

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«НОВОСИБИРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ».

Физический факультет

Кафедра общей физики

Максимов Степан Алексеевич

КУРСОВАЯ РАБОТА

**«Система зарядки и поджига - с расчетом напряжений и токов системы
поджига для импульсной лампы подсветки взрывного эксперимента на
ВЭПП-4»**

Электромагнитный практикум, 2 курс, группа 19301

Научный руководитель:

д.ф – м.н, Пальчиков Е. И.

Оценка научного руководителя

«____» _____ 2020 г.

Преподаватель практикума:

Судников А.В

Оценка преподавателя практикума

«____» _____ 2020 г.

Куратор практикума:

к.т.н, Астрелин В.Т.

Итоговая оценка

«____» _____ 2020 г.

Новосибирск, 2020 г.

Аннотация

Целью работы было исследование и создание малоиндуктивной цепи питания и цепи поджига на основе лампы-вспышки ИСШ400. Для этой цепи были рассмотрены условия периодического, критического и апериодического разрядов, определен наиболее подходящий случай разряда и собраны две схемы: первая – с тиристором и использованием поджигающего электрода лампы и вторая – более современная схема с IGBT транзистором. Обе схемы имели одинаковый функционал. Для каждой из них проведены высокоточные измерения и определены преимущества и недостатки каждой.

Ключевые слова: высокоточная цепь, лампа-вспышка, апериодический разряд, конденсатор, напряжение, шоппировка, индуктивность, тиристор, транзистор.

Оглавление

1. Введение	4
2. Краткая теоретическая выкладка	4
2.1 Колебательный контур	5
2.2 Виды разрядов: Периодические и аperiodические	5
2.3 Выбор оптимального решения	6
3. Расчет и эксперимент	7
3.1 Общая схема установки	7
3.2 Схема поджига с тиристором	11
3.3 IGBT транзистор	11
3.4 Схема поджига с IGBT транзистором	13
3.5 Схема транзисторного преобразователя	13
4. Заключение	15
5. Литература	15

1. Введение

Лампы типа ИСШ используются в основном в авиационной промышленности. Например, лампа герметично устанавливается на конец крыла самолета. Но в тех условиях на лампочку разряжалась емкость порядка 30 нФ, когда в данной работе используется емкость около 2 мкФ.

В данной работе мы использовали лампу ИСШ-400 для получения мощной одиночной вспышки. Длительность импульса порядка микросекунды. Во время разряда на лампе возникают огромные токи, напряжения и мощности, что препятствует напрямую проводить измерения, поэтому необходимо уметь качественно проводить оценки параметров.

2. Краткая теоретическая выкладка

2.1 Колебательный контур

Зададимся задачей нахождения оптимального решения для уравнения колебаний в контуре.

Рассмотрим простой колебательный контур, представленный на рисунке 1.

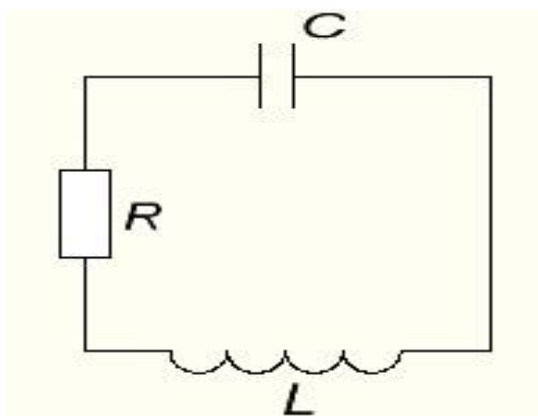


Рисунок 1. Колебательный контур.

По второму закону Кирхгофа, получим:

$$IR + \frac{q}{C} = -L \frac{dI}{dt} \quad (1)$$

Продифференцируем его по t и разделим на L . С учетом того, что $I = \dot{q}$, получим:

$$\frac{d^2 I}{dt^2} + \frac{dI}{dt} \frac{R}{L} + \frac{I}{LC} = 0$$

Для решения этого дифференциального уравнения составим характеристическое уравнение:

$$p^2 + \frac{R}{L}p + \frac{1}{LC} = 0 \quad (2)$$

С решениями

$$p_{1,2} = -\frac{R}{2L} \pm \sqrt{\frac{R^2}{4L^2} - \frac{1}{LC}} \quad (3)$$

То есть, характер колебаний зависит от знака подкоренного выражения и определяется параметрами R , L и C .

2.2 Периодические и аperiodические разряды.

1) Аperiodический разряд ($\frac{R}{2L} > \frac{1}{\sqrt{LC}}$)

Аperiodическим разрядом называется разряд, при котором напряжение на конденсаторе монотонно спадает с некоторого значения U_0 до нуля, т.е. не происходит перезарядки конденсатора.

Графики тока и напряжений приведены ниже:

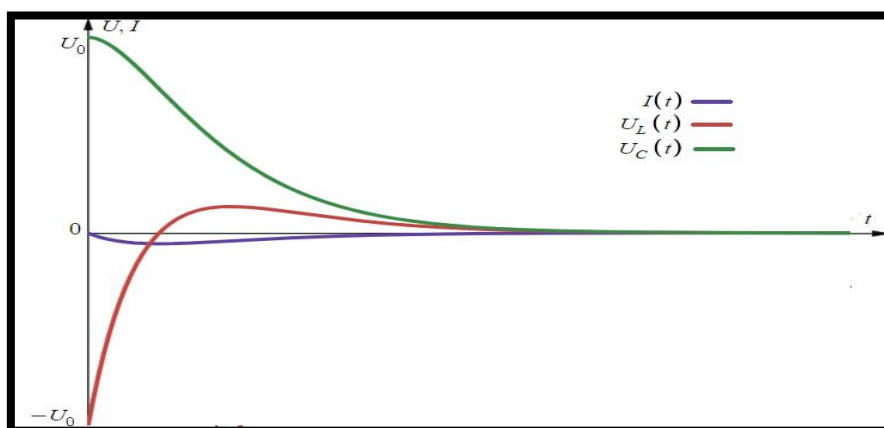


Рисунок 2. Зависимости $U_L(t)$, $U_C(t)$ и $I(t)$.

2) Критический случай

$$R_{\text{кр}} = 2 \sqrt{\frac{L}{C}} = 2\rho_{\text{волн}} \quad (7)$$

График $U_L(t)$, $U_C(t)$ и $I(t)$ приведен ниже:

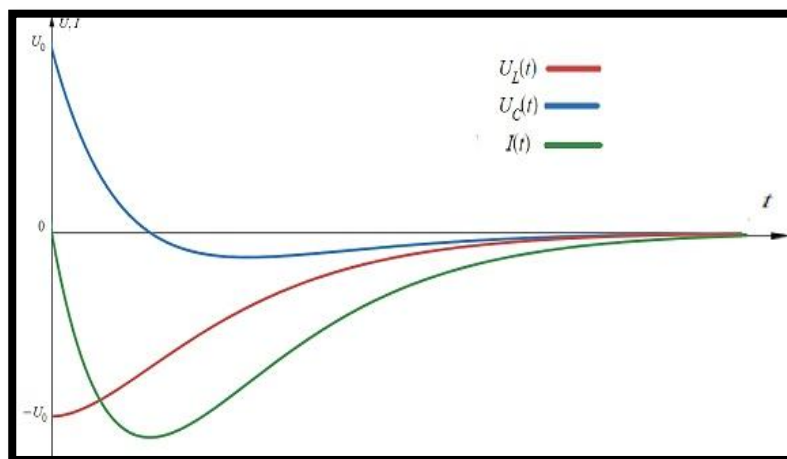


Рисунок 3. Зависимости $U_L(t)$, $U_C(t)$ и $I(t)$ в критическом случае.

3) Периодический разряд конденсатора

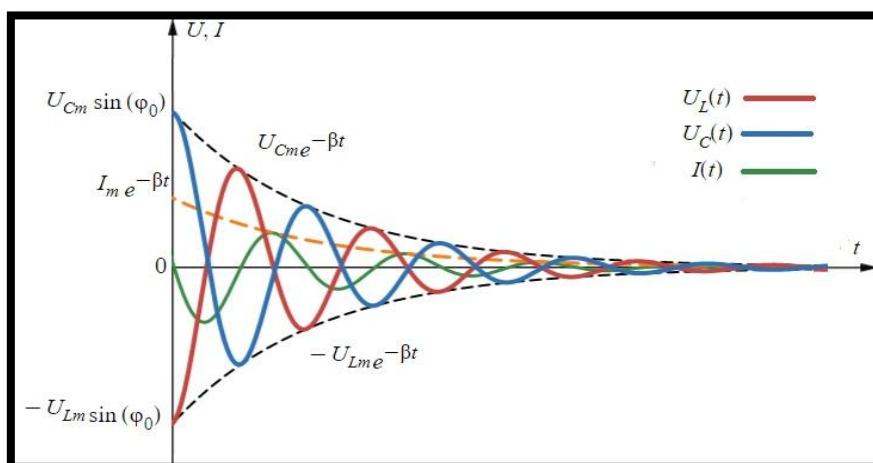


Рисунок 4. Периодические колебания

2.3 Выбор оптимального решения

Теперь, зададимся задачей выбрать оптимальное решение, чтобы кривая зависимости интенсивности от времени была как можно уже во время вспышки

и большая часть энергии пошла именно на лампочку. При этом длительность вспышки не должна превышать 1 – 2 микросекунды. К яркости вспышки можно подобрать следующим образом: мощность вспышки пропорциональна квадрату силы тока, если считать, что сопротивление лампы-вспышки постоянно во время разряда, то мощность можно считать равной $P = I^2 R$. Так как интенсивность пропорциональна мощности излучения, то стоит выбрать такое решение, чтобы в начале рост силы тока был максимален, доходя до некоторого максимального значения, и за ним следовал быстрый спад. Периодический колебания можно сразу отбросить, так как возникают перезарядка конденсатора. Остаются аperiodический и критический разряды. В первом случае $R > 2\sqrt{\frac{L}{C}}$, из-за чего могут произойти лишние потери энергии на резисторе и по рис. 5 видно, что отношение среднего значения тока к времени спада (т.е. от 0 до некоторого продолжительного момента времени t) мало по сравнению с крит. случаем. Также стоит выбрать конденсатор с шоппировкой (Индуктивность такого конденсатора практически равна индуктивности стержня таких же размеров. Это достигается за счет того, что на его концы наносят проводник) для снижения потерь энергии на резисторе. Поэтому стоит выбрать аperiodический разряд в критическом случае.

3. Эксперимент

3.1 Общая схема установки

Для выполнения данной работы была реализована схема, с полу-блочным рисунком которой, можно ознакомиться на следующем изображении, где БП- блок поджига, БЗ- блок зарядки:

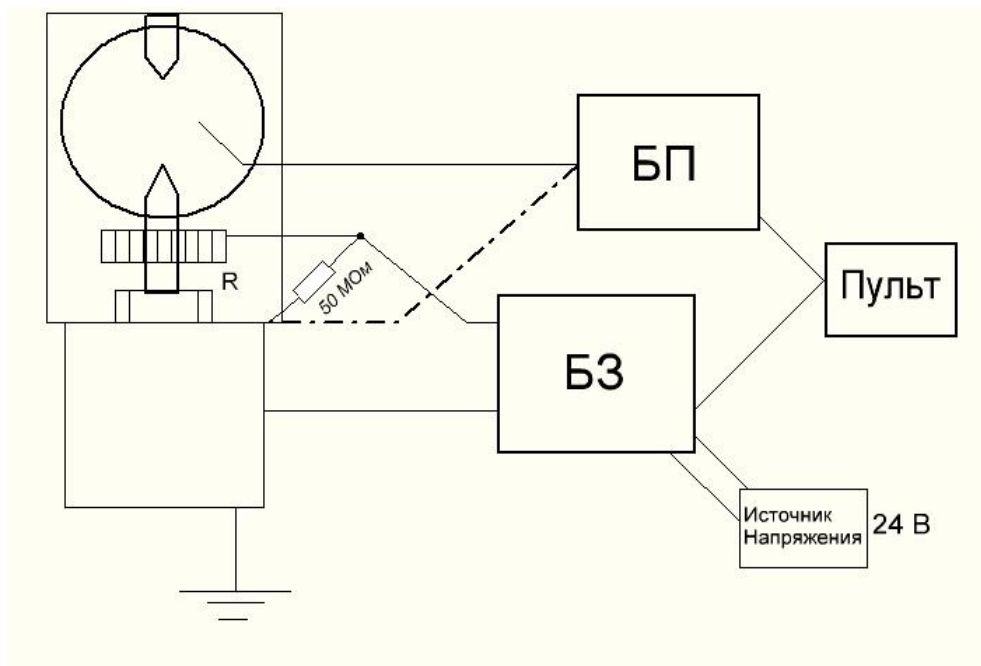


Рис.5. Рисунок установки

Для данной работы была собрана следующая схема:

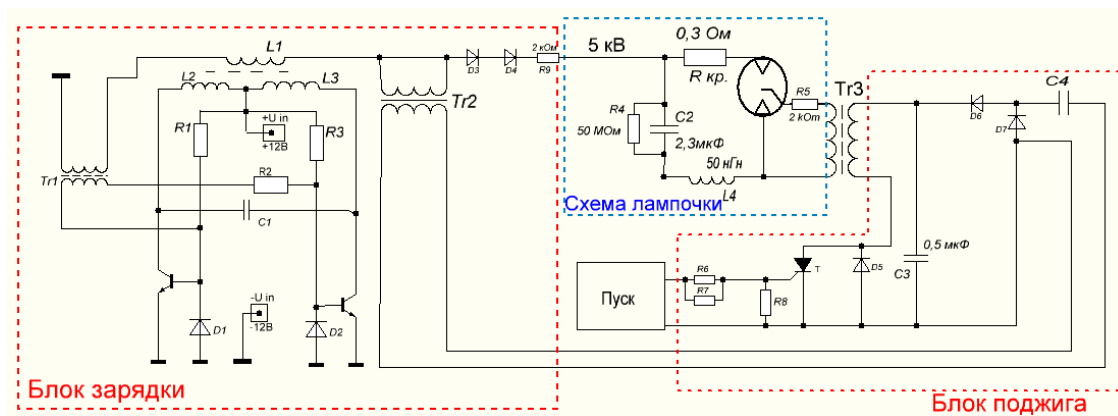


Рисунок 6. Схема установки.

Некоторые паспортные данные: $C_2 = 2,3 \text{ мкФ}$,

$L_{C_2} = 25 \text{ нГн}$ и $L_{\text{ламп.}} = 25 \text{ нГн}$ – (паразитная индуктивность),

$L_4 = L_{C_2} + L_{\text{ламп.}} = 50 \text{ нГн}$.



Рисунок 7. Лампа-вспышка ИСШ400



Рисунок 8. Лампа-вспышка

На рисунке видна связка из параллельно соединённых резисторов. Такое соединение нужно для уменьшения паразитной индуктивности лампы.



Рисунок 9. Конденсатор К75-30 с шоппировкой.

На рис. 8 представлен конденсатор с шоппировкой. Внутри он представляет из себя намотку из ленты. Индуктивность такого конденсатора близка к

индуктивности стержня такого же размера. Это достигается за счет напыления проводника на торцы конденсатора.

Эта схема работает по следующему принципу: транзисторный блок зарядки преобразует напряжение 24 В от источника до 5 кВ. Затем, этим напряжением заряжают конденсатор C_2 и через трансформатор Tr_2 конденсатор C_3 до 600 В. Затем “Пуск” открывает тиристор, конденсатор C_3 разряжается, заряд с него проходит через повышающий трансформатор Tr_3 на поджигающий электрод, после чего происходит разряд конденсатора C_2 на лампу. Длительность этого разряда составляет ≈ 1 мкс.

Дополнительно к C_2 подключено сопротивление $R_4 = 50$ МОм. Оно необходимо для обеспечения техники безопасности. Также рекомендуется при повторном проведении эксперимента обесточить схему и подождать не менее $RC_2 \approx 2$ минут.

Для такой длительности вспышки специально было подобрано сопротивление $R_{кр} = 0,3$ Ом, т.к. в этом случае условие $R_{кр} = 2 \sqrt{\frac{L_4}{C_2}} = 0,3$ Ом выполняется и происходит критический случай апериодического разряда.

Рассчитаем параметры цепи во время разрядки. После открытия тиристора, через резистор $R_{кр}$ пройдет заряд $q = C_2 U = 2,3 \cdot 10^{-6} \cdot 5000 = 11,5$ мКл,

тогда ток через лампу во время вспышки $I = \frac{dq}{dt} \approx \frac{q}{t} = \frac{11,5 \cdot 10^{-3}}{10^{-6}} = 11500$ А.

Также на ней выделится энергия $W = \frac{C_2 U^2}{2} = \frac{2,3 \cdot 10^{-6} \cdot 5000^2}{2} \approx 29$ Дж и мощность

$P = \frac{W}{t} \approx 30$ МВт.

3.2 Схема поджига с тиристором

Для реализации поджига с тиристором была собрана следующая схема:

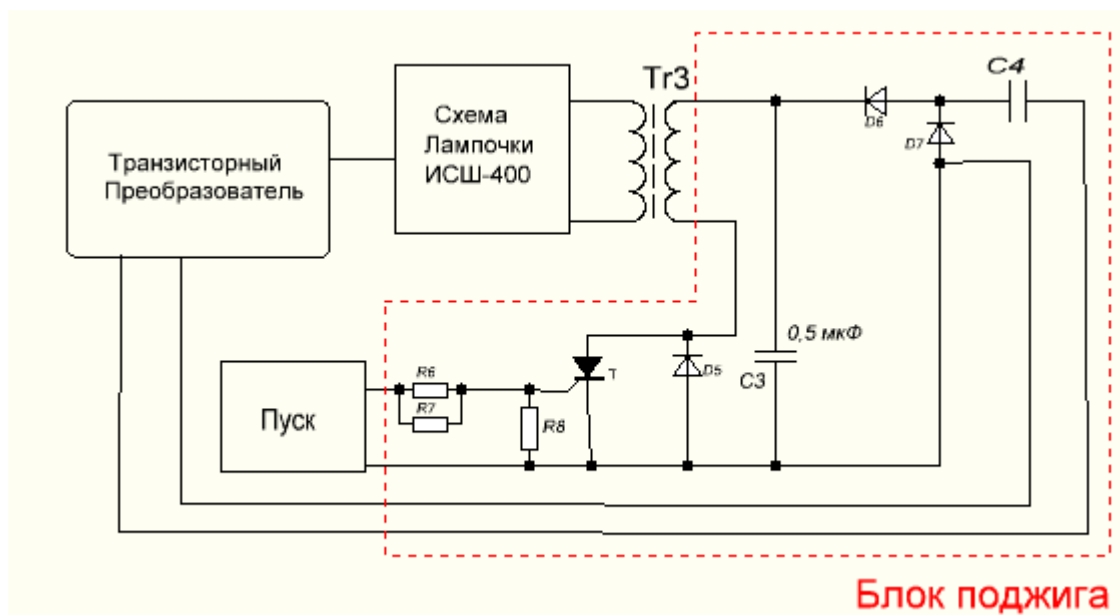


Рисунок 10.Схема поджига

Для поджига лампы на зажигающий электрод подается напряжение $U_2 = 15$ кВ. Это значит, что напряжение $U_1 = 600$ В с конденсатора C_3 преобразуется в напряжение 13,5 кВ, т.е. коэффициент трансформации Tr_3 равен $k = \frac{U_2}{U_1} = \frac{13500}{600} = 22,5$ и ток во вторичной обмотке $I_1 = \frac{U_2}{R_5} = \frac{13500}{2000} \approx 7$ А. Сопротивление R_5 в схеме ограничивает обратный ток во время разряда лампы и не дает сгореть схеме поджига, причем сам поджиг существенно неограничивается

Недостатки: время срабатывания тиристора составляет 0,5 – 2 микросекунды, что сравнимо с длительностью вспышки.

3.3 IGBT транзистор

IGBT транзистор - электронный силовой прибор. Собой он представляет гибрид полевого и биполярного транзистора. Его входные характеристики подобны входным характеристикам полевого транзистора, а выходные – биполярного соответственно. Суть работы такого транзистора заключается в том, что полевой транзистор управляет мощным биполярным, в результате переключения нагрузки становится возможным при малой мощности, т.к. управляющий сигнал поступает на затвор полевого транзистора.

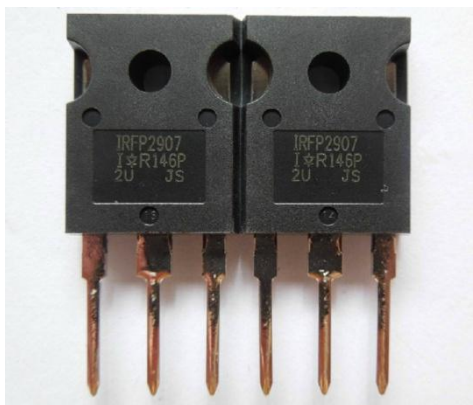


Рисунок 11. IGBT транзистор

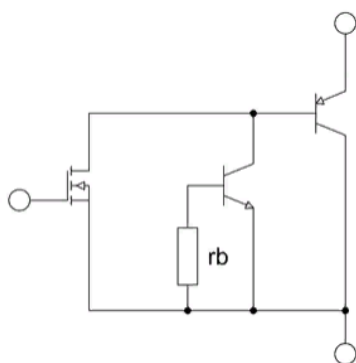


Рисунок 12. Эквивалентная схема

3.4 Схема поджига с IGBT транзистором

Перейдем к рассмотрению следующей установки:

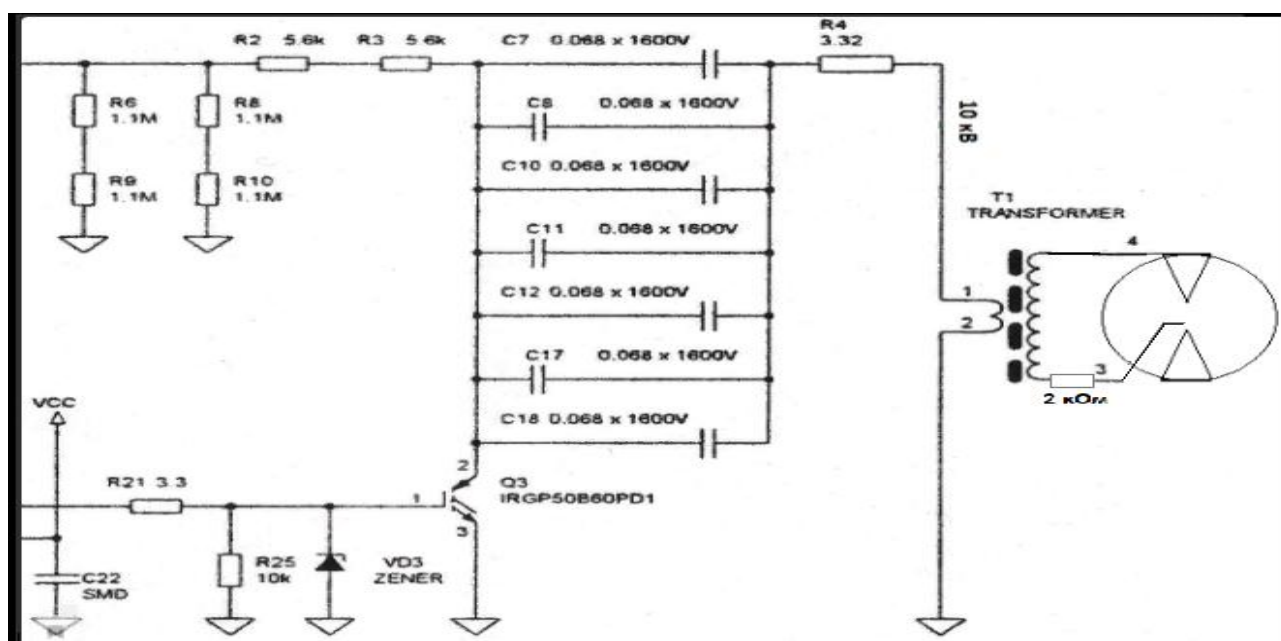


Рисунок 13. Схема поджига с транзистором



Рисунок 14. Схема поджига

Принцип действия у этой схемы примерно такой же, но задержка срабатывания транзистора составляет 20 нс, что на порядок меньше установки с тиристором. На рис. 9 изображена лишь часть схемы. С полной версией можно ознакомиться в прикрепленном файле. Семь конденсаторов подключены параллельно для снижения индуктивности. В этой схеме на электроды лампочки сразу подается энергия с конденсаторов. Известно, что на вторичную обмотку катушки поступает 10 кВ. Зная коэффициент трансформации ($k = 25$) получаем напряжение на первичной обмотке $U \approx 400$ В и ток $I = \frac{U}{R_4} = \frac{400}{3,3} \approx 120$ А. Такое сопротивление взято специально, т.к. без него через IGBT транзистор потечет ток $I_1 = \frac{P}{U} \approx \frac{7CU}{2t} = \frac{7 \cdot 0,068 \cdot 10^{-6} \cdot 400}{10^{-6}} \approx 200$ А при максимально допустимом 150 А. $R = 2$ кОм в схеме ограничивает обратный ток во время разряда лампы и не дает сгореть схеме поджига, причем сам поджиг существенно неограничивается. Дополнительно, этот резистор обеспечивает нам некоторый оптимум, при котором в системе не происходит ненужных колебаний и не тратится лишней энергии на рассеяние энергии на сопротивление.

3.5 Схема транзисторного преобразователя.

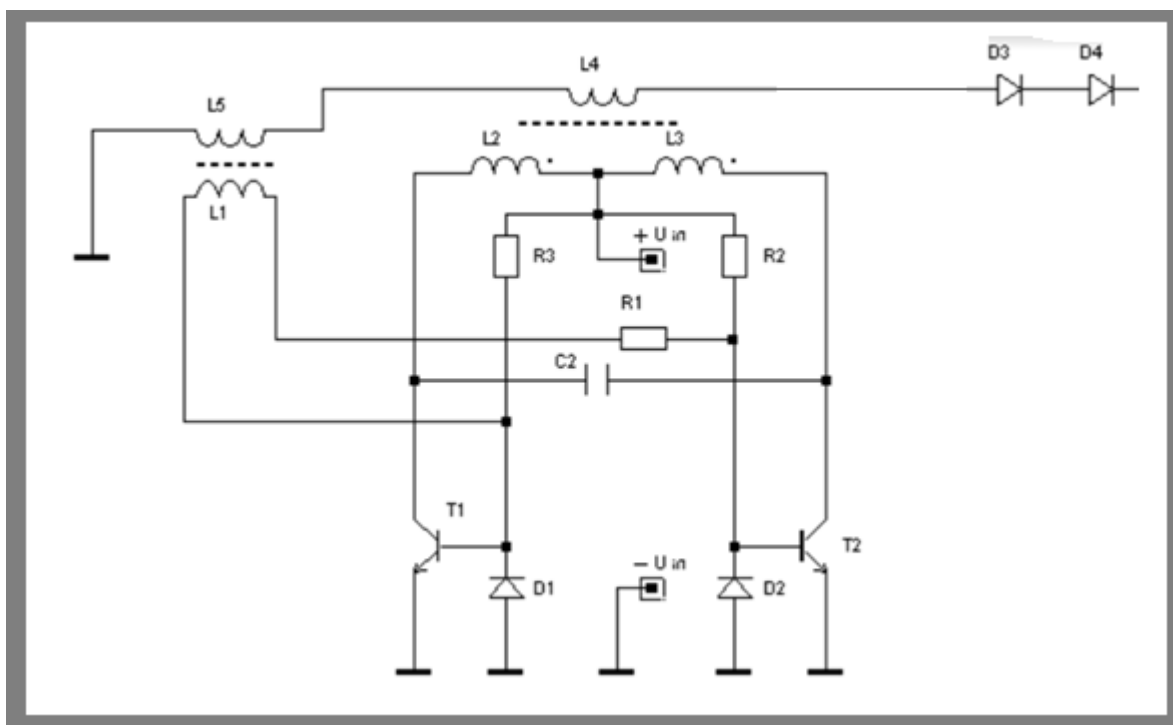


Рисунок 15. Схема преобразователя

Основная задачей данного блока создать напряжение в 5 кВ для дальнейшей работы нашей схемы. Коэффициент преобразования:

$$k = \frac{U_{out}}{U_{in}} \approx \frac{5000\text{В}}{24\text{В}} \approx 210$$

Источник питания на 24В подключен к разъемам $+U_{in}$ и $-U_{in}$ соответственно. Основной высоковольтный трансформатор изготавливается из строчного трансформатора от цветного лампового телевизора ТВС 90-ЛЦ2. В этом случае затраты времени и материалов минимальны. От трансформатора используется ферритовый магнитопровод и высоковольтная катушка, содержащая многослойную обмотку из 1500 витков (L_4 на схеме), каждый слой которой разделён лавсановой плёнкой и которая залита в изоляцию, выдерживающую 24 кВ высокочастотного напряжения.

Диоды D_3 , D_4 в данной цепи служат выпрямителем тока. Сопротивление R_9 (2 кОм) нужно чтобы диоды не сгорели при срабатывании лампы вспышки.

4. Заключение

В ходе работы были реализованы две схемы поджига и подобраны оптимальные условия для проведения экспериментов с целью изучения разрядной установки на основе лампы-вспышки ИСШ400. При рассмотрении схем поджига были выявлены недостатки и преимущества каждой из них.

5. Литература

Яковлев В.И. Классическая электродинамика: Учеб. Пособие/Новосиб. ун-т. Новосибирск, 2003 г.

Атабеков Г. И. Теоретические основы электротехники. Линейные электрические цепи: Учебное пособие. 7-е изд., стер. — СПб.: Издательство «Лань», 2009 г.— 592 с.: ил.— (Учебники для вузов. Специальная литература).

Пальчиков Е.И. Презентация «Сильноточная электроника».

Зевеке Г.В., Ионкин П.А., Нетушил А.В., Страхов С.В. Основы теории цепей. Учебник для вузов. 4-е изд., перераб. М.: Энергия, 1975. - 752 с.: ил.

<https://leg.co.ua/arhiv/podstancii/silovye-elektricheskie-kondensatory-3.html>

<https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/227639/IRF/IRGP50B60PD1.html>