

# Импульсные зажигающие устройства с новыми схемотехническими решениями

А.М. МАЙОРОВ, М.И. МАЙОРОВ

НИ МГУ им. Н.П. Огарёва, Саранск

E-mail: allexx1383@mail.ru, mayorovmi@mail.ru

## Аннотация

Большинство трёхвыводных отечественных импульсных зажигающих устройств (ИЗУ) не обеспечивают параметры высоковольтного импульса, определяемые руководством по эксплуатации ламп. Представлены новые схемотехнические решения, удовлетворяющие требованиям для натриевых ламп ВД, используемых в уличном освещении и тепличном облучении. Предложено разделять две функции импульсного трансформатора трёхвыводных ИЗУ – генерирование высоковольтного импульса и пропускание полного тока лампы, применив для генерирования высоковольтного импульса трансформатор с большим числом витков тонкого провода, а для пропускания полного тока лампы – высокочастотный дроссель с малым сопротивлением. Приведены вариант расчёта параметров высокочастотного дросселя и осциллограммы импульсов, генерируемых ИЗУ.

**Ключевые слова:** разрядная лампа, импульсное зажигающее устройство, высоковольтный импульс.

Известно, что выпуски пускорегулирующих аппаратов (ПРА), особенно для НЛВД и МГЛ, по-прежнему высоки и такая ситуация сохранится ещё надолго [1].

Для зажигания разрядных ламп ВД в схемах с электромагнитным ПРА необходимо, чтобы ИЗУ генерировало импульсы с определёнными амплитудой напряжения и длительностью. Так, для некоторых типов таких ламп необходимы параметры импульса, приведённые в *таблице*.

Параметры генерируемого ИЗУ импульса определяются как особенностями электронной схемы ИЗУ, так и – импульсного трансформатора, такими как коэффициент трансформации, индуктивность первичной и вторичной обмоток, ток насыщения.

Отечественными предприятиями ИЗУ, обеспечивающие параметры высоковольтного импульса, соответствующие приведённым в *таблице*, выпускаются только со схемой параллельного поджига (осциллограмма импульса приведена на рис. 1, кривая 1).

Такие ИЗУ имеют 2 вывода и подключаются параллельно лампе, включаемой в сеть последовательно с балластным дросселем, являющимся элементом ПРА и ограничивающим ток лампы. В этой схеме ток лампы не идёт через ИЗУ, что обуславливает их простоту, дешевизну и универсальность, а недостатки таких ИЗУ – в том, что высоковольтные импульсы напряжения воздействуют не только на лампу, но и на балластный дроссель, и на соединительные провода между дросселем и лампой. Это снижает надёжность ПРА, вызывает необходимость усиления изоляции балластного дросселя, вызывает зависимость параметров выходного импульса ИЗУ от длины подводящих проводов и от конструкции балластного дросселя [2].

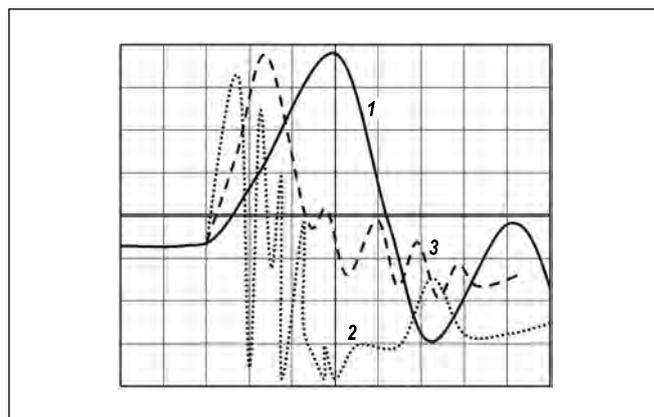
На рис. 1 приведены также осциллограммы импульсов, генерируемых ИЗУ последовательного поджига (кривые 2 и 3), из которых видно, что такие ИЗУ не обеспечивают параметры высоковольтного импульса согласно *таблице*. Так, длительность импульса на уровне 3 кВ, генериру-

емого ИЗУ 400/220В-012, составляет 0,5 мкс, а – ИЗУ Z 1000 S – 1 мкс. Применение этих ИЗУ вызывает необходимость досрочной замены ещё исправных ламп, которые не зажигаются из-за недостаточной длительности импульса. ИЗУ последовательного поджига имеют три вывода, два из которых соединяются последовательно с лампой [2]. ИЗУ последовательного поджига имеют определённые потери мощности, значительные размеры и массу (так как вторичная обмотка импульсного трансформатора должна быть рассчитана на проходящий через неё ток лампы). Однако такие ИЗУ наиболее распространены, так как не требуют усиления изоляции балластных дросселей.

Известна схема ИЗУ без импульсного трансформатора, поскольку функции последнего выполняет балластный дроссель с отводом [2]. Это позволяет получать широкий импульс напряжения большой амплитуды и уменьшать габариты, массу и стоимость ИЗУ. Такие схемы ИЗУ широко используются за рубежом, например в ИЗУ ZRM 2300C201 и ZRM 4000B101 (см. ещё статью [3]), но требуют наличия специальных балластных дросселей с отводом и усиленной изоляцией.

Известна также схема последовательно-параллельного трёхвыводного ИЗУ [4], который массово выпускался с 80-х гг., например ИЗУ 250–400ДНаТ/220. Напряжение на дросселе при генерировании зажигающего импульса этим ИЗУ не превышало 2000 В, что не требовало наличия специальных балластных дросселей с усиленной изоляцией, но по массогабаритным показателям эти устройств не многим отличались от ИЗУ последовательного поджига. Поэтому задача создания эффективно-

Рис. 1. Осциллограмма импульсов, генерируемых разными типами ИЗУ: 1 – ИЗУ-Т 70–1000 (двухвыводное); 2 – ИЗУ 400/220В-012; 3 – Z 1000 S (1000 В/дел; 1 мкс/дел; «0» – 1 клетка ниже середины экрана)



го, дешёвого трёхвыводного ИЗУ для разрядных ламп ВД большой мощности является актуальной. Она решается так, что небольшое дополнение «превращает» двухвыводное ИЗУ в трёхвыводное, устраняя недостатки двухвыводных ИЗУ [5]. Предложено разделять две функции импульсного трансформатора трёхвыводного ИЗУ – генерирование высоковольтного импульса и пропускание полного тока лампы, доверив их двум отдельным индуктивностям. Кажущееся усложнение конструкции позволяет генерировать импульсы с заранее выбранными характеристиками, используя импульсный трансформатор с большим числом витков тонкого провода, а для пропускания полного тока лампы применяя высокочастотный дроссель с малым сопротивлением, защищающий дроссель ПРА от пробоя. Это разделение оказалось особенно эффективным для ИЗУ, рассчитанного на большие токи и большие длительности импульса.

На рис. 2, а изображена схема ПРА с ИЗУ, содержащая двухвыводное ИЗУ 1, подключённое параллельно разрядной лампе 2, включённой в сеть последовательно с балластным дросселем 3 и дополнительно введённым высокочастотным дросселем 4, защищающим балластный дроссель 3 от пробоя высоковольтными импульсами ИЗУ. При этом ИЗУ 1 и высокочастотный дроссель 4 могут быть размещены в одном корпусе с тремя выводами (рис. 2, б).

ПРА с ИЗУ работает следующим образом. При включении в сеть ИЗУ 1 начинает генерировать высоковольтные импульсы преимущественно с амплитудой в 3–5 кВ, которые создают проводящий канал в межэлектродном промежутке лампы 2. В этом канале затем формируется плазма сильного разряда, питаемого через балластный дроссель 3 и высокочастотный дроссель 4 от сети. Последний ограничивает импульсное напряжение, воздействующее на балластный дроссель 3 во время генерации импульса, до предельно допустимого для данного балластного дросселя (обычно 2 кВ). После зажигания лампы 2 она шунтирует зарядную цепь ИЗУ 1, вследствие чего оно автоматически отключается. В случае незажигания или просто отсутствия лампы 2 ИЗУ 1 продолжает генерировать импульсы. В ряде случаев это ИЗУ

Рис. 2. Варианты схемы ИЗУ [5]

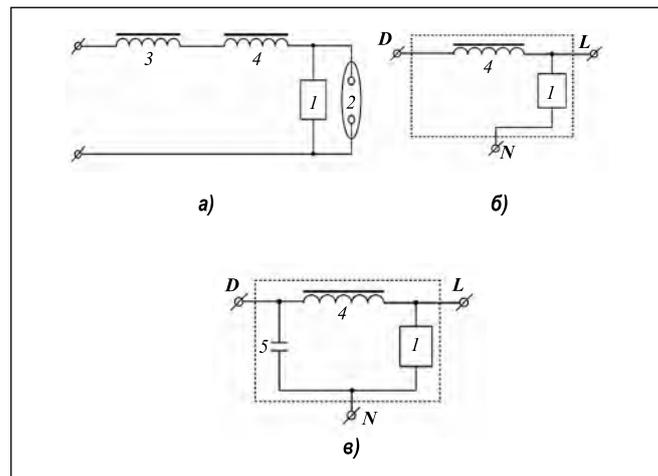
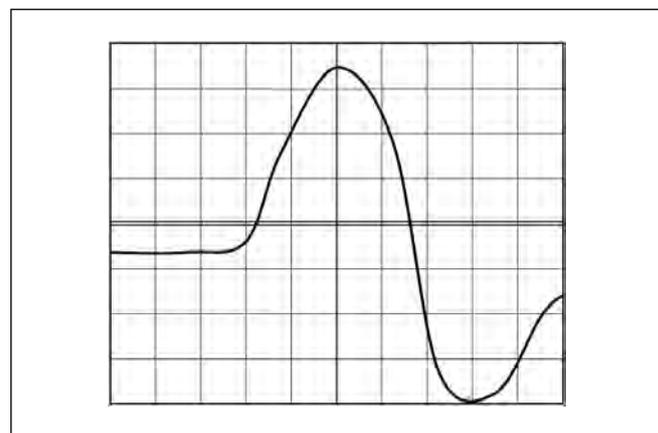


Рис. 3. Осциллограмма импульса, генерируемого ИЗУ № 1 с высокочастотным дросселем на основе сердечника ETD44. (1000 В/дел; 1 мкс/дел; «0» – 1 клетка ниже середины экрана)



снабжается блоком отключения, прекращающим генерацию импульсов при незажигании лампы 2 в течение нескольких минут (это время зависит от типа и мощности лампы, составляя 1–2 мин для НЛВД и 10–15 мин для МГЛ [2]).

В ограничении импульсного напряжения, воздействующего на балластный дроссель во время генерации импульса, предельно допустимым значением для данного дросселя, участвует не только высокочастотный дроссель, но и собственная ёмкость балластного дросселя. Однако, в ряде случаев для ограничения импульсного напряжения, воздействующего на балластный дроссель, следует вводить варистор или дополнительную ёмкость 5 (преимущественно до 2000 пФ), как показано на рис. 2, в.

Для высоковольтного импульса прямоугольной формы, генерируемого с помощью импульсного трансформатора с замкнутым магнитопроводом, произведение длительности импульса на амплитуду ограничивается размерами и максимально достижимой магнитной индукцией сердечника импульсного трансформатора  $B_{max}$ .

В соответствии с этим параметры высокочастотного дросселя выбирают в основном с помощью выражения

$$\Delta B \cdot S \cdot w \geq 0,5 \cdot \int_{t_1}^{t_2} \varepsilon(t) dt, \quad (1)$$

где  $\Delta B$  – максимально возможное, в данной схеме, изменение магнитной индукции в высокочастотном дросселе во время действия импульса ИЗУ;  $\varepsilon(t)$  – функция, описывающая зависимость напряжения от времени в импульсе, генерируемом ИЗУ; интеграл – «площадь» импульса (например, в размерности В · с);  $(t_2 - t_1)$  – длительность импульса;  $S$  – площадь поперечного сечения магнитопровода высокочастотного дросселя;  $w$  – число витков обмотки высокочастотного дросселя;

Коэффициент 0,5 перед интегралом говорит о том, что лишь часть высоковольтного импульса, генерируемого двухвыводным ИЗУ (рис. 2, а) «падает» на высокочастотном дросселе, а остальная часть оказывается приложенной к балластному дросселю. При расчётах необходимо следить за тем, чтобы эта часть не превышала пре-

Мощность НЛВД («ДНАТ»), Вт	Амплитуда импульса, В		Длительность импульса на уровне 0,5, мкс, не менее	Энергия импульса, Дж, не менее
	не менее	не более		
600	4000	5000	2,0	0,002
1000				

дельно допустимого напряжения для данного балластного дросселя.

В одном из вариантов ИЗУ (ИЗУ № 1), согласно схеме по рис. 2, б, высокочастотный дроссель был изготовлен на основе ферритового сердечника *ETD44* ( $S = 173 \text{ мм}^2$ ) без зазора из материала № 87, характеризуемого относительной магнитной проницаемостью  $\mu = 1650$ . При «площади» зажигающего импульса  $4000 \text{ В} \cdot 2 \text{ мкс}$  и  $\Delta B = 0,4 \text{ Тл}$  имеем, согласно (1),  $w > 58$ . На рис. 3 приведена осциллограмма импульса, генерируемого этим вариантом ИЗУ. При этом в качестве двухвыводного ИЗУ *1* (рис. 2, б) применено ИЗУ типа ИЗУ-Т 70–1000, осциллограмма импульса которого показана на рис. 1.

Из приведённых данных следует, что параметры импульса удовлетворяют требованиям руководства по эксплуатации, приведённым в таблице. При этом амплитуда импульса на балластном дросселе не превышает 2000 В.

По сравнению с высоковольтным импульсом, генерируемым ИЗУ *Z1000S* (рис. 1), в котором также использован ферритовый сердечник *ETD44* без зазора из материала № 87, длительность импульса в предложенном нами варианте ИЗУ в 2 раза больше и на уровне 3 кВ превышает 2 мкс.

Согласно (1), «площадь» импульса зависит от  $\Delta B$ . Для минимизации размеров и массы высокочастотного дросселя целесообразно исполь-

зовать магнитопровод из материала с высокой максимально достижимой магнитной индукцией  $B_{max}$  [6]. Для ферритов  $B_{max}$  не превышает 0,5 Тл, а для аморфного металлического сплава на основе железа она достигает 1,5 Тл. Это значит, что размеры магнитопровода, изготовленного из аморфного металлического сплава на основе железа, можно уменьшить до 3 раз по сравнению магнитопроводом, изготовленным из феррита, при достижении одинаковых параметров высоковольтного импульса. Уменьшение размеров магнитопровода позволяет уменьшить сопротивление обмотки импульсного трансформатора за счёт уменьшения длины обмоточного провода, что приводит к снижению потерь на обмотке импульсного трансформатора и экономии медного провода.

В другом варианте ИЗУ (ИЗУ № 2), согласно схеме по рис. 2, б, высокочастотный дроссель был изготовлен на основе кольцевого магнитопровода АМЕТ 5В 32·20·10 с  $S = 90 \text{ мм}^2$ , материал которого имеет  $B > 1,2 \text{ Тл}$  при магнитной напряжённости 5 А/м и  $\mu > 50000$  при 0,1 А/м. При  $w = 45$  и применении в качестве двухвыводного ИЗУ *1* (рис. 2, б) ИЗУ типа ИЗУ-Т 70–1000 осциллограмма импульса, генерируемого этим вариантом ИЗУ, совпадает с представленной на рис. 3. При этом масса высокочастотного дросселя не превышала 50 г,

а его активное сопротивление равнялось 0,03 Ом.

Уменьшение размеров магнитопровода высокочастотного дросселя при тех же параметрах высоковольтного импульса достижимо, используя его перемагничивание не от нуля до  $B_{max}$  (как это реализовано в ИЗУ № 1 и ИЗУ № 2), а от  $-B_{max}$  до  $B_{max}$  (или от  $B_{max}$  до  $-B_{max}$ ), вдвое увеличивая тем самым  $\Delta B$  [7]. Согласно (1), это позволит вдвое уменьшить  $S$ , сохранив прежнюю «площадь» импульса.

Соответственно, эти решения были реализованы в ИЗУ № 3, в котором двухвыводное ИЗУ *1* (рис. 2, б) выполнено согласно схеме по рис. 4. В нём заряжаемый через токоограничительный элемент  $R1-C2$  рабочий конденсатор  $C1$  присоединялся через коммутирующий элемент параллельно первичной обмотке импульсного трансформатора  $T$ .

Коммутирующий элемент состоял из двух последовательно соединённых между собой ключей  $K1$  и  $K2$ , общая точка соединения которых подключена через токоограничитель  $R2$  к концу дополнительной первичной обмотки, начало которой соединено с концом первичной, ключ  $K1$  соединён с началом первичной обмотки, а ключ  $K2$  – с рабочим конденсатором и токоограничительным элементом. Ключ  $K1$  включается через 0,1–10 мкс (в случае ИЗУ № 3 – через 2 мкс (рис. 5)) после включения ключа

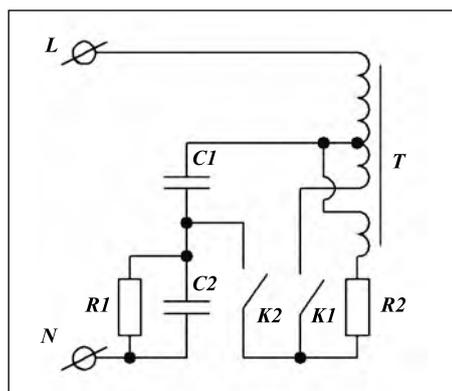
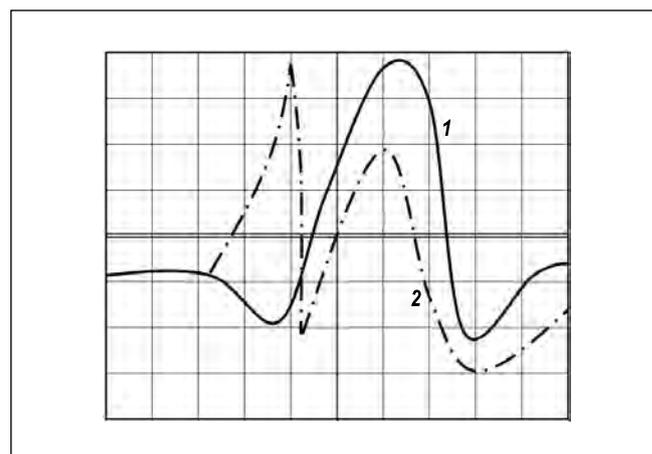


Рис. 4. Электрическая схема двухвыводного ИЗУ, применённого в ИЗУ № 3

Рис. 5. Осциллограмма импульса, генерируемого ИЗУ № 3 с высокочастотным дросселем на основе сердечника *ETD29* при включённой (1) и отключённой (2) дополнительной первичной обмотке. (1000 В/дел; 1 мкс/дел; «0» – 1 клетка ниже середины экрана)



$K2$  [7]. Ключ  $K2$  включается при заряженном до необходимого уровня рабочем конденсаторе. Силовая часть ключей  $K1$  и  $K2$  изготовлена на основе симисторов, подключённых к соответствующим схемам управления. В патенте [7] предлагается в качестве ключа  $K1$  использовать дроссель с насыщением. Благодаря схемному решению по рис. 4 двухвыводное ИЗУ 1 (рис. 2) генерирует двухполярный импульс, который сначала намагничивает высокочастотный дроссель 4 (рис. 2) в одну полярность (например, до  $-V_{max}$ ), а затем при смене полярности генерируется основной высоковольтный импульс. Высокочастотный дроссель при этом перемагничивается от  $-V_{max}$  до  $V_{max}$  и надёжно защищает балластный дроссель от пробоя, обеспечивая напряжение на нём менее 2000 В, при генерировании зажигающего импульса амплитудой до 5кВ.

На рис. 5 (кривая 1) приведена осциллограмма импульса, генерируемого ИЗУ № 3, рассчитанного на зажигание НЛВД (по таблице), в котором использованы схемотехнические решения [5, 7], изложенные выше. Видно, что параметры импульса удовлетворяют требованиям по таблице – длительность импульса на уровне 0,5 больше 2 мкс. При этом высокочастотный дроссель 4 (рис. 2) состоял из двух параллельно включённых дросселей, в качестве сердечника в которых был использован ферритовый сердечник ETD29 без зазора из материала № 87, а импульсный трансформатор  $T$  (рис. 4) имел массу 20 г. Благодаря малой материалоемкости это дало высокую экономическую эффективность данного ИЗУ. Зарубежные ИЗУ с такими параметрами, например ZRM 12ES/B, имеют вдвое большую массу, и стоимость их существенно выше.

На рис. 5 также приведена осциллограмма импульса, генерируемого ИЗУ № 3, (кривая 2) при отключённой дополнительной первичной обмотке двухвыводного ИЗУ (рис. 4). Видно, что длительность импульса на уровне 0,5 в этом случае – менее 1 мкс.

ИЗУ с параметрами импульса, удовлетворяющими требованиям по таблице, разрабатывалось для внедрения в производство совместно с АО «Кадошкинский электротехнический завод», входящим в ООО МСК «БЛ ГРУПП».

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агафонова Т.А., Клыков М.Е. Современное состояние и перспективы развития пускорегулирующих и управляющих устройств для разрядных и светодиодных источников света // Светотехника – 2017. – № 3 – С. 10–16.
2. Справочная книга по светотехнике / Под ред. Ю.Б. Айзенберга. 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Знак, 2006. – 972 с.
3. Бхаумик С., Мазумдар С., Мандал Р., Санкхиа М., Сур А.К., Упадхий С. О зажигающих устройствах для разрядных ламп ВД // Светотехника. – 2012. – № 5. – С. 65–75.
4. Справочная книга по светотехнике / Под ред. Ю.Б. Айзенберга. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 472 с.
5. Майоров М.И., Майоров А.М. Пускорегулирующий аппарат с импульсным зажигающим устройством / ПМ № 167448 РФ, 2017.
6. Майоров М.И., Майоров А.М., Горюнов В.А. Устройство для зажигания газоразрядной лампы / ПМ № 103436 РФ, 2011.
7. Майоров М.И., Майоров А.М., Горюнов В.А. Устройство для зажигания газоразрядных ламп / ПМ № 2567739 РФ, 2015.



**Майоров Александр Михайлович**, кандидат физ.-мат. наук. Окончил в 2005 г. физический факультет МГУ им. Н.П. Огарёва. Доцент кафедры «Конструкторско-технологическая информатика» НИ МГУ им. Н.П. Огарёва



**Майоров Михаил Иванович**, доктор техн. наук, доцент. Окончил в 1970 г. физический факультет МГУ им. Н.П. Огарёва. Профессор кафедры «Конструкторско-технологическая информатика» НИ МГУ им. Н.П. Огарёва

## Россия и Китай поднимают уровень сотрудничества в сфере энергоэффективности



25 апреля в Москве состоялось первое заседание Российско-Китайской Рабочей группы по энергоэффективности. Провёл заседание Заместитель Министра энергетики РФ Антон Инюцын. Китайскую делегацию возглавил заместитель руководителя Государственного комитета по развитию и реформам КНР Чжан Юн, а в её состав вошли представители крупнейших энергетических компаний Китая, таких как Китайская национальная нефтегазовая корпорация, Государственная электросетевая корпорация Китая, Государственная корпорация энергетических инвестиций и другие.

Российская делегация была представлена регионами, включая Москву и Московскую область, ключевыми энергокомпаниями, банками и институтами развития.

В рамках заседания стороны определили приоритетные направления сотрудничества, включая продвижение лучших энергоэффективных технологий и оборудования, реализацию демонстрационных проектов в сфере энергоэффективного освещения, изучение инженерных решений по сокращению потребления энергии в ключевых отраслях энергетики, финансирование мер по повышению энергоэффективности, развитие технологий smart-грид.

«Россия и Китай имеют большой потенциал снижения энергоёмкости экономики и проводят последовательную политику в этом направлении. Сотрудничество по вопросам развития энергоэффективных технологий и обмена опытом в сфере госполитики будет, безусловно, способствовать повышению энергоэффективности в наших странах», — отметил в своём выступлении сопредседатель Рабочей группы с российской стороны Антон Инюцын.

Также стороны обсудили координацию действий на энергетическом треке в рамках БРИКС, Фестиваль энергосбережения #ВместеЯрче, участие китайской делегации в Международном форуме «Российская энергетическая неделя» и российской делегации в Национальной неделе энергосбережения КНР.

По итогам заседания стороны подписали протокол и договорились провести очередную встречу в 2019 году в Китае.

25.04.2018  
www.minenergo.gov.ru