

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОЧИХ ПРОЦЕССОВ В РАЗРЯДНЫХ ЦЕПЯХ ПЕРСПЕКТИВНЫХ СИСТЕМ ЗАЖИГАНИЯ

Лобанов А.В.¹

¹ ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный авиационный технический университет», Уфа, Россия (450000, Уфа, ул. К. Маркса, 12), e-mail: lavles2014@mail.ru

В статье рассмотрены результаты компьютерного моделирования рабочих процессов в разрядных цепях перспективных систем зажигания. Представлены схематехническая и имитационная компьютерные модели разрядных процессов, позволяющие оценивать энергетическую эффективность новых схем систем зажигания без проведения сложных и трудоемких стендовых испытаний. Приведены характерные результаты моделирования при различных сочетаниях параметров разрядных цепей, подтверждена адекватность разработанных моделей, выявлены оптимальные сочетания параметров. Приведены результаты сравнения энергетической эффективности предложенных и известных схем систем зажигания. Сформулированы рекомендации по выбору оптимальных параметров исследуемых импульсно-плазменных систем зажигания, обеспечивающих максимальную энергетическую эффективность разрядных цепей. Разработан ряд новых схематехнических решений перспективных систем зажигания с повышенной энергетической эффективностью по результатам моделирования и выполненных исследований.

Ключевые слова: моделирование; разрядные процессы; система зажигания; энергетическая эффективность.

MODELING WORKFLOWS IN DISCHARGE CIRCUITS PERSPECTIVE IGNITION SYSTEMS

Lobanov A.V.¹

¹Ufa State Aviation Technical University, Ufa, Russia (450000, Ufa, street K. Marksa, 12), e-mail: lavles2014@mail.ru

The article describes the results of computer simulation of working processes in the discharge circuits of perspective ignition systems. Presents circuit design and simulation computer model bit processes, allowing to estimate the energy efficiency of the new circuits of ignition systems without complex and time-consuming bench tests. Shows typical simulation results for different combinations of the bit circuits, the adequacy of the developed models, the optimal parameter combinations. Results of comparison of energy efficiency of the proposed and known circuits of ignition systems. Recommendations on the choice of optimal parameters of the test pulse and plasma ignition systems for maximum energy efficiency of the bit circuits. Developed a number of new circuit solutions promising ignition systems with enhanced energy efficiency simulation results and performed research.

Keywords: modeling; bit processes; ignition system; energy efficiency.

В настоящее время активно проводятся экспериментальные исследования энергетической эффективности нового класса систем зажигания – импульсно-плазменных систем, включающих дополнительную разрядную цепь с низковольтным конденсатором большой емкости [3-7]. Однако такой метод позволяет установить только порядок выбора отдельных параметров элементов, приводит к проведению большого количества экспериментов и доводочных испытаний и сопровождается крупными материальными затратами.

В то же время современные информационные технологии, которые позволили бы разработать принципиально новые инструменты исследования и проектирования систем зажигания, остаются без внимания.

Возможна разработка схемотехнических и имитационных компьютерных моделей, причём предпочтительными являются имитационные модели, способные решать задачи более высокого уровня по сравнению со схемотехническими моделями [2, 9].

В работе [3] по результатам экспериментальных исследований выявлены основные закономерности разрядных процессов в одной из возможных схем построения перспективной импульсно-плазменной системы зажигания. Исследования проводились на специально разработанном макете, электрическая принципиальная схема которого 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 Ерсоc с 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 включала 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.

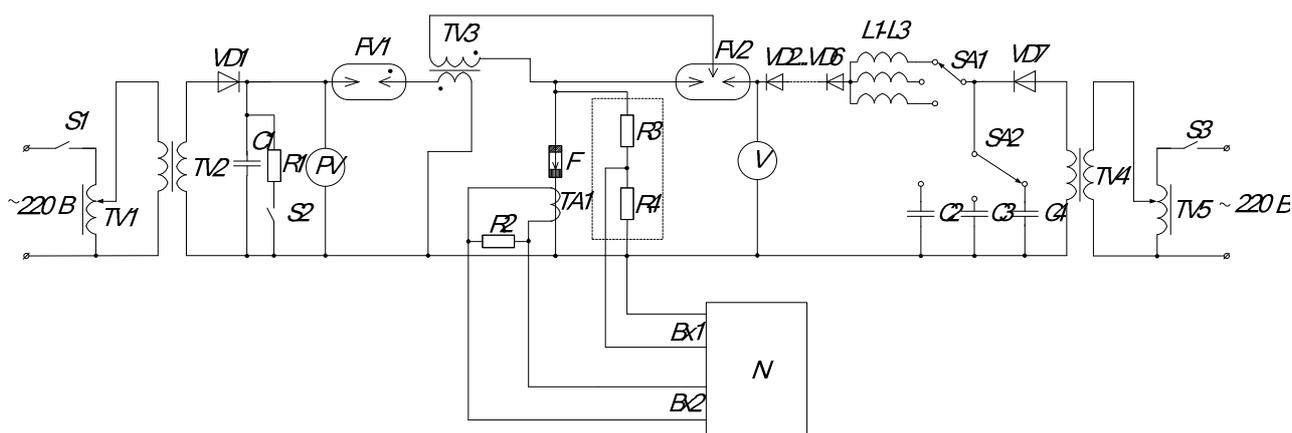


Рис. 1. Электрическая принципиальная схема лабораторного макета импульсно-плазменной системы зажигания

На основе данной схемы разработана схемотехническая модель импульсно-плазменной системы зажигания в среде Matlab 6.5, показанная на рис. 2, где обозначено:

R_{VD1} , R_{VD2} , R_{VD3} – эквивалентные активные сопротивления полупроводниковых элементов $VD1$, $VD2$ и $VD3$;

$K1-K4$ – ключевые элементы;

$C1, C2$ – накопительные конденсаторы;

$L1, L2$ – индуктивности цепей разряда конденсаторов $C1$ и $C2$;

R – активное сопротивление свечи зажигания.

Замена свечи зажигания линейным активным сопротивлением, естественно, изменяет количественные характеристики разрядных процессов в самой свече, но, как это следует из анализа [1], существенным образом не отражается на общей динамике процессов в разрядных цепях.

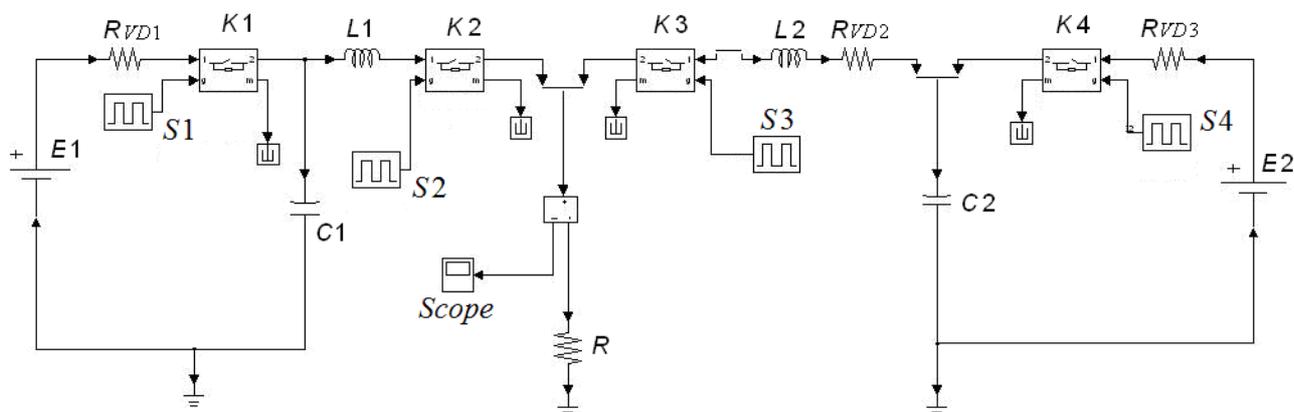


Рис. 2. Схематическая модель импульсно-плазменной системы зажигания

Время срабатывания ключей $K1 \div K4$, управляемых генераторами прямоугольных импульсов $S1 \div S4$, подобрано таким образом, что сначала заряжаются накопительные конденсаторы $C1$ и $C2$, а затем ключи $K1$ и $K4$ размыкают цепи источников питания $E1$ и $E2$ и срабатывают ключи $K2$ и $K3$, через которые предварительно заряженные накопительные конденсаторы $C1$ и $C2$ разряжаются на свечу.

В схематической модели, представленной на рис. 2, условия гашения разряда явным образом не предусмотрены, но о величине длительности разрядов можно судить с определенной степенью приближения по получаемым кривым разрядного тока через свечу. Такой подход при схематическом моделировании вполне приемлем, учитывая предназначенность данного вида моделирования для предварительной, грубой оценки качества разрядных процессов в импульсно-плазменной системе зажигания.

В основе же имитационных моделей лежат системы алгебро-дифференциальных уравнений, составленных с учетом законов Кирхгофа и Ома для высоковольтной и низковольтной частей схемы импульсно-плазменной системы зажигания. Согласно известному принципу [8], возможно объединение систем алгебро-дифференциальных

уравнений в одну за счет использования специальных коэффициентов. Таким образом, можно получить систему уравнений, являющуюся системой для описания логики работы импульсно-плазменной системы зажигания.

Имитационная модель, представленная на рис. 3, отражает логику функционирования разрядных цепей, причем, в зависимости от заданных значений входных параметров, влияющих на изменение качества процессов в системе, модель отражает все эти изменения в качественном плане. Так, в зависимости от того или иного заданного соотношения параметров, приведенная на рис. 3 модель способна выдавать кривые разрядного тока в различных качественных состояниях, имеющих как колебательный, так и апериодический характер процессов. Модель в данном случае обладает универсальностью, так как позволяет отображать графически качество сложных переходных процессов в системе при любых сочетаниях входных параметров без представления уравнений модели в явной математической форме.

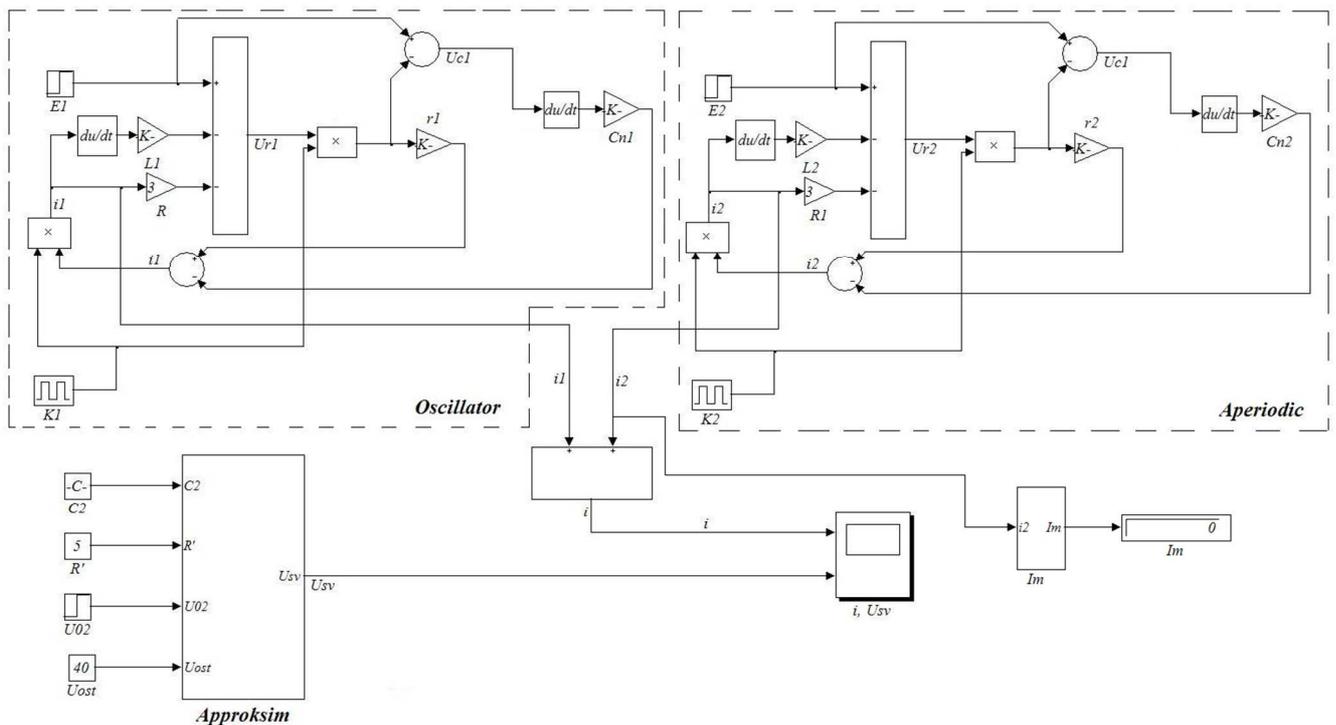


Рис. 3. Имитационная модель разрядных процессов в импульсно-плазменной системе зажигания

На рис. 4 представлены характерные осциллограммы разрядных процессов, полученные в результате имитационного моделирования, при постоянных параметрах, соответствующих осциллограммам, полученным в ходе экспериментальных исследований в работе [3].

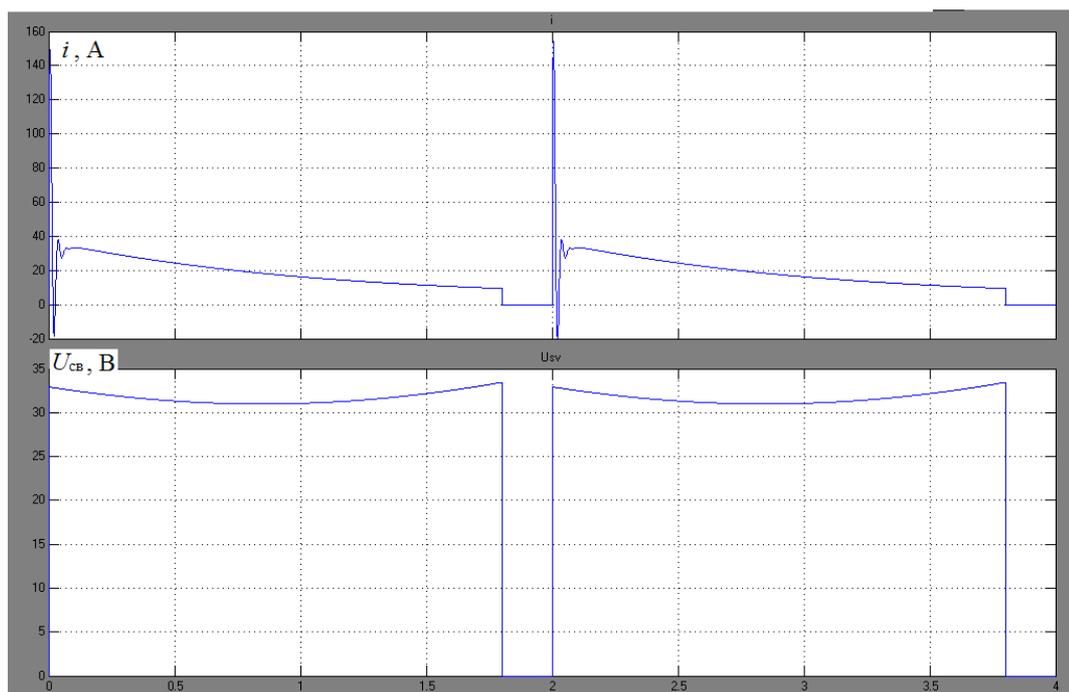


Рис. 4. Характерные осциллограммы разрядных процессов

Полученные теоретические результаты показывают хорошую сходимость с экспериментальными осциллограммами, расхождение составляет не более 16 %, что позволяет судить об адекватности разработанных моделей.

По результатам моделирования сформулированы рекомендации по выбору оптимальных параметров исследуемых импульсно-плазменных систем зажигания, обеспечивающих максимальную энергетическую эффективность разрядных цепей.

Таким образом, в соответствии с поставленной задачей разработаны схемотехническая и имитационная компьютерные модели разрядных процессов в перспективных импульсно-плазменных системах зажигания. Обе модели могут использоваться на различных этапах исследования и оценки эффективности систем зажигания. Схемотехническая модель, не учитывающая нелинейность свечи, пригодна для предварительной, грубой оценки качества разрядных процессов. Имитационную модель предполагается использовать для решения задач исследования, оптимизации параметров систем зажигания и создания методик их оценки и проектирования. В целом полученные в статье результаты являются существенным вкладом в развитие теории нового класса систем зажигания.

Список литературы

1. Гизатуллин Ф.А. Емкостные системы зажигания / Ф.А. Гизатуллин; Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т. – Уфа: УГАТУ, 2002. – 249 с.
2. Гизатуллин Ф.А., Лобанов А.В. Моделирование разрядных процессов в импульсно-плазменной системе зажигания // Вестник УГАТУ. – Т. 11, №2 (29). – 2008. – С. 161-168.
3. Лобанов А.В. Закономерности разрядных процессов в импульсно-плазменных системах зажигания с искровыми и полупроводниковыми свечами // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 5; URL: www.science-education.ru/119-15074 (дата обращения: 13.10.2015).
4. Лобанов А.В. Импульсно-плазменные системы зажигания авиационных двигателей. Дисс. канд. техн. наук / Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т. – Уфа, 2009. – 129 с.
5. Лобанов А.В. Исследование энергетической эффективности импульсно-плазменной системы зажигания // Актуальные проблемы в науке и технике. Том 2 // Сборник статей 5-ой всероссийской зимней школы-семинара аспирантов и молодых учёных, 17-20 февраля 2010. – Уфа: Издательство «Технология», 2011. – С. 200-203.
6. Лобанов А.В. Методика оценки эффективности импульсно-плазменных систем зажигания // Электромеханика, электротехнические комплексы и системы: межвуз. науч. сб. – Уфа: УГАТУ, 2010. – С. 225-231.
7. Лобанов А.В. Экспериментальное исследование разрядных процессов в импульсно-плазменной системе зажигания // Электромеханика, электротехнические комплексы и системы: межвуз. науч. сб. – Уфа: УГАТУ, 2010. – С. 260-265.
8. Фандрова Л.П. Полупроводниковые комплексы для индукционного нагрева (анализ и компьютерное моделирование). Дисс. канд. техн. Наук.– Уфа, 2003.
9. Черных И. В. Моделирование электротехнических устройств в MATLAB, SimPowerSystems и Simulink. – М.: ДМК Пресс; СПб.: Питер, 2008. – 288 с.: ил.

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.