

УДК 621.316

КОМПЕНСАЦИЯ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ

Ермакова Н.В., студентка гр. ЭПбэ-231, III курс
Научный руководитель: Долгопол Т.Л., ст. преподаватель
Кузбасский государственный технический университет
имени Т.Ф. Горбачева
г. Кемерово

В статье исследуется роль компенсации реактивной мощности как ключевого фактора повышения технико-экономических показателей трансформаторного завода, анализируются физические причины возникновения реактивной составляющей тока и её негативное воздействие на потери электроэнергии в электрических сетях предприятия.

Большая часть электроприёмников в процессе своей работы потребляют как активную, так реактивную мощность. Активной называется мощность, которая преобразуется в другой вид энергии (тепловую, химическую, механическую и т. д.) [1].

Реактивная составляющая потребляемой мощности не выполняет полезной работы, она расходуется на создание магнитных полей, необходимых для работы электроприёмников. Реактивная мощность запасается в каждом индуктивном элементе и в активных элементах не рассеивается, она распространяется по сети, совершая колебательные движения (от нагрузки к генератору и обратно).

Большинство потребителей (двигатели, трансформаторы, индукционные печи) являются активно-индуктивными нагрузками предприятия (рис.1).

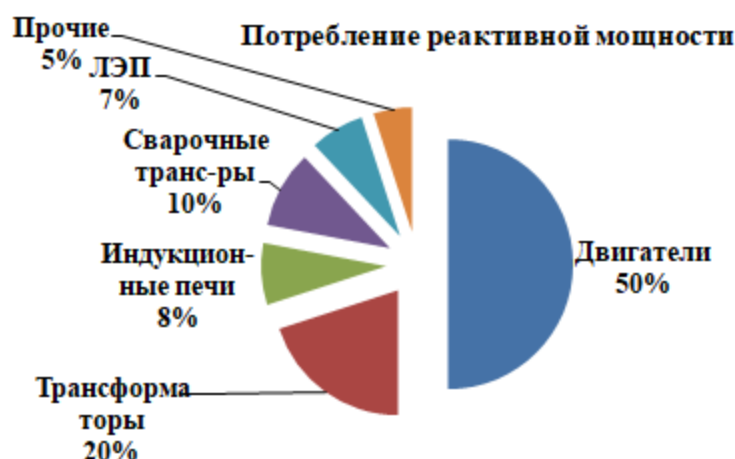


Рисунок 1. Потребители реактивной мощности на предприятии

Это порождает потребность в реактивной мощности, которая не совершая полезной работы, перегружает линии электропередач и оборудование предприятий, увеличивает потери в распределительных сетях, снижает пропускную способность трансформаторов и линий электропередачи.

Величина потребляемой реактивной мощности зависит не только от типа электроприёмника, но и от режима его работы. Например, асинхронный двигатель при загрузке на полную (паспортную) мощность имеет $\cos\varphi = 0,75-0,8$, а у недогруженного двигателя $\cos\varphi = 0,2-0,4$. В зависимости от режима загрузки электроприёмника потребление реактивной мощности может возрасти до 300% от величины активной потребляемой мощности.

Нагрузочные потери во всех элементах электрической сети зависят от величины тока, который, в свою очередь, определяется величиной полной передаваемой мощности, являющейся геометрической суммой активной и реактивной мощностей[2].

В связи с этим, если передавать требуемую для технологических процессов промышленного предприятия реактивную мощность от генераторов электростанции, то это приведёт, во-первых, к увеличению сечения линий и номинальной мощности силовых трансформаторов, во-вторых, к увеличению потерь электроэнергии во всех элементах СЭС.

Экономически более целесообразным является выработка требуемой электроприёмникам реактивной мощности как можно ближе к местам её потребления. Источниками реактивной мощности (ИМР) являются устройства, которые целенаправленно воздействуют на баланс реактивной мощности, как в энергосистеме, так и в системах электроснабжения объектов. Баланс реактивной мощности может быть достигнут за счёт увеличения или уменьшения генерируемой или потребляемой реактивной мощности.

Все источники реактивной мощности можно разделить на две группы:

- вращающиеся синхронные машины: синхронные генераторы электростанции, синхронные компенсаторы (СК), синхронные двигатели (СД), которые позволяют плавно регулировать реактивную мощность;
- статические ИРМ: батареи статических конденсаторов (БСК), шунтирующие реакторы, статические тиристорные компенсаторы (СТК).

На предприятиях преимущественно используются для выработки реактивной мощности БСК, как высоковольтные, так и низковольтные. С помощью БСК возможно только ступенчатое регулирование реактивной мощности.

Существует несколько основных способов компенсации реактивной мощности (рис. 2):

- централизованная компенсация - БСК устанавливается на главном распределительном щите или подстанции. Применяется в системах с большим количеством потребителей (нагрузок), имеющих большой разброс коэффициента мощности в течение суток, т.е. для переменной нагрузки (например, несколько двигателей на одном предприятии, включаемых попеременно). В таких системах индивидуальная компенсация неприемлема, так как, во-

первых, становится слишком дорогостоящей и, во-вторых, возникает вероятность перекомпенсации (появление в сети перенапряжения).

- индивидуальная компенсация - не регулируемое компенсирующее устройство (КУ) устанавливается непосредственно у электроприемника. Такой способ компенсации подходит только для постоянных нагрузок (например, один или несколько асинхронных двигателей с постоянной скоростью вращения вала), т.е. там, где реактивная мощность с течением времени меняется незначительно.

- групповая компенсация - применяется для случаев компенсации нескольких расположенных рядом и подключенных к одному распределительному устройству.

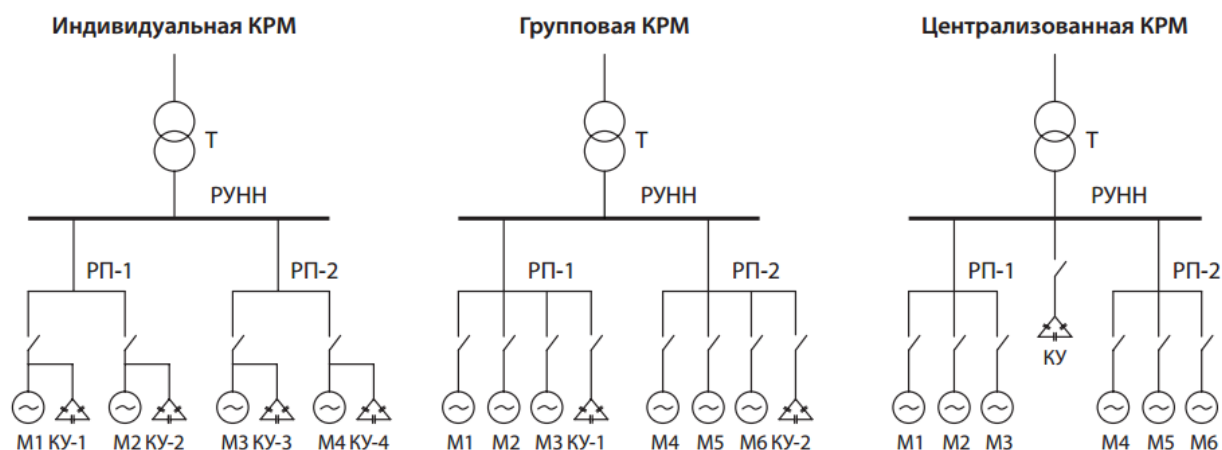


Рисунок 2. Схемные решения способов компенсации реактивной мощности

Эффективность компенсации реактивной мощности на промышленных предприятиях определяется не только значением коэффициента реактивной мощности (частичная или полная компенсация), т. е. зависит от номинальной мощности компенсирующих устройств, но и от выбора места их расположения.

Цель частичной компенсации обусловлена обеспечением требований к максимальным значениям коэффициента реактивной мощности ($\cos \varphi$) в часы максимума нагрузки энергосистемы, которые зависят от уровня номинального напряжения питающих предприятие линий. Значения $\cos \varphi$ регламентируются приказом Минэнерго №380 от 23 июня 2015 г. «О порядке расчета значений соотношения потребления активной и реактивной мощности для отдельных энергопринимающих устройств потребителей электрической энергии».

Цель полной компенсации – максимальная разгрузка силовых трансформаторов и ЛЭП предприятия с целью снижения потерь электроэнергии в них и уменьшения себестоимости выпускаемой продукции.

Произведем экономическую оценку двух вариантов компенсации реактивной мощности с использованием высоковольтных БСК, подключенных к шинам главной понизительной подстанции (ГПП) трансформаторного завода: частичной компенсации и полной компенсации.

Данные по электрическим нагрузкам предприятия приведены в табл. 1.

Таблица 1. Электрические нагрузки предприятия

№	Наименование цеха	Установлен- ная мощность цеха, P_n , кВт	$\cos\varphi/tg\varphi$	P_p , кВт	Q_p , кВАр
1	Главный корпус	2500	0,8/0,75	1000,0	750,0
2	Аппаратный корпус	9500	0,7/1	2850,0	2850,0
3	Изоляционный корпус	8500	0,9/0,48	5100,0	2448,0
4	Ремонтно-механический цех	8300	0,6/1,33	3320,0	4415,6
5	Котельная	2500	0,7/1	1750,0	1750,0
6	Склад готовой продукции	1500	0,65/1,17	450,0	526,5

Исходя из расчетов реактивной мощности предприятия, определим мощность необходимого компенсирующего устройства с учетом регламентированного значения $tg\varphi$ и с учетом полной компенсации реактивной мощности:

$$Q_{куп} = \sum P_p \cdot (tg\varphi_p - tg\varphi_n), \text{кВАр} \quad (1)$$

где $tg\varphi_n$ – нормируемый коэффициент реактивной мощности в часы больших суточных нагрузок согласно приказу Министерства энергетики РФ, $tg\varphi_p$ – расчетный коэффициент реактивной мощности предприятия.

$$tg\varphi_p = \frac{\sum Q_p}{\sum P_p} \quad (2)$$

Расчетная нагрузка предприятия с учетом компенсирующих устройств:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + (Q_p - 2Q_{куп})^2}, \text{кВА} \quad (3)$$

В результате расчетом мы получили, что при частичной компенсации выберем УКРМ мощностью 3150 кВАр, при полной компенсации 5400 кВАр.



Рисунок 3. Значения $tg\varphi$ предприятия

Выбор трансформаторов на ГПП предприятия:

$$S_{нт} = \frac{S_p}{2 \cdot K_3}, \text{кВА} \quad (4)$$

где K_z – коэффициент загрузки трансформаторов в нормальном режиме работы, с учетом категорийности электроснабжения.

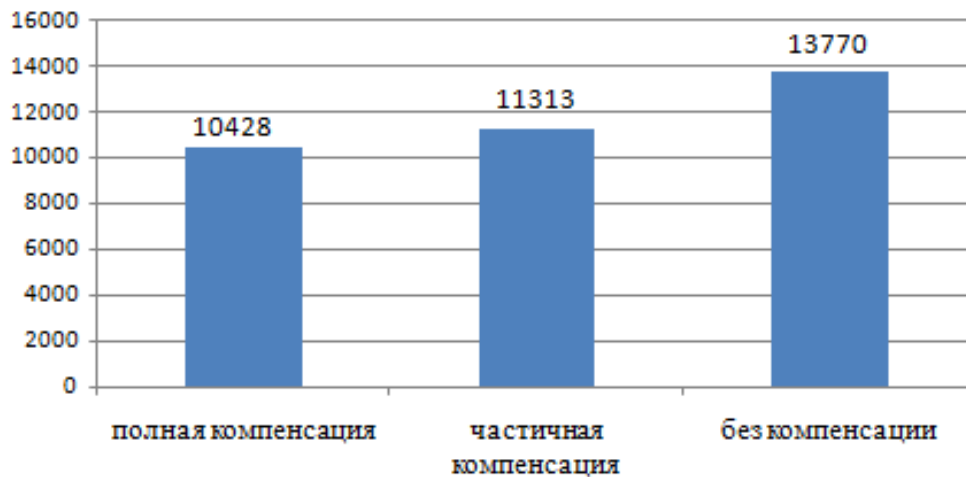


Рисунок 4. Полная расчетная мощность предприятия

Таблица 2. Результаты выбора трансформаторов

Место установки	До компенсации	Частичная компенсация	Полная компенсация
ГПП	ТДНС-16000/35	ТДНС-16000/35	ТДНС-10000/35

Как видно из результатов, за счет компенсации реактивной мощности снизилась общая нагрузка, что позволило выбрать трансформаторы меньшей номинальной мощности, а значит сократились затраты на основные фонды предприятия.

Произведем расчет окупаемости БСК за счет снижения потерь электроэнергии в трансформаторах ГПП. Для этого необходимо рассчитать капитальные затраты, которые включают в себя стоимость трансформаторов и БСК для каждой секции шин.

Потери активной энергии ΔW_m в трансформаторах определяются по формуле:

$$\Delta W_T = \Delta P_T \cdot 8760 + \Delta P_T \cdot \beta^2 \cdot \tau, \text{ кВт} \cdot \text{ч} \quad (6)$$

где T_z – число часов работы трансформатора в году, час; τ – время максимальных потерь, условное число часов, в течение которых максимальный ток, протекающий непрерывно, создает потери энергии, равные действительным потерям энергии за год.

Эксплуатационные затраты (стоимость потребленной за год электрической энергии), определяемые по формуле:

$$\mathcal{E} = \Delta W_T \cdot T, \text{ руб/кВт} \cdot \text{ч} \quad (7)$$

где T – тариф на электроэнергию, руб/кВт·ч.

Результаты расчетов эксплуатационных затрат сведены в табл. 3.

Таблица 3 Результаты расчетов

N п/п	$tg\varphi$	S_p , кВА	Тип тран-ра	ΔW_T кВт·ч	K , руб	$\mathcal{E}$, руб
1	0,9	19279	ТДНС-16000/35	1247505,66	30000000	12475056,6
2	0,4	11313	ТДНС-16000/35	538693,372	36000000	5386933,72
3	0,13	10428	ТДНС-10000/35	694194,175	27200000	6941941,75

Срок окупаемости УКРМ определяется по формуле:

$$T = \frac{K_2 - K_1}{\mathcal{E}_1 - \mathcal{E}_2}, \text{ год} \quad (8)$$

где K_1 , $\mathcal{E}_1$ - капитальные затраты без компенсации реактивной мощности,
 K_2 , $\mathcal{E}_2$ - капитальные затраты при использовании БСК.

Из результатов расчетов можно сделать вывод, что капитальные затраты меньше при полной компенсации реактивной мощности и окупаемость быстрее при полной компенсации реактивной мощности.

Это можно наглядно увидеть на рис.5.

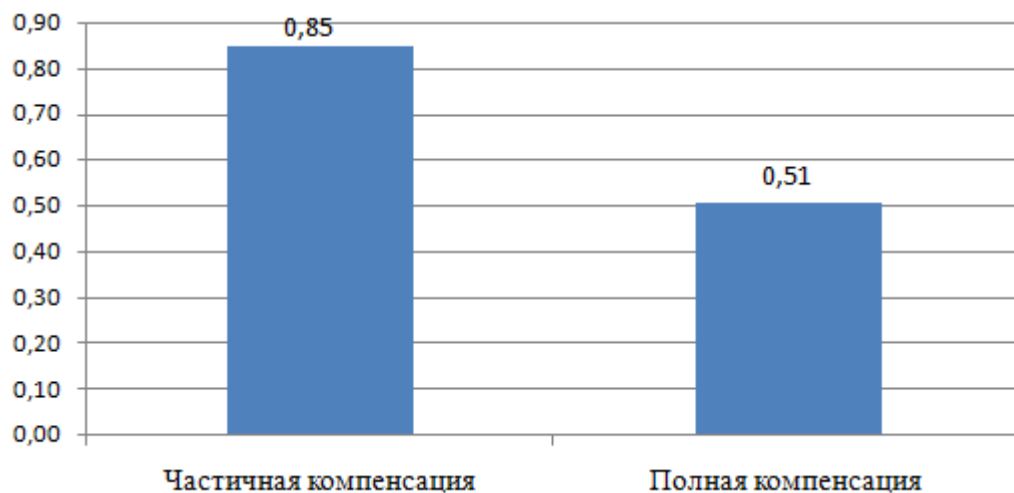


Рисунок 5. Окупаемость УКРМ

Компенсация реактивной мощности является одним из наиболее дешёвых и эффективных способов энергосбережения.

Проектирование систем электроснабжения предприятий с учётом компенсации реактивной мощности уже на начальном этапе позволит уменьшить

затраты на основные фонды (трансформаторы, проводники линий электропередачи и т.д.), а также сделать системы электроснабжения объектов более энергоэффективными.

Список литературы:

1. Железко Ю. С. Компенсация реактивной мощности и повышение качества электроэнергии. — М.: Энергоатомиздат, 2007.
2. Герасименко А. А., Федин В. Г. Передача и распределение электрической энергии. — Ростов н/Д: Феникс, 2018.