

АНАЛИЗ ЭНЕРГИИ ИСТОЧНИКА ПРИ ИЗЛУЧЕНИИ ПОПЕРЕЧНОЙ ВОЛНЫ В КАТУШКЕ

В прошлом опыте получил из бифилярной катушки излучение обычной (электронной) и ударной (позитронной) волны, методом подстройки сопротивления в источнике питания под волновое сопротивление катушки. В данном опыте хотел проверить потребление энергии в источнике при такой схеме. Идея опыта проверить, с чем связано падение напряжения и его восстановления на конденсаторе питания (Сф, см. ниже на схеме) при импульсе в катушке.

Катушка изготовлена из провода от обычного сетевого удлинителя (10 А), распустил провода, два провода мотались рядом на картонной трубе. Каждый провод длиной около 5,5 м. На рис. 1 показан внешний вид бифилярной катушки. Сердечник в катушках в данном опыте не использовался.

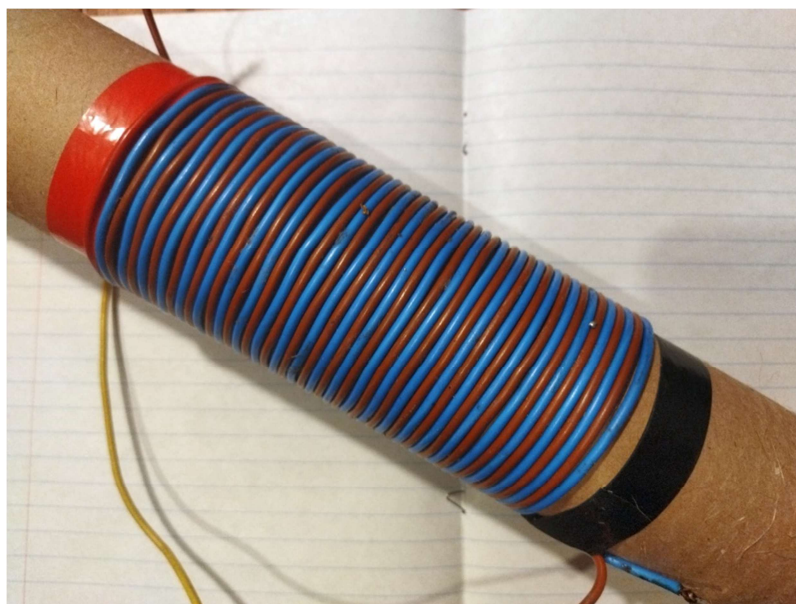


Рис.1.

Измеренная индуктивность одной катушки составила 0,008 мГн, согласное включение катушек дает 0,048 мГн, т.е. в 6 раз индуктивность повышается при согласном включении катушек.

Осциллограф использовал с полосой пропускания до 100 МГц, без заземления корпуса (обрыв земляного провода в питающей розетке использовался), чтобы минимально влиять емкостью корпуса осциллографа на схему. Как сопротивление для согласования источника питания с катушкой и как шунт для измерения тока **Rн** использовал подстроечное сопротивление типа **ППБ-1В** (номинальным сопротивлением 10 кОм). Где намотка на бочонок компенсирует индуктивность нихрома на высокой частоте, что не создает дополнительной индуктивности и правильно отображает токи на осциллографе.

Для питания катушки использовал **не стабилизированный источник питания**, где использовался обычный мостовой выпрямитель, на выходе с установленным сглаживающим конденсатором Сф=100 мкФ (показан на схеме, измеренное значение емкости которого 96 мкФ). Который дает на холостом ходе напряжение $U_{пит} = 9,6 \text{ В}$, под нагрузкой напряжение просаживается, что удобно для оценки уровня потребления энергии источника. Схема не имеет отдельного заземления, поскольку так работает лучше, без дополнительных колебательных процессов. Проверил, заземление на потребление источника не влияет, не меняет просадки напряжения нисколько.

Подавал питание в катушку через силовой высокочастотный МОП транзистор, работающий в режиме ключа, управляемый от генератора на схеме **TL494** с установленным драйвером на выходе **IR4427** для ускорения коммутации транзистора.

Подавал питание в катушку L1-L2 максимально короткими импульсами, как показано ниже на схеме рис. 2. На рисунке так же показано подключение щупов осциллографа, где измеряю напряжение (голубой график) и ток (жёлтый график) в катушке.

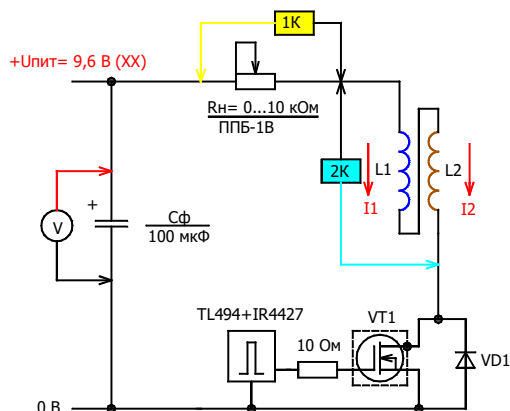


Рис.2. Схема для измерения тока и напряжения в катушке (антенне)

В итоге получил две характерные настройки сопротивления R_n . Ниже на рис. 3 показан график при сопротивлении $R_n = 395 \text{ Ом}$, при возникновении позитронной волны, как я думаю. При этом напряжение источника просаживается с 9,6 В **до 8,92 В** (измерял по мультиметру «V»). И как видим по графику, напряжение на сопротивлении в пике достигает напряжения 10 В, что даже больше напряжения источника! Именно отсюда сделал предположение, что в данном случае генерируется ударная волна в катушке в первую четверть периода импульса, где среда еще помогает разгонять энергию в катушке.

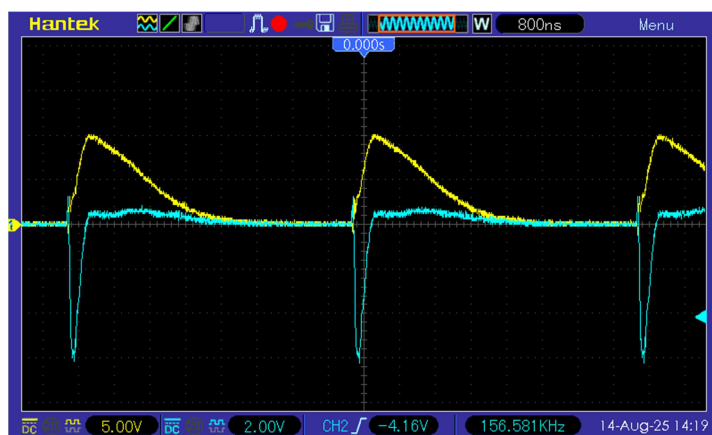


Рис.3. Ударная (позитронная) волна в катушке.

И ниже на рис.4. показан второй режим, полученный при $R_n = 218 \text{ Ом}$, при излучении электронной волны. При этом напряжение на источнике получается чуть выше и достигает **8,98 В** (измерял так же мультиметром), где мы видим за плюсовой минусовую волну на катушке, отсюда сделал выводы, что в данном случае имеем излучение обычной волны или электронной энергии. При этом напряжение на сопротивлении в пике достигает ровно напряжения источника питания, около 8 В, плюс потери около 1В на проводах схемы.

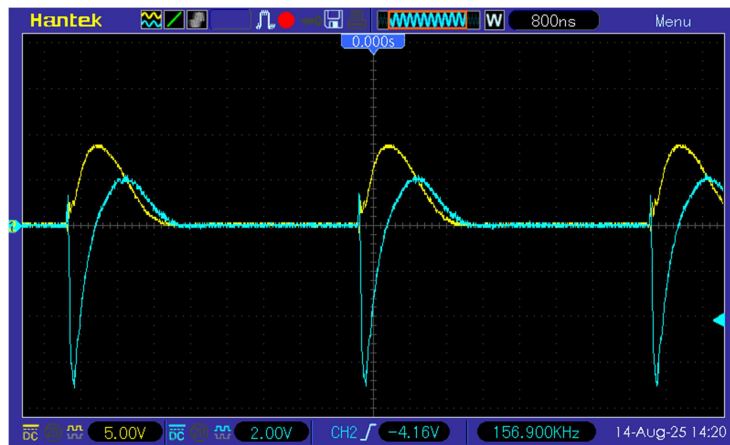


Рис.4. Обычная (электронная) волна в катушке.

Как видим, ток в катушке просаживает источник в обоих случаях. В обоих случаях транзистор открывается очень короткий промежуток времени, что видно по току (на желтом графике), где сначала есть небольшая ступенька. Затем, после закрытия транзистора ток поддерживается ЭДС катушки через обратный диод VD1 ровно четверть периода, поэтому точной настройки генератора под катушку не требуется.

Поэтому возникает вопрос, чем просаживается напряжение источника!? И как оно выглядит в импульсе. Поэтому для измерения напряжения на питающем конденсаторе Cф сделаю следующую схему.

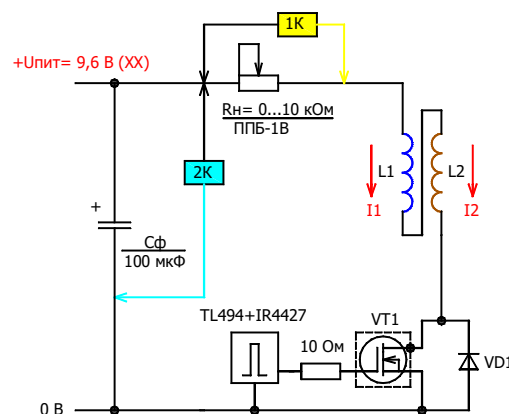


Рис.5. Схема для измерения напряжения на источнике питания.

Для более детального отображения графика напряжения (просадки источника током катушки) в осциллографе, на втором канале (голубом) сделаю отсечку постоянного напряжения, использовал режим АС, с увеличенным масштабом по напряжению, чтобы было лучше видно изменение напряжения на конденсаторе от импульса в катушке.

Ниже приведен сначала график для электронного излучения, графики по вертикали смещены для удобства их наблюдения, где так же хорошо видна ступенька на токе, вызванная коротким импульсом генератора, после которой транзистор тут же закрывается.

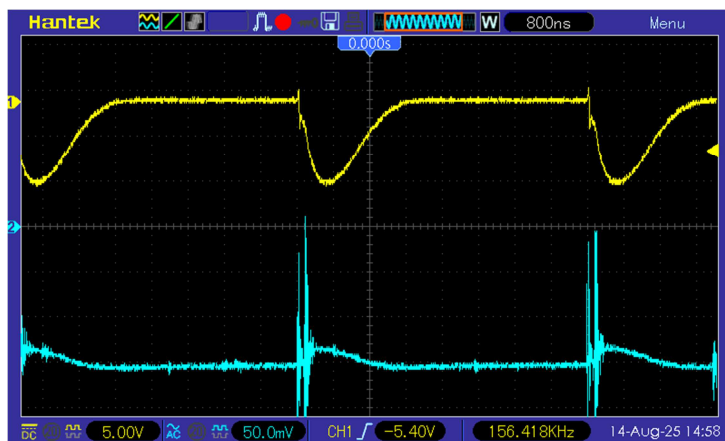


Рис.6. Просадка напряжения источника при электронном излучении.

Ниже показан график для позитронного излучения.

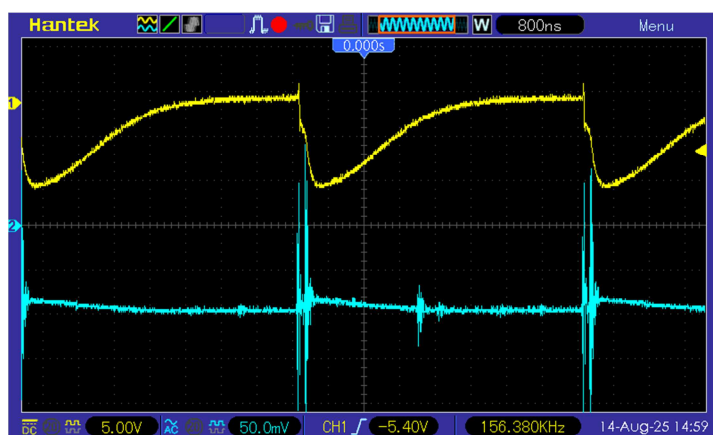


Рис.7. Просадка напряжения источника при позитронном излучении.

Где мы видим общую картину, что напряжение источника питания на спадающем токе восстанавливается. Причем, для электронного излучения просадка кажется больше, что, вероятно, связано с меньшим сопротивлением R_n . Конечно, подобную просадку по питанию можно объяснить падением напряжения от тока в импульсе.

Для точности эксперимента сделаю измерение напряжения при отключенном источнике питания от сети, чтобы энергия не могла восстанавливаться в конденсаторе C_f из сети. Ниже показана схема, где ключ $K1$ нужен для начала разрядки емкости питания, когда осциллограф в режиме одинарной развертки ловит этот момент в самом начале и сеть отключена.

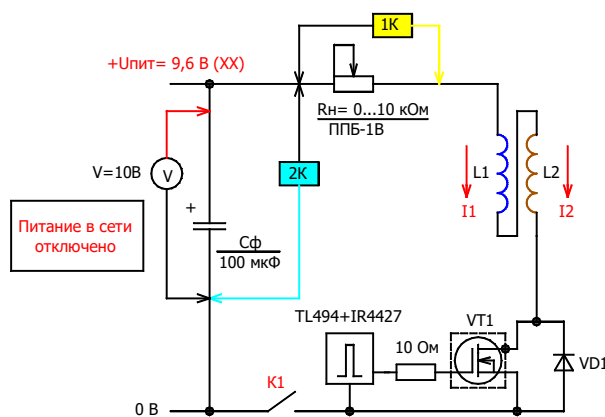


Рис.8. Улучшенная схема для измерения напряжения на источнике питания.

Измерения буду проводить только для электронной волны, чтобы не усложнять расчеты.

Подстроил сопротивление R_n , чтобы получить чистый импульс, получил опять значение $R_n = 218 \text{ Ом}$, при этом получил график для схемы по рис.2.

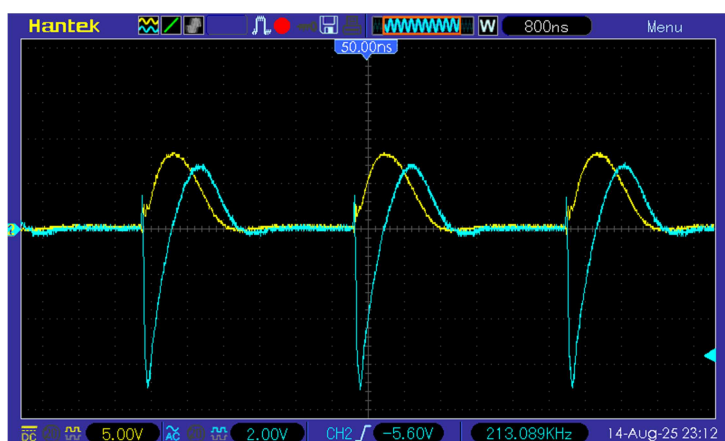


Рис.9.

А ниже полученный график для рис.8, при отключенном питании, по которому буду оценивать потребление энергии источника в импульсе. Замыкание ключа K_1 производил при напряжении на питании ровно 10 В, оно больше становится при отключении питающей вилки (тоже интересный эффект, об этом уже писал), поэтому ловил момент включения K_1 , когда напряжение на $C_f = 10 \text{ В}$ по мультиметру «V», так как емкость C_f медленно разряжается без подпитки из сети, как это показано на схеме рис.8. Получил следующий график.

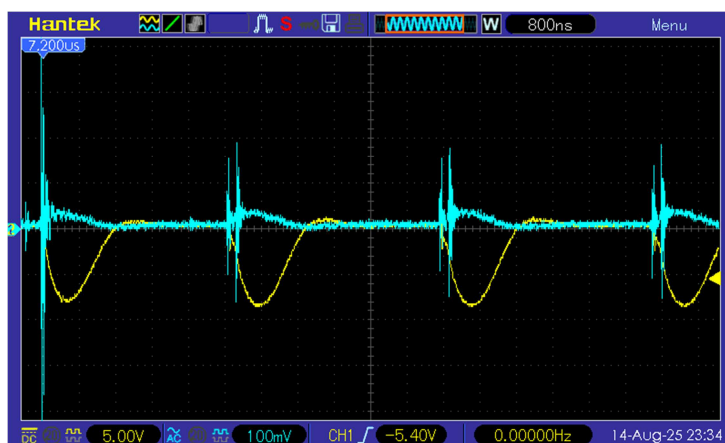


Рис.10.

Где вижу просадку на напряжении источника питания около 35 мВ в пике импульса, затем идет его восстановление.

И теперь, зная измеренную емкость $C_f = 96 \text{ мкФ}$, зная его напряжение, равное 10 В, могу прикинуть, какая должна быть его просадка от импульса тока в катушке. Где действующее значение тока находим по рис.10, через пиковое значение на желтом графике, разделив его на корень из двух (делю на 1,414).

Пиковый ток импульса по рис.8 находим через сопротивление.

$$I_{\text{пик}} = U_{\text{пик}} / R = 8,5 \text{ В} / 218 \text{ Ом} = 38,99 \text{ мА}.$$

Отсюда действующее значение тока в импульсе получаем $I = 27,6 \text{ мА}$. И дальше считаем мощность импульса, которую должен выделять источник на сопротивлении R_n . Где мощность находим через напряжение и ток:

$$P = UI = 10 \text{ В} * 27,6 \text{ мА} = 276 \text{ мВт}.$$

Время считаем по длине импульса по рис.8, оно примерно 11 делений по оси времени, поскольку 5 делений это 800 нс, используя пропорцию получаем время импульса равное

$$t_{\text{имп}} = 11 \text{ дел} * 800 \text{ нс} / 5 \text{ дел} = 1760 \text{ нс}.$$

Энергия импульса есть мощность, умноженное на время

$$E = 276 \text{ мВт} * 1760 \text{ нс} = 486760 * 10^{-12} \text{ Дж} = 486,760 \text{ нДж}$$

Такую энергию источник должен затратить на создание одного импульса на сопротивлении R_n .

И теперь найдем мощность, которую теряет конденсатор C_f , при просадке 35 мВ в пике, как это получилось на опыте.

Исходная энергия заряженного конденсатора C_f до напряжения 10 В равна.

$$W_{c1} = 1/2 CU^2 = 1/2 * 96 \text{ мкФ} * 10^2 = 4,8 \text{ мДж}$$

Тогда при понижении напряжения на 35 мВ энергия конденсатора составит

$$W_{c2} = 1/2 CU^2 = 1/2 * 96 \text{ мкФ} * (10 - 0,035)^2 = 4,766 \text{ мДж}$$

Теперь вычитаем разницу, чтобы узнать потерянную энергию конденсатора от просадки на 35 мВ:

$$dW_c = 4,8 \text{ мДж} - 4,766 \text{ мДж} = 0,034 \text{ мДж} = 34 \text{ мкДж}.$$

И теперь сравниваем это значение с той энергией, что у нас тратит источник на сопротивлении в одном импульсе, равной 0,487 мкДж. И как видим, источник питания не может просаживаться импульсом тока на 35 мВ.

И делаем вывод, что просадка по напряжению конденсатора C_f в импульсе, равная 35 мВ не может вызываться его разрядкой (потерей заряда), поскольку она много меньше по энергии. А, значит, просадка вызывается падением напряжения на омическом сопротивлении конденсатора. Поскольку затраты энергии источника на импульс по расчетам должны быть явно меньше, они не

могут вызывать такую просадку, поэтому напряжение на конденсаторе C_f возвращается в итоге на прежний уровень, когда ток через конденсатор уменьшается.

А это значит версия, что катушка рекуперировывает энергию на спадающем токе, когда в катушке возникает скалярная волна, не подтверждается прямыми измерениями, **энергии импульса для этого недостаточно, чтобы так просадить емкость в питании.**

Поэтому, делаю вывод, что источник тратит энергию на омическом сопротивлении R_n . Т.е. скалярная волна в катушке в данном случае не образуется, которая может восстанавливать энергию источника. Хотя, как мне думается, скалярная волна должна возникать в антенне, в поперечном направлении, чтобы разгонять убегающую волну и одновременно рекуперировать энергию в антенну (при отсутствии приёмника энергии). Поэтому, мне думается, что **в данной схеме источник тратит энергию только на сопротивление R_n** и прочие части схемы, где есть омическое падение напряжения. На излучение волновой энергии источник тратить не должен, пока нет приемника, настроенного в резонанс. Последнее предположение основывается на том факте, что электрически заряженное тело излучает кванты электрического поля постоянно в пространство, не разряжаясь, пока рядом не будет другого проводника.

Возможно и более вероятно, что падение напряжения на конденсаторе от тока в импульсе связано с индуктивностью обкладок конденсатора, поскольку нет полной компенсации индуктивности.

15.08.2025 (o-lega)