

Новые области применения пьезотрансформаторов

Пьезотрансформаторы находят широкое применение в современной светотехнической аппаратуре и приборах. Они позволяют минимизировать габариты устройств зажигания и питания различного класса газоразрядных ламп, создавать высокоэффективные высокочастотные источники питания с КПД до 95%, обеспечивающие повышение долговечности ламп в 5–10 раз и светоотдачу более чем в 1,4 раза. Применение пьезотрансформатора обеспечивает два режима: зажигание и питание ламп, позволяет отказаться от индуктивных, конденсаторных и некоторых активных компонентов в источниках питания и, соответственно, повысить надежность и снизить себестоимость изделий.

**В.М. Климашин,
В.Г. Никифоров,
А.Я. Сафронов,
В.К. Казаков**

Введение

Основные тенденции развития источников света, направленные на повышение светоотдачи, долговечности, компактности, энергоэкономичности, комфортности освещения с использованием традиционных (электротехнических) средств в настоящее время практически полностью реализованы.

Новые перспективы открывает использование в источниках света современных электронных компонентов. С помощью технологии БИС осуществлена миниатюризация интегральных микросхем. Однако помимо электронных компонентов в конструкциях преобразования энергии, устройства питания источников света широко используются классические электромагнитные трансформаторы. Создание миниатюрного электромагнитного трансформатора связано со значительными трудностями, так как при уменьшении габаритных размеров в нем резко возрастают потери, связанные с поверхностным эффектом, малым сечением проводов и эффектом гистерезиса в материале сердечника. Кроме того, при уменьшении размеров увеличивается плотность магнитного излучения, что требует дополнительной экранировки. Решение данной проблемы — это использование пьезоэлектрического трансформатора, в котором осуществляется двойное преобразование электромеханической энергии при коэффициенте трансформации, позволяющем адаптировать его применение к требуемым уровням выходных напряжений, и с КПД более 95%. Вероятно пьезотрансформаторы найдут широкое применение при создании миниатюрных устройств зажигания и систем питания ламп следующего поколения благодаря своим характеристикам:

- минимизация конструктивных решений;
- малые шумы;
- обеспечение высокой гальванической изоляции;
- хорошая изоляция и невоспламеняемость;
- возможность работы на высоких частотах более 500 кГц;
- нечувствительность к магнитным полям.

Пьезоэлектрический трансформатор

Впервые конструкция пьезотрансформатора (рис. 1) была запатентована в 1956 году американским ученым Розеном.

Пьезотрансформатор представляет собой монолитную конструкцию различной формы (прямоугольный, квадратный, кольцевой, цилиндрический), изготовленную из пьезокерамического материала. На часть внешних поверхностей наносятся методом вжигания серебряные электроды (толщина слоя 6–12 мкм). Для получения пьезоэлектрических свойств пьезотрансформатор поляризуется при его размещении в сильном электрическом поле.

В зависимости от направления поляризации пьезотрансформаторы подразделяются на поперечно-продольные, поперечно-поперечные и продольно-продольные [1]. После поляризации к электродам припаиваются электрические контакты.

В последние годы разработаны принципиально новые конструкции пьезотрансформаторов — многослойные. Конструкция многослойных пьезотрансформаторов состоит из чередующихся тонких слоев (пьезокерамика толщиной 100–200 мкм) и электродов (платина или платиново-палладиевый материал). Технология изготовления аналогична стандартной технологии изготовления многослойных конденсаторов. Данная конструкция позволяет обеспечить высокую плотность мощности пьезотрансформатора (до 40–50 Вт/см²), и соответственно уменьшить габариты в 3–5 раз по сравнению с традиционным пьезотрансформатором, а также позволяет работать на низкоомную нагрузку с высоким КПД.

По аналогии с электромагнитными трансформаторами с помощью электродов формируются две секции — входная и выходная (рис. 1).

Принцип действия основан на двойном преобразовании энергии: во входной секции (секции возбуждения) электрическая энергия преобразуется в механическую, а в выходной секции механическая энергия преобразуется в электрическую.



Рис. 1.

а) Пьезотрансформатор типа Розена с продольно-поперечной поляризацией. (Стрелками указано направление поляризации.)
 б) Пьезотрансформатор с продольно-поперечной поляризацией. (Стрелками указано направление поляризации.)

Основной особенностью работы пьезотрансформатора является резонансный характер преобразования энергии в сравнительно узкой полосе частоты. Максимальные значения основных параметров пьезотрансформаторов — коэффициента трансформации, КПД, выходной мощности — достигаются при его работе на резонансной частоте. При подключении к пьезотрансформатору на выход активного сопротивления в его механическую систему вносится дополнительное затухание, что приводит к изменениям значений основных параметров, то есть возможна оптимизация одного из основных параметров путем изменения величины нагрузки.

В основном применяются два типа пьезотрансформаторов:

- пьезотрансформаторы Розена с продольно-поперечной поляризацией;
- пьезотрансформаторы с поперечно-поперечной поляризацией (квадрат-кольцо).

Конструкция пьезотрансформатора Розена из-за высокого внутреннего импеданса не пригодна для передачи больших мощностей на выходную нагрузку, но обеспечивает высокий коэффициент трансформации от 100 до 10000 при выходной мощности не выше 5–10 Вт (рис. 1, а).

Пьезотрансформаторы с поперечно-поперечной поляризацией (рис. 2) имеют коэффициент трансформации 10 и менее, но обеспечивают на низкоомной нагрузке выходную мощность до 50 Вт.

Пьезоэлектрический трансформатор в системах питания ламп

В 1980-е — 1990-е годы в СССР проводились исследования возможности использования пьезотрансформаторов в системах зажигания устройств газоразрядных ламп [2] и питания люминесцентных ламп [3].

Исследования показали принципиальную возможность создания ЗУ и систем питания люминесцентных ламп. Однако сложные конструктивные и схемные решения с применением элементной базы 1980-х годов не позволили реализовать применение пьезотрансформаторов в схемах включения и питания ламп.

Современная элементная база, значительная эволюция в области пьезотехники, новые конструктивные решения по оптимизации параметров пьезотрансформаторов, а также разработка новых высокоэффективных супертонких люминесцентных ламп типа Т-5 и Т-8 с диаметром разрядной колбы 16 мм,

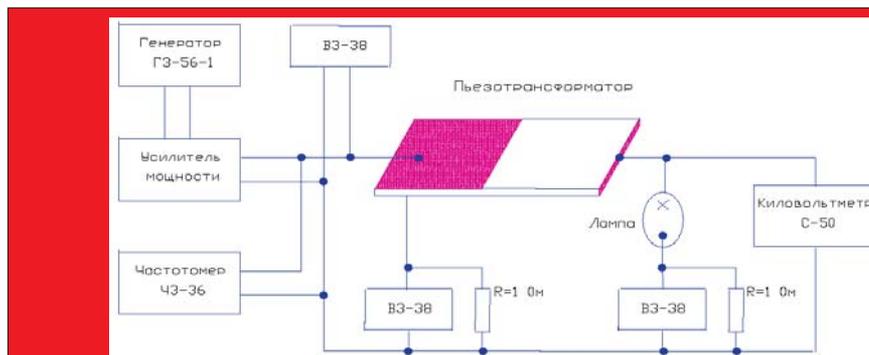


Рис. 2. Принципиальная схема измерений параметров ЗУ на основе пьезотрансформаторов, а также газоразрядных ламп

которые работают в высокочастотных режимах, позволяют сформировать и реализовать высокоэффективные источники включения и питания люминесцентных ламп на одном пьезотрансформаторе.

В последние годы за рубежом опубликован цикл работ, в которых обосновано применение пьезотрансформаторов в различных устройствах питания люминесцентных ламп — типа Т-5, Т-8 и ламп с холодным катодом.

В одной из работ было проведено цифровое и аналитическое моделирование пьезотрансформаторов, представляющих классическую конструкцию, предложенную Розеном [4]. Расчеты проводились методом эквивалентных схем с использованием программы ANSYS. Теоретические исследования сопоставлялись с экспериментальными результатами. Получено удовлетворительное совпадение теоретических и экспериментальных результатов, что позволяет осуществлять расчет оптимальных конструкций пьезотрансформаторов под конкретные условия работы.

Теоретически и экспериментально показана зависимость входной и выходной мощности, входного и выходного напряжения, коэффициента трансформации и КПД от частоты и величины нагрузки. Причем, максимальным значениям этих величин соответствуют различные значения выходной нагрузки. Максимальные значения электрических параметров имеют место на резонансной частоте, которая определяется его конструкцией и используемым пьезокерамическим материалом.

Зависимость основных параметров от частоты позволяет управлять ими путем частотной модуляции.

Следует отметить, что пьезотрансформаторы Розена, имеющие низкое значение выходных токов, могут быть использованы

в устройстве зажигания газоразрядных ламп и системах питания лампы со значениями рабочих токов 5–10 мА, то есть люминесцентных ламп с холодным катодом.

В работе [5] теоретически и экспериментально приведено сравнение двух вариантов электронных пуско-регулирующей аппаратуры (ЭПРА) для тонких люминесцентных ламп типа Т-5 и Т-8. Рассматривалась традиционная схема электронного ПРА со сложным резонансным контуром и схема на основе пьезотрансформатора. Применение пьезотрансформатора позволяет отказаться от индуктивных и конденсаторных компонентов, используемых в обычных ЭПРА, что повышает надежность ЭПРА и снижает его себестоимость.

При работе пьезотрансформатора коммутация в балластной цепи осуществлялась в режиме ZVS (коммутация при нулевом напряжении), что существенно снижает потери в ключе.

Кроме того, внутренняя входная емкость пьезотрансформатора улучшает работу мостовых ключей, так как работает в качестве демпфера.

Указанные технические решения позволили создать ЭПРА на пьезотрансформаторе, обеспечивающим выходную мощность 32 Вт (частота 81 кГц), КПД 90% при питании от сети 110 В 60 Гц для питания Т-8 длиной 120 см. В ЭПРА использовалась конструкция пьезотрансформатора, имеющего форму квадрата, с малым коэффициентом трансформации с выходной мощностью до 40 Вт.

В работе 6 была оптимизирована конструкция прямоугольного пьезотрансформатора (31,5×31,5×2,5 мм) предназначенного для ЭПРА люминесцентной лампы типа Т-5 мощностью 28 Вт. Создана и исследована ЭПРА на основе пьезотрансформатора, работающая на частоте 65–69 кГц, обеспечиваю-

Таблица 1. Параметры ЗУ на основе пьезотрансформатора для поджига газоразрядных ламп

№	Тип газоразрядной лампы	Параметры ЗУ на основе пьезотрансформатора		
		частота кГц	напряжение В	ток дуги мА
1	Импульсные лампы накачки лазеров типа ИМП-3,5,7	40÷60	3÷5	5÷10
2	Дуговые ксеноновые лампы мощностью 100÷1000 Вт	40÷60	1÷3	2÷5
3	Натриевые лампы высокого давления мощностью 70÷400 Вт	40÷60	5÷6	5÷10

шая надежную работу люминесцентной лампы типа Т-5 с КПД 97% и мощностью 30 Вт.

В работе [7] показана возможность создания ЭПРА для питания люминесцентной лампы типа Т-5 мощностью 8 Вт на основе пьезотрансформатора кольцевой формы ($\varnothing 23 \times \varnothing 6 \times 1,0$ мм). ЭПРА работала на частоте 96,6 кГц с КПД 98%. Данный пьезотрансформатор имел более чем в 10 раз большую мощность, чем пьезотрансформатор Розена.

Экспериментальные исследования

На основе анализа зарубежных теоретических и экспериментальных исследований в ОАО «Элпа» проведены предварительные исследования систем зажигания различного класса газоразрядных ламп, ЭПРА для люминесцентных ламп с холодным катодом типа Т-5 на основе пьезотрансформаторов на отечественной элементной базе и с учетом достижений в области разработки пьезоизделий.

Зажигающее устройство на основе пьезотрансформатора

Для высоковольтных ЗУ газоразрядных ламп и люминесцентных ламп с холодным катодом исследовался пьезотрансформатор Розена, который обеспечивает высокие выходные напряжения и выходную мощность до 6 Вт.

Конструкция пьезотрансформатора Розена представляла собой брусок длиной 50, толщиной 12 и шириной 3–5 мм, изготовленный из пьезокерамического материала типа ЦТС-43. Половина (входная секция) трансформатора поляризована в направлении толщины, а другая (выходная секция) поляризована в направлении длины. Два электрода расположены на лицевых поверхностях входной секции, а третий электрод — на торцевой стороне выходной секции. Электроды наносились на поверхность методом вжигания серебряной пасты. Толщина серебряного электродного покрытия — 6–10 мкм. После поляризации, режим которой обеспечивает приобретение пьезотрансформатором требуемых пьезоэлектрических характеристик, к электродам припаялись входные и выходные электрические контакты (из медной проволоки диаметром 2 мм) с помощью припоя типа ПСР2.

Исследования проводились на установке, принципиальная схема которой приведена на рис. 2.

С помощью звукового генератора осуществлялась настройка на его резонансную частоту ≈ 66 кГц. Слабый сигнал усиливался усилителем мощности и подавался на входную секцию пьезотрансформатора. Контроль частоты осуществлялся частотомером. Напряжение на входе измерялось вольтметром ВЗ-38, на выходе — киловольтметром С-50. С помощью токовых шунтов на входной секции ($R = 10$ Ом) и на выходной секции ($R = 1$ Ом)

измерялся ток во входной и выходной цепи пьезотрансформатора.

Исследовалась партия пьезотрансформаторов $50 \times 12 \times 3,5$ в количестве 10 шт. Исследования проводились в режиме холостого хода и при подключении на выход пьезотрансформатора нагрузки вместо газоразрядной лампы.

На рис. 3, 4 приведена зависимость выходного напряжения и входного тока в режиме холостого хода от входного напряжения. Приведены данные, усредненные по измерениям 10 образцов. Разброс от образца к образцу не превышал $\pm 3\%$. В измеренном диапазоне наблюдается практически линейная зависимость выходного напряжения и входного тока от входного напряжения. Это позволяет рассчитать режим работы пьезотрансформатора в ЗУ газоразрядных ламп по нормированному значению напряжения зажигания конкретного типа газоразрядной лампы.

На рис. 5 представлены результаты измерений КПД и коэффициента трансформации от выходной проводимости.

Зависимость носит нелинейный характер и может быть аппроксимирована для КПД в виде

$$y = ax^2 + dx - k,$$

а для коэффициента трансформации в виде экспоненты:

$$y = Ae^{-bx}$$

Следует отметить, что существует минимальное значение нагрузки, при котором значение КПД имеет максимальное значение. Данная закономерность позволяет для каждого конкретного типа лампы (ее импеданса) рассчитать оптимальную конструкцию пьезотрансформатора, позволяющую осуществить в режиме поджига газоразрядных ламп переход от режима самопробоя (режим холостого хода) в режим маломощной высокочастотной «дежурной» дуги.

В таблице 1 приведены результаты исследований различных типов газоразрядных ламп при их включении в схему с пьезотрансформатором. Результаты исследований подтверждают возможность создания ЗУ для газоразрядных ламп. В начальный период при работе ламп в холостом состоянии пьезотрансформатор обеспечивает оптимальное значение напряжения самопробоя разрядного промежутка при минимальном значении тока. С развитием канала разряда и соответствующем снижении сопротивления лампы пьезотрансформатор автоматически уменьшает значение величины напряжения и увеличивает ток. В этом режиме он обеспечивает стабильность поддержания режима горения лампы на высокой частоте, аналогичную включению лампы в режиме «маломощной дежур-

ной дуги». Маломощная дежурная дуга обеспечивает более стабильное положение столба разрядов в пространстве и стабилизирует пятно разряда на катоде, снижает распыление электродов, повышает ресурс работы лампы.

Помимо внутреннего поджига возможно создание ЗУ на базе пьезотрансформатора для внешнего поджига газоразрядных ламп. Были проведены исследования возможности поджига ламп накачки лазеров и дуговых ламп при подаче напряжения от пьезотрансформатора на нихромовую проволоку, намотанную на колбу лампы. Лампы уверенно поджигались при напряжении 1,5–2 кВ.

Однако, как показали исследования, длина провода от ЗУ до колбы лампы должна быть минимальной. Измерения зависимости напряжения на лампе от длины провода показали, что при длине более 250 мм емкость проводника составляет 50% значения выходной емкости пьезотрансформатора, и на высокой частоте в проводнике возникают потери. Для снижения потерь можно осуществить поджиг лампы высоковольтным выпрямленным напряжением при включении между выходом пьезотрансформатора и лампой схемы удвоения напряжения на двух высоковольтных диодах.

Результаты исследований подтверждают возможность создания ЗУ для газоразрядных ламп на базе пьезотрансформатора, которые имеют перед традиционными ЗУ ряд преимуществ:

- обеспечивают минимизацию габаритов и веса;
- невосприимчивы к электромагнитным полям и не требуют экранировки;
- устойчивы к возникновению короткого замыкания, пожаробезопасны.
- высокая гальваническая развязка позволяет включить ЗУ непосредственно в цепь питания лампы и поддерживать в лампе непрерывно высокочастотную маломощную дугу.

В настоящее время одними из наиболее динамично развивающихся электронных устройств являются тонкие дисплеи с ЖК-экранами (типа FED). Одним из требований является разработка миниатюрного высоковольтного источника питания люминесцентных ламп с холодным катодом для подсветки экранов мощностью до 9 Вт в объеме, не превышающем 20 см³.

Ассортимент ламп с холодным катодом, выпускаемых за рубежом для подсветки ЖК-экранов 8 приведен в таблице 2 (номинальное значение тока 5 мА). Высокие напряжения поджига и рабочие напряжения в лампах с холодным катодом можно обеспечить с помощью пьезотрансформатора Розена (выходная мощность до 10 Вт).

Исследовалась возможность применения пьезотрансформатора $50 \times 12 \times 3,5$ в схеме питания люминесцентной лампы с холодным катодом (рис. 2). Объектом исследований была люминесцентная лампа с холодным катодом (диаметр 2 мм, длина разрезного промежутка 235 мм), применяемых для подсветки ЖК-экрана ноутбука фирмы Toshiba — 105 CS/528.

Расчет показывает, что сопротивление лампы в номинальном режиме работы (напряжение на лампе 610 В, ток 5 мА) составляет

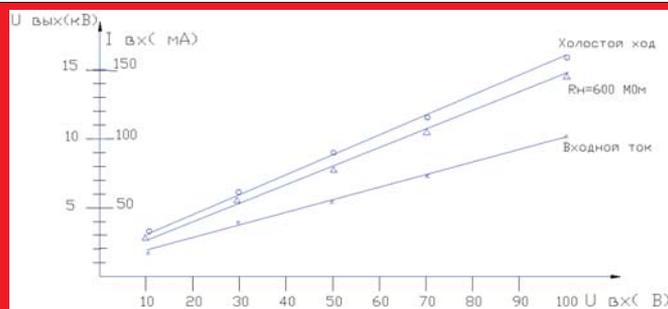


Рис. 3. Зависимость выходного напряжения и входного тока в режиме холостого хода от входного напряжения

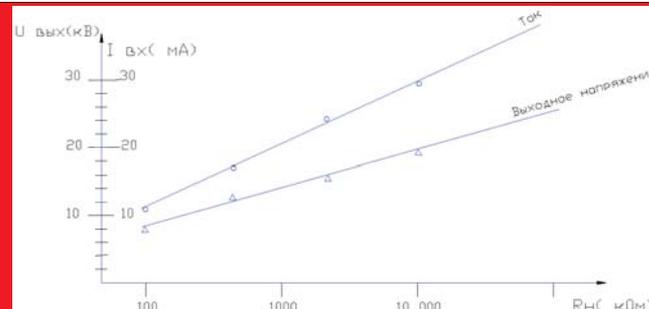


Рис. 4. Зависимость напряжения на выходе и входного тока от величины нагрузки (входное напряжение 30 В, частота 66 кГц)

120 кОм. Напряжение зажигания лампы не менее 1100 В.

Из анализа данных обследований пьезотрансформатора (рис. 3, 4) следует, что в режиме холостого хода он обеспечивает надежное зажигание лампы и в номинальном режиме работы лампы (сопротивление 120 кОм) обеспечивает напряжение горения 750–800 В.

При заданном значении входного сопротивления КПД трансформатора имеет величину, близкую к максимальному значению ~90 (рис. 5), при этом значение импеданса трансформатора было сравнимо с величиной нагрузки.

При включении лампы в схему (рис. 2) исследовалась вольтамперная характеристика. Время выхода лампы на режим составляло ~0,2 с. Минимальное значение напряжения зажигания — 950 В, напряжение горения — 640 В, ток — 4,8 мА, КПД составил 92% при входном напряжении 27 В.

Исследования подтвердили возможность создания ЭПРА на основе пьезотрансформаторов типа Розена для люминесцентных ламп с холодным катодом (мощностью до 10 Вт), обеспечивающих надежную работу ламп с КПД не менее 92% на частотах в диапазоне 60–80 кГц. Применение пьезотрансформатора позволяет создать ЭПРА с минимальными габаритами и весом, исключает применение ряда электронных компонентов, используемых в традиционных ЭПРА, повышает надежность, обеспечивает эффективную работу с КПД не менее 92%.

Высокая частота обеспечивает увеличение яркости ламп на 10–15%. Резонансный характер ЭПРА на основе пьезотрансформатора позволяет за счет изменения частоты управлять параметрами лампы, в частности варьировать мощность на лампе и тем самым регулировать яркость в диапазоне от 200:1 до 2000:1. Этот режим используется при работе ламп в качестве источника подсветки ЖК-экранов.

ЭПРА на основе пьезотрансформатора для люминесцентных ламп типа Т-5, Т-8

Фронтальный переход при разработке и производстве большинства световых приборов для внутреннего освещения на тонкие прямолинейные люминесцентные лампы типа Т-5, которые работают только с ЭПРА, требует разработки качественных ЭПРА для этих высокоэффективных ламп.

Как было показано выше, возможно использовать пьезотрансформатор с попереч-

Таблица 2. Зарубежные лампы с холодным катодом

№	Конструкция лампы		Эксплуатационные параметры			
	Диаметр, мм	Длина разрядного промежутка, мм	Напряжение, В		Мощность Вт	Яркость кд/м ² ×10 ²
			Зажигания	Рабочее		
1	4,1	76÷530	350÷1000	250÷850	1,25÷9,0	14÷18
2	3,0	80÷500	550÷1050	270÷950	1,4÷5,0	28÷30

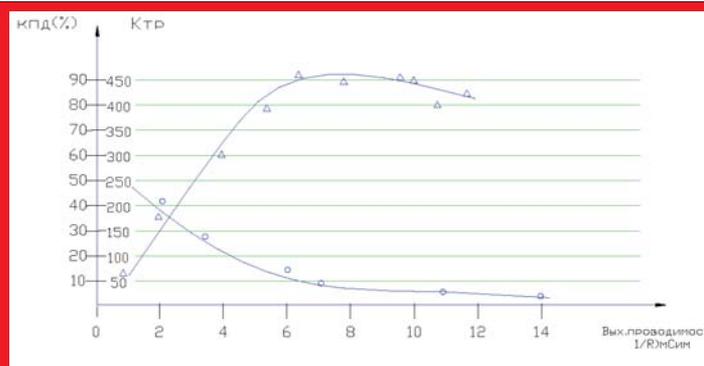


Рис. 5. Зависимость КПД и коэффициента трансформации от входной проводимости

но-поперечной поляризацией (рис. 1, б) в ЭПРА для люминесцентных ламп типа Т-5 мощностью до 50 Вт.

Исследуемый в данной работе пьезотрансформатор представляет собой монолитную конструкцию в виде прямоугольного бруска (30×30×2,5 мм), изготовленного из пьезокерамического материала типа ЦТБС.

Серебряные электроды были нанесены на плоскости пьезотрансформатора. Толщина слоя — 6–12 мкм. На внешнюю сторону наносилась покрытие общего электрода на всю поверхность с отступлениями от края 1–1,5 мм. На внешнюю поверхность с помощью специального трафарета наносился электрод выходной секции в виде круга (диаметром 13,5 мм). Входным электродом является поверхность, изображенная на рис. 1, б. Поляризация осуществлялась по толщине пьезотрансформатора. Габаритные размеры пьезотрансформатора: L = 30 мм, B = 30 мм, H = 2,5 мм, D = 15,5 мм, d = 13,5 мм.

На рис. 6 представлена принципиальная схема включения пьезотрансформатора и лампы типа Т-5. Предварительно были проведены исследования работы пьезотрансформатора на эквивалентную нагрузку. Значение эквивалентной нагрузки определялось расчетным путем. Расчетные значения сопротивления лампы типа Т-5 при работе их в номинальном режиме составляли для ламп 6÷28 Вт соответственно от 600 до 1500 Ом.

Звуковым генератором осуществлялась настройка пьезотрансформатора на резонансную частоту в диапазоне 60–70 кГц. Сиг-

нал усиливался усилителем мощности и подавался на входную секцию пьезотрансформатора. Контроль частоты осуществляется частотомером. Напряжение на входе и выходе измерялось вольтметром типа В 3-38. С помощью токовых щитов на входной (R = 10,0 м) и выходной (R = 1,0 м) секциях измерялся входной и выходной ток.

Зависимость коэффициента трансформации от частоты для различных значений сопротивления нагрузки приведена на рис. 7. С увеличением сопротивления нагрузки растет коэффициент трансформации. Зависимость аналогична для пьезотрансформатора Розена.

Зависимость КПД от сопротивления нагрузки приведена на рис. 8 и показывает, что для данной конструкции пьезотрансформатора имеется оптимальное значение сопротивления, при котором значение КПД максимальное и составляет 95%. Оптимальное значение сопротивления нагрузки соответствует значению импеданса выходной секции пьезотрансформатора.

Наблюдается линейная зависимость (рис. 9) выходной мощности от входного напряжения при различных значениях сопротивления нагрузки.

Исследовались предельные значения мощности пьезотрансформатора при работе на оптимальную нагрузку. С помощью термометра определялась температура на поверхности выходной секции пьезотрансформатора. Результаты зависимости температуры на поверхности пьезотрансформатора от мощности, рассеянной на выходной сек-

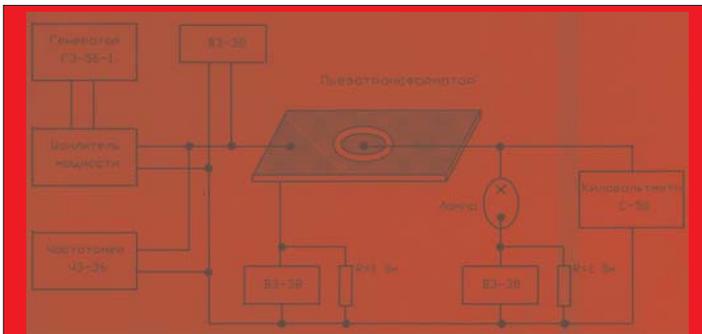


Рис. 6. Принципиальная схема измерений параметров ЭПРА на основе пьезотрансформаторов с лампой Т-5

ции, показывают, что значение предельной мощности 44 Вт вызывает нагрев пьезотрансформатора до температуры 50 °С. В течение 30 мин это значение не увеличивалось.

При включении ламп типа Т-5 (GEF8W/T5/33, GEF13W/T5/SL) проводились измерения основных эксплуатационных параметров ламп, результаты которых представлены в таблице 3.

Время выхода лампы на номинальный режим горения составляет 0,2–0,3 с без предварительного подогрева.

Таблица 3. Основные параметры ламп типа Т-5 с ЭПРА на основе пьезотрансформатора

Тип лампы	Напряжение, В		Ток, А	Мощность, Вт	КПД, %
	зажигание	горение			
GEF8W/T5/33	180	65	0,125	8	92
GEF13W/T5/SL	270	90	0,135	13	95

Анализ результатов исследований показывает, что возможно создание нового поколения высокоэффективных высокочастотных ЭПРА для питания ламп типа Т-5 при оптимизации конструкции пьезотрансформатора под конкретную лампу, сопротивление которой равно выходному импедансу пьезотрансформатора. В общем случае выходной импеданс пьезотрансформатора может быть подстроен путем изменения емкости выходной секции пьезотрансформатора — варьированием размеров выходного электрода. Другим важным требованием является необходимость обеспечения требуемого коэффициента трансформации как в режиме зажигания, так и в установившемся режиме. Изменение коэффициента трансформации достигается путем изменения соотношения площадей входного и выходного электродов.

Кроме того, коэффициент трансформации и КПД линейно зависят от параметров пьезокерамического материала (коэффициента электромеханической связи, относительной диэлектрической проницаемости, механической добротности).

Основные параметры, которые обеспечивает пьезотрансформатор в схеме его включения с лампой Т-5, — напряжение и ток показывают возможность его применения в схемах включения ламп тлеющего разряда для световой рекламы мощностью от 15 до 40 Вт (диаметр колбы ламп 10–18 мм).

Оптимизация конструктивных параметров для конкретной лампы типа Т-5 позволяет создать высокоэффективные высокочастотные ЭПРА с КПД не менее 95%, не требующие предварительного подогрева, снизить стоимость и уменьшить сложность схем электронного балласта и тем самым расширить рынок их реализации.

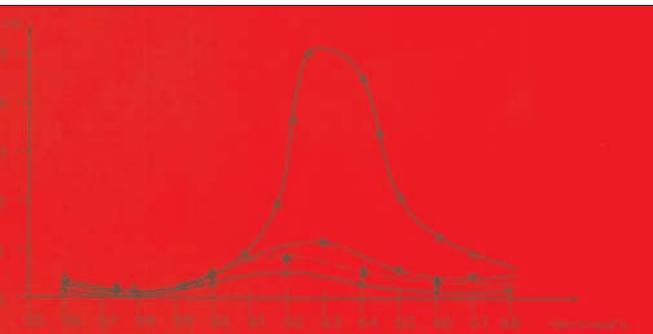


Рис. 7. Зависимость коэффициента трансформации от частоты

жением количества применяемых электронных компонентов и соответствующим снижением себестоимости изделия.

Литература

- И. А. Карташев, Н. Б. Марченко. Пьезокерамические трансформаторы тока. Киев: Техника. 1978.
- А. А. Горошкевич, В. Р. Медведь, Н. Г. Тараненко. Зажигающее устройство на пьезотрансформаторе для разрядных ламп высокого давления // Светотехника. 1993. № 1.
- А. Т. Булгаков, М. Е. Клюков, В. Р. Медведь, Н. Г. Тараненко. О работе пьезотрансформатора с люминесцентной лампой // Светотехника. 1987. № 2.
- S. Hallaert, E. Sarraute, B. Le Pionfle. Numerical and Analytical Modeling of The Piezoelectric Transformer and Experimental Verification. LiMMS/CNRS, The University of Tokio. 2001.
- Ray L. Lin, Fred C. Lee, Eric M. Baker, Dan Y. Chen. Inductor-less Piezoelectric Transformer Ballast for Linear Fluorescent Lamps. Proceedings of Power Electronics Seminar at Virginia Tech. Sept. 19–21. 1999.
- Juhyun Yoo, Kwanghee Yoon, Songmo Hwang, Sungjae Suh, Jongsun Kim, Chungsik Yoo. Electrical characteristics of high power piezoelectric transformer for 28W fluorescent Lamp. Sensor and Actuators. A90. 2001.
- Pitak Laoratanakul, Allredo Vazquez Carazo, Philippe Bovchilloux, Kenji Uchino. Unpoled Disk type Piezoelectric. Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 41. 2002.
- CCFL Cold Cathode Fluorescent Lamps. Luxx Lichttechnik GmbH. <http://www.Lightstixx.com>.

Заключение

Авторы намерены продолжить работы в направлении создания ЗУ и ЭПРА нового поколения для газоразрядных ламп на основе пьезотрансформаторов. Основные направления работ связаны с выбором оптимального состава пьезокерамического материала с заданными параметрами (коэффициент электромеханической связи, относительная диэлектрическая проницаемость, механическая добротность), оптимизации конструкции и эксплуатационных параметров пьезотрансформаторов. С учетом конструктивных решений проводятся экспериментальные и расчетные работы по выбору схем включения газоразрядных ламп со сни-



Рис. 8. Зависимость КПД от сопротивления нагрузки



Рис. 9. Зависимость выходной мощности от входного напряжения