Определение тока насыщения катушек индуктивности с магнитопроводами

Ю. ГУМЕРОВ, А. ЗУЕВ, г. Ульяновск

При разработке и изготовлении катушек индуктивности, импульсных трансформаторов возникает вопрос об их пригодности для работы в конкретных условиях. Обусловлено это тем, что параметры применяемых магнитопроводов зачастую точно неизвестны. В результате возможна ситуация, когда материал магнитопровода трансформатора входит в насыщение, что снижает КПД источника питания или выводит его из строя. Для катушек индуктивности (дросселей) это приводит с существенному уменьшению индуктивности с вытекающими из этого последствиями. Авторы предлагают устройство, позволяющее проводить проверку таких элементов на возможность их работы в конкретных условиях.

Устройство предназначено для определения тока катушек индуктивности (дросселей) или обмоток импульсных трансформаторов с ферромагнитными, альсиферовыми сердечниками, при котором наступает насыщение материала магнитопровода. Хотя существуют различные рекомендации по расчету и изготовлению таких элементов, но, не зная реальных параметров магнитопровода (особенно с немагнитным зазором), трудно получить желаемый результат или определить возможность их применения в конкретном устройстве.

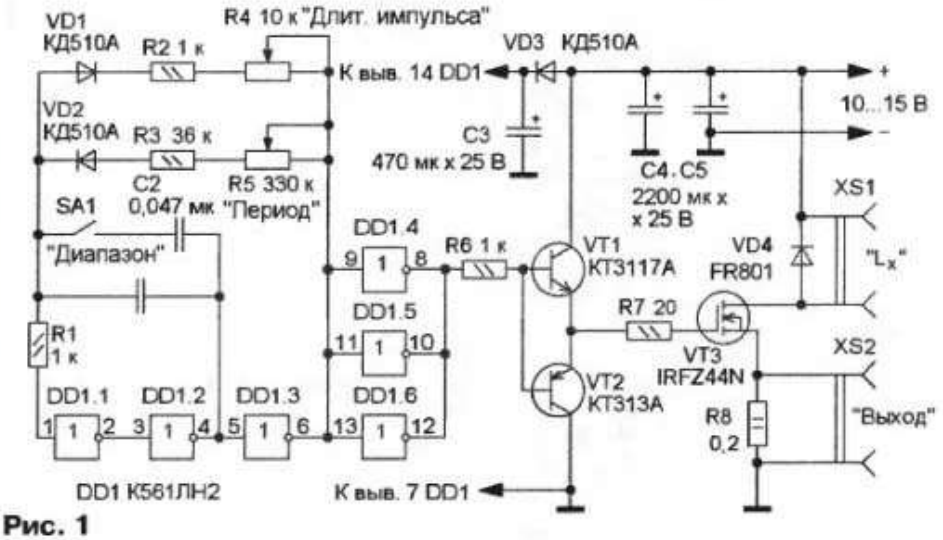


Рис. 1

Схема устройства показана на **рис. 1**. В его состав входят генератор импульсов на логических элементах DD1.1—DD1.6, буферный каскад на транзисторах VT1, VT2, мощный полевой переключательный транзистор VT3 и датчик тока на резисторе R8. Буферный каскад обеспечивает быструю зарядку и разрядку емкости затвор—исток транзистора VT3, диод VD4 служит для ограничения выбросов напряжения на проверяемой катушке индуктивности.

В генераторе импульсов реализована раздельная регулировка резисторами R4 и R5 длительности импульсов и периода их следования соответственно. Длительность импульсов изменяют в пределах 6...60 мкс на одном диапазоне и 60...600 мкс на другом. Период повторения можно изменять в пределах 0,2...2 мс и 2...20 мс соответственно. Диапазоны переключают выключателем

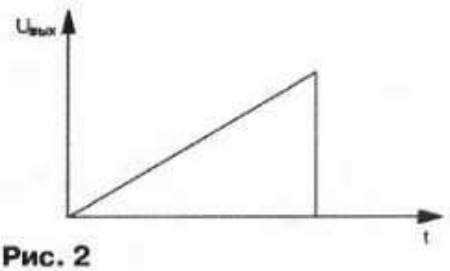


Рис. 2

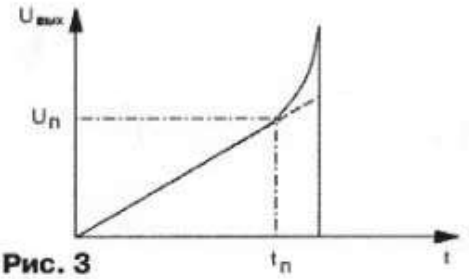
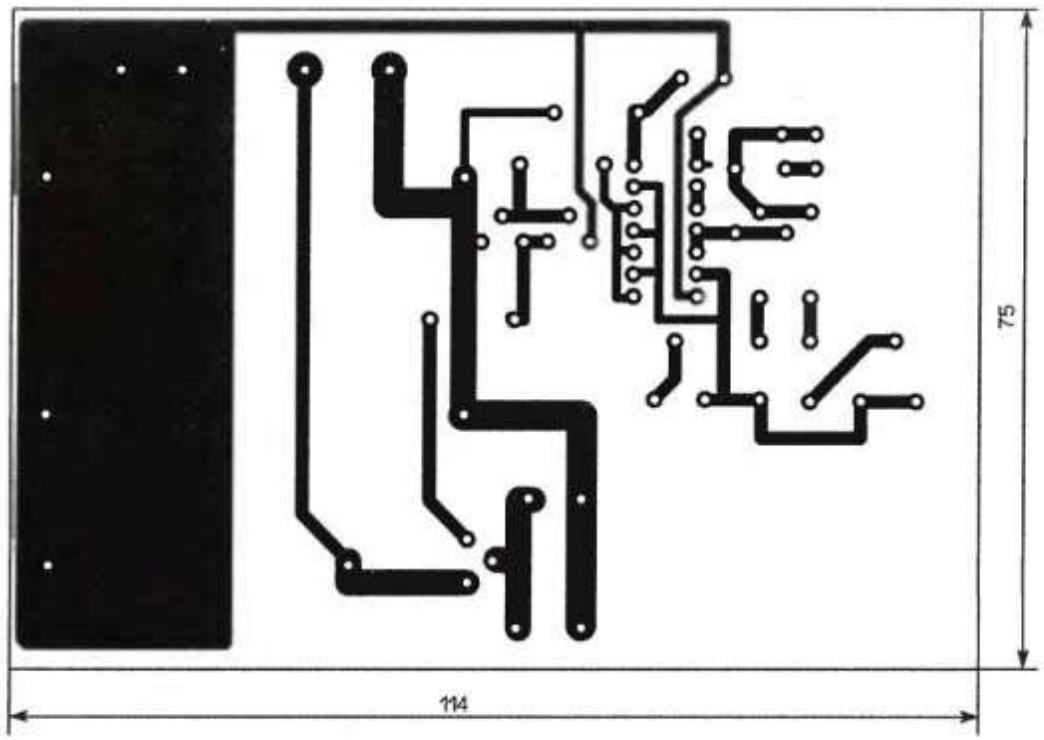


Рис. 3



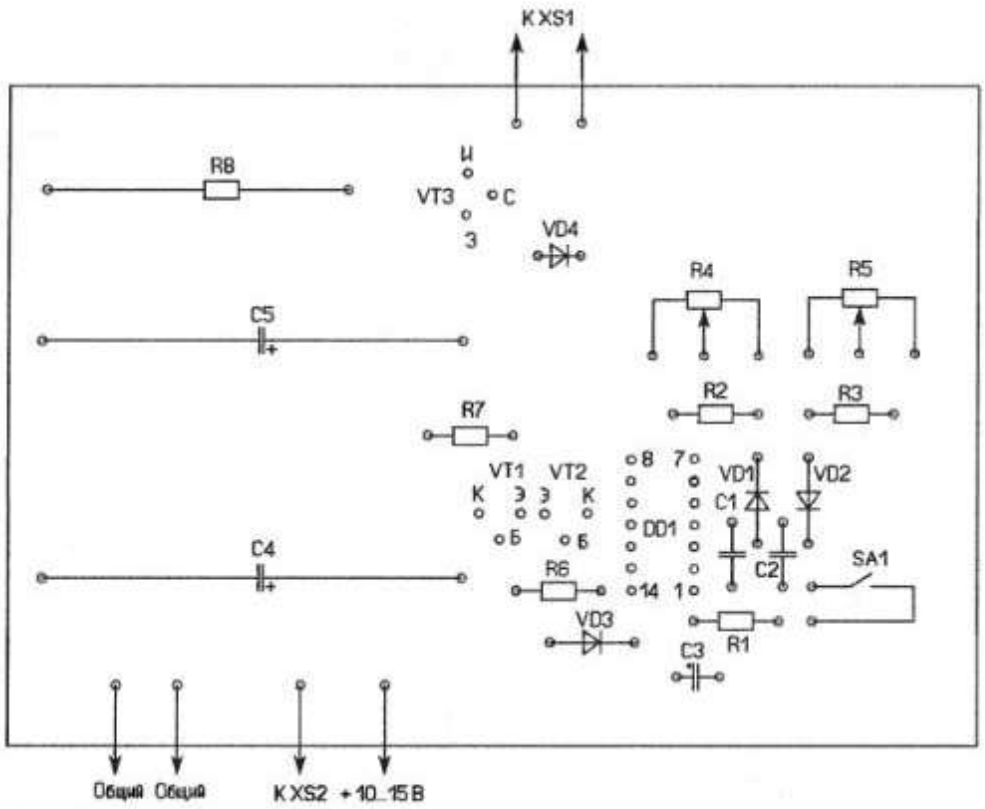


Рис. 4

SA1. Напряжение питания поступает на генератор импульсов через диод VD3 и сглаживается конденсатором C3, что снижает влияние на его работу помех, возникающих в цепи питания устройства при протекании импульсных токов. В цепь истока транзистора VT3 установлен низкоомный резистор R8, падение напряжения на котором пропорционально току, протекающему через этот транзистор и проверяемую катушку индуктивности "L_x". Напряжение подают на вход осциллографа, на экране которого контролируют его форму.

Первоначально на первом диапазоне устанавливают минимальную длительность импульсов при максимальной скважности (максимальном периоде следования). Большая скважность позволяет уменьшить среднюю рассеиваемую мощность на транзисторе VT3, а также использовать менее мощный источник питания, поскольку импульсный ток обеспечивают конденсаторы C4, C5. К гнездам XS2 подсоединяют осциллограф, к гнездам XS1 — проверяемую катушку индуктивности и подают питающее напряжение (10...15 В). На экране осциллографа необходимо получить осциллограмму, соответствующую **рис. 2**. Если яркость изображения на экране осциллографа будет недостаточной, резистором R5 следует уменьшить период следования импульсов. Но увлекаться этим не следует, поскольку это приведет к увеличению потребляемого тока и нагреву транзистора VT3.

Затем длительность импульса следует плавно увеличивать до тех пор, пока линейное увеличение напряжения не перейдет в нелинейное (**рис. 3**), а точка $U_п$ будет определять ток, при котором происходит насыщение материала магнитопровода: $I_{нас} = U_п/0,2$. Если на первом диапазоне точки $U_п$ достичь не удалось, включают второй диапазон генератора.

Следует отметить, что максимально допустимая длительность импульса напряжения на катушке индуктивности $t_п$ в точке $U_п$ обратнопропорциональна напряжению этого импульса. Например, если в устройстве при напряжении питания 15 В проверяют импульсный трансформатор и насыщение наступает при длительности импульса $t_п$ = 300 мкс, то в сетевом импульсном блоке питания при напряжении питания 300 В длительность импульса должна быть в 20 раз меньше: $t_п \le 15$ мкс.

Конструкция и детали. Все детали смонтированы на плате из односторонне фольгированного стеклотекстолита, ее чертеж показан на **рис. 4**. Плату размещают в корпусе из изоляционного материала, на стенках которого устанавливают гнезда для подключения осциллографа, катушки индуктивности (можно применить зажимы "крокодил"), выключатель и переменные резисторы. В устройстве применены переменные резисторы СП, СПО, СП-4, резистор R8 — С5-16МВ-2Вт, остальные — МЛТ, С2-33. Конденсаторы C4, C5 — К50-24, C3 — К50-35 или аналогичные импортные, C1, C2 — К73-9, К73-24, К10-17. Диоды КД510А заменимы импульсными маломощными серий КД503, КД521, КД522 с любыми буквенными индексами, диод FR801 можно заменить на FR802, FR803, HER801, транзистор IRFZ44N — на IRFZ48N, транзисторы КТ3117А, КТ313А — соответственно на КТ698 и КТ6127 с любыми буквенными индексами.

Для питания устройства используют стабилизированный источник питания с защитой по току и выходным напряжением 10...15 В при токе до 1 А. Налаживание сводится к проверке работоспособности генератора и при желании — градуировке шкал переменных резисторов. Практическая польза от проведенных измерений состоит в том, что можно упростить расчеты, которые дают приближенные результаты и требуют экспериментальной проверки, и получить конкретные результаты, более совместимые с решаемой задачей.

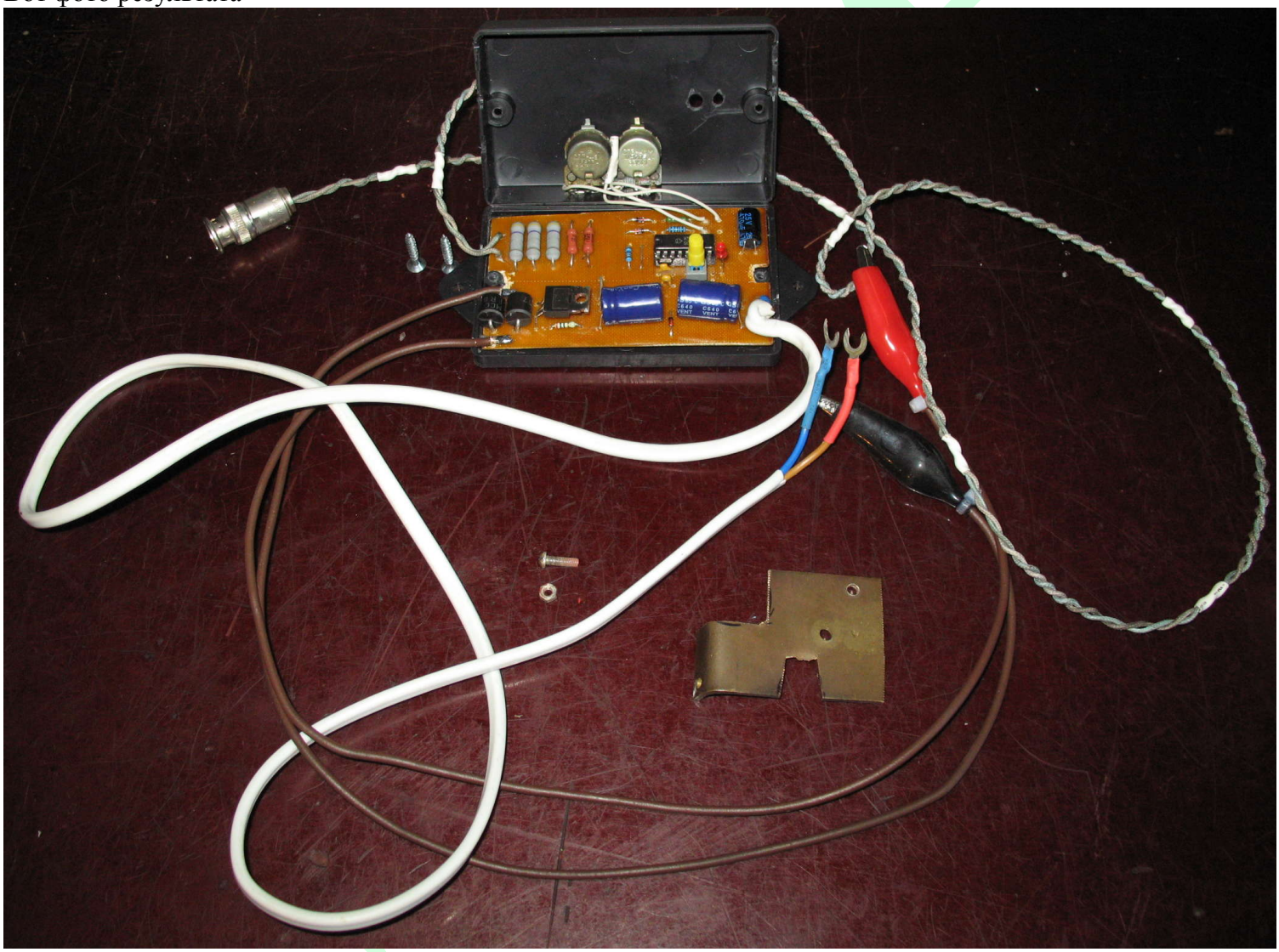
Редактор — И. Нечаев, графика — И. Нечаев

Все вроде бы понятно. Единственное хочу добавить:

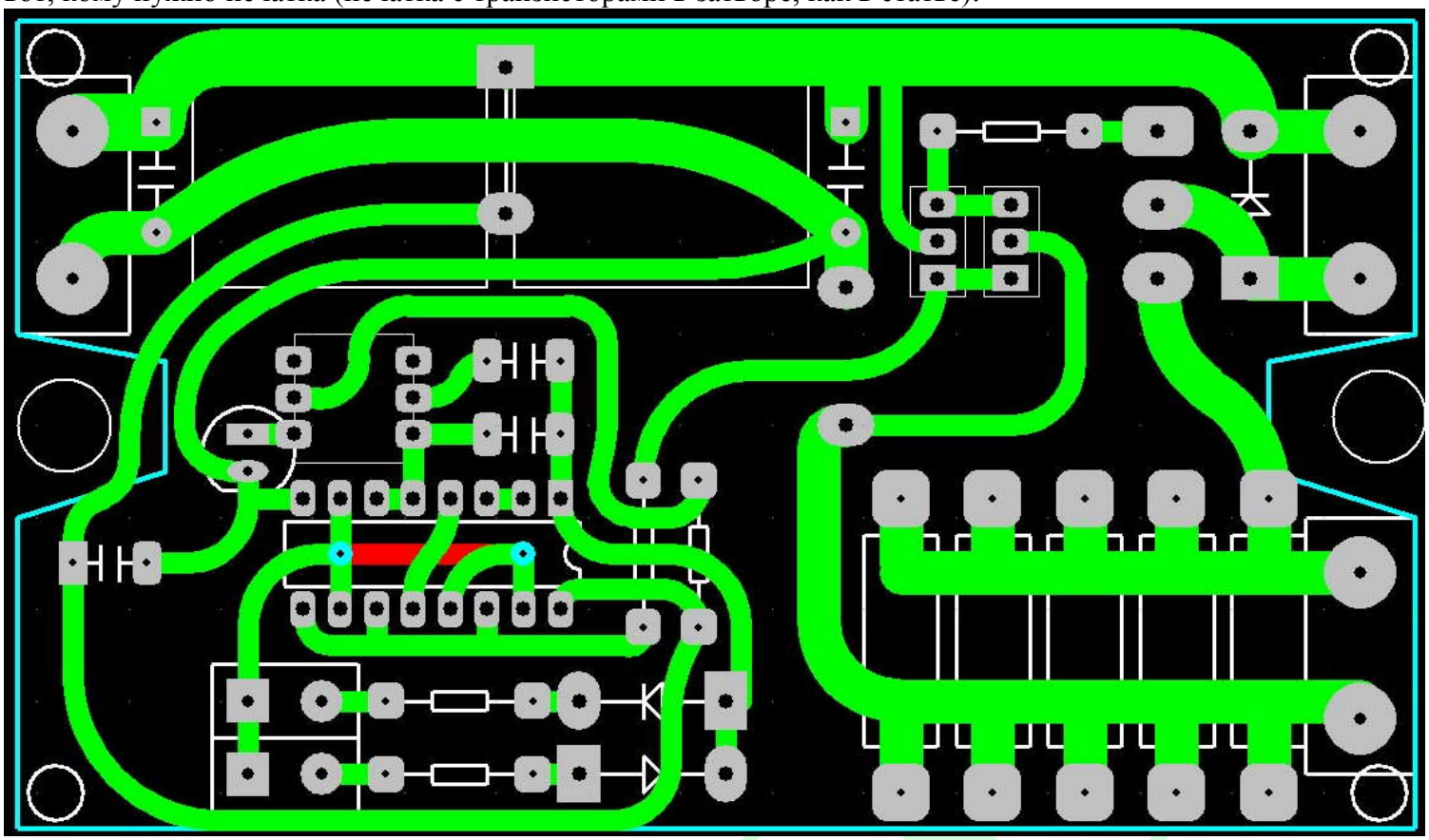
1. – Что обратный диод работает в жутком режиме. В схеме он на 8А (HER801) У меня стоит в параллели два по 6А. Греются очень сильно оба. Палец не удержишь, посему покупайте мощнее и шустрее и шоттки. И ставить на радиатор.
2. – Не нашел указанной микросхемы, поставил 561ЛН1, естественно развел свою плату под нее.
3. – Конденсаторы на входе лучше поставить емкостью поболее, меньше нагрузка на БП.
4. – Транзистору требуется радиатор (на фото он свинчен и лежит рядом), транзистор можно заменить на STP60NF06, как писал Кабельщик, лучше и дешевле
5. – В статье не указан номинал конденсатора под надписью «диапазон». Его можно взять 2n2–3n3
6. – Резистор R4 увеличить с 10к до 30к
7. – Транзисторы раскачки полевика можно выкинуть и напрямую с запараллеленых логических элементов подать через 510-1к на затвор полевика.

Что впоследствии и было сделано

Вот фото результата



вот, кому нужно печатка (печатка с транзисторами в затворе, как в статье):



ряд запараллеленых резисторов (в нижнем правом углу) удобен тем, что можно спокойно напараллелить нужный номинал. О том какой он нужен, расскажу ниже. Сама печатка не супер (разведена не шибко удачно) но на скорую руку пойдет. Конденсаторов электролитических в питание советую поболее и низкоимпендансных..

О принципе работы прибора можно почитать в вышеприведенной статье.

Теперь о том, как его использовать применительно к нашему делу.

Во–первых, перед его применением, вы должны определится на какой макс. сварочный ток делается аппарат.

Тут надо рассуждать трезво. А трезвость заключается вот в чем.

Ø.....ток сварки при 20Вольт в дуге
1,5 мм.....25-40ампер
2,0.....60-70 А
3,0.....75-110 А
4,0.....110-150 А

Для нормальной сварки 4–кой нужет ток 110–150А. 160-170А можно резать ею. Редкая сеть позволит выжать выходной ток в 160–170А в дуге. Практика показывает, что и варить 4–кой не особо приходится. Самый ходовой электрод – 3_ечка. Так что, реально нужный вам ток 120А – сварка и 150А - резка.

Допустим вы решили сделать его на 160А. Следовательно, при 160А в дуге, напряжение на дуге должно быть на уровне:

U дуги=20В+0.04*I дуги = 20В+0.04*160А=26,4В

Значит, по закону ома, отсюда сопротивление дуги $R_{дуги}$=26.4/160=0,165 Ом.

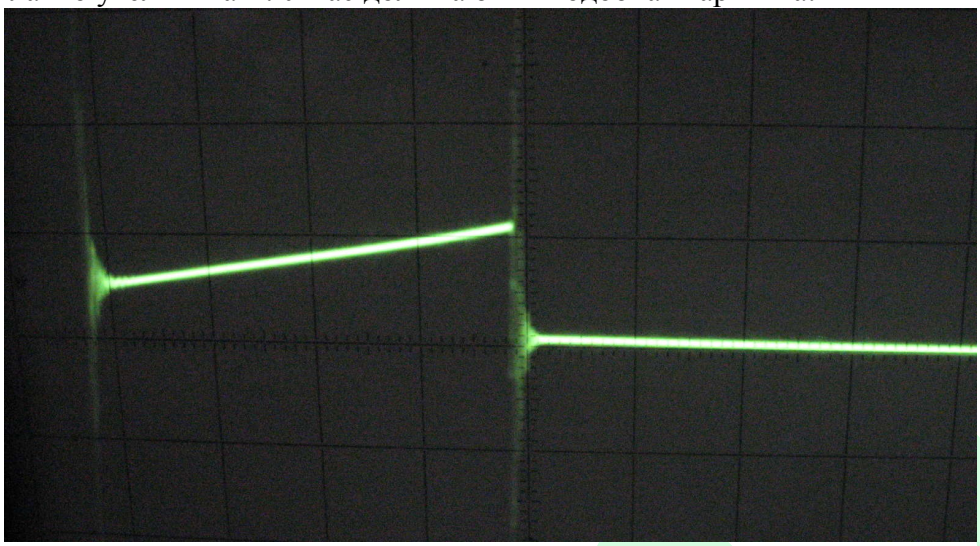
Вот это сопротивление вы и желательно подобрать в приборе Гумерова–мумерова. Как его подобрать и измерить, если настолько точного омметра нет?

По тому же закону Ома. Подаем на это сопротивление напряжение с блока питания, меряем ток, протекающий через него и напряжение на нем. Благо сейчас приборов (мультиметров) с хорошей точностью валом. И считаем по формуле R=U/I. Получаем сопротивление.

Если не получилось подобрать – не беда. Можно пересчитать. Как - расскажу ниже.

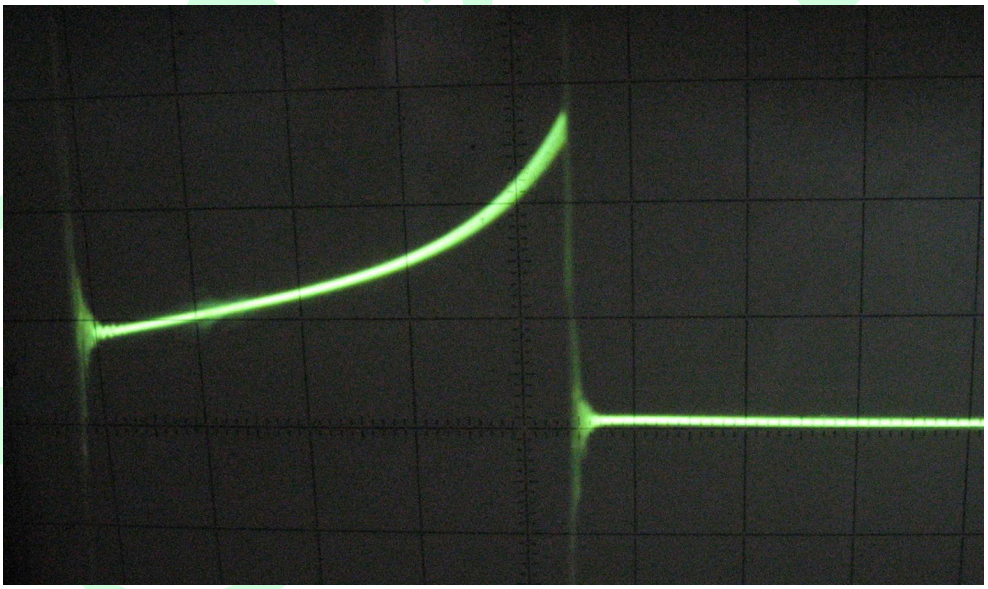
Закончили подгонку. Теперь приступим к настройке зазора дросселя.

– подключаем дроссель к прибору.
– подключаем прибор к осцилографу
– подаем на прибор 12V питания. Вы должны услышать пищание или трещание дросселя
(то, что вы услышите, зависит от поданой частоты и включеного делителя частоты на приборе)
Сильно большую частоту не ставьте – большой ток будет, и все греться будет.
– добейтесь нормальной видимости импульса на осцилографе
– поставьте маленькую его длительность ручкой на приборе «Мумерова–Бумерова»
– начните ее плавно увеличивать. У вас должна быть подобная картинка:

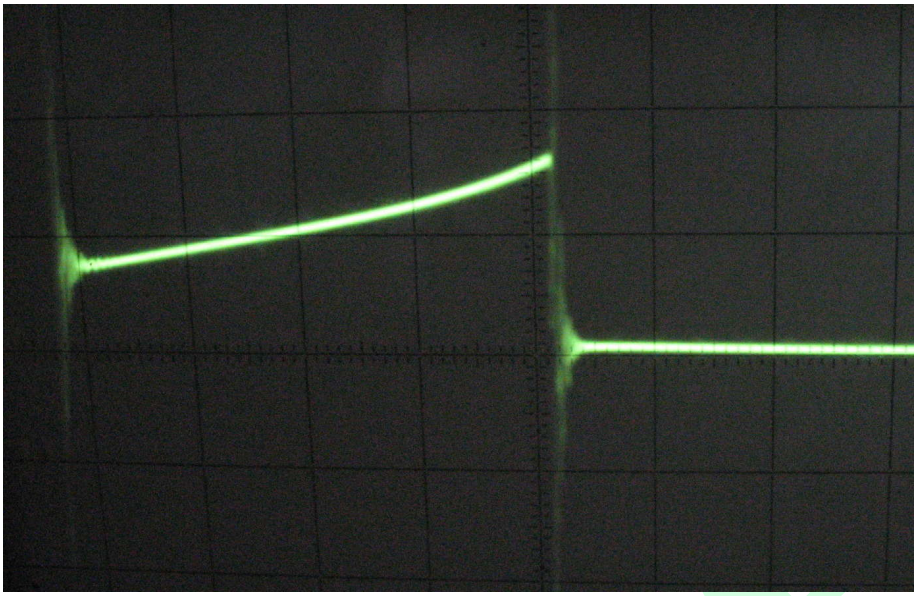


Хочу предупредить сразу. Это пример рассчета, сделан по отфонарному сердечнику, и чисто для примера и понимания сути расчета.У вас могут другие цифры получаться!

На ней хорошо видно как линейно возрастает импульс с увеличением длительности. Если мы и дальше начнем накручивать резистор длительности импульса на приборе, то получим такую картинку:



И на ней явно виден залет сердечника в насыщение(загиб кверху). Начало насыщения – это момент, когда наклонная линия, начинает загибаться вверх. Вот этот момент начала насыщения:



Отсюда линейный участок, до момента насыщения, составляет по напряжению (вертикаль, амплитуда) 1,3 деления. Если же у вас начинает загибаться вниз – то не тянет БП.
При этом на осцилографе стояли рукоятки в следующем положении:

Длительность – 20мкс/дел
Напряжение – 1Вольт/дел

Теперь, имея эти данные, мы можем посчитать ток насыщения дросселя. По осцилограмме напряжение насыщения = 1.3 деления *(вертикаль)*×1Вольт/дел *(ручка делителя напряжения осцила)* = 1,3 Вольта.

Отсюда ток насыщения = 1.3В/0.165 Ом *(наше расчетное сопротивление дуги)* =8.6 А

(Если эквивалент сопротивления дуги в приборе подобрать не удалось – делаем так. Домустим у вас получилось в приборе 0.1 Ом. Значит на него и делим. Ток насыщения = 1.3В/0.1 Ом = 13 А. С этим током дальше и оперируем. Нам важен именно этот ток узнать, а ток насыщения в нашем случае от сопротивления не зависит.)

Теперь мы можем узнать ток КЗ. Для этого умножим полученный ток на 12.

Откуда 12? Получено это число эмпирическим путем. из поста KLIMa:
*Умножение на 12 – это совпадает с практикой. А почему так – потому что 6 – это коэф. трансформации, а еще на 2 – это потому что двутактный. 6*2=12. Причем проверенный «КТ315» ток на девайсе – ровно в 12 раз меньше тока КЗ, как его (дроссель) не крути.*

В случае если у нас транс не классический 18/3 витков, то нужно пересчитать коэффициент. Допустим у нас транс 14/3. Отсюда коэфф.трансф. = 14/3= 4,66. Помножим на 2 такта = 9.32. Вот на него мы бы и умножали, будь у нас такой транс. Но «у нас» 18/3, а значит, множим на 12.

$$Iкз=8,6\times12=104А$$

Значит ток КЗ у нас 104А. Явно проглядывается, что мало. Но для чистоты «экскремента», продолжим.

Теперь прикинем рабочий ток. Напряжение, до которого участок линеен, без малейших признаков загиба, судя из осцилограммы, это вплоть до 1,1В. Зная сопротивление дуги, считаем.

$$I_{рабочий}=U_{рабочий}/R_{дуги}*12=1.1/0.165*12=80А$$

Это нас не устраивает. Поскольку задумывалось сделать рабочий ток 160А.

Чтоб увеличить его, подкладываем под все 3 керна феррита одинаковую по толщине прокладочку. Метериал брать жесткий и термостойкий. Никакого целлофана и фум-ленты! Из самых доступных материалов бумажный скотч(один слой = 0.13мм) или электрокартон (прессшпан). Можно для начала толщиной 0.5мм. Это значит, что зазор у нас выходит 1мм *(почему 1мм? Потому, что если, как бы, сложить крайние керны феррита в один, получится эквивалент П–образного сердечника с двумя зазорами по периметру, а раз они последовательно в магнитной цепи стоят, то их складываем и получаем суммарный магнитный зазор 1мм)*

Проводим снова замеры

(для краткости предположим, что замеры уже сделаны, осциллограммы те же, можно смотреть на них, но ручка делителя осцилографа стояла как будто на…см.далее)
При этом на осцилографе стояли рукоятки в следующем положении:

Длительность – 20мкс/дел
Напряжение – 2Вольт/дел

Теперь, имея эти данные, мы можем посчитать ток насыщения дросселя. По осцилограмме напряжение насыщения = 1.3деления *(вертикаль)*×2Вольт/дел *(ручка делителя напряжения осцила)* = 2.6 Вольта.

Отсюда ток насыщения = 2.6В/0.165Ом *(наше расчетное сопротивление дуги)* =15.75 А

Теперь мы можем узнать ток КЗ. Для этого умножим полученный ток на волшебные 12.

$$I_{кз}=15,75\times12=189A$$

Значит ток КЗ у нас 189А.

Теперь прикинем рабочий ток. Напряжение, до которого участок линеен, без малейших признаков загиба, судя из осцилограммы, это вплоть до 2,2В. Зная сопротивление дуги, считаем.

$$I_{рабочий}=U_{рабочий}/R_{дуги}*12=2.2/0.165*12=160A$$

Это нас тоже очень даже устраивает!

Если не попали так быстро, то меняем вновь толщину прокладки. Снова производим замеры и расчеты. И т.д. до тех пор, пока не выйдем на ток в 160А.

Теперь, когда дроссель настроен, устанавливаем его в аппарат, вместе с подобранными прокладками в зазоре. И дальше нам остается только настроить резонанс.

ЗЫ\ Мне лично больше нравится этот способ настройки. Он бескровный и удобнее, не в пример тому, как советует на шунте и наргрузке т–рищ Негуляев. Нагрузку в ведро, и только успевай кипяток выносить… Хотя есть и шунт и нагрузочка весьма толстая.

Большая часть работы позади. Остались приятные мелочи. Настроить резонанс и в бой.

▼▼▼

~~НАСТРОЙКА РЕЗОНАНСА И РЕГУЛЯТОРА ТОКА~~

~~НАСТРОЙКА РЕЗОНАНСА~~

~~Предлагаю пойти любыми из 2 путей.~~

~~1 путь. Лампочка.~~

~~Недостаток: – вносит небольшую погрешность.~~
~~– не видна синусоида (а вдруг проблемы с ее формой?)~~
~~Достоинства: – простота~~

~~2 путь. Осциллограф.~~

~~Недостаток: – нужен осциллограф (это скорее не недостаток, а необходимость)~~
~~Достоинства: – точность и визуальный контроль формы синусоиды~~

~~Начнем.~~

~~1 путь тоже, что и второй, только без осциллографа и в разрыв цепи включается лампочка, по яркости ее горения вычисляют резонанс.~~

~~2 путь.~~

~~– Подключаем осциллограф параллельно резонансному конденсатору~~

~~– Нагружаем трансформатор нашим сопротивлением 0,165Ом (нужен баянчик приличный, опущенный в воду или мощный реостат). Вот тут нам нужно сопротивление именно 0.165 Ом! Самый простой и дешевый вариант купить нихромовую спираль и 2 длинных болта(М6,М8) с кучей гаек. В текстолит вогнать эти два болта на расстоянии 4-6см. гайкой прикрутить клеммы с толстыми проводами. Потом нихром накручивать на эти болты, прихватывая гайками. До получения нужного сопротивления.~~

~~– Резистор задатчик тока ставим на максимум.~~

~~– Подаем напряжение 220В только на БП сварочника! (при этом резонансный контур должен быть полностью собран *(транс, дроссель, резонансный конденсатор)*).~~

~~– Подаем на выпрямительный входной мост переменное или постоянное напряжение 20–50В.~~