

УДК 621.32 (075.8)

РЕАКТИВНАЯ МОЩНОСТЬ В ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВКАХ

Свирида Я.С.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Радкевич В.Н.

В осветительных установках (ОУ) промышленных и общественных зданий широко используются световые приборы с газоразрядными лампами, питающиеся от сети переменного тока напряжением до 1 кВ. Электрический разряд в газах является неустойчивым физическим процессом. Даже небольшие колебания подведенного напряжения могут прервать разряд или привести его к лавинообразному процессу, который вызывает преждевременный износ слоя люминофора колбы электрической лампы. С целью стабилизации тока разряда последовательно с газоразрядной трубкой лампы включается ограничивающее балластное сопротивление. В качестве балласта в световом приборе, как правило, используется дроссель, представляющий собой катушку индуктивности со стальным сердечником. Дроссель служит также для создания зажигающего импульса за счет ЭДС самоиндукции. Он уменьшает паузы переменного тока и, следовательно, пульсацию светового потока, создаваемого лампой. В то же время дроссель потребляет реактивную мощность. Естественный коэффициент мощности световых приборов с газоразрядными источниками света $\cos\varphi=0,5-0,6$. Потери активной мощности в стали и обмотке дросселя составляют 10-20% номинальной мощности светового прибора.

Потребление реактивной мощности световыми приборами может быть значительным и влиять на параметры электропотребления не только ОУ, но и системы электроснабжения объекта в целом.

Наличие реактивной мощности может приводить к необходимости использования более мощных силовых трансформаторов и к увеличению сечения проводников, чем это требуется при чисто активной нагрузке. Появление в сети реактивной нагрузки имеет следующие негативные последствия:

- увеличение потребляемой полной мощности;
- снижение пропускной способности электрических сетей по активной мощности;
- увеличение потерь напряжения и мощности в элементах систем электроснабжения;
- сокращение срока службы электрооборудования;

По этим причинам в соответствии с [1] люминесцентные лампы должны применяться с пускорегулирующими аппаратами (ПРА), обеспечивающими $\cos\varphi$ не ниже 0,9.

В ОУ возможна как индивидуальная компенсация реактивной мощности — непосредственно у ламп, так и групповая, когда конденсаторы устанавливаются у щитков освещения (ЩО) и обслуживают целую группу ламп.

Групповая компенсация имеет определенные преимущества: могут применяться более надежные и долговечные конденсаторы, по сравнению с используемыми индивидуальными конденсаторами разных типов, специально не предназначенными для данных условий применения.

Использование в ОУ с люминесцентными лампами пускорегулирующих устройств по двухламповой стартерной схеме автоматически решает вопрос компенсации, так как конденсаторы, которые служат для создания в цепи лампы опережающего тока, обеспечивают повышение коэффициента мощности примерно до 0,92.

Для металлогалогенных (типа ДРИ) и дуговых ртутных люминесцентных ламп (типа ДРЛ) применяется как индивидуальная, так и групповая компенсация реактивной мощности.

Комплект лампы ДРЛ — ПРА имеет коэффициент мощности около 0,57, что, как отмечено выше, может повести к увеличению сечений проводников электрической сети. Компенсация реактивной мощности может снизить расход цветного металла, но, в свою

очередь, связана с установкой сравнительно дорогих индивидуальных или групповых конденсаторов.

По данным, приведенным в [2], для повышения коэффициента мощности до 0,9 — 0,95 в сетях напряжением 230В с дуговыми разрядными лампами необходимо установить конденсаторы следующих емкостей (таблица 1):

Таблица 1. Емкости конденсаторов для дуговых разрядных ламп

Мощность лампы, Вт	1000	750	500	250
Емкость конденсатора, мкФ	80	60	40	20

Конденсаторы с указанной в таблице 1 емкостью в настоящее время не выпускаются, что ограничивает применение индивидуальной компенсации ламп типа ДРЛ. Из изготавливаемых промышленностью конденсаторов наиболее подходящими являются металлобумажные конденсаторы типа МБГО емкостью 10 мкФ напряжением 600 В. Для получения необходимой мощности эти конденсаторы приходится соединять параллельно и устанавливать в стальных ящиках совместно с разрядными сопротивлениями, обеспечивающими быстрый разряд конденсаторов после их отключения.

В установках с групповой компенсацией необходимая мощность конденсатора Q может быть определена по формуле

$$Q = P \cdot (\operatorname{tg}\varphi_1 - \operatorname{tg}\varphi_2), \quad (1)$$

где P - установленная мощность световых приборов, кВт, включая потери в ПРА; $\operatorname{tg}\varphi_1$ и $\operatorname{tg}\varphi_2$ - значения исходного и желаемого коэффициента реактивной мощности.

Для повышения коэффициента мощности с 0,57 до 0,95 на каждый 1 кВт установленной мощности требуются конденсаторы мощностью 1,1 квар. При групповой компенсации могут быть использованы бумажно-масляные трехфазные конденсаторы типа КМ-0,38-25 мощностью 25 квар, а также другие, меньшей мощности, например, 10 квар.

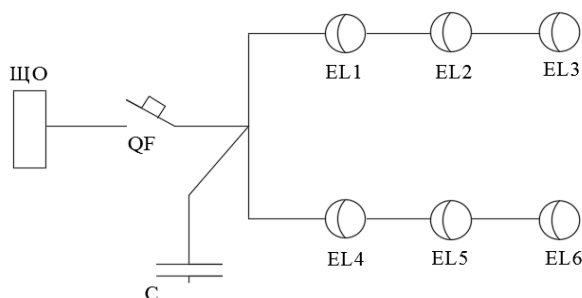


Рисунок 1. Возможная схема подключения групповой линии при компенсации реактивной мощности:

ЩО – щиток освещения, C – конденсатор,
 QF – автоматический выключатель, EL- источники света

Конденсатора мощностью 25 квар достаточно для группы световых приборов мощностью 22 кВт, включая потери в ПРА. Групповые линии могут разветвляться за местом установки конденсаторов, как показано на рис. 1.

Конденсаторы вместе с сопротивлениями устанавливаются вблизи щитков в стальных шкафах, обычно по три — пять в одном шкафу. Размеры шкафа на пять конденсаторов 1250 x 1450 x 700 мм.

Произведенные научно-исследовательским институтом «Тяжпромэлектропроект» сопоставительные расчеты показали, что вариант с компенсацией реактивной мощности на групповых линиях экономически почти равноценен варианту без компенсации реактивной

мощности. Однако некоторое предпочтение можно отдать варианту с компенсацией, имеющему определённые преимущества на высоковольтной стороне системы электроснабжения. Кроме того, во всех случаях, когда отсутствие компенсации приводит к необходимости увеличения мощности трансформатора, целесообразность компенсации бесспорна.

От компенсации реактивной мощности рекомендуется отказываться в случаях, когда к трансформатору подключена перекомпенсированная силовая нагрузка или, когда имеется перекомпенсация на высоковольтной стороне системы электроснабжения промышленного предприятия.

Из сказанного видно, что вопрос компенсации реактивной мощности в сетях освещения нельзя решать изолированно от всего комплекса вопросов электроснабжения и без детального учета местных условий.

Целесообразно отметить, что если питающие осветительные линии имеют небольшую длину, то установка конденсаторов у групповых щитков почти не уменьшает затрату проводникового металла, хотя может привести к уменьшению числа групп.

Следует иметь в виду важное эксплуатационное преимущество установки конденсаторов в комплекте ПРА или вообще вблизи ламп, заключающееся в отключении конденсаторов одновременно с лампами. В настоящее время многие производители светотехнических изделий поставляют ПРА, в комплект которых входят компенсирующие конденсаторы. При надёжной конструкции последних это повышает эффективность компенсации реактивной мощности в электроустановках.

Реактивная мощность зависит от величины напряжения в электрической сети переменного тока. Рассмотрим, как влияет величина подведенного напряжения на потребление реактивной мощности газоразрядными световыми приборами. Для этого воспользуемся приведенными в [3] аппроксимирующими функциями, позволяющими приближенно оценивать реактивную мощность комплекта «ПРА – лампа» с разными источниками света. Для расчета потребляемой реактивной мощности необходимо знать номинальную потребляемую мощность светового прибора $Q_{ном}$, номинальное напряжение светового прибора $U_{ном}$ и величину подведенного напряжения U . Преобразовав функции [3], получим выражения для расчета относительного потребления реактивной мощности $Q^* = \bar{Q}/Q_{ном}$ (здесь \bar{Q} - аппроксимированное значение реактивной мощности) в зависимости от относительного напряжения $U^* = U/U_{ном}$. Получены зависимости $Q^* = f(U^*)$ для следующих световых приборов:

светильники с лампами типа ДРЛ:

$$Q^* = 3,59U_*^2 - 2,59 ; \quad (2)$$

светильники с лампами типа ДРИ с компенсированными ПРА:

$$Q^* = 22,322U_*^2 - 37,921U_* + 16,606 ; \quad (3)$$

ПРА: светильники с натриевыми лампами типа ДНаТ с некомпенсированными

$$Q^* = 0,327U_*^2 + 1,116U_* - 0,433 ; \quad (4)$$

светильники с лампами типа ДНаТ с компенсированными ПРА:

$$Q^* = 16,429U_*^2 - 28,882U_* + 13,416 ; \quad (5)$$

светильники с компактными люминесцентными лампами (КЛЛ):

$$Q^* = 1,169U_*^2 - 1,114U_* + 0,943 . \quad (6)$$

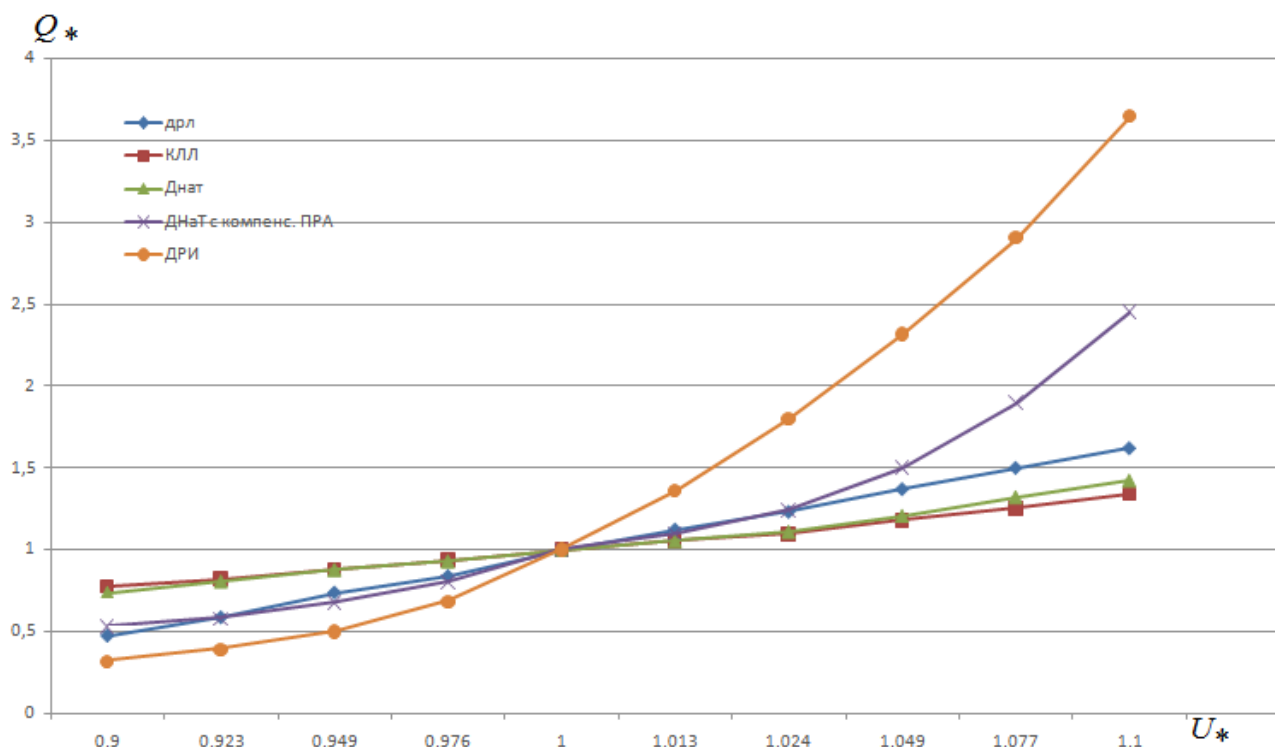


Рисунок 2. Зависимость относительной реактивной мощности газоразрядных световых приборов от относительного подведенного напряжения

По выражениям (2) - (6) выполнены расчеты для различных световых приборов при изменении относительного напряжения в диапазоне 0,9-1,1. По результатам расчетов построены графические зависимости, представленные на рисунке 2.

Исследования показали, что современные источники света на основе светодиодов (СД), не потребляют, а генерируют реактивную мощность [4]. Эту их особенность следует учитывать при выполнении электрических расчетов осветительных установок.

Таблица 2. Генерируемая реактивная мощность световых приборов на основе светодиодов

Тип прибора	Относительное напряжение U^*	Генерируемая реактивная мощность, вар	Относительная реактивная мощность $Q_{Г*}$
Светильник типа <i>L-school</i> 16/1500/Д	0,87	5	0,77
	0,91	5,5	0,85
	0,96	5,5	0,85
	0,98	6	0,923
	1	6,5	1
	1,04	7,5	1,15
	1,07	7,5	1,15
Светодиодный прожектор типа <i>Kanlux PACO LED45-W</i>	0,87	15	0,65
	0,89	16	0,69
	0,96	19	0,83
	0,98	20	0,87
	1	23	1
	1,02	23	1
	1,04	23	1
1,07	24	1,04	

По экспериментальным данным, приведенным в [4] для светодиодного прожектора типа *Kanlux PACO LED45-W* и светильника типа *L-school* 16/1500/Д, определены

относительные значения генерируемой реактивной мощности Q_{r*} при изменении подведенного напряжения в диапазоне 0,87 – 1,07 от номинального значения. Полученные результаты представлены в таблице 2.

По данным, приведенным в таблице 2, построены графические зависимости $Q_{r*} = f(U_*)$ (рисунок 3).

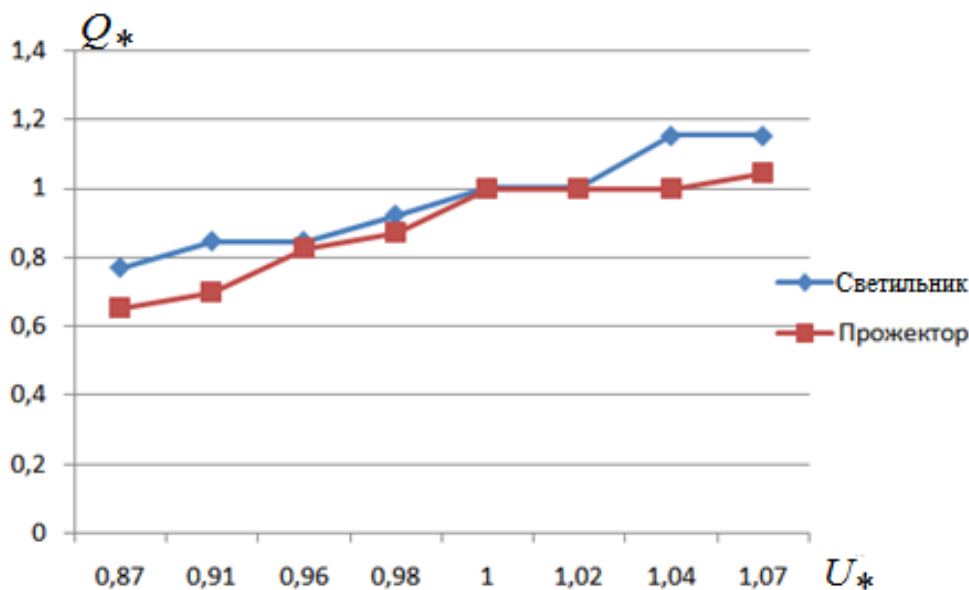


Рисунок 3. Зависимость относительной реактивной мощности источников света на основе светодиодов от относительного подведенного напряжения.

Анализ кривых, приведенных на рис.3 показывает, что в зависимости от величины подведенного напряжения генерируемая светодиодными световыми приборами реактивная мощность изменяется в достаточно широком диапазоне.

Выводы

1. Световые приборы могут, как потреблять, так и генерировать реактивную мощность. Светильники с рассмотренными газоразрядными источниками света являются потребителями реактивной мощности. Если не применять специальные технические средства для компенсации реактивной мощности, то ее величина может оказывать влияние на режимы работы электрических сетей.

2. Светодиодные световые приборы генерируют реактивную мощность. Это целесообразно учитывать при выборе компенсирующих установок в электрических сетях промышленных предприятий и сечений проводников осветительных сетей производственных и коммунально-бытовых объектов.

Литература

1. Правила устройства электроустановок. - 6-е изд., перераб. и доп. - М.: Энергоатомиздат, 1985. - 640 с.
2. Компенсация реактивной мощности в установках с газоразрядными лампами [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://electricalschool.info>.- Дата доступа: 16.05.2011.
3. Оценка и повышение эффективности работы осветительных установок промышленных предприятий /В.А. Анищенко [и др.]. - Минск: БНТУ, 2014. - 218 с.
4. Радкевич, В.Н. Характеристики электропотребления светодиодных световых приборов и их учет при расчете электрических сетей //В.Н. Радкевич, Я.В. Михайлова. - Энергетика. Изв. ВУЗов и энергетических объединений СНГ. - Том 59, 2016. - 4.- С.289-300.