

ОТЧЕТ И ПРОТОКОЛ ИСПЫТАНИЙ

по теме:

“Разработка макетных образцов преобразователей тока и лабораторные испытания в составе конденсаторно–тиристорных модулей зажигания электронной системы управления газового двигателя ”

г. Пенза 2006 г.

Содержание

Введение.....	
1. Преобразователь тока для первичной цепи катушки зажигания конденсаторно-тиристорных модулей зажигания.....	
2. Преобразователь тока для вторичной цепи катушки зажигания конденсаторно-тиристорных модулей зажигания.....	
3. Выводы.....	

Введение

Измерительный трансформатор тока с нагрузочным резистором

Идеальным режимом работы измерительного трансформатора тока является режим короткого замыкания его вторичной цепи. В этом режиме по вторичной цепи трансформатора тока протекает индуцированный ток, который создает в магнитопроводе вторичный поток магнитной индукции, компенсирующий поток магнитной индукции от тока первичной цепи. В результате в сердечнике, в стационарном режиме, устанавливается близкий к нулю суммарный поток магнитной индукции, индуцирующий во вторичной обмотке небольшую ЭДС, поддерживающую ток во вторичной цепи пропорционально значению тока первичной цепи.

Безопасность вторичных цепей при больших входных токах обеспечивается за счет вхождения сердечника в насыщение. Однако, если вторичную цепь трансформатора тока разомкнуть (аварийный режим), то исчезновение вторичного тока и созданного им магнитного потока приведет к значительному росту суммарного магнитного потока и соответственно увеличению ЭДС во вторичной обмотке до огромных значений, что может вызвать пробой изоляции. Кроме того, при большом магнитном потоке резко увеличиваются потери в сердечнике, что вызывает его разогрев.

Погрешности трансформаторного датчика тока складываются из токовой погрешности (погрешность действительного коэффициента трансформации) и угловой погрешности (разность фаз между токами первичной и вторичной цепи). Погрешности определяются двумя факторами: ограниченной магнитной проницаемостью магнитопровода и ненулевым значением сопротивления нагрузки. Вместе с тем погрешность трансформатора тем меньше, чем меньше магнитное сопротивление магнитопровода, т.е. больше магнитная проницаемость материала, больше сечение сердечника и меньше его длина, а также чем меньше его вторичная

нагрузка (идеал - к.з. вторичной обмотки). Важно учитывать, что магнитная проницаемость зависит от напряженности магнитного поля, и практически постоянна только в области слабых полей. Поскольку трансформаторы работают в слабых результирующих полях, то для них необходимо использование материала с высокой начальной магнитной проницаемостью.

В качестве сердечников трансформаторных датчиков тока используются нанокристаллические или аморфные сплавы.

Нанокристаллические сплавы характеризуются практически постоянной высокой магнитной проницаемостью в слабых полях (до 0.1А/м) составляющей в среднем 40 000 - 60 000 (для электротехнической стали всего 400). Кроме того, эти сплавы обладают высокой остаточной магнитной индукцией и низкой коэрцитивной силой, т.е. очень узкой петлей гистерезиса, малыми потерями на вихревые токи (менее 5 Вт/кг); близкой к нулю магнитострикцией. В зависимости от термообработки сердечники могут обладать прямоугольной, линейной или округлой петлей гистерезиса. Магнитопроводы обеспечивают высокую линейность кривой намагниченности в слабых полях. Полное перемагничивание сердечника при подаче переменного тока происходит при малой напряженности магнитного поля за счет узкой петли гистерезиса. Магнитопроводы выпускаются в защитных пластмассовых контейнерах, обеспечивающих их защиту от механических воздействий

Амплитудная характеристика датчика, в общем случае, нелинейная, что обусловлено нелинейностью кривой магнитной индукции сердечника. Нелинейность особенно ярко выражена в области начала насыщения и определяется материалом магнитопровода. Однако в области слабых магнитных полей (чистый синусоидальный сигнал и $R_n=0$) она практически линейна. Эта область и является рабочей при расчете трансформатора. В недорогих трансформаторах тока для диапазона 5(50)А, изготавливаемых на нанокристаллических сплавах 5БДСР (рисунок 1 слева) или ГМ414 типоразмера ОЛ25х15х10 нелинейность характеристики не превышает 0.3%,

что вполне достаточно для построения счетчиков 1 и 2 классов. Для трансформаторов более высокой точности применяют более дорогие аморфные сплавы, например 82В (рисунок 1 справа).

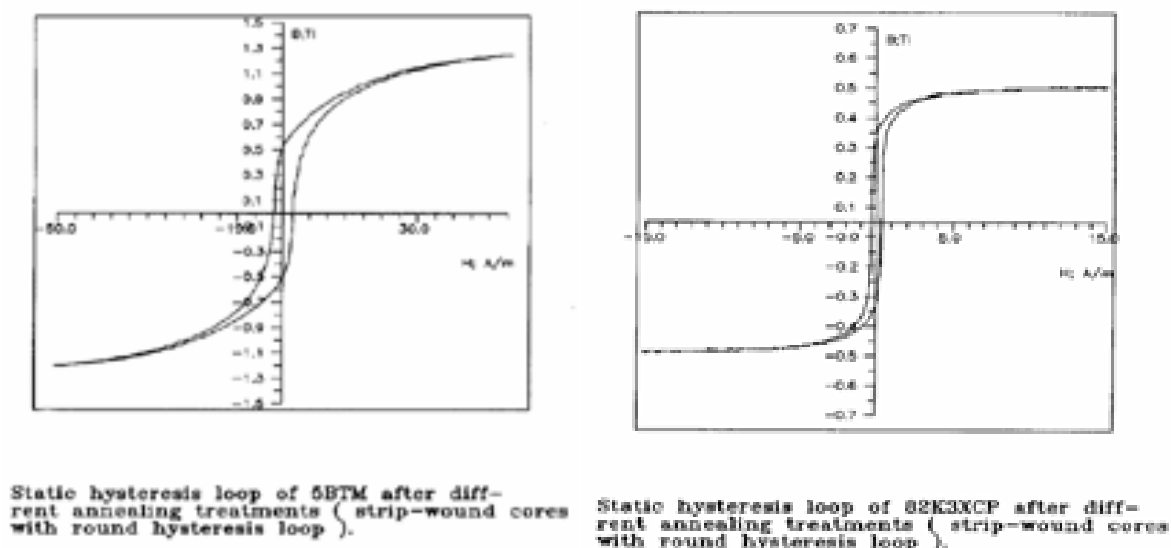


Рисунок 1 – Петля гистерезиса для различных материалов трансформаторов

Одним из недостатков трансформаторов тока является намагничивание сердечника постоянной составляющей тока, возникающей в контролируемой электрической цепи из-за асимметрии потребления нагрузки (например однополупериодный выпрямитель) в разных полуволнах. Нивелировать данный недостаток можно правильным выбором габаритов или материала магнитопровода трансформаторов тока. Постоянный магнитный поток, обусловленный разностью токов в первичной обмотке в разные полуволны, не компенсируется. В результате, в сердечнике трансформатора тока на переменный магнитный поток накладывается постоянный поток, который приводит к смещению реальной кривой намагничивания сердечника в область больших полей при той же потребляемой мощности в нагрузке. Однако следует заметить, что искажение образуются в области перехода тока через ноль, при этом искажения в одной полуволне приводят к компенсационному искажению в другой, поэтому фактическая погрешность

измерения потребляемой мощности в счетчике изменяется не столь радикально.

Для борьбы с постоянным подмагничиванием можно применять трансформаторы тока с магнитопроводом из кобальтовых сплавов типа 86Т, которые начинают насыщаться при напряженности свыше 400А/м (для размера ОЛ25-15-10 это где-то в районе 25А постоянного тока в измеряемой цепи) или трансформаторы с сердечником, выполненным с немагнитным зазором. Что касается изготовления сердечника с зазором, то выполнить на сердечнике достаточно маленький немагнитный зазор (в районе 0,05-0,1 мм) достаточно сложно. Как альтернатива может применяться заполнение зазора порошком, при этом требования к величине зазора снижаются, но в конечном итоге себестоимость таких магнитопроводов все-таки значительна.

Запас по постоянному потоку можно достигнуть также уменьшением напряженности магнитного поля в сердечнике (для того же тока в первичной обмотке) за счет увеличения длины магнитопровода (величина напряженности магнитного потока прямо пропорциональна произведению кол-ва витков на ток и обратно пропорциональна средней длине магнитопровода и выражается формулой $H = NI * I / L$). Однако увеличение длины магнитопровода вызывает снижение ЭДС самоиндукции, которая прямо пропорциональна площади сечения магнитопровода и обратно пропорциональна длине магнитопровода. Поэтому увеличение длины должно сопровождаться увеличением площади сечения - для сохранения прежнего значения индуктивности. Как известно, чем выше индуктивность вторичной обмотки, тем ниже скорость изменения тока и тем ниже наводимая ЭДС в первичной обмотке. Кроме того, большая индуктивность совместно с сопротивлением вторичной обмотки работает как НЧ фильтр в измерительной цепи (причем не вносящий фазовые искажения!) и, кроме того, снижает воздействие АЦП измерителя на измерительную цепь. В связи с этим требования к RC цепи в измерительном канале снижаются (его можно

не ставить вовсе!), а, следовательно снижается фазовый сдвиг, вносимый этим фильтром между каналами измерения тока и напряжения.

Расчет измерительной цепи для конкретного трансформатора тока относительно несложен. Как было сказано выше, во вторичной обмотке трансформатора тока нагруженной на резистор R_b , протекает ток, трансформируемый из первичной обмотки и обусловленный явлением электромагнитной индукции. Активное сопротивление цепи вторичной обмотки равно $R_b + R_2$, где R_2 - собственное сопротивление вторичной обмотки трансформатора тока, а R_b - сопротивление нагрузочного резистора. Ток вторичной обмотки $I_2 = I_1/N$, где N - коэффициент трансформации (обычно 1000...3000).

Выходное напряжение датчика тока, определяемое падением напряжения на R_b :

$U_2 = I_2 \cdot R_b = I_1 \cdot R_b / N$. Эквивалентное напряжение на входе трансформатора $U_1 = U_2 / N = I_1 \cdot R_b / N^2$

Таким образом, напряжение на первичной обмотке трансформатора тока пропорционально $I_1 \cdot R_b / N^2$. т.е. в N^2 раз меньше, чем для шунта при одном и том же выходном напряжении для измерения. Поэтому влияние трансформаторного датчика тока на контролируемую цепь меньше чем в случае применения шунта. Например для трансформатора тока с $N = 3000$; $U_2 = 20\text{мВ}$, $I_1 = 50\text{ А}$ (см. расчет для шунта выше по тексту) рассчитаем эквивалентное входное активное сопротивление. $I_2 = 50/3000 = 0.01667\text{А}$. $R_b = 20\text{мВ} / 0.01667\text{А} = 1.2\text{ Ом}$. Входное сопротивление идеального трансформатора равно $R_b / N^2 = 1.2 / 3000^2 = 0.1333\text{мкОм}$. Однако, с учетом собственного активного сопротивления вторичной обмотки (для трансформатора на магнитопроводе ОЛ25х15х10 примерно 400 Ом), эквивалентное активное входное сопротивление равно $(R_b + R_2) / N^2 = (1.2 + 400) / 3000^2 = 44.6\text{мкОм}$ (400 мкОм на шунте). Оценивая величину R_b , можно увидеть, что оно ничтожно по сравнению с внутренним сопротивлением обмотки трансформатора. Таким образом можно

увеличивать R_b для получения больших напряжений для последующего измерения, а следовательно повысить точность при замере малых токов, снизить влияние электрических шумов на измеряемую цепь и при этом практически не вносить дополнительных потерь в измеряемую цепь.

1. Преобразователь тока для первичной цепи катушки зажигания конденсаторно-тиристорных модулей зажигания

В соответствии с техническим заданием на разработку макетных образцов датчиков тока для конденсаторно-тиристорных модулей зажигания (КТМЗ) было проведено экспериментальное исследование, с использованием шарового разрядника с различными искровыми зазорами, параметров первичного тока с катушками зажигания 3009.3705, 3012.3705 (406.3706), BOSCH 0.221.503.001, B115B2, B117, 27.3705 на образцовом резисторе 0,1 Ом включенном в первичную цепь катушки зажигания.

В результате экспериментов выявлено, что скорость нарастания тока в первичной цепи различных катушек составляет 0,2 – 1,2 А/мкс, величина максимальных амплитуд токов лежит в пределах 11 - 46 А. Сигнал несинусоидальный, со смещением максимальной амплитуды на 1/3 от продолжительности индуктивной фазы искрового разряда.

В связи с вышеперечисленными требованиями для разработки датчика требуется материал с высокой магнитопроницаемостью.

Для изготовления датчика в качестве магнитопровода применен материал пермаллой с магнитной проницаемостью порядка несколько сот тысяч.

Намотка вторичной обмотки W2 в количестве 200 витков. Число витков в первичной цепи датчика W1 составляет 1 полный виток. Соответственно коэффициент трансформации составляет 1:200. Принимаем сопротивление нагрузочного резистора равное 10 Ом. Выбор данного номинала резистора обусловлен тем, что погрешность трансформатора тем

меньше, чем меньше магнитное сопротивление магнитопровода, т.е. чем меньше его вторичная нагрузка R_b . Но при этом ток, протекающий во вторичной обмотке трансформатора, создает падение напряжения на нагрузочном резисторе достаточное для фиксации его АЦП, осциллографом и т.п. при различных уровнях помех.

При данном коэффициенте трансформации и при токе в первичной цепи 11 А, ток вторичной обмотки составляет 55 мА. При нагрузочном сопротивлении 10 Ом, выходное напряжение составляет 0,55 В. При токе в первичной цепи 46 А, выходное напряжение составляет 2,3 В.

Так, измерительный каскад АЦП работает при максимальном входном напряжении 20 В, минимальное регистрируемое 0,1 В, выходное напряжение с разработанного датчика, в зависимости от силы протекающего тока в первичной обмотке катушки, находится в пределах 0,55 – 2,3 В. Соответственно существует достаточный запас по напряжению.

Проведенные исследования датчика с нагрузочным резистором 10 Ом в сравнении с образцовым резистором 0,1 Ом (рис. 2) показали, что погрешность измерения разработанного датчика составляет не более 10 %, что вполне приемлемо.

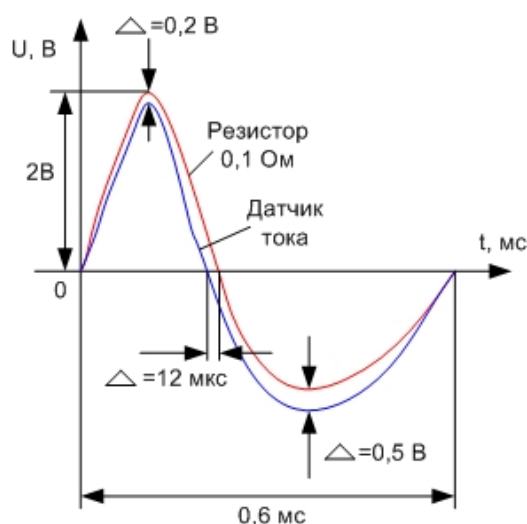


Рисунок 2 - Характеристика погрешностей разработанного датчика тока с катушкой зажигания 27.3705:

Δ - погрешность показаний датчика тока по отношению к опорному резистору 0,1 Ом

Так, фиксируемое при помощи осциллографа напряжение 1 В на выходе датчика тока соответствует 10 А тока, протекающего в первичной цепи катушки зажигания.

Проведены исследования различных датчиков, поступающих в розничную продажу. Оптимальные результаты были получены с датчиками фирмы TALEMA (Индия) марки AS-102 с возможностью их монтажа непосредственно на печатную плату (рис. 3).

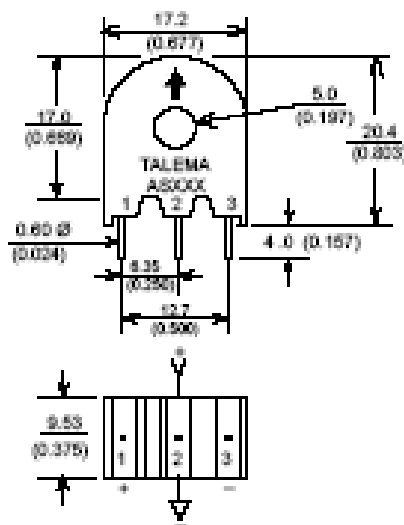


Рисунок 3 – Монтажные размеры датчиков тока TALEMA

Основные технические характеристики AS-102:

Частотный диапазон 20 кГц – 200 кГц;

Измеряемый первичный ток до 15А;

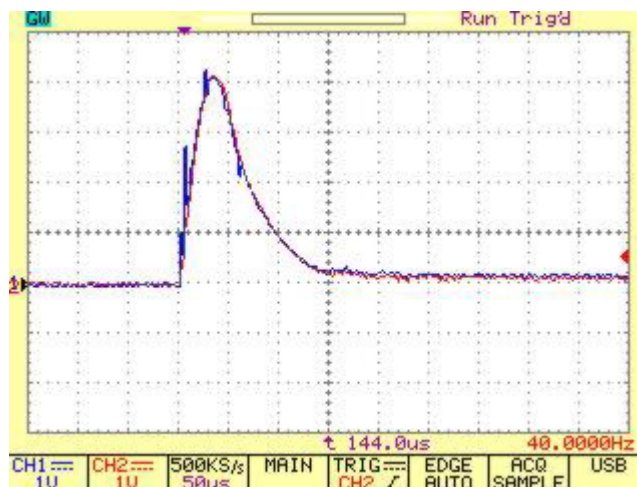
Изоляция между первичной и вторичной цепями датчика до 2500В переменного тока;

Коэффициент трансформации 1:200;

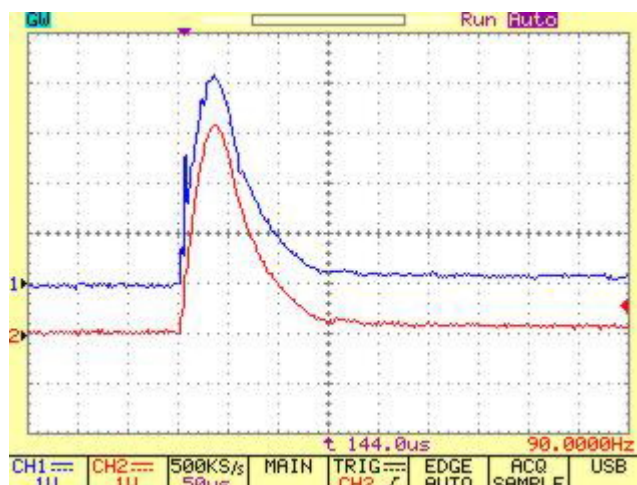
Температурный диапазон эксплуатации от -40°C до +120°C.

На рисунке 4 приведены амплитудно-временные параметры первичной цепи катушки зажигания 27.3705 снятые на образцовом опорном резисторе

0,1 Ом (кривая 1) и с помощью датчика тока AS-102 с нагрузочным резистором 20 Ом (кривая 2).



а)



б)

Рисунок 4 - Амплитудно-временные параметры первичной цепи катушки зажигания 27.3705

На основе данных (рис. 4) погрешность измерения разработанного датчика, составляет не более 5 %, что достаточно для получения объективной информации.

2. Преобразователь тока для вторичной цепи катушки зажигания конденсаторно-тиристорных модулей зажигания

Проведено экспериментальное исследование параметров вторичного тока катушек зажигания 3009.3705, 3012.3705 (406.3706), BOSCH 0.221.503.001, Б115В2, Б117, 27.3705 с использованием шарового разрядника при различных искровых зазорах снятые на образцовом резисторе 10 Ом включенном в разрядную цепь катушки.

В результате экспериментов выявлено, что величина максимальных амплитуд токов лежит в пределах 160 - 450 мА. Сигнал несинусоидальный, со смещением максимальной амплитуды на $1/3$ от продолжительности индуктивной фазы искрового разряда.

В первичную цепь трансформатора тока параллельно первичной его обмотке включается резистор 10 Ом.

Включение резистора в первичную цепь датчика позволяет согласовать параметры трансформатора тока и исключить “перегорание” первичной обмотки датчика тока при возможном коротком замыкании первичной обмотки катушки или др. факторов.

Разрядный ток катушки зажигания, протекающий через резистор 10 Ом, создает на нем падение напряжение пропорционально току.

В связи с вышеперечисленными требованиями и условиями измерений для датчика требуется материал с относительно небольшой магнитной проницаемостью.

Применим для изготовления датчика магнитопровод из феррита М2000НМ3 (термостабильный). Магнитная проницаемость составляет 2000.

Произведена намотка первичной цепи W1 в количестве 100 витков, а вторичной обмотки W2 в количестве 200 витков. Коэффициент трансформации при этом составляет 2:1.

Принимаем сопротивление нагрузочного резистора равное 50 Ом.

При токе во вторичной цепи катушки 160-450 мА, падение напряжения на резисторе 10 Ом составляет 1,6 - 4,5 В и при коэффициенте трансформации (2:1) при нагрузочном сопротивлении во вторичной цепи датчика 50 Ом, выходное напряжение составляет 4 - 11,25 В.

Проведенные исследования датчика в сравнении с образцовым резистором 10 Ом включенном в разрядную цепь катушки (рис. 5) показали, что погрешность измерения разработанного датчика составляет не более 15 %, что достаточно для получения объективной информации.

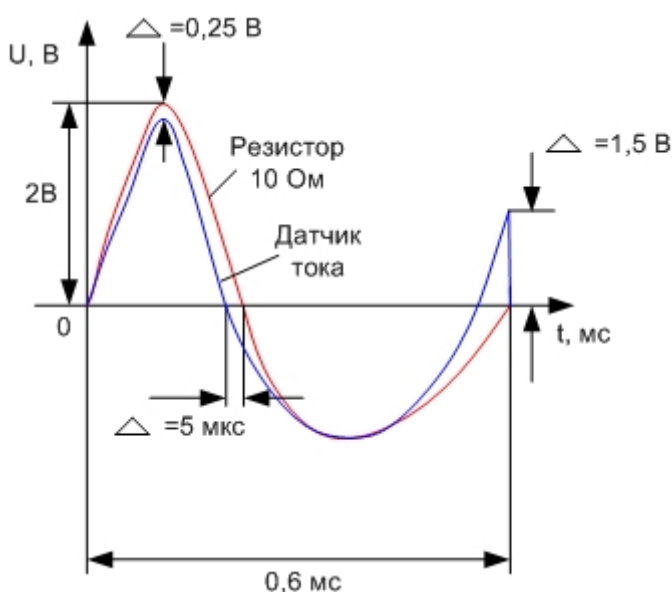


Рисунок 5 - Характеристика погрешностей разработанного датчика тока во вторичной цепи катушки зажигания 27.3705:

Δ - погрешность показаний датчика тока по отношению к образцовому резистору 10 Ом

Выброс амплитудой 1,5 В выходного напряжения датчика тока в конце второго полупериода индуктивной фазы искрового разряда после исчезновения тока в первичной цепи характеризуется рассеиванием энергии накопленной в магнитном поле сердечника датчика тока.

Параметры датчика тока:

Феррит М2000НМ3 Внешний диаметр кольца $d=20$ мм;

W1=100 (ПЭТВ-2 диаметр 0,25 мм);

W2=200 (ПЭТВ-2 диаметр 0,25 мм);

Последовательность намотки W2 -> W1 (в навал).

Так, фиксируемое при помощи осциллографа напряжение 1 В на выходе датчика тока соответствует 100 мА тока, протекающего во вторичной цепи катушки зажигания.

3. Выводы

Приведены основные принципы необходимые при разработке гальванически развязанных от первичной цепи датчиков тока и основные формулы необходимые при их расчете.

Разработаны макетные образцы преобразователей тока для конденсаторно–тиристорных модулей зажигания электронной системы управления газового двигателя, позволяющие контролировать и фиксировать амплитудно-временные параметры КТМЗ (с погрешностью не более 15%) и гальванической развязкой от измеряемых цепей.

Подобран и экспериментально проверен, выпускаемый серийно, датчик тока фирмы TALEMA марки AS-102. Погрешность измерений при использовании данного датчика составляет не более 5 %.