

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕЖВИТКОВОГО ЗАМЫКАНИЯ В ОБМОТКАХ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ИОНИЗАЦИИ В ГАЗОВЫХ ВКЛЮЧЕНИЯХ

В. И. МЕРКУЛОВ, Ю. Н. ШУМИЛОВ, В. В. ХАМУЛЯК

(Представлена научным семинаром кафедры электроизоляционной
и кабельной техники)

При изготовлении литой эпоксидной изоляции в ней в силу ряда причин образуются газовые включения, микротрещины и другого рода дефекты. Такими причинами могут являться: нарушение технологического режима отверждения, усадка компаунда, образование микротрещин в результате термических напряжений и др. [1].

Изучение изделий и образцов из эпоксидного компаунда показывает, что распределение газовых включений в объеме изоляции носит случайный характер [2]. В связи с этим не исключена возможность появления таких включений на поверхности обмотки или между ее отдельными слоями. Можно предположить, что при приложении к главной изоляции трансформатора рабочего или испытательного напряжения в этих газовых включениях возникает ионизация, которая будет вызывать разрушение витковой изоляции, снижение ее сопротивления и может привести к короткому замыканию между соседними витками через искру частичного разряда и пониженное сопротивление витковой изоляции.

Для проверки этого предположения нами были проведены исследования по оценке влияния ионизации в газовых включениях на возможность межвиткового замыкания. В качестве образцов для исследования были изготовлены мотореты, имитирующие обмотку высоковольтного трансформатора. Конструкция моторета и схема его испытания показаны на рис. 1.

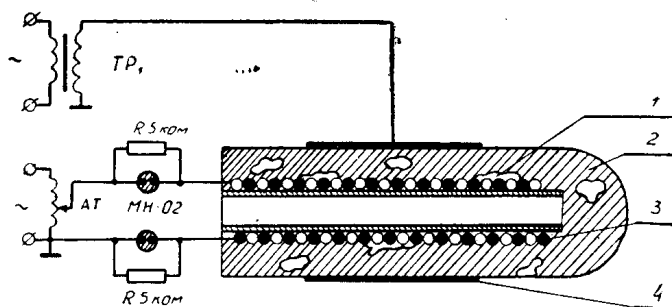


Рис. 1. Электрическая схема испытания моторетов на межвитковое замыкание: 1) воздушные поры; 2) литая эпоксидная изоляция толщиной 2,4 мм; 3) обмотка моторета; 4) высоковольтный электрод

В качестве главной изоляции 2 использовался эпоксидный компаунд ЭЗК-10, состав и технология изготовления которого описаны в [3]. Обмотка моторета изготовлялась укладкой в ряд двух проводников, не имеющих прямого электрического контакта между собой, параллельно друг другу (один проводник на рис. 1 закрашен). В качестве проводников для обмотки использовался провод марки ПЭВ диаметром 0,82 мм. Для регистрации межвиткового замыкания между этими проводниками прикладывалось напряжение 4—5 вольт, имитирующее индуцированное напряжение в обмотке высоковольтного трансформатора. Высокое напряжение с ТР₁ подводилось к изоляционному промежутку между высоковольтным электродом 4 и обмоткой моторета 3. Таким образом, конструкция моторета представляла собой модель главной и витковой изоляции высоковольтного трансформатора. При разрушении витковой изоляции между соседними проводниками возникало замыкание, которое фиксировалось зажиганием неоновых лампочек ТН-02.

Для проведения исследований нами были изготовлены две партии образцов. Первая партия из 17 образцов имела естественные воздушные включения, образующиеся в процессе заливки компаундом ЭЗК-10. Вторая партия из 15 образцов имела искусственные газовые включения, специально наносимые на поверхность обмотки моторета путем запекания капли клея БФ-2 перед заливкой компаундом. В большинстве случаев эти включения имели форму плоских воздушных пор размерами 2×3 мм и толщиной 0,5 мм.

Испытание образцов производилось на переменном напряжении частотой 400 гц при температуре 80°С и напряжении $U=24$ кв. Перед началом испытания у всех образцов производилось измерение напряжения начала ионизации — $U_{н.и}$. Результаты измерений $U_{н.и}$ показали, что для образцов второй партии с искусственными газовыми включениями напряжение начала ионизации составляет (2,2—5,1) кв, в то время как $U_{н.и}$ для образцов первой партии лежит в пределах (13,0—15,6) кв. При вскрытии образцов первой партии нами было установлено, что естественные воздушные включения, образующиеся в процессе заливки, имеют, как правило, или сферическую, или эллиптическую форму, тогда как искусственные поры были плоскими.

В связи с этим можно предположить, что более низкие значения напряжения начала ионизации для второй партии образцов обусловлены тем, что газовые включения были плоскими. Данные испытания образцов по межвитковому замыканию представлены в таблице.

Т а б л и ц а

Номер партии	Приложенное напряжение U , кв	Число испытанных образцов	Число образцов, для которых наблюдалось межвитковое замыкание	Число образцов, вышедших из строя в результате пробоя главной изоляции
I	24	17	3	14
II	24	15	11	4

Из таблицы видно, что из 17 испытанных образцов первой партии 14 образцов вышло из строя в результате пробоя главной изоляции. Для трех образцов этой партии было обнаружено межвитковое замыкание без разрушения главной изоляции. Вскрытие этих образцов показало, что на поверхности обмоток имелись воздушные включения. При этом в порах были обнаружены продукты разрушения изоляции, которые, по-видимому, и служили проводящим мостиком, перемикающим соседние витки обмотки между собой. Сопротивление этого слоя составляло величину

порядка 30—100 ом. В остальных 14 образцах воздушные включения были найдены только в объеме изоляции.

Для второй партии образцов, имеющих искусственные газовые поры на поверхности обмоток, из 15 испытанных образцов в результате межвиткового замыкания вышло из строя 10. Один образец пробился совместно с возникновением межвиткового замыкания и только 4 образца вышли из строя в результате разрушения главной изоляции. При вскрытии этих образцов было обнаружено, что искусственные газовые поры, нанесенные на поверхность обмотки перед заливкой, были разрушены и заполнены компаундом. Это показывает, что вероятность возникновения межвиткового замыкания в результате резкого снижения сопротивления межвитковой изоляции под действием ионизации в значительной степени зависит от расположения воздушных включений в объеме изоляции.

Учитывая, что в реальных конструкциях, для которых характерно случайное распределение воздушных включений, вероятности нахождения этих включений в объеме изоляции и на поверхности обмоток равноценны, то можно сказать, что межвитковое замыкание представляет собой большую опасность.

Таким образом, проведенные испытания по исследованию возможности межвиткового замыкания в обмотках высоковольтных трансформаторов показывают:

1. Ионизационные процессы в газовых полостях у обмотки трансформаторов являются одной из причин возникновения межвиткового замыкания.

2. Возникновение межвиткового замыкания, обусловленного ионизацией, определяется вероятностью нахождения воздушных включений на поверхности обмотки.

ЛИТЕРАТУРА

1. К. И. Черняк. Эпоксидные компаунды и их применение. Судпромгиз, 1967.
2. М. З. Гельман, Б. М. Рябов. Ионизационные характеристики полимеризованной изоляции. Труды ЛПИ, № 258, 1965.
3. К. И. Черняк. Неметаллические материалы в судовой электро- и радиотехнической аппаратуре. «Судостроение», 1970.