

Исследование влияния емкости накопительного конденсатора на напряжение в первичной цепи обмотки зажигания и тока разряда методами имитационного моделирования

Ф.Р. Исмагилов

Факультет авиационного приборостроения
Уфимский государственный авиационный
технический университет
Уфа, Россия

И.И. Ямалов

Факультет авиационного приборостроения
Уфимский государственный авиационный
технический университет
Уфа, Россия
e-mail: outlegal@mail.ru

Д.Р. Фаррахов

Факультет авиационного приборостроения
Уфимский государственный авиационный технический университет
Уфа, Россия
e-mail: d.farrakhov@yandex.ru

Аннотация¹

В статье разработана имитационная компьютерная модель микропроцессорной системы зажигания (МПСЗ) для автономных объектов, позволяющая на стадии проектирования производить исследования и отработку режимов работы МПСЗ, исследование влияния емкости накопительного конденсатора на напряжение в первичной цепи обмотки зажигания и тока разряда и подбор оптимальных параметров МПСЗ в широком диапазоне входных значений. Имитационная модель разработана в системе LTSpice IV. На основе разработанной имитационной модели было исследовано влияние емкости накопительного конденсатора на напряжение в первичной цепи обмотки зажигания и тока разряда. Проведена оптимизация значения емкости накопительного конденсатора.

МПСЗ широко применяются в малых транспортных средствах, что обусловлено рядом их достоинств, таких как высокие энергетические характеристики и надежность при минимальных массогабаритных показателях. Системы зажигания являются одной из наиболее ответственных частей комплекса электрооборудования двигателей внутреннего сгорания, что определяет ряд жестких требований, предъявляемых к ним. К этим требованиям

относятся: энергоэффективность, стабильность работы, экономичность, высокая энергия искровых разрядов и др[1].

Анализ работ отечественных и зарубежных авторов показал, что исследования в данном направлении в основном ограничиваются предложением различных конструктивных решений, в тоже время теоретические исследования физических процессов протекающих изучены недостаточно.

На низкой частоте вращения двигателя заряд накопительного конденсатора осуществляется многократным прерыванием тока короткого замыкания в обмотке зажигания полевым транзистором. Разряд накопительного конденсатора осуществляется путем замыкания его выводов на повышающий трансформатор посредством тиристора. При этом важной задачей при разработке МПСЗ является создание инструментов, позволяющих на проектной стадии с максимальным приближением к реальным условиям эксплуатации отработать режимы работы МПСЗ с минимальными экономическими и временными затратами. Одним из таких инструментов является имитационное моделирование МПСЗ, позволяющее проектирование и отработку его режимов в широком диапазоне входных параметров.

Бесперебойное искрообразование между электродами свечи зажигания происходит при высоком напряжении 8-30кВ. На прогревом двигателе к моменту искрообразования рабочая смесь сжата и имеет температуру, близкую к температуре самовоспламенения. В этом случае достаточно иметь

¹ Труды второй международной конференции "Интеллектуальные технологии обработки информации и управления", 10 - 12 ноября, Уфа, Россия, 2014

электрический разряд с энергией незначительной величины (порядка 5 мДж). Однако имеется ряд режимов работы двигателя, когда требуется энергия искры в 30–100 мДж. К таким режимам относятся:

- пусковой режим;
- работа на бедных смесях при частичном открытии дросселя;
- работа на холостом ходу;
- работа при резких открытиях дросселя [2].

В свою очередь энергия искры зависит от величины тока и напряжения в первичной цепи катушки зажигания. Таким образом исследование влияния емкости накопительного конденсатора на напряжение в первичной цепи обмотки зажигания и тока разряда является актуальной научно-технической задачей.

В работе [3] представлена имитационная модель разряда накопительного конденсатора МПСЗ, работающей только в режиме разряда накопительного конденсатора, позволяющая исследовать лишь узкий спектр выходных характеристик системы зажигания. Вместе с тем данная модель МПСЗ не позволяет исследовать одновременно процесс заряда и разряда, что естественно ограничивает возможность применения ее для отработки режимов работы и проектирования МПСЗ.

Таким образом, целью данной работы является разработка имитационной модели МПСЗ, позволяющей проводить исследования и отработку режимов работы МПСЗ, исследование влияния емкости накопительного конденсатора на напряжение в первичной цепи обмотки зажигания и тока разряда и подбор оптимальных параметров МПСЗ в широком диапазоне входных значений.

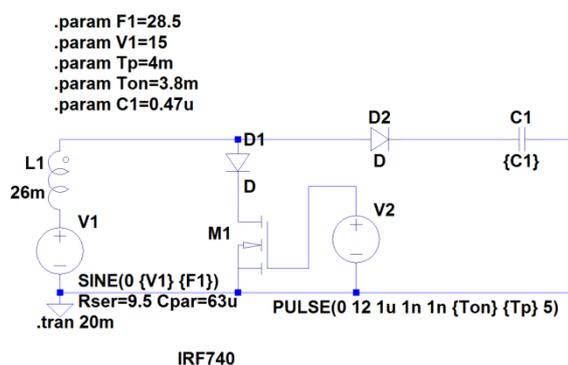


Рис. 1. Имитационная модель заряда накопительного конденсатора

На первом этапе авторами была разработана имитационная модель МПСЗ, работающей в режиме заряда накопительного конденсатора (рис. 1).

В данной модели C1 – накопительный конденсатор. Блоки V1 и L1 имитируют однофазный синхронный генератор магдино, вращающийся с частотой 300 об/мин. В модели цепочка заряда представлена блоками M1 и V2. Так как заряд накопительного конденсатора осуществляется многократным прерыванием тока короткого замыкания в обмотке зажигания полевым транзистором, блок M1 имитирует работу полевого транзистора. Блок V2 – источник прямоугольных импульсов имитирует управление микроконтроллера полевым транзистором. Управление блоком M1 осуществляется прямоугольными импульсами с параметрами, заданными переменными Tr, мс (период) и Ton, мс (время импульса).

На рис. 2 представлены кривые, на которых U1 – напряжение при закорачивании первичной обмотки, Um – управляющие импульсы блока V2, I1 – броски токов при закорачивании первичной обмотки, Uc – напряжение на накопительном конденсаторе C1.

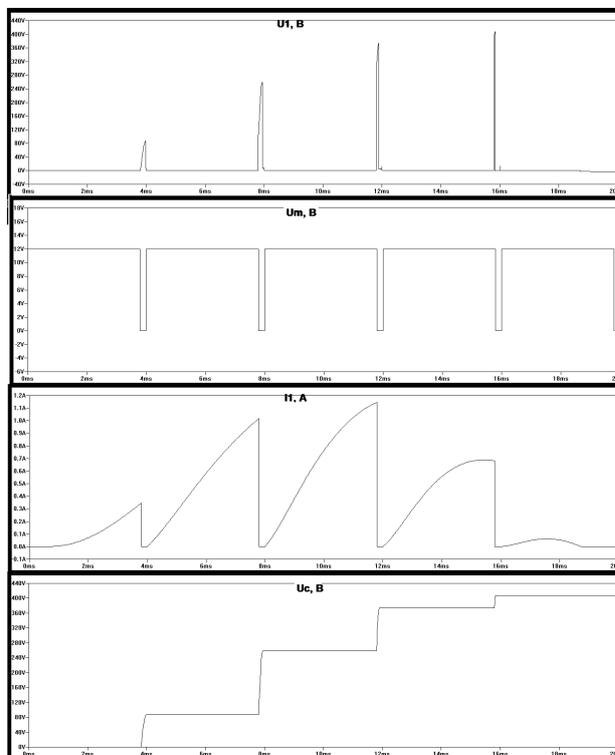


Рис. 2. Графики U1, Um, I1, Uc

Однако данная имитационная модель обладает одним существенным недостатком, а именно не позволяет исследовать процесс разряда накопительного конденсатора. Для исследования влияния емкости накопительного конденсатора на напряжение в первичной цепи обмотки зажигания и тока разряда были синтезированы имитационная

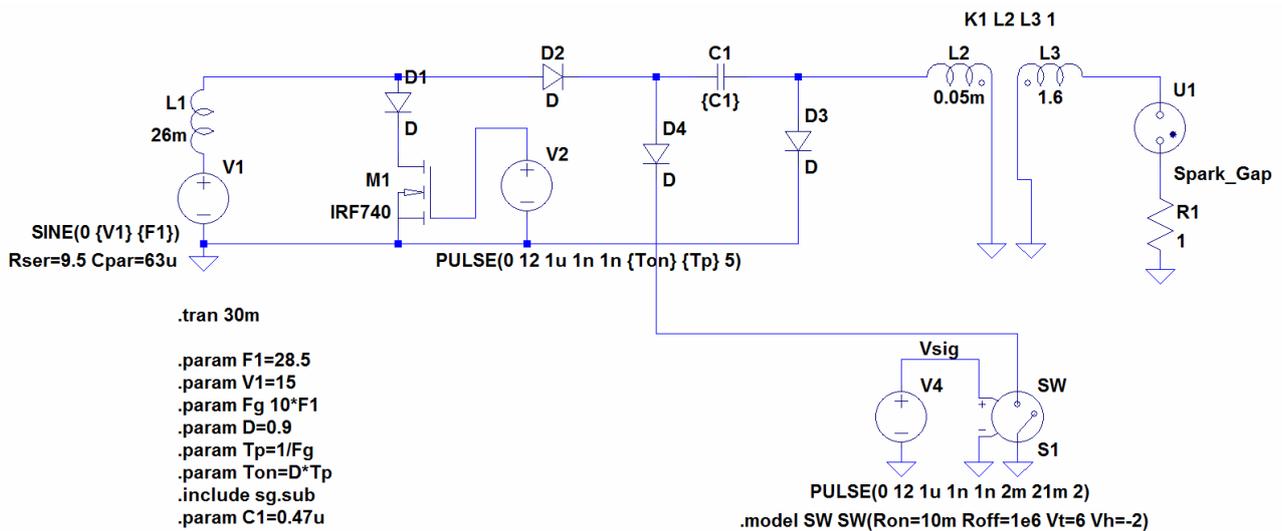


Рис. 3. Имитационная модель МПСЗ

модель заряда накопительного конденсатора и имитационная модель МПСЗ разряда накопительного конденсатора.

На рисунке 3 представлена имитационная модель МПСЗ. Цепочка заряда в этой модели практически аналогична цепочке заряда, представленной на рисунке 1, но отличается тем, что параметры блока V2 определяются частотой импульсов, зависящей от частоты вращения генератора ($Fg = n * FI$) и скважностью импульсов, что позволяет проводить исследования при различной частоте вращения генератора и различной скважности импульсов управления блоком M1. Блок K1 – повышающий трансформатор, имитирующий работы катушки зажигания. Блок Spark Gap – элемент, имитирующий работу свечи зажигания. Данный элемент был взят из библиотеки примеров программного пакета LTSpice IV [4].

Цепочка разряда в данной модели представлена блоками V4 и S1.

Так как разряд накопительного конденсатора осуществляется путем замыкания его выводов на повышающий трансформатор посредством тиристора, блок S1 – ключ, имитирует работу тиристора. Блок V4 – источник прямоугольных импульсов, имитирует управление тиристором. Блок K1 – повышающий трансформатор, имитирующий работу катушки зажигания.

На рис. 4 представлены кривые, на которых U_m – управляющие импульсы блока V2, U_1 – напряжение при закорачивании первичной обмотки, U_s – управляющие импульсы блока V4, U_c – напряжение на накопительном конденсаторе C1.

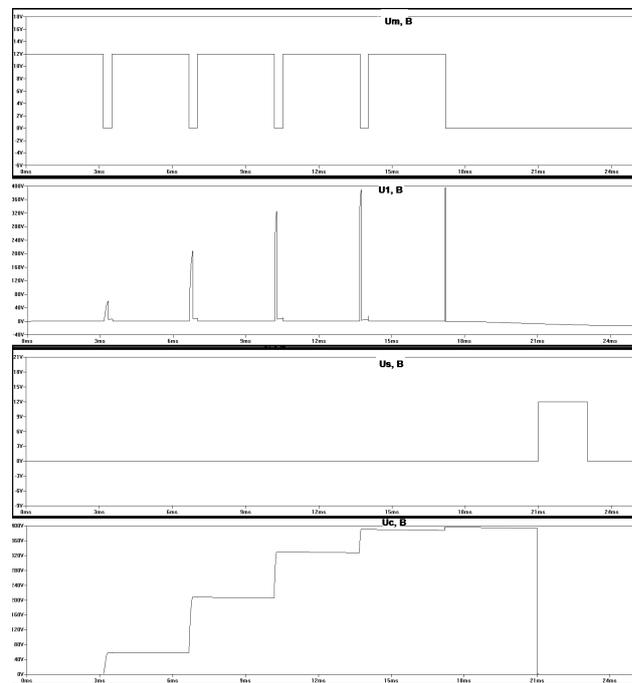


Рис. 4. Графики U_m , U_1 , U_s , U_c

На рисунках 5 и 6 представлены графики напряжений заряда и токов разряда накопительных конденсаторов различной емкости соответственно. В целях наглядности был использован инструмент .step param, позволяющий объединить на одном графике несколько кривых, соответствующих разным параметрам того или иного элемента. В данном случае емкость накопительного конденсатора $C = 0,2 \dots 0,6$ мкФ.

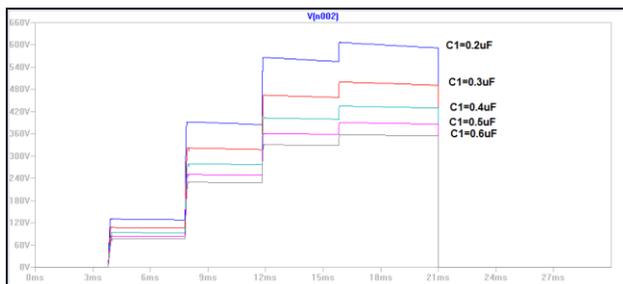


Рис. 5. Напряжения заряда накопительных конденсаторов различной емкости

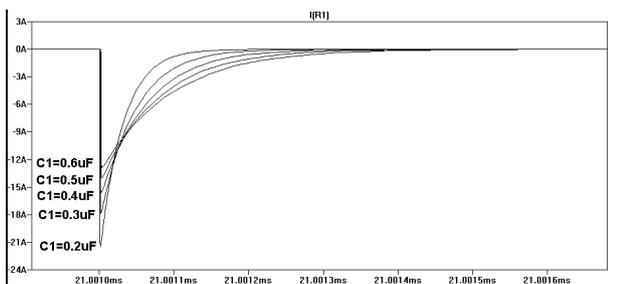


Рис. 6. Токи разряда накопительных конденсаторов различной емкости

С целью подтверждения полученных результатов имитационного моделирования были проведены экспериментальные исследования. Авторами был собран макетный образец. Для исследования характеристик макетного образца МПСЗ был задействован экспериментальный стенд, включающий в себя:

- частотный привод Altivar 31;
- генератор магдино;
- 2 магнитоэлектрических датчика;
- искровой промежуток 5 и 10 мм;
- катушка зажигания;
- цифровой запоминающий осциллограф GwInstek GDS-73154;
- Источник питания НУ3005D-2;
- генератор сигналов произвольной формы для IBM PC-совместимых компьютеров ГСПФ-05.

Для решения поставленной задачи проводились экспериментальные исследования МПСЗ при следующих технических условиях: частота вращения генератора – 300÷2000 об/мин; емкость накопительного конденсатора – 0,1÷1,15 мкФ; частота коммутации – $t_{имп} = 3,8$, $t_{паузы} = 0,15$; искровой промежуток – 5мм и 10мм; заряд конденсатора производится положительной полуволной в течении трех полупериодов.

На рисунке 7 представлен график напряжения на накопительном конденсаторе емкостью от 0,47 мкФ при 300 об/мин вращения генератора.

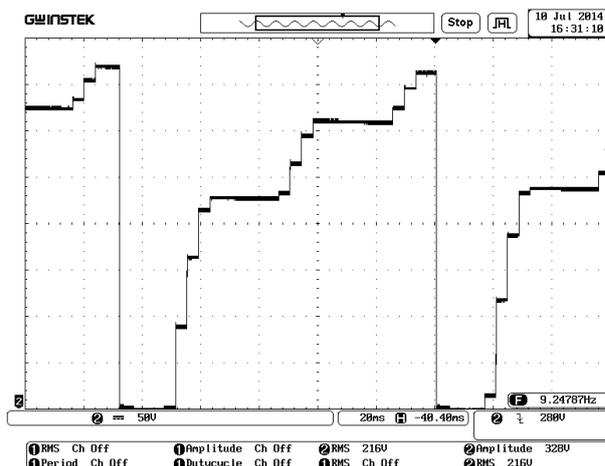


Рис. 7. Напряжения заряда накопительного конденсатора

На рисунке 8 представлен график тока разряда конденсатора емкостью от 0,47 мкФ в первичной цепи обмотки зажигания при 300 об/мин вращения генератора.

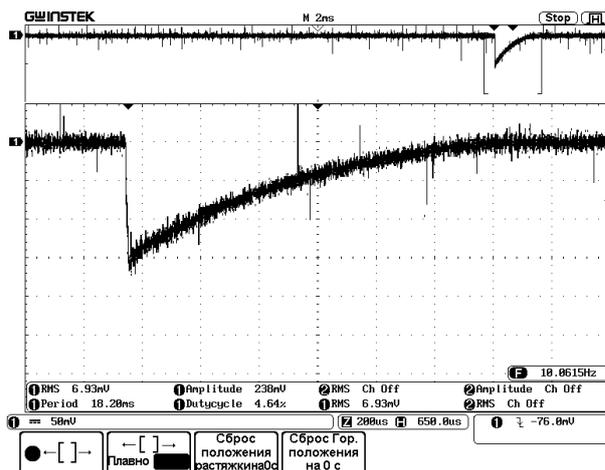


Рис. 8. Токи разряда накопительного конденсатора

Для каждой емкости накопительного конденсатора были сняты динамические характеристики токов и напряжений в диапазоне частот вращения генератора 300÷2000 об/мин. Следует отметить что исследования конденсаторов емкостью 0,1 и 0,22 мкФ проходили на искровом промежутке 5мм, вследствие того что на искровом промежутке 10мм энергия искры была недостаточной для пробоя. Исследования остальных конденсаторов емкостью 0,33–1,15 мкФ проводились на искровом промежутке 10мм.

По результатам анализа полученных графиков и диаграмм сделаны следующие выводы: мощность разряда на искровом промежутке систем зажигания с установленными конденсаторами емкостью 0,47, 0,6 и 0,72 мкФ выше остальных, но при установленных конденсаторах емкостью 0,6 и 0,72 разброс величин напряжения на конденсаторе достигает 100 В, что

неприемлемо. Таким образом, с помощью представленной методики было найдено оптимальное значение емкости накопительного конденсатора 0,47 мкФ для разработанной МПСЗ.

Список используемых источников

1. Гизатуллин, Ф.А. Емкостные системы зажигания / Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т.—Уфа,2002.—249с.
2. Зинин Ю.М., Гизатуллин, Ф.А. Системы зажигания автомобилей: учебное пособие / Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т.—Уфа,2008.—61с.
3. Ф. Р. Исмагилов, Р. Н. Султангалеев, Е. А. Полихач, И. И. Ямалов, Д. Р. Фаррахов, Математическая модель переходных процессов заряда и разряда конденсатора в емкостной системе зажигания для мототехники // Вестник УГАТУ.—2014— Т. 18, № 1 (62). с. 1–4
4. LTwiki for LTspice, SPICE, and Electronics help. — 2014. [Электронный ресурс]. URL: <http://ltwiki.org/files/LTspiceIV/examples/LtSpicePlus/Discretos/Spark%20Gap/> (дата обращения 29.08.2014).