



jar_ohty

49 минут назад

Простой испытатель ферритов

7 мин 375

Производство и разработка электроники*, Электроника для начинающих, Энергия и элементы питания

Реалии нашей жизни поменялись. Если раньше мы шли в магазин и покупали *нужное* ферритовое кольцо для трансформатора, то теперь порой приходится довольствоваться тем, что удалось *найти*. В ящике стола, в лампочке-экономке из ближайшей мусорки, у китайцев на Алиэкспрессе... Чаще всего эти ферриты лишены маркировки, их тип в лучшем случае известен лишь приблизительно, а в худшем мы не знаем о них ничего. И вопросы, вопросы... Действительно ли из Китая выслали то, что просили? Подойдет ли для двухтактного трансформатора это *зеленое* кольцо? А что будет, если намотать трансформатор на феррите с μ 10000? Какой выбрать число витков на вольт, когда формула из статьи в журнале "Радио" дает 0,4 витка на вольт, а популярная программа для расчета -- 1,2 витка?

В статье описывается небольшой стенд для испытания ферритовых сердечников, главным образом, колец, в режиме двухтактного преобразователя. Далее -- пикабу-стайл. Схема, немного текста и много скриншотов с осциллографа.

Немного теории

В отличие от обратного преобразователя, в двухтактном преобразователе напряжения (неважно, собранном по схеме push-pull, полумостовой или мостовой) не разделены во времени процессы передачи энергии первичной цепи в магнитное поле и передачи магнитной энергии во вторичную цепь. Все происходит одновременно и в течение всего цикла работы, за исключением короткого промежутка времени, когда оба транзистора закрыты. Работа трансформатора тут скорее напоминает работу обычного силового трансформатора на 50 Гц: феррит перемагничивается, индукция в сердечнике меняется от

$-V_{max}$ до $+V_{max}$ и во вторичной обмотке индуцируется ЭДС. С той только разницей, что в течение большей части полупериода к первичной обмотке приложено *постоянное* напряжение. Тем не менее, ток через первичную обмотку, а следовательно, и магнитный поток при этом нарастает, причем нарастает в первом приближении линейно, что порождает постоянную ЭДС на вторичной обмотке (которая пропорциональна производной от магнитного потока).

Разумеется, это нарастание не может быть вечным, поэтому на постоянном токе

трансформатор работать не будет. "Ограничителем" является насыщение магнитопровода -- индукция в сердечнике перестает расти, передача энергии во вторичную обмотку прекращается -- а индуктивность первичной обмотки катастрофически падает, что приводит к лавинообразному, ускоряющему самого себя, росту тока в ней. Насыщение в двухтактном преобразователе -- аварийная ситуация, если только это не преобразователь с самовозбуждением, в котором насыщение приводит к исчезновению напряжения обратной связи, обрыву цикла и закрытию транзистора, как в блокинг-генераторе. С другой стороны, энергия, закачанная в насыщенный магнитопровод, не передается потребителю и пропадает, превратившись в тепло, и даже приближение к нему ухудшает КПД преобразователя.

Чем меньше выбранное значение V_{max} , тем меньше площадь кривой гистерезиса, меньше потери энергии в феррите. Достичь этого снижения можно, либо увеличив размер сердечника, либо увеличив число витков первичной обмотки. И то, и другое приводит к увеличению индуктивности и замедлению нарастания тока, а следовательно и к уменьшению V_{max} . Альтернативой является увеличение частоты преобразования, но тут надо быть осторожным: из-за того, что поворот доменов в ферритмагнетике занимает конечное время, динамическая петля гистерезиса расширяется и потери возрастают. Впрочем, современные ферриты вполне способны работать с приемлемыми потерями даже на 500 кГц. Другая сложность, возникающая на высоких частотах при большой кратности преобразования и большом числе витков в обмотках -- их паразитная емкость. Диоды, особенно большой мощности, также не горят желанием работать на частоте, приближающейся к мегагерцу.

Стенд

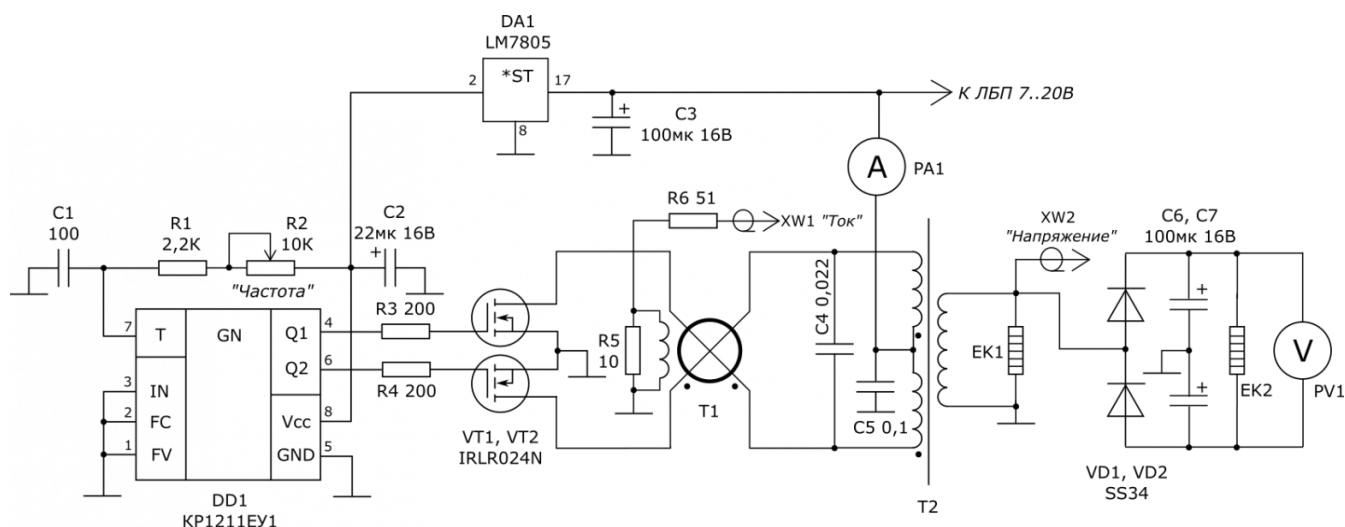


Рис.1. Схема стенда

Стенд представляет собой простейший нестабилизированный двухтактный преобразователь напряжения по схеме push-pull. На DD1 собран задающий генератор противофазных импульсов управления затворами с защитным интервалом против

сквозного тока. Частоту импульсов можно регулировать в пределах 30..200 кГц переменным резистором. Между стоками коммутирующих транзисторов VT1 и VT2 и обмотками испытуемого трансформатора установлен трансформатор тока. Выполнен он следующим образом: на кольце K10x6x4 из феррита K38 (или другого с возможно большим значением магнитной проницаемости) намотана вторичная обмотка -- 10 витков любого провода. Первичные обмотки -- это просто два провода, соединяющие стоки транзисторов с обмотками трансформатора, пропущенные через кольцо, они должны заходить в кольцо с разных его сторон, чтобы токи, протекающие в верхней и нижней обмотках трансформатора, индуцировали во вторичной обмотке импульсы противоположной полярности. Этим мы избежим постоянного подмагничивания трансформатора тока и создадим определенную точку отсчета для измерения токов. Вторичная обмотка трансформатора тока нагружена на безындукционный резистор 10 Ом, который необходимо припаять к обмотке с как можно более короткими выводами. Пробник осциллографа для наблюдения формы тока подключается к нему через резистор сопротивлением 51 Ом во избежание влияния его входной емкости (иначе последняя вместе с индуктивностью вторичной обмотки породит сильнейший "звон"). Напряжение 1 В на нагрузке T1 соответствует току 1 А. На другой канал осциллографа подается напряжение с вторичной обмотки трансформатора.

На диодах VD1 и VD2 и конденсаторах C6 и C7 выполнен полумостовой выпрямитель (удвоитель напряжения). Подключив нагрузку либо непосредственно к вторичной обмотке (нагрузка EK1) или на выход выпрямителя (EK2), можно наблюдать работу в том и в другом случаях. В качестве нагрузок могут быть мощные резисторы (в роли EK1 -- лучше безындукционный), любые лампочки и т.д., в зависимости от задачи. Для измерения КПД следует взять резистор, сопротивление которого минимально меняется при прогреве.

Трансформатор T2 на испытуемом феррите наматывается таким образом: сложив вместе два провода достаточного сечения (это может быть любой обмоточный, монтажный провод, МГТФ и т.п., лучше разного цвета), наматывается 6-15 витков из расчета предполагаемого числа витков на вольт. Конец одного провода соединяется с началом другого и получается абсолютно симметричная обмотка с точным отводом от середины. Вторичная обмотка -- 3-4 витка такого же провода.

Питается стенд от лабораторного блока питания с регулировкой напряжения и ограничения тока. Изменяя напряжение питания, можно варьировать амплитуду импульсов, подаваемых на первичную обмотку трансформатора. Минимальное напряжение питания -- около 7 В, при дальнейшем снижении падает напряжение питания KP1211EY1. Если оторвать ее питание от общего источника и запитать отдельно, можно регулировать напряжение, подаваемое на выходной каскад, практически от нуля. Максимальное напряжение питания -- до 30 В.

В авторском варианте стенд смонтирован на уголке макетной платы. При желании можно поместить плату в красивый корпус, разукрасить его светодиодами и т.п. по заветам Волдемарса Кетнерса, а на лицевой панели смонтировать вольтметр, амперметр, регулятор частоты, клеммы для подключения концов обмоток и коаксиальные разъемы для соединения с осциллографом.

Что мы увидим?

Допустим, мы нашли в ящике стола *загадочное* зеленое кольцо размером 14x8x7. Что это? Пробная обмотка, измеренная на RCL-метре показывает: это какой-то очень уж *проницаемый* феррит. Что-то типа 6000НМ, или К35, или вроде того. Это, конечно, не слишком выглядит похоже на феррит для импульсных трансформаторов. Но все же наматываем первичные обмотки -- по 8 витков, и вторичную -- четыре витка. Включаем на холостом ходу и видим картину (рис.1):

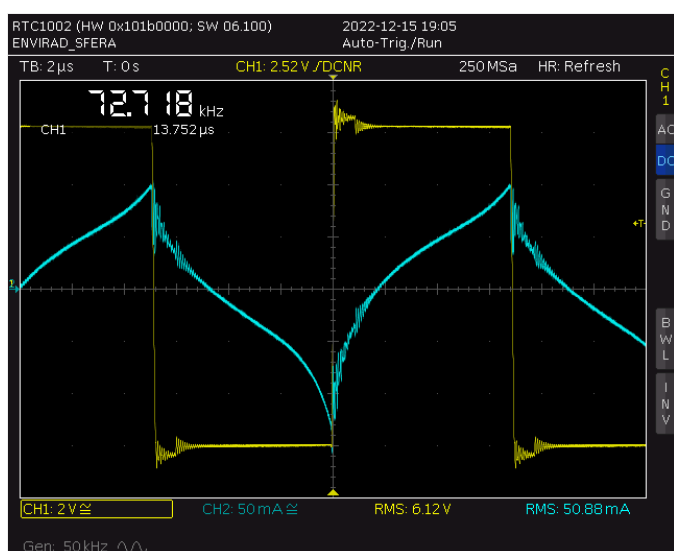


Рис.2. Осциллограмма тока при несколько высоковольтной амплитуде поля в сердечнике.

Желтый луч -- напряжение на вторичной обмотке, 5 В/дел. Голубой -- ток через обмотки, 50 мА/дел. Хорошо видно, что под конец цикла, особенно в отрицательных полупериодах (откуда-то берется эта асимметрия, видимо, не совсем одинаковые обмотки получились), нарастание тока ускоряется. Это плохо: мы выходим из линейного режима, приближаясь к насыщению феррита, а значит, теряем энергию на его нагрев. Впрочем, не все так плохо, если нас устроит ток холостого хода 32 мА. Если не устроит

-- домотаем обмотку до 12 витков (1 виток на вольт). Или немного повысим частоту -- и получим совершенно линейный график тока и ток холостого хода 22 мА (рис.3).

А вот как выглядит действительно криминал: мы дошли до насыщения и ток стока одного из транзисторов лавинообразно взлетает почти что до двух ампер (рис.4). Мало того, в таком состоянии он не остается: кольцо греется и поле насыщения падает, так что все катится, как снежный ком: еще секунд тридцать, и у ЛБП начинает срабатывать ограничение по току, а транзисторы -- греться, как утюг. В данном случае это безопасно, так как напряжение низкое, а ток ограничивается схемой стабилизации тока лабораторного блока питания. Если бы такое случилось в блоке питания, питающемся от сети, ключевые транзисторы бы просто взорвались. Для того, чтобы загнать систему в такой режим, я поднял напряжение питания до 16 В, это 2 вольта на виток.

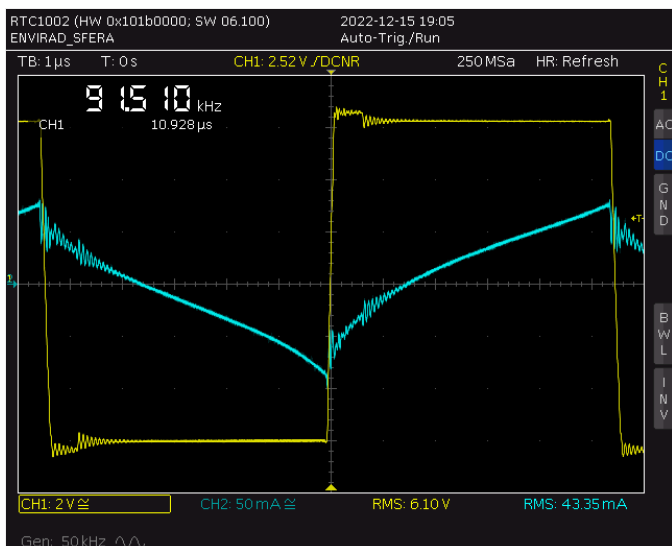


Рис.3. Оптимальный режим -- практически линейный рост тока намагничивания.

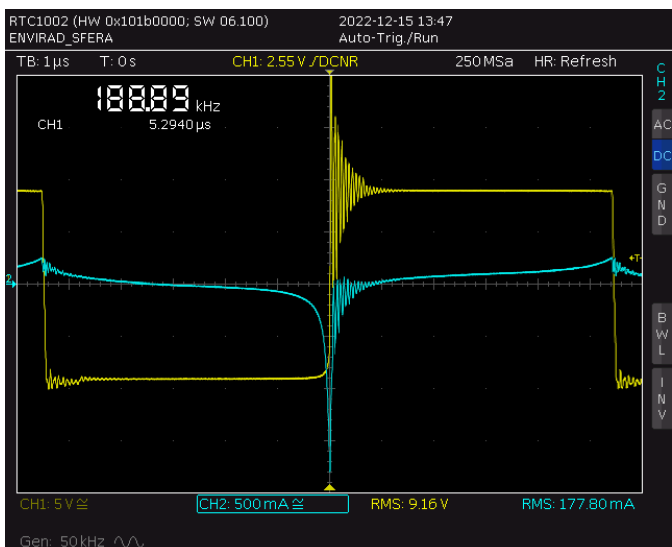


Рис.4. Аварийный режим: насыщение.

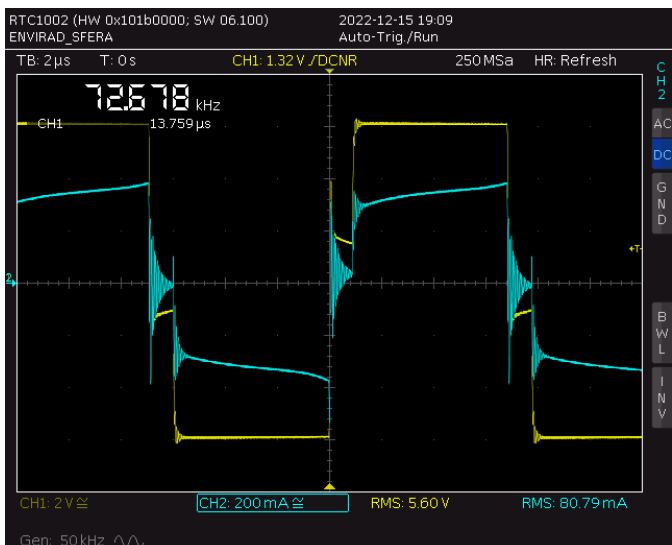


Рис. 5. Работа трансформатора на резистивную нагрузку

Это без нагрузки, и это *самый тяжелый режим для феррита*. Потому что ток через вторичную обмотку *размагничивает сердечник*.

Теперь (рис.5) мы нагрузили вторичную обмотку резистором на 10 Ом. Напряжение 5,6 Вэфф, мощность 3,13 Вт, потребляемый ток от источника 12 В -- 289 мА, мощность 3,47 Вт. КПД 90,2% -- неплохо, при том, что феррит *явно неподходящий*, а на холостом ходу -- явные признаки выхода из режима линейного намагничивания. Впрочем, нагрузочка легонькая. При данной частоте это кольцо способно, не напрягаясь, пропустить сквозь себя ватт 25.

Теперь взглянем (рис.6), как выглядит осциллограмма тока, если нагрузить не вторичную обмотку, а выпрямитель. Тут нагрузка помощнее -- светодиодная линейка, около 10 Вт:

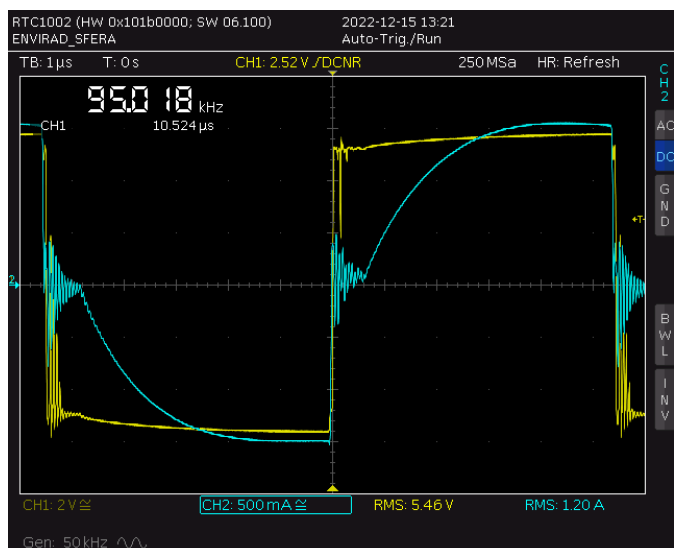


Рис.6. Работа трансформатора на нагруженный выпрямитель.

трансформатора в этом нет: много энергии потерялось в диодах и конденсаторах выпрямителя. Обычный двухполупериодный выпрямитель с отводом от средней точки обмотки будет, конечно же, эффективнее (а еще лучше при таком напряжении -- синхронный выпрямитель), но ради простоты намотки *пробного* трансформатора я выбрал именно этот вариант.

Так можно ли использовать этот непонятный зеленый феррит в блоке питания? Казалось бы, ответ положительный -- кольцо не греется, КПД вполне на уровне. Но... давайте возьмем фен и слегка нагреем кольцо, градусов до 50. И... увидим катастрофу, насыщение, как на рис.4. А ведь это совсем невысокая температура -- внутри корпуса блока питания под нагрузкой она наверняка будет достигнута. Снизив максимальную индукцию в сердечнике путем увеличения числа витков на вольт, мы отодвинем катастрофу на более высокую температуру, но не предотвратим ее совсем. Таким образом, использование данного феррита для трансформатора -- очень плохая идея. Его назначение совсем другое -- фильтры радиопомех, ШПТЛ и тому подобное.

* * *

Имея под руками данную конструкцию, очень просто по-быстрому прикинуть, как будет работать в реальности (а не по расчетам) трансформатор на данном конкретном кольце и при данном значении витков на вольт. С помощью того же стенда можно проверить любой *готовый* трансформатор для двухтактной схемы, и выяснить, на что он способен (например, когда речь идет о высоковольтных трансформаторах от подсветки мониторов, лазерных принтеров и тому подобных). Можно воспользоваться им и для

Обратите внимание, что форма тока вторичной обмотки совсем другая. Кто-нибудь мне объяснит, что здесь происходит?! На самом деле, все просто: в начале цикла напряжение на конденсаторе больше, чем на вторичной обмотке и соответствующий диод закрыт, поэтому ток во вторичной обмотке равен нулю, и лишь с какого-то момента начинает расти, отбирая энергию от первичной обмотки. КПД, кстати, в этом режиме невысокий: немногим более 75%. Но вины

испытания трансформатора для обратного источника, не забыв подключить к вторичной обмотке соответствующий выпрямитель с фильтром.

Теги: феррит, проверка деталей, источники питания, трансформатор, двухтактный инвертор

Хабы: Производство и разработка электроники, Электроника для начинающих, Энергия и элементы питания

 +6

 8



 2

Редакторский дайджест

Присылаем лучшие статьи раз в месяц



Электроника



324

Карма

5

Рейтинг

@jar_ohty

Радиохимия, неорганическая химия

Задонатить

 Комментарии 2

Публикации

ЛУЧШИЕ ЗА СУТКИ

ПОХОЖИЕ



MichaelSkirda

21 час назад

Все новые функции C# 13 | Что нового в .NET 10, почему нет .NET 9

 3 мин

 7.7K

Обзор