

УДК 629.42: 621.333.024.047.38

КАПИЦА М. И., д.т.н., профессор (ДНУЗТ),
ЛЯШУК В. М., к.т.н., доцент (ДНУЗТ).

Исследование методов диагностирования межвитковой изоляции в обмотках якорей тяговых электрических машин локомотивов

Постановка проблемы

В настоящее время существует оборудование, позволяющее определять межвитковое короткое замыкание в обмотках якорей электрических машин постоянного тока [1, 2, 3, 4]. Но диагностировать предотказное состояния изоляции вызывает определенные трудности.

Предлагается еще один вариант проведения диагностирования, основанный на измерении диэлектрических потерь в

изоляции обмоток якоря путем подачи измерительного напряжения высокой (звуковой) частоты. На измерения в большой степени оказывает влияние влажность изоляции, поэтому необходимо перед проведением диагностирования измерить ее известными методами [5].

Аналіз публікацій

Предварительно производится общая оценка состояния изоляции обмотки по

методике измерения уровня возвратного напряжения [6, 7, 8, 9]. Измеряется сопротивление изоляции (при сопротивлении менее 40 МОм дальнейшие измерения не проводятся). Анализ состояния изоляции проводится по углу наклона касательной к началу кривой изменения уровня возвратного напряжения к его величине.

Диагностирование производится путем подачи переменного напряжения звуковой частоты через конденсатор, емкость которого совместно с индуктивностью обмотки якоря, при определенной частоте, вызывает резонанс напряжения. Величина испытательного напряжения на два порядка меньше рабочего. При нарушении изоляции (увеличения проводимости) обмотки якоря резонанс может возникнуть на другой частоте либо вообще не наступить. Схема подключения генератора к обмотке якоря приведена на рис. 1.

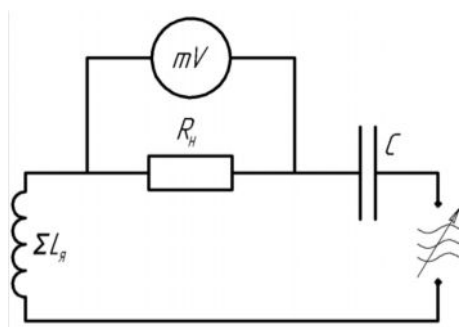


Рис.1. Схема подключения генератора к обмотке якоря $L_{я}$

Существует метод, когда параллельно к обмотке электрического аппарата подключают определённую емкость и на полученный контур подают прямоугольный импульс. По осциллограмме наблюдают характер затухания собственных колебаний. Если наблюдается 5-6 периодов, значит контур высокодобротный, а добротность контура определяется в первую очередь индуктивностью. Для определения места короткого замыкания применяются индуктивные датчики. По схеме построения индуктивные датчики можно разделить на одинарные и дифференци-

альные. Одинарный индуктивный датчик содержит одну измерительную ветвь, дифференциальный – две.

Постановка задачи

Исследовать и разработать возможные методы диагностирования нарушения межвитковой изоляции якорных обмоток тяговых электродвигателей с применением индуктивных датчиков.

Основной материал исследования

В дифференциальном индуктивном датчике при изменении параметра одновременно изменяются индуктивности двух одинаковых катушек, причем изменение происходит на одну и ту же величину, но с обратным знаком.

Как известно, индуктивность катушки:

$$L = \frac{W\Phi}{I}; \quad (1)$$

Ток связан с магнитодвижущей силой соотношением:

$$I = \frac{HL}{W}, \quad (2)$$

откуда получаем:

$$L = \frac{W^2}{R_m}, \quad (3)$$

где $R_m = HL / \Phi$ – магнитное сопротивление индуктивного датчика.

Рассмотрим систему измерения на основе одинарного индуктивного датчика (рис. 2). В основу работы положено свойство дросселя с воздушным зазором, а именно, изменять свою индуктивность при изменении величины воздушного зазора.

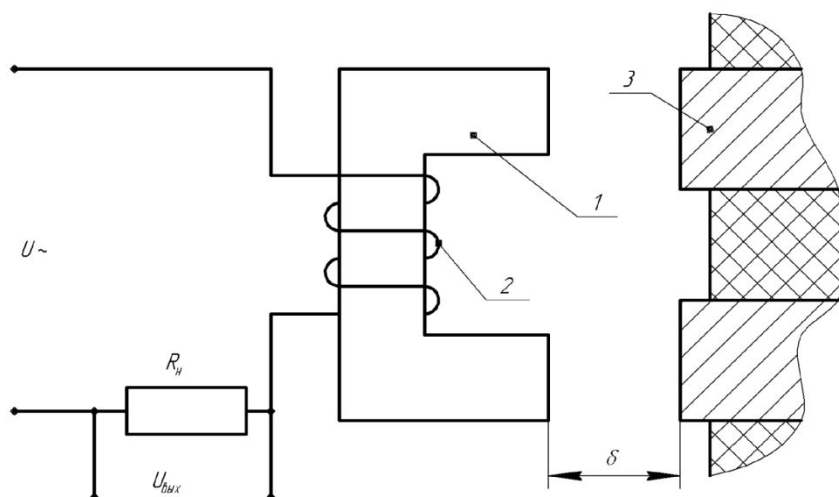


Рис. 2. Использование одинарного индуктивного датчика по сравнению с магнитным сопротивлением воздушного зазора R_{mv} .

Система измерений состоит из магнитопровода 1 с обмоткой 2 и якоря ТЭД 3. На обмотку 2 через сопротивление нагрузки R_n подается напряжение питания переменного тока. Ток в цепи нагрузки определяется как:

$$I = \frac{U}{\sqrt{(R_n + r_d)^2 + (\omega L)^2}}, \quad (4)$$

где r_d - активное сопротивление дросселя;

L - индуктивность датчика.

Так как активное сопротивление цепи величина постоянная, то изменение тока I может происходить только за счет изменения индуктивной составляющей $XL = I \cdot R_n$, которая зависит от величины воздушного зазора δ .

Каждому значению δ соответствует определенное значение I , создающего падение напряжения на сопротивлении R_n : $U_{вых} = I \cdot R_n$ - представляет собой выходной сигнал датчика.

Можно вывести аналитическую зависимость $U_{вых} = f(\delta)$, при условии, что

зазор достаточно мал и потоками рассеяния можно пренебречь, и пренебречь магнитным сопротивлением железа R_{mj}

Приведем конечное выражение:

$$U_{вых} = \frac{U_n R_n}{\sqrt{(R_n + r_d)^2 + \left(\frac{0,4 \cdot 10^{-8} \mu_0 S W^2 \omega}{2\delta} \right)^2}}. \quad (5)$$

В реальных устройствах активное сопротивление цепи намного меньше индуктивного, тогда выражение сводится к виду:

$$U_{вых} \approx \frac{5 \cdot 10^8 U_n R_n}{\mu_0 S W^2 \omega} \delta \approx K_\delta \delta. \quad (6)$$

Зависимость $U_{вых} = f(\delta)$ имеет линейный характер (в первом приближении) (рис. 3). Реальная характеристика имеет вид (штрих-пунктирная линия (рис. 3)).

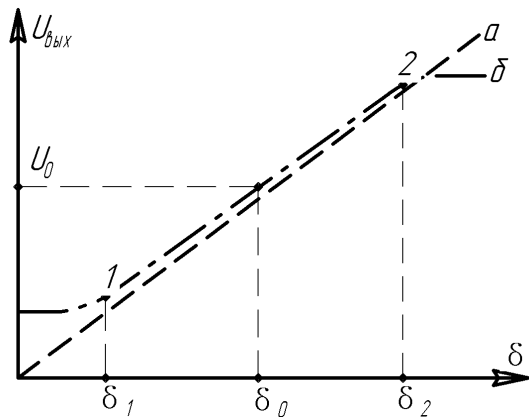


Рис. 3. Характеристика датчика

Отклонение от линейности в начале объясняется принятым допущением $R_{мж} \ll R_{мв}$.

При малых α магнитное сопротивление железа соизмеримо с магнитным сопротивлением воздуха.

Отклонение при больших α объясняется тем, что при больших d RL становится соизмеримой с величиной активного сопротивления - $R_n + r_d$.

В целом рассмотренный индуктивный датчик имеет ряд существенных не-

достатков:

- не меняется фаза тока при изменении направления перемещения;
- при необходимости измерять в обоих направлениях перемещение нужно устанавливать начальный воздушный зазор и, следовательно, ток I_0 , что неудобно;
- ток в нагрузке зависит от амплитуды и частоты питающего напряжения;
- в процессе работы датчика на якорь действует сила притяжения к магнитопроводу, которая ничем не уравнивается, и значит вносит погрешность в работу датчика.

Система измерений на основе дифференциальных индуктивных датчиков (рис. 4) представляют собой совокупность двух нереверсивных датчиков и выполняются в виде системы, состоящей из двух магнитопроводов с общим якорем и двумя катушками. Для дифференциальных индуктивных датчиков необходимы два отдельных источника питания, для чего обычно используется разделительный трансформатор 5.

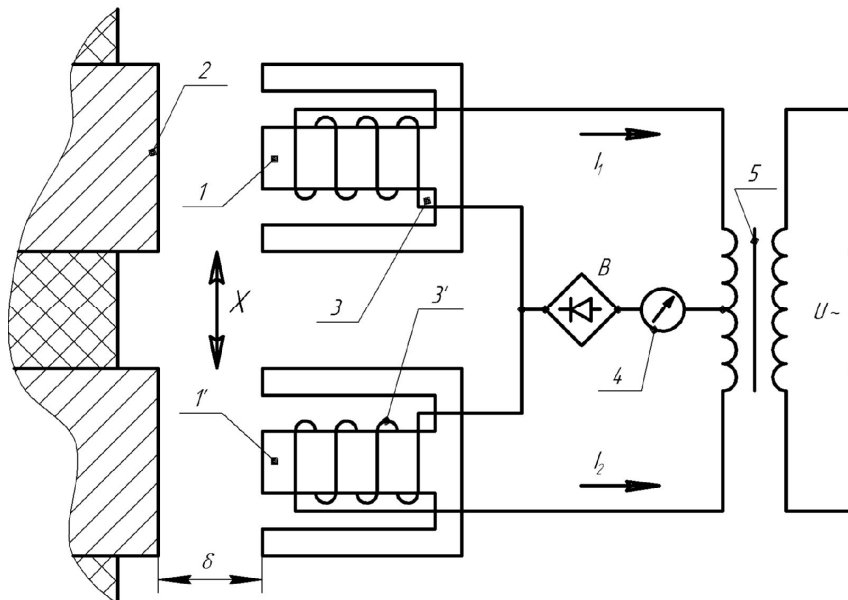


Рис. 4. – Дифференциальный индуктивный датчик

Дифференциально-индуктивные датчики состояются из листов электро-

технической стали с магнитопроводом Ш-образной формы (на частотах выше 1000 Гц применяются железоникелевые сплавы – пермаллой) и цилиндрические, со сплошным магнитопроводом круглого сечения.

Выбор формы датчика зависит от конструктивного сочетания его с контролируемым устройством.

Для питания дифференциально-индуктивного датчика используют трансформатор 5 с выводом средней точки на вторичной обмотке. Между ним и общим концом обеих катушек включается прибор 4. Воздушный зазор 0,2-0,5 мм.

При среднем положении якоря, когда воздушные зазоры одинаковы, индуктивные сопротивления катушек 3 и 3' одинаковые, следовательно величины токов в катушках равны $I_1=I_2$ и результирующий ток в приборе равен 0.

При небольшом отклонении якоря датчика в ту или иную сторону под действием контролируемой величины X меняются величины зазоров и индуктивностей, прибор регистрирует разностный ток $I_1 - I_2$, он является функцией смещения якоря, которым, в данном случае является магнитопровод электрической машины, от среднего положения (постоянная составляющая). Разность токов регистрируется с помощью магнитоэлектрического прибора 4 (микроамперметра) с выпрямительной схемой В.

Характеристика индуктивного датчика имеет вид (рис. 5).

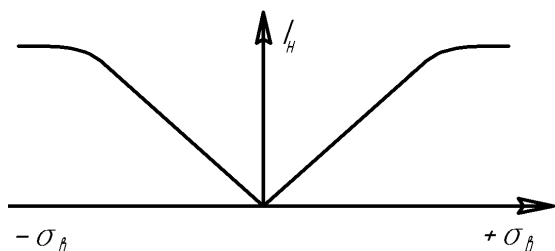


Рис. 5. Характеристика индуктивного датчика св

Полярность выходного тока остается неизменной независимо от знака измене-

ния полного сопротивления катушек. При изменении направления отклонения якоря от среднего положения меняется на противоположную (на 180°) фаза тока на выходе датчика. При использовании фазочувствительных выпрямительных схем можно получить индикацию направления перемещения якоря от среднего положения. Характеристика дифференциального индуктивного датчика с фильтром верхних частот (ФВЧ) имеет вид (рис. 6).

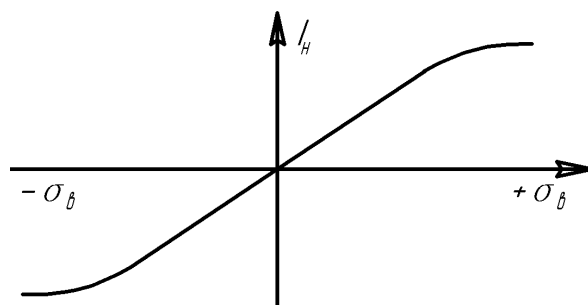


Рис. 6. Характеристика дифференциального индуктивного датчика с ФВЧ

Информативная способность индуктивного датчика в значительной мере определяется его погрешностью преобразования измеряемого параметра в обмотке якоря $L_{я}$.

Для локализации места, где изоляция имеет существенные отклонения диагностических параметров, измерительное напряжение подают на обмотку якоря по определенному алгоритму. Информацию получают с помощью индуктивного датчика уровня электромагнитного поля, который перемещается по окружности в непосредственной близости от пазов якоря (расстояние ограничено толщиной диэлектрической прокладки между датчиком и корпусом якоря).

Чтобы уровень испытательного напряжения не оказывал влияния на проведение измерений, используется мостовая схема.

Выводы

Таким образом, для определения степени нарушения изоляции секций якорных обмоток по предложенным методам, производится неразрушающий контроль состояния изоляции, а именно, определение места предполагаемого пробоя (разрушения) изоляции. Это позволит предотвратить возможность возникновения короткого замыкания, при эксплуатации тяговых электрических машин локомотивов.

Список литературы

1. Бессуднов Е. П. Обнаружение мест дефектов изоляции обмоток электрических машин постоянного тока /Е. П. Бессуднов – М.: Энергия, 1977. – 120 с.
2. Каминский М. Л. Проверка и испытание электрических машин /М. Л. Каминский – М.: Энергия, 1977. – 103 с.
3. Сахновский Н. Л. Испытание и проверка электрического оборудования /Н. Л. Сахновский – М.: Энергия, 1975. – 103 с.
4. Бажанов С. А. Профилактические испытания изоляции оборудования высокого напряжения /С. А. Бажанов, В. Ф. Воскресенский – М.: Энергия, 1977. – 288 с.
5. Гончаренко Г. М. Испытательные установки и измерительные устройства в лабораториях высокого напряжения /Г. М. Гончаренко – М.: Энергия, 1966 – 326 с.
6. Боднар Б. Є. Діагностування та прогнозування стану ізоляції обмоток тя-

гових електродвигунів локомотивів /Б. Є. Боднар, М. І. Капіца, В. М. Ляшук //Вісн. Східноукр. нац. ун-ту ім. В. Даля. – Луганськ, 2002. – № 6(52). – С. 21–25.

7. Ляшук В. Устройство для оценки состояния изоляции обмоток тяговых электродвигателей локомотивов /В. Ляшук, Я. Савич, М. Капица //Зб. наук. пр. Київ. ун-ту економіки і технологій трансп. Сер.: Транспортні системи і технології. – К.: КУЕТТ, 2003. – Вип. 1–2. – С. 72–79.

8. Капіца М. І. Як відмовитись від передчасного руйнування ізоляції тягових електричних машин локомотивів під час проведення випробувань /М. І. Капіца, В. М. Ляшук, Д. В. Бобир //Зб. наук. пр. Київ. ун-ту економіки і технологій трансп. Сер.: Транспортні системи і технології. – К.: КУЕТТ, 2006. – Вип. 9. – С. 69–77.

9. Капіца М. І. Неруйнівні методи контролю стану ізоляції електричних машин та високовольтних силових кабелів /М. І. Капіца, Д. В. Бобир //Зб. наук. пр. ДонІЗТ. – 2007. – Вип. 12. – С. 127–138.

Аннотации

В статье рассмотрены методы неразрушающего контроля состояния межвитковой изоляции якорных обмоток тяговых электрических машин локомотивов.

В статті розглянуто методи неруйнівного контролю стану міжвиткової ізоляції якірних обмоток тягових електричних машин локомотивів.

The article describes the methods of nondestructive testing of insulation armature windings of electrical machines traction locomotives.