

## РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ РАЗРЯДОВ ПУТЕМ ЦИФРОВОГО УПРАВЛЕНИЯ ПЕРЕХОДНЫМИ ПРОЦЕССАМИ ВТОРОГО ПОРЯДКА

Чурсин Ю.А., Опольский В.В.

Научный руководитель: Чурсин Ю.А., к.т.н, доцент  
Томский политехнический университет

E-mail: [gorificator@gmail.com](mailto:gorificator@gmail.com)

### Введение

В настоящее время высоковольтные разряды находят применение в различных отраслях техники: ионизация воздуха, дефектоскопия, самооборона и т. п. Для преобразования низкого напряжения в высокое применяются различные способы: от блокинг-генераторов до резонансных цепей. В данной статье будет рассмотрена силовая часть лабораторного стенда системы электронного зажигания.

### Схема эксперимента

Схема эксперимента показана на рисунке 1.

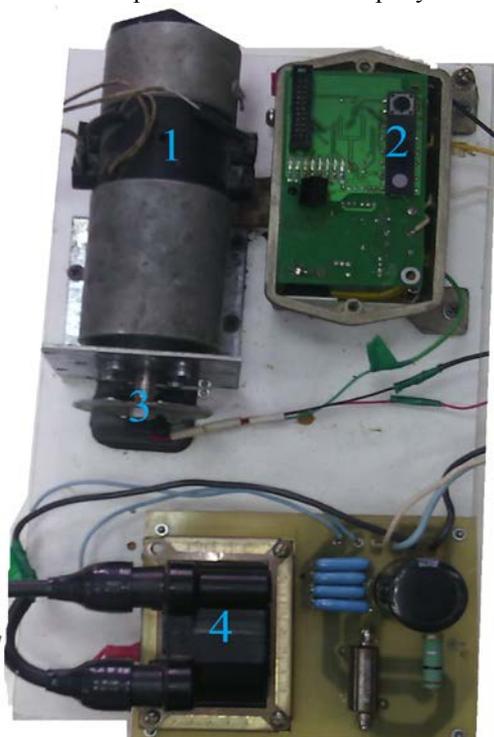


Рис.1. Схема эксперимента

Двигатель постоянного тока (1) имитирует вращение двигателя внутреннего возгорания. На ось закреплен диск с прорезями, проходящий через датчик Холла (3). При вращении датчик фиксирует прохождение прорези и подает сигнал на цифровую часть (2) установки, которая высчитывает частоту вращения и в зависимости от нее регулирует длину импульса, подаваемого на силовой транзистор IRG4PC50F[1]. При открытии транзистора в силовой части (4) возникают переходные процессы, которые будут рассмотрены ниже. Цифровая часть прибора управляется микропроцессором stm32f103[2], программный код был написан в среде разработки IAR Embedded Workbench[3].

Расчет переходных процессов в электротехнике производится по двум основным формулам:

$$I = C \frac{dU}{dt}, U = L \frac{dI}{dt} [4]$$

Главное следствие, на котором строится силовая часть: чем быстрее изменение тока в катушке индуктивности, тем выше на ней напряжение. Порядок переходного процесса определяется количеством реактивных элементов в цепи. Чтобы получить оптимальный скачок напряжения, нужно построить цепь не ниже второго порядка.

В основе силовой части лежит катушка зажигания от автомобиля ГАЗ-3110 [5], которая представляет собой трансформатор с большим коэффициентом трансформации.

Принципиальная схема силовой части приведена на рисунке 2:

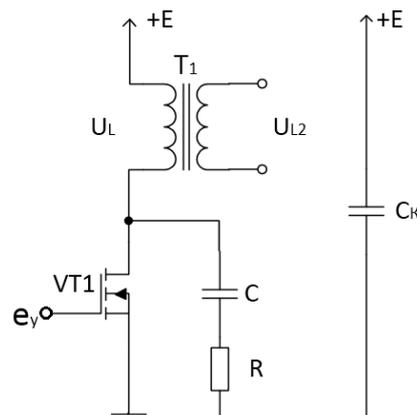


Рис.2. Принципиальная схема силовой части

При подаче управляющего импульса транзистор переходит в режим насыщения и через первичную обмотку трансформатора начинает нарастать ток, описываемый уравнением

$$i(t) = \frac{E}{R_{06}} - \frac{E}{R_{06}} e^{-t \frac{R_{06}}{L}}$$

Где  $L$  – индуктивность первичной обмотки,  $R_{06}$  – активное сопротивление первичной обмотки. В это же время конденсатор разряжается через резистор  $R$  до нулевого напряжения вследствие малого сопротивления резистора (6.8 Ом). транзистор закрывается, индуктивность стремится сохранить то же значение силы тока, что и до момента закрытия, поэтому формирует на себе большое напряжение. Так как в схеме присутствует конденсатор, то переходный процесс будет представлять собой затухающие колебания с частотой

$$\omega = \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{(R_{об} + R)^2}{4L^2}}$$

и скоростью затухания  
$$e^{-\frac{(R+R_{об})}{2L}t}$$

Напряжение на первичной обмотке прямо пропорционально начальному значению тока, а значит прямо пропорционально длине управляющего импульса. Выходное напряжение снимается с вторичной обмотки катушки зажигания. Конденсатор  $C_k$  является компенсатором внутреннего сопротивления источника питания.

### Результаты и обсуждения

Для проверки теории была собрана модель в программном пакете NI Multisim 10 и сняты показания напряжения на первичной обмотке с виртуального осциллографа (Рисунок 3).



Рис.3. Показания виртуального осциллографа

В ходе эксперимента на двигатель постоянного тока подавалось напряжение, управляющими кнопками регулировалась длина управляющего импульса, а форма выходного напряжения регистрировалась на осциллографе с помощью высоковольтного щупа (желтым цветом выделено напряжение на вторичной обмотке, синим – на первичной)



Рис.4. Напряжение на первичной и вторичной обмотке

Измерение тока через катушку путем измерения напряжения на высокоомном малоомном резисторе.

Из осциллограмм видно, что реальная форма напряжения соответствует теоретическим расчетам и компьютерной модели. Наблюдается существенная зависимость выходного напряжения от длины управляющего импульса. Также стоит отметить, что при больших значениях длина импульса в форме выходного напряжения наблюдаются нелинейные искажения, которыми можно пренебречь.

В ходе эксперимента были проверены теоретические основы переходных процессов, в частности уместность допущений (замена

транзистора идеальным ключом, пренебрежение влиянием вторичной обмотки на первичную и т. п.) и поведение силовой части схемы при непрерывной подаче импульсов с большой частотой.

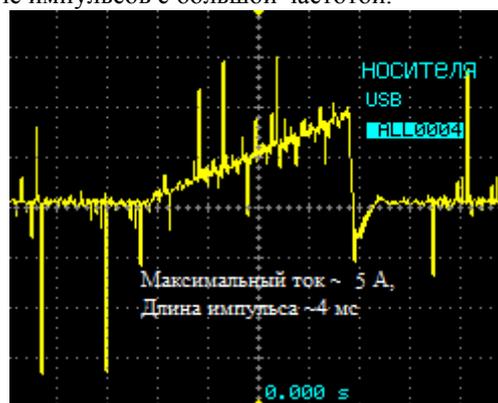


Рис.5. Ток через индуктивность

### Закключение

Исходя из полученных результатов была подобрана оптимальная длина импульса: подавать импульс дольше, чем  $3 \frac{L}{R_{об}}$ , в данной схеме – 5 мс не имеет смысла, а при частоте вращения более 200 об/с схема перестанет выполнять свою функцию. Выходное напряжение на холостом ходу при длине импульса 1 мс составляет около 25 кВ, что достаточно для пробоя воздуха. Емкость компенсирующего конденсатора составляем 2200 мкФ, номинальное напряжение – 100 В. При питании от машинного аккумулятора данный конденсатор может отсутствовать. Ввиду того, что выходное напряжение меняет знак, гасящие конденсаторы должны быть неполярными, например – пленочными.

В описываемой схеме поставлены четыре конденсатора по 220 нФ, соединенные параллельно. Резисторы следует выбирать большой мощности, не менее 2 Вт.

В дальнейшем планируется продолжить исследование данного прибора в различных условиях (в частности исследование влияния реактивной нагрузки на переходные процессы)

### Список литературы

1. IRG4PC50F Datasheet/  
<http://www.alldatasheet.com/view.jsp?Searchword=Irg4pc50f>, свободный. —Яз. англ.
2. Optimizing C/C++ Compilers and Debuggers from IAR Systems - IAR/  
<http://www.iar.com/Products/IAR-Embedded-Workbench/>, свободный. —Яз. англ.
3. STM32F103RB Mainstream Performance line, ARM Cortex-M3 MCU with 128 Kbytes Flash, 72 MHz CPU, motor control, USB and CAN /  
<http://www.st.com/web/catalog/mmc/FM141/SC1169/SS1031/LN1565/PF164487>, свободный. —Яз. англ.
4. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. Изд-во Гардарики, 2007
5. Карягин А. В., Соловьёв Г. М., Устройство, обслуживание и правила движения автомобилей. Военное издательство Министерства Обороны Союза ССР, Москва, 1957 год