

УДК 621.314

Д.А. Миколаєць, канд. техн. наукНаціональний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»,
пр. Перемоги, 37, Київ, 03056, Україна.

Моделювання джерела безперебійного живлення на базі фільтро-компенсуючого перетворювача в середовищі Simulink

Проведене моделювання джерела безперебійного живлення (ДБЖ) на базі фільтро-компенсуючого перетворювача (ФКП) паралельного типу. Побудовані діаграми, що характеризують роботу системи в режимах компенсації реактивної енергії та забезпечення гарантованого електроживлення. Оцінені основні параметри якості споживаної електроенергії. Бібл. 7, рис. 6.

Ключові слова: джерело безперебійного живлення; фільтро-компенсуючий перетворювач; реактивна енергія; MatLab Simulink.

Вступ

Значна частина сучасних пристроїв для побутового та промислового застосування мають джерела живлення, що характеризуються наявністю випрямлячів з ємнісним фільтром. Таке технічне рішення призводить до виникнення явища споживання струму імпульсної форми та емісії вищих гармонік в мережу.

Для боротьби з наведеним вище явищем доцільно використовувати фільтро-компенсуючі перетворювачі (ФКП) паралельного типу [1-4]. Водночас, схемотехніка таких компенсаторів дозволяє, при додаванні системи заряду/розряду акумулятора, використовувати їх як джерело безперебійного живлення.

Основний матеріал

Існують підходи, що дозволяють аналітично оцінити працездатність та ефективність роботи напівпровідникових перетворювачів, іншим методом аналізу є моделювання в спеціалізованих програмних пакетах. Моделювання доцільно виконувати при розрахованих параметрах реактивних елементів та значень задаючих струмів та напруг, тому використовуючи алгоритм розрахунку в [5] при заданій потужності навантаження побудована модель силової частини та систем керування (див. рис. 1).

Схема ФКП, що розглядається, орієнтована на роботу з навантаженням з високим рівнем спотворення струму, що споживається з мережі (в даному випадку – випрямлячем з активно-ємнісним навантаженням). Для компенсації ре-

активної потужності необхідно надати вхідному струму і синусоїдальної форми. Компенсатор повинен споживати струм i_k , рівний:

$$i_k = i - i_d$$

де i_d — струм, що споживається навантаженням.

Параметри моделі силової частини СГЕЖ:

- діюче значення напруги живлення U – 220 В;
- частота напруги мережі f_c – 50 Гц;
- амплітудне значення струму навантаження $I_{dm} = 1$ А;
- частота роботи ФКП f_k – 15 кГц;
- частота роботи системи заряду f_a – 150 кГц;
- частота роботи системи розряду f_p – 1 кГц;
- індуктивність дроселя L – 50 мГн;
- ємність накопичувального конденсатора C – 50 мкФ;
- напруга конденсатора U_c – 445 В;
- індуктивність дроселя L_1 – 100 мГн;
- величина струму заряду акумулятора I_a – 0,1А;

Модель силової частини містить наступні елементи: E, Switch, Step, Sine Wave – модель джерела живлення з параметрами 220 В, 50 Гц; Ideal Switch – модель реле, яке відключає навантаження від мережі; Rectifier, R1, R2, E1 – елементи моделювання некерованого випрямляча з активно-ємнісним навантаженням; APLC – модель силової частини компенсатора; L – модель згладжувального дроселя; C – модель накопичувального конденсатора; APLC Control System – модель системи керування ФКП; Gb1 – модель акумулятора; VT1, VT2, VD1, VD2, L1 – модель системи заряду/розряду акумулятора Gb1; CD Control System – модель системи керування системи заряду акумулятора; A1-A4, V1-V3, Scope1-Scope5 – відповідно амперметри, вольтметри та осцилографи бібліотеки елементів Simulink; Total Harmonic Distorsion1, Total Harmonic Distorsion2 – блоки, що вимірюють коефіцієнт нелінійних спотворень модельованих струмів; Fourier – блок, що аналізує гармонічний склад модельованого вхідного сигналу.

Для відстеження початку та/або кінця інтервалу система керування повинна відстежувати моменти переключення режимів роботи. Початок інтервалу 1 настає при $u \geq 0$, інтервал 2 починається та закінчується при $i_{bx} = i_d$, інтервал 3 закінчується при $u \leq 0$.

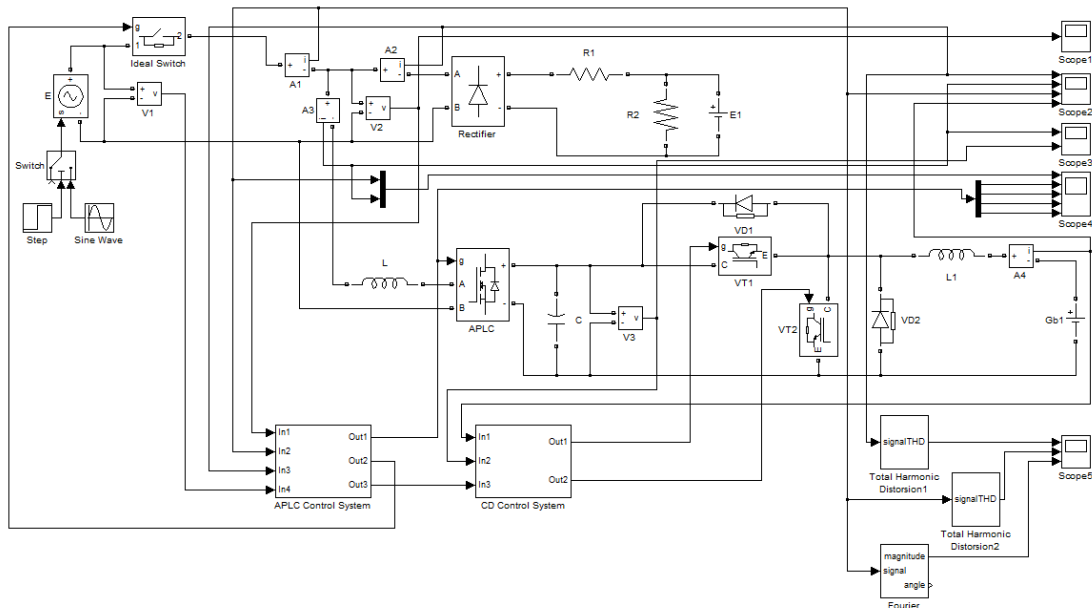


Рис. 1. Модель силовой части системы гарантированного электроживления

При побудові системи керування враховуються як режими роботи, так і перехід з одного типу задаючого впливу до іншого. Графіки вхідного струму $i(t)$, компенсуючого струму $i_k(t)$, струму заряду акумулятора $i_a(t)$ та струму навантаження $i_d(t)$ представлені відповідно на рис. 2, а, б, в і г.

Напряга на ємності C забезпечується постійною, з деякими пульсаціями, що пов'язані з напрямком протікання струму i_k (рис. 3, а), як показано на рис. 3, б. Постійна складова напруги u_C для змодельованого випадку має значення приблизно 315 В, що нижче розрахункової, але достатньо для стабільної роботи системи в заданому режимі, оскільки ϵ більшою за ам-

плітудне значення напруги мережі. Низьке значення напруги конденсатора, отримане при моделюванні пояснюється високими втратами в схемі силовой части, що моделюються опорами закритих і відкритих ключів. В ході розробки моделі виявилось, що при наближенні цих значень до значень, що відповідають реальним, система стає надто жорсткою, що призводить до неможливості виконання моделювання при обраному методі вирішення диференціальних рівнянь (параметр solver), інші методи вирішення диференціальних рівнянь, які відповідають даній моделі, як показала практика моделювання, дають більшу кількість помилок [6].

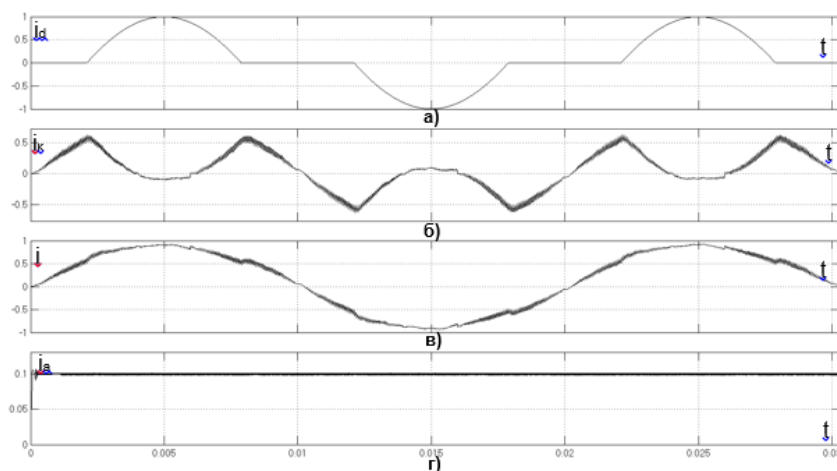


Рис. 2. Графіки струмів: а) – вхідного струму $i(t)$, б) – компенсуючого струму $i_k(t)$, в) – струму заряду акумулятора $i_a(t)$, г) – струму навантаження $i_d(t)$

Не зважаючи на вище сказане, стабілізована на величині близько 320 В напруга на накопичу-

вальному елементі дає можливість коректної роботи ШІП понижуючого типу.

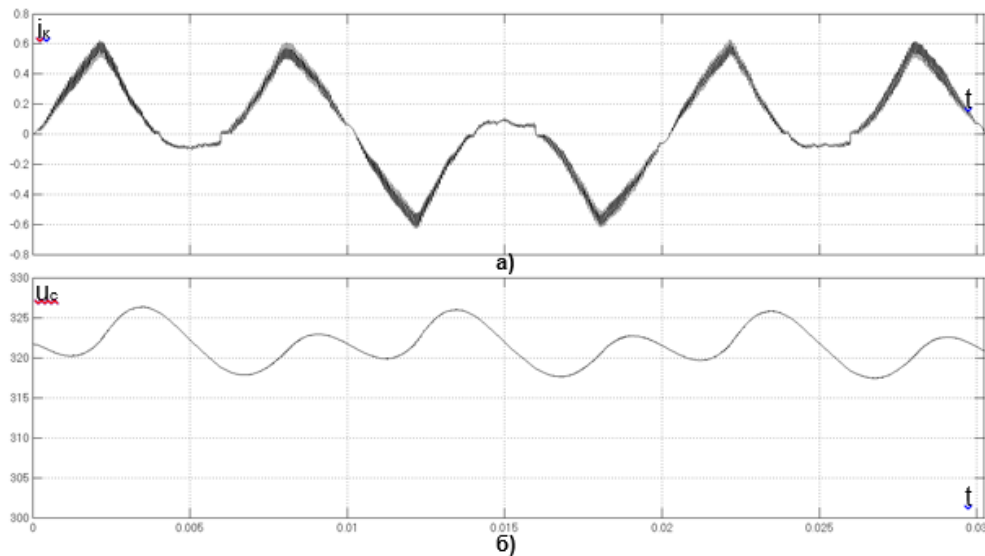


Рис. 3. Часові діаграми струму компенсатора i_k (а) та напруги на ємності (б)

В режимі роботи СГЕЖ як ФКП забезпечується робота вентилів перетворювача, як описано в [1]. На рис. 4, б-д, наведені часові діаграми імпульсів керування транзисторів всередині блоку APFC, які ілюструють процес перемикачів пристрою з одного режиму роботи в інший, відносно струмів i та i_k (рис. 4, а).

Пара високочастотних транзисторів (рис. 4, б, в) перемикаються у відповідності до їх робочих інтервалів, формуючи коригуючий струм, тоді як інша пара транзисторів (рис. 4, г, д) комутується з частотою f_c , реалізуючи роботу на додатну чи від'ємну півхвилю напруги мережі.

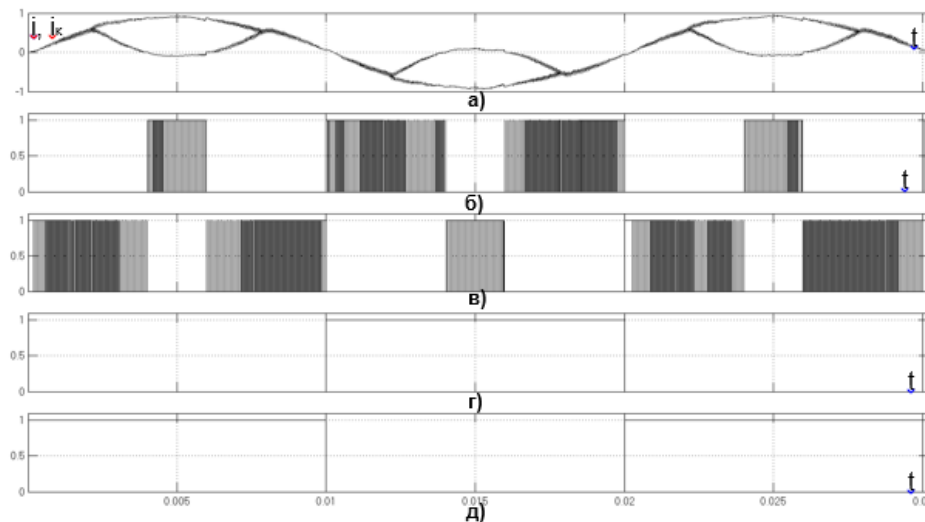


Рис. 4. Часові діаграми струмів i та i_k (а), імпульсів керування високочастотних транзисторів (б, в), імпульсів керування транзисторів, які комутуються з частотою мережі (г, д)

Перемикання СГЕЖ з режиму роботи як ФКП до режиму роботи як ДБЖ реалізується наступним чином: блок Step (див. рис. 1) в момент часу 0,1 с посилає сигнал на перемикач Switch, який від'єднує кероване джерело напруги E від блоку Sine Wave, який задає форму та частоту напруги мережі, таким чином імітуючи зникнення напруги

мережі. При отриманні напруги мережі нижче 50 В від номінальної, в системах керування ФКП та системі заряду/розряду акумулятора реалізуються функції переривання: на блок Ideal Switch подається сигнал, що розмикає його; блок Switch1 перемикає ФКП з режиму компенсації на режим інвертування енергії акумуляторної бата-

реї; блоки Switch2 та Switch3 вмикають ШІП понижуючого типу та вмикають ШІП підвищуючого типу. Таким чином, як показано на рис. 5, з затримкою приблизно в $1/4T_c$ система перемикається до режиму генерації прямокутної напруги, що забезпечує живлення випрямляча з активним навантаженням.

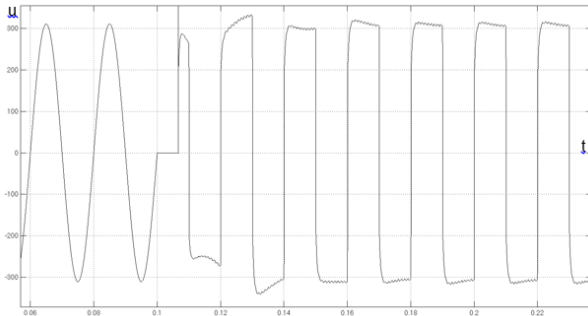


Рис. 5. Осцилограма напруги живлення навантаження

Величина амплітуди вхідного синусоїдального струму в реальних системах буде завжди більшою, ніж розрахована за методами, описаними в [7], що пов'язано з додатковими втратами потужності на напівпровідникових елементах схеми та активному опорі дроселів.

Якість споживаної електроенергії визначається коефіцієнтом потужності, або ж $\cos\varphi$, який є відношенням активної потужності до повної, а також коефіцієнту нелінійних спотворень, який є більш показовим для даних типів навантажень і характеризує відносний вміст вищих гармонік в споживаному струмі.

Величина $\cos\varphi$ визначається таким чином:

$$\cos\varphi = \frac{P}{S} = \frac{U_m \cdot I_{m1}}{U_m \cdot I_m} = \frac{I_{m1}}{I_m},$$

де P – активна потужність, S – повна потужність, I_{m1} – амплітудне значення першої гармоніки споживаного струму.

Амплітуда основної гармоніки визначається за допомогою блоку Fourier. Найменша амплітуда першої гармоніки струму складає 0,915 А (рис.4.12, в) при амплітуді струму 0,92 А. Звідси:

$$\cos\varphi = \frac{0,915}{0,92} = 0,995.$$

Коефіцієнт гармонік можливо визначити за допомогою блоку Total Harmonic Distorsion. Отримане середнє значення в 0,066, тобто 6,6%, при значенні коефіцієнту гармонік без використання ФКП на рівні 48 %.

За допомогою блоку powergui, який використовує алгоритм швидкого перетворення Фур'є [7], проведений гармонічний аналіз вхідного струму (рис. 6), який показав, що амплітуда вищих гармонік різко спадає зі зростом їх номеру, а найбільше значення, має третя гармоніка, амплітуда якої не перевищує 5% від основної.

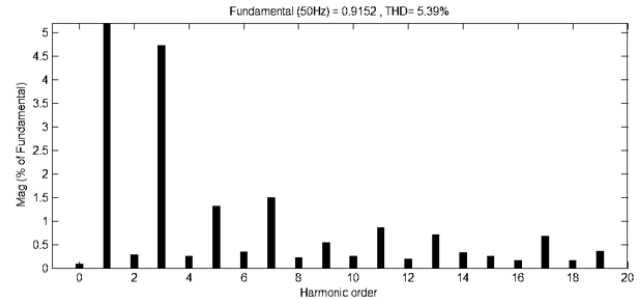


Рис. 6. Гармонічний склад споживаного струму

Оскільки амплітуди гармонік більш високого порядку складає значно менше 1% від основної, при побудові діаграми було вирішено обмежитись 19-ю включно.

Висновки

Отримана модель, що дозволяє оцінити якість компенсації спотворень споживаного струму, а також роботу системи заряду/розряду акумулятора. На основі отриманих значень та діаграм визначено, що система спроможна успішно виконувати як функції активного фільтру, так і функції джерела безперебійного живлення.

Список використаних джерел

1. В. Я. Жуйков, Нгуен Лыхай Тунг. Условие компенсации реактивной мощности высокочастотным преобразователем параллельного типа // Электроника и связь. – 1998. – №5. – с. 82-85.
2. Михальський В. М., Соболев В. М., Чопик В. В., Шаповал І. А. Стратегія мінімізації небажаних складових миттєвої потужності із застосуванням різних топологій паралельних активних фільтрів. // Технічна електродинаміка. – 2014. – №1 – с. 41-50.
3. Barrero F., Martínez S., Martínez P.M., Yeves F: Active power filters for line conditioning: a critical evaluation. // IEEE Transactions on Power Delivery – 2000. – vol.15, no.1. – pp. 283-290.
4. Cadaval E.R., Gonzalez F.B., Montero M.I.M. Active power line conditioner based on two parallel converters topology. // Compatibility in

- Power Electronics. – 2005. – IEEE, June 1. – pp. 134 - 140.
5. *Mikolaiets, D.* The calculating algorithm of active power line conditioner with uninterruptible power supply function. // Electronics and Nanotechnology (ELNANO), 2015 IEEE 35th International Conference on – Kyiv, 2015, – p. 534 – 538.
 6. <http://matlab.exponenta.ru>
 7. *Айфичер Э., Джервис Б.* Цифровая обработка сигналов. Практический подход. – М.: ИД "Вильямс", 2004 – 992 с.

Поступила в редакцию 19 июля 2016 г.

УДК 621.314

Д.А. Миколаец, канд.техн. наук

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»,
ул. Политехническая, 16, Киев, 03056, Украина.

Моделирование источника бесперебойного питания на базе фильтро-компенсирующего преобразователя в среде Simulink

Проведено моделирование источника бесперебойного питания на базе фильтро-компенсирующего преобразователя параллельного типа. Построены диаграммы, характеризующие работу системы в режимах компенсации реактивной энергии и обеспечения гарантированного электропитания. Оценены основные параметры качества потребляемой электроэнергии. Библ. 7, рис. 6.

Ключевые слова: источник бесперебойного питания; фильтро-компенсирующий преобразователь; реактивная энергия; MatLab Simulink.

UDC 621.314

D. Mykolaiets, Ph.D.

National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute",
pr. Peremohy, 37, Kyiv, 03056, Ukraine.

Simulation of an uninterruptible power supply based on active power line conditioner in the Simulink environment

The simulation of an uninterruptible power supply based on filter-compensating transducer parallel type carried out. The diagrams characterizing the operation of the system in reactive power compensation and a guaranteed power supply modes were built. The main parameter of the quality of consumed electricity is estimated. References 7, figures 6.

Keywords: uninterruptible power supply; active power line conditioner; reactive power; MatLab Simulink.

Reference

1. *Zhuikov, V. Ya., Nguyen, Hai Tung.* (1998). Condition of reactive power compensation by parallel type high frequency converter. Elektronika i Sviyaz. Vol. 5. Pp. 82-85. (Rus)
2. *Mykhalskyi, V. M., Soboliev, V. M., Chopyk, V. V., Shapoval, I. A.* (2014). Stratehiia minimizatsii nebazhanykh skladovykh myttievoi potuzhnosti iz zastosuvanniam riznykh topolohii paralelnykh aktyvnykh filtriv. Tekhnichna elektrodynamika. No. 1. Pp. 41-50. (Ukr)
3. *Barrero, F., Martínez, S., Martínez, P. M., Yeves, F.* (2000). Active power filters for line conditioning: a critical evaluation. IEEE Transactions on Power Delivery. Vol.15, No.1. Pp. 283-290.
4. *Cadaval, E. R., Gonzalez, F. B., Montero, M. I. M.* (2005). Active power line conditioner based on two parallel converters topology. Compatibility in Power Electronics. IEEE, June 1. Pp. 134 - 140.
5. *Mikolaiets, D.* (2015). The calculating algorithm of active power line conditioner with uninterruptible power supply function. Electronics and Nanotechnology (ELNANO), 2015 IEEE 35th International Conference on Kyiv, Pp. 534 – 538.
6. <http://matlab.exponenta.ru>
7. *Aifycher, E., Dzhervys, B.* (2004). Tsyfrovaia obrabotka syhnalov. Praktycheskyi podkhod. YD "Vyliams", P. 992.