

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «НОВОСИБИРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ».

Физический факультет

Кафедра общей физики

Кундашкин Александр Дмитриевич

КУРСОВАЯ РАБОТА

Измерение тока насыщения дросселя

Электромагнитный практикум, 2 курс, группа №18303

Научный руководитель:

Инженер Чубаков П. А.

Оценка научного руководителя

«_____» _____ 20__ г.

Преподаватель практикума

к.ф.-м.н. Симонов А. А.

Оценка преподавателя практикума

«_____» _____ 20__ г.

Куратор практикума:

Итоговая оценка

к.т.н. Астрелин В.Т.

«_____» _____ 20__ г.

Новосибирск, 2019

Аннотация

Цель работы - разработать и изготовить схему для измерения тока насыщения дросселя на ферритовом сердечнике. Для выполнения поставленной задачи была разработана и изготовлена электросхема, позволяющая провести данные измерения.

Данные, полученные с помощью этой схемы, с хорошей точностью согласуются с теоретическими расчетами и табличными данными.

Ключевые слова: индуктивность, дроссель, ток насыщения, немагнитный зазор.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	4
1. Теоретическая часть	5
<i>1.1 Дроссель.....</i>	<i>5</i>
<i>1.2 Введение немагнитного зазора в сердечник.....</i>	<i>7</i>
2. Описание эксперимента	8
<i>2.2. Описание установки.....</i>	<i>8</i>
<i>2.3. Результаты измерений</i>	<i>10</i>
3. Ошибки	12
4. Выводы	13
5. Список литературы	13

ВВЕДЕНИЕ

Современные схемы питания электронной аппаратуры широко используют DC-DC преобразователи, работающие на частотах порядка нескольких десятков кГц. Схемотехника таких преобразователей включает в себя дроссели и/или трансформаторы с ферритовыми сердечниками. Характеристики таких сердечников не всегда известны. Поэтому при разработке преобразователей часто встает задача по измерению характеристик дросселей и трансформаторов на ферритовых сердечниках. Ток насыщения это один из важных параметров таких дросселей и трансформаторов. При разработке DC-DC преобразователей дроссели используются в условиях постоянного подмагничивания. Для увеличения тока насыщения таких дросселей обычно в ферритовый сердечники дросселя вводится немагнитный зазор. Благодаря ему сильно увеличивается диапазон токов, при которых дроссель может работать.

Целью данной работы являлось создание измерительной схемы и собственно измерение тока насыщения дросселей с немагнитным зазором и без него.

Для достижения поставленной задачи было необходимо решить следующие подзадачи:

1. Выбрать схему генерации и измерения тока насыщения дросселя.
2. Выбрать элементы для этой схемы и конструкцию исполнения.
3. Спаять схему и проверить ее работу.
4. Измерить ток насыщения нескольких дросселей.

1. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

1.1 ДРОССЕЛЬ

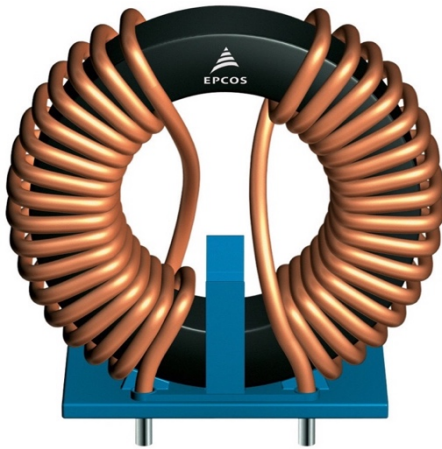


РИСУНОК 1. ДРОССЕЛЬ

Катушка индуктивности (иногда дроссель) — винтовая, спиральная или винто-спиральная катушка из свёрнутого изолированного проводника, обладающая значительной индуктивностью при относительно малой ёмкости и малом активном сопротивлении. Как следствие, при протекании через катушку переменного электрического тока наблюдается её значительная инерционность. Инерционность

индуктивности проявляется в том, что ток, идущий через индуктивность, не может мгновенно измениться. Этот факт в совокупности с тем, что ток на индуктивности в хорошем приближении меняется линейно, широко используется при изготовлении DC – DC преобразователей.

Магнитное поле, создаваемое катушкой индуктивности, определяется по формуле:

$$B_0 = \mu_0 * I * N / l = \mu_0 * I * n$$

$n = N / l$ – витков на единицу длины

$I * n$ – ампер – витков на единицу длины

$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ кг} \cdot \text{м} / (\text{с}^2 \cdot \text{А}^2)$ – магнитная постоянная
(магнитная проницаемость вакуума)

Тогда в ферромагнетике внутри дросселя магнитное поле определяется формулой:

$$H = \frac{B}{\mu * \mu_0}$$

То есть, магнитное поле зависит от тока в катушке линейно. Эти формулы справедливы при работе далеко от насыщения.

Как и любой феррит, сердечник катушки индуктивности характеризуется своей петлей гистерезиса.

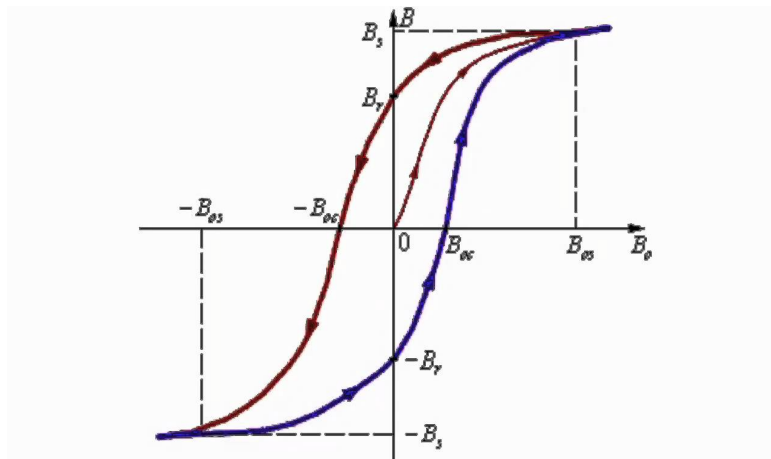


РИСУНОК 2. ПЕТЛЯ ГИСТЕРЕЗИСА

На рисунке 2 представлена типичная петля гистерезиса, можно заметить, что у этой петли есть горизонтальная область насыщения, в которой магнитное поле,

создаваемое катушкой, перестает изменяться.

При использовании дросселей с постоянным подмагничиванием (постоянное подмагничивание означает, что через дроссель не идет отрицательный ток) можно попасть в режим насыщения сердечника, в котором дроссель станет простым резистором. В этом режиме резко возрастает ток, и уменьшается эффективность преобразования.

При насыщении сердечника его относительная магнитная проницаемость резко уменьшается, что влечет за собой пропорциональное уменьшение индуктивности, так как индуктивность катушки определяется формулой:

$$L = \frac{\mu_0 * \mu * N^2 * S}{l}$$

А значит, уменьшается его сопротивление, так как оно зависит от индуктивности линейно по формуле:

$$Z_L = i * \omega * L$$

Но напряжение на дросселе остается тем же самым, а значит по закону Ома должен резко увеличиться ток, что, собственно, и происходит.

1.2 ВВЕДЕНИЕ НЕМАГНИТНОГО ЗАЗОРА В СЕРДЕЧНИК

Чтобы насыщение достигалось при токах, больших чем те, на которых будет работать установка, используется следующее решение проблемы – введение немагнитного зазора в сердечник, потому что при наличии воздушного зазора в ферритовом сердечнике индукция для насыщения требуется больше, т.к. у немагнитного зазора высокое магнитное сопротивление. Введение в магнитопровод немагнитного зазора уменьшает намагничивающее влияние постоянной составляющей тока. Это следует из интегральных теорем о циркуляции магнитного поля. Формула поля в дросселе без зазора:

$$H * l_{cp} = I * n$$

где n – количество витков катушки, l_{cp} – длина средней силовой линии магнитного поля в магнитопроводе без зазора

Когда мы вводим зазор, то по той же теореме:

$$H_m * l_m + \frac{B_0}{\mu_0} * \delta = I * n$$

где l_m – длина части сердечника без зазора, δ – длина немагнитного зазора

Тогда можно приравнять два этих уравнения и получить, что:

$$H = H_m * \frac{l_m}{l_{cp}} + \frac{B_0}{\mu_0} * \frac{\delta}{l_{cp}}$$

Так как $l_m = l_{cp} - \delta$, и $\delta \ll l_{cp}$ то:

$$H \approx H_m + \frac{B_0}{\mu_0} * \frac{\delta}{l_{cp}}$$

А значит, при одном и том же магнитном поле B внутри ферромагнетика, поле H , создаваемое катушкой будет больше, это и повлечет за собой «вытягивание» петли гистерезиса, и как следствие, увеличение тока

насыщения, так как поле H линейно зависит от тока, протекающего по катушке по теореме о циркуляции.

При наличии зазора уменьшается магнитная индукция в материале магнитопровода при заданной напряженности магнитного поля, что приводит к снижению магнитной проницаемости материала магнитопровода. Наглядно увеличение тока можно увидеть на Рис. 3.

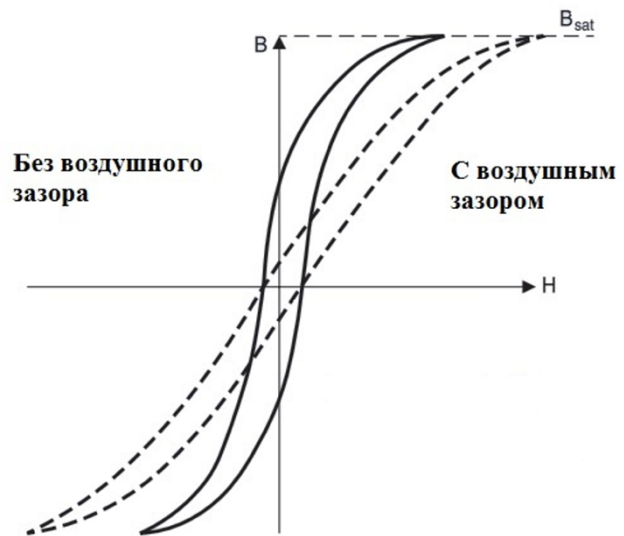


РИСУНОК 3. РАЗЛИЧИЕ ПЕТЕЛЬ ГИСТЕРЕЗИСА С НЕМАГНИТНЫМ ЗАЗОРОМ И БЕЗ

2. ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА

2.2. ОПИСАНИЕ УСТАНОВКИ

Для проведения эксперимента по измерению тока насыщения дросселя мной была спаяна плата генерации импульсного напряжения, подаваемого на дроссель, и измерения тока через дроссель. Принципиальную схему можно увидеть на рисунке 4. Именно такой набор элементов был выбран, потому что здесь содержится минимум элементов необходимых для получения качественных измерений, но в тоже время они достаточно просты, дешевы, понятны и компактны.

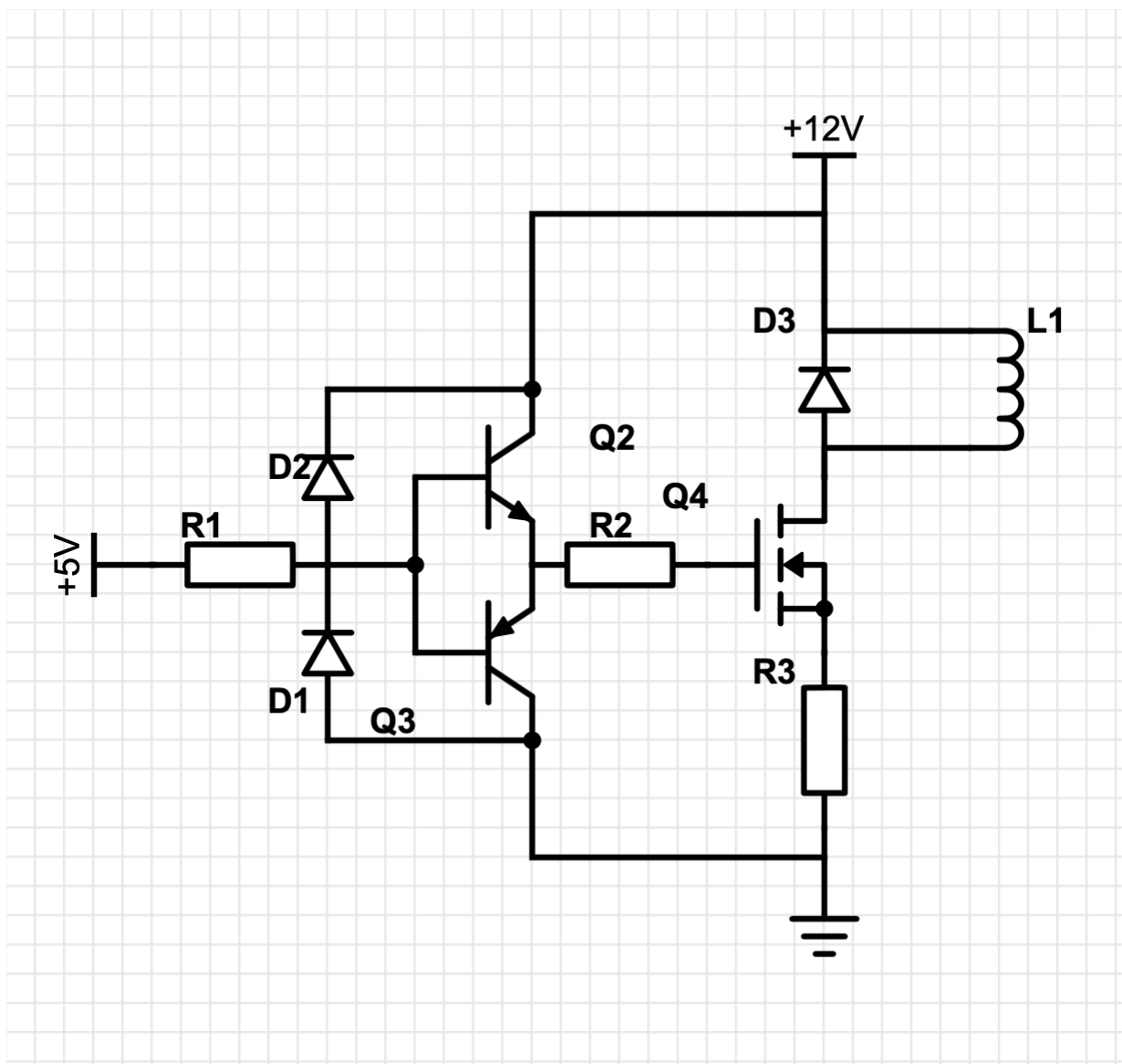


РИСУНОК 4. СХЕМА УСТАНОВКИ

В качестве генератора использовался генератор импульсов Г5-54 – генератор импульсов (на рисунке его выход обозначен «+5V»). Этот генератор осуществляет генерацию прямоугольных импульсов напряжения. Мы использовали импульсы амплитудой порядка 10-15В. Частота следования импульсов составляла примерно 100 Гц. Длительность импульсов изменялась от 20 мкс до 500 мкс. Низкая частота повторения исключала нагрев силовых частей изготовленного блока. Средний ток при работе составлял примерно 50мА.

Элементы на схеме: D1, D2 – диоды КД521, Q2 – транзистор КТ3102, Q3 – транзистор КТ3107, Q4 -полевой транзистор IRFB3306, D3 (диод Шоттки) –

диод, R3 – резистор 0.24 Ома 1 Вт, R2 – резистор 200 Ом, R1 – резистор 3.6 кОм, L1 – измерительный дроссель.

На данной схеме резистор R1 и диоды D1, D2 образуют диодный ограничитель. Резистор R1 ограничивает ток от генератора Г5-54 и исключает его перегрузку. Диоды D1, D2 используются чтобы амплитуда импульсов после резистора не превышала напряжение питания схемы и исключали прохождение отрицательных импульсов напряжения.

Транзисторы Q2, Q3 – это двухтактный эмиттерный повторитель для увеличения тока, подаваемого на затвор транзистора Q4. Такой повторитель обеспечивает ток порядка 100мА, что дает быстрое изменение напряжения на затворе Q4. Большой ток повторителя необходим для быстрой перезарядки емкости затвор-канал мощного транзистора Q4.

Мощный ключ на транзисторе Q4 обеспечивает большой ток через измерительный дроссель. Нами использовался транзистор IRFB3306 с током до 100А при напряжении затвор-канал 10В.

Низкоомный мощный токоизмерительный резистор R3 позволял измерять большие токи через измеряемый дроссель.

Напряжение с токоизмерительного резистора измерялось при помощи двухканального осциллографа РИГОЛ-1002. Использовалась ждущая развертка осциллографа. Один канал осциллографа подключался на выход генератора и использовался для запуска развертки. Второй канал подключался к истоку транзистора Q4 и показывал напряжение на токоизмерительном резисторе. Величина напряжения позволяла оценить ток, протекающий через дроссель.

2.3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ

Изначально было измерено напряжение на резисторе R3 при закороченном дросселе, чтобы узнать максимальный ток, который схема

может пропустить через дроссель. Измеренное напряжение было равно 8 вольт, сопротивление резистора R3 равно 0.24 Ом, следовательно, максимальный ток порядка 30 Ампер. Первоначально был взят самодельный дроссель без зазора в сердечнике, и на разработанной схеме были проведены эксперименты. Измеренное напряжение, на котором произошло насыщение, как можно увидеть на графике 1, равно 0.02 Вольта. В связи с этим и ток насыщения этого дросселя оказался очень мал, всего 0.08 Ампера.

На первоначальном дросселе было намотано 50 витков, и мы видим, что ток насыщения совсем мал: 4 ампер – виток. Из этого можно сделать вывод, что наличие немагнитного зазора в дросселе действительно необходимо того, чтобы его характеристики позволяли использовать его в схемах.

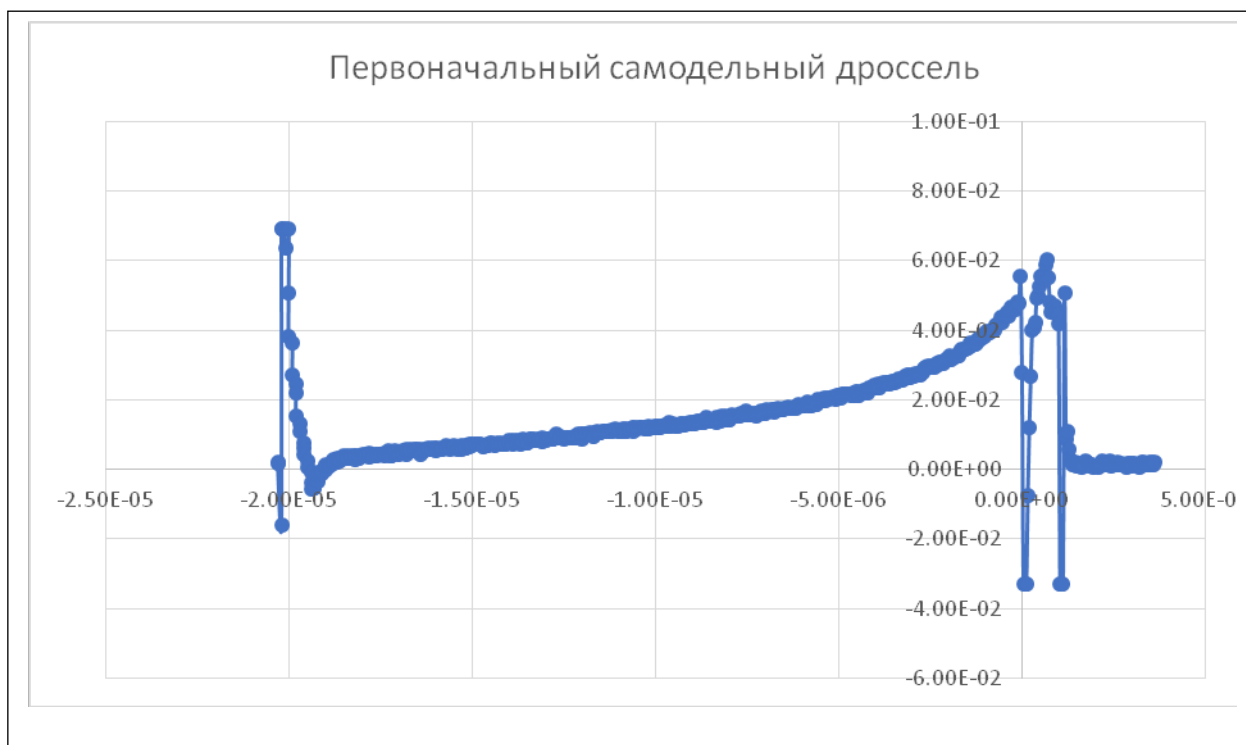


Рисунок 5. График зависимости напряжения от времени на самодельном дросселе

Затем был взят дроссель, который, собственно, и нужно было померить. Изначально про него известно, что у него есть немагнитный зазор в составе ферритового сердечника, а также, что его катушка индуктивности состоит из

111 витков. На графике 2 можно увидеть, что напряжение на дросселе выходит из линейного режима в нелинейный примерно на 0.7 Вольт.



Рисунок 6. График зависимости напряжения от времени на измеряемом дросселе

Затем, был найден ток по закону Ома на известном сопротивлении 0,24 Ом, значит, ток равен 2.917 Ампера. Умножим на количество витков и получим ток насыщения 324 Ампер – виток. Можно заметить, что введение немагнитного распределенного зазора в сердечник сильно увеличивает ток насыщения для дросселя и соответственно расширяет диапазон токов, на которых этот дроссель может эффективно работать в схеме

3. ОШИБКИ

1 ошибка – шумы генератора (не более 1В, 5%)

2 ошибка – определение перехода из линейного режима в нелинейный 10%

Значит, больший вклад вносит определение перехода в нелинейный режим, но данная ошибка в пределах нормы, так как реальные схемы

собирают, в расчете плюс-минус 20 % найденного тока на случай замыканий и других подобных проблем со схемой.

4. ВЫВОДЫ

Данная схема позволяет нам с хорошей экспериментальной точностью сортировать сердечники и рассчитывать максимальный ток, при котором не происходит насыщения. Так как обычно при проектировании схем DC-DC конвертеров оставляют запас порядка 20-30% от максимальной мощности, то наш метод достаточно оптимален, ведь наша ошибка не превосходит 10%.

5. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мешков Н. И., Чириков Б. В. Электромагнитное поле. Часть 1. Электричество и магнетизм. — Новосибирск: Наука, 1987
2. П. Хоровиц, У. Хилл «Искусство схемотехники». Москва: «Мир», 1983
3. <http://nice.artip.ru/opredelenie-toka-nasyshcheniya-katushek-induktivnosti-s-magnitoprovodami>