

АВТОМАТИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ РЕЖИМАМИ НАПРЯЖЕНИЯ И РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ В ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

Говоров Ф.П., Говоров В.Ф.

Харьковская национальная академия городского хозяйства

govorov@sa.net.ua

The paper source of inductance of digit lamps is established. Substantiation of need of indemnification of jet power. One of major directions of energy-savings in illumination there is indemnification a reactive-power in lighting electric networks.

Введение. Постановка задач исследования.

В настоящее время на освещение в мире расходуется от 20 до 90% вырабатываемой электроэнергии (в промышленно развитых странах эта цифра приближается к 20%, а в слаборазвитых – к 90%). Изложенное свидетельствует об актуальности задачи энергосбережения применительно к с One of major directions of energy-savings in illumination there is indemnification a reactive-power in lighting electric networks. системам освещения. Одним из важнейших направлений энергосбережения в освещении является компенсация реактивной мощности в осветительных электрических сетях. Особенность таких сетей – преобладание электроприемников с индуктивным характером энергопотребления, делает решение этой задачи особенно важным. Большая протяженность и высокий уровень разветвленности сетей в еще большей степени обостряют ее решение. Структурно осветительные электрические сети входят в состав и имеют общие элементы с системой электроснабжения города. Совместно с осветительными электрическими сетями они образуют единую систему электроснабжения и освещения города, которая работает в едином режиме в условиях взаимного влияния параметров и режимов отдельных ее элементов.

Современные системы электроснабжения и освещения городов – это сложные электротехнические комплексы, включающие тысячи элементов, десятки тысяч километров электрических сетей, тысячи трансформаторных и распределительных пунктов, тысячи пунктов управления освещением. Суточный уровень электропотребления городов измеряется десятками млрд. кВт·ч электроэнергии, значительную долю которого составляет освещение. По Украине эта величина изменяется сотнями млрд. кВт·ч в сутки.

Расчеты проведенные нами, свидетельствуют о том, что только по причине низкого $\cos \varphi$ потери электроэнергии в сутки составляет около 1 млн. кВт·ч в сутки по Украине, в целом. Это около 1-2% от всей потребляемой городами электрической энергии. На рис.1 приведен график технологического процесса в системах электроснабжения и освещения городов и значение потерь ΔP на элементах сетей. Изложенное говорит в пользу необходимости компенсации реактивной мощности в осветительных электрических сетях.

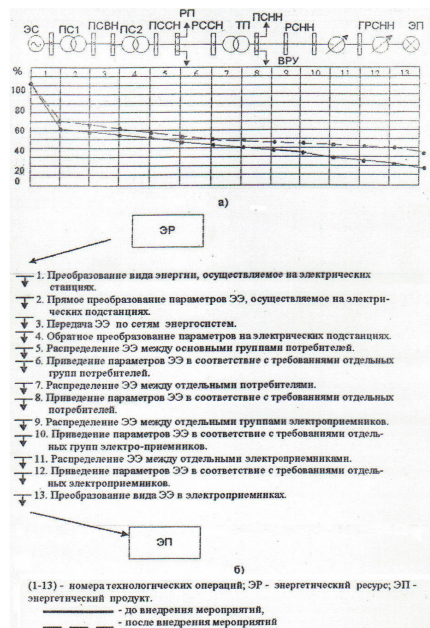


Рисунок 1 – График технологического процесса в системах электроснабжения и освещения городов и значение потерь ΔP на элементах сетей

Решению задачи компенсации реактивной мощности в городских электрических сетях посвящен ряд работ. Наиболее важными из них являются работы Ю.С. Железко, В.В. Зорина, Ю.Н. Щербины и др. Ими решены практические вопросы компенсации реактивной мощности в основном на уровне РУ НН ТП и выше. Вопросы компенсации реактивной мощности в осветительных электрических сетях на уровне причин, последствий, методов и технических средств в указанных работах не рассматривались. Поэтому в задачи проведенных нами исследований вошло, прежде всего, выявление причин снижения $\cos \varphi$ потребителями осветительных электрических сетей и на их основе – научных основ компенсации реактивной мощности в осветительных электрических сетях.

Как свидетельствуют результаты, проведенных нами исследований, основными потребителями осветительных электрических сетей являются светильники с разрядными лампами низкого и высокого давления. При этом, потребителями реактивной мощности в них выступают ПРА и сами разрядные лампы. Оценка степени долевого участия отдельных потребителей реактивной мощности (ПРА и разрядных ламп) указала на преобладающее потребление реактивной мощности разрядными лампами. Измерение для различных типов разрядных ламп указали на то, что реактивная мощность разрядных ламп, $Q_{рл}$ и реактивная мощность ПРА $Q_{эмпра}$ находятся в соотношении 4:1. В случае применения электронных ПРА соотношение изменяется в сторону разрядных ламп и имеет вид 5:1. Изложенное свидетельствует об относительно

незначительной величине реактивной мощности ПРА $Q_{\text{ПРА}}$ и истощенности мероприятий по ее уменьшению. Это говорит в пользу необходимости исследования причинно-следственных связей возникновения и условий протекания реактивной мощности в разрядных лампах $Q_{\text{РЛ}}$.

Исследование причин возникновения и условий протекания реактивной мощности разрядных ламп $Q_{\text{РЛ}}$.

Исследование процессов в разрядных лампах осуществлялось на действующих образцах ламп. Измерялись, как электрические, так и магнитные параметры ламп. Измерение электрических параметров ламп осуществлялось на экспериментальной установке. Магнитные параметры ламп исследовались индукционным методом при помощи контрольных измерительных обмоток, располагаемых в разных точках пространства возле лампы (рис.2). Такое расположение обмоток позволило измерить как осевую, так и тангенциальную составляющие поля, которое образует лампа.

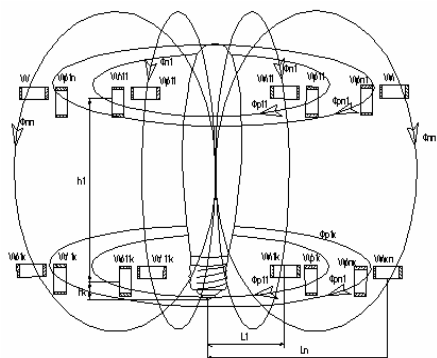


Рисунок 2 – Картина магнитного поля разрядной лампы

Проведенные исследования позволили уточнить характер физических процессов в разрядных лампах и на их основе уточнить природу индуктивности ламп и разработать математическую модель энергетического преобразования в разрядных лампах, а также и мероприятия по повышению эффективности работы электрических сетей с разрядными лампами.

Анализ результатов исследований свидетельствует о том, что во всех случаях индуктивность наблюдается в пределах от 0,12 до 0,26 Гн. Обращает на себя внимание тот факт, что индуктивность нарастает, постепенно достигая своего стабильного значения в течение 8-10 мин., то - есть за то время, в течение которого лампа входит в номинальный режим. Этот факт позволяет считать, что источником индуктивности является газовый разряд. Но причина его состоит не в генерации магнитного поля, так как измерения показали отсутствие сколь-нибудь заметного поля вблизи разрядной трубки.

Расчеты показывают, что для получения индуктивности 0,2 Гн, катушкой аналогичных с разрядной трубкой размеров, необходимо было бы иметь в ней около 18 000 витков. При токе 1 А, такая катушка создавала бы магнитное поле с индукцией около 0,4 Тл. Однако измеренные значения соответствуют тому полю, которое создается лишь подводящими проводниками и которое на много порядков меньше этой величины.

Ключ к пониманию возможных причин появления индуктивности в плазме газового разряда дает современное представление об индуктивности. В соответствии с ним, индуктивность характеризует инерционность электрической цепи относительно изменения в ней тока, и с этой точки зрения причиной может быть инерционность самих носителей тока в плазме газового разряда. Этот тип индуктивности носит название кинетической или динамической индуктивности.

Рассмотрение, этого вида индуктивности свидетельствует о том, что причиной его возникновения может служить плазма газового разряда. Как известно газоразрядная плазма содержит ионизированные атомы, возбужденные атомы и свободные электроны. Считается, что основными носителями тока, в такого вида плазме, являются электроны и совсем в небольшой степени положительные ионы, так как их подвижность на несколько порядков меньше чем у электронов. Существующее в плазме электрическое поле, заставляет электроны двигаться в направлении положительного электрода. Независимо от направления движения, электроны получают дополнительную скорость против электрического поля, отбирая энергию у поля в течение времени свободного пробега, т.е. времени между двумя последовательными столкновениями. Таким образом, весь ансамбль электронов, наряду с быстрым тепловым хаотическим движением, приобретает некоторую, небольшую по сравнению с тепловой, скорость в направлении положительного электрода.

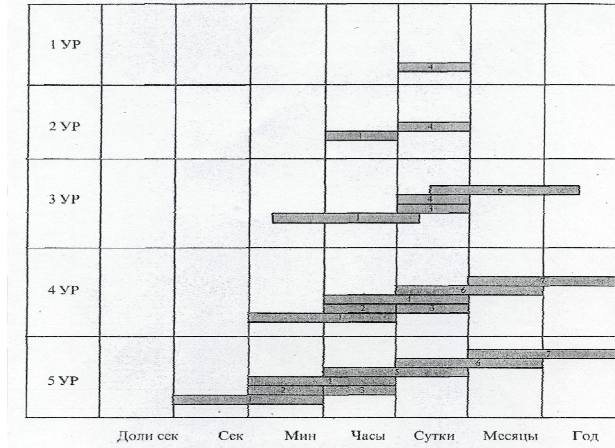
Электроны движутся среди атомов газа и испытывают два типа соударений: неупругие соударения, в результате которых атомы ионизируются или возбуждаются, а электроны теряют энергию равную энергии ионизации или возбуждения соответствующих атомов; упругие столкновения с невозбужденными атомами, при которых электрон передает атому удвоенный импульс своего упорядоченного движения в электрическое поле. Передача импульса (количества движения) от электрона к атому, сопровождается и передачей небольшого количества кинетической энергии атомам. Это приводит к тому, что невозбужденные атомы приобретают упорядоченное движение вместе с электронами, на фоне хаотического теплового движения. Если ток, по какой-то причине, начинает уменьшаться, то атомы, в своем упорядоченном движении, будут увлекать за собой электроны и действие их будет подобно действию индуктивности.

Пути повышения $\cos \phi$ в осветительных электрических сетях.

Как показано ранее, низкое значение $\cos \phi$ комплекта «Разрядная лампа – ПРА» обуславливает существенное снижение эффективности работы систем электроснабжения и освещения городов, связанное с пропуском по сетям значительного количества реактивной мощности. Как показали результаты исследований, причина возникновения реактивной мощности комплекта «Разрядная лампа – ПРА» $Q_{\text{РЛ}}$ кроется в особенности протекания процессов в разрядном промежутке. Поэтому возможность повышения естественного $\cos \phi$ в осветительных электрических сетях практически отсутствует. Следовательно, в качестве единственного реального

пути повышения $\cos \varphi$ в осветительных электрических сетях остается повышение $\cos \varphi$ за счет искусственной компенсации реактивной мощности в сетях.

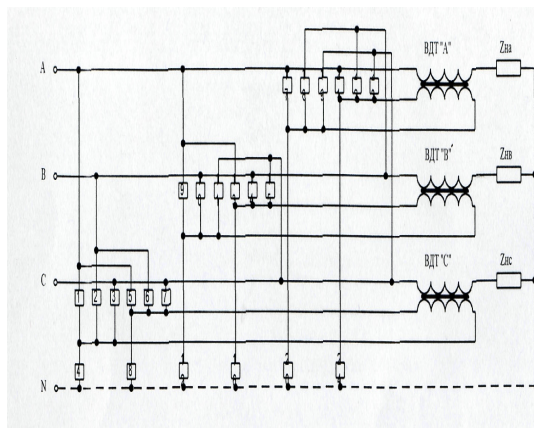
Анализ параметров и режимов осветительных электрических сетей городов проведенный нами, указал на наличие ряда особенностей. Важнейшей из них является слабая корреляция графиков нагрузки и реактивной мощности. Это ограничивает возможность применения традиционных методов комплексного решения вопросов регулирования напряжения и компенсации реактивной мощности в сетях с помощью батарей статических конденсаторов (БСК) и делает необходимым применение специальных методов, обеспечивающих решение задачи компенсации реактивной мощности в условиях слабой корреляции графиков нагрузки и реактивной мощности.



- 1 – обнаружение и локализация повреждений;
- 2 – автоматическая регулировка и управление;
- 3 – оперативное управление; 4 – восстановление электроснабжения; 5 – текущее планирование;
- 6 – перспективное планирование; 7 – учет.

Рисунок 3 - Структурно-временная декомпозиция функций управления систем электроснабжения и освещения городов

Исследование методов и технических средств управления режимами работы городских электрических сетей свидетельствует об отсутствии средств автоматического регулирования в сетях 0,38 кВ. Это говорит о целесообразности применения специальных технических средств. На рис.3 приведено распределение средств автоматического управления в сетях энергосистем. Проведенные в ХНАГХ под руководством профессора Говорова исследования, свидетельствуют о целесообразности применения в таких случаях фазопереключающих вольтодобавочных трансформаторов. Использование в них достоинств магнитной и полупроводниковой техники в сочетании с подключением вторичных обмоток к различным фазам питающей сети позволяет достаточно простым и эффективным способом решать вопросы регулирования напряжения и компенсации реактивной мощности (рис.4). Более того, возможность создания большого числа комбинаций модуля и фазы добавочной ЭДС открывают возможность для развязанного управления режимами напряжения и реактивной мощности и, как следствие, – управление параметрами режима осветительных электрических сетей в условиях слабой корреляции графиков нагрузки и реактивной мощности.



Группа з'єднання	Модуль вихідної напруги	Фазовий зсув вихідної напруги
XII	$U_H = U_1 \sqrt{\frac{1}{K_T} \left(\frac{1}{K_T} + 2 \right) + 1}$	$\varphi_H = 0$
I або XI	$U_H = U_1 \sqrt{\frac{1}{K_T} \left(\frac{1}{K_T} + 1,7 \right) + 1}$	$\varphi_H = \pm \arctg \frac{0,5}{K_T - 0,866}$
II або X	$U_H = U_1 \sqrt{\frac{1}{K_T} \left(\frac{1}{K_T} + 1 \right) + 1}$	$\varphi_H = \pm \arctg \frac{0,866}{K_T - 0,5}$
III або IX	$U_H = U_1 \sqrt{\frac{1}{K_T} + 1}$	$\varphi_H = \pm \arctg \frac{1}{K_T}$
IV або VIII	$U_H = U_1 \sqrt{\frac{1}{K_T} \left(\frac{1}{K_T} + 1,73 \right) + 1}$	$\varphi_H = \pm \arctg \frac{0,5}{K_T - 0,866}$
V або VII	$U_H = U_1 \sqrt{\frac{1}{K_T} \left(\frac{1}{K_T} - 1 \right) + 1}$	$\varphi_H = \pm \arctg \frac{0,866}{K_T + 0,5}$
VI	$U_H = U_1 \sqrt{\frac{1}{K_T} \left(\frac{1}{K_T} - 2 \right) + 1}$	$\varphi_H = 0$

Рисунок 4 - Реализация функции управления на основе фазопереключаемого ВДТ (а - принципиальная схема ФВТ; б - параметры режима ФВТ)

На рис.4 приведены разработанные нами аналитические выражения для описания напряжений и токов ВДТ и выражения для угла φ . Условиям развязанного управления режимами напряжения и реактивной мощности в осветительных электрических сетях городов соответствуют схемам соединения обмоток ВДТ по группам 6-9. На рис.5 приведены зависимости $\varphi_c = f(U_T, \cos \varphi_n)$. Экспериментальные исследования работы ФВТ в осветительных электрических сетях городов подтвердили справедливость основных теоретических положений и возможность снижения потерь мощности $\Delta P_{OЭС}$ в осветительных электрических сетях за счет комплексного развязанного управления режимами напряжений и реактивной мощностью. На рис.6 приведены графические зависимости потерь мощности в осветительных электрических сетях в зависимости от длины электрических

сетей и $\cos \varphi$ потребителей $\Delta P = f(L_{OЭС}, \cos \varphi_{OЭС})$, полученные расчетом и подтвержденные с точностью до 6-8% экспериментально в действующих электрических сетях.

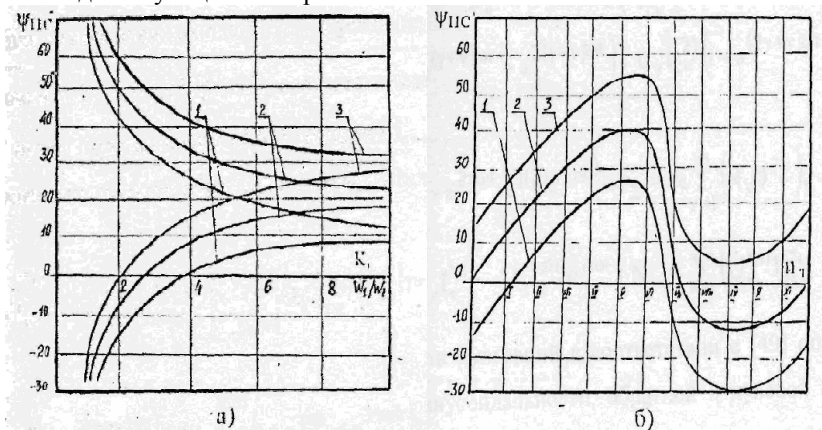


Рисунок 5 – Зависимость угла сдвига ψ_{11C} тока i_c потребляемого ВДТ из сети, в зависимости от $K_T = \frac{W_1}{W_2}$ (а) и группы соединения обмоток (б): 1 - $\cos \varphi_n = 0,98$; 2 - $\cos \varphi_n = 0,94$; 3 - $\cos \varphi_n = 0,86$.

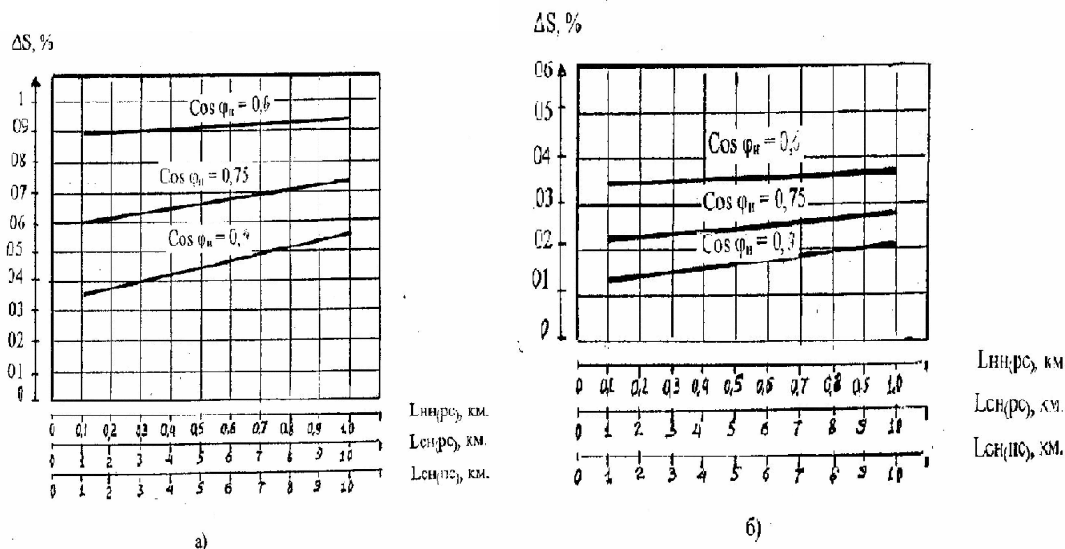


Рисунок 6 - Графические зависимости потерь мощности в осветительных электрических сетях в зависимости от длины электрических сетей и коэффициента мощности потребителей

Выводы:

1. Результаты проведенных исследований свидетельствуют о низкой величине коэффициента мощности осветительных электрических сетей и необходимости компенсации реактивной мощности в осветительных электрических сетях.
2. Применение разработанных основных положений позволило разработать отрезок серии многофункциональных преобразователей напряжения для осветительных электрических сетей.
3. Применение многофункциональных преобразователей напряжения в системах освещения г.г. Харьков, Сумы, Чернигов и др. подтвердило возможность комплексного решения задачи регулирования напряжения и компенсации реактивной мощности в осветительных электрических сетях и позволило получить за счет этого значительную экономию материальных и энергетических ресурсов до 1 тыс. грн на 10 кВА установленной мощности. Срок окупаемости устройств – 1-2 года.

ЛИТЕРАТУРА

1. Говоров Ф.П., Говоров В.Ф., Четверикова И.М., Терешин В.Н., Денисенко В.И. К вопросу о реактивной мощности в осветительных установках с разрядными лампами // Технічна електродинаміка.-К.: Інститут електродинаміки НАН України. 2008. – Тематичний випуск: Проблеми сучасної електротехніки, Ч.5. – С.13-17.
2. Говоров Ф.П., Перепеченый В.А., Говоров В.Ф. К вопросу о компенсации реактивной мощности в системе электроснабжения и освещения городов // Энергетика и электрификация, 2007, №1, с.21-28.
3. Говоров П.П. Украинская светотехническая отрасль – современное состояние и перспективы. Світло-Люкс, 2007, №6, с.76-80.

Рекомендовано д.т.н. Заболотним І.П.