

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

Физический факультет

Кафедра общей физики

Сибирякова Надежда Алексеевна

КУРСОВАЯ РАБОТА

Бесконтактное измерение однополярного импульсного тока

Электромагнитный практикум, 2 курс, группа №19301

Научный руководитель:

Воскобойников Р. В.

Оценка научного руководителя

«_____» _____ 20__ г.

Преподаватель практикума

Судников А. В.

Оценка преподавателя практикума

«_____» _____ 20__ г.

Куратор практикума:

к.т.н. В.Т. Астрелин

Итоговая оценка

«_____» _____ 20__ г.

Новосибирск 2020

Аннотация

Целью работы являлось бесконтактное измерение однополярного импульсного тока. Такой ток нельзя корректно измерить при помощи стандартных трансформаторов тока из-за наличия постоянной составляющей, которая приводит к замагничиванию трансформатора и искажением результатов измерений.

В ходе работы проверялась работа датчика тока на основе трансформатора тока. В результате эксперимента удалось установить, что датчик тока работает корректно, выходной сигнал линейно изменяется от измеряемого тока, а время отклика мало.

Ключевые слова: однополярный импульсный ток, трансформатор тока, датчик тока.

Оглавление	
1. Введение	4
2. Теоретическая часть	5
3. Эксперимент	8
Описание установки и методика измерений.	8
Результат измерений	10
4. Вывод	10
5. Благодарности	10
6. Литература	11

1. Введение

Ток является важным параметром в электронике и электротехнике. В электронных устройствах ток может иметь пропускную способность от нескольких наноампер до сотен ампер. В области электротехники этот диапазон может быть намного шире, до нескольких тысяч ампер, особенно в электрических сетях. Существуют разные методы измерения тока внутри цепи или проводника.

Измерение тока с использованием датчика Холла. Эффект Холла может использоваться для определения тока и обнаружения магнитного поля.

Датчик Холла выдает напряжение в зависимости от магнитного поля. Соотношение выходного напряжения пропорционально магнитному полю. В процессе измерения ток определяется путем измерения магнитного поля.

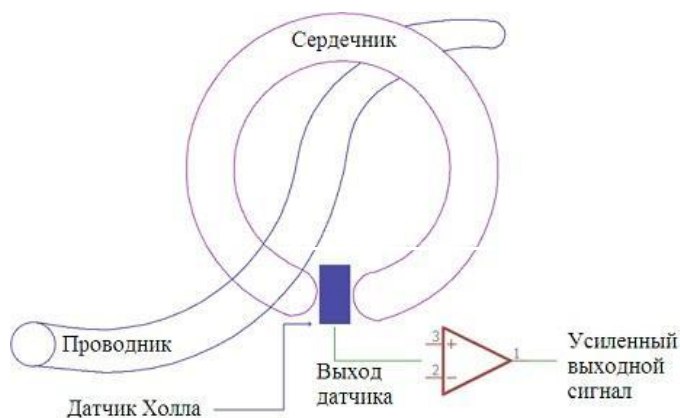


Рисунок 1 Схема измерения тока при помощи датчика Холла

Выходное напряжение очень низкое и его необходимо увеличить до полезного значения с помощью усилителя с высоким коэффициентом усиления и низким уровнем шума. Помимо схемы усилителя датчик Холла требует дополнительных схем, так как это линейный преобразователь.

Метод измерения тока с помощью катушки Роговского. Катушка выполнена с использованием спиральной катушки с воздушным сердечником и намотана на целевой проводник для измерения тока.

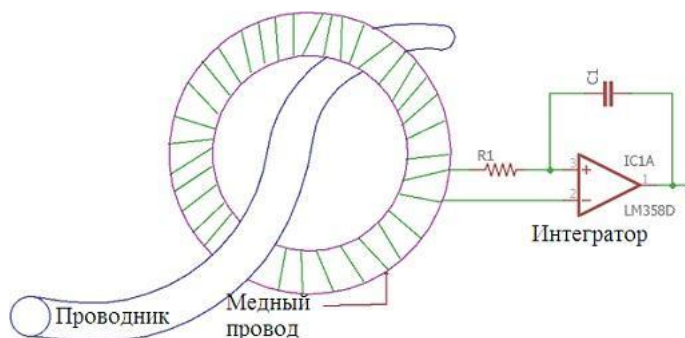


Рисунок 2 Схема измерения тока при помощи катушки Роговского

На рисунке 2 показана катушка Роговского с дополнительной схемой. Дополнительная схема является интегральной цепью. Катушка Роговского обеспечивает выходное напряжение в зависимости от скорости измерения тока в проводнике. Для создания выходного напряжения, пропорционального току, требуется дополнительная схема интегратора.

Измерение тока с помощью трансформатора тока. Любой трансформатор имеет первичную и вторичную обмотки, установленные на общем магнитопроводе. Трансформатор тока используется для измерения тока по вторичному напряжению, которое пропорционально току во вторичной обмотке. Измерение производится через вторичный выход.

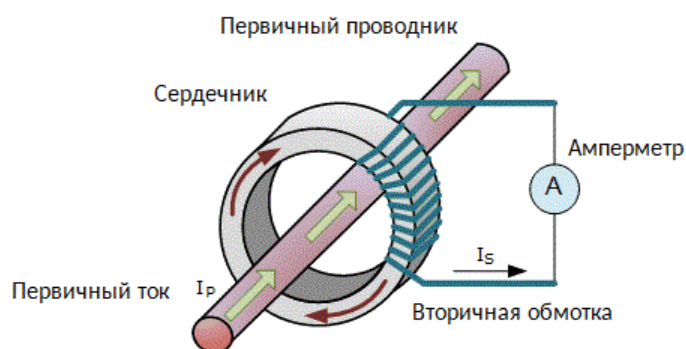


Рисунок 3 Схема измерения тока при помощи трансформатора тока

На рисунке 3 показана конструкция такого трансформатора. Это идеальный трансформатор тока с вторичным отношением $1:N$, где N – количество витков вторичной обмотки.

Для бесконтактного измерения тока в проводнике часто используют токовые клещи. Для проведения измерений клещами, их смыкают в обхват проводника с током и таким образом, без разрыва цепи и без необходимости использования шунта, осуществляют измерение тока. Магнитопровод в форме клещей замыкается вокруг проводника. Проводник – это первичная обмотка, состоящая из одного витка, значение тока в котором необходимо узнать.

Существуют токовые клещи, способные измерять не только переменный, но и постоянный ток. Принцип работы таких клещей основан на эффекте Холла, когда параметры тока выводятся из параметров порождаемого им магнитного поля, воздействующего на полупроводник.

2. Теоретическая часть

Устройство трансформатора тока

Как и любой трансформатор, трансформатор тока состоит из замкнутого магнитопровода и двух обмоток (первичной и вторичной). Первичная обмотка включается последовательно, сквозь нее протекает полный ток нагрузки, а вторичная замыкается на нагрузку, что позволяет создавать проходные по

ней тока, величина которого пропорциональна величине тока первичной обмотки. Поскольку сопротивление измерительных устройств незначительно, принято считать, что все трансформаторы работают в режиме близком к режиму короткого замыкания.

В отличие от трансформаторов напряжения, трансформаторы тока оснащены только одним витком первичной обмотки. Этим витком часто является проводник, проходящий сквозь кольцо с намотанной на него вторичной обмоткой.

Принцип действия

Основная задача токовых трансформаторов понизить (повысить) значение тока до приемлемой величины. Принцип действия основан на свойствах трансформации переменного электрического тока. Возникающий переменный магнитный поток улавливается магнитопроводом, перпендикулярным направлению первичного тока. Этот поток создается переменным током первичной обмотки и наводит ЭДС во вторичной обмотке. После подключения нагрузки начинает протекать электрический ток во вторичной цепи.

Поскольку ток во вторичной обмотке пропорционален количеству витков в ней, то путем увеличения (уменьшения) коэффициента трансформации, зависящего от соотношения витков в обмотках, можно добиться приемлемого значения выходного тока. На практике часто устанавливают подбором количества витков во вторичной обмотке, делая первичную обмотку одновитковой.

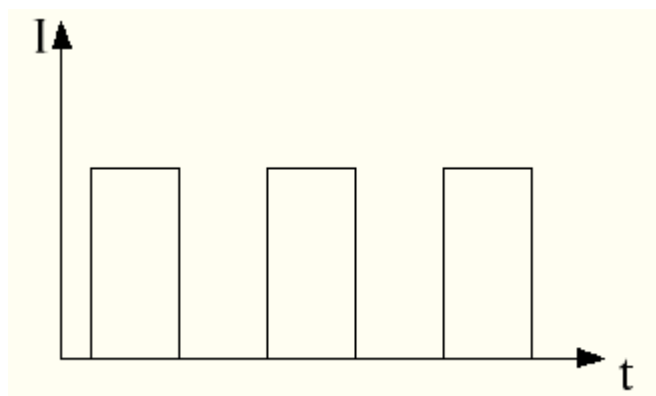


Рисунок 4 Однополярный импульсный ток

Линейная зависимость выходного тока позволяет определить параметры величин в первичной цепи. Численно эта величина во вторичной обмотке равна произведению значения тока на номинальный коэффициент трансформации.

Процесс намагничивания трансформатора можно объяснить явлением гистерезиса. Для магнитных материалов, из которых изготавливаются сердечники импульсных трансформаторов, связь между B и H является

нелинейной и характеризуется шлейфами гистерезиса предельного симметричного цикла. Верхняя половина типового шлейфа гистерезиса приведена на рисунке 5. Если отсутствует остаточное намагничивание сердечника, то при передаче через трансформатор первого из последовательности импульсов площадью Et изображающая точка перемещается из точки O в точку B_1 , являющуюся пересечением основной кривой намагничивания с горизонтальной прямой $B=\Delta B$, где приращение индукции ΔB определяется формулой:

$$\Delta B = K_b Et_u (1),$$

где $K_b = N_1 S - 1$, N_1 – число витков первичной обмотки, E – ЭДС, S – поперечное сечение трансформатора, t_u – длительность импульса.

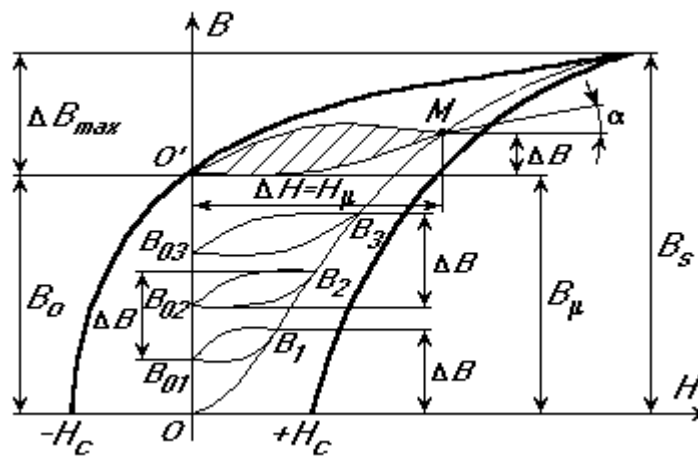


Рисунок 5 Кривые намагничивания сердечника импульсного трансформатора

После окончания первого импульса изображающая точка перейдет в точку B_{01} по нисходящей ветви B_1-B_{01} симметричного цикла. При поступлении второго импульса изображающая точка перемещается в точку B_2 вначале по восходящей ветви симметричного цикла, примыкающей к основной кривой намагничивания, а затем по нисходящей ветви, причем разность величин индукции в точках B_2 и B_{01} также равна ΔB . Этот процесс нарастания остаточной магнитной индукции при поступлении очередного импульса будет продолжаться до тех пор, пока изображающая точка не достигнет точки O' , соответствующей остаточной индукции B_o предельного цикла. После этого при передаче каждого из импульсов напряжения изображающая точка будет перемещаться между точками O' и M по предельной петле частного (несимметричного) цикла, заштрихованной на рисунке, наклон которой будет определяться величиной ΔB . Таким образом, среднее в пределах импульса значение магнитной проницаемости, называемой импульсной магнитной проницаемостью μ_{Δ} будет определяться соотношением:

$$\mu_{\Delta} = \tan \alpha = \frac{\Delta B}{\Delta H} \quad (2)$$

Проницаемость μ_{Δ} всегда меньше нормальной (статической) магнитной проницаемости в точке M ($\mu H = B\mu/\Delta H$), причем разница между ними тем больше, чем выше величина остаточной индукции B_o . Чтобы избежать искажения формы передаваемых импульсов, приращение ΔB индукции за время импульса не должно превышать разности

$$\Delta B_{max} = B_s - B_o \quad (3)$$

где B_s - индукция насыщения данного материала.

Таким образом, материал сердечника ИТ должен обладать возможно более низкой остаточной индукцией B_o , высоким значением B_s и μ_{Δ} . При несоблюдении этого условия сигнал будет искажаться, а измеренное значение иметь большую погрешность.

3. Эксперимент

Описание установки и методика измерений.

Экспериментальная установка состоит из электроискрового прожигателя, осциллографа и измерителя тока.



Рисунок 6 Измеритель тока

В этой работе ток измеряется с помощью трансформатора тока. В качестве первичной обмотки используется проводник, в котором измеряется ток, а вторичная обмотка намотана на тороидальный (кольцевой) сердечник.

Рабочий цикл измерителя состоит из двух этапов. Первый этап — это намагничивание сердечника. В начальный момент времени игла станка находится вблизи рабочей поверхности, через первичную цепь ток не идет. Игла начинает приближаться к рабочей поверхности, происходит пробой и в

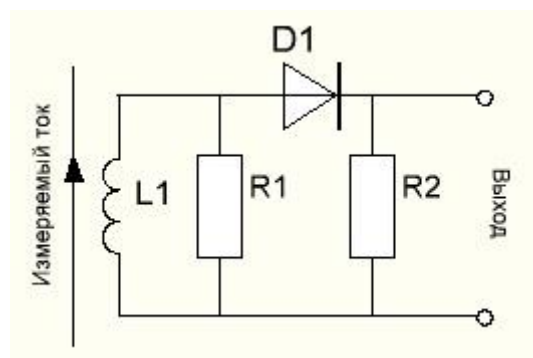


Рисунок 7 Схема измерителя тока

первичной цепи начинает идти ток. Магнитный поток этого тока наводит в обмотках трансформатора ЭДС, соответственно во вторичной обмотке появляется ток, протекающий через диод и резистор R2, падение напряжения на котором фиксируется осциллографом. В этот момент происходит намагничивание сердечника.

Второй этап – это релаксация, сброс тока и размагничивание сердечника через резистор R1. В момент, когда фиксируется появление тока в первичной цепи, игла отодвигается от поверхности и ток в цепи прекращается. Прекращение тока также может быть вызвано выгоранием кусочка металла. Через ток вторичной цепи происходит размагничивание сердечника, в этот момент ток протекает только через резистор R1, величина которого более чем на порядок больше резистора R2, вызывая тем самым большой импульс напряжения на резисторе R1, и система возвращается в исходное состояние. В этой системе нельзя использовать только 1 резистор, поскольку если взять большое сопротивление - выходной сигнал будет большой величины и на нем будет рассеиваться заметная мощность. Да и падение напряжения на первичном витке будет вносить искажения в работу основной схемы. Если взять маленькое сопротивление, то система не будет успевать релаксировать, т.к. время релаксации пропорционально L/R .

Результат измерений

Результат измерений представлен на следующей осциллограмме (рисунок 8).



Рисунок 8 Результат измерений

Как можно заметить, датчик тока работает, как и рассчитывали. Амплитуда выходного напряжения соответствует коэффициенту трансформации. Нет намагничения, достаточно малый временной отклик (6 мксек).

4. Вывод

Бесконтактные датчики такого типа можно использовать для измерения импульсных однополярных токов. В этом применении они с успехом могут заменить датчики на основе элементов Холла, так как имеют ряд преимуществ:

- 1) Температурная стабильность
- 2) Цена
- 3) Компактный размер
- 4) Помехозащищенность
- 5) Полоса пропускания (иногда)

5. Благодарности

Благодарность научному руководителю Воскобойникову Ренату Владимировичу.

Отдельное спасибо моим друзьям Тимофею Семенову, Дарине Ненашевой, Евгении Голосовой, Аркадию Новикову и Анастасии Мельниковой за поддержку.

6. Литература

- 1) Афанасьев В. В. и др. Трансформаторы тока. — Л.: Энергоатомиздат, 1989.-416с., ил.
- 2) Китаев В. Е. Электротехника с основами промышленной электроники. — М. Высшая школа, 1985. -224с.