

Фільтро-компенсуючий перетворювач з системою заряду акумулятора імпульсним асиметричним струмом

Миколаєць Д. А., к.т.н., ORCID [0000-0002-9152-8593](https://orcid.org/0000-0002-9152-8593)

e-mail dmytri_m@ukr.net

Жуйков В. Я., д.т.н. проф., ORCID [0000-0002-3338-2426](https://orcid.org/0000-0002-3338-2426)

e-mail valery_zhuikov@yahoo.com

Факультет електроніки, кафедра промислової електроніки

Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"
Київ, Україна

Реферат—Представлена схема фільтро-компенсуючого перетворювача з системою заряду акумулятора імпульсним асиметричним струмом. Наведені часові діаграми, що описують основні режими роботи пристрою, а також еквівалентні схеми перетворювача з описом його роботи на відповідних часових інтервалах. З використанням балансу енергій та методу розрахунку за середніми струмами та напругами виведені вирази для розрахунку основних параметрів компенсатора при умові споживання додаткової енергії, необхідної для заряду акумулятора.

Бібл. 10, рис. 3, табл. 1.

Ключові слова — фільтро-компенсуючий перетворювач; імпульсний асиметричний струм; реактивна енергія; коефіцієнт нелінійних спотворень.

I. ВСТУП

Численні публікації [1-4] вказують на доцільність побудови системи, яка б реалізовувала як функції компенсації реактивної потужності, так і забезпечення гарантованого електроживлення. З аналізу методів заряду акумулятора [5] випливає, що метод заряду імпульсним асиметричним струмом перевершує за якісними показниками інші і забезпечує зниження при заряді: ефекту пам'яті, пікових значень температури та внутрішнього тиску батареї, що дозволяє збільшити термін служби акумулятора в 1,5–3 рази [5, 6, 7]. Головним недоліком цього методу заряду акумулятора є відносно невисокий коефіцієнт корисної дії (ККД), але при використанні схемних рішень, які дозволяють використовувати енергію розрядного імпульсу повторно для заряду акумулятора, ККД підвищується до 80–90% і вище [8]. Загальне збільшення ККД у порівнянні з існуючими пристроями сягає 12–34%. Метою роботи є розрахунок реактивних елементів та основних параметрів фільтро-компенсуючого перетворювача при сумісному використанні з системою заряду акумулятора імпульсним асиметричним струмом.

II. КОМПЕНСАТОР З СИСТЕМОЮ ЗАРЯДУ АКУМУЛЯТОРА

На рис. 1 зображена електрична принципова схема фільтро-компенсуючого перетворювача з зарядним

пристроєм, де GB_1 – акумулятор. Дросель L_1 , транзистори VT_1 – VT_4 , діоди VD_1 – VD_4 та конденсатор C_1 утворюють паралельний фільтро-компенсуючий перетворювач (ФКП). Транзистор VT_5 (VT_6 під час заряду акумулятора від конденсатора C_2), діод VD_5 та дросель L_2 утворюють формувач зарядних імпульсів (ФЗІ). Транзистори VT_7 – VT_8 , дросель L_3 , діод VD_6 та конденсатор C_2 утворюють формувач розрядних імпульсів (ФРІ).

Якщо акумулятор заряджений, пристрій працює як звичайний фільтро-компенсуючий перетворювач [9], а у випадку, коли напруга на акумуляторі менша номінальної, заряд відбувається у два етапи: на першому етапі через понижуючий ШП (ПШП) формується зарядний імпульс, на другому етапі формується розрядний імпульс за допомогою підвищуючого ШП (ПдШП). Напруга на акумуляторі U_a за півперіод напруги мережі змінюється слабо по відношенню до її середнього значення, тому для подальших розрахунків прийнята за постійне значення. Відношення величини амплітуди зарядного і розрядного імпульсу струму відрізняються на порядок, а відношення довжин цих імпульсів – не менше, ніж в 2 рази. У процесі заряду ці співвідношення залишаються незмінними.



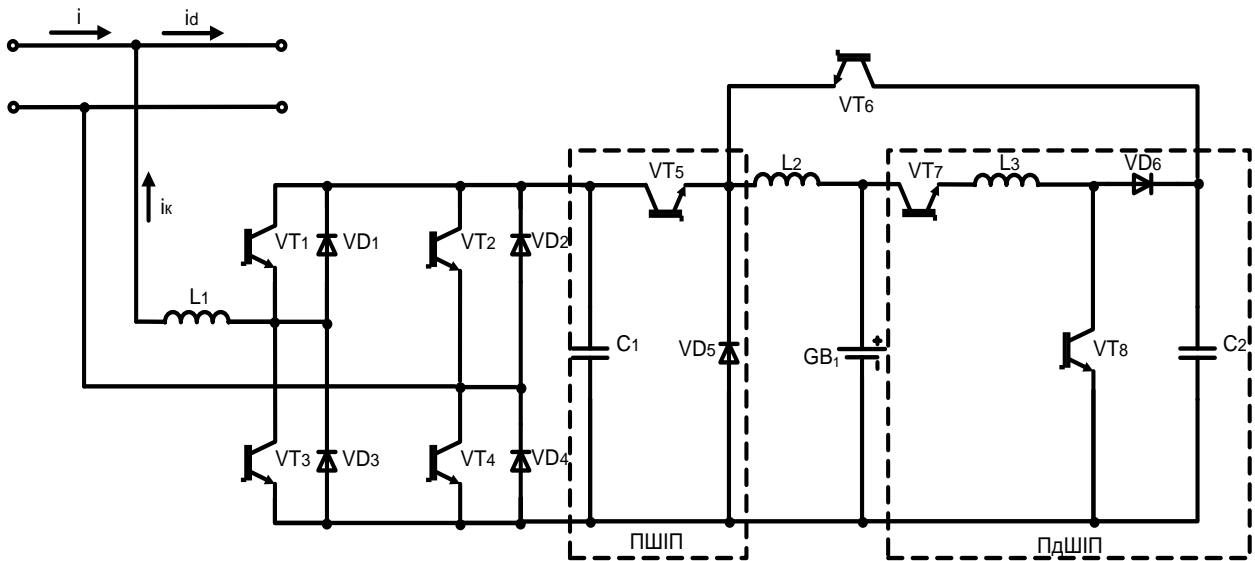


Рис. 1 Електрична принципова схема фільтро-компенсуючого перетворювача з системою заряду імпульсним асиметричним струмом (бази транзисторів підключені до відповідних драйверів системи керування).

На рис. 2 наведено часові діаграми струмів пристрою, де i' , i – струми мережі при зарядженому акумуляторі та при роботі пристрою на заряд акумулятора на півперіоді напруги мережі; i_d – струм нелінійного навантаження; I_3, I_p – величини зарядного та розрядного імпульсів струму акумулятора; i'_k, i_k – струм ФКП при зарядженому акумуляторі та заряді акумулятора. Для усунення впливу перехідних процесів зарядного пристрою на ФКП його робоча частота обирається на порядок більшою за частоту роботи ФКП. Для зручності частота слідування зарядного та розрядного імпульсів обрана вдвічі більшою за частоту напруги мережі, тобто $T_{ac} = T_c / 2$, що дозволяє здійснювати просту синхронізацію роботи пристроїв та значно зменшити комбінаційні гармоніки, що виникають при відсутності такої синхронізації.

При використанні режиму заряду акумулятора ФКП має три характерні інтервали роботи. На інтервалі I та III (див. рис. 2) енергія споживається, а на інтервалі II енергія, що накопичилася в C_1 , віддається в мережу. Еквівалентні схеми на відповідних робочих інтервалах системи наведені в табл. 1, при цьому для 1-го та 3-го інтервалу стан ключів, а отже, і еквівалентні схеми збігаються. В даній таблиці еквівалентні схеми 1-3 відповідають інтервалам I та III роботи ФКП, тоді як схеми 4-6 – інтервалу II, при цьому на еквівалентній схемі 1 показана робота компенсатора при формуванні зарядного імпульсу, на еквівалентній схемі 2 – при формуванні розрядного імпульсу, а на еквівалентній схемі 3 – заряд акумулятора від конденсатора C_2 . Схеми 4-6 розташовані аналогічним до описаного порядку чином.

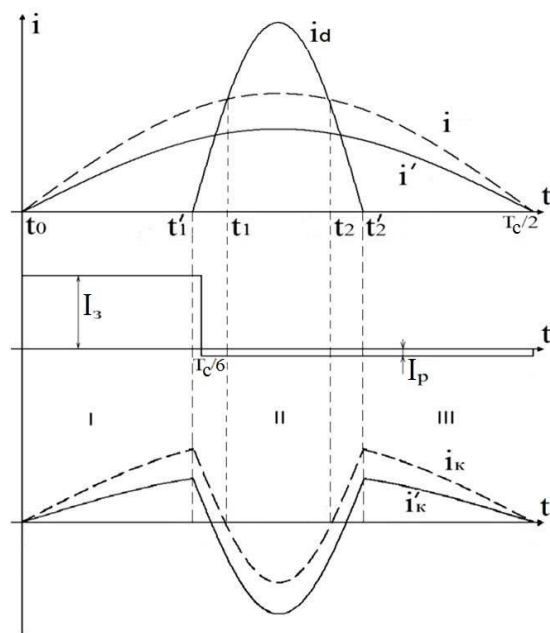


Рис. 2 Часові діаграми струмів фільтро-компенсуючого перетворювача з системою заряду імпульсним асиметричним струмом

Енергія W_{ac} , що споживається акумулятором за півперіод напруги мережі при заряді асиметричним струмом, визначається таким чином:

$$W_{ac} = W_3 + W_p = U_a \left(I_3 \frac{T_c}{6} - I_p \frac{2T_c}{6} \right) = \frac{U_a T_c}{6} (I_3 - 2I_p), \tag{1}$$

де W_3 – енергія, що передається в акумулятор зарядним імпульсом за півперіод напруги мережі, W_p – енергія, що споживається з акумулятора розрядним імпульсом за півперіод напруги мережі.

Використовуючи вираз балансу енергії $2W_1 + W_2 - W_{ac} = 0$, де W_1 та W_2 – енергія, що споживається ФКП, відповідно за інтервали $t_0 - t_1$ та $t_1 - t_2$, визначається амплітуда вхідного синусоїдального струму:

$$I_m = \frac{\omega\tau_2(\omega\tau_2 - \sin 2\omega\tau_2)}{\pi(2\cos\omega\tau_1 - \omega\tau_2\sin\omega\tau_1)} I_d + \frac{2}{3} \frac{U_a}{U_m} (I_3 - 2I_p), \quad (2)$$

де τ_1 та τ_2 – відповідно, тривалості першого другого інтервалів часу.

Середнє значення коефіцієнтів заповнення імпульсів, відповідно, на першому та другому робочих інтервалах, Y_1 та Y_2 при заряді акумулятора імпульсним асиметричним струмом знаходяться з виразу:

$$Y_1^2 = \frac{\omega\tau_2 \sin \frac{\omega\tau_2}{2}}{\left(\frac{\pi}{2} - \frac{\omega\tau_2}{2}\right)(1 - \sin \frac{\omega\tau_2}{2})} Y_2^2 + \frac{\omega\tau_2(1 - 2\sin \frac{\omega\tau_2}{2})}{\left(\frac{\pi}{2} - \frac{\omega\tau_2}{2}\right)(1 - \sin \frac{\omega\tau_2}{2})} Y_2 + 1 - \frac{U_m(1 + \sin \frac{\omega\tau_2}{2})}{U_c \left(\frac{\pi}{2} - \frac{\omega\tau_2}{2}\right)} + \frac{U_a T_c \omega^2 L_1 (I_3 - 2I_p)}{3 \left(\frac{\pi}{2} - \frac{\omega\tau_2}{2}\right) U_m U_c (1 - \sin \frac{\omega\tau_2}{2})}, \quad (3)$$

де ω – кутова частота роботи компенсатора, U_m – амплітудне значення напруги мережі, U_c – середнє значення напруги конденсатора.

Середнє значення Y_2 набуває вигляду:

$$Y_2(1 - Y_2) = \frac{4L_1 I_d^*}{3\tau_2 U_c} + \frac{L_1 U_a T_c (I_3 - 2I_p)}{9\tau_2^2 U_2^* U_c}, \quad (4)$$

де I_d^* – середнє значення струму навантаження,

U_2^* – середнє значення напруги мережі на другому інтервалі.

$$\text{Прийнявши } \lambda_1 = \psi \frac{\omega L_1 I_d}{U_m}$$

$$\text{та } \lambda_2 = \frac{\omega L_1 U_a (I_3 - 2I_p)}{U_m U_c}, \text{ де } \psi \text{ – коефіцієнт пропорційності між величинами, розрахованими по середнім та миттєвим значенням [10], а також з врахуванням виразу для визначення } I_d^* \text{ в [10] та (4) можна записати:}$$

Оскільки коефіцієнт Y_2 повинен знаходитися в межах $0 \leq Y_2 \leq 1$, при підстановці 0,5, як середнього значення, вираз (5) набуває вигляду:

$$\lambda_1 = \frac{3(2 - 2\cos\omega\tau_2 - \omega\tau_2 \sin\omega\tau_2)}{2(\omega\tau_2 - \sin\omega\tau_2)} \times \frac{U_c}{U_m} Y_2(1 - Y_2) - \frac{T_c(2 - 2\cos\omega\tau_2 - \omega\tau_2 \sin\omega\tau_2)}{12\tau_2 \sin \frac{\omega\tau_2}{2} (\omega\tau_2 - \sin\omega\tau_2)} \cdot \frac{U_c}{U_m} \lambda_2. \quad (5)$$

Оскільки коефіцієнт Y_2 повинен знаходитися в межах $0 \leq Y_2 \leq 1$, при підстановці 0,5, як середнього значення, вираз (5) набуває вигляду:

$$\lambda_1 = \frac{3(2 - 2\cos\omega\tau_2 - \omega\tau_2 \sin\omega\tau_2)}{8(\omega\tau_2 - \sin\omega\tau_2)} \cdot \frac{U_c}{U_m} - \frac{T_c(2 - 2\cos\omega\tau_2 - \omega\tau_2 \sin\omega\tau_2)}{12\tau_2 \sin \frac{\omega\tau_2}{2} (\omega\tau_2 - \sin\omega\tau_2)} \cdot \frac{U_c}{U_m} \lambda_2. \quad (6)$$

З графіку залежності $\lambda_1(U_c)$, представленою на рис. 3, при заданому співвідношенні між λ_1 та λ_2 знаходиться величина напруги конденсатора U_c , необхідна для забезпечення коректного функціонування ФКП.

При заряді акумулятора імпульсним асиметричним струмом, вираз балансу енергії можна записати таким чином: $2W_1^* + W_2^* - W_{ac} = 0$. Виходячи з того, що напруга конденсатора повинна бути постійною, з деякими пульсаціями:

$$C_1(U_{c \max}^2 - U_{c \min}^2) = -W_2^* + W_{ac}, \quad (7)$$

де W_2^* – енергія, що віддається компенсатором на другому інтервалі. З виразу для визначення енергії W_2^* в [9] та (4) визначається:

$$W_2^* = -\frac{12I_d^* U_2^* \tau_2 + U_a T_c (I_3 - 2I_p)}{18} \quad (8)$$

Підставляючи (1) та (8) у вираз (7), визначимо ємність конденсатора:

$$C_1 = \frac{4}{9} \frac{3I_d^* U_2^* \tau_2 + U_a T_c (I_3 - 2I_p)}{U_c^2} \quad (9)$$

Індуктивність L_1 та закони зміни коефіцієнтів заповнення імпульсів для ФКП при заряді акумулятора імпульсним асиметричним струмом визначаються аналогічно, як у [10]:

$$L_1 = \frac{U_m \lambda_1}{\psi \omega I_{d \max}} \quad (10)$$

	№	Електромагнітні процеси	Еквівалентна схема
Інтервал І (Ш)	1	Конденсатор C_1 споживає енергію з мережі через підвищуючий ШПП ($L_1 - VT_3 - VD_1$), при цьому формується зарядний імпульс акумулятора понижуючим ШПП ($VT_5 - VD_5 - L_2$).	
	2	ФКП працює так же як в 1, при цьому формується розрядний імпульс акумулятора на конденсатор C_2 підвищуючим ШПП ($L_3 - VT_8 - VD_6$).	
	3	ФКП працює так же як в 1, а з допомогою конденсатора C_2 формується зарядний імпульс акумулятора через понижуючий ШПП ($VT_6 - VD_5 - L_2$).	
Інтервал ІІ	4	Накопичена енергія на C_1 передається в мережу через понижуючий ШПП ($VT_1 - VD_2 - L_1$), при цьому формується зарядний імпульс акумулятора понижуючим ШПП ($VT_5 - VD_5 - L_2$).	
	5	ФКП працює так же як в 4, при цьому формується розрядний імпульс акумулятора на конденсатор C_2 підвищуючим ШПП ($L_3 - VT_8 - VD_6$).	
	6	ФКП працює так же як в 4, а енергія з конденсатора C_2 передається в акумулятор через зарядний імпульс понижуючим ШПП ($VT_6 - VD_5 - L_2$).	

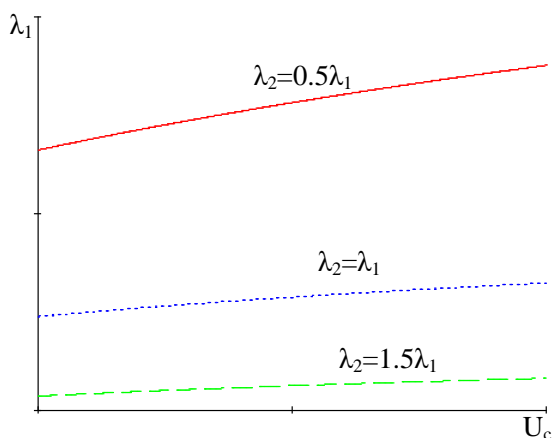


Рис. 3 Залежності коефіцієнту λ_1 від напруги конденсатора U_c при деяких співвідношеннях λ_1 та λ_2

Таким чином, ємність конденсатора при розрахунку фільтро-компенсуючого перетворювача з системою заряду акумулятора збільшується на величину $\frac{4 U_a T_c (I_3 - 2 I_p)}{9 U_c^2}$, а амплітуда струму споживання

збільшиться на величину $\frac{2 U_a}{3 U_m} (I_3 - 2 I_p)$, в порівнянні з цими ж величинами при розрахунку класичного ФКП [9].

ВИСНОВКИ

Таким чином, за наведеними вище виразами можливо визначити параметри реактивних елементів системи гарантованого електроживлення, побудованої на основі схеми ФКП, із зарядом акумулятора імпульсним асиметричним струмом. Визначено, що ємність накопичувального конденсатора зростає пропорційно до додаткової енергії, необхідної для заряду



акумулятора, при незмінній величині індуктивності згладжувального дроселя.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

- [1] Іу. S. Yamnenko, Т. О. Tereshchenko and D. A. Mykolaiets, "Fil'tro-kompensuyuchy peretvoryuvach z systemoyu zaryadu/rozryadu akumul'yatornoyi batareyi," *Tekhnichna elektrodynamika*, no. 5, pp. 16-20, 2015.
URL: http://techned.org.ua/2015_5/st3.pdf.
- [2] D. A. Mykolaiets and V. I. Mykytiuk, "Intervalni strumy v filtro-kompensuiuchomu peretvoriuvachi z kompensatsiieiu strumu samorozryadu akumul'yatora," *Tekhnichna elektrodynamika*, no. 4, p. 75-77, 2014. **URL:** http://techned.org.ua/2014_4/st25.pdf
- [3] F. Barrero, S. Martinez, F. Yeves and P. Martinez, "Universal and reconfigurable to UPS active power filter for line conditioning," *IEEE Transactions on Power Delivery*, no. vol.18, no.1, pp. 319-325, 2003. **DOI:** [10.1109/TPWRD.2002.804014](https://doi.org/10.1109/TPWRD.2002.804014).
- [4] H. L. Jou and J. C. Wu, "A new parallel processing ups with the performance of harmonic suppression and reactive power compensation," in *IEEE Power Electron. Spec. Conf. (PESC'94)*, Proc., 1994. **DOI:** [10.1109/PESC.1994.373874](https://doi.org/10.1109/PESC.1994.373874).
- [5] V. B. Volkivskii, V. C. Kamayev and A. V. Kolodyazhnyi, "Metodyi zaryada nikel-kadmievyih akumul'yatornyih batarey," *Elektronika i svyaz*, no. 27, pp. 18-25, 2005.
- [6] V. Volkivskii, "Prystrii dlia zaryadu asymetrychnym strumom akumul'yatornoi batarei v bufernomu rezhymi," *Tekhnichna elektrodynamika. Tematychnyi vypusk "Sylova elektronika ta enerhoefektyvnist"*, vol. 3, pp. 21-25, 2004.
- [7] V. B. Pavlov and O. V. Popov, "Vyznachennia parametriv impulsnoho zaryadnoho prystroiu akumul'yatoriv avtonomnykh system elektrozhyvlennia," *Tekhnichna elektrodynamika. Tematychnyi vypusk "Sylova elektronika ta enerhoefektyvnist"*, vol. 2, pp. 23-25, 2009.
- [8] T. O. Tereshchenko, V. M. Spivak and V. B. Volkivskiy, "Prystrii dlia zaryadu enerhoiemnykh akumul'yatornykh batarei asymetrychnym strumom," *Tekhnichna elektrodynamika. Tematychnyi vypusk "Sylova elektronika ta enerhoefektyvnist"*, vol. 2, pp. 11-15, 2003.
- [9] V. Ya. Zhuykov and L. T. Nguen, "Uslovie kompensatsii reaktivnoy moschnosti vysochastotnym preobrazovatelem parallelnogo tipa," *Elektronika i svyaz*, no. 5, pp. 82-85, 1998.
- [10] D. Mikolaiets, "The calculating algorithm of active power line conditioner with uninterruptible power supply function," *Electronics and Nanotechnology (ELNANO), 2015 IEEE 35th International Conference proceedings*, pp. 534-538, 2015.
DOI: [10.1109/ELNANO.2015.7146945](https://doi.org/10.1109/ELNANO.2015.7146945).

Надійшла до редакції 16 травня 2018 р.

УДК 621.314

Фильтро-компенсирующий преобразователь с системой заряда аккумулятора импульсным асимметричным током

Миколаец Д. А., к.т.н., ORCID [0000-0002-9152-8593](https://orcid.org/0000-0002-9152-8593)

e-mail dmytri_m@ukr.net

Жуйков В. Я., д.т.н. проф., ORCID [0000-0002-3338-2426](https://orcid.org/0000-0002-3338-2426)

e-mail valery_zhuykov@yahoo.com

Факультет электроники, кафедра промышленной электроники

Национальный технический университет Украины "Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского"

Киев, Украина

Реферат—Представлена схема фильтро-компенсирующего преобразователя с системой заряда аккумулятора импульсным асимметричным током. Приведены временные диаграммы, описывающие основные режимы работы устройства, а также эквивалентные схемы преобразователя с описанием его работы на соответствующих временных интервалах. С использованием баланса энергий и метода расчета по средним токами и напряжениями выведены выражения для расчета основных параметров компенсатора при условии потребления дополнительной энергии, необходимой для заряда аккумулятора.

Библ. 10, рис. 3, табл. 1.

Ключевые слова — фильтро-компенсирующий преобразователь; импульсный асимметричный ток; реактивная энергия; коэффициент нелинейных искажений.

UDC 621.314



Copyright (c) 2018 Миколаец Д. А., Жуйков В. Я.

Active Power Line Conditioner with Impulse Asymmetric Current Battery Charging System

D. A. Mykolaiets, PhD, ORCID [0000-0002-9152-8593](https://orcid.org/0000-0002-9152-8593)

e-mail dmytri_m@ukr.net

V. Ya. Zhuikov, Dr.Sc.(Eng) Prof., ORCID [0000-0002-3338-2426](https://orcid.org/0000-0002-3338-2426)

e-mail valery_zhuikov@yahoo.com

Faculty of Electronics, Department of Industrial Electronics
National technical university of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv polytechnic institute"
Kyiv, Ukraine

Abstract— A scheme of an active power line conditioner with a battery charge system with impulse asymmetric current battery charging system is presented. Numerous publications point to the expediency of constructing a system that would realize both functions of compensation of reactive power and the provision of guaranteed power supply. The existing non-linearity of loads affects the reduction of the power factor and the increase of the content of higher harmonics of consumed current, which leads to distortion of form of network voltage. Many loads require high quality power supply, and their high-quality work can only be achieved with low content of higher harmonics and a shape factor that corresponds to the ideal sinusoidal voltage. In addition, the deviation of the power factor from one and the corresponding current distortion result in energy losses in the networks and equipment, which in turn is one of the reasons for additional heating and a decrease in the life of the devices. From the analysis of battery charge methods, it follows that the method of impulse asymmetric current battery charging exceeds the quality of the other and provides a reduction in the charge: the memory effect, peak values of temperature and internal pressure of the battery, which can increase the life of the battery in 1.5-3 times. The main disadvantage of this method of battery charge is a relatively low efficiency, but with the use of circuit solutions that allow using the energy of a bit pulse repeatedly to charge the battery, the efficiency is increased to 80-90% and above. Total increase in the efficiency compared with existing devices reaches 12-34%. The purpose of the work is to calculate the reactive elements and the main parameters of the filter-compensating converter when used together with the system for the sake of the battery with impulse asymmetric current. Time diagrams describing the main operating modes of the device, as well as equivalent circuits of the converter, that describes its operation at the appropriate time intervals are given. Using the balance of energy and the method of calculation on average currents and voltages, expressions for calculating the basic parameters of the compensator, provided the consumed additional energy for charging the battery are derived. It is determined that the capacity of the storage capacitor increases in proportion to the additional energy required to charge the battery, with the constant value of the inductance of the smoothing inductor.

Ref. 10, fig. 3, tabl. 1.

Keywords — Active power line conditioner; impulse asymmetric current; reactive energy; total harmonic distortion.

