

УДК 621.311.6

В.Б. Швайченко, канд. техн. наук, О.О. Довженко, Шарадга Осман

Моделювання електромагнітних процесів перетворювальних пристроїв, що спричиняють електромагнітні завади

Представлены результаты моделирования прямого преобразователя как источника электромагнитных помех. Показано, что режим нагрузки существенно (более чем вдвое по уровню) влияет на сетевые помехи

The results of simulation of semiconductor forward voltage converter as a source of conductive interferences are presented. It is shown that the mode of loading of converters substantially (more than in twice) influences on networks disturbances.

Ключові слова: EMC, мережеві завади, прямий перетворювач напруги, режим навантаження.

Вступ

Для реалізації захисту радіоелектронних засобів від впливу електромагнітних завад необхідно вирішити послідовно дві основні задачі. По-перше, визначити структуру та схему виконавчого пристрою – мережевого (силового) протизавадового захисного фільтру, що реалізує три основні функції [1]:

- гарантування рівнів кондуктивних завад в мережі електроживлення, які не перевищують значень, визначених нормативними національними, регіональними та міжнародними документами;
- запобігання доступу до інформації із застосуванням спеціальних засобів взаємодії із силовими кабелями системи енергозабезпечення інформаційних комплексів.
- запобігання проходження електромагнітних завад з електромережі до навантажувального кола.

Після обґрунтування вибору схеми необхідно розробити математичну модель джерела завади, реалізовану сукупністю рівнянь, що дозволить моделюванням за допомогою сучасних програм, таких як MathLab, Labview, Electronic Workbench, оцінити ефективність його роботи [2]. Окрім того, зазначена модель повинна дозволити визначити обмеження щодо режиму роботи та отримати дані, які будуть використані при налаштуванні системи для конкретної електромагнітної обстановки та оточення.

2. Особливості прямоходових інверторів та їх моделювання

Прямий перетворювач - це одноключовий перетворювач, в якому для передачі енергії з пер-

винного кола у вторинне використовують трансформатор [3]. Енергія передається з первинної обмотки у вторинну, коли ключ замкнутий і через нього проходить струм. Типова схема прямого перетворювача зображена на рис. 1 [4]. У схемі прямого перетворювача потрібно передбачити використання обмежувача напруги, так як при розмиканні ключа протікання струму через всі обмотки трансформатора припиняється. Обмежувач забезпечує шлях для струму, спричиненого індуктивністю намагнічування трансформатора і індуктивністю розсіювання. У схемах зворотного перетворювача при розмиканні ключа струм, викликаний зменшенням магнітного потоку в осерді, протікає в колі вторинної обмотки.

Напруга на обмежувальних ланках при використанні в схемі зворотного перетворювача залежить від напруги у вторинному колі. Для прямих перетворювачів це не так. Наявність обмежувальної обмотки не гарантує, що напруга на ключі при зниженні струму намагнічування не перевищить подвоєного значення вхідної напруги. При використанні таких схем потрібно ретельно врахувати максимальний коефіцієнт заповнення, тобто силу струму що намагнічує осердя трансформатора і сталу часу LC-ланцюга, щоб не перевищити номінальну напругу ключа.

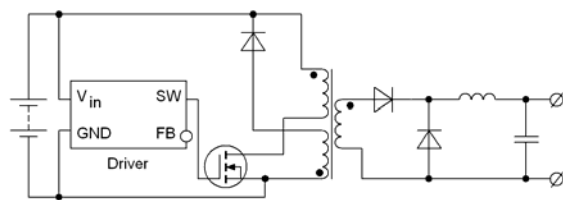


Рис. 1. Типова схема прямого перетворювача

Спосіб реалізації обмежувального ланцюга у схемі прямого перетворювача впливає на максимальну напругу на ключі. Енергія, накопичена в індуктивності намагнічування, пропорційна величині магнітного потоку, діючого на той час, коли ключ замкнений. Та ж сама кількість вольт-секунд потрібна для розсіювання цієї енергії за той час, поки ключ розімкнений. Стресовий вплив напруги на ключ можна зменшити, обмежуючи коефіцієнт заповнення. Однак зниження коефіцієнта заповнення призведе до збільшення пікового струму в первинній обмотці і вихідних пікового струму і напруги. Обмежувальна обмот-

ка зазвичай має ту ж кількість витків, що і первинна обмотка, щоб обмежити напругу на ключі на рівні подвоєного значення вхідної напруги. Однак максимальний коефіцієнт заповнення і кількість витків обмежувальної обмотки можна відкоригувати для будь-якого бажаного значення напруги на ключі. Обмежувальна обмотка розсіює тільки енергію індуктивностей, розташованих усередині петлі, утвореної власне цим колом. Будь-які паразитні індуктивності поза межами цього кола, наприклад паразитні індуктивності транзистора спричиняють у разі розмикання ключа додаткові напруги, що впливають на ключ.

Саме всі ці фактори спричиняють створення значних кондуктивних завад на вході цього типу перетворювачів. Негативний вплив пов'язаний з ключовим режимом роботи пристрою і відносно високою частотою комутації.

Для моделювання застосовано програмний пакет National Instruments Multisim 11. Цей комплекс дозволяє досить точно відтворити процеси, що протікають в реальних електричних колах без застосування великих обчислювальних потужностей. Це є актуальним як в учбовому процесі, так і в науковій діяльності, оскільки процес моделювання не займає багато часу.

Розроблена модель зображена на рис. 2.

Фактично вона відрізняється від електричної принципової схеми мережевого блоку живлення за такими пунктами:

- Відсутність на вході випрямляча. Це зумовлено тим, що завади, які ним створюються, розміщені в ділянці дуже низьких частот (сотні герц - одиниці кілогерц) і відповідними нормативними документами не регламентуються. А їх введення до складу моделі збільшує навантаження на програмно-обчислювальний комплекс і як наслідок, сильно збільшується час обробки даних.

- Розташування на схемі не лише реальних елементів, а й елементів, що відтворюють паразитні параметри (ємність монтажу, паразитна ємність та індуктивність тощо). Деякі з них показані в явному вигляді, деякі враховані в моделі самого елемента.
- Наявність на вході моделі еквівалента мережі. Це є стандартне обладнання для проведення вимірів на емісію в галузі електромагнітної сумісності і всі його елементи є чітко регламентованими.
- Використання аналізатора спектру й осцилографу. Вони призначені для подання інформації в більш зручній для сприйняття формі, а саме – в графічному вигляді. Також можна зберігати результати моделювання в табличному вигляді.

Цей прямий перетворювач зібрано на базі мікросхеми типу PWMCM2. Для скорочення часу моделювання можна заздалегідь враховувати енергію, накопичувану реактивними елементами і починати моделювання не з моменту ввімкнення джерела живлення, а після завершення всіх перехідних процесів. Саме для цього в моделі передбачено початковий заряд елементів фільтра низьких частот, складеного з елементів C1, L1, враховано енергію трансформатора тощо.

3. Результати моделювання

На рисунках 3-12 наведено спектрограми завад на еквіваленті мережі для різних значень смуги пропускання аналізатора спектра. За нормованою методикою смуга пропускання селективного вольтметра повинна дорівнювати 9 кГц у разі проведення вимірювання для діапазону від 0,15 МГц до 30 МГц.

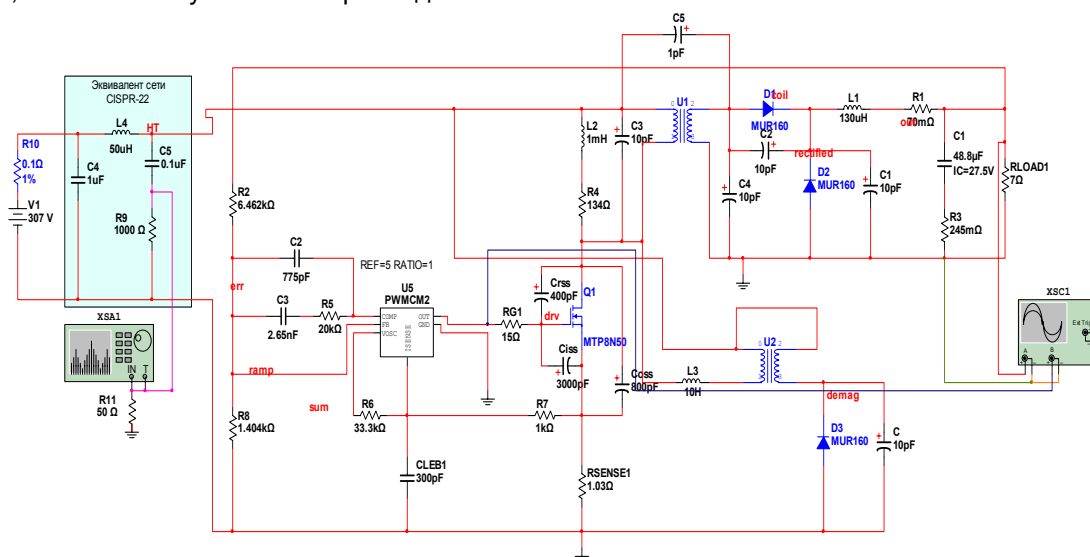


Рис. 2. Модель одноктного прямого перетворювача

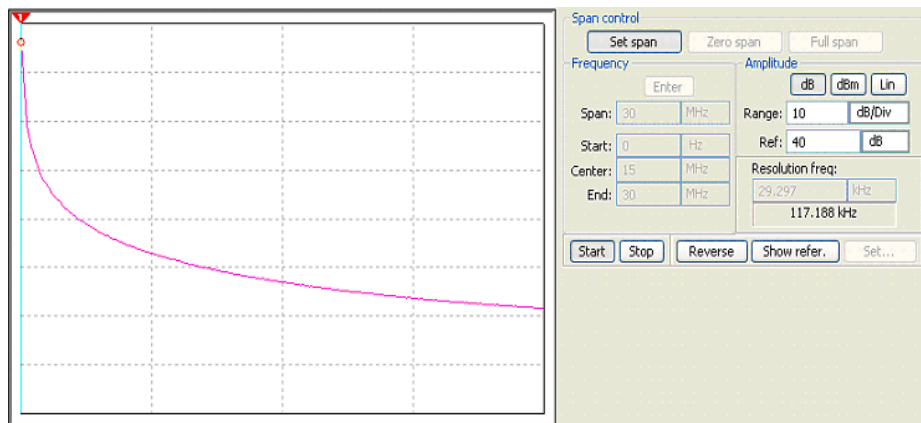


Рис. 3. Спектр кондуктивних завад в номінальному режимі роботи із врахуванням перших кількох гармонік (частота вибірок 117 кГц)

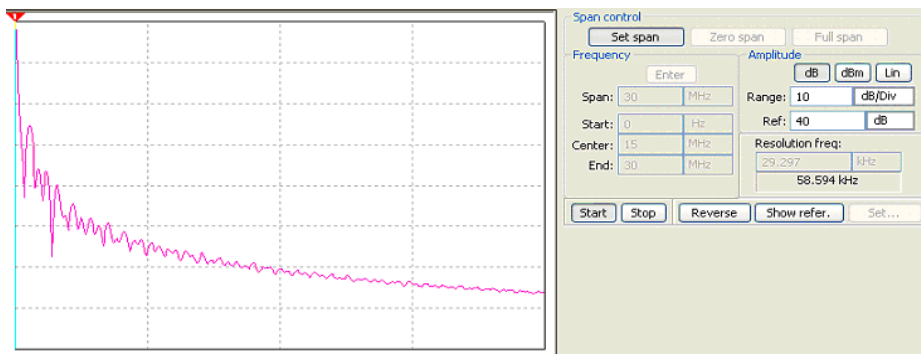


Рис. 4. Спектр кондуктивних завад в номінальному режимі роботи із врахуванням основних гармонік (частота вибірок 59 кГц)

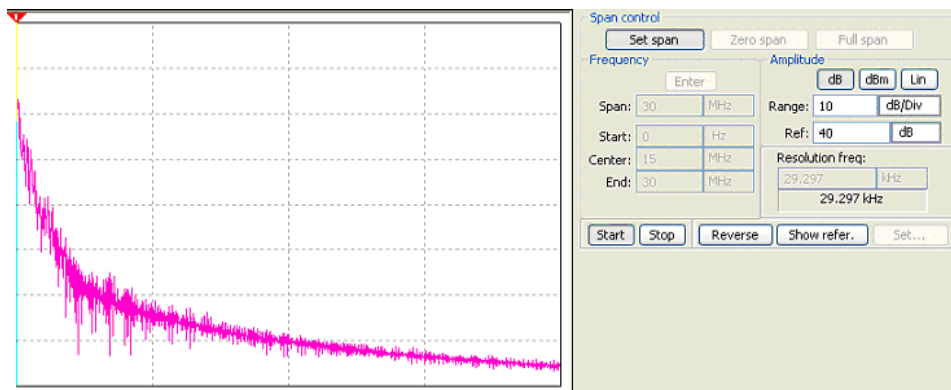


Рис. 5. Спектр кондуктивних завад в номінальному режимі роботи із врахуванням більшості гармонік (частота вибірок 29 кГц)



Рис. 6. Спектр кондуктивних завад в перевантаженому режимі роботи із врахуванням перших кількох гармонік (частота вибірок 468 кГц)



Рис. 7. Спектр кондуктивных завад в перервантаженному режимі роботи із врахуванням перших кількох гармонік (частота вибірок 117 кГц)

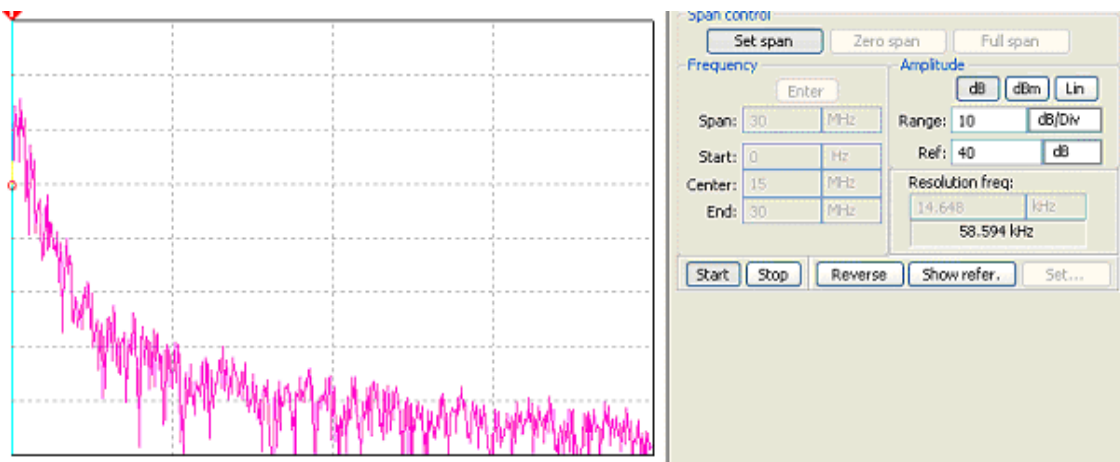


Рис. 8. Спектр кондуктивных завад в перервантаженному режимі роботи із врахуванням перших кількох гармонік (частота вибірок 59 кГц)

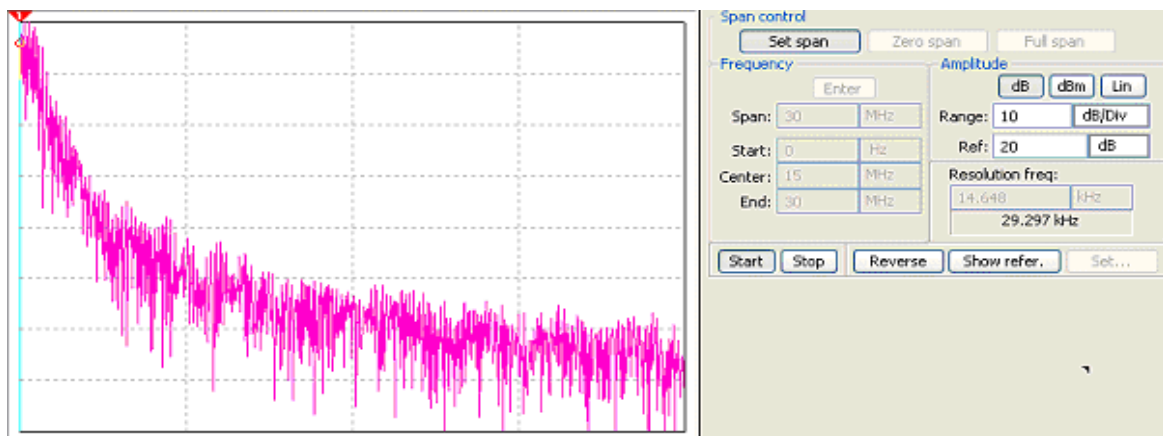


Рис. 9. Спектр кондуктивных завад в перервантаженному режимі роботи із врахуванням перших кількох гармонік (частота вибірок 29 кГц)

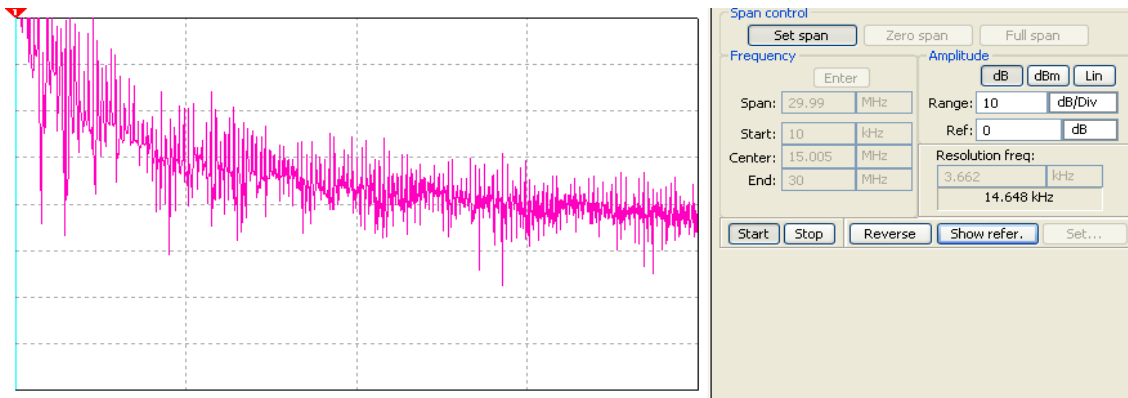


Рис. 10. Спектр кондуктивних завад в перевантаженому режимі роботи із врахуванням перших кількох гармонік (частота вибірок 14 кГц)

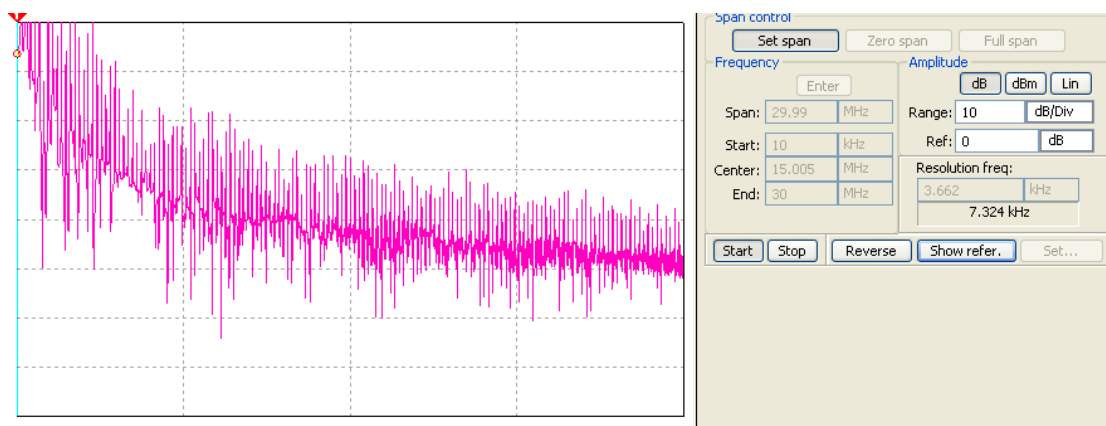


Рис. 11. Спектр кондуктивних завад в перевантаженому режимі роботи із врахуванням перших кількох гармонік (частота вибірок 7 кГц)



Рис. 12. Спектр кондуктивних завад в перевантаженому режимі роботи із врахуванням перших кількох гармонік (частота вибірок 3 кГц)

Подальше зменшення цієї частоти пов'язане із збільшенням часу моделювання, але дозволяє більш точно визначити рівень та частоту окремих гармонік завад.

На рисунку 13 наведено отримані в результаті моделювання часові характеристики сигналу керування ключем та рівня вихідної напруги

На рисунку 14 наведено отримані в результаті моделювання часові характеристики напруги на ключовому елементі та рівня вихідної напруги.

Таким чином, можна стверджувати, що модель працює адекватно. Результати моделювання можуть бути використані при розробці електромагнітнорозумісних перетворювачів напруги.

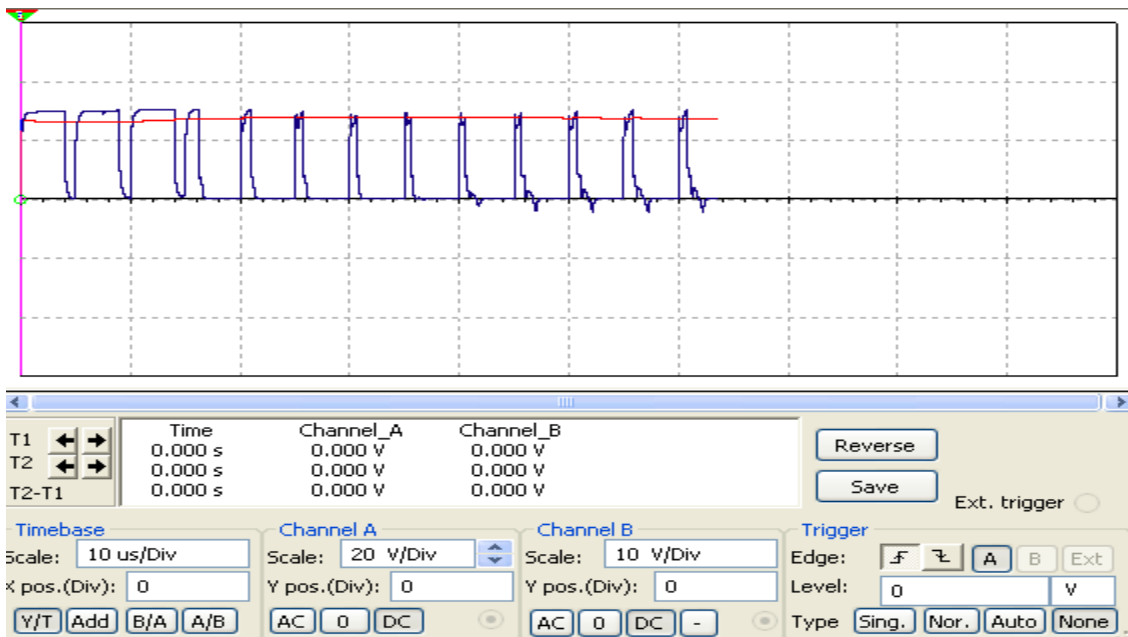


Рис. 13. Форма сигналу керування ключем та рівень вихідної напруги

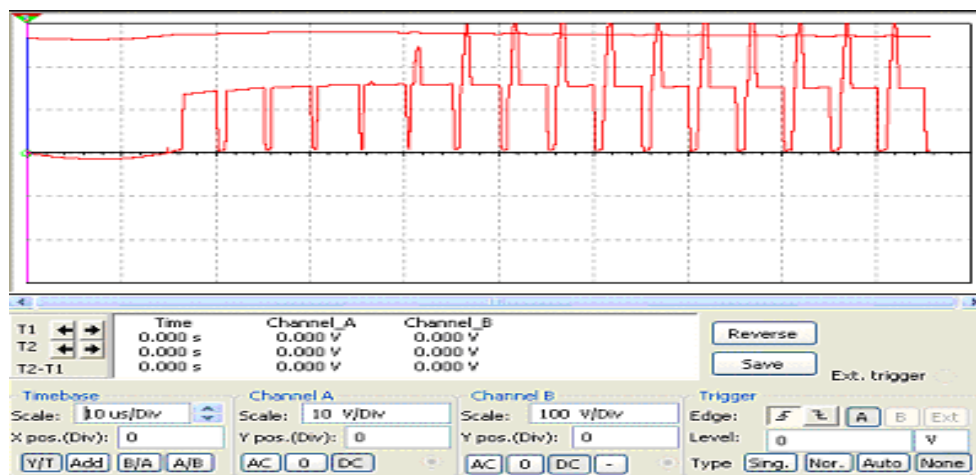


Рис. 14. Форма напруги на ключовому елементі та рівень вихідної напруги

Висновки

Розроблено модель прямого перетворювача напруги як джерела електромагнітних завад. Доведено, що режим навантаження суттєво (більш ніж вдвічі за рівнем) впливає на мережеві завади.

Література

1. Подавление электромагнитных помех в цепях электропитания / Г.С. Векслер, В. С. Недочетов, В. В. Пилинский и др. – К.: Техніка, 1990. – 167 с.
2. *Dovzhenko A. Intelligent Mains Radiofrequency Interference Filters/ A.Dovzhenko, V.Pilinsky, V.Shvaichenko, E.Shvaichenko// Proc. Of emc europe 2010 (9th international symposium on emc joint with 20th international wroclaw symposium on emc). Polska, Wroclaw,2010.– P.810-813*
3. Електронний підручник «Енергетична електроніка» / Жуйков В.Я., Рогаль В.В., Будьоний О.В., Пілінський В.В., Швайченко В.Б. та інш. <http://fel.kpi.ua/lib/pidruchniki/>
4. *Christophe P. Basso Switch-Mode Power Supply SPICE Cookbook, McGraw-Hill, 2001*