був підготовлений навчальний посібник «Теоретичні основи ЕМС». Однак дотепер підручника з ЕМС немає. У цих виданнях розглядаються переважно або польові електромагнітні перешкоди, або кондуктивні, без орієнтації на особливості промислового виробництва та побуту.

Розуміючи значущість і важливість підготовки кадрів, що володіють знаннями в галузі ЕМС, автори поставили за мету написати підручник для магістрів. На нашу думку, вивчення курсу ЕМС повинно завершувати цикл спеціальних дисциплін електротехнічного профілю, тому підручник орієнтований на підготовку магістрів.

У пропонованому підручнику розглянуто електромагнітні процеси, пов'язані як із кондуктивними, так і польовими електромагнітними перешкодами. Вони подані в перших двох частинах підручника. Третя частина присвячена економічним і правовим питанням

ЕМС. У першій частині особливу увагу приділено інтергармонічним електромагнітним перешкодам, емісія яких зумовлена роботою частотного електроприводу. Цей вид регульованого електроприводу поширений переважно в промисловості та побутовій техніці. Окремо розглянуто питання ЕМС в електричних мережах з вітро-двигунами. Приділено серйозну увагу відносно новим питанням провалів та імпульсів напруги. Серед питань корекції негативного впливу електромагнітних перешкод особливо виділено технічні засоби на базі активних фільтрів.

У другій частині підручника автори надали сучасні дані щодо впливу електромагнітних полів на біосферу, тобто розглянули питання електромагнітної екології.

У роботі над підручником автори використовували доступну їм вітчизняну й зарубіжну літературу, включаючи матеріали кінця 2008 року. Суттєву роль зіграв особистий досвід, отриманий під час науково-дослідних і прикладних робіт, що проводилися на промислових підприємствах, об'єктах комунального господарства і в провідних проектних інститутах СНД. Використано також матеріали кандидатських і докторських дисертацій, що виконувалися в останні роки під керівництвом (або при активному консультуванні) авторів.

У число додатків, до яких включені деякі довідкові й директивні матеріали, увійшли також теми випускних магістерських робіт, значущість яких, на нашу думку, відповідає вимогам теорії та практики ЕМС.

У роботі над книгою авторам надавали постійну допомогу викладачі, співробітники й магістранти електротехнічних кафедр Приазовського державного технічного університету та Національного гірничого університету, яким ми щиро вдячні.

Для закріплення теоретичного матеріалу, окрім прикладів практичних розрахунків, наприкінці кожного розділу подано контрольні запитання та теми рефератів, що спрямують самостійну роботу студентів.

Автори з вдячністю приймуть зауваження та побажання, які будуть сприяти подальшому покращенню підручника.