

Влияние большого количества компактных люминесцентных ламп на распределительные сети электроснабжения

Резюме

В этой статье представлены измерения гармонических характеристик часто используемых типов компактных люминесцентных ламп (КЛЛ). В статье также анализируются возможные последствия, которые оказывают эти лампы на уровень гармонических составляющих в системе электроснабжения. Для анализа используется программное обеспечение SuperHarm для прогнозирования уровня искажений системы электроснабжения. КЛЛ при их большом количестве могут привести к проблеме наличия гармонических составляющих в питающей сети. Из результатов моделирования сделаны выводы, касающиеся проблемы гармоник.

1. Введение

Компактные люминесцентные лампы (КЛЛ) обеспечивают значительное энергосбережение по сравнению с лампами накаливания. Как следствие, КЛЛ выдвигаются в рамках программ энергосбережения многих стран. [3]. До сих пор проблемы качества электроэнергии, связанные с КЛЛ, в значительной степени игнорировались, поскольку количество этих ламп было небольшим и связанное с ними влияние было трудно оценить количественно. Тем не менее, ситуация скорее всего изменится в ближайшем будущем, поскольку большое количество КЛЛ проникают в рынок и, как результат, эмиссия гармонических составляющих должна быть ограничена [1], [2].

Компактные люминесцентные лампы, как и все газоразрядные лампы, создают гармоники в системах электроснабжения из-за пускорегулирующей схемы, ограничивающей ток плазмы (электрической дуги), которая излучает свет. Эти гармонические токи затем попадают в систему электроснабжения. Поскольку большинство электрических систем были разработаны для линейных нагрузок (т.е. почти синусоидального напряжения и тока), чрезмерно нелинейные нагрузки могут привести к возникновению серьезных проблем, таких как перегрев проводников, выход из строя трансформаторов и конденсаторов, а также неисправности электронного оборудования. Величины гармоник, генерируемых КЛЛ, отличаются между производителями и поставщиками [1], [3] и [4]. В этой статье будут рассматриваться эффекты, которые создают гармоники в сети электроснабжения.

2. Протокол исследования

Основной целью данного исследования является прогнозирование с помощью компьютерного моделирования и имитации воздействия большого количества КЛЛ на распределительные сети.

3. Методология

1) Измерить гармонические составляющие КЛЛ, которые в настоящее время используются Южноафриканской государственной энергетической компанией «Eskom» в качестве части программы управления внутренним хозяйством.

2) Разработать представление этого типа КЛЛ в качестве нелинейной модели для гармонического моделирования с использованием программного обеспечения «SuperHarm».

3) Изучить влияние КЛЛ в точке общего присоединения (ТОП) с различным количеством КЛЛ, используемых в качестве осветительной нагрузки.

4) Сравнить полученные результаты с ограничениями стандарта IEEE-519, которые указаны в табл. 1 ниже:

Таблица 1 – Стандарт IEEE-519

Стандарт IEEE-519		
Напряжение в ТОП	Индивидуальное значение VHD, %	THD, %
Ниже 69 кВ	3.0	5.0

4. Теория

В данном случае, говоря о гармониках, речь идет о повторяющихся электрических возмущениях, вызываемых КЛЛ. Используя ряд Фурье, искаженная форма периодического сигнала может быть представлена в виде основной частоты и гармоник [4], [5].

$$V(t) = V_0 + \sum_{h=1}^{\infty} V_h \sin(h\omega t + \theta_h) \quad (1)$$

Также в качестве меры эффективного значения гармонических искажений используется одна общая величина – коэффициент нелинейных искажений (коэффициент несинусоидальности) (Total harmonic distortion - THD) [1].

$$V_{THD} = \frac{1}{V_1} \sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} V_h^2} \quad (2)$$

Аналогичное уравнение можно записать для тока формы $I(t)$ – I_{THD} . Величина отдельных гармонических компонент в процентах от основной гармоники также используется в качестве меры отдельных гармонических составляющих относительно общего гармонического искажения. Формула для расчета выглядит следующим образом [1]:

$$\%V_{HD} = \frac{V_h}{V_1} \times 100\% \quad (3)$$

Аналогичное уравнение можно также записать для $\%I_{HD}$.

5. Эксперименты

Эксперименты были сгруппированы в три модели: одноместные, двойные и тройные (рис. 1). Одноместная модель содержит 12 КЛЛ, в то время как двойная и тройная содержат 24 КЛЛ и 36 КЛЛ, соответственно. Измерения были проведены для определения характеристик гармонических составляющих в этих группах. Эти характеристики затем были использованы для получения характеристик эмиссии гармонических составляющих для коммунальных потребителей и их групп, учитывая возможный эффект снижения гармонических составляющих.

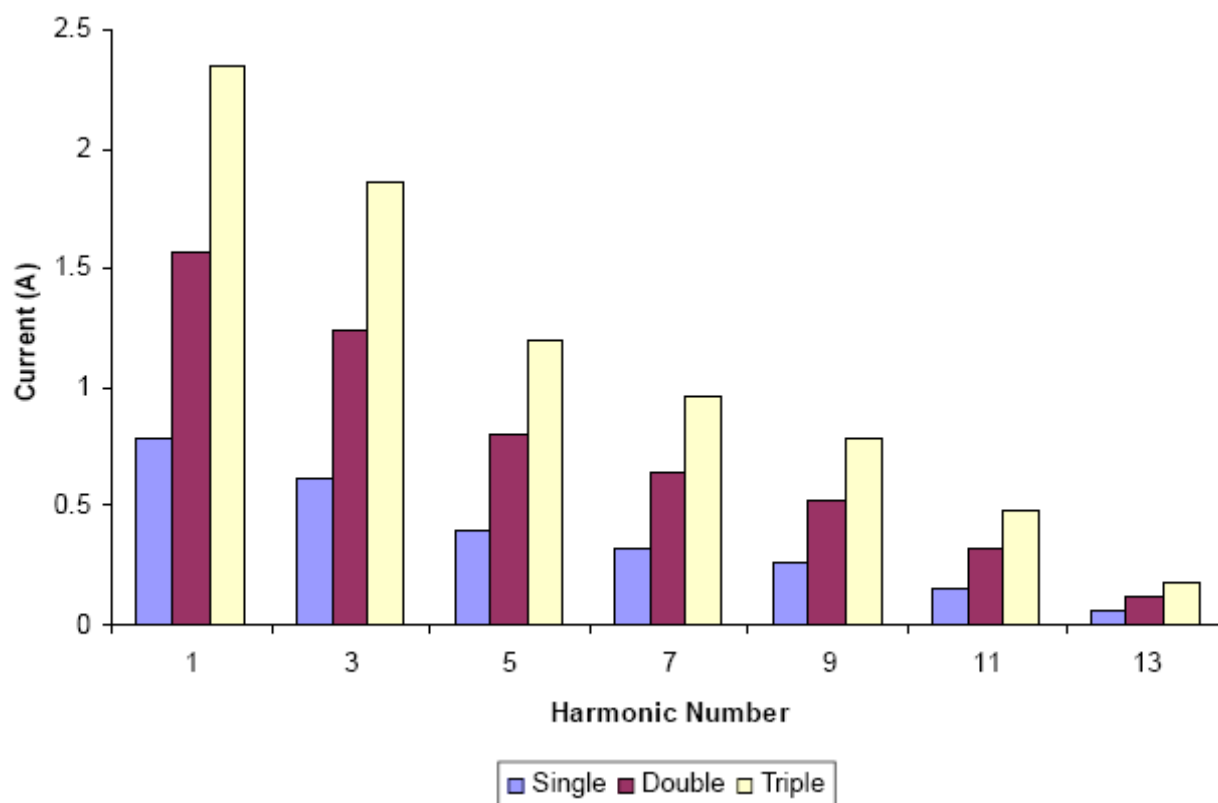


Рисунок 1 – Уровни гармонических составляющих для трех моделей

Тем не менее, гармонические токи, вырабатываемые от групп КЛЛ, как правило, складываются, а не снижается, как показано на рис. 1 выше. Это происходит потому, что был использован только один и тот же тип КЛЛ (14W). Гармонический спектр, соответствующий группе из 12 КЛЛ, приведен в табл. 2 ниже.

Таблица 2 – Гармонический спектр, измеренный от группы из 12 КЛЛ

Номер гармоники	Величина (%)	Угол, (градусы)
3	77,2	173
5	50,1	3
7	39,7	-164
9	32,7	27
11	19,4	-157
13	8,2	24

Двойные и тройные модели имеют схожие спектры. Измерения показывают, что КЛЛ имеют большие значения токов высших гармоник. Измеренное значение коэффициента нелинейных искажений ($\%I_{HD}$) для тока группы КЛЛ составляет порядка 116%, кривая которого показана на рис. 2.

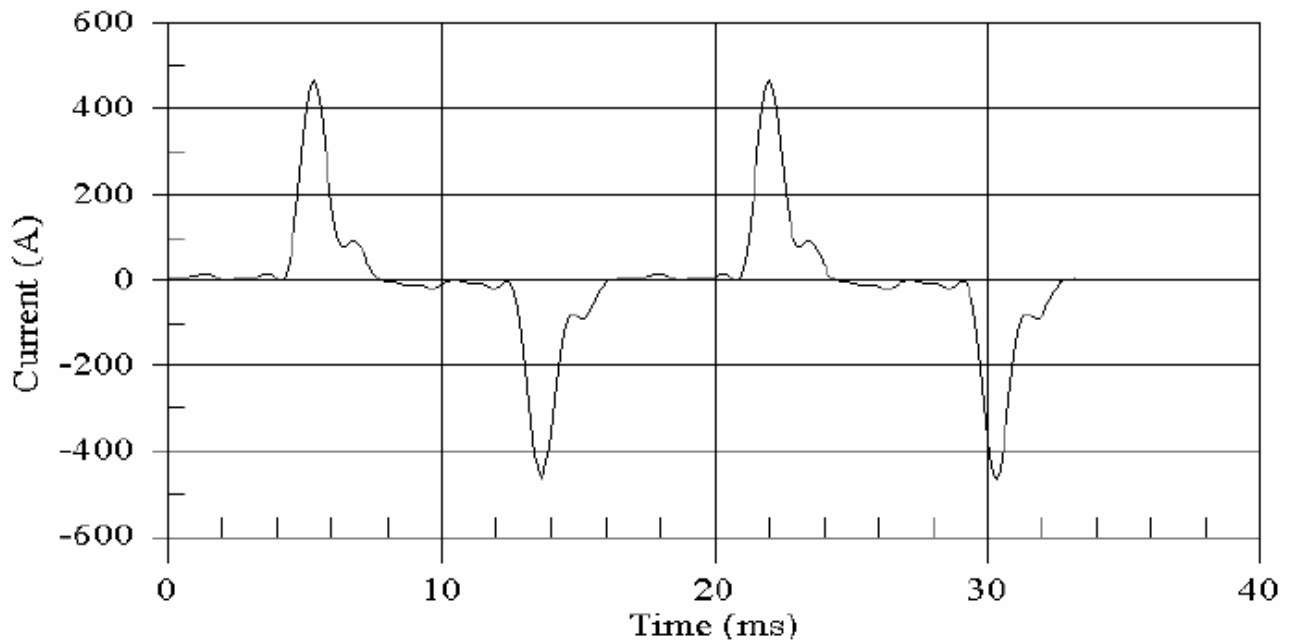


Рисунок 2 – Измеренная кривая тока группы КЛЛ

6. Описание исследуемой сети

Воздействие большого количества КЛЛ на распределительную сеть исследовалось с помощью компьютерного моделирования и имитации 3-фазной сети напряжением 33 кВ. Электрическая сеть снабжает в основном жилые дома (BUS4A) и некоторые коммерческие потребители (BUS5A). Упрощенная однолинейная схема исследуемой системы приведена на диаграмме 3 ниже.

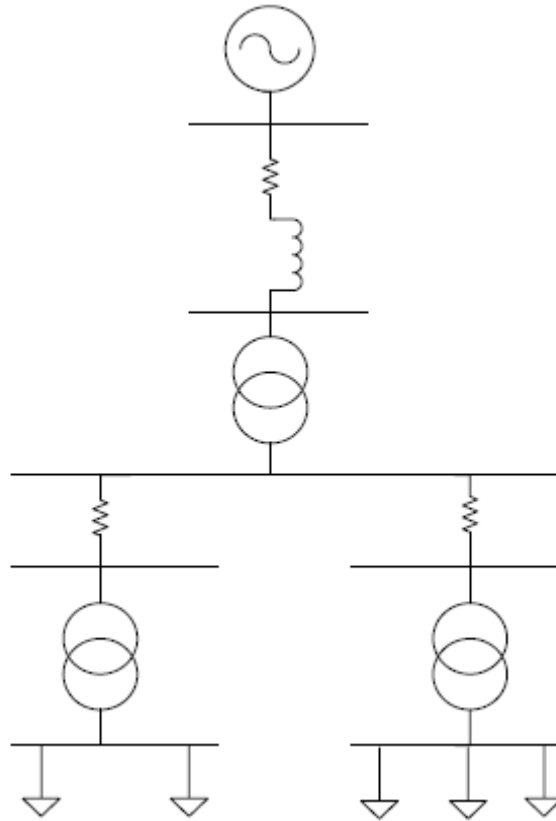


Рисунок 3 – Однолинейная схема исследуемой сети

Жилой район будет состоять из 360 домов, а частный район включает в себя 195 заводов/подразделений. Одиночная модель была использована для освещения жилых домов, в то время как тройная модель была использована для коммерческого освещения. Таким образом, общее число ламп, установленных в жилых и коммерческих объектах, составляет 4320 и 7020 соответственно. Общая нагрузка ограничена значением, не превышающим 5 МВ·А – мощности трансформатора (Т1). Нагрузки имеют следующие значения полной мощности S и коэффициента мощности $\cos\varphi$ (в англ. Power Factor - PF).

Таблица 3 – Данные о нагрузках

Название нагрузки	Полная мощность, кВ·А	$\cos\varphi$
Нагрузка 1	21,804	0,9
Нагрузка 2	132	0,85
Нагрузка 3	35,432	0,9
Нагрузка 4	187,2	0,85
DRIVE1 + CAP	108	0,97

Нагрузка 1 и Нагрузка 3 в таблице выше, представляют тот случай, когда все установленные лампы являются КЛЛ мощностью 14 Вт. Мощность установленных КЛЛ составляют 14% от мощности жилой нагрузки и 11% от мощности коммерческой. КЛЛ моделируются с целью генерации токов высших гармоник (см. таблицу 2). Нагрузка 1 и Нагрузка 2 представляют собой нагрузки жилых домов, тогда как Нагрузка 3, Нагрузка 4 и drive1 представляют собой коммерческие нагрузки. Нагрузка 1 и Нагрузка 3 представляют собой

осветительную нагрузку жилых и коммерческих объектов соответственно. Другие нагрузки включают в себя компьютеры, телевизоры, холодильники, резистивное отопление, двигатели и печи. Что касается коммерческих нагрузок, то было предположено, что на предприятиях установлены приводы, которые также генерируют в систему гармоники. Приводы моделируются для придания идеализированного гармонического спектра.

Таблица 4 – Гармонический спектр тока привода DRIVE1

Номер гармоники	Величина (%)	Угол, (градусы)
3	33,3	0
5	20	0
7	14,28	0
9	11,11	0
11	9,09	0
13	7,69	0

Были сделаны следующие допущения:

- Трехфазная система сбалансированная, что означает, что все три фазы одинаково загружены однофазными нагрузками.
- Моделирование было проведено с использованием однофазного представления, так что результаты были получены для одной фазы, предполагая, что эти же результаты действительны и для двух других фаз.

7. Примеры

Четыре тематических исследования были проведены с разными группами КЛЛ, чтобы проанализировать их влияние на распределительную сеть.

А. Пример 1 (CS1)

Это наихудший сценарий с точки зрения требований к освещению и другим нагрузкам. Все оборудование загружается на полную мощность. Установленная осветительная нагрузка принимается равной по мощности 60-ваттной лампы накаливания, как для жилых, так и для коммерческих зданий. Это может быть при высоком потреблении мощности осветительной нагрузкой ночью, когда включены все светильники.

В. Пример 2 (CS2)

Пример 1 повторяется, но на этот раз все лампы накаливания заменены 14 Вт КЛЛ, которые также находятся во включенном состоянии.

С. Пример 3 (CS3)

Широко используется коэффициент одновременности равный 0,6 [1], таким образом, в данном исследовании вся осветительная и другие виды нагрузок жилых и коммерческих объектов сокращаются до 60% от максимальной нагрузки. Этот случай был выбран, чтобы представить реалистичные условия. Был добавлен реактор последовательно с конденсатором в качестве фильтра высших гармоник для снижения значения $\%V_{\text{TND}}$ с 14,00% до 5,74517%.

D. Пример 4 (CS4)

В этом исследовании предполагается, что в сеть включено только 60% КЛЛ жилых домов и 10% КЛЛ коммерческих объектов. Мощность остальной нагрузки принимается равной 10% от своего максимального значения. Этот случай отвечает за ночное время – около 20 ч.

8. Результаты

В соответствии с IEEE 519, значения гармонических составляющих были получены в точке общего присоединения (BUS3).

Таблица 5 – Результаты проникновения гармонических составляющих в ТОП

Индекс	CS1	CS2	CS3	CS4
V_1	6167,17	6175,42	6246,39	6319,7
% V_3	0,99255	0,83815	2,96818	0,26067
% V_5	0,97265	1,69527	4,14631	0,49566
% V_7	0,95647	2,22744	0,9488	0,56234
% V_9	0,93897	0,52756	1,89477	0,33273
% V_{11}	0,91936	2,0427	1,06091	0,49496
% V_{12}	0,89785	0,85566	1,17857	0,08985
% V_{THD}	2,31928	3,70419	5,74517	0,99681
% V_{RMS}	6168,83	6179,65	6275,29	6081,7

Исследование сопротивлений гармоническим составляющим было проведено на примере 3 (CS3) в точке общего присоединения, результаты которого приведены на рис. 4.

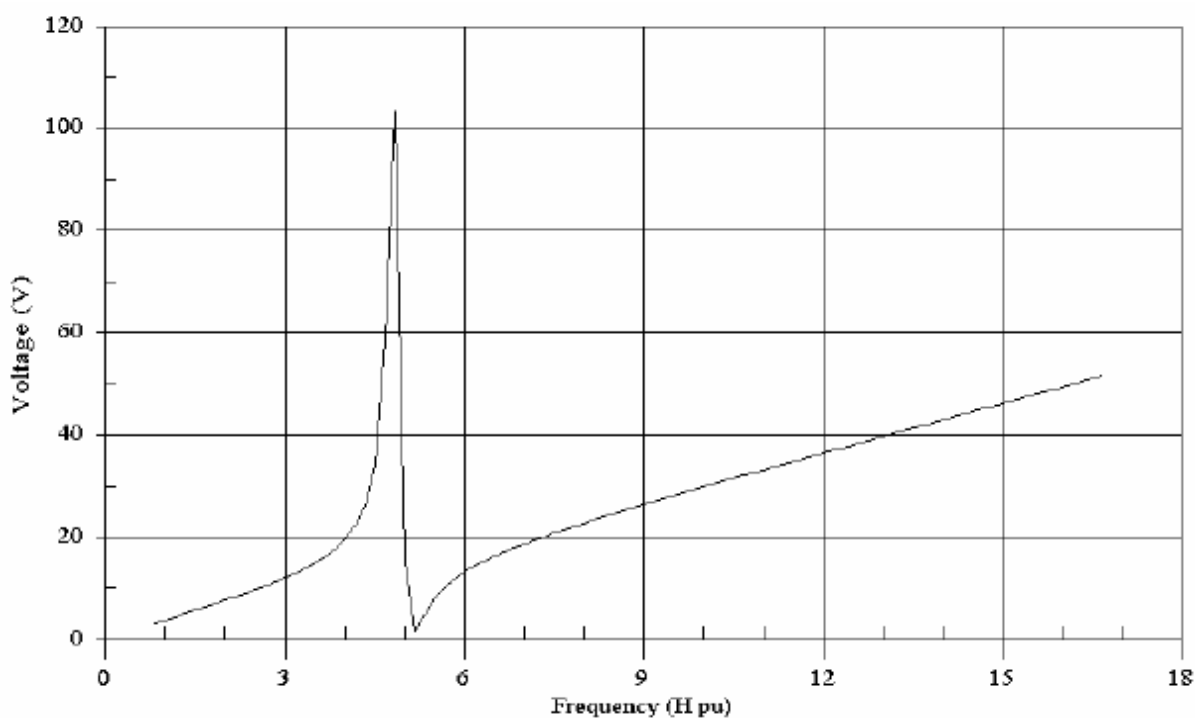


Рисунок 4 – Исследование сопротивления в ТОП на примере 3

Из результатов исследования видно, что резонанс возникает рядом с пятой гармонической составляющей.

9. Анализ

Результаты измерений нелинейных гармонических искажений приведены ниже:

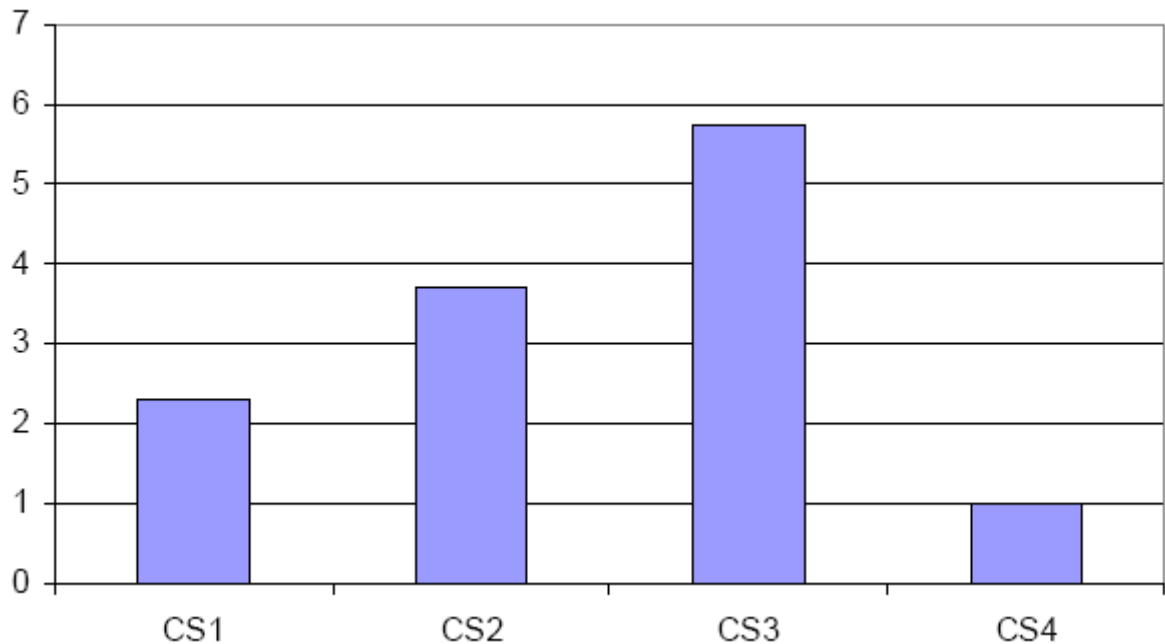


Рисунок 5 – Сравнение значений коэффициентов несинусоидальности (V_{THD}) в ТОП

Чтобы оценить влияние КЛЛ на систему электроснабжения, сравним CS1 и CS2. CS1 является базовым случаем, представляющим уровни искажений за счет существующих характеристик нагрузки. Установлено, что стимулирование установки КЛЛ в CS2 приводит к увеличению искажения напряжения на 1,38%, что является существенным изменением. Результаты, полученные в CS3, превышают указанные в нормах IEEE-519 пределы. Значение коэффициента несинусоидальности V_{THD} , полученное в этом случае, составило 5,74519%. Несмотря на то, что конденсатор повышает коэффициент мощности, он также вызывает гармонический резонанс. Поэтому в качестве смягчения последствий этого решения послужила настройка пассивного фильтра в CS3 на 5,7 гармонику. Он используется для шунтирования токов гармонических составляющих в энергосистеме.

10. Выводы

Из полученных результатов можно сделать вывод о том, что уровень искажения, который можно ожидать, зависит от типа использованных КЛЛ и параметра их распределения. Токи искажений использованных КЛЛ очень высокие, поэтому даже тогда, когда КЛЛ составляют 10% от общей нагрузки, это может привести к недопустимым искажениям напряжения в точке общего присоединения.

Использование КЛЛ с сильно искаженными кривыми тока следует избегать и поощрять использование КЛЛ, кривые токов которых мало искажены.

Будущие исследования необходимо будет провести в промышленных распределительных сетях.

11. Ссылки

- [1] Theodore, W.: “Electrical Machines, Drives and Power Systems,” 4th Edition, Prentice-Hall, New Jersey, 2000, pp. 809-821.
- [2] Emmanuel. E., Gentile T. J., Pileggi. D. J., Gulachenski. E. M., Root C. E.: “The Effect of Modern Compact Fluorescent Lights on Voltage Distortion”, Presented at the *IEEE/PES 1992 Summer Power Meeting*, Seattle, WA, July, 1992.
- [3] Dwyer, R., Khan, A. K., McGranaghan, M., Tang L., McCluskey, R. K., Sung, R., Houy, T.: “Evaluation of Harmonic Impact from Compact Fluorescent Lights on Distribution Systems”, *IEEE Transactions on Power Delivery*, Vol. 10, No. 4, November 1995.
- [4] Henderson, R.: “Harmonics of Compact Fluorescent Lamps in the Home”, *Domestic Use of Electrical Energy Conference*, 1999
- [5] IEEE Std. 519-1992, “IEEE recommended practices and requirements for harmonic control in electrical power systems”, IEEE std.519-1992, IEEE, Institute of Electrical and Electronic Engineers, USA, April 12, 1993.
- [6] Sawiki, J. and Galewski, M., “Economical definition of distortion power”, *Proceeding of the spring seminar on Nonsinusoidal Systems*, Zielona Gora University, Poland, 1999, pp. 31.
- [7] Porges, F., “The Design of Electrical Services for Buildings”, 3rd Edition, Chapman and Hall Ltd, New York, 1989, pp. 84-86.
- [8] SuperHarm Electrotek Concepts, User’s Guide, Version 4.3.0, USA, October, 2004, pp. 1.0-4.35.

12. Авторы



Главный автор: Ангула Нашанди (Angula Nashandi). Получил Национальный диплом в области энергетики в политехническом институте Намибии. В настоящее время он учится на получение степени бакалавра технологии в Университете Технологий Кейп Пенинсулы.
Email: gnashandi@webmail.co.za



Соавтор: Гарри Аткинсон-Хоуп (Gary Atkinson-Hope) – адъюнкт-профессор Университета Технологий Кейп Пенинсулы. Он является магистром наук и доктором в области электротехники в Университете Кейптауна, имеет высший национальный диплом и диплом учителя выданный «Cape Technikon», а также диплом юриста, выданный в

Университете Южной Африки. Гарри Аткинсон-Хоуп имеет 25-летний опыт чтения лекций и является лидером Центра исследований энергетических систем, специализируется на гармоническом анализе в Университете Технологий Кейп Пенинсулы и имеет многочисленные публикации. Он обладает 12-летним производственным опытом в области энергетики и, прежде чем стать преподавателем, работал в инженерной компании, делая проекты для коммерческих зданий.

Email: atkinsonhopeg@cput.ac.za

Ссылка на оригинал: http://active.cput.ac.za/energy/web/icue/papers/2007/014_ANashandi.pdf