

АНОТАЦІЯ

Лукашев О.Ю. Дослідження та розробка методів зменшення електромагнітних завад створюваних імпульсними джерелами живлення. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 171 «Електроніка». – Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», МОН України, Київ, 2021.

Наукову новизну дисертації демонструють наступні результати:

1. Проведено дослідження впливу топології DC/DC-перетворювача на рівень ЕМЗ (електромагнітних завад) за сталих параметрів перетворювача.
2. Проведено дослідження впливу частоти коректора коефіцієнта потужності та частоти DC/DC-перетворювача, доданого послідовно, на рівень створюваних завад.
3. Виконано дослідження впливу технології розмиття спектру в обох DC/DC-перетворювачах імпульсного джерела живлення.
4. Отримало подальшого розвитку дослідження спектрів сигналу мережі живлення на вході перетворювача з коректором із граничними значеннями регламентованими стандартами ЕМС.
5. Створено нову модель для дослідження впливу різних матеріалів осердя DC/DC-перетворювача з нелінійною індуктивністю на рівень емітованих кондуктивних завад, та виконано дослідження впливу параметрів магнітного осердя на рівень, створюваних імпульсними перетворювачами енергії, ЕМЗ, що не має аналогів у публікаціях за даною тематикою.
6. Розроблено методику, що надає можливість розробити вхідний фільтр із урахуванням вхідного імпедансу системи лінійної стабілізації для необхідного стандарту.

7. Вперше встановлено необхідність використання реальних компонентів для побудови системи лінійної стабілізації імпедансу у ході дослідження DC/DC-перетворювачів шляхом імітаційного моделювання.
8. Проведений аналіз надав можливість сформулювати рекомендації щодо створення ефективної структури AC/DC-перетворювачів, а саме у якому із вузлів доцільно використовувати розмиття спектру, та найкраще з точки зору ЕМЗ співвідношення робочих частот перетворювачів.
9. Розроблено рекомендації щодо підбору конструктивних параметрів на етапі моделювання котушки індуктивності у складі DC/DC-перетворювача напруги, що дозволять забезпечити найнижчий рівень створюваних завад.
10. Вперше розроблено ряд рекомендацій щодо вибору топології DC/DC-перетворювача, при використанні яких досягається найнижчий рівень створюваних кондуктивних завад.

У дисертаційній роботі виконано дослідження електромагнітних процесів у імпульсних джерелах живлення, розробку методів зменшення рівня кондуктивних завад, та створення рекомендацій для проектування імпульсного джерела живлення, що відповідає нормам електромагнітної сумісності, що стосуються емітованого спектру кондуктивної завади, зокрема, щодо вибору топології перетворювача напруги у складі джерела живлення, впливу технології розширення спектру сигналу завади в AC/DC-перетворювачах із коректором коефіцієнта потужності та визначення оптимального, з точки зору рівня створюваних кондуктивних завад, співвідношення робочих частот перетворювача напруги та коректора коефіцієнта потужності, вибору структурних параметрів нелінійної індуктивності, у складі DC/DC-перетворювача, задля зменшення рівня створюваних завад,

Зміст дисертаційного дослідження викладений у чотирьох розділах, у яких продемонстровано та обґрунтовано основні результати роботи.

У вступі обґрунтовано актуальність дисертаційної роботи, сформульовано мету та сформульовано задачі дослідження, описано методи дослідження, надана інформація про наукову новизну та практичне значення одержаних результатів.

У першому розділі виконано огляд останніх публікацій з дослідженнями методів зменшення рівня кондуктивних завад у імпульсних джерелах живлення. Зокрема розглянуто роботи, що містять дослідження щодо використання технології розширення спектру у DC/DC-перетворювачах, використання методу стрибкоподібного переналаштування частоти. Обговорено необхідність більш детальних досліджень впливу технології розширення спектру сигналу завади в AC/DC-перетворювачах із корекцією коефіцієнта потужності та можливості, що стануть доступними у результаті таких досліджень.

У другому розділі проведено дослідження методу розмиття спектру у імпульсному джерелі живлення із коректором коефіцієнта потужності, шляхом імітаційного моделювання. Отримано модель джерела живлення із покращеними показниками електромагнітної сумісності. Визначено співвідношення робочих частот перетворювача та коректора, при якому спостерігається найнижчий рівень створюваних кондуктивних завад. Визначена доцільність використання розмиття спектру у вузлах управління коректором та перетворювачем напруги. Спектри сигналу завад створюваних перетворювачем, отримані в результаті експериментів, порівняно із граничними значеннями рівня створюваних кондуктивних завад стандарту ЕМС, та зроблено висновки щодо необхідності використання вхідного протизавадного фільтра.

У третьому розділі проведено дослідження структури перетворювачів напруги відносно створюваних завад. Досліджено вплив топологій різних функціональних груп та нелінійної індуктивності у складі перетворювача

напруги із використанням моделі Чана. Визначено вплив кожного компонента топології на рівень завад, шляхом дослідження топологій різних структурних груп DC/DC-перетворювачів. У кожній групі визначено найкращі, із точки зору створюваних завад, топології. Сформульовано рекомендації щодо вибору як функціонального так структурного типу топології перетворювача на етапі конструювання джерела живлення. Розраховано оптимальну, із точки зору створюваних завад, ширину зазору котушки індуктивності для різних матеріалів осердя. Проведено порівняльний аналіз моделей DC/DC-перетворювачів із нелінійною індуктивністю із різними матеріалами осердя. Визначено оптимальний, з точки зору рівня створюваних ЕМЗ, матеріал та сформульовано рекомендації щодо конструювання котушки. Отримані, у результаті досліджень, спектри сигналів кондуктивної завади задовольняють гранично-допустимим значенням рівня кондуктивних завад регламентованих стандартами.

Дослідження у четвертому розділі спрямовані на розрахунок та аналіз ефективності роботи протизавадного вхідного фільтра. Доведено необхідність врахування вихідного імпедансу лінійної системи стабілізації при конструюванні вхідного фільтра джерела живлення. Розроблено методику, що дозволяє розрахувати протизавадний фільтр, який забезпечує відповідність рівня кондуктивних завад джерела живлення граничним значенням ЕМЗ для необхідного стандарту. На прикладі різних пристроїв лінійних систем стабілізації, для різних стандартів із електромагнітної сумісності, продемонстровано ефективність запропонованої методики. Сформульовано висновки щодо отриманих результатів.

Практичне значення одержаних в дисертаційній роботі результатів полягає в тому, що отримані результати можуть бути використані для вирішення питань зменшення рівня створюваних електромагнітних завад, та для проектування джерел живлення із покращеними показниками електромагнітної сумісності.

Інформація щодо доцільності використання технології розмиття спектру у джерелах живлення із корекцією може бути використана для їх удосконалення з метою зменшення рівня створюваних кондуктивних завад. Врахування впливу топології перетворювачів у складі імпульсних джерел живлення на рівень електромагнітних завад надасть можливість виконувати підбір функціональних вузлів джерела більш раціонально.

Результати роботи долучено до звіту ініціативної науково-дослідницької роботи факультету електроніки Національного Технічного Університету України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського" за назвою: "Особливості формування електромагнітної обстановки у приміщеннях обладнаних технічними засобами з безпроводовим інтерфейсом" (№ держреєстрації 0119U102796)

Ключові слова: імпульсні джерела живлення, кондуктивна завада, робоча частота перетворювача, DC/DC-перетворювач, спектр завади, технологія розмиття спектру, осердя котушки індуктивності, модель Чана, топологія перетворювача, коректор коефіцієнта потужності, рівень створюваних завад, автоматизована система управління.

SUMMARY

Lukashev O. Research and development of methods for reducing electromagnetic interference created by switching power supplies. - Qualifying scientific work on the rights of the manuscript.

The dissertation on competition of a scientific degree of the doctor of philosophy on a specialty 171 "Electronics". - National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute named after Igor Sikorsky", Ministry of Education and Science of Ukraine, Kyiv, 2021.

For the first time the following scientific results were obtained in the dissertation:

1. For the first time a study of the influence of DC/DC-converter topology on the EMF level at constant converter parameters was performed.
2. For the first time, a study of the influence of the frequency of the power factor corrector and the frequency of the DC/DC-converter, added sequentially, on the level of noise created.
3. The study of the influence of spectrum blur technology in both converters of a switching power supply is performed.
4. For the first time a study of the influence of the parameters of the magnetic core on the level created by pulsed energy converters, EMI.
5. For the first time, a simulation of a DC / DC converter with nonlinear inductance was performed using different core materials.
6. A technique has been developed that allows to develop an input filter taking into account the input impedance of LISN for the required standard.
7. For the first time, the need to use real components for the construction of LISN in the study of DC / DC-converters by simulation.
8. The analysis allowed to formulate recommendations for optimizing the structure and parameters of AC/DC-converters, namely in which of the nodes it is advisable to use spectral blur, and the best in terms of EMI ratio of operating frequencies of converters.

9. Recommendations for the selection of structural parameters at the stage of modeling the inductor in the DC/DC-voltage converter, which will ensure the lowest level of interference

10. A number of recommendations for the selection of the optimal topology of the DC/DC-converter in terms of the conductive interference.

The dissertation is devoted to the study of electromagnetic processes in switching power supplies, development of methods to reduce the level of conductive interference, and creating recommendations for designing a switching power supply that meets the standards of electromagnetic compatibility, in particular, in AC/DC-converters with power factor corrector and determination of optimal, from the point of view of conductive noise, ratio of operating frequencies of voltage converter and power factor corrector, choice of structural parameters of nonlinear inductance, as part of DC/DC-converter, to reduce noise level.

The content of the dissertation research is presented in four sections, in which the main results of the work are presented and substantiated.

The introduction substantiates the relevance of the dissertation, formulates the purpose and lists the objectives of the study, describes the research methods, provides information about the scientific novelty and practical significance of the results.

The first section is devoted to a review of recent publications with research on methods to reduce the level of conductive interference in switching power supplies. In particular, the works devoted to the study of the use of spectrum expansion technology in DC/DC-converters, the use of the method of frequency hopping are considered. The need for more detailed studies of the influence of spectrum blur technology in AC/DC converters with correction of the power factor and the possibilities that will become available as a result of such studies is discussed.

In the second section, a study of the method of spectrum blur in a switching power supply with a power factor corrector, by simulation. A model of a power supply with improved electromagnetic compatibility is obtained. The optimal ratio

of operating frequencies of the converter and the corrector is determined, from the point of view of the created conductive interferences. The expediency of using spectrum blur in the control unit of the corrector and voltage converter is determined.

In the third section, a study of the structure of voltage converters in terms of interference. The influence of topologies of different functional groups and nonlinear inductance in the composition of the voltage converter using the Chan model is investigated. The influence of each component of the topology on the noise level is determined by studying the topologies of different structural groups of DC / DC converters. In each group the best, from the point of view of created disturbances, topologies are defined. Recommendations for the choice of both functional and structural type of topology of the converter at the stage of power supply design are created. The optimal, from the point of view of the created noise, width of a backlash of the inductor for various materials of a core is calculated. A comparative analysis of models of DC / DC converters with nonlinear inductance with different core materials is performed. The optimal, from the point of view of EMI, material is determined and recommendations on the design of the coil are formulated. Satisfaction of the obtained signal spectra on LISN with respect to EMI standards was checked in accordance with the maximum allowable values of the level of conductive interference regulated by the standards.

The fourth section is devoted to the calculation and analysis of the efficiency of the anti-interference input filter. The necessity of taking into account the output impedance of LISN when designing the input filter of the power supply is proved. A technique has been developed to calculate the anti-noise filter, which ensures that the level of conductive interference of the power supply corresponds to the limit value of the EMI for the required standard. On the example of different LISN devices, for different standards of electromagnetic compatibility, the effectiveness of the proposed technique is demonstrated. Conclusions on the obtained results are formulated. The practical significance of the results obtained in the dissertation is that the research results can be used to address the reduction of electromagnetic

interference, and to design a power supply with improved electromagnetic compatibility.

Possession of information on the feasibility of using the technology of spectrum blur in power supplies with correction can be used to improve them in order to reduce the level of conductive interference. Taking into account the influence of the topology of the converters in the composition of switching power supplies on the level of electromagnetic interference will allow the selection of functional units of the power supply more efficiently.

The results are included in the report of the initiative research work of the Faculty of Electronics of the National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute named after Igor Sikorsky" entitled: "Features of the electromagnetic environment in rooms equipped with technical means with wireless interface" (№ 0119U102796).

Keywords: switching power supplies, conductive noise, converter operating frequency, DC/DC-converter, noise spectrum, spectrum blur technology, inductor cores, Chan model, converter topology, power factor corrector, noise level, automated control system.

Список публікацій здобувача

1. Lukashev O., Makarenko V. Analysis of the influence of inductor saturation on the level of electromagnetic interference of DC/DC-converters. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2020. 6/5 (108). P. 28-37, DOI: 10.15587/1729-4061.2020.220445. ISSN 1729-3774.
2. Lukashev O., Makarenko V. Analysis of the influence of the power factor corrector on the level of electromagnetic interference of AC/DC-converters. *Odes'kyi Politechnichnyi Universytet. Pratsi*. 2019. №3(59). P. 68-79, DOI 10.15276/opu.3.59.2019.10. ISSN 2076-2429.
3. Лукашев О. Ю., Макаренко В. В. Вплив топології DC/DC-перетворювача на рівень створюваних електромагнітних завад. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В. І. Вернадського. Серія: Технічні науки*. 2020. Т. 31(70), №2, Ч. 2, С. 235-243. DOI 10.32838/2663-5941/2020.2-2/39. ISSN: 2663-5941.
4. Лукашев О. Ю. Вплив корекції коефіцієнта потужності на ККД імпульсних перетворювачів напруги. *VII міжнародна науково-технічна конференція молодих вчених «Електроніка-2018». Збірник статей*. (м. Київ, 15-17 квітня 2018р.). Київ. 2018. С. 148-153.
5. Макаренко В. В., Лукашев О. Ю. Аналіз залежності рівня ЕМЗ DC/DC-перетворювачів від їх топології шляхом моделювання. *Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей XXVIII міжнародної науково-практичної конференції MicroCAD-2020*. (м. Харків, 21-23 жовтня 2020р.). Харків. 2020. С. 216.
6. Макаренко В. В. Лукашев О. Ю. Моделі і методи оцінки рівня кондуктивних завад AC/DC-перетворювачів енергії. *Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей XXVIII міжнародної науково-практичної конференції MicroCAD-2020*. (м. Харків, 21-23 жовтня 2020р.). Харків. 2020. С. 217.