

Висновки:

Розроблено схемне рішення теплонасосної технології використання викидного тепла шахтного вихідного вентиляційного струменя з метою отримання гарячої води. Для відбору тепла передбачається застосування форсунок камер, які відрізняються високою інтенсивністю теплообміну та низьким аеродинамічним опором. При контакті розбризкуваної води із забрудненим повітрям має місце ефект очищення останнього від пилу і відповідно забрудненої води. Тому передбачається встановлення пристрою для очищення води в проміжному контурі циркуляції після взаємодії її з повітрям.

Розроблено математичну модель формування теплового режиму теплоутилізаційної установки та гідравлічного режиму контуру циркуляції води, алгоритми та комп'ютерні програми розрахунку цих режимів.

Для умов, що є типовими для багатьох шахт Донбасу, виконано моделювання режимів роботи теплоутилізаційної установки, на основі якого встановлено, що існує оптимальний режим, в якому коефіцієнт трансформації тепла теплоутилізаційної установки набуває максимального значення.

Встановлено параметри оптимального режиму: температура охолодженої води на виході з випарника теплового насосу $t_{w1} = 12,2$ °С; температура кипіння холодоагенту у випарнику $t_1 = 8,2$ °С; утилізована тепла потужність $Q_x = 5227$ кВт; теплопродуктивність $Q_T = 6469$ кВт; витрата отриманої гарячої води при нагріванні від 5 до 45°С $G_n = 38,6$ кг/с; сумарна споживана електрична потужність приводами компресора теплового насоса та водяних насосів $N_{\Sigma} = 1645$ кВт.

Список літератури

1. Васильев Г.П. Использование низкопотенциальной тепловой энергии земли в теплонасосных системах / Г.П. Васильев, Н.В. Шилкин // АВОК. – 2003. – №2. – С. 56 – 60.
2. Закиров Д.Г. Будущее – за теплонасосными технологиями / Д.Г. Закиров // Новости теплоснабжения. – 2006. – №8(72). – С. 39 – 42.
3. Калугин П.В. Применение теплонасосных установок / П.В. Калугин // Тепловые насосы: сб. докл. 1-й междунар. конф. „Тепловые насосы. Энергосбережение, экология, эффективность”, 16 – 18 октября 2007 г., Львов. – Л., 2007. – С. 53 – 91.
4. Зимин Л.Б. Теплонасосная утилизация энергии исходящих вентиляционных потоков угольных шахт / Л.Б. Зимин // Промышленная теплотехника: междунар. науч. – приклад. журн. – 2004. – Т. 26, №3. – С. 68 – 75.

Рекомендовано до друку: д-ром техн. наук, проф. Голінько В.І.

УДК 621.315.425

В.В. Кийко

(Україна, Дніпропетровск, Государственный ВУЗ «Национальный горный университет»)

МОНИТОРИНГ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ В ИСКАЖАЮЩИХ СИСТЕМАХ

В технологических процессах предприятий используется электрооборудование, представляющее для систем электроснабжения искажающую нагрузку. Это приводит к ряду неблагоприятных явлений, например, появлению высших гармоник в системах токов и напряжений, а при неравномерном распределении нагрузок по фазам – к несимметрии систем токов и напряжений. Применение в искажающих системах традиционных методик оценки эффективности и качества не всегда отражает истинную картину электропотребления.

Система оценки эффективности процессов электропотребления включает следующие показатели [1]: коэффициент сдвига (мощности) на основной гармонике ($\cos\phi$), коэффициент искажения ν и коэффициент несимметрии $K_{нс}$. Для удобства анализа эти коэффициенты выражаются через активную P , реактивную Q мощности, а также мощности искажения T и несимметрии H .

$$\cos\phi = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}}; \quad (1)$$

$$\nu = \frac{\sqrt{P^2 + Q^2}}{\sqrt{P^2 + Q^2 + T^2}}; \quad (2)$$

$$K_{нс} = \frac{\sqrt{P^2 + Q^2 + T^2}}{\sqrt{P^2 + Q^2 + T^2 + H^2}} = \frac{\sqrt{P^2 + Q^2 + T^2}}{S}. \quad (3)$$

Общим показателем в этой системе является коэффициент мощности, который рассчитывается так:

$$\lambda = \frac{P}{S} = \cos \phi \cdot v \cdot K_{nc}.$$

Указанная система показателей имеет и отрицательные стороны. Рассмотренный в работе [2] пример подключения к симметричной 3-фазной системе напряжений симметричной активной нагрузки и несимметричной активной нагрузки с одинаковой потребляемой активной мощностью показывает, что передача этой мощности в несимметричной нагрузке сопровождается большими активными потерями в системе. При этом традиционный коэффициент мощности ($\cos\phi=1$) и передаваемая активная мощность не изменились, а потери, вызванные несимметрией и неуравновешенностью системы, оказались неучтенными. Затруднения наблюдаются и при необходимости дифференциальных оценок эффективности по видам отклонений состояния систем напряжений и токов от нормализованных. Это связано с тем, что отмеченные показатели с точки зрения влияния на них таких характеристик процесса передачи и преобразования электроэнергии, как активная, реактивная мощности и мощности несимметрии и искажения являются зависимыми друг от друга. Так, подключение батареи конденсаторов к нелинейной нагрузке приведет к изменению всех показателей (1) – (3), а не только коэффициента, характеризующего сдвиг. В рассматриваемой системе сложно ввести весовые коэффициенты, учитывающие ущерб, вызываемый различными видами некачественности электроэнергии, так как локальные показатели входят в общий коэффициент мощности λ мультипликативно.

Рассмотрим энергетические процессы в трехфазной системе. Полную мощность нагрузки можно определить как наибольшую активную мощность, которую можно было бы передать с теми же потерями при тех же активных сопротивлениях:

$$S_0 = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T (u_A^2 + u_B^2 + u_C^2) dt} \times \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T (i_A^2 + i_B^2 + i_C^2) dt}.$$

Очевидно, что в искажающей системе значение полной мощности зависит от степени несимметрии, неуравновешенности и искажения системы токов и напряжений. С экономической точки зрения наиболее важным показателем характера потребления электрической энергии могут служить потери в сопротивлениях системы, возникающие при передаче соответствующей полной мощности потребителю. Причем, величина передаваемой системой полной мощности должна стремиться к величине потребляемой активной мощности потребителя. Известно, что передача мощности потребителю сопровождается потерями в линии. Эти потери можно условно разделить на производительные P_a и непроизводительные P_n . При этом для оценки эффективности электропотребления требуется не установление абсолютного размера потерь, а лишь определение их соотношения в искажающей и неискажающей системах. Производительные потери обусловлены активными составляющими токов основной частоты, образующих симметричную систему прямой последовательности: определяются они как $\Delta P_{a1} = I_{a11}^2 R_{Л}$. Непроизводительные потери зависят от качества электроэнергии и характера энергопотребления. Они вызваны перетоками реактивной мощности на основной частоте, перетоками мощности искажения, обусловленной высшими гармониками, и бесполезной циркуляцией (обменом) электрической энергии между различными частями энергосистемы. Причем, если для снижения производительных потерь необходимы мероприятия, связанные с усовершенствованием энергетического канала, то непроизводительные потери можно снизить, проведя мероприятия, направленные на повышение качества электроэнергии и компенсацию реактивной мощности. Однако, проведение мероприятий, направленных на устранение данного вида источника непроизводительных потерь, зачастую вызывает ухудшение параметров эффективности электропотребления по другим показателям. В частности, как отмечалось выше, при компенсации реактивной мощности, осуществляемой на частоте основной гармоники, одновременно с уменьшением непроизводительных перетоков реактивной мощности увеличивается процентное содержание высших гармоник в каналах передачи электроэнергии. Это приводит к росту непроизводительных потерь, связанных уже с наличием высших гармоник. Таким образом сложно оценить результат воздействия отдельного корректирующего мероприятия на эффективность электропотребления, так как контроль ведется по отдельным показателям качества и коэффициенту мощности на основной частоте, связанных, как было отмечено ранее, между собой мультипликативно. Из сказанного следует, что наблюдается неоднозначность в решении проблемы оценки эффективности процессов передачи, потребления и преобразования электроэнергии в другие виды. Определим требования, которым должна отвечать система показателей для оценки эффективности электропотребления. Каждый критерий должен отражать только один вид некачественности электропотребления, должна выполняться аддитивность отдельных показателей в общем критерии.

Рассмотрим несимметричную нелинейную нагрузку, в которой имеют место дополнительные непроизводительные потери за счет несимметрии и неуравновешенности системы и наличия высших гармоник. Общие потери на передачу необходимой активной мощности определяются как

$$\Delta P_{\Sigma} = \Delta P_{a1} + \Delta P_{\Sigma},$$

где ΔP_{a1} – потери, связанные с передачей потребителю мощности преобразования, обусловленные активной составляющей тока прямой последовательности основной частоты. ΔP_{Σ} – непроизводительные потери, обусловленные перетоками реактивных мощностей основной и высших гармоник, мощностью искажения и несимметрии. Из составляющих, вызывающих непроизводительные потери, следует выделить реактивную мощность основной энергонесущей гармоники (компенсируется с помощью конденсаторных установок, синхронных компенсаторов и т.д.). Тогда, общие потери можно представить в следующем виде:

$$\Delta P_{\Sigma} = \Delta P_{a1} + \Delta P_{p1} + \Delta P_2 + \Delta P_0 + \Delta P_{\Sigma}, \quad (4)$$

где ΔP_{p1} , ΔP_2 , ΔP_0 , ΔP_{Σ} – потери, вызванные прохождением реактивной составляющей тока прямой последовательности, токами обратной и нулевой последовательности основной частоты и высшими гармониками соответственно. При трехпроводной системе величина $\Delta P_0=0$ и потери при передаче электроэнергии определяются так:

$$\Delta P_{\Sigma} = \Delta P_{a1} + \Delta P_{p1} + \Delta P_2 + \Delta P_{\Sigma}$$

Выражение (4) отражает структуру потерь в линейных проводах. Эти потери по физическому смыслу определяются составляющими тока проводимости в линейных проводах, обусловленными передачей активной мощности, реактивной мощности на основной частоте, мощности искажения и мощности несимметрии, абсолютные величины которых и характеризуют в конечном итоге эффективность электропотребления. Однако, рассматривая структуру потерь в линейных проводах для объективной оценки эффективности электропотребления, следует оперировать относительными величинами, в качестве которых необходимо принять относительные значения потерь. Так как в симметричной неискажающей системе активная максимальная мощность стремится к полной мощности, то, учитывая обозначенные выше требования к критериям оценки эффективности электропотребления, за базовую примем величину общих потерь в линии ΔP_{Σ} . Приведем выражение (4) к соответствующему виду и запишем, введя коэффициенты соотношения потерь α :

$$I = \alpha_{a1} + \alpha_{p1} + \alpha_2 + \alpha_0 + \alpha_{\Sigma}, \quad (5)$$

где $\alpha_{a1} = \frac{\Delta P_{a1}}{\Delta P_{\Sigma}}$, $\alpha_{p1} = \frac{\Delta P_{p1}}{\Delta P_{\Sigma}}$, $\alpha_2 = \frac{\Delta P_2}{\Delta P_{\Sigma}}$, $\alpha_0 = \frac{\Delta P_0}{\Delta P_{\Sigma}}$, $\alpha_{\Sigma} = \frac{\Delta P_{\Sigma}}{\Delta P_{\Sigma}}$ – весовые коэффициенты, учитывающие

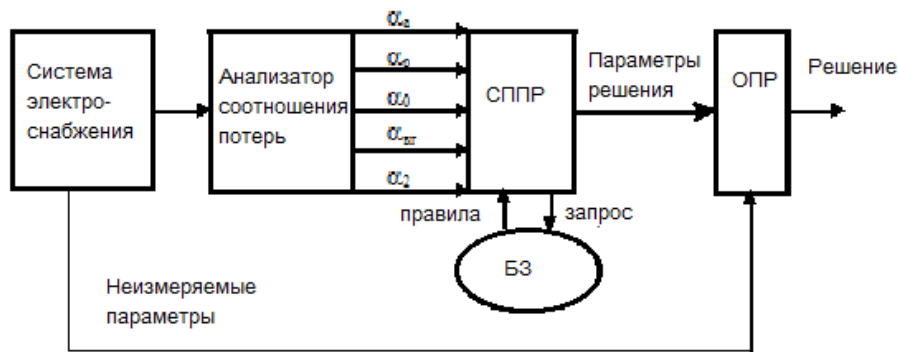
отношение соответствующих потерь к общим потерям в линейном проводе. Причем, коэффициенты α_{p1} , α_2 , α_0 , α_{Σ} определяют относительные значения составляющих суммарной мощности непроизводительных потерь. Определим коэффициенты, характеризующие соотношения потерь, через коэффициенты несимметрии ε_2 , неуравновешенности ε_0 и коэффициент гармоник учитывая, что $\cos \varphi_1$ – коэффициент мощности в симметричной системе прямой последовательности. После соответствующих преобразований получим весовые выражения, определяющие коэффициенты, входящие в формулу (5):

$$\alpha_{a1} = \frac{\cos^2 \varphi_1}{D^2}, \quad \alpha_{p1} = \frac{\sin^2 \varphi_1}{D^2}, \quad \alpha_2 = \frac{\varepsilon_2^2}{D^2}, \quad \alpha_0 = \frac{\varepsilon_0^2}{D^2}, \quad \alpha_{\Sigma} = \frac{K_G^2}{D^2},$$

где $D = \sqrt{1 + K_G^2 + \varepsilon_2^2 + \varepsilon_0^2}$ – обобщенный показатель некачества электроэнергии.

В идеальном случае (неискажающая симметричная система) коэффициенты α_{p1} , α_2 , α_0 , α_{Σ} стремятся к нулю, а α_{a1} – соответственно к единице. Зная информацию о значениях весовых коэффициентов (соотношения потерь), можно оценить эффективность электропотребления и осуществить предварительный выбор мероприятий для повышения эффективности электропотребления. Полученные критерии позволяют также оценить, насколько были эффективны проведенные мероприятия.

Данная система весовых коэффициентов устраняет недостатки показателей качества и позволяет создать систему поддержки принятия решений (СППР), которая основывается на анализе коэффициентов относительных потерь. Структурная схема такой системы приведена на рисунке. Здесь БЗ – база знаний, ОПР – орган принятия решений.



Структурная схема работы СППР

Для принятия решения о проведении соответствующих мероприятий по повышению эффективности электропотребления следует руководствоваться экономической целесообразностью: стоимость мероприятий, направленных на снижение электромагнитного и технологического ущерба, не должна превышать величины стоимости самого ущерба.

Выводы

1. Существующие методы оценки не являются достаточно эффективными, поскольку не позволяют оценить "спектральный состав" потерь, обусловленных активными и неактивными энергетическими потоками.
2. Предложенный метод анализа соотношения потерь позволяет оценить действительный характер электропотребления.
3. На основании "спектрального" анализа потерь можно оценить характер потребления электроэнергии технологическим электрооборудованием и определиться с мероприятиями, позволяющими минимизировать потери электроэнергии при ее передаче.

Список литературы

1. Зиновьев Г.С. Критерии эффективности энергопроцессов в вентильных преобразователях / Г.С. Зиновьев – К., 1983. – 31 с.
2. Дрехслер Р. Измерение и оценка качества электроэнергии при несимметричной и нелинейной нагрузке / Р. Дрехслер – М. : Энергоатомиздат, 1985. – 112 с.
3. Поляков Н.Г. Об одном методе оценки эффективности электропотребления при несимметричных нелинейных нагрузках / Н.Г. Поляков , В.В. Кийко // Технічна електродинаміка. Науково-прикладний журнал. – К., 2002. – с.86-89..

Рекомендовано до друку: д-ром техн. наук, проф. Корсунем В.І.

УДК 621.313.333

*Н. А. Костин, д-р техн. наук, О. И. Саблин, канд. техн. наук, О. Г. Шейкина, канд. техн. наук, А. В. Никитенко
(Украина, Днепропетровск, Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени акад. В. Лазаряна)*

КОЭФФИЦИЕНТЫ МОЩНОСТИ И РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ ТРАМВАЕВ

Введение

Данная работа является продолжением и развитием исследований [1–3] по энергетическим показателям систем и устройств электрического транспорта постоянного тока.

Трамвай, как и система электрической тяги постоянного тока магистральных железных дорог, питаются выпрямленным напряжением. Однако причины технологического характера обуславливают резкие случайные изменения во времени уже сглаженных постоянных (точнее, неизменных во времени) напряжения на токоприемнике трамвая $U(t)$ и его тягового тока $I(t)$ (рис. 1 и 2). Таким образом, трамвай, являясь по названию (по классификации) системой электрического транспорта постоянного тока, по сути