

УДК 621.314

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СИЛОВОГО АКТИВНОГО ФИЛЬТРА

В. А. Волков

Запорожская государственная инженерная академия
просп. Ленина, 226, г. Запорожье, 69006, Украина. E-mail: green_stone@ukr.net

Разработана методика оценки снижения сетевых нагрузочных потерь мощности и электроэнергии при использовании силового активного фильтра. С применением предложенной методики выполнены расчеты энергоэффективности использования силового активного фильтра для тиристорных электроприводов постоянного тока с нулевой и мостовой схемами управляемого выпрямителя, а также для асинхронных электроприводов с тиристорным преобразователем напряжения и преобразователем частоты.

Ключевые слова: силовой активный фильтр, методика, энергоэффективность.

МЕТОДИКА ОЦІНЮВАННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ СИЛОВОГО АКТИВНОГО ФІЛЬТРА

В. О. Волков

Запорізька державна інженерна академія
просп. Леніна, 226, м. Запорожжя, 69006, Україна. E-mail: green_stone@ukr.net

Розроблено методику оцінки зниження навантажувальних втрат потужності й електроенергії в мережі живлення при використанні силового активного фільтру. Із застосуванням запропонованої методики виконано розрахунки енергоефективності використання силового активного фільтру для тиристорних електроприводів постійного струму з нульовою та мостовою схемами керованого випрямляча, а також для асинхронних електроприводів з тиристорним перетворювачем напруги й перетворювачем частоти.

Ключові слова: силовий активний фільтр, методика, енергоефективність.

АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ. Исходя из наблюдающегося удорожания электроэнергии и необходимости ее рационального использования, стало уделяться в последние годы повышенное внимание промышленному внедрению технологий и технических средств, осуществляющих энергосбережение. Одним из таких наиболее высокоэффективных технических средств, обеспечивающих снижение потерь электроэнергии в трехфазных электрических сетях переменного напряжения (за счет осуществления одновременно компенсации реактивной мощности, симметрирования сетевых фазных токов и приближения их формы к синусоидальной) является силовой активный фильтр (САФ), выполненный на основе трехфазной мостовой схемы автономного инвертора напряжения (АИН) [1–3].

До настоящего времени отсутствуют инженерные методики, которые позволяют количественно оценить ожидаемую энергоэффективность применения САФ применительно к конкретным питающим сетям и нагрузкам. Вследствие этого поставленная в статье цель: разработка методики оценки энергоэффективности использования САФ – является актуальной и востребованной практикой.

МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ.

Суть предложенной методики заключается в следующем.

1. В трехфазных электрических сетях, где планируется использование САФ, в течение i -го интервала времени Δt_i контролируются измерительными приборами:

– действующие значения сетевых фазных токов I_{A0}, I_{B0}, I_{C0} и тока нейтрали I_{N0} сети (последний – только для четырехпроводной сети);

– действующие значения сетевых фазных напряжений U_{A0}, U_{B0}, U_{C0} ;

– средние значения потребляемых по фазам сети активных мощностей: P_A, P_B, P_C .

2. Определяются (расчетным или экспериментальным путем) фазное значение активного сопротивления сети R_ϕ (которое для фаз А, В и С предполагается идентичным) и нейтрали сети R_N , а также их соотношение: $\xi = R_N/R_\phi$. При этом в состав R_ϕ входят фазные значения активного сопротивления кабельной линии и значение активного сопротивления короткого замыкания силового трансформатора, приведенное к его вторичной обмотке.

3. Рассчитываются потребляемые фазные и общее значения полной (кажущейся) мощности:

$$\left. \begin{aligned} S_A &= U_{Aa} I_{Aa}; \\ S_B &= U_{Ba} I_{Ba}; \\ S_C &= U_{Ca} I_{Ca}; \\ S &= S_A + S_B + S_C. \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

4. Определяется полная активная мощность, потребляемая трехфазной нагрузкой:

$$P = P_A + P_B + P_C. \quad (2)$$

5. Рассчитывается значение сетевого коэффициента мощности без установки САФ:

$$K_M = P/S. \quad (3)$$

Принимаем, что после установки САФ сетевой коэффициент мощности K'_M будет равен значению (0,98–0,99) согласно [1].

6. При дальнейших расчетах полагаются активные потери мощности в САФ неизменными и соответствующими его номинальному режиму работы:

$$\Delta P_{САФ} = const. \quad (4)$$

7. Находятся общие сетевые (нагрузочные) потери мощности без установки САФ в виде:

– для трехпроводной сети или

$$\Delta P = R_{\phi}(I_{A\phi}^2 + I_{B\phi}^2 + I_{C\phi}^2), \quad (5)$$

– для четырехпроводной сети

$$\Delta P = R_{\phi}(I_{A\phi}^2 + I_{B\phi}^2 + I_{C\phi}^2 + \xi I_{N\phi}^2). \quad (6)$$

8. Определяется общая потребляемая из сети активная мощность без установки САФ в виде:

$$P_{\Sigma} = P + \Delta P. \quad (7)$$

9. Для трехпроводной сети коэффициент снижения сетевых потерь мощности после установки САФ определяется из соотношений:

$$\left. \begin{aligned} K_c &= (1 + \lambda_1)^2 (K_M / K'_M)^2; \\ \lambda_1 &= \left\{ \Delta P_{N\phi\phi} - \Delta P \left[1 - (K_M / K'_M)^2 \right] \right\} / P_{\Sigma}. \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

10. Для четырехпроводной сети коэффициент снижения сетевых потерь мощности после установки САФ определяется из зависимостей [4]:

$$\left. \begin{aligned} K_c &= (1 + l_1)^2 l_2 (K_M / K'_M)^2; \\ l_1 &= (D P_{N\phi\phi} - a R_{\phi}) / P_{S\phi}; \\ a &= (I_{A\phi\phi}^2 + I_{B\phi\phi}^2 + I_{N\phi\phi}^2 + x I_{N\phi\phi}^2) - 3 I_{\phi\phi\phi}^2; \\ I_{\phi\phi\phi} &= P_{S\phi} / 3 E_{\phi\phi}; \\ P_{S\phi} &= P + DP (K_M / K'_M)^2; \\ l_2 &= \frac{(I_{A\phi\phi} + I_{B\phi\phi} + I_{N\phi\phi})^2}{3(I_{A\phi\phi}^2 + I_{B\phi\phi}^2 + I_{N\phi\phi}^2 + x I_{N\phi\phi}^2)}, \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

где λ_2 – коэффициент, учитывающий снижение сетевых потерь мощности от симметрирования сетевых фазных токов; $E_{\phi\phi}$ – действующее фазное значение ЭДС на вторичной обмотке силового трансформатора (равное фазному напряжению холостого хода вторичной обмотки силового трансформатора); $I_{A\phi\phi}$, $I_{B\phi\phi}$, $I_{C\phi\phi}$ и $I_{N\phi\phi}$ – рассчитанные методами из теоретических основ электротехники действующие фазные значения токов и ток нейтрали четырехпроводной сети, которые получены после полной компенсации реактивной мощности и мощности искажения в фазных нагрузках.

11. Вычисляются нагрузочные потери мощности в сети после установки САФ в виде:

$$\Delta P' = \Delta P K_c. \quad (10)$$

12. Находится снижение сетевых (нагрузочных) потерь энергии на i-ом интервале времени в виде:

$$\Delta W' = (\Delta P - \Delta P') \Delta t_i, \quad (11)$$

где Δt_i – длительность указанного i-го интервала.

13. Находится снижение сетевых (нагрузочных) потерь энергии при использовании САФ за интересующий интервал времени T (сутки, месяц, год):

$$W = \sum_{i=1}^{i=N} \Delta W'_i; \quad N = T / \Delta t_i. \quad (12)$$

Методом имитационного моделирования и посредством вычисления с использованием разработанной методики выполнены расчеты значений сетевого коэффициента мощности K'_M , коэффициента гармоник K_c сетевого тока и коэффициента сниже-

ния K_c сетевых потерь мощности для тиристорных электроприводов постоянного тока (ТЭПТ) со схемами, которые показаны на рис. 1, и асинхронных электроприводов (АЭП) со схемами, приведенными на рис. 2. На этих схемах используются следующие обозначения: САУ ЭП – система автоматического управления электроприводом; РТП – реверсивный тиристорный преобразователь; ТПН – тиристорный преобразователь переменного тока; СР – система регулирования; ЛПУ – логическое переключающее устройство; РС и РТ – регуляторы скорости и тока; М – двигатель постоянного тока; АД – асинхронный двигатель.

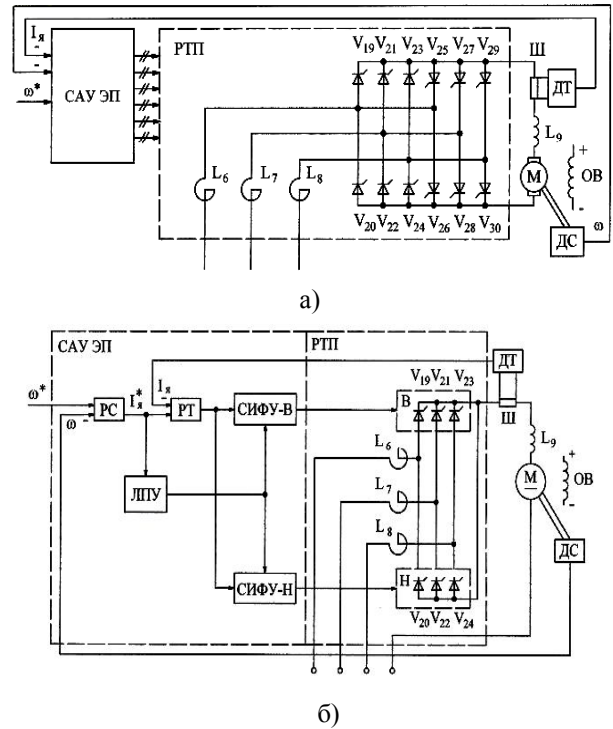


Рисунок 1 – Тиристорный электропривод постоянного тока (ТЭПТ): а) с мостовой, б) с нулевой схемой преобразователя

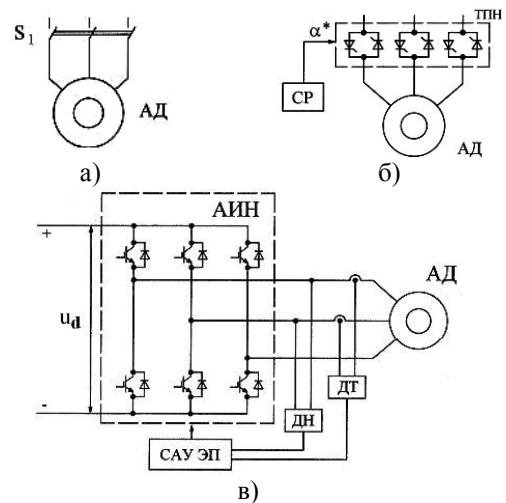


Рисунок 2 – Электроприводы переменного тока: а) нерегулируемый АЭП; б) АЭП с ТПН; в) частотно-регулируемый АЭП

Таблица 1 – Результаты расчета энергоэффективности использования САФ для трехфазной сети, питающей ТЭПТ

Вид ЭП	Режим	Скорость	K'_M	K_Γ	K_c
ТЭПТ (с трехф. мостовой схемой)	установившийся	$0,8\omega_H$	0,993	5,1	0,380
		$0,1\omega_H$	0,952	12,8	0,064
	разгон	–	0,980*	–	–
	торможение	–	-0,954*	–	–
ТЭПТ (с трехф. нулевой схемой)	установившийся	$0,8\omega_H$	0,996	3,49	0,244
		$0,1\omega_H$	0,967	11,8	0,053
	разгон	–	0,967*	–	–
	торможение	–	-0,953*	–	–

Таблица 2 – Результаты расчета энергоэффективности использования САФ для трехфазной сети, питающей АЭП

Вид ЭП	Режим	Скорость	K'_M	K_Γ	K_c
Нерегулируемый АЭП	установившийся	ω_H	0,997	3,81	0,643
	разгон	–	0,965*	–	0,447
АЭП с ТПН	установившийся	ω_H	0,997	5,32	0,540
	разгон	–	0,982*	–	0,121
Частотно-регулируемый АЭП	установившийся	ω_H	0,999	2,88	0,905
		$0,1\omega_H$	0,993	8,90	0,510
	разгон	–	0,960*	–	–
	торможение	–	-0,951*	–	–

* – среднее значение параметра.

METHOD OF ESTIMATION OF THE ENERGY EFFICIENCY BY USING ACTIVE POWER FILTER

V. Volkov

Zaporozhye State Engineering Academy
 prosp. Lenina, 226, Zaporozhye, 69006, Ukraine. E-mail: green_stone@ukr.net

The method of estimation of decline of grid loadings losses of electric power and electric energy using the power active filter is developed. By the use of the offered method the calculations of energy efficiency of power active filter are executed for the thyristor DC electric drives with zero and bridge circuits of the controlled rectifier, and also for asynchronous electric drives with the thyristor voltage transformer and frequency converter.

Key words: power active filter, methodology, energy efficiency.

REFERENCES

1. Volkov A.V., Metelsky V.P., Volkov V.A. Energy saving system sourcing by active filter for automatically electric drive // *Problems by automatically electric drive. Theory and Practice.* – Lvov: Elektroinform, 2009. – PP. 370–371. [in Russian]
 2. Jemerov G.G., Domnin I.F., Ilina O.A., Tugay D.V. Energy efficiency correction phase current ripple and compensation of active and reactive power in three-phase power supply system // *Technical electro-dynamics.* – K., 2007. – № 1. – PP. 52–57. [in Russian]
 3. Shreyner R.T., Efimov A.A. The active filter as a new element of the electric energy systems // *Electricity.* – 2000. – № 3. – PP. 46–54. [in Russian]

Номинальные мощности двигателей составляли 5,5 кВт; действующее значение линейного сетевого напряжения равно 0,4 кВ. Результаты указанных расчетов имитационного моделирования представлены в табл. 1, 2, где ω_H – номинальная скорость двигателя.

ВЫВОДЫ. Сравнение между собой снижения сетевых потерь мощности (энергии) при использовании САФ, вычисленного в установившихся режимах электропривода с применением разработанной методики и полученного на уточненной имитационной модели для комплекса «электрическая сеть – САФ – электропривод», свидетельствует о том, что их отличие не превышает $\pm 3\%$.

ЛИТЕРАТУРА

1. Волков А.В., Метельский В.П., Волков В.А. Энергосберегающая система электропитания на основе активного фильтра для автоматизированных электроприводов // Тем. выпуск. Проблемы автоматизированного электропривода. Теория и практика. – Львов: Электроинформ, 2009. – С. 370–371.
 2. Жемеров Г.Г., Домнин И.Ф., Ильина О.А., Тугай Д.В. Энергоэффективность коррекции фазы тока и компенсации пульсаций активной и реактивной мощности в трехфазной системе электроснабжения // *Технічна електродинаміка.* – К., 2007. – № 1. – С. 52–57.
 3. Шрейнер Р.Т., Ефимов А.А. Активный фильтр как новый элемент энергосберегающих систем электропривода // *Электричество.* – 2000. – № 3. – С. 46–54.
 4. Метельский В.П., Волков В.А. Оценка возможности снижения энергопотребления в трехфазных сетях переменного напряжения при симметрировании сетевых фазных токов силовым активным фильтром // *Електротехніка та електроенергетика.* – Запорожье. – 2010. – № 1. – С. 68–73.

Стаття надійшла 10.07.2012.
 Рекомендовано до друку
 д.т.н., проф. Сінчуком О.М.