

АЛГОРИТМІЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ ОПТИМАЛЬНОГО КЕРУВАННЯ УЗАГАЛЬНЕНИМ ПОКАЗНИКОМ ЯКОСТІ ДЛЯ СКЛАДНИХ СТРУКТУР

С. Г. Чорний, кандидат технічних наук

А. О. Жиленков, старший викладач

Л. М. Козаченко, старший викладач

І. Л. Тітов, здобувач

Керченський державний морський технологічний університет

Визначено узагальнений показник якості електроенергії в автономній електроенергетичній системі (ЕЕС), що вводиться як критерій оцінки якості функціонування фільтро-компенсуючого пристрою (ФКУ). Встановлено, що при визначенні встановленої потужності ФКУ, найкращий показник може бути досягнутий з застосуванням в системі управління ФКУ інтелектуальної підтримки прийняття рішень щодо регулювання параметрів електроенергії. Наведено алгоритм вирішення задачі оптимального управління ФКУ.

Ключові слова: алгоритм, оцінка якості, регулювання, оптимальне управління.

Введение. Согласно известному выражению для полной мощности сети (1), она состоит из активной мощности P , реактивной мощности Q и мощности искажений T , определяемой составом высших гармоник :

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2 + T^2} . \quad (1)$$

Строгое определение реактивной мощности (РМ) Q имеется только для случая, когда токи и напряжения в цепях синусоидальны по форме. Понятие реактивной мощности при несинусоидальных режимах в течение многих лет является предметом научных дискуссий [1–3, 5–9]. Значения реактивной мощности, определённые исходя из разных теорий, могут отличаться во много раз. Рядом авторов утверждается, что понятие реактивной мощности применимо только для синусоидальных режимов и его нельзя переносить на несинусоидальные.

Все основные теории РМ можно подразделить на четыре группы: спектральные формы, интегральные формы, использование векторных и функциональных пространств для определения РМ, энергопотоковые теории. Значения РМ, найденные по разным методикам, могут отличаться во много раз. Это наглядно видно из примера сравнения трёх формул для РМ, предложенных разными авторами, который приведён Я. Ю. Солодухо в [6]:

$$Q = \sum_{l=1}^{\infty} Q_l ; \quad Q = \sum_{l=1}^{\infty} \frac{1}{l} Q_l ; \quad Q = \sum_{l=1}^{\infty} Q_l ,$$

где l - номер гармоники.

Анализ проблемы и ее решение. Наряду с различием формул, расчёты РМ, выполненные Я.Ю. Солодухо, показывают, что в общем случае не соблюдается также баланс реактивных мощностей. На основе анализа теорий РМ при несинусоидальных режимах в [5, 6] делается важный вывод о том, что для сетей с несинусоидальными режимами до сих пор не создана строгая общепринятая теория реактивной мощности. Основной причиной этого является отсутствие строгой методической основы для расширения понятия РМ на несинусоидальные режимы. Для несинусоидальных режимов понятие реактивной мощности может или отсутствовать, или переходить в более общее. Поэтому многими авторами рекомендуется при практических расчётах под реактивной мощностью понимать реактивную мощность по основной гармонике. В настоящей работе будем следовать этим рекомендациям и говорить о реактивной мощности по основной гармонике.

Введем понятие обобщенного показателя качества электроэнергии в автономной электроэнергетической системе (ЭЭС). Рассмотрим известное выражение коэффициента мощности (2), которое учитывает показатели мощностей в виде произведения относительной мощности искажения x и показателя реактивной мощности по первой гармонике $\cos \varphi$:

$$X = \chi \cos \varphi. \quad (2)$$

Напряжения и токи сети могут быть представлены суммами гармонических составляющих ряда Фурье:

$$u(t) = \sum_{k=1}^{\infty} U_k \sin(k\omega_0 t + \delta_k), \quad (3)$$

$$i(t) = \sum_{k=1}^{\infty} I_k \sin(k\omega_0 t + \theta_k). \quad (4)$$

Их действующие значения:

$$U_{rms}(t) = \sqrt{\sum_{k=1}^{\infty} \frac{U_k^2}{2}} = \sqrt{\sum_{k=1}^{\infty} U_{krms}^2}, \quad (5)$$

$$I_{rms}(t) = \sqrt{\sum_{k=1}^{\infty} \frac{I_k^2}{2}} = \sqrt{\sum_{k=1}^{\infty} I_{krms}^2}. \quad (6)$$

При определении уровня содержания гармоник в знакопеременных сигналах пользуются показателем суммарных гармонических искажений, равным:

$$СГИ_u = \sqrt{\frac{\sum_{k=2}^{\infty} U_k^2}{U_1^2}} = \sqrt{\left(\frac{U_{rms}}{U_1}\right)^2 - 1}, \quad (7)$$

$$СГИ_i = \sqrt{\frac{\sum_{k=2}^{\infty} I_k^2}{I_1^2}} = \sqrt{\left(\frac{I_{rms}}{I_1}\right)^2 - 1}. \quad (8)$$

В ходе натурных исследований измеряются такие параметры, как коэффициент мощности PF , равный отношению активной мощности к полной, угол сдвига фазы основной гармоники тока относительно основной гармоники напряжения, а также суммарные гармонические искажения тока и напряжения, выразим взаимосвязь между данными показателями.

Коэффициент мощности определяется выражением $PF = P/S$. Считая, что гармонические искажения напряжения в сети малы (что справедливо для сети бесконечной мощности), принимают, что действующее значение напряжения определяется значением основной гармоники, т.е. $U_{rms} \approx U_1$. В результате, коэффициент мощности представляют выражением:

$$PF = \frac{U_1 I_1 \cos \varphi}{U_1 I_{rms}} = \frac{I_1 \cos \varphi}{I_{rms}}. \quad (9)$$

Если уровень СГИ напряжения превышает допустимый, то их необходимо учитывать, в результате обобщенный показатель качества электроэнергии может быть представлен выражением:

$$X = \chi \cos \varphi = \frac{U_1 I_1 \cos \varphi}{U_{rms} I_{rms}}. \quad (10)$$

Из (7) и (8) имеем следующие зависимости:

$$\frac{U_1}{U_{rms}} = \frac{1}{\sqrt{1 + СГИ_u^2}}; \quad (11)$$

$$\frac{I_1}{I_{rms}} = \frac{1}{\sqrt{1 + СГИ_i^2}}; \quad (12)$$

$$\chi = \frac{1}{\sqrt{1 + СГИ_u^2}} \frac{1}{\sqrt{1 + СГИ_i^2}}. \quad (13)$$

Предполагая, что существует алгоритм управления фильтро-компенсирующего устройства (ФКУ), при котором достигаются заданные параметры обобщенного показателя качества при наименьшей (или оптимальной) установленной мощности ФКУ, произведем формализацию задачи оптимального управления ФКУ следующим образом.

Введем вектор гармоник тока преобразователя в сети:

$$\mathbf{I} = [i_1, \dots, i_i, \dots, i_N]^T, \quad (14)$$

где i_i – i -я гармоника тока; N – количество учитываемых гармоник.

Аналогично введем вектор гармоник напряжения:

$$\mathbf{U} = [u_1, \dots, u_i, \dots, u_N]^T. \quad (15)$$

Введем вектор неактивной мощности ФКУ:

$$\mathbf{X} = [x_1, \dots, x_i, \dots, x_N]^T. \quad (16)$$

Пусть полная установочная мощность ФКУ будет задана параметром S_{opt} , а текущая мощность, генерируемая ФКУ, выражается параметром S_{Σ} .

Вектора \mathbf{I} и \mathbf{U} – внешние параметры задачи управления, а S_{opt} – прямое ограничение. Тогда, обобщенный показатель качества X и мощность S_{Σ} – выходные параметры задачи оптимального управления.

Введем также вектора \mathbf{H} – верхних и \mathbf{L} – нижних границ вектора X , так что для i -го элемента векторов справедливо:

$$l_i \leq x_i \leq h_i. \quad (17)$$

Будем считать, что известны зависимости

$$X = f(\mathbf{X}); \quad (18)$$

$$S_{\Sigma} = f_1(\mathbf{X}) = \sum_{i=1}^N x_i. \quad (19)$$

Требуется обеспечить максимизацию X и оптимизацию S_{Σ} при ограничениях:

$$X_{\min} \leq f(\mathbf{X}) \leq X_{\max}; \quad (20)$$

$$\mathbf{L} \leq \mathbf{X} \leq \mathbf{H}; \quad (21)$$

$$f_1(\mathbf{X}) = S_{opt}; \quad (22)$$

где X_{\min} , X_{\max} – соответственно минимальное и максимальное значение обобщенного показателя качества.

То есть, (20) – функциональное ограничение на выходные параметры задачи управления, а выражение (22) – функциональное ограничение на внутренние управляемые параметры.

Физический смысл ограничения (22) состоит в том, что независимо от текущего распределения мощности ФКУ, затрачиваемой на компенсацию уровня той или иной гармоники и реактивной мощности, текущая суммарная мощность S_{Σ} ФКУ должна оставаться равной установленной мощности S_{opt} ФКУ.

Система параметров, уравнений и неравенств (14) – (22) образует формальную математическую постановку задачи оптимального управления ФКУ.

Вектор \mathbf{X}^* , удовлетворяющий условиям (20) – (22), называется оптимальной точкой, а соответствующие значения $X^* = f(\mathbf{X}^*)$ и $S_{\Sigma}^* = f_1(\mathbf{X}^*)$ – оптимальными значениями целевых функций.

Оптимальная точка \mathbf{X}^* , оптимальное значение целевой функции X^* и оптимальное значение целевой функции

$S_{\Sigma}^* = f_1(\mathbf{X}^*)$ образуют оптимальное решение задачи, которое может быть локальным и глобальным. Локальное решение представляет собой наименьшее значение целевой функции в ограниченной окрестности точки \mathbf{X} , в то время как глобальное решение даёт наименьшее значение целевой функции.

Алгоритм решения задачи оптимального управления ФКУ показан на рис.

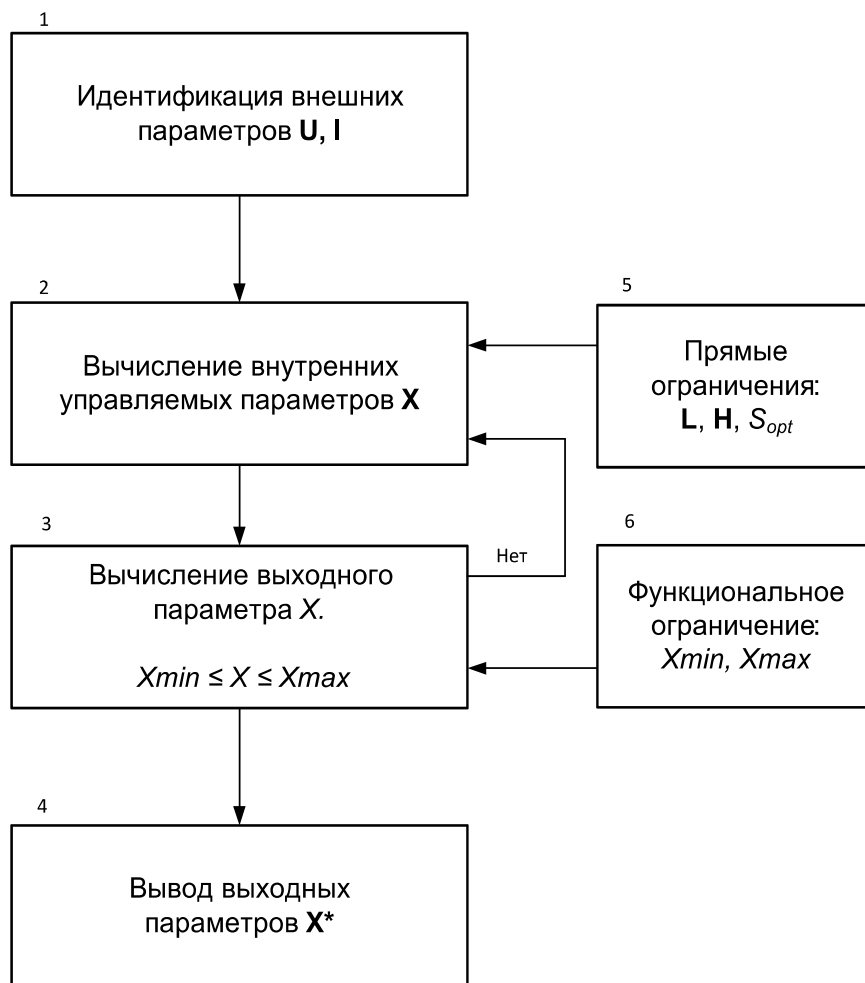


Рис. Алгоритм решения задачи оптимального управления ФКУ.

Операции алгоритма решения выполняются в следующей последовательности: определяются внешние параметры; вводятся значения всех постоянных параметров и ограничений (блоки 1, 5, 6); с учётом прямых ограничений вычисляется вектор X (блок 2). Здесь же производится вычисление значения целевой функции S_{Σ} и её оценка на оптимальность: если $S_{\Sigma} \neq S_{opt}$, то производится корректировка вычисления внутренних управляемых параметров; вычисляется значение обобщенного показателя качества X и сравнивается с

величинами функционального ограничения X_{\min} , X_{\max} (блок 3); если условия функционального ограничения на выходные параметры не соблюдаются, то производится корректировка вычисления внутренних управляемых параметров; производится вывод координат выходного параметра X^* (блок 4).

Выводы. Определен обобщенный показатель качества электроэнергии в автономной ЭЭС, вводимый как критерий оценки качества функционирования ФКУ. При определении установленной мощности ФКУ наилучший показатель может быть достигнут с применением в системе управления ФКУ интеллектуальной поддержки принятия решений по регулированию параметров электроэнергии. Произведена формализация задачи оптимального управления ФКУ (обобщенным показателем качества электроэнергии) в автономной ЭЭС.

Список использованных источников:

1. Кенс Ю. А. Реактивная мощность в линейных электрических цепях при периодических несинусоидальных режимах / Ю. А. Кенс, А. В. Жураховский // Электричество. — 1998. — №12. — С. 55 – 63.
2. Маевский О.А. Энергетические показатели вентильных преобразователей / Маевский О.А. — М. : Энергия, 1978. — 320 с.
3. Мельников Н.А. Реактивная мощность в электрических сетях / Мельников Н.А. — М. : Энергия, 1975. — 128 с.
4. Солодухо Я.Ю. Состояние и перспективы внедрения в электропривод статических компенсаторов реактивной мощности (обобщение отечественного и зарубежного опыта). / Солодухо Я.Ю. — М. : Информэлектро, 1981. — 89 с.
5. Солодухо Я. Ю. Тенденции компенсации реактивной мощности. 4.1. Реактивная мощность при несинусоидальных режимах работы. / Солодухо Я. Ю. — М. : Информэлектро, 1987. — 50 с.
6. Солодухо Я. Ю. Вентильные электроприводы постоянного тока и обеспечение их электромагнитной совместимости в металлургических и специальных установках: Автореф. дис. докт. техн. наук/ Московский энергетический институт. — М., 1990. — 40 с.
7. Супрунович Г. Улучшение коэффициента мощности преобразовательных установок. / Супрунович Г. — М. : Энергоатомиздат, 1985. — 136 с.
8. Правила класифікації і побудови морських суден. — К. : Регістр судноплавства України, 2002. — Том 3. — 360 с.
9. Жиленков А. А. Моделирование адаптивного управления в сложных распределенных системах с идентификацией параметров / А. А. Жиленков, С. Г. Чёрный // Вісник Хмельницького національного університету. — 2013. — №6. — С. 253 — 260.

С. Г. Чёрный, А. А. Жиленков, Л. Н. Козаченко, И. Л. Титов. **Алгоритмизация процесса оптимального управления обобщенным показателем качества для сложных структур.**

Определен обобщенный показатель качества электроэнергии в автономной электроэнергетической системе (ЭЭС), вводимый как критерий оценки качества функционирования фильтро-компенсирующего устройства (ФКУ). Установлено, что при определении установленной мощности ФКУ, наилучший показатель может быть достигнут с применением в системе управления ФКУ интеллектуальной поддержки принятия решений по регулированию параметров электроэнергии. Приведен алгоритм решения задачи оптимального управления ФКУ.

S. Cherney, A. Zhilenkov, L. Kozachenko, I. Titov. **Algorithm of optimal control for generalized quality with indicators of complex structures.**

The generalized index of power quality in the autonomous power system (EPS) which is introduced as a criterion for assessing the quality of functioning filtered compensating device (PKU) are defined. It was found that determining the power of PKU, the best result can be achieved with the use of the control system PKU intelligent decision support for regulation power parameters. The algorithm was made for solving the problem of optimal control of PKU.