

УДК 621.316.72

Кирисов Игорь Геннадьевич, ассистент кафедры электроэнергетики. Украинская инженерно-педагогическая академия, г. Харьков, Украина. Ул. Университетская 16, г. Харьков, Украина, 61003, E-mail: kirisovuiipa1980@mail.ru

СОКРАЩЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РАСХОДА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ЭЛЕМЕНТАХ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

В статье рассматриваются вопросы сокращения технологического расхода электроэнергии в элементах системы электроснабжения промышленных предприятий: трансформаторах и двигателях. Предложены способы снижения технологического расхода электроэнергии в трансформаторах и двигателях с целью экономии электроэнергии.

Ключевые слова: система электроснабжения предприятий, трансформатор, асинхронный электродвигатель, потери электроэнергии, снижение потерь электроэнергии.

Кірісов Ігор Геннадійович асистент кафедри електроенергетики. Українська інженерно-педагогічна академія, м. Харків, Україна. вул. Університетська 16, м. Харків, Україна, 61003, E-mail: kirisovuiipa1980@mail.ru

СКОРОЧЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ВИТРАТ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В ЕЛЕМЕНТАХ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

У статті розглядаються питання скорочення технологічних витрат електроенергії в елементах системи електропостачання промислових підприємств: трансформаторах та двигунах. Запропоновано способи зниження технологічної витрат електроенергії в трансформаторах і двигунах з метою економії електроенергії.

Ключові слова: система електропостачання підприємств, трансформатор, асинхронний електродвигун, втрати електроенергії, зниження витрат електроенергії.

Kirisov Igor Gennadievich, assistant of department of electroenergy. Ukrainian engineer-pedagogical academy, Kharkov, Ukraine. Str. Universitetskaya 16, Kharkov, Ukraine, 61003, E-mail: kirisovuiipa1980@mail.ru

THE REDUCTION OF THE TECHNOLOGICAL CONSUMPTION TO ELECTRIC POWERS IN SYSTEM ELEMENT OF SUPPLY

In article are considered questions of the reduction of the technological consumption to electric powers in system element of supply industrial enterprise: transformer and engine. The Offered ways of the reduction of the technological consumption to electric powers in transformer and engine for the reason spare elektroenergii.

Keywords: system of supply enterprise, transformer, anisochronous electric motor, loss to electric powers, reduction of the losses elektroenergii.

Введение

На сегодняшний день актуальной задачей современной отечественной электроэнергетики является экономное расходование электроэнергии, при передаче которой от источника к потребителю происходят потери в трансформаторах, ЛЭП, электроприводах технологического оборудования и др.

Основным способом достижения наиболее эффективных результатов в решении этой задачи является разработка и широкое внедрение энергосберегающих технологий в промышленном производстве.

Основная часть

Технологический расход электроэнергии (потери электроэнергии) в настоящее время составляет в пределах 13 % суммарного поступления электроэнергии в сеть. Снижение этой величины всего на 1 % дает в масштабах страны экономию миллионов кВт·ч. Получение этой экономии – вполне реальная задача, но для этого в каждом узле энергосистем, от источников до потребителей, необходима реализация уже имеющихся теоретических и практических наработок по снижению технологического расхода электроэнергии (ТРЭ).

Расчет технологического расхода мощности и электроэнергии в трансформаторах

Передача мощности в трансформаторах сопровождается потерями в активном и реактивном сопротивлениях обмоток, а также потерями, связанными с гистерезисом, вихревыми токами и намагничиванием стали.

Активная составляющая суммарных потерь мощности в трансформаторе, кВт:

$$\Delta P_T = (P_2^2 + Q_2^2) \cdot R_T / U_{2np}^2 \cdot g_T = \Delta P + \Delta P_x, \quad (1)$$

где R_T – активное сопротивление трансформатора, Ом;

P_2 – активная составляющая суммарной мощности, отдаваемой трансформатором в сеть, кВт;

Q_2 – индуктивная составляющая мощности, отдаваемая трансформатором в сеть, квар;

ΔP – потери активной мощности на нагревание обмоток трансформаторов, кВт;

g_T и ϵ_T – проводимости, определяющие активную и реактивную слагающие намагничивающего тока трансформатора (I_x), кСм;

ΔP_x – потери активной мощности в стали трансформатора, кВт;

$U_{2np} = U_2 / K_T$ – приведенная величина вторичного напряжения, кВ;

K_T – коэффициент трансформации.

Реактивная составляющая суммарных потерь мощности в трансформаторах, квар:

$$\Delta Q_T = (P_2^2 + Q_2^2) \cdot X_T / U_{2np}^2 + U_{2np}^2 \cdot \epsilon_T = \Delta Q + \Delta Q_{XX}, \quad (2)$$

где X_T – сумма индуктивного сопротивления рассеяния первичной обмотки и приведенного к ней индуктивного сопротивления вторичной обмотки, Ом.

$$X_T = X_{1T} + X_{2T} (U_1 / U_2)^2$$

ΔQ_{XX} – потери реактивной мощности на намагничивание, квар.

При отсутствии значений действительных напряжений на зажимах трансформаторов, в расчетах принимают номинальные напряжения и паспортные данные трансформаторов. При номинальных нагрузках трансформаторов:

$$\Delta P_{к.з.} = 3 I_{ном}^2 \cdot R_m,$$

Откуда

$$R_m = \Delta P_{к.з.} / 3 I_{ном}^2 = \Delta P_{к.з.} \cdot U_{ном}^2 / S_{ном}^2$$

При любой другой нагрузке:

$$\Delta P = 3 I^2 R_T; \text{ тогда } \Delta P / \Delta P_{к.з.} = 3 I^2 / 3 I_{ном}^2 = S^2 / S_{ном}^2.$$

Отсюда: $\Delta P = \Delta P_{к.з.} (S / S_{ном})^2$.

Суммарные потери активной мощности:

$$\Delta P_T = \Delta P_{к.з.} (S / S_{ном})^2 + \Delta P_{XX}. \quad (3)$$

Реактивное сопротивление X_T трансформатора с использованием паспортных данных определяют:

$$X_T = U_{к.з.} \cdot U_{ном}^2 / 100 S_{ном}, \quad (4)$$

$$\text{а } \Delta Q_T = U_{к.з.} \cdot S^2 / 100 S_{ном} + \Delta Q_{XX}, \quad (5)$$

или $\Delta Q_T = U_{к.з.} / 100 (S / S_{ном})^2 S_{ном} + \Delta Q_{XX}$,

а при номинальной нагрузке:

$$\Delta Q_{T.ном.} = U_{к.з.} \cdot S_{ном} / 100 + \Delta Q_{XX}, \quad (6)$$

а при произвольной нагрузке:

$$\Delta Q_T = \Delta Q_{T.ном.} (S / S_{ном})^2 + \Delta Q_{XX}. \quad (7)$$

При параллельной работе трансформаторов их эквивалентное сопротивление уменьшается, а потери в стали и потери на намагничивание (потери х.х.) увеличиваются. При параллельной работе n одинаковых трансформаторов, нагрузка каждого трансформатора составит S/n , а потери во всех трансформаторах будут в n раз больше:

$$\Delta P_{\Sigma T} = n[\Delta P_{к.з}(S/nS_{ном.})^2 + \Delta P_{хх}],$$

$$\text{или } \Delta P_{\Sigma T} = \Delta P_{к.з}(S/S_{ном.})^2/n + n\Delta P_{хх} \quad (8)$$

$$\text{и } \Delta Q_{\Sigma T} = U_{к.з.}(S/S_{ном.})^2 \cdot S_{ном.}/100n + n\Delta Q_{хх}. \quad (9)$$

При изменении нагрузки трансформаторов изменяется напряжение на зажимах трансформаторов. При повышении напряжения (сбросе нагрузки) на ΔU потери мощности в сопротивлениях трансформаторов снижается, а в их магнитопроводах – увеличиваются пропорционально квадрату напряжения.

Потери х.х. в трансформаторах зависят от подводимого напряжения, а нагрузочные потери ΔP определяются коэффициентом нагрузки K_3 и пропорциональны потерям мощности при к.з. $\Delta P_{к.з.}$

Технологический расход мощности и электроэнергии в электрических сетях 0,4–10кВ и электродвигателях

Протяженность распределительных сетей напряжением 0,4–10 кВ составляет примерно 60 % протяженности всех электросетей страны. Устойчивая неравномерность суточного графика электрических нагрузок приводит к ущербу от нестабильности напряжений в узлах нагрузки, от возникающих при этом отклонений напряжения, достигающих в отдельных случаях таких размеров, что исключение их может окупить любые средства, затрачиваемые на регулирование напряжения.

Поэтому реализации мероприятий по снижению потерь электроэнергии в электрических сетях 0,4–10 кВ необходимо уделять особое внимание.

Снизить потери в токоведущих частях (ТВЧ) возможно путем изменения топологии сети – переходом на систему глубокого ввода (ГВ) с дроблением ПС 10/0,4 кВ в целях снижения протяженности сетей 0,38 кВ; преимущественным использованием блочных схем (БТМ) и бесшинных ПС магистральных схем питания группы цеховых трансформаторов; перспективным переводом внутризаводских и внутрицеховых сетей на более высокие уровни напряжения.

Наиболее низкого уровня потерь можно достичь за счет внедрения (в процессе реконструкций СЭС ПП) самонесущих изолированных проводов (СНП). Зарубежный опыт (Финляндия) свидетельствует о чрезвычайной эффективности использования СНП (более 80 % низковольтных сетей) – потери в этих сетях составляют примерно 4 % отпущенной электроэнергии.

Общие потери в кабельных линиях напряжением 0,4 кВ при рабочей температуре 65 °С определяют по выражению:

$$\Delta P_{кл} = 3 K_{\phi}^2 \cdot I_{\text{ср}}^2 R_{\text{эк}} (1 + 0,18 \cdot I_{\text{ср}}^2 / I_{\text{дл.мах}}^2), \text{ кВт} \quad (10)$$

где K_{ϕ} – коэффициент формы графика потребления активной энергии, рассчитываемый в зависимости от неравномерности графика:

при $K_{\text{неравн.}} = 0,8-0,9$, $K_{\phi} = 1,01$;

при $K_{\text{неравн.}} = 0,6-0,7$, $K_{\phi} = 1,03$;

$I_{\text{ср.}}$ – среднегодовое значение токовой нагрузки;

$I_{\text{мах.}}$ – максимальная токовая нагрузка годового графика по продолжительности;

R_{Σ} – эквивалентное сопротивление всех отходящих линий от шин ТП, определяемое по выражению:

$$R_2 = \frac{1}{\sum_1^n Y_{10}}$$

где $\sum Y_{1(i)}$ – сумма проводимостей всех отходящих линий от ТП.

Потери в электрических сетях внутриводского электроснабжения могут быть рассчитаны по формуле:

$$\Delta P_{л.} = 1,1 \cdot n \cdot \rho \cdot I_{cp}^2 \cdot L / q \cdot 10^{-3}, \text{кВт} \quad (11)$$

где 1,1 – коэффициент, учитывающий сопротивление переходных контактов;

n – число фаз линии;

ρ – удельное сопротивление материала провода Ом·мм²/м;

I_{cp} – среднее значение тока нагрузки, А;

L – длина линии, м;

q_l – сечение провода, мм²

Анализ формулы (11) дает возможность убедиться в эффективности мероприятий по внедрению принципа глубоко ввода и дробления ПС, повышению напряжения во внутриводской сети, а также увеличению сечений ТВЧ (мировая практика по снижению плотности нагрузки в ТВЧ).

Перевод внутриводской сети на повышенные напряжения обеспечивает экономию электроэнергии, рассчитываемую по выражению:

$$\Delta W_{эк} = 0,003 \cdot \rho \cdot L \cdot t \cdot (l_1^2 / q_1 - l_2^2 / q_2), \quad (12)$$

где t – расчетный период времени, ч.

Наибольшие затруднения при расчете потерь возникают при оценке потерь в электродвигателях из-за многообразия их установленных мощностей, технологического предназначения, отсутствия режимной информации в процессе их эксплуатации.

Потери мощности в асинхронных (АД) и синхронных двигателях (СД) напряжением 6-10 кВ определяют по выражению:

$$\Delta P_{об} = P_{ном.} \cdot [K_1(K_{з.дв.}^2 - 1) + 1] \cdot (1 - \eta_n) / \eta_n, \text{кВт} \quad (13)$$

где $P_{ном.}, \eta_n$ – соответственно номинальные значения мощности и КПД двигателя, применяемые по каталожным данным;

$K_{з(дв)}$ – среднегодовой коэффициент загрузки двигателя по активной мощности,

$$K_{з.дв.} = P_{сг} / P_{ном.}$$

K_1 – коэффициент разделения потерь двигателя (разделение переменных и постоянных потерь в электродвигателях, учитывающих долю переменных потерь, пользуясь графиком зависимости [2], $K_1 = f(P_H)$, рис.1.

Аналогично рассчитывают потери активной мощности в электродвигателях напряжением до 1 кВ. Однако отсутствие метрологического обеспечения, не позволяющего оценить среднегодовой коэффициент загрузки каждого двигателя, допускает принимать в практических расчетах в качестве коэффициента загрузки всех низковольтных двигателей, питающихся от одного трансформатора, коэффициент загрузки этого трансформатора. Тогда потери активной мощности в i-ом двигателе определяют по выражению:

$$\Delta P_{об} = P_{н(i)} \cdot [K_{1(i)}(K_{з.тр.}^2 - 1) + 1] \cdot (1 - \eta_n) / \eta_n \text{кВт}, \quad (14)$$

где $K_{1(i)}$ – коэффициент разделения потерь, определяемый в зависимости от номинальной мощности двигателя по графикам 2–2¹, рис.1

$$K_{з.(TP)} = S_{сг(TP)} / S_{ном.(TP)}.$$

Так как нагрузка в сети до 1кВ формируется некоторым (m) числом двигателей различной установленной мощности и с различными КПД, то при расчетах потерь активной мощности в низковольтных двигателях вводится понятие эквивалентной средней номинальной мощности электродвигателей, питающихся от одного трансформатора. Мощность эквивалентного двигателя:

$$P_{н(э)} = \sum_1^m P_{н(i)} / n_{эф}$$

где $\sum P_{н(i)}$ – сумма номинальных мощностей электродвигателей, питающихся от одного трансформатора, кВт;

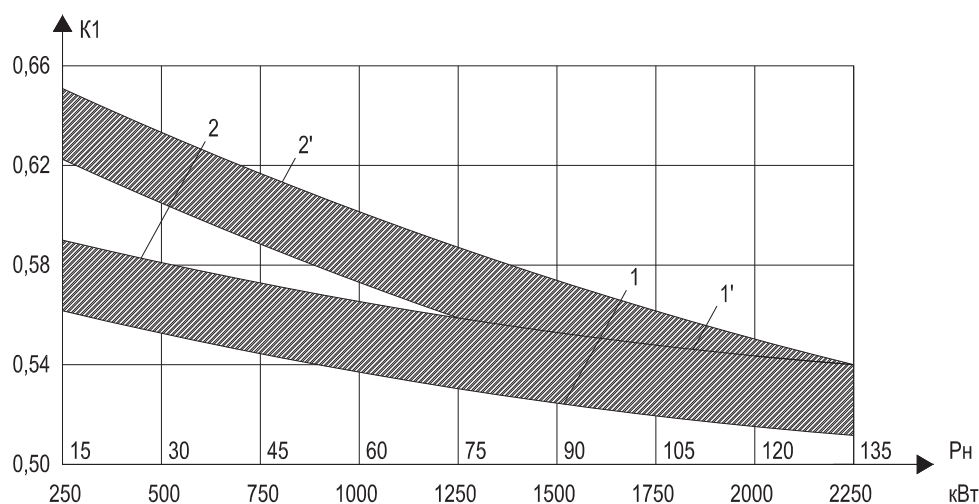


Рис. 1 Зона замещения переменной составляющей потерь для асинхронных и синхронных двигателей

$n_{эф}$ – приведенное (эффективное) число электродвигателей, определяемое по выражению:

$$n_{эф} = \frac{(\sum_1^m P_{н(i)})^2}{\sum_1^m P_{н(i)}^2}, \text{ шт}$$

по номинальной мощности эквивалентного двигателя определяют его КПД (в каталоге). Тогда потери активной мощности всех m двигателей, подключенных к одному трансформатору, определяют по выражению:

$$\Delta P_{\text{ов(ТР)}} = (1 - \eta_n) / \eta_n [K_{1i} (K_{з(Т)}^2 - 1) + 1] \cdot P_{н(э)} \cdot n_{эф}, \text{ кВт}, \quad (15)$$

где K_1 – коэффициент разделения потерь, определяемый по графику (рис. 1) для эквивалентного двигателя.

Снижение потерь активной мощности в электродвигателях обеспечивается: оптимальной загрузкой двигателей ($K_з = 0,7-0,8$); ограничением работы двигателей на х.х. (при продолжительности паузы в работе двигателя $t_n \geq 10с$ предусматривают автоматическое отключение двигателя на х. х.); снижением напряжения на зажимах двигателя (переключением обмоток статора с Δ в Y – для двигателей 660/380 В, работающих с недогрузом в сетях 0,38); заменой малозагруженных двигателей на двигатели меньшей мощности (при загрузке двигателей меньше 40 % его номинальной мощности). Если загрузка двигателя составляет 45%-65 % его номинальной мощности, то замену двигателя на меньшую мощность необходимо обосновать снижением суммарных потерь активной мощности в заменяемом двигателе по приведенной ниже методике: рассматривают два варианта определения суммарных потерь активной мощности в двигателе при реальной его загрузке (первый вариант) и второй вариант – определении суммарных активных потерь

мощности при замене двигателя меньшей мощности. Сравнение величин этих потерь даст возможность определить целесообразность такой замены.

Суммарные потери активной мощности в двигателе:

$$\Delta P = [Q_{xx}(1-K_3^2) + K_3^2 Q_n] K_3 + \Delta P_{xx} + K_3^2 \Delta P_{a.n.}, \text{ кВт}, \quad (16)$$

где $Q_{xx} = \sqrt{3} \cdot I_{xx} \cdot U_n$; $Q_n = P_n \cdot \text{tg}\varphi / \eta_n$; $K_3 = P_{\text{факт}} / P_n$.

Исходные данные:

P_n ; U_n ; η_n ; $\cos\varphi_{\text{дв}}$; I_{xx} ; ΔP_{xx} ; $P_{\text{факт}}$

Прирост потерь активной мощности в электродвигателе при исходной номинальной мощности:

$$\Delta P_a = P_n [(1-\eta_n) / \eta_n] \cdot [1 / (1+j)] \text{ кВт}, \quad (17)$$

где $j = \Delta P_{xx} / [(100-\eta_n) - \Delta P_{xx}]$;

потери активной мощности на х.х. двигателя:

$$\Delta P_{xx} = P_n [(1-\eta_n) / \eta_n] \cdot [j / (1+j)] \text{ кВт},$$

где ΔP_{xx} - исходные данные.

Таким образом, рассчитывают потери активной мощности по исходным данным для двигателей двух сравниваемых мощностей и убеждаются в целесообразности предлагаемых замен.

Выводы

Снижение потерь электроэнергии во внутризаводских сетях достигается мероприятиями, компенсирующими нарушение технологии распределения и потребления электроэнергии, которые вызывают сверхнормативные потери.

Список использованной литературы:

1. Поспелов Г. Е. Потери мощности и энергии в электрических сетях Г. Е. Поспелов, Н. М. Сыч; под ред Г. И. Поспелова. – М.: Энергоиздат. – 1981. – С.20–29.
2. Синьков В. М. Снижение технологического расхода электроэнергии в трансформаторных подстанциях В. М. Синьков, И. П. Притока, А. А. Омельчук и др. – К.: Техника. 1987. – С.14–15.
3. Жежеленко И. В. Технические и организационные вопросы повышения качества электроэнергии в промышленных сетях / И. В. Жежеленко, А. М. Липский, Г. Л. Багиев // Промышленная энергетика, № 9, 1983. – С. 12–15.
4. Кочкин В. Статические компенсирующие устройства / В. Кочкин // Восточно-Европейский журнал передовых технологий, № 1, 2012. – С. 26–27.
5. Журавлев Д. В. Экономическая эффективность трансформаторно-реакторного устройства при повышении качества электрической энергии / Д. В. Журавлев // Энергетика та електрифікація, № 8. – 2013. – С. 20–21.

References

1. Pospelov G. E. Power and energy losses in electric networks [Poteri moshchnosti i energii v elektricheskikh setyakh] G. E. Pospelov, N. M. Sych; ed G. I. Pospelova. – M.: Energoizdat. 1981. – P. 20–29.
2. Sinkov V. M. Snizhenie technological power consumption in the transformer substations [Snizheniye tekhnologicheskogo raskhoda elektroenergii v transformatornykh podstantsiyakh] V. M. Sinkov, I. P. Inflow, A. A. Omelchuk. – K. et al: Tehnika. 1987. – P. 14–15.
3. Zhezhenko I. V. Technical and organizational issues to improve the quality of electricity in industrial networks [Tekhnicheskkiye i organizatsionnyye voprosy povysheniya kachestva elektroenergii v promyshlennykh setyakh] / I. V. Zhezhenko, A. M. Lipsky, G. L. Bagiev // Industrial Energy, № 9, 1983. – P. 12–15.
4. Kochkin V. Static compensating devices [Staticheskkiye kompensiruyushchiye ustroystva] / V. Kochkin // East European Journal of advanced technologies, № 1, 2012. – P. 26–27.
5. D. V. Zhuravlev. Economic efficiency transformer and reactor unit at improving the quality of electrical energy [Ekonomicheskaya effektivnost' transformatorno-reaktornogo ustroystva pri povyshenii kachestva elektricheskoy energii]. / D. V. Zhuravlev // Energetics that elektrifikatsiya, № 8, 2013. – P. 20–21.

Поступила в редакцию 22.04 2015 г.