

ОТНОСНО РАЗШИРЯВАНЕ НА ДЕФИНИЦИОННАТА ОБЛАСТ НА ЕЛЕКТРОЕНЕРГИЙНАТА КАТЕГОРИЯ „ЕЛЕКТРОМАГНИТНА СЪВМЕСТИМОСТ“ И РЕЛАТИВНАТА ѝ ВРЪЗКА С НАДЕЖНОСТТА НА ЕЛЕКТРОСНАБДЯВАНЕТО

Илиев И.Х., Панчев Р.К., Пройков М.А., Киров Р.М.

МГУ Св. Иван Рилски

Технически университет – Варна

Университет "Проф. д-р Асен Златаров" – Бургас

Технически университет – Варна

CONCERNING THE EXTENSION OF THE DEFINITION AREA OF THE ELECTRIC POWER CATEGORY “ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY” AND ITS RELATION TO THE RELIABILITY OF THE ELECTRIC POWER SUPPLY

Iliev I.H., Panchev R.K., Proykov M.A., Kirov R.M.

UMG St.Ivan Rilski

Technical university Varna

University "Prof. D-r Asen Zlatarov" – Burgas

Technical university Varna

Abstract

A complex approach to electromagnetic compatibility (EMC) examination is scientifically grounded, apart from conductive interference, the influence of electromagnetic fields on EMC is also analyzed. In this order, a correlation link between the EMC and the reliability of the electric power supply has been established by applying probabilistic - statistical methods. This allows for a more complete and comprehensive definition of the EMC definition area and the establishment of interdependencies between different impact factors and baseline parameters in the ESS.

Keywords: electromagnetic compatibility, reliability, probabilistic - statistical methods

ВЪВЕДЕНИЕ

Електромагнитната съвместимост (EMC) е способността на крайния потребител на електрическа енергия (ЕЕ) да работи нормално в заобикалящата го електромагнитна среда и да не внася електромагнитни смущения, недопустими за останалите консуматори. Необходимите електрически процеси за осигуряване на технологичните функции на консуматора, могат да доведат до влошаване на свойствата на мрежата и/или качеството на електрическата енергия (КЕЕ). В първия случай се намалява, пропускателната способност и надеждността на мрежата, а във втория се влошава

електроенергийната ефективност (ЕЕЕФ). По такъв начин проблемът за управлението на КЕЕ представлява част от по – общия проблем за осигуряване на EMC [1,2].

Възникването на влошена EMC се дължи не само на съществуващото разнообразие на режими, явления и процеси, свързани с експлоатацията П/ст ВН и СН (установени, преходни, комутационни, аварийни и др. режими), но така също и на действието на естествени (природни) смущаващи фактори - слънчеви изригвания, аномалии в магнитното поле на Земята, мълнии, статично електричество и др. Следователно, при изследване на негативното влияние на раз-

личните източници на електромагнитни смущения, трябва да се подхожда всеобхватно и комплексно, като се разглеждат не само техническите и технологични страни на това явление, но се анализират и оценяват проблемите свързани с медицинските, екологичните и общочовешките фактори.

ЕМС като техническа категория с изключително важни за надеждността на електроенергетиката функции, се проявява и съществува чрез две материални субстанции – от една страна това е изградената като инфраструктура електроенергийна система, съставена от функциониращи съоръжения, елементи, електрически апарати и машини, а от друга страна – това е продуктът на тази система, а именно създаденото, трансформирано и потребено електричество под формата на електромагнитни полета и тяхното търговско проявление – електрическа енергия.

ИЗЛОЖЕНИЕ

Електроенергетиката на СН, ВН и СВН се характеризира с възможности за създаване на високи интензивности на електрическото поле E с $f = 50\text{Hz}$ (до 25kV/m . и по – високи), а също и високи интензивности на магнитното поле H (до 1000A/m . и по – високи). Източниците на електромагнитни въздействия в подстанциите са [7,8,9,10]:

- *преходни процеси на СН и ВН, при комутация на прекъсвачи и разединители;*
- *преходни процеси на СН и ВН, при к.с. на промишлена честота;*
- *преходни процеси в заземителни устройства от токове на к.с. и мълнии;*
- *преходни процеси при комутации на индуктивности на СН и НН;*
- *преходни процеси в мрежи с различно напрежение при удари от мълнии върху обекти или в близост до него;*
- *електрически и магнитни полета на промишлена честота, създадени от силовото обзавеждане на различни подстанции;*
- *разряди на статично електричество;*

- *смущения от переходните съпротивления в контактните съединения;*
- *пиезоелектрически смущения;*
- *дрейф на параметрите на елементите;*
- *разсъгласуване във времената за комутация на логически устройства и др.*

При комутация на прекъсвачи и разединители ВН, възниква преходен процес, съпроводен от серия от импулси с повторно запалване на ел. дъга, като при разединителите тези повторни запалвания могат да достигнат до няколко хиляди. Затихващите колебателни импулси на тока или напрежението се разпространяват по шинните системи на РУ и създават електрически и магнитни полета. Времетраенето на този процес е от няколко наносекунди, за прекъсвачи в П/ст с елегазови КРУ, до няколко стотин наносекунди, за прекъсвачи в П/ст с ОРУ. При разединителите тези времена са от няколко милисекунди до няколко секунди. [3, 4, 5, 7].

Силовото оборудване в П/ст ВН (трансформатори, реактори, кондензаторни батерии, шини, заземителни инсталации, кабели и др.), създават около себе си електрически и магнитни полета с промишлена честота, а също и хармонични съставящи. В резултат на влиянието на електрическото и магнитното поле на честота 50Hz и на нискочестотните хармоници, вследствие на проникване на смущения може да се достигне до разстройване на работата на системите за автоматично управление на електротехническите обекти, системите за контрол и мониторинг и на терминалните микропроцесорни устройства. [7, 9, 13]. Близкото разположение на реакторните помещения и помещенията с компенсаторите на реактивна мощност до устройствата за управление, което е често явление за П/ст на ВН и СН е типичен пример за електромагнитна несъвместимост и съществен показател за намаляването на надеждността на ЕСС.

При к.с. токът на промишлената честота през заземителните устройства, може да достигне $(50 \div 60)\text{kA}$ и повече, при времетраене няколко десетки от секундата. Този ток може да предизвика в отделни точки на

заземителните устройства опасно повишение на потенциала (по отношение на автоматизираните системи за управление). По този начин в кабелите и проводниците на вторичната комутация (измервателни вериги, вериги за управление, сигнализация и мониторинг към терминални устройства и релейни защиты и др.), могат да възникнат пренапрежения и токове, протичащи по заземените метални обвивки и жила, като е възможно да настъпят повреди в изолацията на тези кабели, “взрив“ в кабелите, прегаряне на контактните съединения и др. [5,6,7,9].

Във връзка с анализирания по-горе съображения в табл.1 са представени в синтезиран вид хигиенни норми за въздействието на електромагнитни полета на промишлена честота, възприети в различни страни [7].

В табл.2 са представени стойности за електромагнитни смущения, генерирани от различни съоръжения и някои допълнителни характеристики: За ВЕЛ на ВН, минаващи близо до населено място, се регламентират следните допустими интензивности на полето, непосредствено под линиите, при неограничено време за пребиваване [7,9,12]:

- 20 kV/m - за труднодостъпни местности (планини, водоеми и др.)
- 15kV/m – за ненаселени местности;
- 10kV/m – за пресичане на пътища;
- 5kV/m – за населени места.

Страна	Въздействие	Пределно - допустими стойности за ЕП 50Hz	Пределно - допустими стойности за МП 50Hz
Международни IINRC/IRPA	Производство, за работен ден	10kV/m	0,5МТл (400А/м)
	Кратковременно	30kV/m	5МТл (4kA/м)
	Локално	-	25МТл (20kA/м)
	За население, за денонощие	5kV/m	0,1МТл (80А/м)
Международни CENELEC	До 2 часа в денонощие	10kV/m	1МТл (800А/м)
	Производство	20,7kV/m	3976А/м
ФРГ	Непроизводство	7kV/m	320А/м
	Производство	$E_{нд(ср)} = 20kV/m$	$H_{нд(ср)} = 4kA/m$

		За населението	$E_{нд(ср)} = 30kV/m$	$H_{нд(макс)} = 6kA/m$	
Великобритания (NRPB)	Производство		$E_{нд(макс)} = 30kV/m$	$H_{нд(макс)} = 1,5kA/m$	
	Денонощно		2,6kV/m	138А/м	
	Случайно		12kV/m	600А/м	
Япония	Техн. стандарт за ВЛ 275kV		$E_{макс} = 7kV/m$	-	
Р. България	Производство		$E_{нд(макс)} = 5kV/m$; (5÷10)kV/m, $T \leq 180min$; (10÷15)kV/m, $T \leq 90min$; (15÷20)kV/m, $T \leq 10min$; (20÷25)kV/m, $T \leq 5min$; $E_{нд(макс)} = 25kV/m$	-	
Полша	Производство		$E_{нд(макс)} = 15kV/m$	-	
	За населението		$E_{нд(макс)} = 10kV/m$ (1÷10)kV/m, краткотрайно		
Нов Южен Уелс	ВЛ 500kV, на границата на сервитута		$E_{макс} = 2kV/m$	-	
Австралия	Общи изисквания за съоръжения ВЛ		-	-	
Чехия	Производство и за населението		$E_{нд(макс)} = 15kV/m$; 10kV/m при пресичане на път I и II клас; 15kV/m – постоянно пребиваване	-	
САЩ	(AGGIN)	Производство	$E_{макс} = 25kV/m$		
	Флорида	Под ВЛ 500kV	$E_{макс} = 10kV/m$		
		ВЛ 230kV	$E_{макс} = 8kV/m$		
		На гр. сервитут	$E_{макс} = 2kV/m$		
	С. Дакота	На гр. сервитут	$E_{макс} = 8kV/m$		
	Орегон	В сервитута	$E_{макс} = 9kV/m$		
	Монта на	Пресичане на ВЛ с магистрала	$E_{макс} = 7kV/m$		
		На гр. сервитут	$E_{макс} = 1kV/m$		
	Ню Джърси	На гр. сервитут	$E_{макс} = 3kV/m$		
	Ню Йорк	В сервитута	$E_{макс} = 11,8kV/m$		
Частни пътища		$E_{макс} = 11kV/m$			
Общ. пътища		$E_{макс} = 7kV/m$			
	На гр. сервитут	$E_{макс} = 1,6kV/m$			
Виктория	Изключит. условия	ВЛ 500kV: В сервитута На гран. на сервитута		-	
		ВЛ 220kV: В сервитута На гр. сервитута			
	Обичайни условия	ВЛ 220kV: В сервитута На гран. на сервитута	$E_{макс} = 5kV/m$ $E_{макс} = 2kV/m$		
		ВЛ 500kV: В сервитута На гран. на сервитута	$E_{макс} = 2,5kV/m$ $E_{макс} = 1kV/m$		
Русия	Производство	$E_{нд(макс)} = 50/(T(ч)+2)kV/m$; За $E = (5÷20)kV/m$, $E_{нд(макс)} = 25kV/m$, $T \leq 10min$ $E = (20÷25)kV/m$	$H_{нд} = (0,8÷6,4)kA/m$ (непрек. и прек.); $H_{нд} = (3,4÷8)kA/m$ (прекъснат с разл. t, t)		
	За населението	(5÷10)kV/m, в т.ч.; 0,5kV/m - в сградата; 1kV/m - около сградата; 5kV/m – нас. място, в нежил. район, 10kV/m – прес. с магистрала I-IV кл.; 15kV/m – ненаселена местност 0kV/m – труднодост. местност	-		

Таблица 2. Електромагнитни изисквания за „Е“ и „Н“		
Наименование	E [V/m]	H [A/m]
ОРУ ВН (400, 500, 750kV)	$10^3 \div 5 \cdot 10^4$	$10 \div 100$
Въздушна линия ВН	$10^2 \div 10^4$	$0,1 \div 40$
Въздушна линия СН	$10 \div 5 \cdot 10^2$	$0,1 \div 2$
Шинни системи 6kV	10^3	$40 \div 100$
ЗРУ СН (6, 10, 20kV)	-	$100 \div 400$
Жилищни помещения	$1 \div 100$	$0,01 \div 0,5$
Битови електроприбори	$5 \div 500$	$0,1 \div 300$
Праг на индивидуална чувствителност	$10^4 \div 2 \cdot 10^4$	$3 \cdot 10^3 \div 3 \cdot 10^4$
Нарушаване на ритъма на сърдечния мускул	$5 \cdot 10^7$	10^6
Електрическа якост на въздушни междини	$5 \cdot 10^5 \div 3 \cdot 10^6$	-
Безопасни интензивности E и H по условие за невъзбуждане на клетките на организма	$2 \cdot 10^4$	$4 \cdot 10^3$
Нормативни изисквания за E и H по данни на СОЗ и IRPA	$5 \cdot 10^3$	80
Немски норми (DIN VDE)	$7 \cdot 10^3$	320

Влошаването на ЕМС и нарушаване на надеждността на електроснабдяването може да настъпи и при въздействие на различни природни явления.

При удар на мълния на територията на П/ст ВН, могат да се формулират следните механизми за предаване на смущения на елементите на П/ст (здания, гръмозащитни въжета, заземления на тоководещи части на откритите П/ст и др.) [7]:

- *нискочестотен механизъм, свързан с повишения потенциал на заземителната система, респективно с амплитудата на тока на мълнията.*

- *високочестотен механизъм, зависещ от пространственото разположение на елементите на П/ст и директно свързан със стръмността на тока на мълнията.*

Въздействието на електромагнитното поле на мълниите се проявява в най - силна степен върху разпределителната мрежа на СН и НН, като в резултат на индуктираните от мълнията пренапрежения много често се получават пробиви в изолацията на кабели и проводници. И тук, както при директно попадение на мълния върху ВЕЛ, индуктираните пренапрежения се проявяват като бягащи импулси на тока и напрежението по дължината на разглежданата линия.

Много често амплитудата на бягащия импулс надхвърля пробивното напрежение на изолацията на кабелните линии СН и НН, което е основната причина за авариянето им. При удар на мълния върху мълниеприемник, разположен в близост до кабелни канали или кабелни скари, може да се получи пробив на изолацията на кабелите към земя. При нарушаване на изолацията на кабелите, импулсът на възникналото пренапрежение, се разпространява в мрежата на вторичната комутация (оперативните вериги) и предизвиква повреди на отделни елементи и устройства.

Върху показателите и характеристиките на ЕМС оказват негативно влияние още следните фактори:

- *Статичното електричество, породено от триене на различни материали;*
- *Радиочестотните полета от радио и навигационни станции;*
- *Електромагнитни излъчвания в мрежи НН на постоянен и променлив ток;*
- *Електромагнитни смущения от магнитно поле на Земята и др.*

Нормативните изисквания за КЕЕ имат силна релативна връзка с ЕМС, което се потвърждава и в стандарта EN БДС 50160, регламентиран нива на показателите на КЕЕ (ПКЕЕ). В него са представени и допълнителни показатели за случайни прекъсвания,

свързани с надеждността на електроснабдяването. Това показва, че още на ниво нормиране и стандартизиране законодателят е маркирал тясна взаимна връзка между EMC и характеристиките на надеждността, заложени в този норматив.

- средна продължителност на прекъсванията на електроснабдяването SAIDI (System Average Interruption Duration Index), [min]. Определя се като отношение на сумарната продължителност на прекъсванията на засегнатите потребители N за периода:

$$SAIDI = \frac{\sum_{i=1}^m t_i n_i}{N_0}, [\text{min}] \quad (1)$$

където: n_i – броя на потребителите, засегнати при i -тото прекъсване; t_i – времетраене на i -тото прекъсване; m – брой на прекъсванията; N_0 – общ брой на засегнатите потребители.

- средна продължителност на едно прекъсване CAIDI (Customer Average Interruption Duration Index), [min]. Определя се, като отношение на сумарната продължителност на прекъсванията към общия брой прекъсвания за период (год.);

$$CAIDI = \frac{\sum_{i=1}^m t_i n_i}{\sum_{i=1}^m n_i}, [\text{min}] \quad (2)$$

- средна честота на прекъсване на електроснабдяването SAIFI (System Average Interruption Frequency Index). Определя се, като отношение на общия брой прекъсвания на засегнатите потребители към общия брой на потребителите в ЕСС за периода (N):

$$SAIFI = \frac{\sum_{i=1}^m n_i}{N}, [\text{бр.год.}] \quad (3)$$

където: N – общия брой на потребителите в ЕСС.

- средна честота на прекъсванията на електроснабдяването на потребител CAIFI (Customer Average Interruption Frequency Index). Определя се, като отношение на

общия брой прекъсвания към общия брой на прекъснатите потребители в ЕСС N', който може и да не отчита колко пъти в годината даден потребител е имал прекъсване на електрозахранването.

$$CAIFI = \frac{\sum_{i=1}^m n_i}{N_0}, [\text{бр.год.}] \quad (4)$$

Съществуват и редица други стандарти, потвърждаващи релативната връзка между КЕЕ и EMC, като например 555 (CELENEC) и EN 60555 (МЕК). Република България, като пълноправен член на Европейския съюз (ЕС) е възприела и утвърдила стандартите от група EN, които са свързани и взаимно се допълват със стандартите от група IEC. Използват се също стандартите и препоръчителните практики на ANSI (САЩ), YTS (Япония), CNS (Китай), IEEE и др., които нямат задължителен характер, а само препоръчителен. Типични стандарти за EMC с конкретни указания за ограничения и допустими стойности за ПКЕЕ са следните:

- БДС EN 50160:2010 „Характеристики на напрежението на електрическата енергия, доставена от обществените разпределителни електрически системи“, които се отнасят за точката на присъединяване на потребителите (точката за търговско измерване на консумираната ЕЕ от абонатите);
- БДС EN 61000 (2,3,4,5 и 6) „Електромагнитна съвместимост“, „Методи за изпитване и измерване“.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Направеният по-горе анализ показва, че EMC трябва да се разглежда в пряка връзка не само с ПКЕЕ, но и с допълнителните показатели и характеристики, свързани и зависещи от качеството на ЕЕ, като например „надеждност и устойчивост на ЕСС“; „ЕЕЕФ“; „специфичен разход на ЕЕ“; „загуба на мощност и ЕЕ“; „структурни и схемотехнически особености на ЕСС“ и др.

Следователно ЕМС, от гледна точка на теорията на вероятностите и математическата статистика, представлява „параметър на оптимизация“ (ПО), „целева функция“ (ЦФ) или „функция на отклика“ (ФО) в многофакторното пространство с влияещи съществени фактори, някои или всички от изброените по-горе параметри. Тази функция естествено подлежи на оптимизация по определен критерий или група критерии, което по принцип би следвало да осигури възможност да се дефинират оптимални области на изменение на изходния параметър (ПО или ЦФ) и на влияещите съществени фактори (СФ) върху ПО. Математическият апарат, който е целесъобразно да се използва за реализирането на такъв подход е „Теорията на планиране на експеримента“ (ТПЕ), която дава възможност не само да се прогнозира и устойчиво да се определят математически модели, но и да се извърши оптимизация на изследваните параметри в многофакторното пространство. В това е и същността на т.н. комплексен многофакторен подход, даващ възможност количествено да се оцени връзката между съществени фактори и изходните параметри в изследователския процес.

REFERENCE

[1] Tsanev T., Tsvetkova S., Quality of electrical energy, Avangard prima, 2011г.
 [2] BNS EN 50160:2006, Characteristics of the voltage of the electrical energy supplied to the

public distribution electric systems.
 [3] Aleksandrova A., Electric devices, TU-Sofia, ISBN 945-438-236-4, Sofia, 1999.
 [4] Lichev A., Electrical apparatus and electrotechnics, „Tehnica“, Sofia, 1980
 [5] Valchev M., Georgiev M., Todorova A., Dustabanov G., Toshev P., High Voltage Technique, „Tehnica“, Sofia, 1980.
 [6] Burgsdorf V.V., Jacobs A.I., Electrical installation grounding devices, M.Energoatomizdat, 1987.
 [7] Dyakov A.F., et al., Electromagnetic Compatibility in the Power Industry and Electrical Engineering, M., Mir „Energoatomizdat“ ISBN 5-283-02589-6, 2003.
 [8] Karmashev VS, Electromagnetic Compatibility of Technical Means, Handbook, M., 2001.
 [9] Ovsyannikov AG, Electromagnetic Compatibility in Electrical Engineering, Novosibirsk, NSTU, 2002.
 [10] Brinmann K. EMV biologischer System. Bd. 6 Untersuchgen der magnetischen Flussdichten in Wohnungen und Industrie and deren biologischen Bewertung - Berlin Offenbach, 1999.
 [11] Mirillon F., Resrosio N., Cuinshon L., Adam Ph., Lisik H., Calculation of the electromagnetic field emitted by an EHV substation, CIGRE, 1994.
 [12] Armanini D., Conti R., Mantini A., Nicolini P., Measurements of power-frequency magnetic fields around different industrial and household sources, CIGRE, 1990.
 [13] Wiggins C.M., Thomas D.E., Nickel F.S., Wright S.E., Transient Electromagnetic Interference in Substations, IEEE Winter Meeting New York, 1994.