

Как работают диоды

Из физики мы знаем, что диод проводит ток в одном направлении. Но проблема в том, что ток на самом деле бывает двух видов- электронный и позитронные, где движутся противоположные по знаку заряды. Для понимания принципа работы диода было проведено небольшое расследование (данный опыт).

Использовал катушку из двух проводов от удлинителя 10 А, взял два провода по 5 метров каждый примерно (в общей сумме 10 м). Сердечник в данном опыте не использовался. Труба для намотки была картонная, диаметром 56 мм. Измеренная индуктивность катушки составила 0,049 мГн. Вид катушки показан ниже на фото.



Рис.1.

Осциллограф использовался **Hantek DSO5102P** (с полосой пропускания до 100 МГц), без заземления корпуса (обрыв земляного провода в питающей розетке), чтобы минимально влиять емкостью корпуса осциллографа на схему. Как шунт для измерения тока **Rш** (рис.2) использовалось сопротивление типа **ППБ-25** (15 Ом), где выставлялось значение 1... 2 Ом (для шунта, для измерения тока), где намотка на бочонок компенсирует индуктивность нихрома на ВЧ, что правильно отображает ток в импульсах, т.к. не создает дополнительной индуктивности шунта.

Для питания катушки использовал источник не стабилизированного питания, где на выходе трансформатора стоит мостовой выпрямитель (на схемах он не показан) и после которого установлен сглаживающий конденсатор Сф (показан на схемах). Напряжение холостого хода (ХХ) блока питания **Uпит= 10,14 В** (под нагрузкой оно просаживается). Такой источник питания удобен тем, что по просадке (пульсации) напряжения можно косвенно оценить потребление энергии из источника.

Подавал питание в катушку через силовой ВЧ МОП- транзистор, работающий в режиме ключа (VT1- транзистор типа **IRFPG30** или подобный ВЧ), управляемый от генератора на схеме **TL494** (типовая схема на TL494+ драйвер ВЧ для МОП транзистора **IR4427**, не инвертирующий).

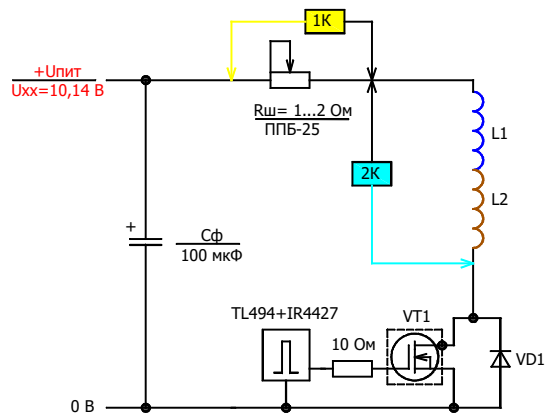


Рис.2.

Ниже приведена полученная осциллограмма, при разных периодах открывания транзистора. Сначала (на верхнем графике) максимальное время открывания транзистора, на среднем время открывания меньше и минимальный период, при котором еще есть токи в катушке, показан на нижнем графике.

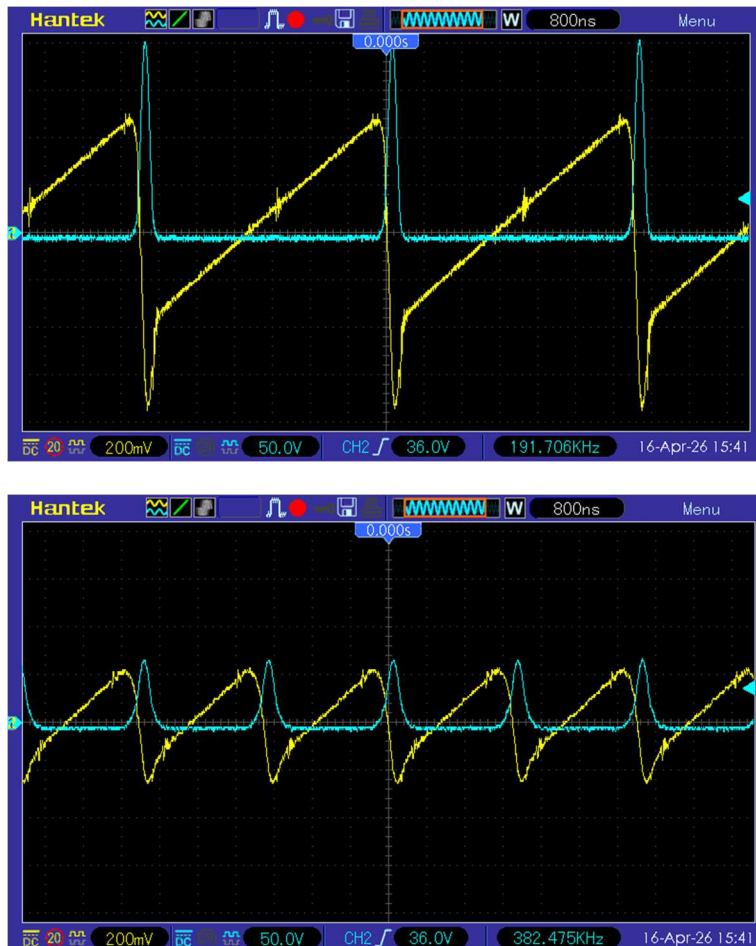




Рис.3.

По ВЧ всплескам на желтом графике тока можно увидеть момент открытия транзистора, но для точности эксперимента проведу измерение длительности импульса открытия транзистора отдельно (ниже схема).

Замечание. Не заметил сразу, что в осциллографе на первом канале (желтый) стоит ограничение по ВЧ до 20 МГц (красный кружочек слева внизу горит на осциллограммах), но это не сильно влияет на измерения, поэтому так оставил, переделывать не стал опыт.

Ниже показана схема для измерения ширины импульса открытия транзистора, где измеряю открывающий импульс на транзисторе (желтый график), голубой луч соответствует напряжению на закрытом транзисторе, что соответствует обратному импульсу на катушке (только знак полярности другой получается), плюс напряжение источника питания.

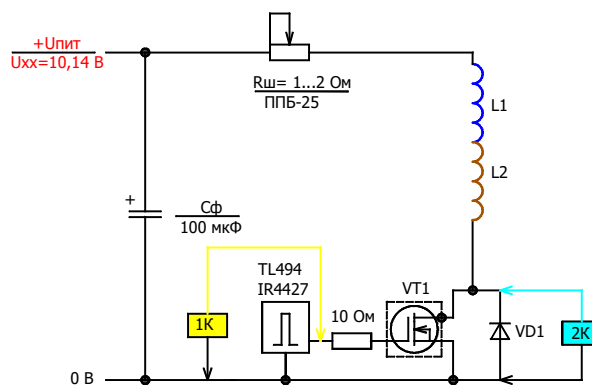


Рис.4.

И ниже графики для трех режимов, в том же порядке, как они идут на рис.3. Плюс на желтом графике это транзистор открыт, ноль- закрыт.

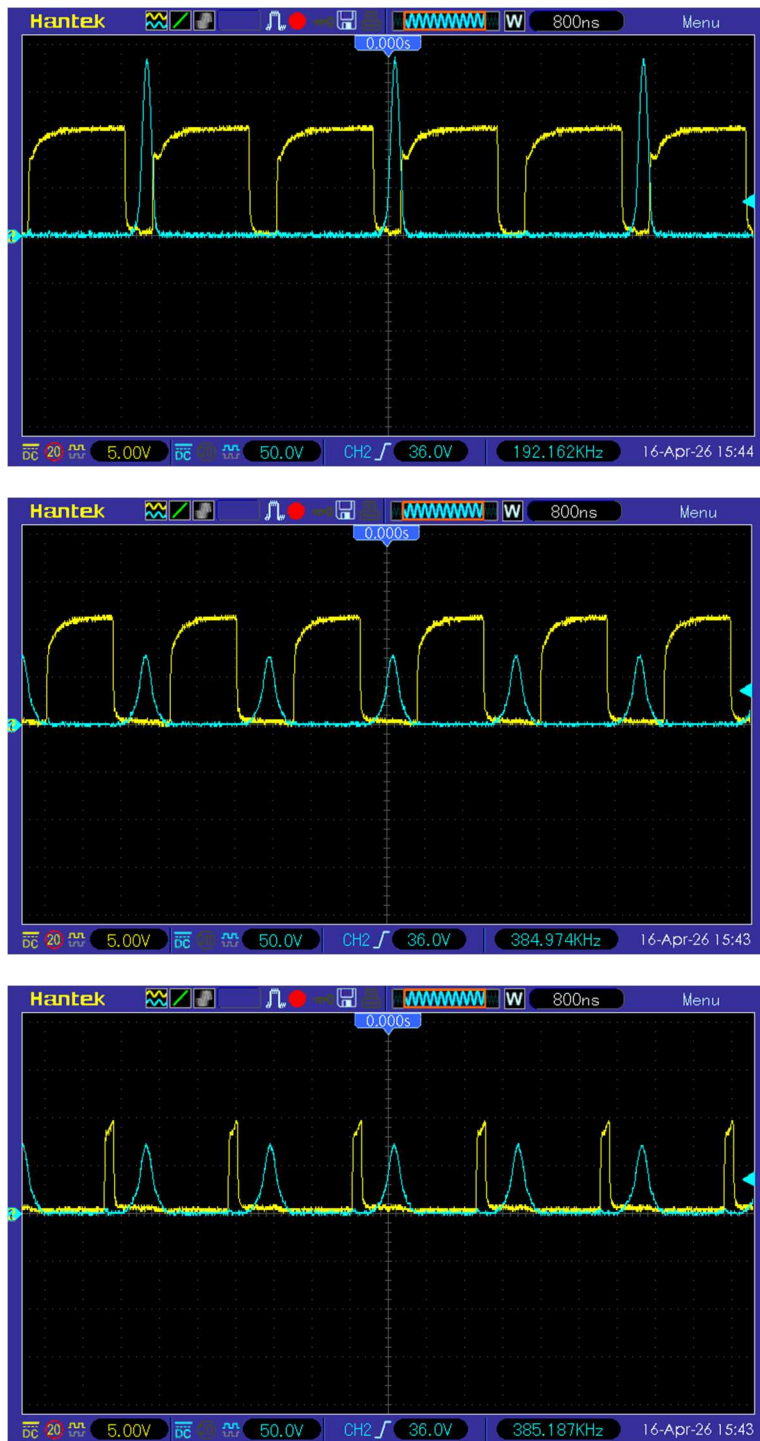


Рис.5.

На верхнем графике рис.3 и рис.5 мы видим максимально длительный момент открытого транзистора, где энергия накапливается в катушке максимально и поэтому видим после отключения импульс высокого напряжения на катушке, с пиком напряжения в районе 180 В (при источнике питания всего 8..10 В) **Причем мы видим, что в этот момент два периода генератора задействовано.**

На среднем графике мы видим, что длительность открытия транзистора уменьшается, но он остается открыт в течении линейного разгона и торможения тока. Но самое интересное это нижний график на рис.3 и рис.5, где момент открывания транзистора минимально короткий, где

мы видим, что линейный ток идет как будто через закрытый транзистор. Он не отличается от среднего графика совершенно! **И вот этот момент интересный, как такое может быть!?**

Вероятно, что ток проходит через обратный диод транзистора VD1. Если для минусового тока по графику рис.3 это еще можно объяснить тем, что накопленная энергия в катушке и в транзисторном переходе (в его емкости) открывает диод VD1 своей энергией и поэтому ток идет в катушке и возвращает при этом энергию в источник. То для плюсового тока (для желтого графика на рис.3) это кажется странно, поскольку транзистор точно закрыт в этот период и обратный диод VD1 тоже ток блокирует из источника. Но, как видим, **диод VD1 совершенно свободно проводит ток через катушку.**

Я это объясняю тем, что в этот период (линейного нарастания тока из источника, плюс на желтом графике на рис.3) на самом деле в катушке формируется **позитронный встречный ток**, как это показано ниже на схеме. Т.е. в катушке побеждает и закручивается обратный (минусовой вихрь), который движет положительные заряды встречно в источник. По сути формируется встречная ударная волна. Такая волна усиливается диэлектриками и катушками, поэтому она так же разряжает источник питания, но только изнутри при ускорении позитронов в диэлектрике.

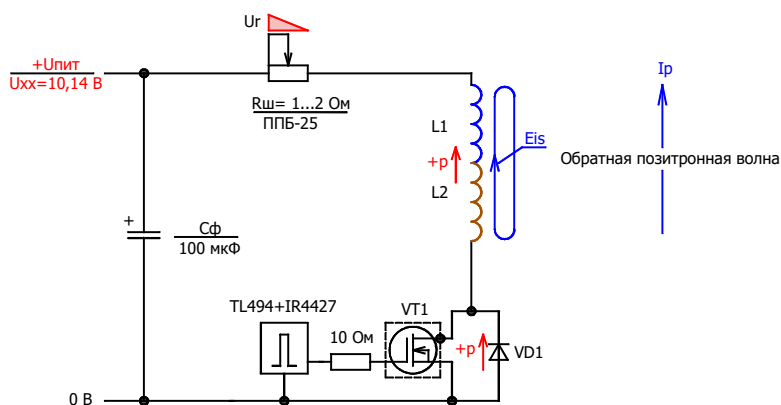


Рис.6.

Где ЭДС (E_{is}) позитронного тока действует встречно источнику питания ($+U_{пит}$) и она превышает напряжение источника питания и поэтому открывает диод VD1 своей ЭДС (током). **Такой ток похож на электронный ток, поскольку он обратный по природе (это ударная волна) и поэтому по шунту мы видим, как будто электронный ток идет из источника.**

Поэтому, чтобы проверить эту версию поставлю прямой диод VD2 в цепи катушки, чтобы сделать ток при открытии транзистора прямым электронным, как ниже показано на схеме.

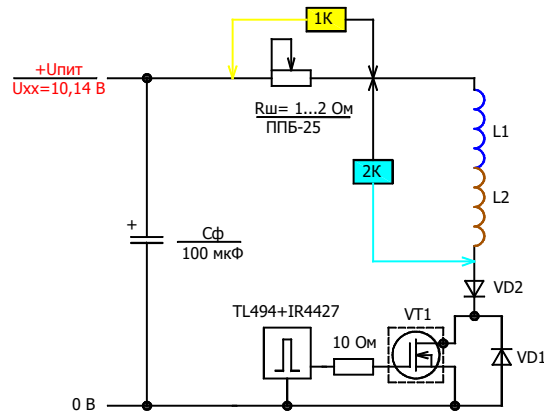


Рис.7.

И сделаю импульс сразу минимально коротким. И получаю следующую картину.



Рис.8.

По ВЧ затухающим всплескам на желтом графике виден момент открытия транзистора и поэтому не понятно, как долго транзистор находится открытым. Поэтому ниже показана схема для измерения ширины импульса. Измерение проводилось при той же ширине импульса, как на рис.8 выше. Плюс на желтом графике означает транзистор открыт, ноль- закрыт.

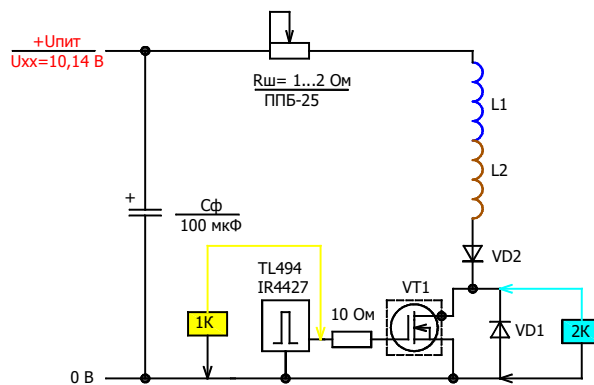


Рис.9.

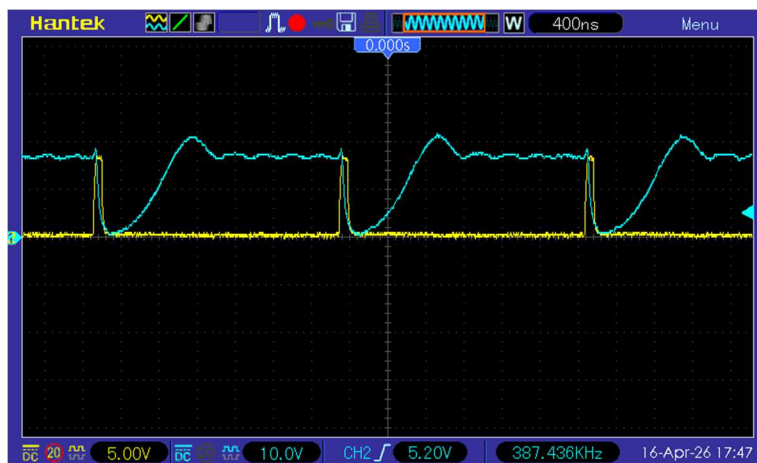


Рис.10.

Как видим по рис.10 импульс открытого транзистора максимально короткий, но после него идет ток и напряжение меняется на катушке по синусу (рис.8). Причем сначала синус более НЧ, что означает, что после закрывания транзистора его переход образует емкость вместе с катушкой, т.е. возникает LC резонансный контур. Поэтому ток растет сначала в катушке, когда емкость закрытого транзистора заряжается, а потом ток убывает, когда емкость перехода транзистора создает сопротивление. И в итоге ток останавливается.

А потом мы видим более ВЧ затухающие вибрации, но тут они (рис.10) на много меньше, чем на рис.8. А этого быть не может, поскольку напряжение на катушке равно напряжению на закрытом переходе транзистора минус напряжение источника питания, последнее постоянно и не меняется (это проверил, питание действительно постоянное, без заметных пульсаций).

По рис.10 мы видим, по ровной почти полочке, что в итоге емкость транзистора заряжается электронным прямым током почти до удвоенного напряжения питания (17 или 18 В), в то время, как питание источника находится в районе 8..10 В в зависимости от нагрузки. Удвоенное напряжение на переходе транзистора получаем потому, что складывается напряжение источника и катушки.

И после НЧ синуса, где текут электронные токи, возникают более ВЧ колебания (на рис.8 они сильные, на рис.10 слабые), которые в итоге емкость транзисторного перехода не разряжают, т.е. диод VD2 держит энергию в переходе транзистора, обратно её не пускает. А то, что уходит обратно возвращается за счет обратных колебаний. Т.е. диод VD2 проводит токи в обе стороны, так будет говорить правильнее.

Как видим, **диод VD2 работает, а значит он создает прямой электронный ток в цепи катушки**, как и было задумано, поскольку диод VD1 уже перестает открываться катушкой, как это было без диода VD2, когда в катушке тек встречный позитронный ток при открывании транзистора. Конечно, чтобы позитронный ток мог возникнуть необходим резкий импульс в транзисторе, чтобы волна обратная могла сформироваться. Если открывание транзистора будет плавное, то позитронному току нет возможности возникнуть, тогда всегда будет электронный ток прямой формироваться, даже без прямого диода VD2. Как это показано на рис.11. И этот ток создает прямое падение напряжения U_r на сопротивлении токового шунта.

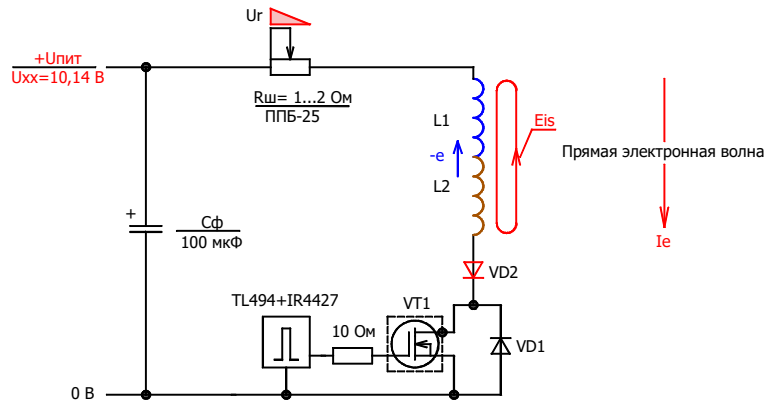


Рис.11.

Еще стоит заметить, что при диоде VD2 при открывании транзистора появляются затухающие СВЧ колебания тока на желтом графике (рис.8), которых не было без диода (рис.3), т.е. они были явно меньше. Что говорит о том, что диод VD2 блокирует встречный позитронный ток, который и создает колебания за счет собственной емкости диода VD2. Т.е. при диоде VD2 позитронный ток сначала тоже возникает, но он затухающий и сильно ВЧ, так как диод VD2 его держит и поэтому возникает в итоге электронный прямой ток в LC контуре, образуемый закрытой емкостью перехода транзистора и катушкой, т.е. диод VD2 в данном случае проводит прямой электронный ток от источника. Поэтому мы видим НЧ синус на графиках рис.8 и рис.10 вначале.

Вопрос возникает по ВЧ затухающим колебаниям после зарядки LC контура при наличии диода VD2. Вероятно, эти колебания связаны с катушкой, которая создает стоячую волну (систему встречных электронно-позитронных токов), где диод VD2 не работает. Или, вероятно, работает на половину. **Где получается эффект рычага (усилителя),** где в одной катушке получаем ток, а в другой напряжение, как это показано на рисунке ниже. Когда возникает обратный ток после зарядки LC контура.

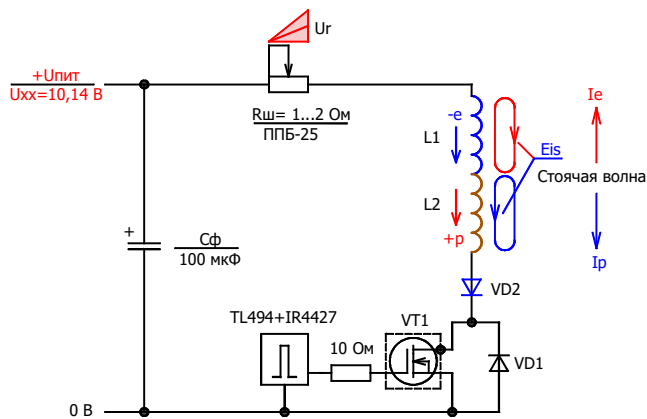


Рис.12.

Но которые, тем не менее, создают одно направление ЭДС (U_r) на токовом шунте, потому что электронный ток обычный, а позитронный- ударный. Что подтверждает идею, что возникает стоячая волна в катушке, после зарядки емкости перехода транзистора электронным током, когда энергия начинает двигаться обратно и диод VD2 такой ток усиливает. Когда мы цепляем осциллограф как по рис.8, то мы усиливаем стоячую волну, подобно тому как усиливает катушка

Тесла в импульсе, где один конец катушки в воздухе, а второй заземленный, в данном случае емкость осциллографа усиливает ток в одной катушке, что усиливает напряжение на другой.

Когда в катушке возникает обратное колебание, то это так же открывает диод, но только для одной половины тока. Причем это работает для обеих полярностей стоячей волны, как ниже показано на рис.13. Поэтому мы видим затухающие ВЧ колебания.

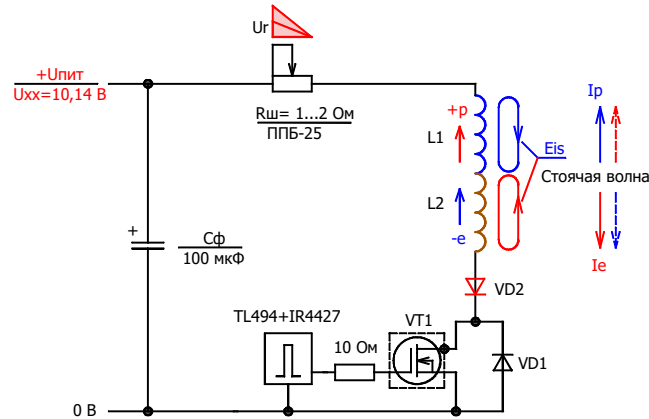


Рис.13.

Пробовал диод VD2 развернуть в обратную сторону, тока в катушке это не дает. Есть только небольшой всплеск от импульса транзистора.

Выводы. Из данного опыта делаю вывод, что диод проводит энергию в том случае, когда движение зарядов в токе уменьшает p-n переход диода, т.е. это могут делать как электроны, так и позитроны. Но если заряды в линии идут в направлении, которое раздвигает переход, увеличивая нейтральную зону, то это делает диод не проводящим, что создает для тока барьер, отражает энергию обратно.

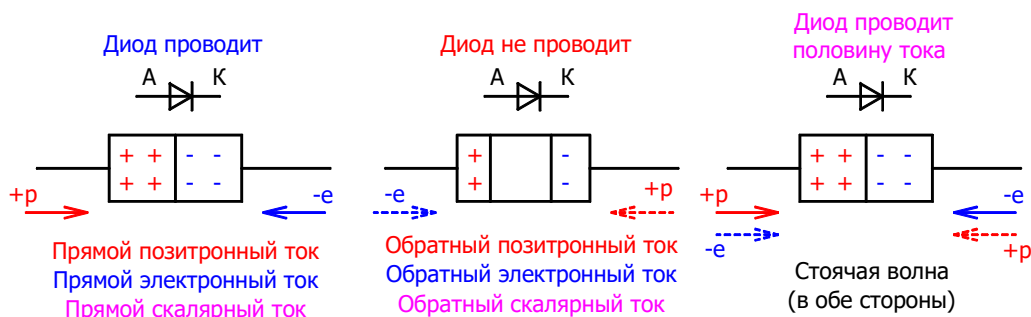


Рис.14.

Или, как в случае стоячей волны (рис.14, правый), когда диод проводит только одну половину тока.

Причем, стоячую волну мы видим и без диода VD2 на рис.3, как небольшой токовый импульс (минусовой) после закрытия транзистора, только там он без колебаний. Вероятно, его формирует емкость осциллографа на общей точке или даже на блоке питания, за счет наличия в сети фазы и

второй провод- это земля по сути. Склоняюсь, что блок питания является причиной формирования данной стоячей волны. Но этот импульс, хоть он и выглядит как минусовой и кажется, что он рекуперировывает энергию источнику, на самом же деле на восходящей волне так и есть, он увеличивает энергию источника, но на спадающем фронте опять энергию забирает. Потому, что это стоячая волна. Но, тем не менее, на сопротивлении он создает дополнительный нагрев. Что может быть использовано для нагревателя.

Наблюдая токи на рис.3. мы видим, что полной рекуперации данная схема не обеспечивает, так как плюсовой ток (потребление) меньше, чем минусовой по площади. А минусовой обратный импульс, как только что сказал, не дает рекуперации энергии в итоге. Поэтому вижу потребление энергии источника, это вижу по просадке и пульсации в питании и импульсах на выходе. Но, я думаю, что эффективность системы можно повысить, если получить скалярную волну в катушке, что есть согласный электронно-позитронный диполь.

Причем скалярный ток диод VD2 должен проводить в прямом направлении и полностью блокировать в обратном. Это предположительно, потому, чтобы получить скалярную волну в данной схеме необходимо иметь два заземления, чтобы такой ток мог возникнуть, как это показано на рис.15. Где плюсовой конец катушки работает на нагрузку, а минусовой на рекуперацию энергии источника. В замкнутой цепи скалярному току мешает источник энергии, у которого возникает ток с одной стороны, что автоматически создает ток на другом полюсе, что мешает создать согласный диполь в катушке, что дает стоячую волну.

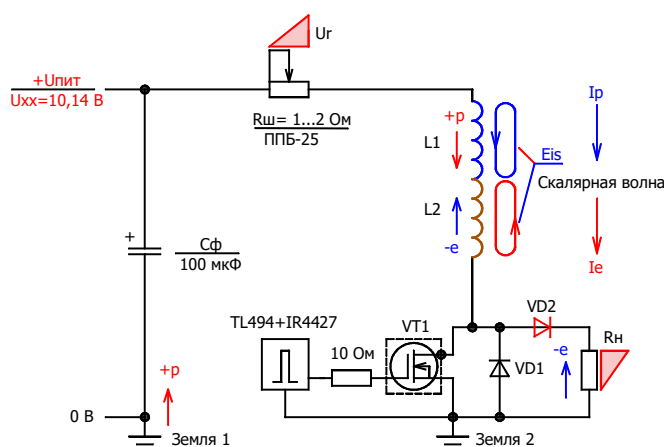


Рис.15.

Скалярный же ток (диполь) позволяет сделать волну бегущей, где совершается работа на нагрузке и одновременно энергия в источник рекуперировывается. И очевидно, что данная катушка не самая подходящая для этого, поскольку имеет не высокий обратный импульс или низкую стоячую волну формирует. Есть катушки, которые имеют, в виду конструктивных особенностей, больше обратный импульс, на много больше. А значит они могут больше энергии рекуперировать в источник в скалярном импульсе, где должен быть только нарастающий фронт, а спадающего быть не должно, потому, что энергия катушки излучается в землю и нагрузку. В стоячей же волне энергия начинает двигаться обратно и забирает энергию источника обратно.