

ГЕНЕРАТОР ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ИМПУЛЬСОВ С ГАЗОРАЗРЯДНЫМ СТАРТЕРОМ ДЛЯ ЗАЖИГАНИЯ ЛАМП ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ

Аннотация. Газоразрядный стартер представлен комбинацией трех элементов: ключа, сопротивления утечки и разрядника, что позволяет расширить сферу применения стартеров, создавая на их основе устройства для зажигания газоразрядных ламп высокого давления. Параметры разрядника (напряжение пробоя) зависят от конструкции стартера, состава и давления наполняющего газа – чем больше давление газа в стартере, тем ниже его «пробивное» напряжение, чем легче газ, тем больше напряжение пробоя. Место локализации катодного пятна находится возле спая электрода со стеклом. Объяснение возникновения пробоев в стартере дано с позиции возникновения взрывной электронной эмиссии, которая обеспечивает достаточную плотность тока для такого перехода. Измеренная величина тока достигала 400 А. Для генерирования импульсов с амплитудой 15–30 кВ представлены варианты устройств со стартером и автотрансформатором (ИЗУС-А), со стартером и трансформатором (ИЗУС-Т).

Ключевые слова: генератор импульсов, стартер тлеющего разряда, генерирование импульсов.

V. A. Goryunov, A. M. Mayorov, M. I. Mayorov

HIGH-VOLTAGE PULSE GENERATOR WITH GAS-DISCHARGE STARTER FOR HIGH-PRESSURE LAMPS IGNITION

Abstract. The gas-discharge starter consists of a combination of three elements: a key, leakage resistance and a gap that allows to expand the application field of starters, creating their basis the devices for igniting high-pressure discharge lamps. Parameters of the gap (breakdown voltage) depend on the design of the starter composition and pressure of the filling gas – the more is the gas pressure in the starter, the lower is its "breakdown" voltage, the lighter is the gas the greater is the breakdown voltage. The area of the cathode spot localization is located near the junction of the electrode with glass. The occurrence of breakdowns in the starter is explained from position of an explosive electron emission occurrence, which provides sufficient current density for such a transition. The measured value of the current reached 400 A. To generate a pulse with an amplitude of 15–30 kV the authors introduce variations of devices with the starter and auto-transformer (IZUS-A), with a starter and a transformer (IZUS-T).

Key words: pulse generator, glow discharge starter, pulse generation.

Для зажигания некоторых типов ламп высокого давления необходима амплитуда импульса порядка 15–30 кВ.

Известны устройства для зажигания газоразрядных ламп, содержащие подключенный к сети переменного тока через выпрямитель с умножением напряжения конденсатор, в цепь разряда которого через газонаполненный разрядник включена первичная обмотка импульсного трансформатора, вторичная обмотка которого включена в цепь питания лампы [1].

В устройстве для зажигания газоразрядных ламп от сети переменного тока [2] один конец повышающей обмотки импульсного автотрансформатора

соединен с первым выходным выводом для подключения лампы, другой – через разделительный конденсатор со вторым выводом для подключения лампы, и первичная обмотка включена в контур, образованный тиристором и разрядным конденсатором.

Наличие в устройствах полупроводниковых приборов и других деталей ограничивает температурный диапазон их функционирования, усложняет изготовление, ведет к увеличению веса и габаритов.

При исследовании характеристик starters тлеющего разряда нами было установлено, что в эквивалентной электрической схеме включения starterа для зажигания газоразрядных ламп (рис. 1), starter S может быть представлен комбинацией трех элементов: ключа K , сопротивления утечки R_2 , разрядника P [3, 4]. Параметры разрядника P (напряжение пробоя – $U_{\max}$) зависят от конструкции starterа, состава и давления наполняющего газа. Зависимость $U_{\max}$ от давления наполняющего starterа газа для He и Ne приведена на рис. 2 (катодом включен электрод без биметалла). Starterы по конструкции не отличались от starterов 80С 220-2.

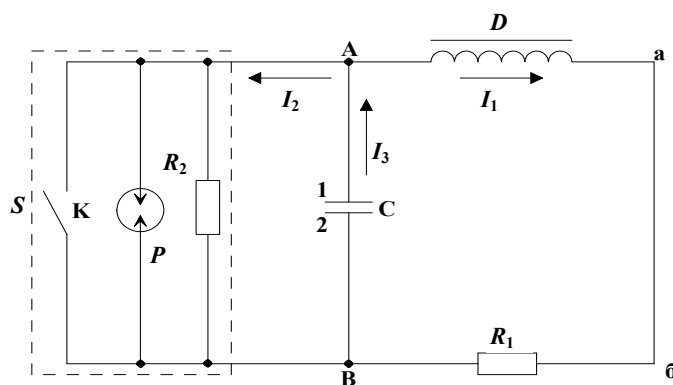


Рис. 1. Эквивалентная электрическая схема включения starterа для зажигания газоразрядных ламп

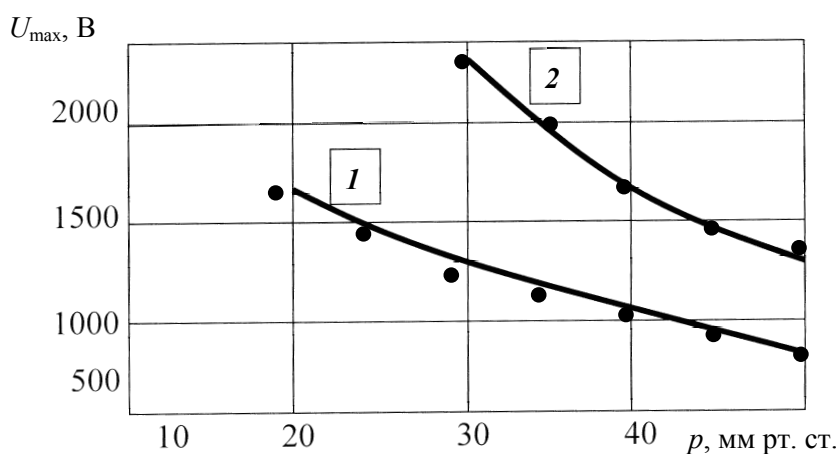


Рис. 2. Зависимость напряжение пробоя $U_{\max}$ от давления наполняющего starterа газа: 1 – Ne; 2 – He

Анализ данных графиков, указывает на закономерность: чем больше давление газа в стартере, тем ниже его «пробивное» напряжение; чем легче газ, тем больше напряжение пробоя $U_{\max}$.

Сопротивление R_2 определяется для стадии аномального тлеющего разряда в стартере.

Объяснение возникновения пробоев в стартере можно дать с позиции возникновения взрывной электронной эмиссии (ВЭЭ) [5].

Установлено, что электроны проводимости, перенося электрический ток, приносят из глубины катода к границе эмиссии среднюю энергию на один электрон, близкую к энергии Ферми. Электроны эмиссии уносят с катода среднюю энергию на один электрон, меньшую энергии Ферми. В результате в катоде вблизи границы эмиссии накапливаются горячие электроны, что приводит к локальному разогреву катода. Это приводит, в свою очередь, к локальному увеличению электросопротивления и бурному выделению джоулева тепла, что является второй составляющей теплового разрушения. При высоких плотностях тока (10^8 А/см² и выше) процесс может быть настолько интенсивным, что приводит к взрывообразному разрушению отдельных участков катода. Из продуктов эрозии катода образуется прикатодная плазма, т.е. газ, состоящий из электронов и ионов различной кратности заряда. Температура электронов $T_e = (4-5) \cdot 10^4$ К, температура ионов $T_i = 10^4$ К. Прикатодная плазма распространяется в межэлектродный промежуток со скоростью $v = (1-2) \cdot 10^6$ см/с. Эта скорость слабо зависит от приложенной межэлектродной разности потенциалов и материала катода.

Концентрация электронов в этой плазме высока, энергия связи их с положительными ионами мала, что обеспечивает высокую эмиссию электронов (плотность тока на несколько порядков выше других видов электронной эмиссии) из этого сгустка плазмы. Длительность процесса эмиссии мала (порядка нескольких микросекунд).

Результаты исследований [6] показали, что как только напряженность поля в приэлектродной области достигает величин, превышающих $2 \cdot 10^5$ В/см, аномальный тлеющий разряд переходит в низковольтную форму с катодным пятном – реализуется механизм ВЭЭ. Наиболее показательно это проявляется в стартерах – место локализации катодного пятна находится возле спая электрода со стеклом. Данный экспериментальный факт можно объяснить тем, что при работе стартера реализуется процесс напыления натрия на внутреннюю поверхность газоразрядного стартера, так как колба стартера изготовлена из стекла, в состав которого входит натрий. В месте пробоя, при возникновении ВЭЭ, поверхность электрода вместе с осевшим на ней слоем натрия взрывается и в спектре свечения появляется интенсивная линия натрия.

На рис. 3 изображен результат воздействия ВЭЭ на электрод стартера.

Хорошо видно разрушение электрода в месте контакта со стеклом. В этой области наблюдалось наиболее интенсивное излучение натрия при пробоях в стартере.

Для оценки возможных значений силы тока при пробое конденсатор емкостью 10 мкФ заряжали от источника питания до начального напряжения 200 В и подключали к электродам стартера последовательно с сопротивлением 0,1 Ом. Иницирующий высоковольтный импульс вызывал протекание тока между электродами. При этом конденсатор разряжался. Осциллограмма, характеризующая зависимость тока от времени, изображена на рис. 4. Мак-

симальное значение тока ограничивалось наличием паразитной индуктивности ~ 2 мкГн.

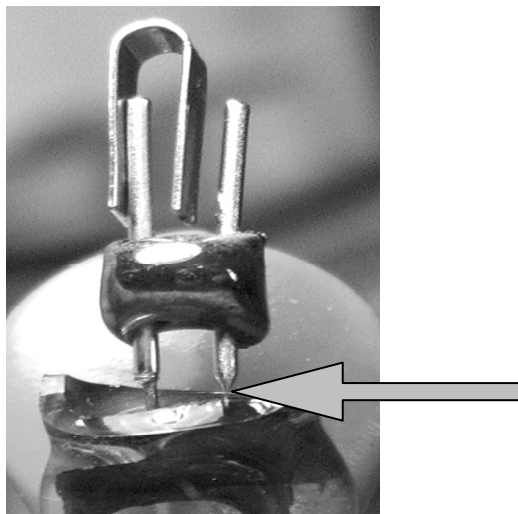


Рис. 3. Результат воздействия ВЭЭ на электрод стартера (стрелкой указана область разрушения электрода)

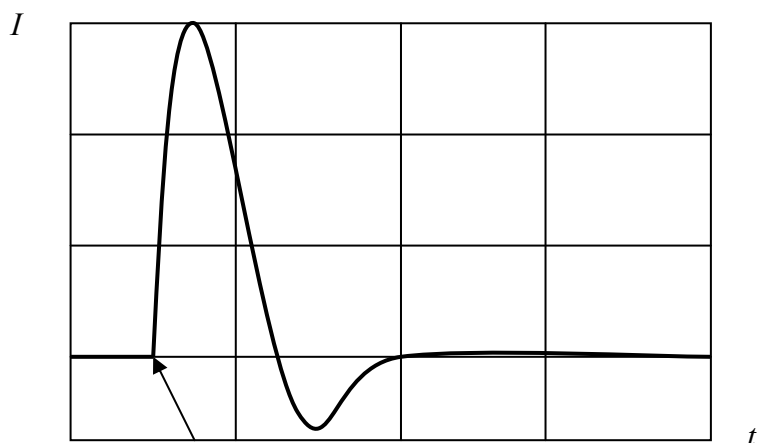


Рис. 4. Зависимость тока от времени при пробое стартера. Ток I – 130 А/дел; время t – 20 мкс/дел (стрелкой обозначен момент пробоя газоразрядного промежутка)

Результаты измерений показали, что процесс нарастания тока определялся не характеристиками электродов, не составом газового наполнения, а параметрами внешней цепи. Эмиссионные свойства электродов, их размер не являлись ограничителем тока через газоразрядный промежуток; эмиссионный ток был больше 400 А, что может быть обеспечено механизмом ВЭЭ.

Таким образом, стартер тлеющего разряда является сложным газоразрядным прибором с подвижными электродами, в котором реализуется, кроме тлеющего, и дуговой разряд с «холодным» катодом, что позволяет расширить сферу применения стартеров, создавая на их основе устройства для зажигания газоразрядных ламп высокого давления.

В разработанном нами генераторе высоковольтных импульсов с газоразрядным стартером [7], содержащим импульсный автотрансформатор, один конец повышающей обмотки которого соединен с первым выводом лампы, первичная обмотка импульсного автотрансформатора включена в контур, образованный конденсатором и стартером тлеющего разряда, общая точка которых подключена ко второму выходному выводу лампы, а сеть подключена через дроссель между вторым выходным выводом лампы и концом первичной обмотки импульсного автотрансформатора, не общим с повышающей (рис. 5, а). В устройстве исключены все полупроводниковые приборы, их функции выполняет один прибор – газоразрядный стартер. Он обеспечивает зарядку емкости до напряжения больше сетевого и ее разряд через первичную обмотку импульсного автотрансформатора, приводящий к появлению на лампе высоковольтного импульса.

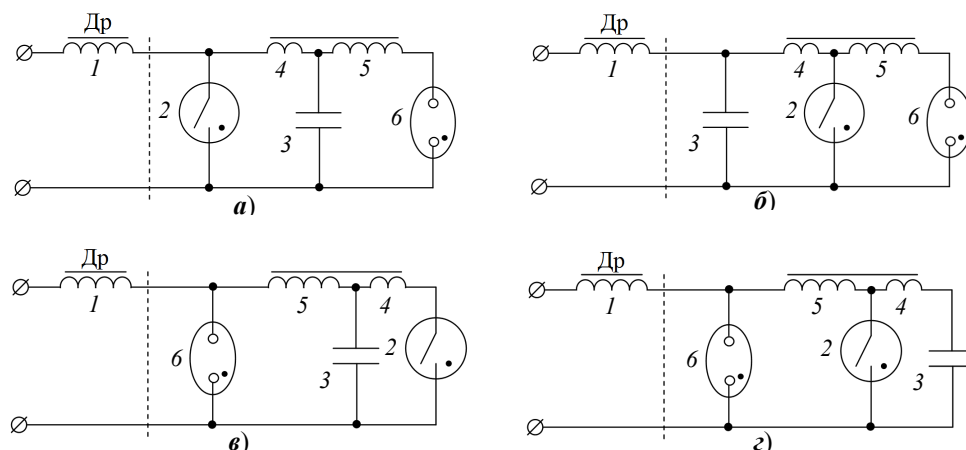


Рис. 5. Электрическая схема импульсного зажигающего устройства со стартером и автотрансформатором (ИЗУС-А).

Работает устройство следующим образом. При включении устройства в сеть через дроссель 1 в газоразрядном стартере 2 возникает тлеющий разряд. Биметалл стартера нагревается и замыкает цепь. При этом тлеющий разряд в стартере гаснет. Через дроссель протекает ток, в дросселе накапливается энергия $W_M = L I^2 / 2$, где L – индуктивность дросселя, I – ток. При размыкании контактов стартера ток разрывается и энергия магнитного поля дросселя переходит в энергию электрического поля конденсатора 3: $W_3 = C U^2 / 2$, где C – емкость конденсатора, U – напряжение на конденсаторе. Напряжение на конденсаторе 3 нарастает не мгновенно, а с постоянной времени $\tau = LC$. С такой же скоростью нарастает напряжение и на стартере 2. Через стартер протекает ток аномального тлеющего разряда. При некоторой величине напряжения на стартере (называемой амплитудой высоковольтного импульса $U_{\max}$) аномальный тлеющий разряд в стартере переходит в низковольтную форму, характеризуемую низким напряжением (10–30 В). При этом конденсатор 3, заряженный до $U_{\max}$, разряжается через первичную обмотку 4 импульсного автотрансформатора, благодаря повышающей обмотке 5 которого к лампе 6 прикладывается высоковольтный импульс. Высоковольтные импульсы генерируются до тех пор, пока не израсходуется вся энергия W_M .

накопленная в дросселе, или же пока лампа не зажжется. Количество высоковольтных импульсов, генерируемых устройством после одного контактирования стартера, близко к числу, определенному отношением W_M / W_Σ .

В ряде случаев целесообразно подключать зажигающее устройство так, чтобы один из выводов обмотки токоограничительного дросселя был подключен к лампе, а высоковольтная обмотка импульсного зажигающего устройства одним выводом была подключена к сети, а другим – к выводу обмотки токоограничительного дросселя, не соединенному с газоразрядной лампой, при этом параллельно обмотке токоограничительного дросселя подключен конденсатор емкостью 10^{-9} – 10^{-10} Ф [8].

Одна из модификаций зажигающего устройства приведена на рис. 5,б. Разница между устройствами по схеме рис. 5,а,б состоит в том, что точки подключения стартера тлеющего разряда и конденсатора взаимно изменены. Работает устройство так же, как и описанное выше.

Схема устройства для зажигания газоразрядных ламп, в котором сеть подключена через дроссель параллельно электродам газоразрядной лампы, представлено на рис. 5,в,г. Порядок подключения сети не меняет существа изобретения, описание работы устройства остается прежним.

В изготовленных устройствах использовали стартеры 2 с $U_{\max} = 2000$ В, конденсатор 3 с $C = 10000$ пФ, импульсный автотрансформатор был намотан на ферритовом кольце, обмотка 4 содержала четыре витка провода диаметром 1 мм, обмотка 5 – 30 витков такого же провода. При использовании дросселя 1 на мощность от 40 до 400 Вт между электродами лампы генерировались импульсы амплитудой до 15 кВ с длительностью 0,5 мкс (рис. 6) при включении устройства в сеть переменного тока 220 В. При каждом пробое стартера реализуется ударное возбуждение колебаний в контуре, состоящем из первичной обмотки 4 импульсного автотрансформатора, конденсатора 3 и стартера 2. Период T этих колебаний можно оценить, используя $T = 2\pi\sqrt{LC}$, где L – индуктивность первичной обмотки импульсного автотрансформатора, C – емкость конденсатора 3. В реализованном нами варианте устройства для зажигания газоразрядных ламп высоковольтный импульс представляет собой серию затухающих колебаний с периодом около 1 мкс.

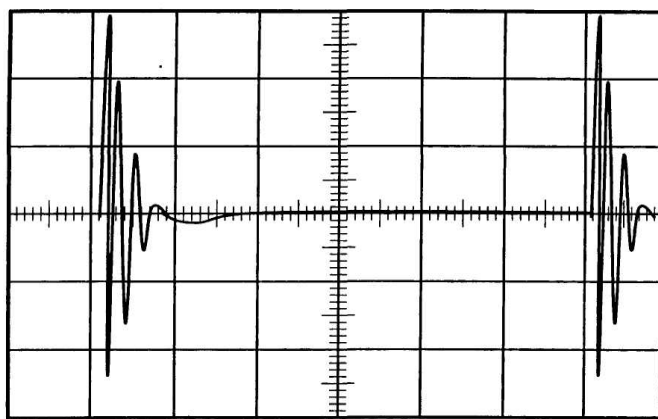


Рис. 6. Осциллограмма серии высоковольтных импульсов генерируемых ИЗУС-А;
По вертикали – 5000 В/дел, по горизонтали – 2 мкс/дел.
Изображены два импульса из всей серии

Количество высоковольтных импульсов (больше 10), генерируемых устройством после одного контактирования стартера, определялось соотношением $LI^2 / CU_{\max}^2$. Как видно, это количество определяется емкостью конденсатора, индуктивностью дросселя, током, текущим в дросселе в момент разрыва контактов стартера, величиной $U_{\max}$. Именно при этом напряжении происходит переход разряда к низковольтной форме (пробой стартера). Более подробно о переходе аномального тлеющего разряда в низковольтную форму в стартерах тлеющего разряда и о причинах, определяющих значение $U_{\max}$, изложено в [9].

Реализованное устройство было работоспособно в интервале температур от -40 до $+140$ °С, содержало всего три детали, занимало объем 25 см^3 и при массе 35 г зажигало натриевую лампу высокого давления за 3–5 с. Устройство обеспечивало зажигание как холодной, так и горячей лампы.

Другой вариант генератора высоковольтных импульсов с газоразрядным стартером, разработанный нами, предложен в [10]. Технический эффект заключается в обеспечении возможности зажигания бездроссельных, например ксеноновых, ламп. Отличие устройства заключается в том, что оно содержит подключенный к источнику напряжения через дроссель конденсатор, в цепь разряда которого через стартер включена первичная обмотка импульсного трансформатора, через вторичную обмотку которого лампа подключена к источнику питания лампы. При этом должно выполняться следующее условие: $LI^2 > CU_{\max}^2$. На рис. 7,а приведена электрическая схема устройства с импульсным трансформатором, используемая для зажигания газоразрядной лампы [10]; схема содержит подключенный к источнику напряжения через дроссель 1 конденсатор 2, в цепь разряда которого через стартер 3 включена первичная обмотка 4 импульсного трансформатора, через вторичную обмотку 5 которого лампа 6 подключена к источнику питания 7 лампы.

Еще один вариант схемы устройства [10] приведен на рис. 7,б. Устройство для зажигания газоразрядной лампы содержит подключенный к источнику напряжения через дроссель 1 конденсатор 2, в цепь разряда которого или через стартер 3 включена первичная обмотка 4 импульсного трансформатора, через вторичную обмотку 5 которого лампа 6 подключена к источнику питания 7 лампы, при этом источником напряжения является источник питания 7 лампы. Такое включение упрощает конструкцию устройства и может быть использовано для ряда применений.

Если необходимо ограничить ток разрыва контактов газоразрядного прибора, то последовательно с дросселем можно включить резистор или конденсатор или включить их совместно, обеспечив ограничения величины тока в пределах от 0,1 до максимально допустимого значения для данного газоразрядного прибора. Схема устройства с токоограничительным элементом изображена на рис. 7,в. В цепь дросселя 1 включено токоограничительное сопротивление 8 с емкостной или активной характеристикой.

Устройства [10] работают как и описанные ранее. В реализованных нами вариантах устройств высоковольтный импульс представляет собой серию затухающих колебаний с периодом около 1 мкс, подобных изображенным на рис. 6.

Для применения в разработанных нами и описанных в данной статье генераторах высоковольтных импульсов можно использовать стартеры тлеющего разряда как отечественного, так и иностранного производства.

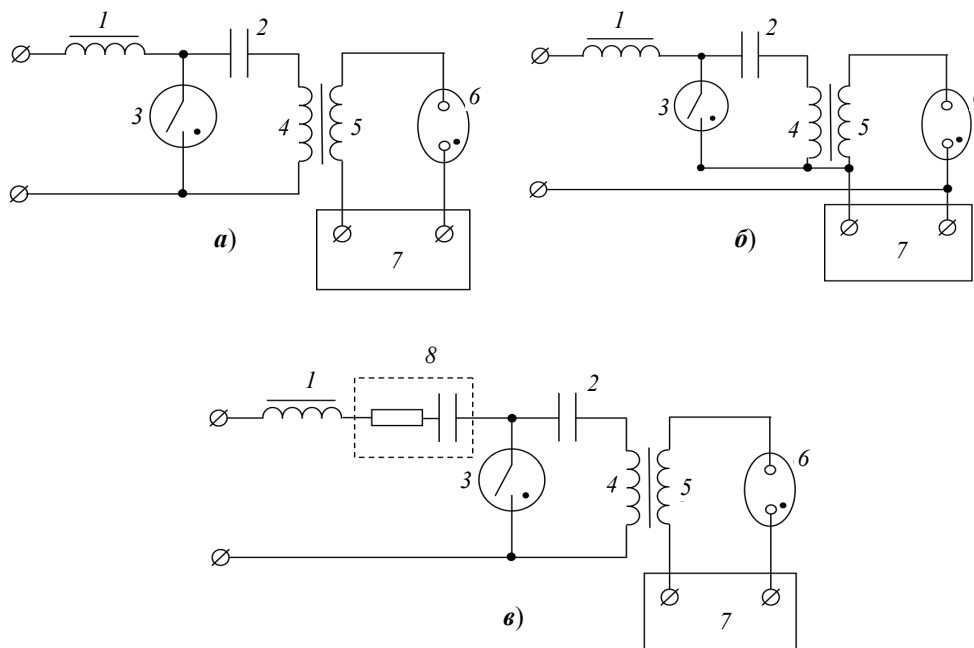


Рис. 7. Электрическая схема импульсного зажигающего устройства со стартером и трансформатором (ИЗУС-Т)

Список литературы

1. А.С. №561310 СССР, кл.Н05В 41/23. Устройство для зажигания газоразрядных ламп / Хузмиев М. А., Филоненко В. Г. Оpubл. 05.06.77, Бюл. № 21.
2. А. С. 568225 СССР, МКИ Н05В 41/23. Устройство для зажигания газоразрядных ламп / В. И. Доги́лев, В. Е. Боленок, М. Е. Клыков, Б. Ф. Козлов. Оpubл. 1977, Бюл. № 20.
3. **Майоров, М. И.** Исследование причин возникновения пробоя в газоразрядных стартерах / М. И. Майоров // Фундаментальные и прикладные проблемы физики : тезисы докладов III Междунар. науч.-техн. конф. – Саранск, 2001. – С. 16.
4. **Майоров М. И.** О механизме пробоя газоразрядного стартера / М. И. Майоров, А. М. Майоров, В. А. Горюнов // Фундаментальные и прикладные проблемы физики : тезисы докладов IV Междунар. науч.-техн. конф. – Саранск, 2003. – С. 12.
5. **Королев, Ю. Д.** Автоэмиссионные и взрывные процессы в газовом разряде / Ю. Д. Королев, Г. А. Месяц. – Новосибирск : Наука, 1982. – 254 с.
6. **Майоров, М. И.** Стартеры тлеющего разряда. Физические основы конструирования / М. И. Майоров. – Саранск : Изд-во Мордов. ун-та, 2007. – 176 с.
7. Пат. 2134496 РФ, МПК⁷ Н 05 В 41/23. Устройство для зажигания газоразрядных ламп / М. И. Майоров (Россия). Оpubл. 10.08.99, Бюл. № 22.
8. Пат. 2291597 РФ, МПК⁷ Н05В41/231. Пускорегулирующее устройство для газоразрядной лампы / М. И. Майоров, А. М. Майоров, В. А. Горюнов (Россия). Оpubл. 10.01.07, Бюл. № 1.
9. **Горюнов, В. А.** Механизм ограничения амплитуды высоковольтного импульса, генерируемого в стартерной схеме включения газоразрядных ламп / В. А. Горюнов, А. М. Майоров, М. И. Майоров // Светотехника. – 2006. – № 2. – С. 15–18.

10. Пат. 2211549 РФ, МПК⁷ Н 05 В 41/23. Устройство для зажигания газоразрядной лампы / М. И. Майоров (Россия). Оpubл. 27.08.03, Бюл. № 24.

References

1. A.S. №561310 SSSR, kl.N05V 41/23. *Ustroystvo dlya zazhiganiya gazorazryadnykh lamp* [Device for ignition of gas-discharge lamps]. Khuzmiev M. A., Filonenko V. G. 05.06.77, no. № 21.
2. A. S. 568225 SSSR, MKI N05V 41/23. *Ustroystvo dlya zazhiganiya gazorazryadnykh lamp* [Device for ignition of gas-discharge lamps]. Dogilev V. I., Bolenok V. E., Klykov M. E., Kozlov B. F. 1977, no. 20.
3. Mayorov M. I. *Fundamental'nye i prikladnye problemy fiziki : tezisy dokladov III Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf.* [Fundamental and applied problems of physics: brief reports of the III International scientific and technical conference]. Saransk, 2001, p. 16.
4. Mayorov M. I., Mayorov A. M., Goryunov V. A. *Fundamental'nye i prikladnye problemy fiziki : tezisy dokladov IV Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf.* [Fundamental and applied problems of physics: brief reports of the IV International scientific and technical conference]. Saransk, 2003, p. 12.
5. Korolev Yu. D., Mesyats G. A. *Avtoemissionnye i vzryvnye protsessy v gazovom razryade* [Field-emission and explosion processes in gas discharge]. Novosibirsk: Nauka, 1982, 254 p.
6. Mayorov M. I. *Startery tleyushchego razryada. Fizicheskie osnovy konstruirovaniya* [Glow discharge starters. Physical basics of construction]. Saransk: Izd-vo Mordov. un-ta, 2007, 176 p.
7. Pat. 2134496 RF, МПК7 N 05 V 41/23. *Ustroystvo dlya zazhiganiya gazorazryadnykh lamp* [Device for ignition of gas-discharge lamps]. Mayorov M. I. 10.08.99, no. 22.
8. Pat. 2291597 RF, МПК7 N05V41/231. *Puskoreguliruyushchee ustroystvo dlya gazorazryadnoy lampy* [Start controlling device for gas-discharge lamps]. Mayorov M. I., Mayorov A. M., Goryunov V. A. 10.01.07, no. 1.
9. Goryunov V. A., Mayorov A. M., Mayorov M. I. *Svetotekhnika* [Lighting technology]. 2006, no. 2, pp. 15–18.
10. Pat. 2211549 RF, МПК7 N 05 V 41/23. *Ustroystvo dlya zazhiganiya gazorazryadnoy lampy* [Device for ignition of a gas-discharge lamp]. Mayorov M. I. 27.08.03, no. 24.

Горюнов Владимир Александрович

доктор физико-математических наук,
профессор, кафедра экспериментальной
физики, Мордовский государственный
университет имени Н. П. Огарева
(г. Саранск, ул. Пролетарская, 63)

E-mail: gorval1934@mail.ru

Goryunov Vladimir Aleksandrovich

Doctor of physical and mathematical
sciences, professor, sub-department
of experimental physics, Mordovia State
University named after N. P. Ogaryov
(Saransk, 63 Proletarskaya str.)

Майоров Александр Михайлович

кандидат физико-математических наук,
доцент, кафедра автоматизации
производственных процессов,
Мордовский государственный
университет имени Н. П. Огарева
(г. Саранск, ул. Пролетарская, 63)

E-mail: mayorovam@mail.ru

Mayorov Aleksandr Mikhaylovich

Candidate of physical and mathematical
sciences, associate professor,
sub-department of production processes
automation, Mordovia State University
named after N. P. Ogaryov (Saransk,
63 Proletarskaya str.)

Майоров Михаил Иванович

доктор технических наук, профессор,
кафедра общенаучных дисциплин,
Мордовский государственный
университет имени Н. П. Огарева
(г. Саранск, ул. Пролетарская, 63)

E-mail: mayorovmi@mail.ru

Mayorov Mikhail Ivanovich

Doctor of engineering sciences, professor,
sub-department of general scientific
disciplines, Mordovia State University
named after N. P. Ogaryov (Saransk,
63 Proletarskaya str.)

УДК 621.327.534

Горюнов, В. А.

Генератор высоковольтных импульсов с газоразрядным стартером для зажигания ламп высокого давления / В. А. Горюнов, А. М. Майоров, М. И. Майоров // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Физико-математические науки. – 2013. – № 2 (26). – С. 178–187.