

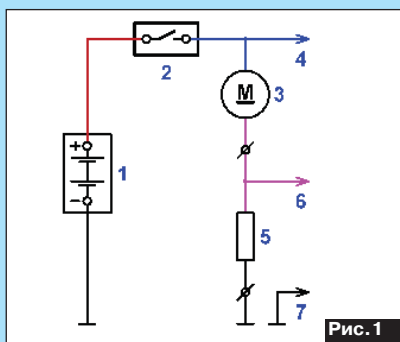
ДИАГНОСТИКА ПО ГРАФИКУ ТОКА

Метод диагностирования по графику тока заключается в просмотре графика протекающего в цепи электрического тока совместно с графиком напряжения. Графики напряжения и протекающего по электрической цепи тока несут намного больше сведений об электрических свойствах цепи, по сравнению с только графиком напряжения.

Для того чтобы получить на экране осциллографа график тока, необходим преобразователь тока в напряжение. Для вывода графика тока на монитор осциллографа, необходимо подсоединить выходной сигнал преобразователя к входу осциллографа.

Существует два основных метода преобразования тока в напряжение - контактный и бесконтактный. В первом случае, преобразователем служит шунт - низкоомный резистор. Шунт включают в цепь последовательно протекающему току и измеряют падение напряжения на нём. (рис.1)

Схема включения шунта в цепь электродвигателя последовательно протекающему току.



- 1.Источник питания.
 - 2.Выключатель.
 - 3.Электродвигатель постоянного тока, служащий нагрузкой в цепи.
 - 4.Вывод подключения к входу осциллографа для отображения графика напряжения на электродвигателе.
 - 5.Шунт.
 - 6.Вывод подключения к входу осциллографа для отображения графика тока протекающего в цепи электродвигателя.
 - 7.Вывод для подключения к клемме "Корпус" осциллографа.
- Применение шунта для преоб-

разования тока в напряжение имеет серьёзные недостатки. Во-первых, необходимо временно разорвать диагностируемую электрическую цепь для включения в неё шунта, что зачастую неудобно, не всегда возможно, а иногда просто неприемлемо из-за возможного повреждения конструктивных элементов схемы. Кроме того, включение в электрическую цепь шунта неизбежно изменяет электрические свойства цепи, что автоматически вносит погрешность в измерения.

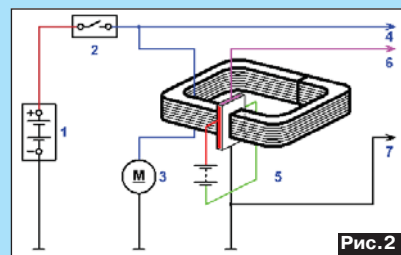
Другим способом преобразования тока в напряжение является применение преобразователя тока, измерительным элементом которого является элемент Холла или магниторезистивный датчик (эффект Гаусса). (рис.2) Преобразователи данного типа работают с цепями как переменного тока, так и постоянного. Конструктивно сердечник преобразователя может быть выполнен разрезным, в форме "клещей". Такие преобразователи ещё называют токовыми клещами. (рис.3)

Основным преимуществом применения токовых клещей является способ подключения преобразователя к электрической цепи. Для проведения измерений достаточно просто обхватить клещами преобразователя провод,

график протекающего тока через который необходимо получить. При подключении также нужно учитывать направление протекающего тока (ток течёт от вывода "+" источника питания по электрической цепи к выводу "-" источника питания) и полярность установки клещей.

Ещё одним преимуществом данного метода является отсутствие гальванического контакта преобразователя с обхваченными клещами проводником.

Схема подключения преобразователя тока на элементе Холла к цепи питания электродвигателя.



- 1.Источник питания.
- 2.Выключатель.
- 3.Электродвигатель постоянного тока, служащий нагрузкой в цепи.
- 4.Вывод подключения к входу осциллографа для отображения графика напряжения на электродвигателе.
- 5.Преобразователь тока на эле-



Подключение токовых клещей к электрической цепи электростартера автомобильного двигателя для получения графика потребляемого электростартером тока.

менте Холла с собственным источником питания (упрощённо).

6. Вывод подключения к входу осциллографа для отображения графика тока, протекающего в цепи электродвигателя.

7. Вывод для подключения к клемме "Корпус" осциллографа.

Отсутствие гальванического контакта позволяет охватить клещами преобразователя любой проводник цепи и получить график протекающего через охваченный проводник тока без необходимости изменения точки подключения клеммы "Корпус" осциллографа к диагностируемой цепи.

По графику протекающего тока, во многих случаях можно точно выявить неисправную электрическую цепь или компонент и характер неисправности. Но для понимания протекания электрических процессов в реальных электрических цепях, нужно знать основы электрических цепей.

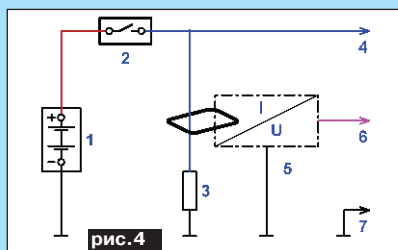
Существует три базовых типа электрических цепей: резистивная, резистивно-ёмкостная и резистивно-индуктивная электрические цепи.

Резистивная электрическая цепь

Резистивной электрической

цепью называют такую цепь, нагрузкой в которой служит резистор. Рассмотрим графики напряжения на резисторе и тока в его цепи при кратковременном подключении источника питания к цепи. Ниже приведена схема тестируемой резистивной электрической цепи. (рис.4) Элементами тестируемой схемы являются резистор, источник питания и выключатель.

Схема тестируемой резистивной электрической цепи, нагрузкой в которой служит резистор.



1. Источник питания.
2. Выключатель.
3. Резистор, служащий нагрузкой в цепи.
4. Вывод подключения к входу осциллографа для отображения графика напряжения на нагрузке.
5. Преобразователь тока в напряжение.
6. Вывод подключения к входу

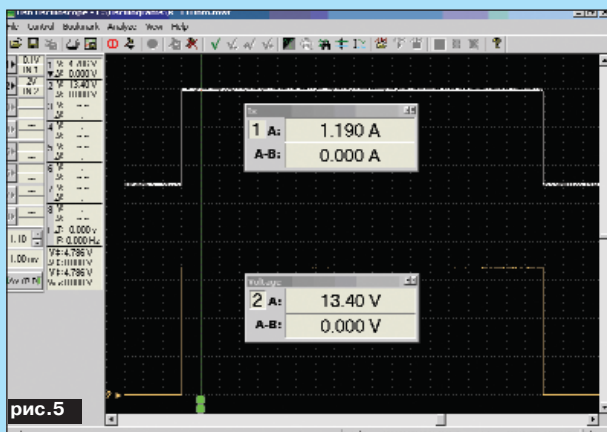
осциллографа для отображения графика тока, протекающего в цепи.

7. Вывод для подключения к клемме "Корпус" осциллографа.

Для отображения графиков на мониторе осциллографа, один вход осциллографа подключен к выводу 4 на тестируемой схеме, другой - к выводу 6. "Корпус" осциллографа соединён с выводом 7.

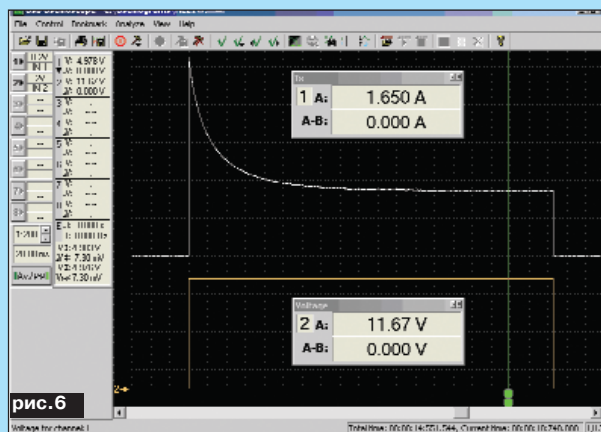
Сразу после подключения к источнику питания, значение напряжения на резисторе достигло напряжения источника питания, ток в цепи мгновенно возрос от нуля до стабильного значения. В результате проведённого эксперимента видно, что форма графика тока в резистивной цепи в точности повторяет форму графика напряжения на резисторе. Величина тока прямо пропорциональна напряжению на резисторе и обратно пропорциональна его сопротивлению, то есть - чем больше напряжение на резисторе, тем больше ток в цепи; чем больше сопротивление резистора, тем меньше ток в цепи. (рис.5)

Сразу после подключения к источнику питания, исходное напряжение снизилось до нуля. Всё падение напряжения приходится на резистор. Ток в цепи мгновенно



Графики тока в тестируемой резистивной электрической цепи и напряжения на резисторе. Подключение и отключение источника питания. Измерительный маркер установлен в момент времени, когда источник питания подключен.

- 1 График белого цвета - график тока в цепи резистора.
- 1A: Значение тока в момент времени указанный маркером. В данном случае ток в цепи равен ~1,2A.
- 2 График оранжевого цвета - график напряжения на резисторе.
- 2A: Значение напряжения в момент времени указанный маркером. В данном случае напряжение на резисторе равно ~13,4V.



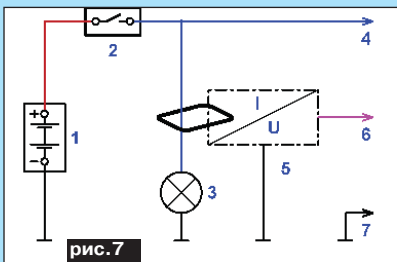
Графики тока в тестируемой резистивной электрической цепи и напряжения на лампе накаливания. Подключение и отключение источника питания. Измерительный маркер установлен в момент времени, когда источник питания подключен.

- 1 График белого цвета - график тока в цепи лампы накаливания.
- 1A: Значение тока в момент времени указанный маркером. В данном случае ток в цепи равен ~1,65A.
- 2 График оранжевого цвета - график напряжения на лампе накаливания.
- 2A: Значение напряжения в момент времени указанный маркером. В данном случае напряжение на лампе накаливания равно ~11,7V.

возрос до стабильного значения.

Если на место резистора подключить лампу накаливания, то форма графика тока будет иметь значительные различия с графиком напряжения. (рис.6) Ниже приведена схема тестируемой резистивной электрической цепи. (рис.7) Элементами тестируемой схемы являются лампа накаливания, источник питания и выключатель.

Схема тестируемой резистивной электрической цепи, нагрузкой в которой служит лампа накаливания.



- 1.Источник питания.
- 2.Выключатель.
- 3.Лампа накаливания, являющаяся нагрузкой в цепи.
- 4.Вывод подключения к входу осциллографа для отображения графика напряжения на нагрузке.
- 5.Преобразователь тока в напряжение.
- 6.Вывод подключения к входу осциллографа для отображения графика тока, протекающего в цепи.
- 7.Вывод для подключения к клемме "Корпус" осциллографа.

Для отображения графиков на мониторе осциллографа, один вход осциллографа подключен к выводу 4 на тестируемой схеме, другой - к выводу 6. "Корпус" осциллографа соединён с выводом 7.

Через некоторое время после подключения источника питания, величина протекающего тока в цепи стабилизируется, в данном случае на уровне ~1,65А. Но в отличие от схемы, нагрузкой в которой служил резистор, здесь в начальный момент времени, сразу после подключения источника питания, протекание тока в цепи имеет нелинейный характер. Такая форма графика тока в цепи вызвана изменением во времени сопротивления нити накала лампы.

Изменение сопротивления лампы накаливания обусловлено зависимостью электрического соп-

ротвления материала нити накала от её температуры и тем фактом, что в нерабочем режиме температура нити накала низкая, а в рабочем режиме - высокая. Чем выше температура нити накала, тем выше её сопротивление. Таким образом, в нерабочем режиме сопротивление нити накала низкое, а после подключения источника питания, нить накала быстро нагревается, и через несколько десятых долей секунды, её сопротивление возрастает. Первоначально низкое сопротивление лампы накаливания порождает начальный всплеск тока, который может в несколько раз превышать ток, потребляемый лампой в установившемся режиме. (рис.8)

В данном случае начальный всплеск тока достиг значения ~5А, что в три раза превышает значение тока, потребляемого лампой в установившемся режиме.

В обеих рассмотренных резистивных цепях ток возникает одновременно с подключением к источнику питания и так же одновременно с отключением источника питания исчезает. Напряжение на нагрузке рассмотренных цепей и ток в цепи находятся в фазе. Элементы электрической цепи, напряжение на которых находится в фазе с протекающим по ним током, называют активными. Если такой элемент в цепи является нагрузкой, то его называют активной нагрузкой.

Реактивные электрические цепи

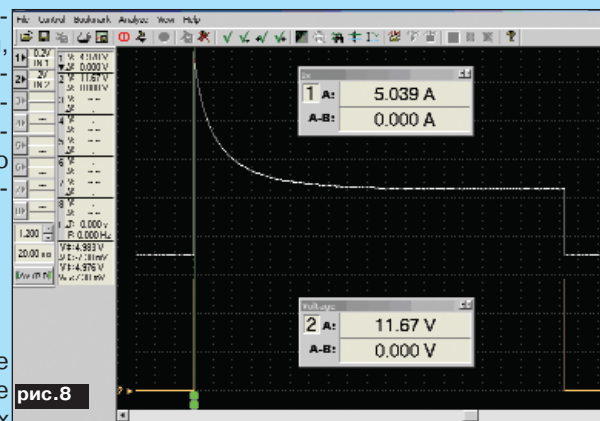
Электрические цепи, напряжение и ток в которых возникают не одновременно, называются реактивными. Напряжение и ток в реактивной цепи находятся не в фазе. Такими цепями являются резистивно-ёмкостная электрическая цепь и резистивно-индуктивная

электрическая цепь. Реактивными элементами, определяющими электрические свойства цепи, являются конденсаторы со своей ёмкостью и катушки индуктивности со своей индуктивностью. Но так же следует всегда учитывать и то, что каждый элемент электрической цепи в той или иной степени обладает как ёмкостью, так и индуктивностью, равно как и активным сопротивлением.

В отличие от активных элементов электрической цепи, реактивные элементы способны накапливать энергию и отдавать её - конденсаторы накапливают энергию в виде электрического поля, катушки индуктивности в виде магнитного поля.

Резистивно-ёмкостная электрическая цепь

Схема тестируемой резистивно-ёмкостной электрической цепи состоит из конденсатора, токоограничивающего резистора, источника питания и выключателя, включённых последовательно. Токоограничивающий резистор служит для ограничения максимального тока в цепи в момент подключения источника питания. В данном случае конденсатор служит нагрузкой в цепи. Так как

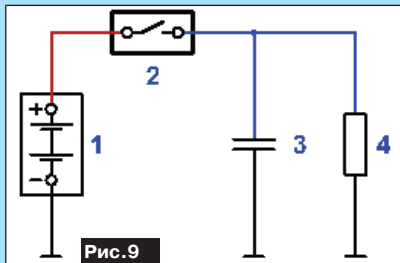


Графики тока в тестируемой резистивной электрической цепи и напряжения на лампе накаливания. Подключение и отключение источника питания. Измерительный маркер установлен в момент времени, сразу же после подключения источника питания.

- 1 График белого цвета - график тока в цепи лампы накаливания.
- 1А: Значение тока в момент времени указанный маркером. В данном случае ток в цепи равен ~5А.
- 2 График оранжевого цвета - график напряжения на лампе накаливания.
- 2А: Значение напряжения в момент времени указанный маркером. В данном случае напряжение на лампе накаливания равно ~11,7V

конденсатор является реактивным элементом, его в данном случае можно назвать реактивной нагрузкой цепи. (рис.9)

Схема тестируемой резистивно-ёмкостной электрической цепи.



1. Источник питания.
2. Выключатель.
3. Конденсатор, служащий реактивной нагрузкой в цепи.
4. Вывод подключения к входу осциллографа для отображения графика напряжения на конденсаторе.
5. Преобразователь тока в напряжение.
6. Вывод подключения к входу осциллографа для отображения графика тока, протекающего в цепи конденсатора.
7. Вывод для подключения к клемме "Корпус" осциллографа.
8. Резистор, служащий для ограничения тока в цепи.

ограничения тока в цепи.

Для отображения графиков на мониторе осциллографа один вход осциллографа подключен к выводу 4 на тестируемой схеме, другой - к выводу 6. "Корпус" осциллографа соединён с выводом 7.

Напряжение на конденсаторе в момент подключения к источнику питания равно нулю. Максимальная величина начального тока, возникающего сразу после замыкания контактов выключателя, ограничена сопротивлением резистора. (рис. 10)

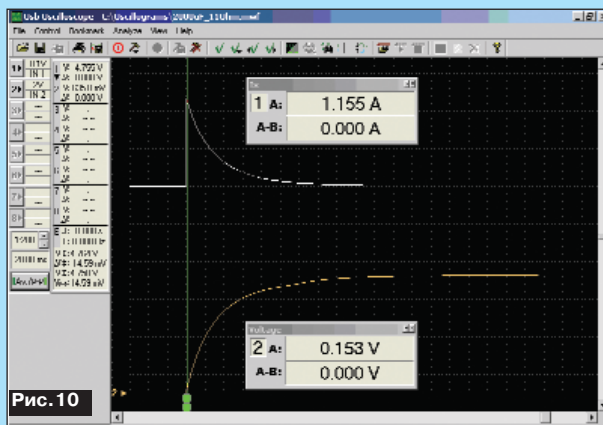
Протекающий в цепи конденсатора ток заряжает его. По мере увеличения накопленного заряда конденсатора, напряжение на нём постепенно возрастает и стремится к значению напряжения источника питания, а ток в цепи постепенно снижается и стремится к нулю. Таким образом, по мере заряда, сопротивление конденсатора возрастает, стремясь к бесконечности. (рис. 11)

После отключения источника питания, напряжение на конденсаторе осталось на прежнем уровне. Это объясняется способностью конденсатора запасать энергию в виде электрического поля. После подключения к источнику питания, заряжаясь, конденсатор запасал

энергию, а после отключения от источника питания начал разряжаться - отдавать запасённую энергию в свою цепь нагрузки, которой в данном случае является входная цепь осциллографа.

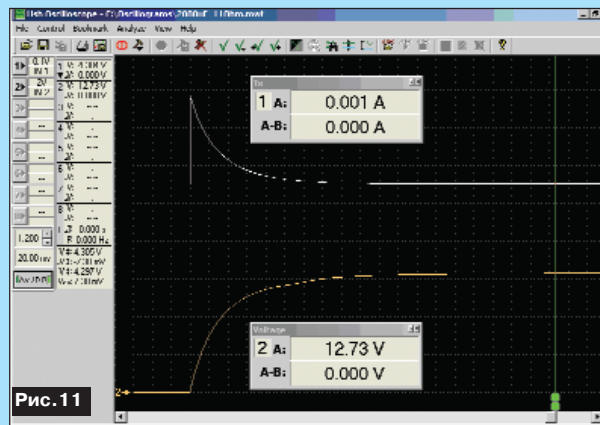
Таким образом, в резистивно-ёмкостной электрической цепи после подключения к источнику питания напряжение на конденсаторе постепенно возрастает, а ток постепенно снижается.

В резистивно-ёмкостной электрической цепи, как и в цепи с лампой накаливания, в момент подключения к источнику питания возникает всплеск тока. Это происходит потому, что и разряженный конденсатор и холодная лампа накаливания имеют низкое сопротивление. После подключения к источнику питания их сопротивление начинает расти: конденсатора - вследствие заряда, а лампы накаливания - вследствие нагрева, из-за чего ток в их цепи падает. Но в отличие от лампы накаливания, где значение начального тока ограничено начальным сопротивлением самой нити накала, значение начального тока, протекающего через конденсатор, ограничено сопротивлением токоограничивающего резистора.



Графики тока в тестируемой резистивно-ёмкостной электрической цепи и напряжения на конденсаторе. Подключение и отключение источника питания. Измерительный маркер установлен в момент времени, сразу же после подключения источника питания.

- 1 График белого цвета - график тока в цепи конденсатора.
1А: Значение тока в момент времени указанный маркером. В указанный момент времени ток в цепи равен ~1,15А.
- 2 График оранжевого цвета - график напряжения на конденсаторе.
2А: Значение напряжения в момент времени указанный маркером. В указанный момент времени напряжение на конденсаторе равно ~0,15V.

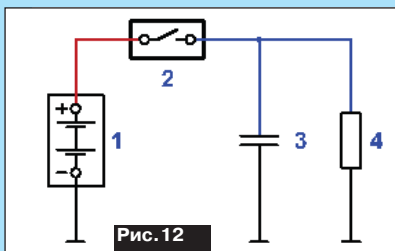


Графики тока в тестируемой резистивно-ёмкостной электрической цепи и напряжения на конденсаторе. Подключение и отключение источника питания.

- 1 График белого цвета - график тока в цепи конденсатора.
1А: Значение тока в момент времени указанный маркером. В указанный момент времени ток в цепи равен ~0А.
- 2 График оранжевого цвета - график напряжения на конденсаторе.
2А: Значение напряжения в момент времени указанный маркером. В указанный момент времени напряжение на конденсаторе равно ~12,7V.

Часто конденсатор применяется для сглаживания скачков напряжения источника питания. В таких схемах токоограничивающий резистор отсутствует, и его роль выполняет собственное сопротивление электропроводки цепи, выключателя и источника питания. (рис. 12)

Типичная схема включения конденсатора для сглаживания скачков напряжения.



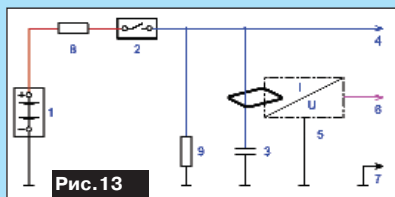
- 1.Источник питания.
- 2.Выключатель.
- 3.Конденсатор, служащий для сглаживания скачков напряжения.
- 4.Нагрузка, в данном случае представленная резистором.

Конденсаторы, служащие для сглаживания скачков напряжения источника питания, называют сглаживающими. Эффект сглаживания скачков напряжения обеспечивается за счёт способности конденсатора запасать энергию отбирая её из цепи при повышении напряжения, и отдавать энергию в цепь при снижении напряжения. Сглаживающий конденсатор довольно эффективно позволяет избавиться от кратковременных скачков напряжения источника питания. При снижении напряжения источника питания конденсатор начинает разряжаться, отдавая ток в цепь, предотвращая тем самым быстрое снижение напряжения. При возрастании напряжения происходит обратное - конденсатор заряжается, предотвращая тем самым быстрое возрастание напряжения.

Приведённая ниже схема позволяет просмотреть график напряжения на сглаживающем конденсаторе и протекающего через него тока. (рис. 13)

Схема тестируемой электрической цепи со сглаживающим конденсатором.

- 1.Источник питания.



- 2.Выключатель.
- 3.Конденсатор, служащий для сглаживания скачков напряжения.
- 4.Вывод подключения к входу осциллографа для отображения графика напряжения на сглаживающем конденсаторе.
- 5.Преобразователь тока в напряжение.
- 6.Вывод подключения к входу осциллографа для отображения графика тока, протекающего через сглаживающий конденсатор.
- 7.Вывод для подключения к клемме "Корпус" осциллографа.
- 8.Резистор, являющийся эквивалентом внутреннего сопротивления источника питания.
- 9.Нагрузка, в данном случае представленная резистором.

Для отображения графиков на мониторе осциллографа, один вход осциллографа подключен к выводу 4 на тестируемой схеме, другой - к выводу 6. "Корпус" осциллографа соединён с выводом 7.

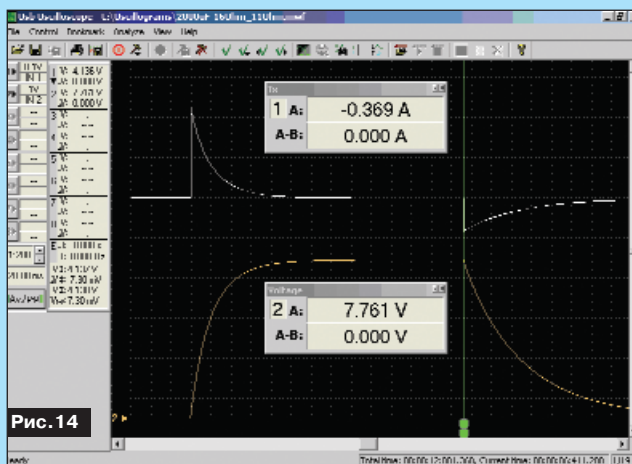
Так как нагрузка, в данном случае представлена резистором, параллельно сглаживающему конденсатору, графики напряжения на нагрузке и на конденсаторе одинаковы. По полученному графику напряжения видно, что даже после отключения источника питания, напряжение не сразу, а постепенно.

Это подтверждает эффективность применения конденсатора для сглаживания пульсаций напряжения источника питания. После отключения источника питания, его функцию выполняет конденсатор до тех пор, пока хватит заряда. Конденсатор поддерживает напряжение на нагрузке за счёт тока разряда (ток отрицательной полярности), что видно по графику протекающего через конденсатор тока. (рис. 14)

Реактивные свойства конденсатора, обусловленные его ёмкостью, препятствуют как увеличению напряжения на конденсаторе, так и его уменьшению. Таким образом, можно сделать вывод, что ёмкость конденсатора препятствует быстрым изменениям напряжения на конденсаторе.

В случае питания подобной цепи от мощного низкоомного источника питания, начальный всплеск тока при подключении источника может достигать больших значений, что кроме прочего может вызывать сильное искрение на контактах выключателя и, как следствие, их быстрое "обгорание".

Виталий БОНДАРЬ



Графики тока протекающего через сглаживающий конденсатор в тестируемой электрической цепи и напряжения. Подключение и отключение источника питания.

- 1 График белого цвета - график тока протекающего через сглаживающий конденсатор.
1A: Значение тока в момент времени указанный маркером. В указанный момент времени ток протекающий через сглаживающий конденсатор равен ~ - 0,37А.
- 2 График оранжевого цвета - график напряжения на конденсаторе.
2A: Значение напряжения в момент времени указанный маркером. В указанный момент времени напряжение на конденсаторе равно ~7,76V.

ДИАГНОСТИКА ПО ГРАФИКУ ТОКА

Продолжение. Начало в №8 2007 г

Резистивно-индуктивная электрическая цепь

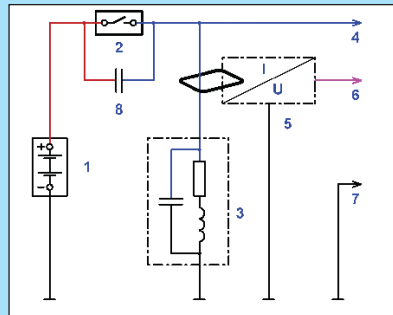
Возможно, самой интересной среди базовых типов электрических цепей является резистивно-индуктивная электрическая цепь. Резистивно-индуктивной называют электрическую цепь, обладающую индуктивностью. Значительной индуктивностью обладают элементы электрических цепей, содержащие обмотку: катушки индуктивности, электромагнитные реле, электродвигатели, катушки зажигания, электромагнитные форсунки (инжекторы).

Кроме того, что катушка обладает индуктивностью, проводник, из которого намотана обмотка катушки, имеет активное сопротивление. Таким образом, катушка обладает ещё и активным сопротивлением. Обмотка катушки состоит из витков проводника, расположенных очень близко. Между соседними витками обмотки возникает некоторая ёмкость, а так как обмотка состоит из большого числа витков, суммарная ёмкость получается уже значительной. Таким образом, обмотка катушки обладает как индуктивностью являющейся основным свойством катушки, так и активным сопротивлением и ёмкостью, являющимися паразитными свойствами катушки.

Схема тестируемой резистивно-индуктивной электрической цепи состоит из источника питания, выключателя и катушки индуктивности, включённых последовательно. В данном случае катушка индуктивности служит нагрузкой в цепи.

Схема тестируемой резистивно-индуктивной электрической цепи.

1. Источник питания.
2. Выключатель.
3. Катушка индуктивности со своей индуктивностью, паразитной ёмкостью и активным сопротивлением.
4. Вывод подключения к входу осциллографа для отображения графика напряжения на обмотке катушки индуктивности.



5. Преобразователь тока в напряжение.

6. Вывод подключения к входу осциллографа для отображения графика тока, протекающего через обмотку катушки индуктивности.

7. Вывод для подключения к клемме "Корпус" осциллографа.

8. Искрогасящий конденсатор.

Для отображения графиков на мониторе осциллографа, один вход осциллографа подключен к выводу 4 на тестируемой схеме, другой - к выводу 6. "Корпус" осциллографа соединён с выводом 7.

Напряжение на обмотке катушки индуктивности после подключения к источнику питания равно напряжению источника питания. Ток, протекающий через обмотку катушки, после замыкания контактов выключателя достигает стабильного значения только через некоторое время, постепенно увеличиваясь от нуля до стабильного значения. Величина этого тока, в данном случае равного ~1,2А, ограничена собственным активным сопротивлением проводника, из которого намотана обмотка катушки.

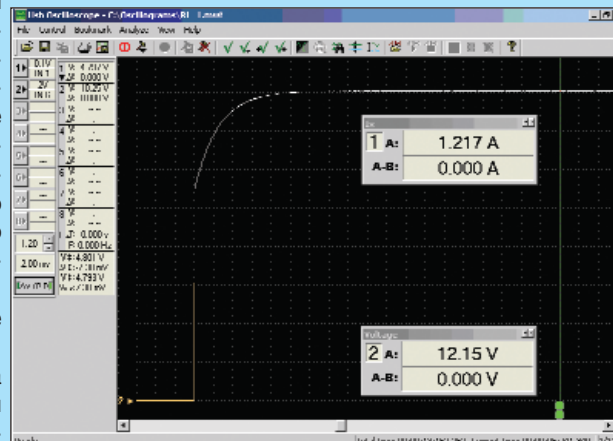
По мере увеличения тока, протекающего через обмотку катушки, напряжённость магнитного поля,

создаваемого катушкой, так же увеличивается. Таким образом, происходит процесс накопления энергии в магнитном поле катушки - процесс заряда катушки.

Быстрому нарастанию тока, протекающего через обмотку катушки после подключения источника питания, препятствует напряжение Электро Движущей Силы самоиндукции (далее ЭДС самоиндукции). В момент времени сразу после замыкания контактов выключателя, ЭДС самоиндукции представляет собой напряжение, возникающее на обмотке катушки вследствие нарастания протекающего через обмотку тока. Полярность этого напряжения встречная полярности источника питания, что и препятствует быстрому нарастанию тока, протекающего через обмотку.

Упрощённая схема резистивно-индуктивной электрической цепи. Полярность ЭДС самоиндукции обмотки катушки показана в момент сразу после подключения источника питания.

1. Источник питания с указанием полярности напряжения.
2. Выключатель с замкнутыми кон-



Графики тока протекающего через обмотку катушки индуктивности и напряжения.

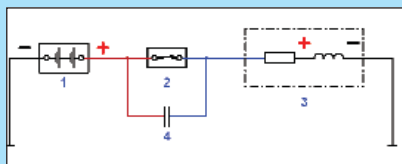
Подключение источника питания.

1 График белого цвета - график тока, протекающего через обмотку катушки индуктивности.

1А: Значение тока в момент времени, указанный маркером. В указанный момент времени ток, протекающий через обмотку катушки, равен ~1,2А.

2 График оранжевого цвета - график напряжения на обмотке катушки.

2А: Значение напряжения в момент времени, указанный маркером. В указанный момент времени напряжение на обмотке катушки равно ~12,15В.



тактами.

3. Катушка индуктивности (упрощённо) с указанием полярности напряжения ЭДС самоиндукции в момент сразу после подключения источника питания.

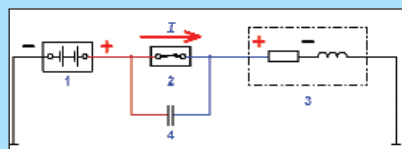
4. Искрогасящий конденсатор.

Величина возникающего напряжения ЭДС самоиндукции прямо пропорциональна индуктивности катушки и скорости изменения величины протекающего через обмотку катушки тока. Таким образом, чем больше индуктивность катушки, тем медленнее будет нарастать ток, протекающий через обмотку после подключения источника питания.

После достижения стабильного значения тока, протекающего через обмотку катушки, напряжение ЭДС самоиндукции встречной полярности уже не возникает, так как величина протекающего тока не увеличивается.

Протекающий через обмотку ток вызывает возникновение падения напряжения на активном сопротивлении обмотки катушки, численно равное напряжению источника питания.

Упрощённая схема резистивно-индуктивной электрической цепи через некоторое время после подключения источника питания.



1. Источник питания с указанием полярности напряжения.

2. Выключатель с замкнутыми контактами.

3. Катушка индуктивности (упрощённо). Указана полярность падения напряжения на активном сопротивлении обмотки катушки. Напряжение ЭДС самоиндукции на обмотке катушки уже не возникает, так как величина протекающего через обмотку тока стабильна.

4. Искрогасящий конденсатор.

1. Ток, протекающий через замкнутые контакты выключателя.

Величина протекающего через обмотку катушки тока те-

перь ограничена собственным активным сопротивлением обмотки катушки, к которой теперь и оказывается приложенным напряжение источника питания.

При отключении источника питания, график напряжения на обмотке катушки совершенно не похож ни на один рассмотренный ранее.

По графику тока видно, что величина тока, протекающего через обмотку катушки после отключения источника питания, не исчезает сразу, а начинает постепенно уменьшаться. Такой эффект возникает из-за наличия в цепи искрогасящего конденсатора, включённого параллельно контактам выключателя.

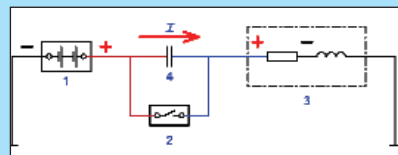
Пока контакты выключателя были замкнуты, выводы искрогасящего конденсатора были соединены посредством контактов, и конденсатор был полностью разряжен. Ранее было рассмотрено, что разряженный конденсатор имеет низкое сопротивление. Как только контакты выключателя разомкнулись, разряженный конденсатор оказался включённым в цепь последовательно протекающего через обмотку катушки тока, и за счёт низкого сопротивления разряженного конденсатора, цепь не разорвалась.

Упрощённая схема резистивно-индуктивной электрической цепи в момент сразу после размыкания контактов выключателя.

1. Источник питания с указанием полярности напряжения.

2. Выключатель с только что разомкнутыми контактами.

3. Катушка индуктивности (уп-



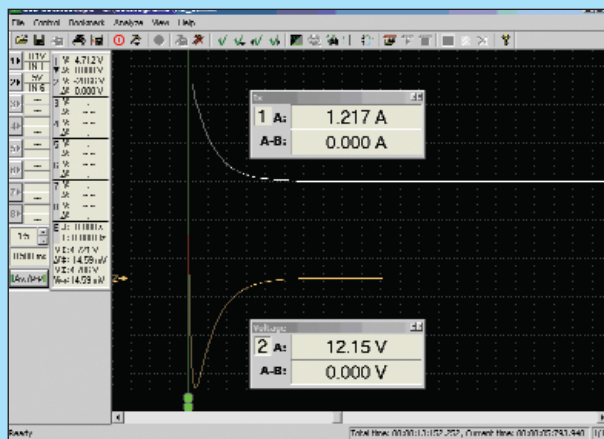
рощённо). Указана полярность падения напряжения на активном сопротивлении обмотки катушки. Напряжение ЭДС самоиндукции на обмотке катушки ещё не возникает, так как величина протекающего через обмотку тока пока не уменьшается.

4. Разряженный искрогасящий конденсатор, через который в данный момент протекает ток цепи.

1. Ток, протекающий через пока ещё разряженный конденсатор.

Таким образом, благодаря реактивным свойствам искрогасящего конденсатора ток в цепи обмотки катушки после размыкания контактов выключателя не исчезает сразу.

Как было рассмотрено ранее, протекающий в цепи конденсатора ток заряжает его, и напряжение на нём возрастает. По мере заряда, сопротивление конденсатора возрастает, стремясь к бесконечно большому. Постепенное увеличение сопротивления вызывает постепенное уменьшение тока, протекающего через конденсатор. А так как конденсатор после размыкания



Графики тока, протекающего через обмотку катушки индуктивности и напряжения. Отключение источника питания. Измерительный маркер установлен в момент времени, как только контакты выключателя разомкнулись.

1 График белого цвета - график тока, протекающего через обмотку катушки индуктивности.

1A: Значение тока в момент времени указанный маркером. В указанный момент времени ток, протекающий через обмотку катушки, равен ~1,2А.

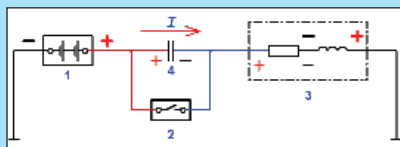
2 График оранжевого цвета - график напряжения на обмотке катушки.

2A: Значение напряжения в момент времени, указанный маркером. В указанный момент времени напряжение на обмотке катушки равно ~12,15V.

контактов выключателя оказался включённым последовательно обмотке катушки, протекающий через конденсатор ток равен току, протекающему через обмотку катушки. Следовательно, происходит уменьшение величины тока, протекающего через обмотку катушки.

Уменьшение величины тока, протекающего через обмотку катушки, вызывает возникновение напряжения ЭДС самоиндукции, полярность которого совпадает с полярностью источника питания и противоположна полярности частично заряженного конденсатора и полярности падения напряжения на активном сопротивлении обмотки.

Упрощённая схема резистивно-индуктивной электрической цепи через короткий промежуток времени после размыкания контактов выключателя. Величина тока в цепи постепенно уменьшается.



1.Источник питания с указанием полярности напряжения.

2.Выключатель с разомкнутыми контактами.

3.Катушка индуктивности (упрощённо). Указана полярность падения напряжения на активном сопротивлении обмотки катушки и полярность напряжения ЭДС самоиндукции катушки.

4.Искрогасящий конденсатор, через который в данный момент протекает ток цепи. На данный момент конденсатор уже частично заряжен, из-за чего на его выводах возникло некоторое напряжение.

1.Ток, протекающий через частично заряженный конденсатор.

Так как полярность возникшего напряжения ЭДС самоиндукции совпадает с полярностью источника питания, это напряжение способствует поддержанию тока в цепи. Другими словами, ЭДС самоиндукции в данном случае препятствует быстрому уменьшению тока, протекающего через обмотку катушки.

Как видно по графикам напряжения на обмотке катушки и протекающего тока, возникшее через короткий промежуток вре-

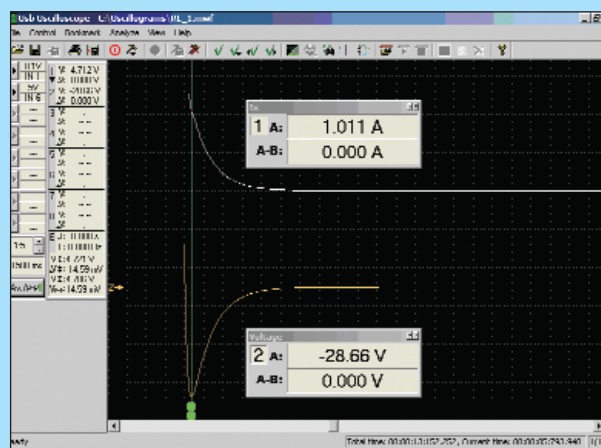
мени после размыкания контактов выключателя напряжение ЭДС самоиндукции, максимум которого в данном случае равен $\sim 28,7V$, довольно эффективно поддерживает ток, протекающий через обмотку катушки - значение тока в момент времени указанный маркером равно $\sim 1A$. Таким образом, катушка индуктивности поддерживает ток в цепи за счёт роста напряжения ЭДС самоиндукции. Но напряжения ЭДС самоиндукции увеличивается до тех пор, пока катушка не израсходуется на поддержание тока в цепи накопленный в магнитном поле заряд. По мере уменьшения накопленного в магнитном поле заряда, напряжение ЭДС самоиндукции постепенно уменьшается, уменьшается и поддерживаемый этим напряжением ток в цепи.

Реактивные свойства катушки обусловленные её индуктивностью, препятствуют как увеличению тока в цепи обмотки катушки, так и его уменьшению. Таким образом, можно сделать вывод, что индуктивность катушки препятствует быстрым изменениям тока в цепи обмотки катушки.

В случае применения в подобных электрических цепях искрогасящего конденсатора малой ёмкости, его заряд после размыкания контактов выключателя будет происходить очень быстро. Вместе с зарядом конденсатора очень быстро будет увеличиваться и сопротивление конденсатора, что в свою очередь приведёт к очень быстрому уменьшению величины протекающего через обмотку катушки тока. А как было сказа-

но ранее, величина возникающего напряжения ЭДС самоиндукции прямо пропорциональна скорости изменения величины протекающего через обмотку катушки тока. Таким образом, в случае применения искрогасящего конденсатора малой ёмкости, напряжение ЭДС самоиндукции может достигать очень большого значения. Это напряжение оказывается приложенным к выводам искрогасящего конденсатора. А так как конденсатор включен параллельно контактам выключателя, напряжение ЭДС самоиндукции оказывается приложенным и к контактам выключателя. В случае, если индуктивность катушки относительно велика, а ёмкость искрогасящего конденсатора мала - напряжение ЭДС самоиндукции может так возрасти, что его будет достаточно для пробоя искрового разряда между контактами выключателя, что кроме прочего, может вызывать сильное искрение на контактах выключателя и, как следствие, их быстрое "обгорание".

Ниже приведена несколько иная схема резистивно-индук-



Графики тока, протекающего через обмотку катушки индуктивности и напряжения на обмотке. Отключение источника питания. Измерительный маркер установлен через короткий промежуток времени после размыкания контактов выключателя.

1 График белого цвета - график тока, протекающего через обмотку катушки индуктивности.

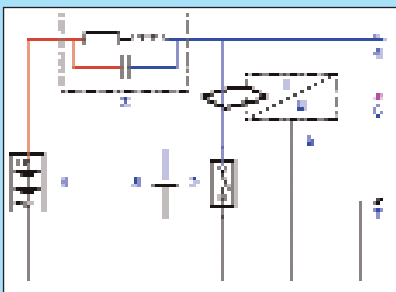
1A: Значение тока в момент времени, указанный маркером. В указанный момент времени ток, протекающий через обмотку катушки, равен $\sim 1A$.

2 График оранжевого цвета - график напряжения на обмотке катушки.

2A: Значение напряжения в момент времени, указанный маркером. В указанный момент времени напряжение на обмотке катушки равно $\sim 28,7V$.

тивной электрической цепи. Отличием от ранее рассмотренной схемы является подключение выключателя и катушки индуктивности, а так же точка вывода подключения к входу осциллографа для отображения графика напряжения. Здесь выключатель подключен к отрицательному выводу источника питания, а один из выводов катушки индуктивности всегда соединён с выводом "+" источника питания. Подобным образом устроены резистивно-индуктивные электрические цепи в автомобильной электронике.

Схема тестируемой резистивно-индуктивной электрической цепи, типичной для автомобильной электроники.



- 1.Источник питания.
- 2.Выключатель.
- 3.Катушка индуктивности со своей индуктивностью, паразитной ёмкостью и активным сопротивлением.
- 4.Вывод подключения к входу осциллографа для отображения графика напряжения на выключателе.
- 5.Преобразователь тока в напряжение.
- 6.Вывод подключения к входу осциллографа для отображения графика тока, протекающего через обмотку катушки индуктивности.
- 7.Вывод для подключения к клемме "Корпус" осциллографа.
- 8.Искрогасящий конденсатор.

Все рассмотренные ранее процессы, происходящие в резистивно-индуктивной цепи при подключении и отключении источника питания, действительны и для данной схемы. Отличается лишь форма графика напряжения на обмотке катушки, отображаемая на экране осциллографа вследствие иного её подключения. Ниже приведены графики напряжения на выключателе и тока в цепи.

При просмотре графиков видно, что форма графика тока та-

кая же, как и в рассмотренной ранее цепи, а форма графика напряжения отличается.

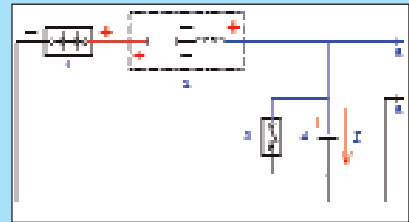
Первое отличие графика напряжения заключается в том, что при отключенном источнике питания, когда ток в цепи отсутствует, в точке измерения напряжения присутствует напряжение источника питания. Это происходит потому, что точка измерения напряжения является выводом обмотки катушки, а второй вывод катушки соединён с выводом "+" источника питания. Таким образом, на вход осциллографа через обмотку катушки поступает напряжение источника питания.

Вторым отличием является инверсия полярности отображаемых на экране осциллографа возникающих напряжений ЭДС самоиндукции, обусловленная другим подключением выключателя и катушки индуктивности, а так же другой точкой измерения напряжения.

Как следствие, в данном случае физически мы измеряем напряжение на противоположном выводе обмотки катушки индуктивности.

Упрощённая схема типичной для автомобильной электроники резистивно-индуктивной электрической цепи через короткий промежуток времени после размыкания контактов выключателя. Величина тока в цепи постепенно уменьшается.

- 1.Источник питания с указанием полярности напряжения.
- 2.Катушка индуктивности (упрощённо). Указана полярность падения напряжения на активном сопротивлении обмотки катушки и полярность напряжения ЭДС самоиндукции катушки.
- 2.Выключатель с разомкнутыми



контактами.

4.Искрогасящий конденсатор, через который в данный момент протекает ток цепи. На данный момент конденсатор уже частично заряжен, из-за чего на его выводах возникло некоторое напряжение.

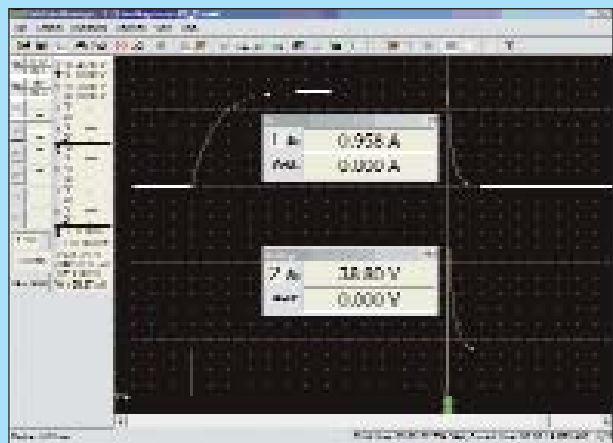
5.Вывод подключения к входу осциллографа для отображения графика напряжения на выключателе.

6.Вывод для подключения к клемме "Корпус" осциллографа.

1.Ток, протекающий через частично заряженный конденсатор.

Как видно по приведённой выше схеме, полярность возникающего напряжения ЭДС самоиндукции через короткий промежуток времени после размыкания контактов выключателя схеме совпадает с полярностью напряжения источника питания так же как, и в предыдущей резистивно-индуктивной цепи.

Виталий БОНДАРЬ



Графики тока протекающего через обмотку катушки индуктивности и напряжения на выключателе. Подключение и отключение источника питания. Измерительный маркер установлен через короткий промежуток времени после размыкания контактов выключателя.

1 График белого цвета - график тока, протекающего через обмотку катушки индуктивности.

1А: Значение тока в момент времени, указанный маркером. В указанный момент времени ток, протекающий через обмотку катушки, равен ~0,96А.

2 График оранжевого цвета - график напряжения на обмотке катушки.

2А: Значение напряжения в момент времени, указанный маркером. В указанный момент времени напряжение на обмотке катушки равно ~38,8В.