

Figure 3 – Operating mode execution algorithm

The operating mode includes transfer nails into the IMM zone according settings.

After the operating mode the controller checks for the system being in the initial setted state to continue performing in that mode.

Operating mode execution algorithm is shown on the Figure 3. Unlike general algorithm, this one demonstrates operating mode steps only.

The controller tells everything to go at a component mounting rate before the terminal switches to position «2». This is for rate matching. After that, the motion takes a component insert rate value.

If the terminal is switched to «3» position, the controller generates a component transfer cycle. Which means components transfer to the IMM zone.

All components have to be placed into right appropriate places at the zone. When everything is correct, the controller tells the system to start retraction at a transfer component rate. It continues until the terminal position is «1». It means that every component is in the IMM zone now.

#### References

1. Douglas M. Plastic Injection Molding: Manufacturing Process Fundamentals / M. Douglas. – SME, 1996.

УДК 621.313

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ СПЕКТРА НАМАГНИЧИВАЮЩЕГО ТОКА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН ПРИ ДЕФЕКТАХ В ОБМОТКАХ

Исаев А.В., Зеленко В.В., Сизиков С.В.

Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

Одной из наиболее важных проблем современной электротехники является своевременное определение и диагностика неисправностей в электрических машинах – трансформаторах, двигателях постоянного и переменного тока. Одной из основных неисправностей, на долю которой выпадает до 90 % от всех – это межвитковые замыкания. Природа этих неисправностей может быть различной, но итог, как правило, один – выход из строя как самой электрической машины, так и всей системы, частью которой она является. По этому, задачей современной электротехники, является своевременная диагностика электрических машин, в том числе и трансформаторов, и выявление образующих дефектов на максимально ранних стадиях. И одним из таких подходов является фиксирование активного сопротивления в обмотках при работе трансформатора в режиме холостого хода.

Для проведения испытаний была сформирована электрическая схема измерительного стенда (рисунок 1) с возможностью как отображения получаемых характеристик, так и снятия параметров каждой измеряемой дискретной точки с возмож-

ностью дальнейшей обработки полученных результатов с помощью компьютерных технологий.

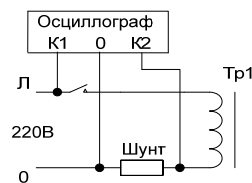


Рисунок 1 – Электрическая схема стенда имитации уменьшения межвитковых сопротивлений

Результаты измерений представлены на рисунках 2 и 3. Где первый канал отображает прикладываемое синусоидальное напряжение, а на втором канале снимается кривая тока первичной обмотки.

Представленные характеристики показывают, что при отсутствии межвитковых замыканий действующее значение первой гармоники гораздо меньше действующего значения высших гармоник. А в случае появления межвитковых замыканий резко увеличивается действующее значение первой при неизменном действующем значении высших гармоник.

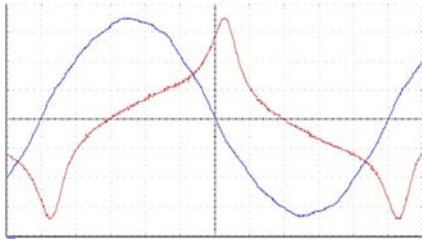


Рисунок 2 – Кривая режима холостого хода

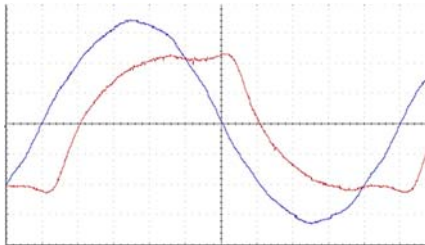


Рисунок 3 – Кривая тока первичной обмотки при витковом замыкании через сопротивление 10 Ом

Согласно полученной характеристики трансформатора, работающего на холостом ходу, оценим значения начальных фаз высших гармоник составляющих намагничивающего тока трансформатора. Анализ кривой (рисунок 4) показывает, что в ее форме можно выделить несколько характерных точек:

- точка 1 – значение кривой тока в момент времени  $t = t_0$ ;
- точка 2 – значение кривой тока в момент времени  $t = t_m$ ;
- точка 3 – значение кривой тока в момент времени  $t = 0$ .

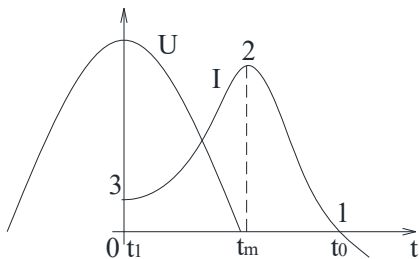


Рисунок 4 – Анализируемая кривая намагничивающего тока трансформатора

Согласно представлению Фурье в тригонометрической форме где кривая может быть описана в виде:

$$\sum_{n=1}^{\infty} I_{mn} \sin(n\omega t_0 + \varphi_n) = 0$$

Представленная характеристика может быть описана системой:

$$\begin{cases} \sum_{n=1}^{\infty} I_{mn} \sin(n\omega t_0 + \varphi_n) = 0 \\ \sum_{n=1}^{\infty} n I_{mn} \cos(n\omega t_m + \varphi_n) = 0 \\ \sum_{n=1}^{\infty} n^2 I_{mn} \sin(\varphi_n) = 0 \end{cases}$$

Решение представленной системы имеет следующий вид:

$$f_i(k) = \frac{\sin(f_{i1}) (2 \sin(k\omega_m t_0) \cos(\omega_m t_m + f_{i1}) - k \cos(k\omega_m t_m) \sin(\omega_m t_0 + f_{i1}))}{k^2 \cos(\omega_m t_m + f_{i1}) \sin(\omega_m t_0 + f_{i1}) - k \sin(f_{i1}) \sin(\omega_m t_0 + f_{i1}) - 2 \sin(f_{i1}) \cos(\omega_m t_m + f_{i1})} + 3,1428 \frac{1 + (-1)^{\frac{k+1}{2}}}{2}$$

Учитывая, что параметры первой гармоники (амплитуду и сдвиг фаз) с помощью инструментальных средств можно определить с достаточно большой точностью, параметры остальных можно получить, решив полученное итоговое уравнение. Что и было подтверждено посредством программного обеспечения Mathcad (рисунок 5).

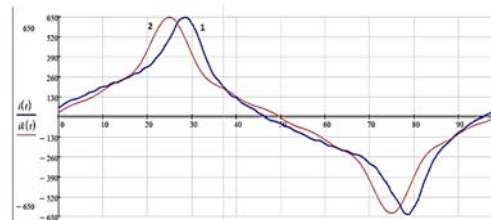


Рисунок 5 – Результаты исследования зависимости намагничивающего тока трансформатора, работающего на холостом ходу:

1 – характеристика, полученная на измерительном приборе; 2 – характеристика, рассчитанная посредством программного обеспечения Mathcad (7 гармоник)

### Литература

1. Гольдберг О.Д. Испытания электрических машин. Учеб для вузов по спец. «Электромеханика». М.: Высш. шк., 1990. – 255 с.:ил.
2. Гемке Р.Г. Неисправности электрических машин / Под ред. Р.Б. Уманцева. – 9-е изд., перераб. и доп. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1989. – 336 с.
3. Патент на изобретение №16628. Способ контроля витковой изоляции обмотки якоря электрической машины. Выданный национальным центром интеллектуальной собственности в соответствии с Законом Республики Беларусь. Заявка №20101783 от 2010.12.10
4. Патент на изобретение №20042. Способ контроля фазных обмоток трехфазной электрической машины. Выданный национальным центром интеллектуальной собственности в соответствии с Законом Республики Беларусь. Заявка №20130998 от 19.08.2013.