

**Лабораторная работа №6**  
**курса «Силовая электроника».**  
**В.Я. Двадненко**

## **СИЛОВЫЕ ИМПУЛЬСНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ**

### **ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ**

Импульсные преобразователи для преобразования напряжений и токов с почти неизменной мощностью на выходе по отношению ко входной мощности, т. е. с высоким КПД, а значит минимальными потерями мощности на это преобразование нашли широкое применение. Минимум потерь является важнейшим требованием в силовой электронике т. к. потери приводят к нагреву устройства, необходимости устанавливать мощные радиаторы, вводить принудительное охлаждение, например, обдув с помощью вентилятора. Важным положительным качеством импульсных преобразователей является возможность существенно уменьшить вес, габариты и стоимость таких устройств.

Импульсное преобразование токов и напряжений по сравнению в традиционным трансформаторным преобразованием на промышленной частоте (50 Гц) имеет преимущества благодаря переходу на высокую частоту преобразования (16 -100 кГц), а также благодаря использованию импульсных методов регулирования (стабилизации) вместо компенсационных. Импульсные преобразователи имеют более широкую область применения также благодаря возможностям преобразований постоянного напряжения в постоянное напряжение, переменного в постоянное, постоянноого в переменное,

переменного в переменное, но с другой частотой и еще благодаря ряду других возможностей.

Все импульсные преобразователи используют управляемые силовые ключи. Преобразователи делятся на однотактные, при использовании одного ключа, двухтактные при использовании двух и более ключей. Двухтактные делятся на пуш-пульные и полумостовые (2 ключа), однофазные мостовые (4 ключа) и трехфазные мостовые (6 ключей). Полумостовые и мостовые импульсные преобразователи также делятся на нерезонансные и резонансные.

Однотактные преобразователи без гальванической развязки строят на основе энергии запасаемой в индуктивности. Вначале рассмотрим понижающий преобразователь (понижающий DC-DC преобразователь или понижающий buck конвертор). Схема такого преобразователя приведена на рис.1. Входное напряжение  $U_{in}$  подается на вход IN генератора широтно-импульсной модуляции (ШИМ), который выдает управляющий сигнал на электронный ключ S1. Период ШИМ  $T$  – это сумма времени открытого состояния ключа  $t_{on}$  и времени закрытого состояния ключа  $t_{off}$ :

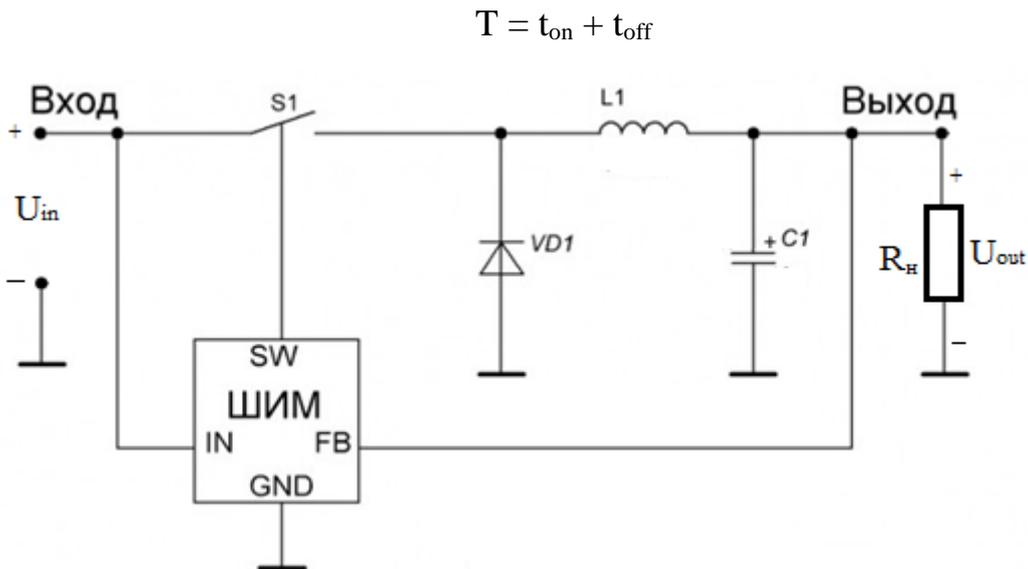


Рис.1. Схема понижающего преобразователя

Величина обратная периоду называется частота ШИМ :  $f = 1/T$ , а величина  $D = t_{on} / T$  называется коэффициент заполнения.

С момента подачи напряжения  $U_{in}$  на вход IN блока управления ШИМ этот блок через выход SW подает управляющий сигнал на замыкание управляемого электронного ключа S1. В первой стадии работы, когда ключ S1 замкнут, т.е. во время  $t_{on}$ , входное напряжение  $U_{in}$  вызывает нарастание тока через дроссель (индуктивность) L. Ток течет и через нагрузку  $R_n$ , а также через L1 течет ток заряда C1. Напряжение на выходе преобразователя ( $U_{out}$  на  $R_n$ ) растет, это напряжение подключено ко входу FB блока управления, поэтому, когда это напряжение достигнет верхнего порога, произойдет отключения ключа S1, наступит вторая стадия, т.е. время  $t_{off}$ . Ток через L1 не может исчезнуть мгновенно, так как в индуктивности накоплена энергия  $LI^2/2$ , ток пойдет через диод VD1 и этот ток будет уменьшаться из-за потерь. Будет также уменьшаться напряжение на выходе и когда оно достигнет нижнего порога с выхода блока управления SW придет команда на замыкание ключа S1 и опять наступит время  $t_{on}$ . Процесс повторится. Напряжение на выходе  $U_{out}$  преобразователя будет зависеть от коэффициента заполнения управляющего сигнала, управляющего ключом S1.

$$U_{out} = U_{in} t_{on} / (t_{on} + t_{off}) = U_{in} D$$

Таким образом уменьшить напряжение можно в необходимое число раз.

Повышающий boost преобразователь по своему принципу работы похож на понижающий buck преобразователь, т.к. в обоих случаях есть две стадии работы. На 1-й стадии происходит накопление энергии в дросселе при этом нагрузка питается от выходного конденсатора. На 2-й стадии происходит передача энергии из дросселя в нагрузку и одновременно заряжается выходной конденсатор, который будет обеспечивать энергией нагрузку пока дроссель

будет «перезаряжаться». Рассмотрим рис.2, где приведена схема повышающего преобразователя. Разберем стадии работы boost преобразователя.

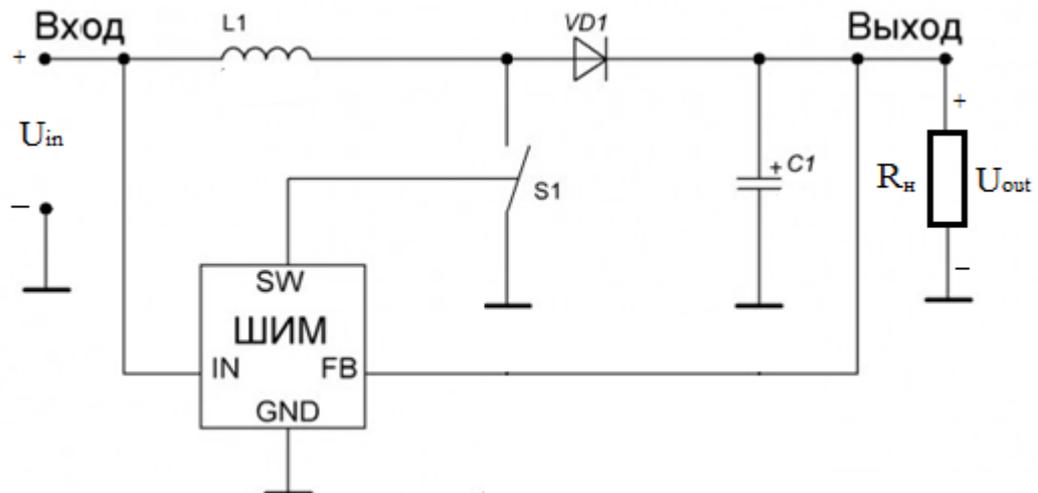


Рис.2. Схема повышающего преобразователя.

*Стадия накопления заряда.* В момент включения преобразователя выходная емкость  $C1$  находится под потенциалом  $U_{in}$ , т.к. ток проходит через дроссель  $L1$  и диод  $VD1$ . Управляющее устройство (ШИМ-контроллер) начинает генерировать ШИМ-сигнал и подает его на управление электронным ключом  $S1$ . При открытии ключа  $S1$  получается, что цепь замыкается, индуктивность  $L1$  подключается к источнику питания и начинает накапливать энергию. Ток через  $VD1$  не протекает, т.к. потенциал на катоде у него выше (около  $V_{in}$ ), чем потенциал на аноде (потенциал GND, около 0В).

*Стадия разряда индуктивности.* Теперь ШИМ-сигнал меняет свое значение с 1 на 0 и ключ  $S1$  закрывается. В этот момент дроссель  $L1$  стремится поддержать значение тока, путем увеличения потенциала. На входе дросселя потенциал все тот же  $U_{in}$ , а, следовательно, потенциал вырастает в точке «дроссель-ключ  $S1$ -анод  $VD1$ ». Когда потенциал в данной точке станет больше, чем потенциал на катоде  $VD1$  ток начнет протекать через  $VD1$  в нагрузку и

параллельно заряжать выходную емкость  $C1$ . На этой стадии цепь так же замыкается, но уже не через  $S1$ , а через путь « $L1$ - $VD1$ - $C1$ -нагрузка». Дальше эти стадии чередуются. Рассмотрим, за счет чего повышается напряжение. В момент, когда  $S1$  закрылся дроссель начинает разряжаться и в момент этой «разрядки» напряжение на нем стремится к бесконечности. Это в идеальной системе, а в реальной напряжение будет ограничено сопротивлением нагрузки, которое включено последовательно с дросселем и диодом, а также еще и обратной связью управления. Тут стоит еще дополнить по стадии накопления энергии. В момент включения в выходном конденсаторе  $C1$  практически нет запасенной энергии, но после первой стадии разряда он заряжен и потенциал на нем равен  $U_{out}$ , а значит на последующих стадиях накопления энергии эта емкость  $C1$  будет обеспечивать нагрузку энергией, в результате для нагрузки не будет перебоев в получении энергии. Из этого следует, что  $C1$  должен иметь такую емкость, чтобы запасенной энергии хватило на обеспечение питания нагрузки на длительность открытия транзистора ( $t_{on}$ ). Теперь рассмотрим, что у нас происходит с напряжением, какую связь имеет выходное напряжение с напряжением на входе преобразователя.

$$U_{out} = U_{in} / (1-D)$$

Регулировать выходное напряжение можно изменяя коэффициент заполнения ШИМ-сигнала. Из формулы регулирования так же следует и алгоритм:

- Чтобы увеличить напряжение на выходе необходимо увеличить коэффициент заполнения;
- Чтобы уменьшить напряжение на выходе необходимо уменьшить коэффициент заполнения.

Повышающие boost преобразователи имеют ряд особенностей, которые накладывают ограничения на использования данной топологии:

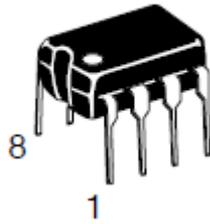
- *Выходное напряжение не должно превышать входное более, чем в 3...4 раза.*

При большом коэффициенте заполнения получается, что транзистор открыт почти всегда, а значит через него протекает ток и мы получаем максимально возможное значение статических потерь, а значит и низкий КПД. Для примера бустер корректора коэффициента мощности работают при соотношении максимум 1:4, а именно, тот самый универсальный вход 85...265VAC или же стабилизатор напряжения с их 90...310VAC.

- *Напряжение на ключевом транзисторе.* Данное ограничение тесно связано с тезисом о соотношении выше и вот почему... Транзистор должен иметь напряжение сток-исток (коллектор-эмиттер) равное минимум выходному напряжению, а в реальных устройствах иметь еще и запас хотя бы 20% на пульсации. Высоковольтные ключи имеют большое сопротивление канала, а при большом соотношении напряжений и ток на входе будет очень большим, что приведет к большим потерям на транзисторе;
- *Напряжение диода.* Если внимательно посмотреть на схему преобразователя, то станет понятно, что к диоду VD1 прикладывается напряжение равное выходному, диод должен выдерживать это напряжение с запасом во всех условиях.

#### • ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Для выполнения работы будем использовать специализированную микросхему MC34063. Внешний вид и порядок нумерации выводов (по кругу) микросхемы в корпусе «ДИП» приведен на рис.3



- Рис.3. Внешний вид и порядок нумерации выводов MC34063

Функциональная схема микросхемы приведена на рис. 4. Пронумерованы следующие выводы. 1 – коллектор Q1, 2 – эмиттер Q1, 3 – вывод для времязадающего конденсатора, 4 – корпус, 5 – инвертирующий вход компаратора, 6 – свободен, 7 – вход датчика тока, 8 – коллектор Q2.

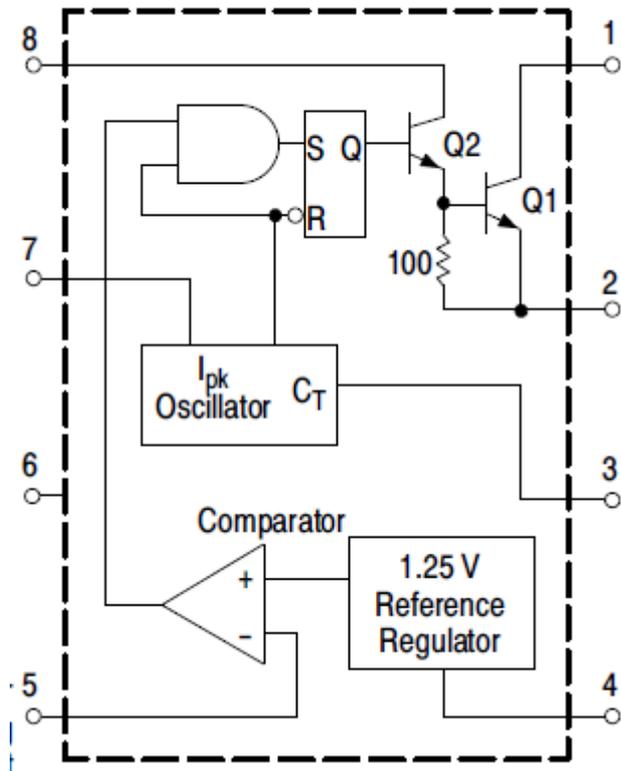


Рис.4. Функциональная схема микросхемы MC34063

На базе этой микросхемы разработана лабораторная работа, позволяющая собрать как понижающий импульсный преобразователь, так и повышающий импульсный преобразователь. Для этой лабораторной работы собран макет, схема которого приведенная на рис.5. Схема содержит штыревые разъемы S1 – S7 и гнезда, позволяющие собрать разные варианты схем. Кроме того, для выполнения работы используют блок питания 15В 2А, мультиметр, переменные проволочные сопротивления для нагрузок 18 ом и 330ом.

- **ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ**

Вначале соберем схему понижающего преобразователя, такую, как приведена на рис.7. Для этого штырь S1 надо вставить в гнездо G1, штырь S2 вставить в гнездо G6, штырь S3 вставить в гнездо G8, штырь S4 вставить в гнездо G9, штырь S5 надо вставить в гнездо G7, штырь S8 вставить в гнездо G10. После сборки и проверки схемы, подать на вход 12В от блока питания, подключить на выход вольтметр, затем переменным резистором 10к установить выходное напряжение 5В. Подключить регулируемую нагрузку 18 ом и снижать сопротивление нагрузки до тех пор, пока вольтметр не начнет снижать показания. После этого замерить и записать входной и выходной токи.

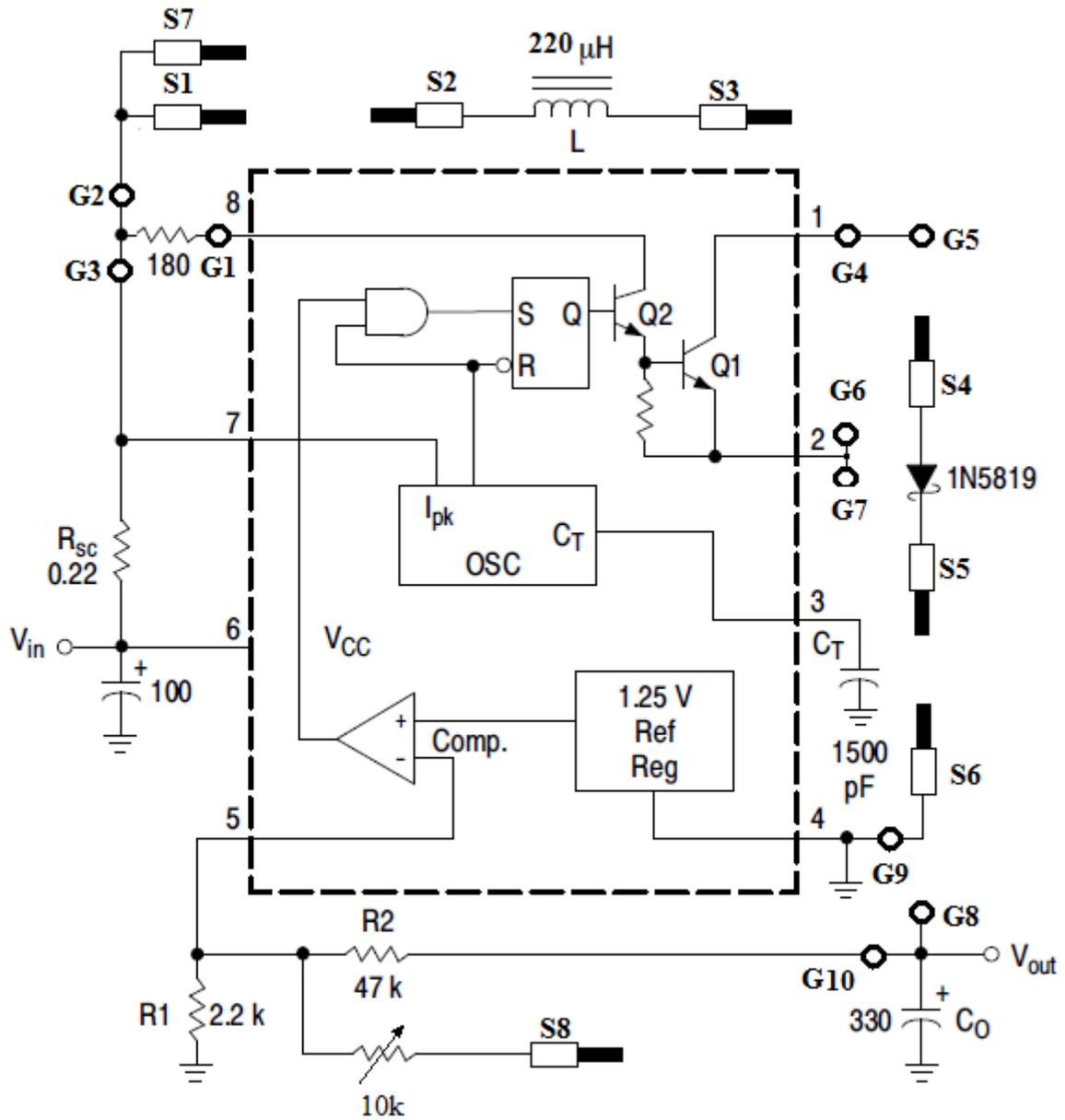


Рис.6. Схема лабораторной работы

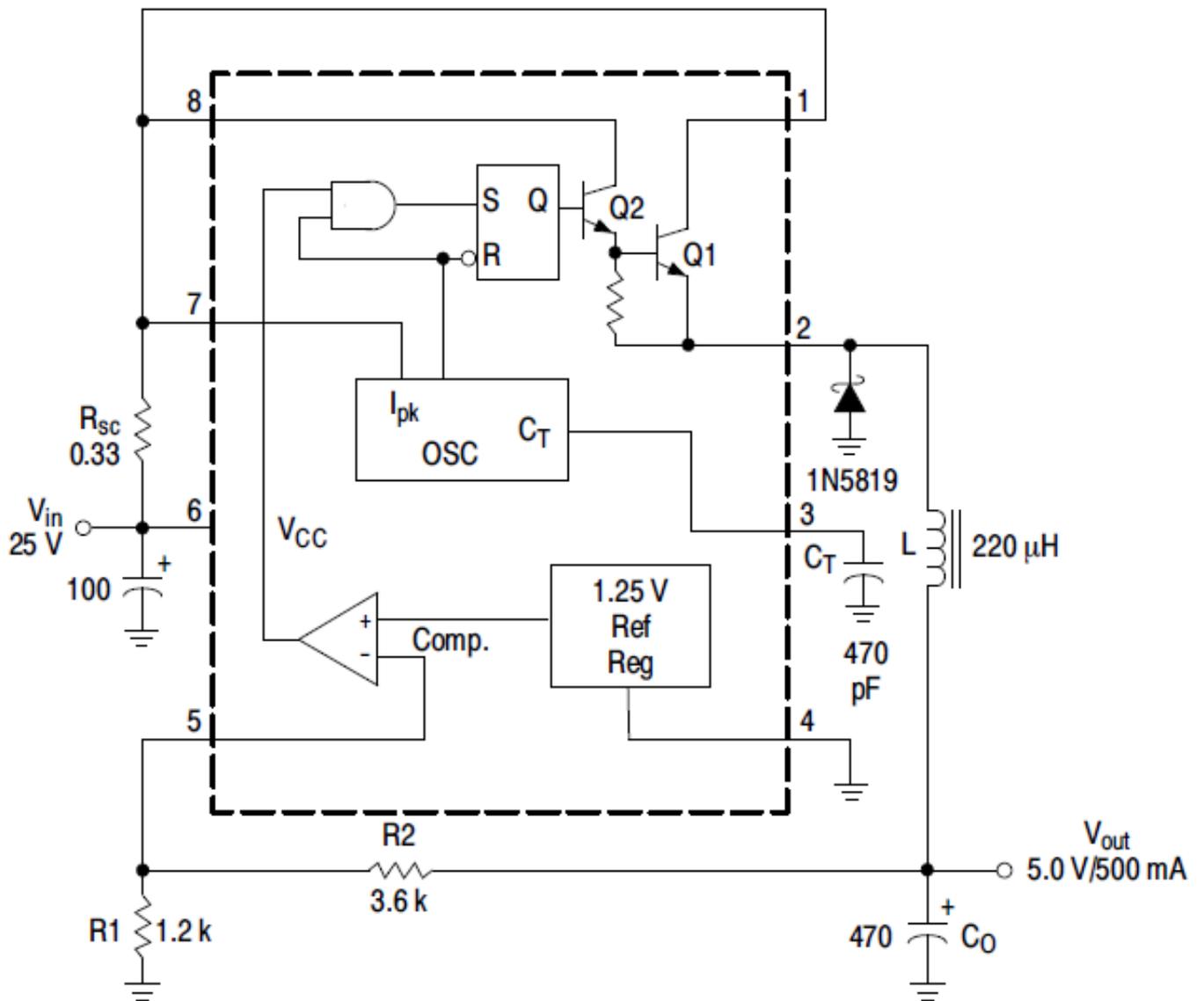


Рис.7. Схема понижающего преобразователя

После проведения всех измерений понижающего преобразователя, собираем схему повышающего преобразователя. такую, как приведена на рис.8. Для этого штырь S2 надо вставить в гнездо G2, штырь S3 вставить в гнездо G4, штырь S4 вставить в гнездо G5, штырь S6 вставить в гнездо G6, штырь S5 надо вставить в гнездо G8, штырь S6 вставить в гнездо G6. После сборки и проверки схемы, подать на вход 12В от блока питания, подключить на выход вольтметр и измерить напряжение. Подключить регулируемую нагрузку 330 ом и снижать

сопротивление нагрузки до тех пор, пока вольтметр не начнет снижать показания. После этого замерить и записать входной и выходной токи.

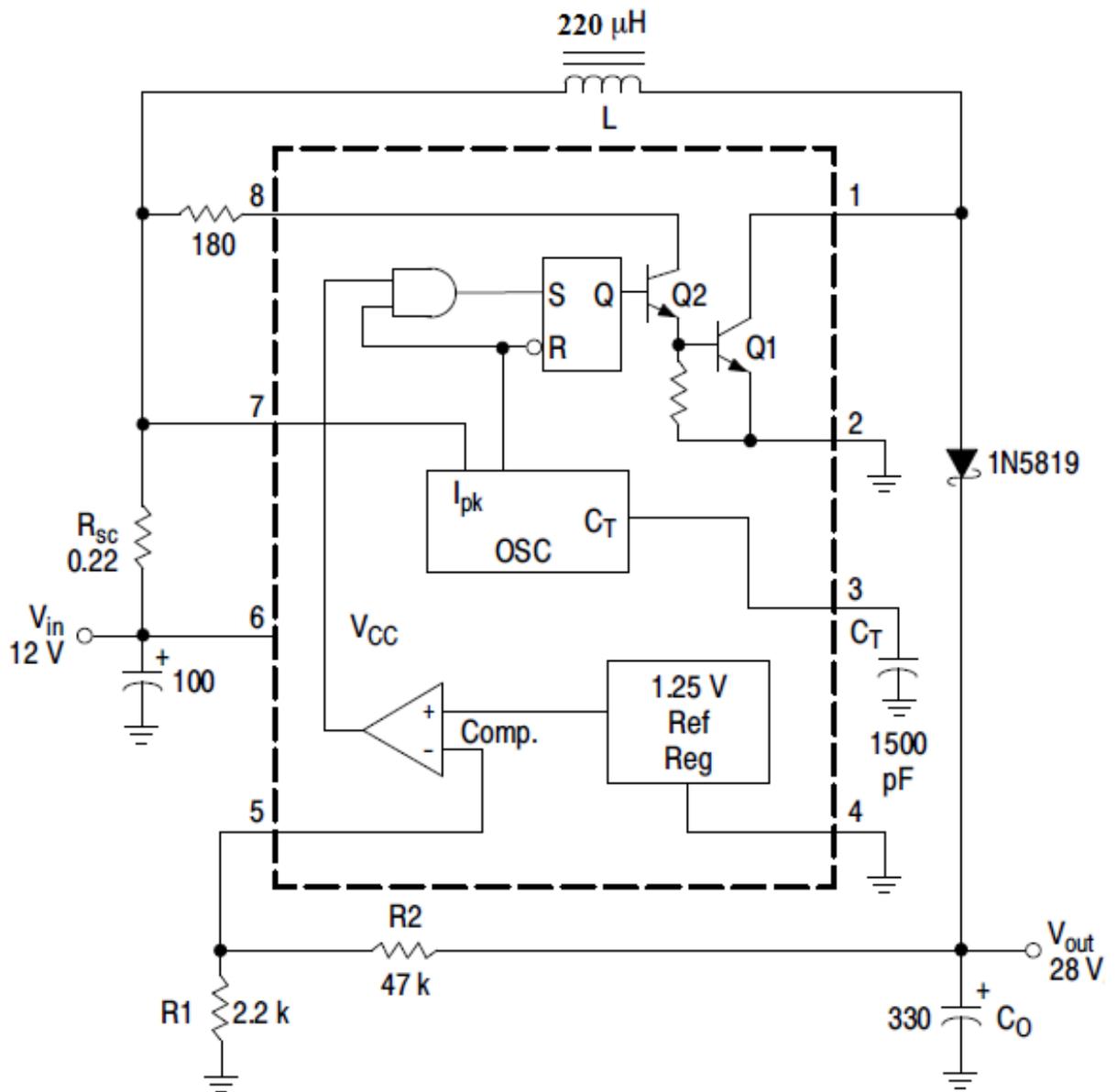


Рис.8. Схема повышающего преобразователя

## ОФОРМЛЕНИЕ РАБОТЫ

По данным, полученным в процессе выполнения работы записать все измеренные параметры обоих преобразователей. Для каждого преобразователя посчитать КПД по формуле.

$$\text{КПД} = \frac{I_{in}U_{in}}{I_{out}U_{out}} 100\%$$

где  $I_{in}U_{in}$  входные ток и напряжение,  $I_{out}U_{out}$  выходные ток и напряжение.

Изучить datasheet на микросхему (см. приложение), сравнить полученные результаты с заводскими параметрами. Записать вывод о возможностях микросхемы по мощности без дополнительных транзисторов. Оценить на сколько процентов была использована мощность микросхемы при выполнении лабораторной работы.

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Почему в силовой электронике применяют импульсные преобразователи?
2. Где запасается энергия в импульсных преобразователях?
3. Как считать выводы в микросхеме МС34063?
4. Какие требования по предельному напряжению для ключевых транзисторов в повышающих преобразователях?

5. Что такое ШИМ и как она используется в импульсных преобразователях?

6. Что такое коэффициент заполнения?

7. Во сколько раз целесообразно повышать напряжение в повышающем преобразователе?