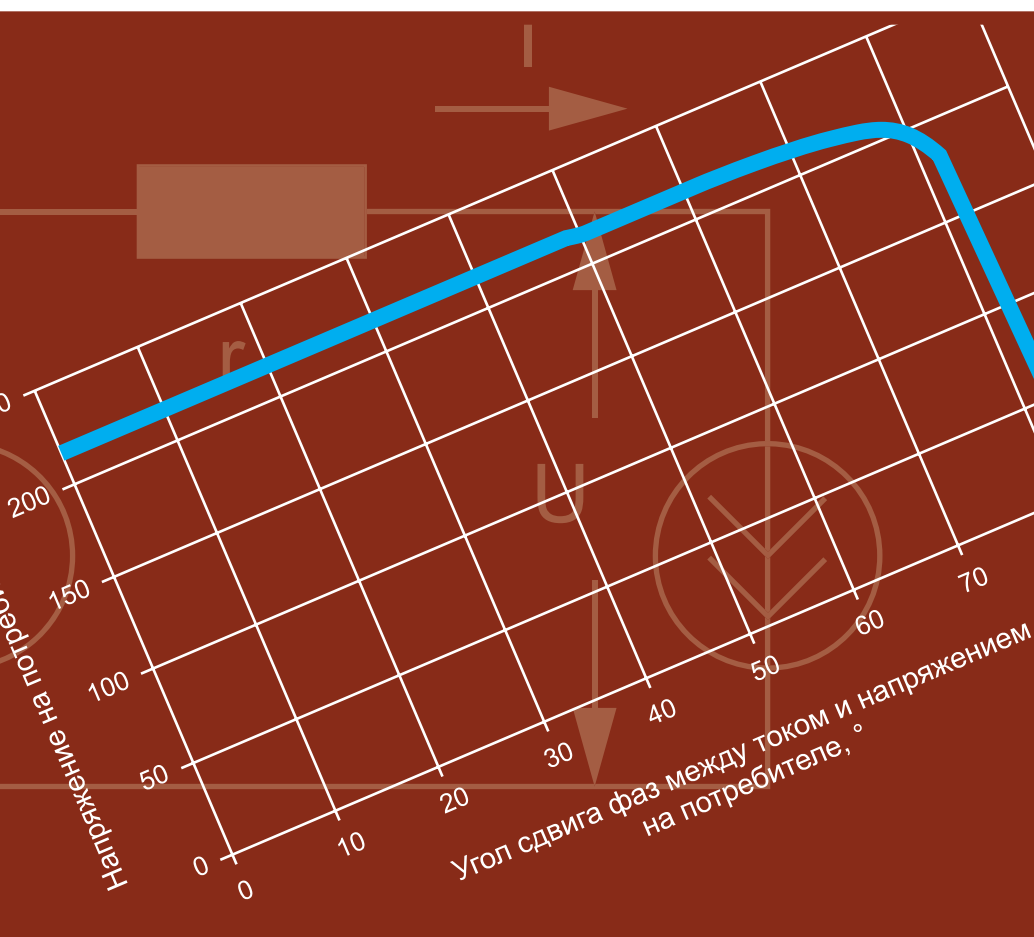


Елена Вставская, к. т. н. | Владимир Константинов |
Ольга Константинова | Михаил Пожидай

Особенности эксплуатации электронных преобразователей в осветительных питающих сетях



Технологическое развитие электронно-оптических преобразователей привело к тому, что используемые в настоящее время светоизлучатели обладают сроком эксплуатации, измеряемым десятками и сотнями тысяч часов. Однако применение таких светоизлучателей, в свою очередь, предъявляет определенные технологические требования и к электронным преобразователям энергии, которые необходимы для обеспечения их нормального функционирования.

Существующие сегодня электронные преобразователи, имеющиеся в составе светодиодных и газоразрядных источников света, проектируются исходя из условий их эксплуатации в сетях с питающим напряжением согласно ГОСТ 21128-83 (номинальное напряжение 220 В). В свою очередь, номинальные напряжения на выходе систем электроснабжения, источников и преобразователей электрической энергии должны отвечать нормам ГОСТ 29322-92 (МЭК 38-83), в соответствии с которым в нормальных условиях работы сетей с номинальным напряжением 230/400 В рекомендуется поддерживать напряжение в точке питания потребителя с отклонением от номинального значения не более $\pm 10\%$.

Однако эксплуатация электронных преобразователей в реальных сетях предъявляет другие требования к их надежности и поведению. Требования высокой эффективности электронных преобразователей и, следовательно, высоких значений КПД определяют отрицательный характер входного сопротивления преобразователя. При условии стабилизации выходной мощности потребителя и высокого КПД преобразователя входная активная мощность также оказывается стабильной. Это обуславливает гиперболический характер зависимости потребляемого тока от питающего напряжения (рис. 1). В координатах напряжение-ток гипербола характеризуется отрицательным значением динамического сопротивления, при котором снижение питающего напряжения сопровождается увеличением потребляемого тока.

В настоящее время осветительные сети строятся по принципу последовательной линии со светоизлучателями, размещенными через определенные промежутки. Схема замещения осветительной сети представлена на рис. 2.

С точки зрения формирования питающих напряжений в последовательных нагрузках осветительной сети стабилизация мощности

увеличивает просадку напряжения по мере удаления от источника питания.

Кратность тока в такой осветительной сети увеличивается по мере приближения к источнику питающего напряжения, а значение энергетических потерь возрастает квадратично по мере приближения к источнику питающего напряжения осветительной линии. Это делает неэкономичным построение осветительной сети с использованием подводящих кабелей постоянного сечения, поскольку такие кабели должны быть рассчитаны на максимальную токовую нагрузку, присущую только начальному участку осветительной линии. На остальных участках осветительной линии материал токоведущей жилы используется нерационально.

Другой особенностью эксплуатации осветительных сетей является требование высокого значения коэффициента мощности, что делает напряжение и потребляемый ток синфазными величинами.

Рассмотрим схему замещения участка осветительной сети, содержащую источник питающего напряжения E , элемент, эквивалентирующий падение напряжения в линии с сопротивлением r , и потребитель с характеристиками источника тока (рис. 3).

Активную мощность нагрузки выберем постоянной (150 Вт). Активную мощность потребителя можно определить как

$$P = U \times I \times \cos \varphi, \quad (1)$$

где φ — угол сдвига фаз между током и напряжением.

С другой стороны, величина напряжения E определяется векторной суммой напряжения на сопротивлении r_i и напряжения на потребителе:

$$E = \sqrt{U^2 + (Ir)^2 + 2Ulr \cos \varphi}. \quad (2)$$

Выразим I из (1) и подставим в (2):

$$I = \frac{P}{U \cos \varphi}. \quad (3)$$

$$E = \sqrt{U^2 + \left(\frac{P}{U \cos \varphi} \times r\right)^2 + 2P \times r}. \quad (4)$$

Решая уравнение (4), получим выражение для U в диапазоне углов $\varphi = 0 \dots 90^\circ$ (5).

$$U(\varphi) = \sqrt{\frac{E^2}{2} - 2P \times r + \sqrt{(4E^4 - 32E^2 P \times r)(1 - \sin^2(\varphi)) - 64(P \times r \times \sin \varphi)^2}}{4 \cos \varphi}. \quad (5)$$

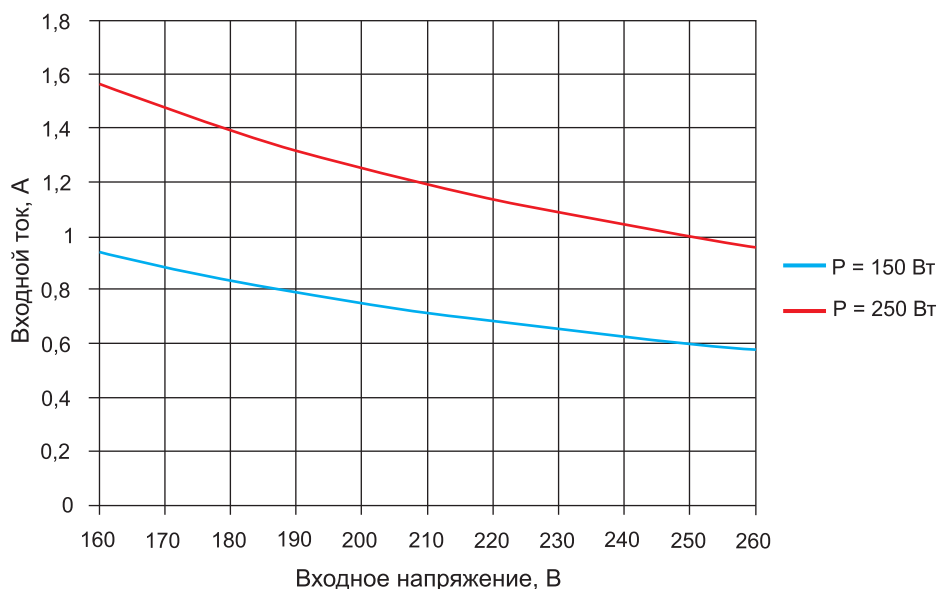


Рис. 1. Зависимость потребляемого тока от питающего напряжения в условиях стабилизации мощности

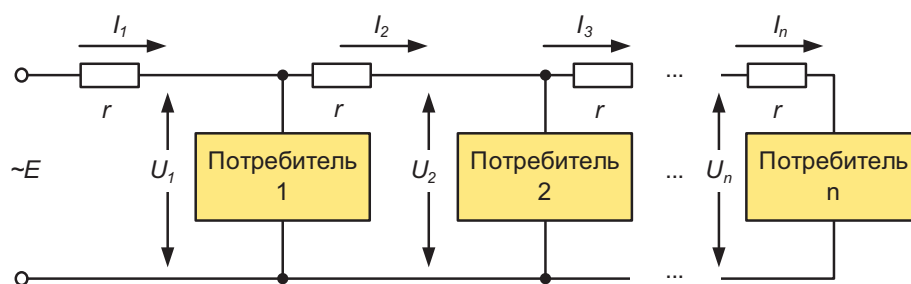


Рис. 2. Топология осветительной сети

На рис. 4 представлена зависимость напряжения на потребителе U от угла сдвига фаз между током и напряжением на нем φ . Для наглядности поведения напряжения U принято эквивалентное сопротивление линии $r = 10$ Ом. В других диапазонах изменения углов картина симметрична.

Таким образом, применение корректора коэффициента мощности позволяет сформировать наибольшее напряжение на потребителях питающей осветительной линии, а также уменьшить энергетические потери.

Все эти особенности приводят к необходимости учета поведения питающей сети при проектировании высокоэффективных электронных преобразователей для светотехнических устройств.

Как показано выше, в условиях реальной эксплуатации напряжение питания варьируется в более широких пределах по сравнению с рекомендованными ГОСТ 29322-92. Поэтому важно анализировать поведение электронного преобразователя в условиях эксплуатации в широком диапазоне напряжений питающей сети.

Превышение напряжением питающей сети определенной величины может привести к выходу из строя компонентов,

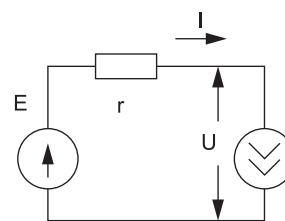


Рис. 3. Схема замещения участка осветительной сети

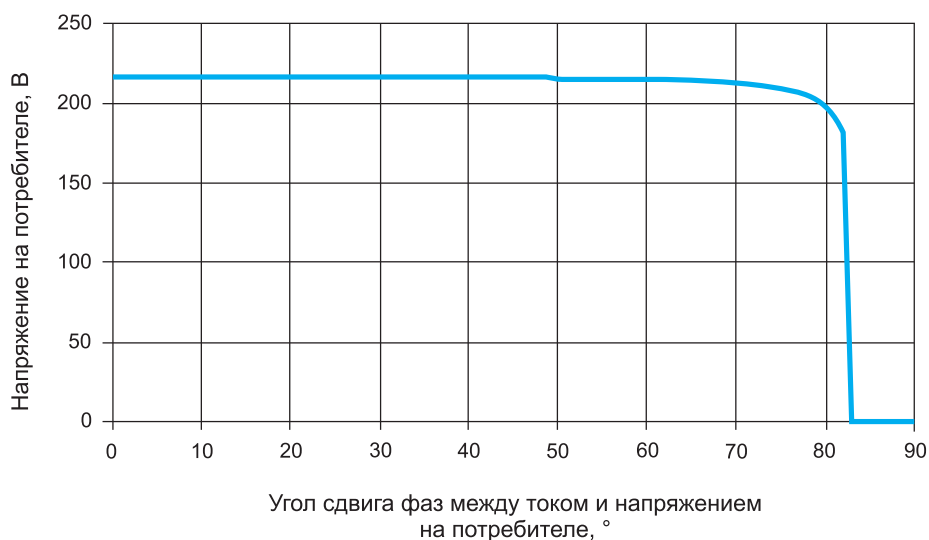


Рис. 4. Зависимость напряжения на потребителе от угла сдвига фаз между током и напряжением

используемых в составе электронных преобразователей. Поэтому при проектировании следует осуществлять выбор электронных компонентов в соответствии с их рабочим напряжением.

Уменьшение напряжения питающей сети в условиях стабилизации мощности приводит к увеличению потребляемого тока преобразователя. При этом необходимо обращать внимание на расчет токоведущих фрагментов электронных преобразователей в условиях эксплуатации при пониженном напряжении, чтобы не допустить их перегрева и выхода из строя.

Современной тенденцией разработки электронных преобразователей должно стать обеспечение их эксплуатационных характеристик при выходе входных напряжений за пределы рабочего диапазона. Наиболее эффективным решением поставленной задачи является применение микроконтроллера, который анализирует состояние напряжения и определяет стратегию поведения преобразователя в текущих условиях его эксплуатации.

Важной функцией, повышающей надежность электронного преобразователя, становится защита от включения его в линейное напряжение (380/400 В). Типовыми способами решения этой задачи являются использование электронного ключа на входе преобразователя, обеспечивающего обесточивание силовой части преобразователя, или построение силового преобразователя по структуре со звеном постоянного тока, имеющим номинал выходного напряжения выше, чем

амплитуда выпрямленного напряжения питающей сети. В первом случае структура имеет технологические неудобства, связанные с необходимостью формирования гальванически развязанного дополнительного источника, который управляет работой ключа. Во втором — структура преобразователя остается типовой [3], но применяются более высоковольтные компоненты и меняется режим работы преобразования. В этом случае подача линейного напряжения на вход преобразователя приводит к обесточиванию вторичного преобразователя. Такая структура стала возможной в реализации благодаря появлению высоковольтных транзисторов, выпрямительных диодов и конденсаторов. Использование высоковольтных конденсаторов, в свою очередь, предопределяет возможность применения неэлектролитических конденсаторов в качестве накопителей энергии на выходе звена корректора коэффициента мощности.

В условиях, когда напряжение становится ниже допустимого предела, электронный преобразователь снижает выходную мощность с целью ограничения потребляемого тока на заданном уровне.

Таким образом, высокая эффективность электронных преобразователей с режимом стабилизации выходной мощности обуславливает их отрицательное входное динамическое сопротивление, которое, в свою очередь, усиливает неравномерность токовой нагрузки фрагментов осветительной сети и приводит к рас-

ширению требуемого рабочего диапазона напряжений преобразователей.

Падение напряжения на элементах распределительной линии и токовая нагрузка линии сильно неравномерны при постоянном сечении распределительных кабелей, особенно в осветительных сетях, содержащих потребители с функцией стабилизации мощности.

Использование активного корректора коэффициента мощности приводит к уменьшению энергетических потерь в сети.

Применяемые в осветительных сетях электронные преобразователи должны сохранять свои эксплуатационные характеристики в широком диапазоне рабочих напряжений, поскольку диапазон изменения питающих напряжений в реальных осветительных сетях достаточно широк, а функция стабилизации мощности электронных преобразователей способствует еще большему его расширению. ●

Литература

- ГОСТ 29322-92 (МЭК 38-83) Стандартные напряжения. <http://docs.cntd.ru/document/gost-29322-92>
- ГОСТ 21128-83 Системы электроснабжения, сети, источники, преобразователи и приемники электрической энергии. Номинальные напряжения до 1000 В. <http://docs.cntd.ru/document/gost-21128-83>
- Вставская Е. В., Константинов В. И., Пожидай М. М., Хатеева В. В. Двухступенчатые электронные преобразователи энергии с несимметричным полумостовым инвертором // Полупроводниковая светотехника. 2012. № 3.
- Вставская Е. В., Вставский А. Ю., Константинов В. И., Пожидай М. М. Особенности эксплуатации светодиода как высокоэффективного и надежного светозлучающего элемента // Полупроводниковая светотехника. 2011. № 5.
- Вставская Е. В., Константинов В. И., Пожидай М. М. Построение источников тока для возбуждения светодиодов на базе структуры обратного преобразователя // Полупроводниковая светотехника. 2012. № 1.
- Вставская Е. В., Константинов В. И., Хажиев Р. А. Дистанционный контроль состояния управляемых осветительных систем // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». 2013. Том 13. № 1.