

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ШИХТОВАННЫХ МАГНИТОПРОВОДОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН ПО ФАКТИЧЕСКОМУ СОСТОЯНИЮ

Михаил Мыслович¹, Вадим Чумак, Евгений Укотич²

¹Институт электродинамики НАН Украины

Проспект Победы 56 Киев, Украина. E-mail: mmysl@mail.ru

²Национальный технический университет Украины "КПИ"

Ул. Политехническая 37К, Киев, Украина. E-mail: chumack_kpi@ukr.net

Michael Myslovich¹, Vadim Chumack, Yevhen Ukotych²,

¹Institute of Electrodynamics National Academy of Sciences of Ukraine

Victory Avenue 56 Kyiv, Ukraine. E-mail: mmysl@mail.ru

²National technical university of Ukraine "KPI"

Str. Polytechnique 37K, Kyiv, Ukraine. E-mail: chumack_kpi@ukr.net

Аннотация. В данной работе рассмотрена проблема оценки качества активных частей электрических машин, в частности шихтованных магнитопроводов. Определены существенные диагностические показатели фактического состояния наборного сердечника, а именно удельные потери при перемагничивании и ослабление прессовки пакета, связанные с повышением потерь, снижением КПД, нарушением теплового режима и др. Предложена гибридная модель диагностической системы, включающей вибродиагностический модуль для оценки степени ослабления прессовки пакета и индукционно-измерительный модуль для определения уровня нарушения межлистовой изоляции и роста потерь в сердечнике. Рекомендуется при роспуске для магнитопроводов небольшого размера пропитывавшие клеем лаком ослабленной области и дальнейшая сушка при сжатом сердечнике. Также для сердечников небольшого диаметра между нажимной шайбой и крайними листами сердечника через каждые 2 ... 4 зубца забить текстолитовые клинья. При ослаблении прессования сердечников крупных электрических машин, в которых прессовка осуществляется стяжными шпильками, выполняют подтяжку шпилек.

Ключевые слова. Шихтованный магнитопровод, удельные потери, ослабление прессовки, межлистовая изоляция, вибродиагностический модуль, индукционно-измерительный модуль.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Проблема оценки качества шихтованных сердечников электрических машин является актуальной задачей, поскольку существующие методы объективной оценки фактического состояния несовершенны и трудоемки. Во-первых это касается определения удельных потерь на перемагничивание, которые дают информацию об общем состоянии магнитопровода, наибольшей составляющей является доля потерь на вихревые

токи, обусловленной нарушением межлистовой изоляции.

С другой стороны весомой характеристикой качества шихтованных сердечников является состояние прессовки магнитопровода. Ослабление прессовки вызывает такие негативные явления как повышенная вибрация, нагрев магнитопровода и обмоток, что может привести к серьезным неполадкам и в дальнейшем к аварийному выходу из строя электрической машины.

Одновременная проверка прессовки наборного пакета и качества межлистовой изоляции является сложной задачей, поскольку при ослаблении прессовки одновременно уменьшается соприкосновение отдельных листов сердечника между собой, что уменьшает паразитные контуры вихревых токов через каналы повышенной проводимости в местах с нарушенной изоляцией. Таким образом, требования касающиеся комплексной оценки качества магнитопровода противоречивы.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Рассмотрению современных методов вибрационной диагностики различных видов оборудования посвящено значительное количество работ [1]. Среди них можно выделить две группы методов, основанных на принципиально разных подходах: детерминированном и статистическом [2,3]. Удельные потери в магнитопроводе является важным показателем. Рост магнитных потерь обусловлен в первую очередь ростом паразитных вихревых токов вследствие нарушения межлистовой изоляции, ослабление прессовки вызывает такие негативные явления как повышение вибраций отдельных узлов и машины в целом [1].

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Задачей работы является совмещения двух методов тестовой диагностики: ударной диагностики

и диагностики с использованием индукционных методов.

Следует отметить, что одновременное обнаружение дефектов межлистовой изоляции и оценка ослабления прессовки пакета является сложной задачей. Ослабление прессовки увеличивает расстояние между листами магнитопровода и уменьшает поверхность соприкосновения между листами пакета. Однако, в эксплуатационном режиме вследствие вибрационных сил интенсивность соприкосновений отдельных листов будет пропорциональна частоте перемагничивания и вихревые токи будут проявляться при работе машины (например 50 Hz), хотя они не будут обнаружены тестовыми методами диагностики в разобранном состоянии машины.

ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

Описание диагностики с использованием индукционного метода

Принцип метода заключается в реакции измерительной катушки на величину и фазу вихревых токов, возникающих в металлическом изделии (сердечнике) при помещении его (или его части) в переменное магнитное поле. Возбуждающая и измеряющая катушка могут быть разделены, или это может быть одна и та же катушка [5].

При гармоничном, или импульсном воздействии на контролируемую систему для получения результатов требуется по каждой гармонике замеры фазовых сдвигов, то есть обработка сигналов напряжения, тока и мощности, что затрудняет операцию контроля. В силу указанных трудностей при прямом измерении потерь перспективной является попытка найти физическую величину, которая может быть использована как информационный сигнал. Так как при нарушении межлистовой изоляции [4] в первую очередь растут вихревые токи в магнитопроводе, то искомый сигнал должен характеризовать интенсивность вихревых токов по дефектным контурам.

Было предложено использовать анализ переходного процесса при изменении магнитного потока в магнитопроводе. Для упрощения измерительной схемы было предложено использовать процесс коммутации тока в возбуждающей обмотке.

Замыкания листов сердечника между собой в результате различного рода повреждений межлистовой изоляции создает "частичный эффект массивного магнитопровода". Этот эффект проявляется в том, что в сердечнике, собранном из отдельных листов без достаточной изоляции между ними появляются дополнительные вихревые токи, которые замыкаются по дефектным контурам.

Итак, показателем качества набранного сердечника может служить оценка влияния паразитных контуров вихревых токов на степень приближения шихтованного магнитопровода к массивному во всем объеме испытуемого сердечника или в его отдельных частях.

Поставленная цель достигается тем, что в магнитопроводе или в его части с помощью

возбуждающей обмотки по которой течет постоянный или переменный ток низкой частоты, создается начальный магнитный поток, при достижении потока установившегося значения ток в обмотке возбуждения срезается. При срезе тока начинает затухать магнитный поток Φ . Однако скорость затухания магнитного потока $d\Phi/dt$ меньше скорости затухания тока возбуждения di/dt , за счет того, что магнитный поток некоторое время после затухания тока возбуждения поддерживается вихревыми токами в магнитопроводе [7]. Вихревые токи в каждом листе пакета затухают с постоянной времени, которая зависит от свойств материала сердечника, и пропорциональна квадрату толщины листов:

$$T = \frac{\mu_0 \mu d^2 \gamma}{4\pi^2}, \quad (1)$$

где: μ_0 - магнитная постоянная; μ - магнитная проницаемость материала сердечника; γ - удельная электропроводность материала сердечника; d - толщина листа.

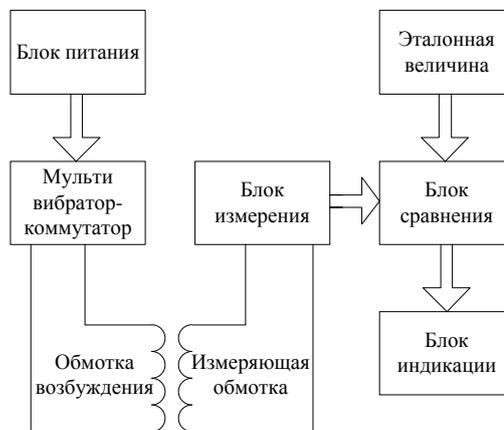


Рис. 1. Блок-схема индукционно-измерительной схемы

Fig. 1. Flowchart of an inductive metering circuit

Параметры переходного процесса будут определяться начальным магнитным потоком (его величиной), который создается током возбуждения, временем коммутации тока возбуждения, демпфирующим действием вихревых токов в каждом листе, а также демпфирующим действием паразитных контуров вихревых токов.

Затухание магнитного потока будет происходить примерно экспоненциально. Идеальный случай, когда происходит мгновенная коммутация тока возбуждения $T_k = 0$:

$$\Phi \approx \Phi_0 e^{-t/T}, \quad (2)$$

где: Φ_0 - начальное значение потока.

Наличие электрической связи между пластинами вследствие нарушения изоляции создает дополнительный контур вихревых токов, что приведет к росту постоянной времени затухания потока T в магнитопроводе.

Изменение магнитного потока приводит к возникновению во всех витках, сцепленных с контуром намагничивания ЭДС, которая определяется законом изменения потока: $e = -\frac{d\Phi}{dt} = \frac{\Phi_0}{T} e^{-t/T}$.

Очевидно, что увеличение постоянной времени затухания изменит форму кривой ЭДС наводимой в обмотке. С физической точки зрения, в основу данного способа положена оценка уровня инерционности изменения потока в исследуемом магнитопроводе в отличие от способов, основанных на измеряемые потери в стали.

Было опробовано два магнитопровода без обмотки (статор от двигателя 4A100L6У3 и 4A71В4У3). Были определены удельные потери нормативными методами [9]. Удельные потери при индукции 1 Тл в спинке статора, составили соответственно 3,13 Вт / кг и 6,6 Вт / кг. Повышенные потери были зафиксированы для второго статора, которые превосходят допустимые потери примерно вдвое. Проведенные испытания включали определение постоянной затухания вихревых токов, которая связана с потерями в магнитопроводе. Для первого случая эта постоянная времени составляет около 50 мкс, что соответствует удельным потерям в пределах 2,8-3,2 Вт / кг, для второго случая соответственно 100 мкс и 6,4-6,8 Вт / кг [7]. Начало импульсного воздействия синхронизируется в соответствии с базой данных для магнитопроводов различной геометрии и конфигурации в блоке информационно-измерительной системы (ИИС) ударной диагностики (УД).

Расчет переходного процесса.

Рассмотрим математическую модель переходного процесса при коммутации тока [8]. Действующее значение ЭДС, приводится в контуре

$$E_x = \pi\sqrt{2}fBq_x = 2\pi\sqrt{2}fB\frac{h}{b}x^2. \quad (3)$$

Ток в контуре на единицу длины листа

$$\Delta i_x = jx\Delta x \cdot 1 = \frac{e_x}{\Delta r_x} = 2\pi\sqrt{2}fB\gamma_{cm}\Delta x = k_i x\Delta x, \quad (4)$$

где: $k_i = 2\sqrt{2}\pi f$,

γ_{cm} – удельная электропроводность стали сердечника.

Магнитная напряженность и индукция:

$$H_x = \int_0^x dx_i = k_i \frac{x^2}{2} + C, \quad (5)$$

$$B_x = k_i \mu \left(\frac{b^2}{2} - \frac{x^2}{2} \right). \quad (6)$$

Созданное вторичное магнитное поле при гармоничном внешнем поле, сдвинутое по фазе на 90° сравнительно слабо влияет на суммарное поле, но создает свои ЭДС и токи:

$$e_{2x} = \pi\sqrt{2}f\Phi_{2x}, \quad (7)$$

$$i_{2x} = j_{2x}\Delta x = \frac{e_{2x}}{\Delta r_x} = k_i \mu \frac{h}{b} \left(\frac{b^2 x^2}{4} - \frac{x^3}{8} \right). \quad (8)$$

Магнитный поток в элементарном контуре:

$$\Phi_{2x} = \int_0^x d\Phi_x = k_i \mu \frac{h}{b} \left(\frac{b^2 x^2}{4} - \frac{x^4}{8} \right). \quad (9)$$

ЭДС и магнитная напряженность элементарного контура:

$$e_{2x} = \pi\sqrt{2}f k_i \mu \frac{h}{b} \left(\frac{b^2 x^2}{4} - \frac{x^2}{8} \right), \quad (10)$$

$$H_{2x} = \int_0^x j_{2x} dx = k_i^2 \mu \left(\frac{b^2 x^2}{8} - \frac{x^4}{32} \right) + C. \quad (11)$$

Суммарная индукция:

$$B_{\Sigma} = B_0 - k_i^2 \mu^2 \left(\frac{3b^4}{32} - \frac{b^2 x^2}{8} - \frac{x^2}{32} \right). \quad (12)$$

Общее выражение исходного поля можно представить в виде гармонического ряда:

$$H = \sum_{k=1} H_{km} \sin(k\omega t + \psi). \quad (13)$$

Приведение решения к гармоническому ряду.

Коммутацию тока в обмотке возбуждения принимаем мгновенной. Магнитная проницаемость принимаем постоянной:

$$\text{rot rot } B = -\mu \gamma \frac{dB}{dt}. \quad (14)$$

Для прямоугольного сечения:

$$\frac{d^2 B}{dt^2} + \frac{d^2 B}{dy^2} = \mu \gamma \frac{dB}{dt}. \quad (15)$$

При коммутации возникает переходный процесс. Так как по рассуждению симметрии зависимость магнитной индукции в направлении осей x и y должны быть четной функцией, можно предположить, что решение имеет вид:

$$B = B_0 \cos \alpha x \cos \beta y \cdot e^{-t/T}, \quad (16)$$

где: T – постоянная времени.

После подстановки (12) в (11) получим условие, которое связывает до сих пор независимые величины: α , β и T ,

$$\alpha^2 + \beta^2 = \frac{\mu \gamma}{T}. \quad (17)$$

После отключения цепи магнитная индукция на грани сечения сердечника мгновенно уменьшается до 0. Поэтому для $t = 0$, $x = \pm \frac{a}{2}$, $y = \frac{b}{2}$ получим:

$$B_0 \cos \alpha \frac{a}{2} \cos \beta \frac{b}{2} = 0. \quad (18)$$

Тогда из (13) для постоянной времени получим выражение:

$$t_{n,m} = \frac{\mu \gamma}{\left(\frac{2n+1}{a} \pi \right)^2 + \left(\frac{2m+1}{b} \pi \right)^2}. \quad (19)$$

Полное решение определяется бигармоническим рядом

$$B = \sum_n \sum_m B_{n,m} \cos(2n+1) \frac{\pi x}{a} \times \cos(2m+1) \frac{\pi y}{b} e^{-\frac{t}{t_{n,m}}}. \quad (20)$$

При этом каждая гармоника имеет свою собственную амплитуду $B_{n,m}$. Амплитуды можно определить из начальных условий коммутации.

Это справедливо для установившегося режима, соответствующего функции, которая имеет единичное значение в интервале $|x| < a$, $|y| < b$ с известным разложением в ряд Фурье. Данные для расчета магнитопроводов 4A100L6У3 и 4A71В4У3 – поперечное сечение 0,001320 м² и 0,000825 м², длина средней магнитной линии 0,4932 м и 0,3298 м, сталь 2013:

$$f(x, y) = \frac{16}{\pi^2} \left(\cos \frac{\pi}{2a} x - \frac{1}{3} \cos \frac{3\pi}{2a} x + \frac{1}{5} \cos \frac{5\pi}{2a} x - \dots \right) \times \left(\cos \frac{\pi}{2b} y - \frac{1}{3} \cos \frac{3\pi}{2b} y + \frac{1}{5} \cos \frac{5\pi}{2b} y - \dots \right) = \frac{16}{\pi^2} \sum_{p,r} \left(\frac{(-1)^p (-1)^r}{2p-1 2r-1} \cos \frac{(2p-1)\pi}{2a} x \cos \frac{(2r-1)\pi}{2b} y \right) = 1. \quad (21)$$

Переходим к закону затухания магнитного потока в магнитопроводе. Значение потока определяется как интеграл магнитной индукции по всему сечению стержня:

$$\Phi = 4\mu \mu_0 \int_0^a \int_0^b H dx dy. \quad (22)$$

Следует определить отношение текущего значения магнитного потока к потоку в установившемся режиме (Φ_0), очевидно, что последний:

$$\Phi_0 = 4\mu \mu_0 a b H_0. \quad (23)$$

Подставляя найденные значения H_0 в (18) и выполнив интегрирование получим:

$$\frac{\Phi}{\Phi_0} = \frac{64}{\pi^4} \sum_{p,r} \frac{1}{(2p-1)^2(2r-1)^2} \times \exp\left[-\pi^2 \frac{(2p-1)^2/a^2 + (2r-1)^2/b^2}{4\mu_0\gamma} t\right]. \quad (24)$$

В последнем равенстве знак двойной суммы показывает, что суммирование происходит по всем значениям $p = 1, 2, 3 \dots$ для $r = 1,$ затем для $r = 2, r = 3$ и так далее. p и r - члены ряда Фурье.

При $t = 0$ показательная функция превращается в единицу. при этом:

$$\sum_{p,r} \frac{1}{(2p-1)^2(2r-1)^2} = \frac{\pi^4}{64}, \quad (25)$$

соответственно $\frac{\Phi}{\Phi_0} = 1$ при $t=0$.

Вводим новые величин:

$$k = \frac{b}{a}, \quad \theta = \frac{\pi^2 t}{4b^2\sigma\mu_0}. \quad (26)$$

Закон уменьшения магнитного потока:

$$\frac{\Phi}{\Phi_0} = \frac{64}{\pi^4} \sum_{p,r} \frac{\exp\{-[(-2p-1)^2 k^2 + (2r-1)^2]\theta\}}{(2p-1)^2(2r-1)^2}. \quad (27)$$

Таблица 1. Результаты вычисления.

Table 1. The results of calculation of attenuation.

Магнитопровод	Установившийся магнитный поток (относительное значение)	Максимальная ЭДС (относительное значение)	Усредненная постоянная времени затухания потока, мкс	Усредненная постоянная времени затухания ЭДС, мкс
4A100L 6У3	1,0	1,0	130	44
4A71B4 У3	1,0	1,0	180	73

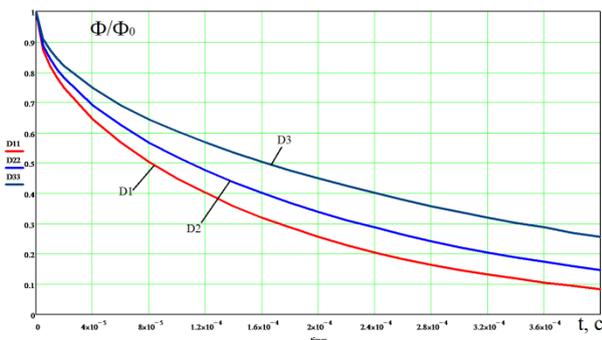


Рис. 2. Расчетные кривые затухания магнитного потока для сердечников: D1 - нормальный магнитопровод, D2 - дефектный, D3 – аварийный

Fig. 2. Curve attenuations of a magnetic flux for cores are calculated: D1 - a normal magnetic circuit, D2 - the defect, D3 - the emergency

Описание метода ударной диагностики.

Суть ударной вибродиагностики состоит в возбуждении вибраций в исследуемом узле с помощью внешнего ударного импульса и в дальнейшем измерении и анализе полученного отклика. При этом спектр отклика определяется, в основном, резонансными свойствами объекта исследований, тогда как спектр вибраций, измеряемых при функциональной вибродиагностике, зависит от режима работы исследуемого оборудования в данный момент времени и может содержать сильные дополнительные частотные составляющие, которые не связаны с техническими характеристиками самого объекта исследований. Таким образом, основным преимуществом ударной диагностики является то, что она дает возможность определить основные резонансные характеристики исследуемого узла.

В настоящее время существуют системы ударной вибродиагностики, предназначенные для диагностирования различных узлов промышленного оборудования, причем в основу подавляющего большинства таких систем положен детерминированный подход.

Под детерминированной системой подразумевается, что диагностическая система ориентирована на получение характеристик диагностических сигналов в предположении, что как влияние так и его отклик является детерминированными сигналами. Но как показало исследование реальных ударных вибраций, все они носят стохастический характер в силу своей природы. В этом случае для получения точных и достоверных оценок наиболее эффективно применение стохастических методов, которые положены в основу измерения диагностических сигналов.

В качестве объекта исследования использовался макет шихтованного магнитопровода (рис.3), что представляет собой наборный пакет листов магнитной стали, используемой в магнитопроводах сухих трансформаторов малой и средней мощности. С помощью двух шпилек, изготовленных из немагнитного материала, можно регулировать степень прессования пластин, моделируя таким образом различные технические состояния магнитопровода.

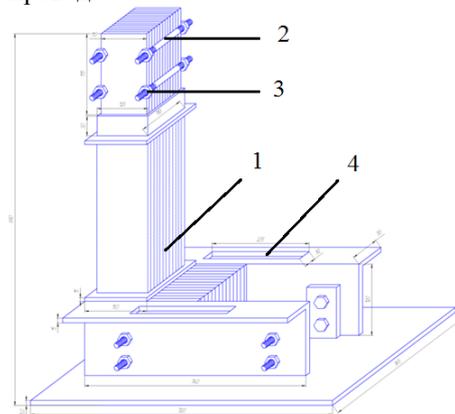


Рис. 3. Макет шихтованного магнитопровода
Fig. 3. Model of stamping magnetic core

Результаты проведенных экспериментов по диагностике степени прессовки шихтованной магнитопровода приведены ниже.

Прессование пластин магнитопровода 1 осуществлялась с помощью шпилек 2, затяжка которых проводилась динамометрическим ключом. Вибрационная волна возбуждалась ударным молотком (рисунок 6) в теле шихтованного магнитопровода и измерялась с помощью акселерометра типа АВС-017, который устанавливался на исследуемом магнитопроводе с помощью специального воска.

Эксперимент по диагностированию состояния прессования пластин магнитопровода осуществлялся следующим образом. С помощью зажимных гаек 3, установленных на шпильках 2, с силой $30 \text{ Н} \cdot \text{м}$ сжимался пакет пластин магнитопровода. Затем включался и настраивался лабораторный образец ИИС УД. После настройки макета в направлении, перпендикулярном плоскости пластин, проводился удар, который вызывал вибрации магнитопровода. Замер вибрационного сигнала осуществлялся акселерометром, закрепленным на противоположном торце магнитопровода.

После этого полностью отпускаясь гайки шпилек, которыми были стянуты пластины шихтованного магнитопровода, и повторялся эксперимент, аналогичный описанному. На рис.4 представлены спектрограммы, измеренные на шихтованном магнитопроводе, зажато с силой $30 \text{ Н} \cdot \text{м}$ (рис. 4, а), и в случае, когда зажимные гайки полностью ослаблены (рис.4, б)

Частота дискретизации составляла 50 кГц , то есть представленные на рис. 4 спектрограммы содержат информацию о частотах анализируемого сигнала в полосе с верхней граничной частотой 25 кГц .

На рис. 4 (а) видно, что для зажато магнитопровода основная частота вибраций наблюдается в области 600 Гц . Отмечены также менее интенсивные составляющие в области 2300 и 5400 Гц .

При снятии стягивающего усилия в спектрограмме вибраций шихтованного магнитопровода кроме основной частоты в области 600 Гц отмечены многочисленные интенсивные частотные составляющие в полосе частот до 15 кГц .

Ниже приведена структурная схема ИИС УД частота дискретизации составляла 50 кГц , тобто представленные на рис. 4 спектрограммы содержат информацию про частоты анализируемого сигнала в полосе с верхней граничной частотой 25 кГц .

На рис. 4 (а) видно, что для зажато магнитопровода основная частота вибраций наблюдается в области 600 Гц . Отмечены также менее интенсивные составляющие в области 2300 и 5400 Гц .

При снятии стягивающего усилия в спектрограмме вибраций шихтованного магнитопровода кроме основной частоты в области 600 Гц отмечены многочисленные интенсивные частотные составляющие в полосе частот до 15 кГц .

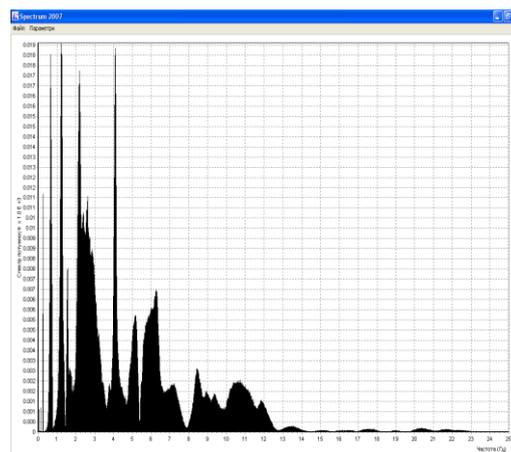
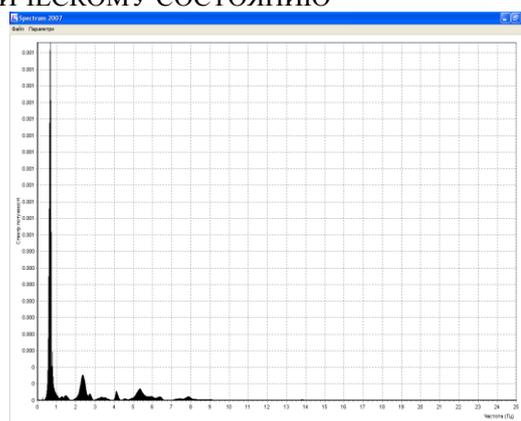


Рис. 4 Спектрограммы, измеренные на шихтованном магнитопроводе: а) магнитопровод сжат; б) магнитопровод ослаблен

Fig.4. The spectrograms measured on stamping magnetic core: a) the magnetic circuit is clamped; b) the magnetic circuit is weakened

Ниже приведена структурная схема информационно-измерительной системы ударной вибродиагностики.

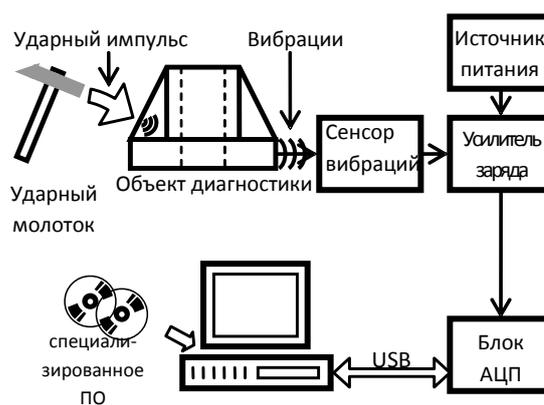


Рис. 5. Структурная схема лабораторного образца ИИС вибродиагностики массивных узлов электротехнического оборудования

Fig. 5. Block scheme of a laboratory exemplar of IVS of vibration diagnostics of large clusters of potent electrotechnical equipment

Для того, чтобы совместить два метода была разработана установка, которая позволяет одновременно проверять качество прессовки и качество межлистовой изоляции. Приведенный спектр механических колебаний показывает, что наиболее информативные зоны находятся в диапазоне 500-700 Гц. Необходимо, чтобы инициированный электромагнитный процесс коммутации тока в области возбуждения был синхронизирован с началом механического воздействия.

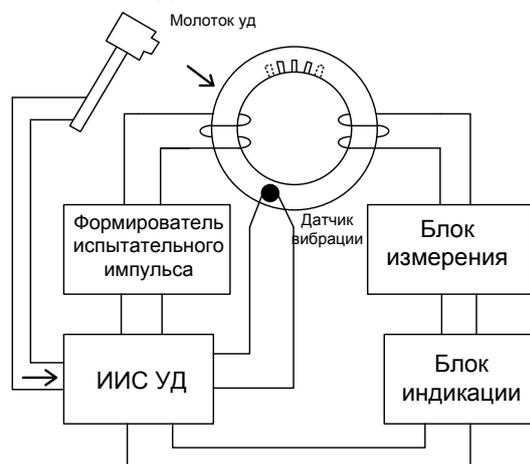


Рис. 6. Блок-схема системы совместной диагностики качества межлистовой изоляции и степени прессовки магнитопровода

Fig. 6. The flowchart of system of collateral diagnostics of quality between sheet isolation and extent of pressing of a magnetic circuit

ВЫВОДЫ

При совместном действии вибрационного и импульсного электромагнитного воздействия получены следующие результаты:

1) В случае качественной межлистовой изоляции и качественной прессовки постоянная времени затухания вихревых токов остается неизменной около 50 мкс, что соответствует нормальным удельным потерям 2,8-3,2 Вт / кг. Магнитопровод пригоден для эксплуатации.

2) В случае качественной изоляции и при ослабленной прессовке постоянная времени затухания вихревых токов остается относительно постоянной 50-60 мкс, что соответствует удельным потерям 2,8-4 Вт / кг. Количество резонансных пиков возрастает до трех и более. Магнитопровод требует технологических операций по устранению чрезмерного распушения.

3) В случае существенно нарушенной изоляции и одновременном распушении магнитопровода, постоянная времени затухания вихревых токов составляет 130 мкс, что соответствует удельным потерям 8-10 Вт / кг. При отсутствии механического ударного воздействия постоянная времени затухания вихревых токов составляет 80 мкс. Магнитопровод не пригоден для эксплуатации.

Рекомендуется при распушении для магнитопроводов небольшого размера пропитывавние клейким лаком ослабленной области и дальнейшая сушка при сжатом сердечнике. Также для

сердечников небольшого диаметра между нажимной шайбой и крайними листами сердечника через каждые 2 ... 4 зубца забить текстолитовые клинья. При ослаблении прессования сердечников крупных электрических машин, в которых прессовка осуществляется стяжными шпильками, выполняют подтяжку шпилек.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Абдул-Заде Е.А., Давидов В.Ф., Rogozинский Т.С., Талишинский Р.И. 1977.** Дополнительные потери от несовершенства межлистовой изоляции в магнитопроводах асинхронных двигателей // *Электротехника*, М. 26-28.
2. **Андрусенко Ю.А., Мыслович М.В. 2002.** Модели динамики работы ветроагрегата при воздействии ветрового потока и их использование в информационно-измерительных системах диагностики // *Техн. электродинамика. Тем. вып. "Проблемы современной электротехники"*. Ч. 4. 71 – 76. (Украина).
3. **Балицкий Ф.Я., Генкин М.Д., Иванова М.А., Соколова А.Г., Хомяков Е.И. 1990.** Современные методы и средства вибрационной диагностики машин и конструкций (Научно-технический прогресс в машиностроении. Вып. 25) / *Междунар. центр науч. и техн. информации. Ин-т машиноведения им. АА Благоднарова АН СССР*. М. 115.
4. **Волосюк В.М., Зубарь Г.П., Кляцкий Г.М. 1974.** Применение новых полиэфирных лаков для изоляции листов магнитопроводов // *Электротехника*. № 9. 34-36.
5. **Ламмкракер Й., Штафль М. 1967.** Вихревые токи. М. Л.: Энергия. 208.
6. **Таран В.П. 1983.** Диагностирование электрооборудования. К. : Техника. 200. (Украина).
7. **Фадеев В.А., Шелехов В.В., Днепровский В.С. 1982.** Исследование потерь в стали сердечника статора / *Депонир. рукопись. Томск: Информэлектро, № 175. 10.* (Украина).
8. **Чумак В.В. 1992.** Индукционные методы контроля активных частей электрических машин: Автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.09.01./ К.18.
9. **ГОСТ 12119.4-98** Сталь электротехническая. Методы определения магнитных и электрических свойств.
10. **С. М. Harris 2010.** (ed), *Shock and Vibration Handbook*, 6th edition, McGraw-Hill, New York, – 1199 p. – ISBN: 978-0-07-163343-7.
11. **Фукс Г.И., Кутейникова З.А. 1984.** Поверхностные явления и надежность узлов трения механизмов приборов. / *Кн. Надежность и долговечность*. - М. Машиностроение. 180.
12. *Научно-технический отчет. № 299 Исследование надежности ТЭМГП-ЗПБ и ЭД-107 тепловозов 2ТЭЮЛ и разработка мероприятий по ее повышению.* Ташкент. 1974. 120.
13. **Рыженская В.М. 1978.** Методы оценки надежности электромашинных преобразователей

средней мощности / Труды ВНИИЭМ, вып. 55.
М. 109-116.

14. **Исаев И.П. 1968.** Надежность локомотивов (лекция). М.Ред.-изд. Совет. МИИТ. 50.
15. **Кузнецов Н.Л. 2008.** Сборник задач по надёжности электрических машин. Издательский дом. М. 400.
16. **Журков С.Н., Аббасов С.А. 1962.** Связь между механической прочностью и термической, деструкцией- полимеров. Высокомолекулярные соединения. №11. 14-28.
17. **Нечипоренко В.И. 1977.** Структурный анализ систем. М. Советское радио. 214.
18. **Растунин Д.В., Майоров О.В., Рюмин Е.В. 2010.** Формирование аналитических моделей надёжности коллектора электрической машины в системах электроснабжения. «Известия ВУЗов. Проблемы энергетики», №1- 2, Казань, 154-157.
19. **Идиятуллин Р.Г. 1987.** Надежность тяговых электрических машин. Ташкент «МехНАТ». 152.
20. **Идиятуллин Р.Г., Растунин Д.В., Майоров О.В., Рюмин Е.В. 2009.** Моделирование нагрузок силового электрооборудования с использованием методов теории вероятностей и математической статистики. «Вестник КГЭУ». № 2, Казань, 33-37.

ESTIMATION PROCEDURE FOR QUALITY LAMINATED MAGNETIC CIRCUIT ELECTRIC MACHINE AS THE ACTUAL STATE

Summary. In this paper the problem of assessing the quality of active parts of electrical machines including stamping magnetic core. Were identified essential diagnostic indicators of the actual state of stamping core, such as specific losses in magnetization and of extent of weakening of pressing of a package associated with increased losses, lower efficiency, violation of the thermal regime and more. A hybrid model diagnostic system that includes vibro diagnostic module for measuring the extent of weakening of pressing of a package and induction measuring module for the evaluation of the degree of insulation between the sheet and the related growth of losses in the core. It recommended for rospushenii magnetic cores for small propityvavnie sticky varnish weakened area and further drying with compressed core. Also for cores of small diameter between the pressure plate and extreme core sheets every 2 ... 4 wave score textolite wedges. With the weakening of compression cores of large electric machines, in which the compact is carried out tie rod, perform tightening pins.

Key words. Stamping magnetic core, specific losses, extent of pressing of a package, leaf between insulation, vibrodiagnostic module, induction measuring module.