

ДЕНИСЮК С. П., д.т.н., проф.,

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського Національний»

РАДИШ І. П., к.т.н., доц.,

Ужгородський національний університет

ГОРЕНКО Д. С., аспірант,

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ЕЛЕКТРОМАГНІТНА СУМІСНІСТЬ ТА НЕПРЯМІ ВПЛИВИ НА ЖИТТЄДІЯЛЬНІСТЬ ЛЮДИНИ

Представлено основні джерела електромагнітних, електростатичних і магнітних полів та класифікацію їх впливів на організм людини. Описано підхід до аналізу впливу електромагнітного поля на обладнання, від якого залежить життєдіяльність людини. Розглянуто взаємний вплив лікарняного обладнання за допомогою обмінних потужностей.

Ключові слова: електромагнітний вплив, електромагнітна сумісність, обмінна потужність.

Представлено основные источники электромагнитных, электростатических и магнитных полей, а также классификацию их влияния на организм человека. Описан подход для анализа влияния электромагнитного поля на оборудование, от которого зависит жизнеспособность человека. Рассмотрено взаимное влияние оборудования больниц с помощью обменной мощности.

Ключевые слова: электромагнитное влияние, электромагнитная совместимость, обменная мощность.

The main sources of electromagnetic, electrostatic and magnetic fields are presented, as well as the classification of their influence on the human body. An approach described for analyzing the effect of an electromagnetic field on equipment from which the vital activity of a person is encroached. The mutual influence of hospital equipment is discussed with the help of power exchange.

Keywords: electromagnetic influence, electromagnetic compatibility, power exchange.

Світовий досвід свідчить про зростання електромагнітної забрудненості навколишнього середовища. Напрямами робіт зі зниження впливу цього фактора на людей є не тільки розроблення та впровадження санітарно-гігієнічних та організаційно-технічних засобів з електромагнітної безпеки, а й вдосконалення відповідної нормативної бази. Існує необхідність узгодження нормативів з електромагнітної безпеки та електромагнітної сумісності технічних засобів. Це обумовлено високою імовірністю впливів електромагнітних полів та випромінювань на чутливу медичну апаратуру, що може мати негативні наслідки для здоров'я людей. Проте електромагнітна обстановка розглядається як фактор зовнішнього впливу [1–5]. Враховуючи все вище вказане, електромагнітний вплив на життєдіяльність людини можна поділити на: безпосередній (вплив електромагнітного випромінювання на організм людини) та непрямого (вплив на обладнання, від якого залежить життєдіяльність людини).

Для підключення медичного обладнання використовують розділові трансформатори. Трансформатори розділові повинні бути розміщені в безпосередній близькості від медичного приміщення II категорії (всередині або зовні) і повинні бути захищені корпусом для запобігання контакту з струмоведучими частинами. Номінальна напруга $U_{\text{вих}}$ на виході розділового трансформатора системи повинно бути не більше 250 В. У медичній мережі в основному рекомендується використовувати однофазні розділові трансформатори номінальною потужністю не менше 0,5 кВА і не більше 10 кВА для живлення однофазних навантажень. Як виняток, якщо є трифазні споживачі, які потребують установки медичної системи, то слід використовувати окремий трифазний медичний розділовий трансформатор, але з вихідною лінійною напругою, що не перевищує 250 В (тому що в разі повторного пробією ізоляції можна потрапити під лінійну напругу). В даному випадку навантаження підключається між фазами. Такий трансформатор є понижуючим (фазна напруга первинної обмотки 220 В, фазна напруга вторинної обмотки 127 В).

Розглядати ЕМС, не враховуючи електромагнітні явища в системі електроживлення, є не коректним, бо будь-яка електроенергетична система є сукупністю джерел електроенергії, систем перетворення, розподілу, транспортування та споживання електричної енергії. Математичним способом представлення електромагнітного впливу є підхід з магнітопов'язаними елементами. Явище само-

індукції та взаємоіндукції для приладів та обладнання від яких залежить життєдіяльність людей є недопустимою. Ступінь індуктивного зв'язку характеризується коефіцієнтом магнітного зв'язку [6]:

$$k = \sqrt{\frac{\Phi_{M1}}{\Phi_{11}} \cdot \frac{\Phi_{M2}}{\Phi_{22}}} = \sqrt{\frac{M \cdot i_1(t) \cdot W_1}{W_2 \cdot L_1 \cdot i_1(t)} \cdot \frac{M \cdot i_2(t) \cdot W_2}{W_1 \cdot L_2 \cdot i_2(t)}} = \sqrt{\frac{M}{L_1 \cdot L_2}}, \quad (1)$$

де M – взаємна індуктивність між магнітопов'язаними елементами; L_1, L_2 – власні індуктивності магнітопов'язаних елементів; Φ_{M1}, Φ_{M2} – потоки взаємоіндукції; Φ_{11}, Φ_{22} – основні магнітні потоки магнітопов'язаних котушок; $i_1(t), i_2(t)$ – струми, що протікають у відповідних котушках.

$$M = \frac{\mu_0 \cdot \mu_r \cdot W_1 \cdot W_2 \cdot h}{2\pi} \cdot \ln \frac{R_2}{R_1}, \quad (2)$$

де μ_0 – абсолютна магнітна проникність в вакуумі; μ_r – абсолютна магнітна проникність середовища; W_1, W_2 – кількість витків відповідно в першій та другій котушці; h – відстані між котушками; R_1, R_2 – радіус петли провідників відповідно першої та другої котушки.

Виходячи з вище зазначеного, аналіз електромагнітної сумісності з використанням обмінних потужностей, не враховуючи магнітопов'язаності котушок, буде неповним. Розглянемо спрощену модель електричної системи з електромагнітним перетворювачем енергії (рис. 1а), електрична схема якої зображено на рис. 1б.

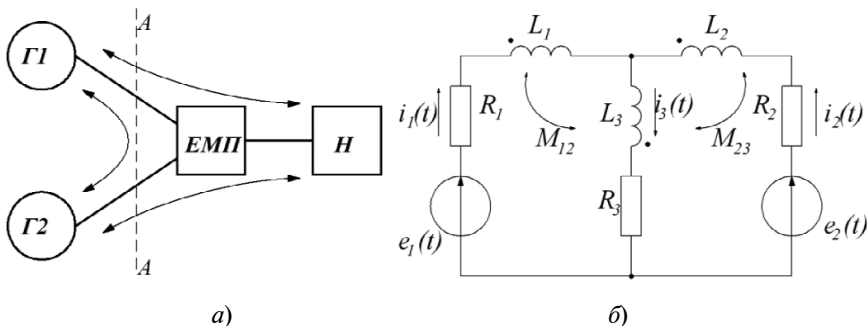


Рис. 1. Спрощена модель системи з електромагнітним перетворювачем

Система рівнянь, що описує схему, зображену на рис. 1, за законами Кірхгофа матиме вигляд:

$$\begin{cases} \dot{I}_1 + \dot{I}_2 - \dot{I}_3 = 0 \\ \dot{I}_1 R_1 + j\dot{I}_1 \omega L_1 - j\dot{I}_3 \omega M_{12} - j\dot{I}_3 \omega M_{12} + j\dot{I}_3 \omega M_{23} + j\dot{I}_3 \omega L_3 + \dot{I}_3 R_3 = \dot{E}_1 \\ \dot{I}_2 R_2 + j\dot{I}_2 \omega L_2 - j\dot{I}_3 \omega M_{23} - j\dot{I}_1 \omega M_{12} + j\dot{I}_3 \omega M_{23} + j\dot{I}_3 \omega L_3 + \dot{I}_3 R_3 = \dot{E}_2, \end{cases} \quad (3)$$

де $M_{12} = k\sqrt{L_1 \cdot L_2}$ – взаємна індуктивність між першою та третьою котушками, $M_{23} = k\sqrt{L_2 \cdot L_3}$ – взаємна індуктивність між другою та третьою

котушками, $k = \sqrt{\frac{\Phi_{M1}}{\Phi_{11}} \cdot \frac{\Phi_{M2}}{\Phi_{22}}} = 0 \dots 1$ – коефіцієнт магнітного зв'язку, що характеризує взаємний вплив між котушками, ω – кутова частота.

Виконавши розв'язок рівняння (3), визначають миттєві значення струмів в ланцюгах моделі $i_1(t)$, $i_2(t)$ та $i_3(t)$. Виконується розрахунок обмінної потужності через перетин А–А за формулами (4)–(5)

$$Q_{\text{ОБ}} = Q_{\text{ОБ.1}} + Q_{\text{ОБ.2}}; \quad (4)$$

$$Q_{\text{ОБ.}i} = \frac{1}{T} \int_0^T u_i(t) \cdot i_{pi}(t) dt, \quad (5)$$

де $u(t) = e(t) - i(t)R$ – миттєве значення напруги в перетині; $i_p(t) = i(t) - i_a(t)$ – реактивна складова струму через відповідний перетин; $i_a(t) = u(t) \cdot P/U_D^2$ – активна складова струму через відповідний перетин; $U_D = \sqrt{1/T \int_0^T u(t)^2 dt}$ – діюче значення напруги; $P = 1/T \int_0^T u(t) \cdot i(t) dt$ – активна потужність.

Як видно з графіків (рис. 2) обмінної потужності від індуктивності навантаження при різних значеннях коефіцієнта магнітного зв'язку залежності мають зростаючий характер. Криві починаються з однієї точки, що характеризує відсутність індуктивності, і як наслідок магнітного зв'язку. Оскільки коефіцієнт k приймає значення в межах від 0 до 1, то залежності побудовано для даного інтервалу. Чим більше магнітопов'язані котушки індуктивності, тим більша обмінна потужність. Отже, при досить близькому розташуванні індуктивних елементів виникає необхідність врахування ще одного важливого показника – коефіцієнта магнітного зв'язку, для більш повної оцінки обмінних процесів в системі електрогенерації.

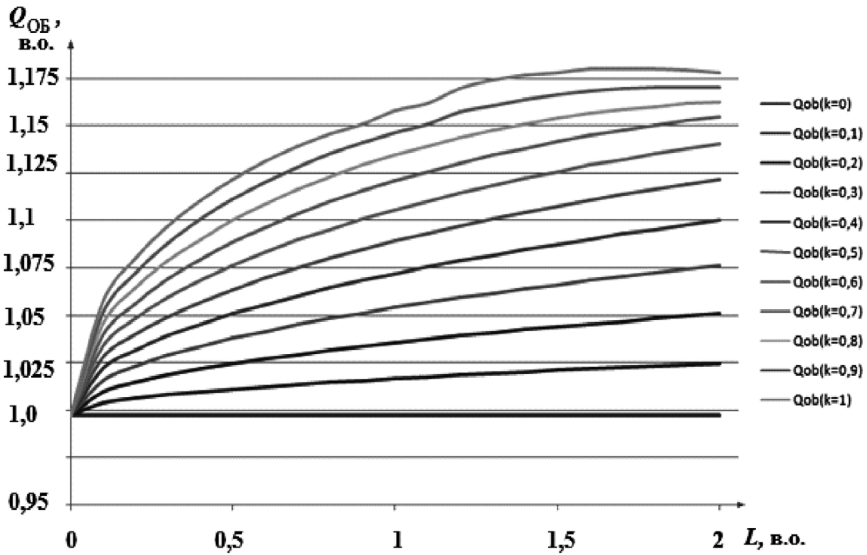


Рис. 2. Залежності обмінної потужності від індуктивного навантаження при різних значеннях коефіцієнта магнітного зв'язку

Процес намагнічення магнітних матеріалів під дією змінного поля пов'язаний з втратами частини потужності магнітного поля. Дана потужність поглинається одиницею маси магнітного матеріалу і розсіюється у вигляді тепла, називається питомими магнітними втратами, які в свою чергу складаються з втрат на гістерезис та динамічних втрат. Динамічні втрати виникають через вихрові струми та магнітну в'язкість. Втрати на гістерезис пов'язані з явищем магнітного гістерезису та з необоротним зміщенням доменних меж. Для зменшення втрат на гістерезис використовують магнітні матеріали з такою коерцетивною силою, при якій розмагнічуюче зовнішнє магнітне поле з напруженістю феромагнетика, попередньо доведеного до насичення, знизить до нуля магнітну індукцію в середині.

Для боротьби з вихровими струмами збільшують електричний опір магнітопроводу. Збільшення частоти призводить до різкого зростання втрат на вихрові струми, які при певному значенні частоти будуть значно перевищувати втрати на гістерезис. При перемагніченні і змінному полі має місце відставання по фазі магнітної індукції від напруженості магнітного поля. Це виклика-

но дією вихрових струмів, які протидіють, відповідно до закону Ленца, змінні магнітної індукції, а також через втрати гістерезису та магнітної в'язкості [6, 7].

Тому, виходячи з вище сказаного, аналіз енергетичних процесів в системах електроживлення без врахування магнітних процесів між елементами системи, не є повноцінним. Для моделей, наведених в роботі, як для однофазної, так і для трифазної, відхилення результатів розрахунку обмінної потужності з урахуванням коефіцієнта магнітного зв'язку і без його врахування досягає 15–17 % неврахованих втрат (рис. 2).

Література

1. Саенко Ю. Л. Проблемы электромагнитной совместимости в системах электроснабжения с мощными преобразователями частоты [Текст] / Ю. Л. Саенко, Т. К. Бараненко // Приазовский государственный технический университет. – С. 57–62.
2. Кириленко О. В. Особливості забезпечення електромагнітної сумісності в електричних мережах України [Текст] / О. В. Кириленко, С. П. Денисюк, О. Б. Рибіна // Пр. Ін-ту електродинаміки НАН України: Зб. наук. праць. – К.: ІЕД НАНУ, 2007. – № 1(16), Частина 1. – С. 27–30.
3. Жежеленко И. В. Электромагнитная совместимость потребителей [Текст]: монография / И. В. Жежеленко, А. К. Шидловский, Г. Г. Пивняк и др. – М.: Машиностроение, 2012. – 351 с.
4. Жуйков, В. Я. Енергетичні процеси в електричних колах з ключовими елементами [Текст] / В. Я. Жуйков, С. П. Денисюк. – К.: НТУУ «КПІ», 2010. – 264 с.
5. Денисюк С. П. Обмінні процеси в трифазних автономних системах електроживлення [Текст] / С. П. Денисюк, Д. С. Горенко // Праці Інституту електродинаміки НАН України. – 2016. – № 45. – С. 9–15.
6. Denysiuk S. Analys is of exchange processes during parallel operation of wind electric units [Текст] / S. Denysiuk, D. Horenko // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2016. – 4/8 (82). С. 26–32.
7. Горенко Д. С. Аналіз впливу кондуктивних завод на систему з нетрадиційними джерелами електроенергії [Текст] / Д. С. Горенко, Г. В. Мельничук // Енергетика: економіка, технології, екологія. – 2016. – № 2. – С. 72–81.