

Моделиране и оценка на електромагнитната съвместимост

Емилия Христова, Димитър Ангелов

Moulding and valuation of the electromagnetic compatibility: The paper justifies the necessity from analysis of the research for Electromagnetic compatibility and flicker effect and also the influence of high harmonics in the electrical power system which supplies the light devices. Flicker is a difficult problem to quantify and to solve. The untimely combination of the following factors is required for flicker to be a problem: 1) some deviation in voltage supplying lighting circuits and 2) a person being present to view the possible change in light intensity due to the voltage deviation. The human factor significantly complicates the issue and for this reason flicker has historically been deemed as "a problem of perception".

Key words: Electromagnetic compatibility, flicker effect, harmonics and light devices.

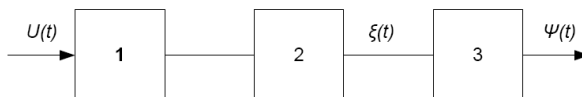
ВЪВЕДЕНИЕ

Електромагнитната съвместимост (ЕМС) е способността на крайният консуматор на електрическа енергия да функционира нормално в заобикалящата го електромагнитна среда и да не внася в тази среда смущения, недопустими за другите консуматори. Необходимите за осигуряване на технологичните функции на консуматора електрически процеси могат да влошат свойствата на мрежата и/или свойствата на електрическата енергия. В първия случай се намалява пропускателната способност на мрежата, а във втория се влошава качеството на електрическата енергия. По такъв начин проблемът за управлението на качеството на електрическата енергия представява част от по-общия проблем за осигуряване на ЕМС. Електрически товар, който не отговаря на условията за ЕМС в мрежата в която е включен, не само предизвиква загуби и колебания на напрежението в нея, но и намалява електрическата и механичната якост на елементите ѝ, поради нагряване и електродинамични усилия[2, 3].

ИЗЛОЖЕНИЕ

1. Моделиране на ЕМС

Изборът на модела се определя от конкретните условия на задачата. За практически цели се налага да се използват по възможност прости модели, отразяващи основните фактори на ЕМС. По-голямата част от задачите за оценка на ЕМС в електрическите системи може да се решат в рамките на енергиен модел, притежаващ входен блок 1 (изправител), филтър 2 и енергиен блок 3 (фиг. 1).



Фиг.1. Блок схема на енергиен модел за оценка на електромагнитната съвместимост

Филтърът преобразува входния процес $U(t)$ в процес $\xi(t)$, на който се оценява въздействието на смущението. Динамичният показател на ЕМС е с параметър на изходния процес $\psi(t)$, който характеризира енергията на процеса $\xi(t)$. Обикновено диапазонът на изменение на смущенията не е голям, затова филтърът може да бъде линеаризиран, но като цяло енергийният модел е нелинеен.

При моделирането, като изходни за изчисленията се използват индивидуалните процеси на изменението на електрическите величини на отделните потребители и се използва принципът на инвариантност на индивидуалните проводимости. Разглежда се изчислителната електрическа схема, включваща захранващ източник с неизменно линейно напрежение U_n и индуктивно

съпротивление X до общата точка на присъединяване на групата от n потребители. За опростяване се приема, че товарът е индуктивен и тогава за тока в мрежата се получава:

$$I(t) = \frac{U_n}{\sqrt{3}[1/B(t)+x]} = \frac{U_n B(t)}{\sqrt{3}[1+xB(t)]}. \quad (1)$$

Мрежовият ток $I(t)$ зависи от индуктивно съпротивление X , което е const. и сумарната фазова проводимост $B(t)$ на всички потребители:

$$B(t) = \sum^n b(t), \quad (2)$$

където $b(t)$ е проводимостта на отделните потребители;

n – брой потребители присъединени към разглежданата мрежа.

Изменението на проводимостта на един приемник предизвиква изменение на линейната загуба на напрежение в мрежата:

$$\Delta U = \sqrt{3}xI(t) = \frac{xU_n B(t)}{1+xB(t)} \quad (3)$$

Тогава се изменят и токовете на индивидуалните товари $i(t)$:

$$i(t) = \frac{1}{\sqrt{3}} [U_n - \Delta U(t)] b(t) = \frac{U_n b(t)}{\sqrt{3}[1+xB(t)]}. \quad (4)$$

Изменението на токовете на индивидуалните товари води до промяна на напрежението на клемите им. От своя страна това води до смущения в работата на някои потребители, които са по чувствителни към качеството на електрическата енергия. Типичен пример за това са осветителните уредби.

2. Оценка на ЕМС:

Изменението на напрежението на клемите на осветителите влошава условията на работа при изкуствено осветление и влияе на срока на служба на лампите. За това в общия случай за оценка на ЕМС се изисква да се разработят динамични модели на преобразуване на електрическата енергия в светлина, на изменението на срока на служба на лампите и въздействието им върху човека [4]. Нивото на сложност на моделите се определя от конкретните условия на задачите. При бавни изменения на напрежението обикновено се пренебрегва инерционността на лампите и се използват статичните характеристики, а при бързите изменения на напрежението ЕМС се оценява в границите на динамични модели.

- оценка на ЕМС по статичните характеристики;

Статичните характеристики се намират чрез опити при неизменящо се напрежение. При оценяване на отклоненията на напрежението е необходимо съвместно разглеждане най-малко на два показателя: срокът на служба τ_n и светлинния поток Φ_n . Обикновено напрежението се представя в относителни единици от номиналното, а статичните характеристики се апроксимират със стъпални функции от вида:

$$\varphi(U) = U^p \quad (5)$$

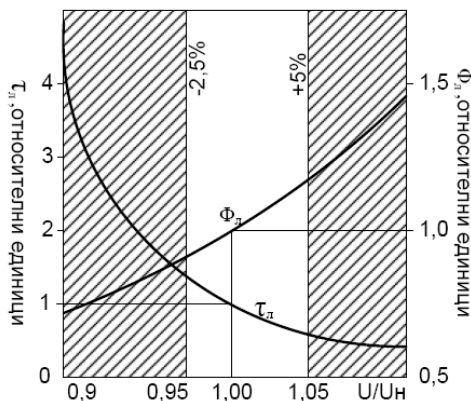
На фиг. 2 са показани такива характеристики за лампи с нажежаема жичка, изчислени по формулите

$$\tau_n = U^{-14}, \quad \Phi_n = U^{3,6} \quad (6)$$

където τ_n е срокът на служба (живот) на лампите;

Φ_n - светлинният поток в относителни единици.

Нормираните в [2] отклонения на напрежението съответстват на минимално допустимите стойности $\tau_{л.д.}=0,505$ и $\Phi_{л.д.}=0,913$ на (фиг. 2.), определящи горната и долната граница на недовлетворяващото качество на напрежението.



Фиг.2. Статични характеристики на лампи с нажежаема жичка (заштрихованите области съответстват на недопустими отклонения на напрежението)

Тъй като срокът на служба на лампите е сравнително голям, EMC се оценява по средната стойност на статичния показател. За тази цел е необходимо да се намери плътността на разпределение $f(U)$ на напрежението и да се изчисли средната стойност

$$\bar{\varphi}(U) = \int_{U_1}^{U_2} \varphi(U) f(U) d(U) \quad (7)$$

В границите на изменение на напрежението от U_1 до U_2 EMC се осигурява при изпълнението на двете условия

$$\bar{\tau} \geq \tau_{л.д.}; \Phi_{л.д.} \geq \Phi_{л.д.} \quad (8)$$

В частния случай праволинейната подредена диаграма на напреженията, в която плътността на напрежението е постоянна в границата (U_1, U_2), замествайки (5) в (7) получаваме:

$$\bar{\varphi}(U) = \frac{U_2^{\nu+1} - U_1^{\nu+1}}{\chi(\nu+1)}, \quad (9)$$

където $\chi = U_2 - U_1$.

На практика подредената диаграма $E_y(U)$ на напреженията се получава във формата на стъпаловиден график. В този случай не е задължително да се апроксимира подредената диаграма с теоретичен израз, тъй като търсените показатели се определят чрез сумиране на произведенията на вероятностите E_i :

$$\bar{\varphi}(U) \approx \sum_{i=1}^N E_i \varphi(U_i), \quad (10)$$

където N е количеството на стъпалата;

E_i - i -тата стъпална стойност на U_i за съответните ординати на статичните характеристики.

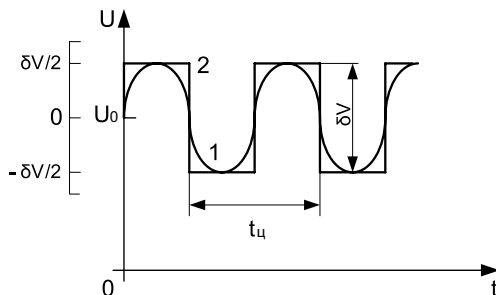
От (9) следва, че оценката на EMC по средната стойност на напрежението може да се извършва само за частен случай, когато $\nu=1$. Освен това при използване

на различни характеристики се изчисляват стойностите (9), които ще отговарят на различните еквивалентни по $\bar{\varphi}$ напрежения.

- Оценка на EMC по динамични характеристики.

Създаването на динамични модели е необходимо при бързи изменения на напрежението. Тези изменения съкращават срока на служба на лампите, особено в импулсен режим – „включено – изключено” и създават неблагоприятни въздействия върху човека поради изменението на осветеността.

В случаите на периодични смущения EMC се оценява по опитните зависимости между параметрите на смущението и тези показатели, които характеризират изменението на напрежението. Обикновено изследванията се изпълняват за хармонични или импулсни смущения. За хармоничните смущения размахът δV на колебанията е равен на двойната амплитуда, а за импулсните на разликата между най-голямото или най-малко стъпало (фиг. 3).



Фиг.3. Хармонично (1) и импулсно с $k_3=0,5$ (2) периодично смущение

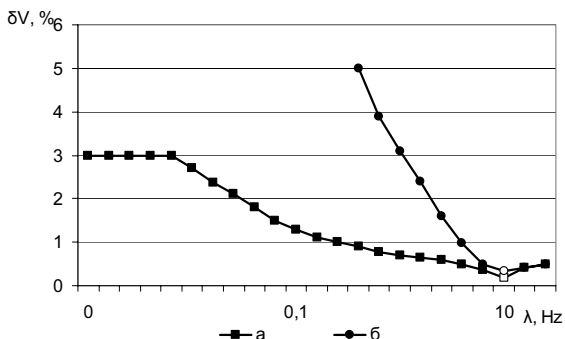
За един цикъл с продължителност t_c , се наблюдават два размаха, за това честотата на колебанията е:

$$\lambda_c = 2/t_c = 2\lambda. \quad (11)$$

където: λ е честота на хармоничното смущение.

Във всички случаи графикът на тренда представлява хоризонтална линия, прекарана на нивото на средната стойност на периодичното смущение, за това за правоъгълните колебания трябва да се дава и коефициента на запълване K_3 .

Редките колебания по-малко се отразяват върху човека, а високочестотните не се възприемат от зрението. За това кривите на колебанията-зависимостта на техния размах от тяхната честота имат резонансни минимуми (точките на кривите на фиг. 4).



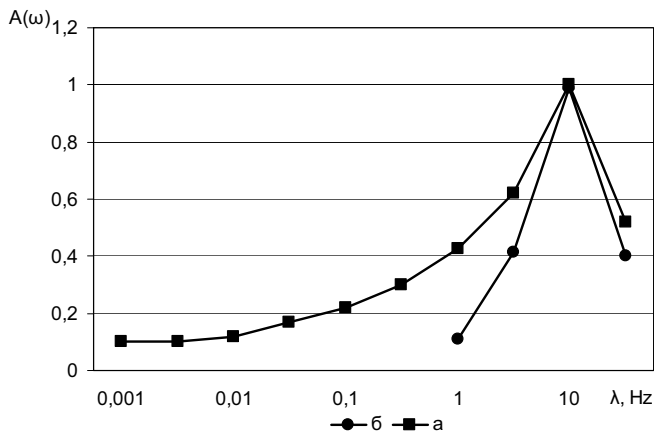
Фиг.4. Криви на допустимият размах на колебанията, като функция от честотата

Критериите на допустимост на колебанията могат да бъдат различни. Отчита се праг на различаване на колебанията крива а) и праг на раздразнение крива б).

Непосредственото използване на криви на колебание е силно ограничено: даже при периодични процеси те може да се използват само за смущенията в тази форма за която са били получени. Обикновено смущенията имат случаен характер, а за непрекъснатите случайни величини понятието честота на размаха, както и вероятността за появяването на отделна стойност няма смисъл. Във връзка с това възниква необходимостта от разработване на универсален показател на ЕМС, приложим за всякакви видове смущения.

Тази задача може да бъде решена в рамките на енергиен модел (фиг. 1), която ще наречем фликер метър. За целта е необходимо да се намери амплитудно-честотната характеристика (АЧХ) $A(\omega)$ на филтъра на фликер метъра и да се избере метода за енергийна оценка [1]. Възможни са два подхода: емпиричен и чрез синтеза на структурната схема на фликер метъра.

На фиг. 5 е показана АЧХ б на фликер метър, която е била получена, чрез експертна оценка на хората, за субективните им усещания при хармонични колебания на осветеността [1]. Тук АЧХ представлява геометрично място на точки отговарящи на една и съща субективна реакция.



Фиг.5. Амплитудно-честотна характеристика на филтрите: а и б[1]

Емпиричният метод представлява изчисляването на АЧХ по кривата на колебание. На входа на линейния филтър постъпва хармоничното смущение $\delta V / 2$ и ъгловата честота $\omega = 2\pi\lambda = \pi\lambda_c$. В стационарен режим процесът $\xi(t)$ на изхода на филтъра също ще бъде хармоничен със същата честота и амплитуда $\delta V A(\omega) / 2$. При постоянно напрежение колебанията отсъстват, филтърът не трябва да пропуска постоянната съставяща, което е възможно при $A(0)=0$. Процесът след филтъра има нулева средна стойност, средната за цикъла $1/\lambda$ мощност на процеса $\xi(t)$ е равна на половината от квадрата на амплитудата или $1/8$ от квадрата на размаха. Тогава взимайки размаха и честотата по кривата на колебанията в осите δV и ω , получаваме условието за еквивалентност на хармоничните смущения по средната мощност:

$$\frac{1}{8} \delta V^2(\omega_1) A^2(\omega_1) = \frac{1}{8} \delta V^2(\omega_2) A^2(\omega_2) = \dots, \quad (12)$$

или

$$\delta V(\omega_1) A(\omega_1) = \delta V(\omega_2) A(\omega_2) = const \quad (13)$$

Изборът на постоянната няма принципно значение. За удобство на нормирането за единица се взема максимумът $A_{\max} = A(\omega_p)$ на АЧХ при резонансна честота ω_p , което съответства на минимума $\delta V \min = \delta V(\omega_p)$, на кривата на колебанията. В този случай ординатите на АЧХ в относителни единици са:

$$A(\omega) = \delta V \min / \delta V(\omega) \quad (14)$$

ще бъдат обратно пропорционални на ординатите на кривата на колебанието. По такъв начин по кривата на колебанието може да се определи АЧХ на линейния филтър и обратно.

При емпиричният подход е трудно да се отчетат всички фактори, влияещи на изхода на експеримента. За това кривата на колебанията и АЧХ, получени от различни изследвания се различават съществено. АЧХ на фликер метъра добре се съгласува с АЧХ, изчислена по (14), тоест по кривата на колебанията, само в зоната на големите честоти (крива *a* и *b* на фиг. 5), а не в целия диапазон на честотите. Във връзка с това емпиричните методи имат ограничени области на използване.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализът на методите за моделиране и оценка на ЕМС дава основание за следните изводи:

1. Включването на потребители в дадена мрежа, които не отговарят на условията за електромагнитна съвместимост води до нарушаване на нормалната работа на останалите потребители включени в мрежата.
2. Един от най-неблагоприятните ефекти при неизпълнение на условията за ЕМС е колебанието на напрежението. Той има най-неблагоприятен ефект върху осветителните уредби, тъй като скъсява живота на светлинните източници и създава зрителен дискомфорт при хора работещи продължително време при изкуствено осветление.
3. За правилната оценка на ЕМС от особено значение е правилният избор на АЧХ на филтъра на фликерметъра.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Шидловский, А., Э. Куренный, Введение в статистическую динамику систем электроснабжения, Киев, Наукова думка, 1984
- [2] Paul, C.R, Introduction to Electromagnetic compatibility-Second edition Design. New York: John Wiley & Sons Inc., 2006
- [3] www.grouper.ieee.org
- [4] www.marcspages.co.uk

За контакти:

инж. Емилия Христова, Катедра "Електроснабдяване и Електрообзавеждане", Русенски университет "Ангел Кънчев", E-mail: ehristova@ru.acad.bg
доц. д-р. инж. Димитър Ангелов, Катедра "Електроснабдяване и Електрообзавеждане", Русенски университет "Ангел Кънчев"

Докладът е рецензиран.