

## ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАЗРЯДНЫХ ПРОЦЕССОВ В ИМПУЛЬСНО-ПЛАЗМЕННЫХ СИСТЕМАХ ЗАЖИГАНИЯ С ИСКРОВЫМИ И ПОЛУПРОВОДНИКОВЫМИ СВЕЧАМИ

Лобанов А.В.

*ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный авиационный технический университет», Уфа, Россия (450000, Уфа, ул. К. Маркса, 12), e-mail: lavles2014@mail.ru*

В статье рассмотрены результаты экспериментальных исследований разрядных процессов в макете импульсно-плазменной системы зажигания с искровыми и полупроводниковыми свечами. Приведена электрическая принципиальная схема разработанной лабораторной установки, позволяющей исследовать энергетическую эффективность различных типов свечей, и дано описание лабораторной установки. Приведены характерные осциллограммы разрядных токов и падений напряжения в серийных искровой и полупроводниковой свечах. Представлены расчетные зависимости энергии разрядов в свечах и коэффициента использования энергии накопительного конденсатора от емкости накопительного конденсатора и индуктивности катушек, включаемых в основную разрядную цепь, а также сравнение энергетической эффективности разрядных цепей импульсно-плазменной системы зажигания с использованием искровой и полупроводниковой свечей. Показано, что в полупроводниковой свече по сравнению с искровой свечой при прочих равных условиях выделяется большая энергия.

Ключевые слова: импульсно-плазменные системы зажигания; искровые свечи; полупроводниковые свечи; разрядные процессы; метод измерения энергии разрядов

## REGULARITIES BIT PROCESSES IN PULSED-PLASMA IGNITION SYSTEMS SPARK AND SEMICONDUCTOR PLUGS

Lobanov A.V.

*Ufa State Aviation Technical University, Ufa, Russia (450000, Ufa, street K. Marksa, 12), e-mail: lavles2014@mail.ru*

The results of experimental investigations bit processes in the layout of the pulsed-plasma ignition system with spark and semiconductor plugs. The electrical schematic diagram of the developed laboratory setup, allowing to investigate the energy efficiency of different types of plugs ignition, and a description of the laboratory setup. Typical oscillograms of discharge currents and voltage drops in series spark and semiconductor plugs. Shows the calculated dependences of energy discharges in the spark and the utilization of energy storage capacitor to the capacity of the storage capacitor and the inductance of the coils included in the main discharge circuit, and comparing the energy efficiency of spark pulsed-plasma ignition using a spark and semiconductor plugs. It is shown that in the semiconductor plug ignition compared to spark the plug ignition ceteris paribus stands out a lot of energy.

Keywords: pulsed-plasma ignition system; spark plugs; semiconductor plugs; bit processes; method of measuring energy discharges

В настоящее время обосновывается возможность использования импульсно-плазменных систем зажигания, занимающих промежуточное положение между импульсными искровыми и непрерывными плазменными. Эффект от применения таких систем зажигания основывается на известном экспериментальном результате, описанном в [1]. При электроискровом способе стабилизации пламени в устройствах горения, например, в пусковых воспламенителях, уменьшение скорости подвода энергии к топливовоздушной смеси в условиях постоянства общей накопленной энергии приводит к устойчивому расширению пусковой характеристики. Этот метод реализуется различными способами, в том числе за счет применения низковольтного накопительного конденсатора большой емкости. При этом разрядный процесс становится однополярным (апериодическим), причем, данный эффект достигается параметрически, то есть за счет определенного сочетания параметров

элементов разрядной цепи. Эффективность последнего способа доказана в работе [1].

На основании данного способа разработан ряд схемных решений систем зажигания с комбинированным разрядом и с низкой скоростью подвода энергии накопительного конденсатора, выделенных в отдельный класс импульсно-плазменных систем зажигания [2-5].

Энергетическая эффективность импульсно-плазменных систем зажигания при работе с различными типами свечей зажигания исследована не в полной мере, в научно-технической литературе отсутствуют сведения о выборе оптимальных параметров разрядных цепей, обеспечивающих максимальную энергетическую эффективность.

В статье представлены результаты экспериментальных исследований разрядных процессов в макете импульсно-плазменной системы зажигания с искровыми и полупроводниковыми свечами.

Электрическая принципиальная схема макета импульсно-плазменной системы зажигания представлена на рис. 1.

Основные параметры схемы:

$C1 = 1 \text{ мкФ}$ ;  $C2 = 30 \text{ мкФ}$ ;  $C3 = 60 \text{ мкФ}$ ;  $C4 = 90 \text{ мкФ}$ ;

$FV1$  – разрядник Ерсос пробивным напряжением  $U_0 = 1 \text{ кВ}$ ;

$FV2$  – трёхэлектродный разрядник РУ-69;

$L1 = 11 \text{ мкГн}$ ;  $L2 = 61 \text{ мкГн}$ ;  $L3 = 106 \text{ мкГн}$ .

Схема стенда включает в себя низковольтную и высоковольтную цепи.

Высоковольтный конденсатор  $C1$  предназначен для пробоя вспомогательного разрядника  $FV1$  и создания высоковольтного импульса на вторичной обмотке импульсного трансформатора  $TV3$ , необходимого для пробоя основного разрядника  $FV2$ .

Накопительные конденсаторы большой емкости  $C2-C4$  заряжаются от низковольтного трансформатора  $TV4$  и обеспечивают длительный разряд в свече после её пробоя со стороны высоковольтной цепи.

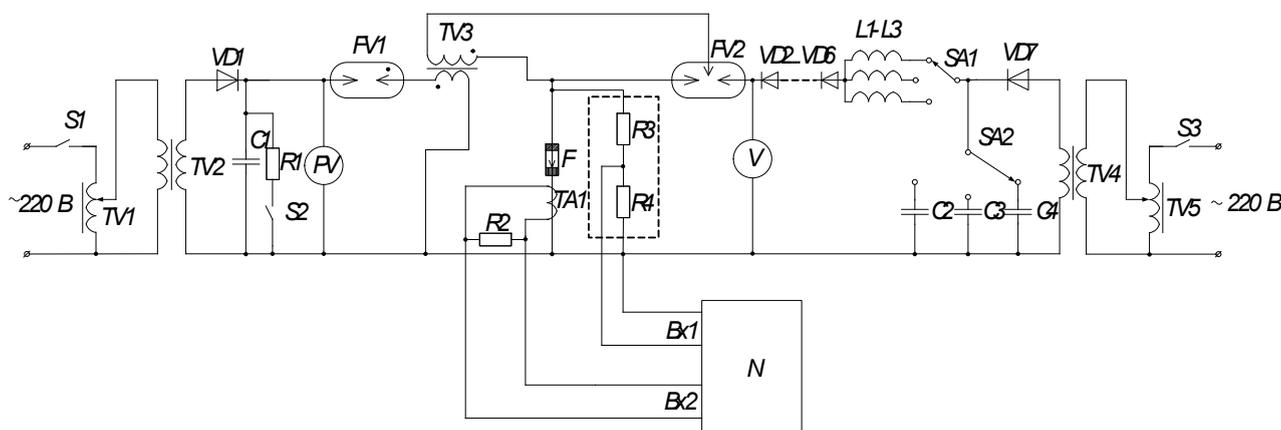


Рис. 1. Электрическая принципиальная схема лабораторного макета импульсно-плазменной системы зажигания

Программа исследований заключалась в выявлении зависимости энергии разрядов  $W$  в серийных искровой и полупроводниковой свечах и коэффициента использования энергии накопительного конденсатора  $W'$  от емкости накопительного конденсатора и индуктивности катушек, включаемых в основную разрядную цепь, а также сравнение энергетической эффективности разрядных цепей импульсно-плазменной системы зажигания с использованием искровой и полупроводниковой свечей. Коэффициент использования энергии накопительного конденсатора  $W'$  определяется по соотношению:

$$W', \% = \frac{2W}{CU_0^2} \cdot 100 \%$$

В ходе экспериментальных исследований осциллограммы разрядного тока через свечу фиксировались с помощью измерительного трансформатора тока  $TA1$  с параметрами:  $W_{TA1} = 100$ ;  $R_2 = 1$  Ом. Осциллограммы падения напряжения в свече регистрировались с использованием омического делителя напряжения с параметрами:  $R_3 = 1$  МОм;  $R_4 = 10$  кОм.

Полученные характерные осциллограммы разрядных токов и падений напряжения в серийной искровой свече при изменении емкости накопительного конденсатора и индуктивности разрядной цепи показаны на рис. 2. Соответствующие осциллограммы для полупроводниковой свечи представлены на рис. 3.

На рис. 4-5 приведены построенные зависимости  $W = f(L, C)$ ,  $W' = f(L, C)$  для макета импульсно-плазменной системы зажигания с искровой свечой зажигания и с полупроводниковой свечой соответственно.

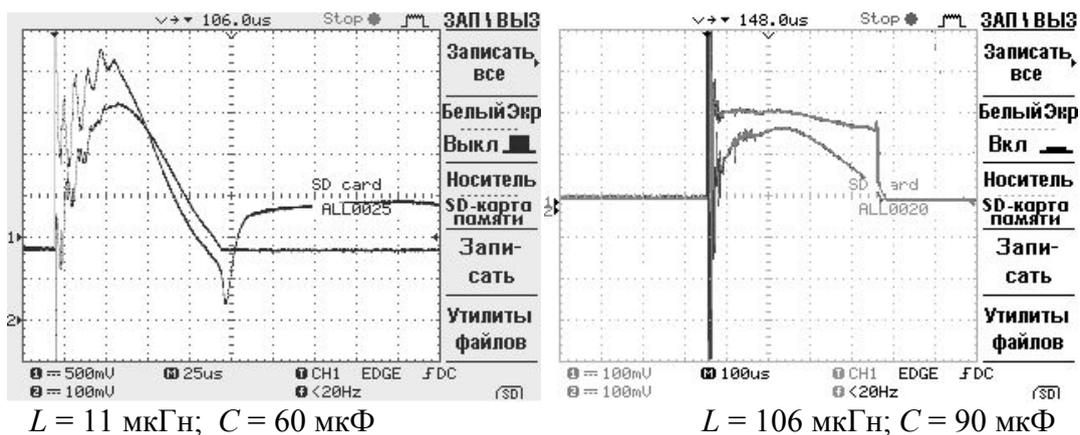


Рис. 2. Характерные осциллограммы разрядных токов и падений напряжения в серийной искровой свече

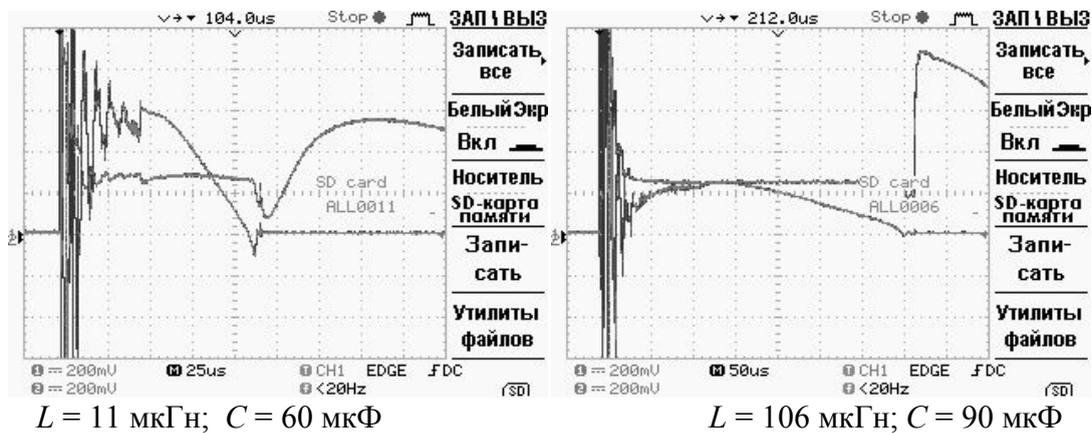


Рис. 3. Характерные осциллограммы разрядных токов и падений напряжения в полупроводниковой свече

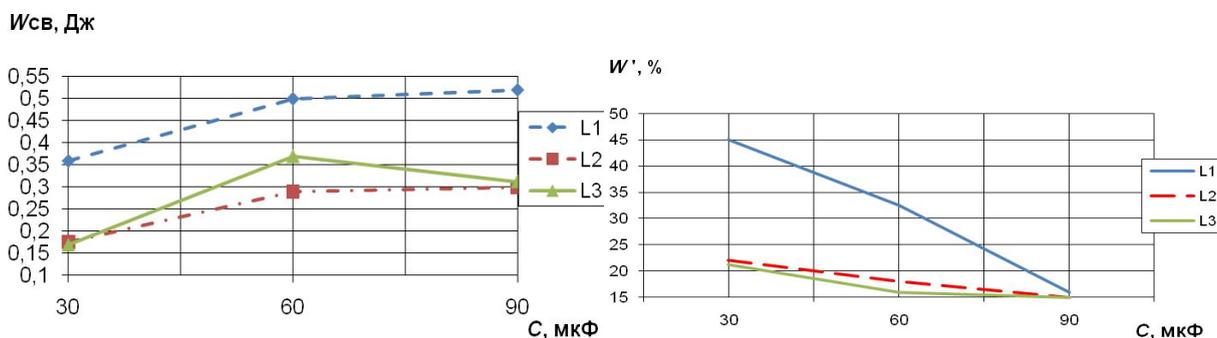


Рис. 4. Расчетные зависимости  $W = f(L, C)$ ,  $W', \% = f(L, C)$  для макета импульсно-плазменной системы зажигания с искровой свечой

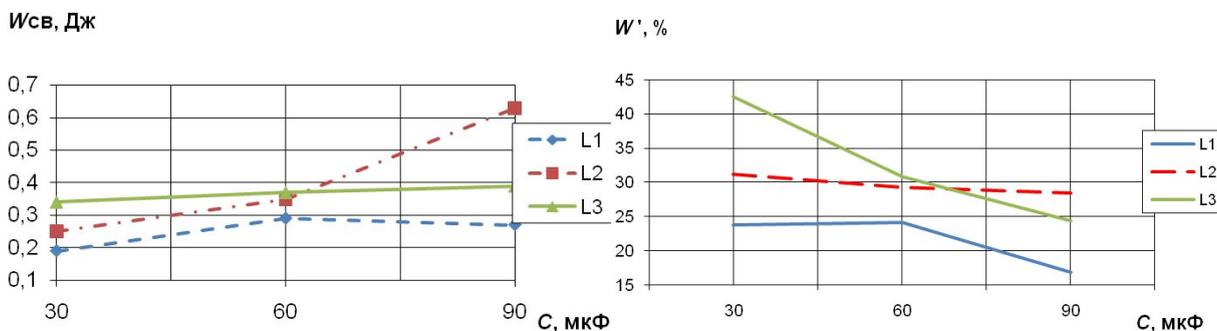


Рис. 5. Расчетные зависимости  $W = f(L, C)$ ,  $W', \% = f(L, C)$  для макета импульсно-плазменной системы зажигания с полупроводниковой свечой

На основании анализа полученных результатов сделаны следующие основные выводы.

1. С увеличением индуктивностей катушек в пределах от 11 до 106 мкГн, энергия, выделяющаяся в свече, а также коэффициент использования энергии накопительного конденсатора в целом уменьшаются при использовании искровой свечи. Для полупроводниковой свечи полученные зависимости не противоречат известным результатам исследований влияния индуктивностей катушек на энерговыделение в полупроводниковых свечах.

2. Коэффициент использования энергии накопительного конденсатора при изменении емкости накопительных конденсаторов и индуктивности разрядной цепи меняется в пределах от 14 до 45 %, причем с увеличением емкости конденсатора коэффициент использования энергии уменьшается.

3. Установлено, что в полупроводниковой свече по сравнению с искровой свечой при прочих равных условиях выделяется большая энергия.

Таким образом, закономерности разрядных процессов в искровых свечах отличаются от закономерностей процессов в полупроводниковых свечах. Влияние индуктивности разрядной цепи на энергетическую эффективность искровых свечей является отрицательным по сравнению с полупроводниковыми свечами.

### Список литературы

1. Гизатуллин Ф.А. Исследование разрядных процессов в полупроводниковых свечах и разработка емкостных систем зажигания повышенной эффективности / Ф.А. Гизатуллин, Л.И. Алимбеков, Ю.Н. Прохорчев; Технический отчет по НИР. Гос. рег. № 78046793, инв. № Б 818184. – Уфа: УАИ, 1979. – 81 с.
2. Лобанов А.В. Импульсно-плазменные системы зажигания авиационных двигателей. Дисс. канд. техн. наук / Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т. – Уфа, 2009. – 129 с.
3. Патент на полезную модель № 59159 Россия, F 02 P 3/06. Комбинированная система зажигания / Ф.А. Гизатуллин, А.В. Лобанов; опубл. 10.12.2006, бюл. № 34.
4. Патент на полезную модель № 62664 Россия, F 02 P 3/06. Комбинированная система зажигания / Ф.А. Гизатуллин, А.В. Лобанов, Ш.Б. Нурыев; опубл. 27.04.2007, бюл. № 12.
5. Патент на полезную модель № 75433 Россия, F 02 P 3/06. Комбинированная система зажигания / Ф.А. Гизатуллин, А.В. Лобанов, Р.М. Салихов; опубл. 10.08.2008, бюл. № 22.

### Рецензенты:

Рогинская Л.Э., д.т.н., профессор кафедры «Электромеханика» ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный авиационный технический университет», г. Уфа;

Хайруллин И.Х., д.т.н., профессор кафедры «Электромеханика» ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный авиационный технический университет», г. Уфа.