

УДК 621.313

## ОСОБЕННОСТИ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ МНОГООБМОТОЧНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ СВЯЗИ

Гармаш О. Н., инженер, Рак А. Н., доцент, к.т.н.

(ОАО “Донецкий завод горноспасательной аппаратуры”, Донецкий национальный технический университет, г. Донецк, Украина)

Одной из весьма сложных электротехнических отраслей народного хозяйства, которой эксплуатируется большое количество весьма сложного оборудования, является связь. Для примера рассмотрим усилитель проводного вещания УПВ – 2 – 1,25 и входящий в его состав трансформатор Т 3.5.730.026-01. Его выход из строя влечет с собой множество проблем в механической службе: повреждается передатчик, при ремонте производится перемотка катушек трансформатора и замена узлов выпрямителя. Однако после такого ремонта в работе машины (усилителя) наблюдаются различные аномальные режимы:

- нормальная работа трансформатора Т 3.5.730.026-01 на холостом ходу и на нагрузках ниже номинальных с последующим мгновенным разрушением в виде объемного короткого замыкания при переходе в номинальный режим, при этом замыкание сопровождается ярким динамическим явлением разрушения, что само по себе весьма опасно;

- при работе в номинальном режиме трансформатор Т 3.5.730.026-01 перегорает, повреждая ламповое плечо общей схемы передатчика и другие элементы – полупроводниковые приборы;

- часто наблюдаются перенапряжения между обмотками высшего и низшего напряжения, местные пробой на межобмоточные экраны, приводящие к срабатыванию защиты от перенапряжения и утечки усилителя.

*Цель работы* – доступно изложить картину функционирования обмоток на основе концепции эфиродинамики, поскольку не только эксплуатационники, но и ремонтники плохо понимает причины отказов электрических машин и при этом возникает «машинобоязнь».

Вернемся к вышеупомянутому трансформатору Т 3.5.730.026-01 (рис.1). Это однофазный высоковольтный понижающий многообмоточный трансформатор, который связывает ламповые плечи в усилителе с раздающей гребенкой в передатчике. Принципиальную схему всего усилителя и его передатчика мы опустим, сосредоточив внимание на связующем звене – трансформаторе. Вход ламповый – клеммы 1-2-3, выход гребенки – клеммы 4-5, обмотка V – вспомогательная для питания цепей управления.

Точки, стоящие возле соответствующих обмоток, несут очень важную информацию, которую необходимо всегда проверять при разборке машины. Согласно ГОСТ 2.723-68 «Обозначения условные графические в схемах. Катушки индуктивности, дроссели, трансформаторы, автотрансформаторы и магнитные усилители» точка в обозначении используется для указания начала

обмотки. Однако здесь следует обратить внимание на то, что в настоящее время внимание не только ремонтников, но и электромашиностроителей не акцентируется на понятиях “левовинтовая” и “правовинтовая” обмотка. Раньше этому уделялось внимание и ошибок, поэтому, было меньше. Хотя принципиально причины отличия не объяснялись. Например, на «левое» и «правое» отличие хорошо указывается в [1]. Известно, что в зависимости от того, от какой стороны или щетки каркаса начинается намотка обмотки катушки, определяется тип обмотки по слоям.

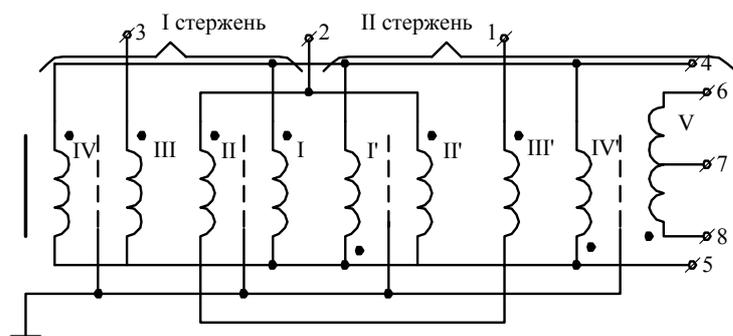


Рисунок 1-Принципиальная схема трансформатора Т 3.5.730.026-01:

$W_I=W_{I'}=W_{IV}=W_{IV'}=164$ ; ПЭТВ -2 d = 0.8  
 $W_{II}=W_{II'}=W_{III}=W_{III'}=584$ ; ПЭТВ -2 d = 0.4  
 $W_V=6$ ; ПЭТВ -1 d = 0.69; отвод - 3 виток

Одни из них «левые», другие «правые». Идет чередование типа навивки по слоям в обмотках. «Левыми» или «правыми» они называются, в зависимости от типа навиваемой спирали навивка бывает или «левовинтовой» или «правовинтовой»

аналогично типу резьбы в крепежных соединениях. Так вот, указание точек на схемах электрических машин несет еще более важную смысловую информацию важную для построения электромагнитной картины функционирования машины информацию послоевого согласования обмоток и индуцируемых ими полей. Особенно это важно помнить, когда имеешь дело с однослойной обмоткой, т. к. на кажущейся простоте в основном все и ошибаются. Если на схеме появляются точки, стоящие в противоположных концах соответствующих обмоток, то это говорит об имеющемся на них отличии навивки и о возможно прямом способе включения их на схеме.

Например, в нашем трансформаторе см. рис. 1 это так и есть для обмоток I - I' и IV - IV'. Кстати, они имеют соответствующие параллели I' - IV' и I - IV, обмотки же III' - II - II' - III включены последовательно, обеспечивая эффект электромагнитной мультипликации, и именно для этого они имеют одинаковые послоевые навивки. Рассмотрим подробнее данный вопрос. Он напрямую связан с электроном, который согласно положений эфиродинамики - правовинтовой тороидальный вихрь, и кроме того - носитель зарядов в металлах. Это обуславливает правовинтовую природу возникающих вокруг проводников с током магнитных полей – которые будут тороидальными и правовинтовыми. Об этом говорит правило «правого буравчика». Если по направлению тока в проводнике закручивать правый буравчик, то его вращательное движение даст направление магнитных силовых линий. Это правило - отголосок выхолощенной эфирной теории, т. к. позже это понятие было изъято из электротехники. Конечно, правило вполне хорошее, если только его применять к истинному направлению течения тока от области избытка

отрицательного потенциала к области его недостатка, однако понятие «магнитная силовая линия в нем отражает лишь кольцевое движение магнитных торов. На практике даже и этого вполне достаточно для рассмотрения. Поэтому сейчас необходимо объединить правило «правого буравчика и наглядное представление замкнутого тороидального движения.

Диагностирование начинается с анализа схемы, мы его выше, в принципе, затронули. Далее осуществляется разборка и дефектовка, выяснение соответствия схемы имеющемуся оригиналу. Такой предварительный анализ показал, что соответствующие пары I'- IV' и I - IV оказались не разными, как этого требовала схема, а одинаковыми, левыми. Высоковольтная секция второго стержня была серьезно разрушена. Она собрана на двух, вложенных один в один, бакелитовых каркасах. На каждом каркасе обмотка II' и III'

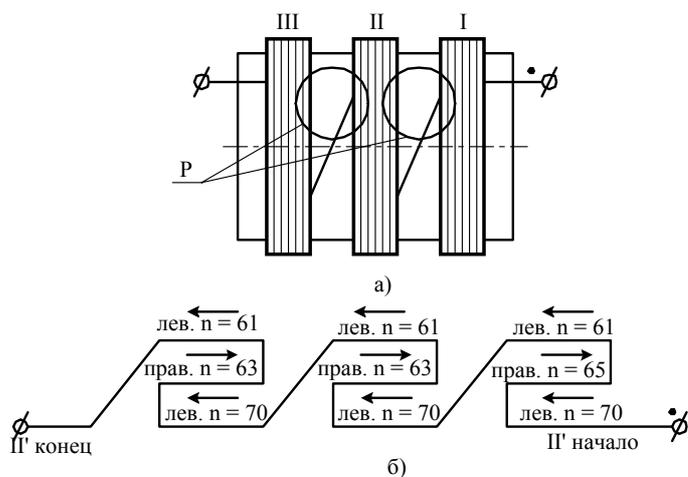


Рисунок 2 - обмотка II' на своем каркасе из бакелита:

б) послойная расшивка обмотки II' (обмотка III' аналогична, отличие в том, что на экраном и стержень II)

соответственно. На каркасе обмотки разделены на три трехслойные части. Между частями обмотки диэлектрик воздух. В обмотке II' зона диэлектриков между секционными частями I, II, III см. рис. 2 была явно пробита с лавинным разрядом в местах переходов между секциями. Пробой

наблюдался во всех трех слоях, что привело к их полному разрушению, далее, из-за столь мощного разряда бакелитовый каркас, который выдерживает на пробое до 10 кВ прогорел с выходом на защитный экран обмотки I'. Но даже изоляция сверху экрана а она чисто для технологических целей там стоит не пострадала, тем более экран и обмотка I' - оба элемента целы и вполне исправны. Предположение механиков о том, что применялась старая изоляция, которая не выдерживала перенапряжения между секционными частями не подтвердилась.

Оказалось, что заказчик заведомо собирал машину не по схеме, хотя и следовал ей, как ни парадоксально это звучит. Вспомним, точка на схеме начало обмотки. Но еще надо помнить и то, что если в обмотке слой один, то, перевернув его «вверх ногами», мы ничего принципиально не изменим. Переверните болт с правой резьбой головкой вниз, его резьба не станет от этого левой. Следует обращать внимание на тип навивки. Так вот, не придав этому факту должного значения, механики брали одинаковые «левовинтовые» обмотки и ставили их в состав обмотки стержня I, что давало, фактически, другую схему машины. Действуют, вроде, правильно: берут исправные секции

I', IV', переворачивают «вверх ногами» и ставят на место I и IV - теперь то точки начала обмоток в соответствии со схемой (см. рис.1) вверху.

Однако ничего такого не происходит, точка свидетельствует о другом типе навивки. Сборщики электромашин этим моментом часто пренебрегают, учебники по ТОЭ и электрическим машинам также не делают нужного акцента.

Построим электромагнитную картину работы трансформатора в идеале для схемы на рис.1, при этом для обмоток III, II, II', III' изобразим только их внутренние правые слои см. рис. 2,б. Еще будем руководствоваться двумя правилами эфиродинамики, подтвержденными практической электротехникой.

I. ЭДС, наводимая в обмотках многообмоточных катушек электрических машин всегда направлена так, чтобы поддерживать магнитный поток, индуцируемый в магнитопроводе входной питающей обмоткой, а не наоборот. Если в результате коммутации произойдет ошибка или в результате намотки

одной или нескольких обмоток будет нарушен тип их навивки, произойдет аннигиляция магнитных потоков от входной обмотки и от обмоток, где произошли упомянутые ошибки. Это вызовет интенсивное насыщение эфиром тела проводников и стали магнитопровода. Вырастут динамические усилия из-за повышения давления в эфире силы Ампера и как результат разрушение слабой по сопротивлению, в первую очередь, обмотки. Случаются специальные схемы с «противовключением», однако,

Рисунок 3 - Электромагнитная картина для трансформатора без ошибки в намотке, максимум на клемме 1 и минимум на клемме 3 (вход 1 – 3), обмотка V не указана:  $S_I - S_{IV}$  – спины магнитных полей от соответствующих обмоток;  $S_{стI}$ ;  $S_{стII}$  – спины магнитных потоков в стержнях I и II соответственно

там все специально рассчитывается и учитывается. Не следует забывать, что во всех описанных неприятностях повышения давления в эфире и насыщение эфиром - это рост температуры и «тепловая смерть» элементов машины.

II. Для построения полей и поиска ошибок можно широко использовать правило «правого буравчика», т. к. электрон, носитель заряда в проводниках, правовинтовой тороидальный вихрь. Но при этом вводятся дополнительные понятия векторов спина и тороидального потока для каждой конкретной обмотки. Обращаем внимание на то, что поля вокруг проводников вращаются и взаимодействуют друг с другом.

На рис. 3 все типы обмоток указаны правая - пр., левая - лев. Мысленно берем правую руку и, используя правило “правого буравчика”, проходим от клеммы 1, через обмотки III', II, II', III к клемме 3. Выстраиваем соответствующие упрощенные картинки потоков от каждой из обмоток  $S_{III'}$ ,  $S_{II}$ ,  $S_{II'}$ ,  $S_{III}$  - спины обмоток. Видим, что все обмотки в своих группах согласованы по стержням, а также стержневые группы противоположно направлены см. соответствующие векторы спина и тороидального потока, что дает возможность магнитопроводу пропустить полный поток. Согласно с правилом I определяем сонаправленные потоки в стержнях для обмоток IV, I и I', IV'.

Строим соответствующие спины:  $S_{IV}$ ,  $S_I$ ,  $S_{I'}$  и  $S_{IV'}$ . Определяем по правилу того же «правого буравчика» направление тока в обмотках IV, I, I', IV'. Во всех них см. узлы a b c d, ток течет в одном направлении и имеет одну величину, т. к.  $W_{IV} = W_I = W_{I'} = W_{IV'}$ . Следовательно, происходит согласованный сброс ЭДС в ответвление клеммы 4, питающей выходную гребенку в ней сейчас «+» или максимум ЭДС. В следующий полупериод максимум на клемме 3 картина изменится на противоположную, но машина будет устойчиво выполнять свою функцию связующего звена между высшим и низшим напряжением в передатчике. Теперь разберем неправильную схему, которая была

Рисунок 4 - Электромагнитная картина для трансформатора с ошибкой в намотке обмоток IV и I, максимум на клемме 1 и минимум на клемме 3 (вход 1 – 3), обмотка V не указана:  $S_I - S_{IV'}$  – спины магнитных полей от соответствующих обмоток;  $S_{стI}$ ;  $S_{стII}$  – спины магнитных потоков в стержнях I и II.

обнаружена в привезенном трансформаторе, и поймем, как все произошло. Для этого, опять же, строим все как на рис.3, только вносим обнаруженный элемент ошибки - неправильную навивку обмоток IV и I. На рис.3 есть кажущаяся некорректность, т. к. обмотки III, II и II', III' изображены правыми, но включенными не так, как это мы видим на рис.2 (см. включение при переходе с первого слоя). Это сделано специально, т. к. картина была точно установлена только после разборки катушек. Авторы преследовал цель показать наглядный способ проверки принципиальной схемы предварительно выяснить, как работает машина вообще, разборкой просто детализировать картину. Итак, на рис.4 показаны все реально имеющиеся типы обмоток в катушках привезенного трансформатора. Для катушек принято одно упрощение для обмоток III, II, II', III' указан только первый слой, левый, как на рис.2. Сохранены также и точки начала обмоток, т. к. использование вместо «правых» IV и I перевернутых «левых» I' и IV' не изменило картину, т. к. эти обмотки однослойные, да и тип

навивки от «кручения» в пространстве обмотки не меняется. Строим картину электромагнитного процесса, применяя те же правила, что и для построения картинки на рис.3. Мысленно берем правую руку и проходим правым винтом от клеммы 1, через обмотки III' II II' III, к клемме для поддержания постоянства потока они направляют ток индукции к узлам а и б, которые стоят в одной ветви с с и d. Последние готовы этот ток поровну взять и закачать в I' и IV'. Возникает внутренний межплечевой ток, который за счет явления самоиндукции лавинообразно стимулирует рост тока в обмотках I' и IV', а те, в свою очередь, дополнительно в высоковольтных обмотках II' и III'. С определенного значения питающего ЭДС на клеммах 1,3 это явление становится критическим для воздушных диэлектрических промежутков между секционными частями I, II, III см. рис.2. Они не выдерживают перенапряжения и происходит объемный пробой в местах переходов секционных частей I, II, III см. рис.2. Развивается короткое замыкание и прогар бакелитового каркаса. Цепь разрывается от 1 к 3 и машина обесточивается. Остальные обмотки сохраняются целыми. Следует отметить, что пробой ярче выразился в II', чем в III', т. к. перед входом в II' происходит двукратное увеличение ЭДС, чего нет на входе в III'.

## **ВЫВОДЫ**

1. Картина разрушения трансформатора внешне заказчиком описана правильно. Действительно, при имеющейся ошибке, машина может работать на напряжениях ниже номинала с перекосом из-за накачки плеча стержня II. Это то и вызывало перенакал лампы этого плеча в передатчике, более того, раздающая гребенка оказывается под плавающим напряжением, т. к. клеммы 4 и 5 не получают нужного ЭДС.

2. Причина, предполагаемая заказчиком, в корне не верна. Никакого перенапряжения между низкой и высокой обмотками не было. Имело место разрушение высоковольтной обмотки IIз по причине ее перенапряжения. Фактором, вызвавшим это явление, была неправильная намотка обмоток IV и I стержня I, что привело к появлению внутреннего межплечевого тока в трансформаторе и нарастающего перекоса по напряжению на входных клеммах машины. Катушка стержня I накачивала катушку стержня II до момента разрушения одной из обмоток высокой части. В данном случае этой обмоткой оказалась обмотка II'.

3. Устранить неисправность, перемотав все обмотки по схеме на рис.2 и 3. Проще говоря, обмотки III, II, II' и III' абсолютно идентичными должны быть сделаны, и включить их по схеме. Обмотки IV, I и I', IV' должны иметь разный тип навивки «левый» или «правый». Какая из соответствующих пар будет «левой» или «правой» абсолютно без разницы.

Подобного рода задачи очень часто встречаются в проектной и ремонтной практике. В данном случае представлена задача с трансформатором, хотя подобные трудности постоянно встречаются в схемах обмоток двигателей. В заключении по данной теме следует отметить, что в соответствии со схемой рис.1 должна наблюдаться следующая закономерность напряжений в

рассмотренном нами трансформаторе:  $U_{1-3} = 2U_{2-3} = 2U_{1-2}$  и  $U_{6-8} = 2U_{6-7} = 2U_{7-8}$ . Это устойчиво наблюдалось в отремонтированной машине. При наличии ошибки в намотке первое из указанных равенств не выполнялось бы. Выполнение равенства - один из главных критериев правильности выполнения электромагнитной части машины. Также следует отметить еще одно важное и существенное обстоятельство. Практически всегда нет возможности проверить машину от аппаратуры связи на расчетной нагрузке. Напряжения там значительные и на высоких частотах и получить их можно только в исправной стойке аппаратуры. Поэтому проверку правильности делать приходится на промышленной частоте с помощью обычных автотрансформаторов. Здесь также имеются особенности, практически сразу происходит интенсивный нагрев трансформаторов в течение 30 – 40 мин., вызывая беспокойство механиков. Однако необходимо помнить простые законы электротехники: с уменьшением частоты ЭДС возрастает индуктивность каждой обмотки, а следовательно и энергия запасенного магнитного поля в трансформаторе.

Действительно, ЭДС самоиндукции выражается следующей формулой:

$$E = -L \frac{di}{dt} = -L \cdot i' \quad (1)$$

Условно синусоидальный ток и его мгновенное значение выражаются следующими выражениями:

$$i = I_m \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi) \quad (2)$$

$$i' = I_m \cdot \omega \cdot \cos(\omega \cdot t + \varphi) \quad (3)$$

и, следовательно, индуктивность как абсолютная величина выразится формулой:

$$L = \frac{E}{i'} = \frac{E}{I_m \cdot \omega \cdot \cos(\omega \cdot t + \varphi)} \quad (4)$$

Энергия магнитного поля выразится следующей формулой:

$$W_m = \frac{L \cdot i^2}{2} = \frac{E}{I_m \cdot \omega \cdot \cos(\omega \cdot t + \varphi)} \cdot \frac{i^2}{2} \quad (5)$$

Легко заметить, что с уменьшением частоты питающей ЭДС, будет расти запасенная энергия в трансформаторе и его нагревание. Данный вопрос, несмотря на его простоту, полезно рассмотреть с точки зрения эфиродинамики [2].

В эфирной теории присоединенные эфирные потоки (магнитное поле) уподобляются сжатой пружине, запасшей потенциальную энергию и стремящейся отодвинуть электроны друг от друга. При этом приращение давления будет пропорционально величине тока, проходящего по проводнику. Для соленоида такое давление будет пропорциональным числу ампервитков  $iw$ , приходящихся на единицу его длины  $l$ :

$$p = \frac{i \cdot w}{l} \quad (6)$$

$w$  – число витков в соленоиде. В системе МКС (метр – килограмм – секунда), к которой приводит модельное представление эфиродинамики, единица тока  $i$  –  $[\text{кг} \cdot \text{с}^{-2}]$ , длины  $l$  –  $[\text{м}]$  и, следовательно, единица измерения давления присоединенных струй составит:

$$\left[ \frac{\kappa \mathcal{L}}{c^2} \div \mathcal{M} = \frac{\kappa \mathcal{L}}{c^2 \mathcal{M}} = \left| \begin{array}{l} H = \kappa \mathcal{L} \cdot \frac{\mathcal{M}}{c^2}, \\ \kappa \mathcal{L} = \frac{H \cdot c^2}{\mathcal{M}} \end{array} \right| = \frac{H \cdot c^2}{\mathcal{M}} \cdot \frac{1}{c^2 \mathcal{M}} = \frac{H}{\mathcal{M}^2} = Pa \right]$$

Та же величина, что и для обычного давления. Работа, совершаемая при сжатии присоединенных потоков эфира, определится так же, как и работа, совершаемая при сжатии обычной пружины. Если для обычной пружины сила сжатия пропорциональна деформации, т.е.

$$F = kx \quad (7)$$

где  $k$  – коэффициент упругости [н/м], а совершаемая работа определится выражением

$$W = \int_0^{x_0} F \cdot dx = \int_0^{x_0} kx dx = k \frac{x^2}{2} \Big|_0^{x_0} = \frac{kx_0^2}{2} = \frac{F_0^2}{2k} \quad (8)$$

$$\left[ F_0 = kx_0, F_0^2 = k^2 \cdot x_0^2, \frac{F_0^2}{2k} = \frac{k^2 \cdot x_0^2}{2k} = \frac{k \cdot x_0^2}{2} \right]$$

где  $F_0$  – сила сжатия пружины, то для сжатых эфирных потоков будем иметь на единицу длины соленоида

$$w_{eo} = \frac{p^2}{2k} = \frac{1}{2k} \cdot \frac{(i \cdot w)^2}{l^2} = \frac{k'}{2} \cdot \frac{(i \cdot w)^2}{l^2} \quad (9)$$

Сопоставляя полученное выражение с известным выражением для энергии соленоида

$$w = \frac{\mu_0 \cdot (iw)^2}{2 \cdot l^2} \quad (10)$$

обнаруживаем, что физический смысл магнитной проницаемости вакуума соответствует коэффициенту упругости эфира.

При наличии железа в сердечнике дросселя и тем более в трансформаторе магнитное поле, создаваемое обмотками, - упорядоченные потоки эфира – тратит свою энергию на разворот доменов – конгломератов молекул железа. Такие конгломераты находятся в магнитопроводе в не упорядоченном положении, ориентированы в пространстве без каких-либо предпочтений. Но под воздействием магнитного поля – упорядоченных кольцевых потоков эфира, являющихся результатом упорядоченной ориентации электронов в токнесущем проводе – домены также разворачиваются и образуют магнитное поле сердечника. Здесь уже магнитное поле представляет собой набор винтовых вихревых трубок, и его структура, таким образом, отличается от магнитного поля, создаваемого током.

Имеет место последовательная цепь событий: электрическое поле в проводнике обмотки заставляет электроны проводника разворачиваться главными осями [2,3] в направлении оси проводника, этим создаются потоки кольцевого движения эфира вокруг проводника. Потоки кольцевого движения эфира проникают в сердечник и вынуждают развернуться домены соответственно в общем направлении так, что оси винтовых трубок магнитного поля, создаваемые доменами, ориентируются частично в общем направлении, перпендикулярно направлению воздействующего на них внешнего потока.

Поскольку каждая винтовая трубка связана с соответствующим доменом, находящимся в упругой связи с остальным материалом сердечника, то эти связи напрягаются подобно пружине, и если внешний поток исчезнет, то они вернут домен в исходное положение. Магнитное поле, созданное сердечником, исчезнет. Так обстоит дело с магнитомягким материалом, преобладающим в магнитопроводах аппаратуры связи.

Общая запасенная энергия магнитного поля будет пропорциональна объему железа в сердечнике:

$$W = \frac{\mu \cdot \mu_0 \cdot (iW)^2}{2 \cdot l_{жс}^2} \cdot V_{жс} \quad (11)$$

Поскольку объем железа составляет  $V_{жс} = S_{жс} l_{жс}$ , где  $S_{жс}$  – сечение сердечника, а  $l_{жс}$  – длина магнитной силовой линии в сердечнике, то получим

$$W = \frac{\mu \cdot \mu_0 \cdot (iW)^2}{2 \cdot l_{жс}^2} \cdot S_{жс} \cdot l_{жс} \quad (12)$$

где  $\mu$  – магнитная проницаемость железа. После сокращения получим:

$$W = \frac{\mu \cdot \mu_0 \cdot S_{жс}}{2} \cdot \frac{(iW)^2}{l_{жс}} = \mu \cdot \mu_0 \cdot \frac{S_{жс} W^2 \cdot i^2}{2 \cdot l_{жс}} = L \frac{i^2}{2} \quad (13)$$

где

$$L = \mu \cdot \mu_0 \cdot \frac{S_{жс} \cdot W^2}{l_{жс}} = \frac{W^2}{R_m}, R_m = \frac{l_{жс}}{\mu \cdot \mu_0 \cdot S_{жс}} \quad (14)$$

Здесь  $R_m$  – магнитное сопротивление сердечника. Таким образом, получена обычная формула для индуктивности катушки с железным сердечником, но уже исходя из конкретных модельных эфиродинамических представлений.

Из изложенного видно, что роль железного сердечника в индуктивности сводится к тому, что в нем запасается энергия магнитного поля. Но для того чтобы эту энергию в нем создать, необходимо совершить работу, т. е. произвести поворот доменов магнитного сердечника и для этого преодолеть упругое сопротивление их связей. Эта работа производится путем повышения давления эфира в пространстве между проводником и железом магнитопровода. Само это давление создается электрическим током, текущем по проводнику. Поэтому общая запасенная энергия пропорциональна квадрату величины тока (сравните формулы 5 и 13).

Кольцевое (круговое) движение вокруг проводника воспринимается как магнитное поле. Энергия поступательной скорости эфира вокруг проводника, не имеющего железного сердечника, и есть энергия этого поля. Другое дело если имеется магнитопровод. При его наличии сюда добавляется энергия упругого поворота доменов сердечника. Вся эта система напряжена и удерживается в напряженном состоянии повернутыми в общем направлении – вдоль оси проводника электронами. Сами же эти электроны удерживаются в этом состоянии напряженностью электрического поля.

Если ЭДС в проводнике исчезает, то исчезает и причина, удерживающая электроны в общем ориентированном направлении, исчезает и давление, удерживающее потоки в напряженном состоянии. Нарушается равновесие, и весь процесс оборачивается в обратном направлении. Теперь внешние потоки эфира давят на внутренние, и линии кругового тока эфира, сокращаясь, входят в проводник. Их энергия тратится на увеличение тепловой скорости электронов

проводника. В этом и заключается механизм самоиндукции. Обратный процесс приводит к тому, что ЭДС на проводнике, создаваемая перемещающимися внутрь проводника потоками эфира, приобретает противоположный знак, эта ЭДС будет пропорциональна запасенной энергии индуктивностью, т. е. величине индуктивности. Если же ток обрывается не сразу, то электроны еще сохраняющегося тока продолжают удерживать часть давления. Таким образом, на качественном уровне может быть обоснована известная формула (1) ЭДС самоиндукции, которая еще далеко не является уточненной.

### **Перечень ссылок**

1. А. В. Сапожников. Конструирование трансформаторов. Госэнергоиздат. М. – Л., 1959., 360 с.
2. В. А. Ацюковский. Физические основы электромагнетизма и электромагнитных явлений. Эфиродинамическая интерпретация. «Эдиториал УРСС», М. 2001 г.
3. В. А. Ацюковский. Общая эфиродинамика. Моделирование структур вещества и полей на основе представлений о газоподобном эфире. Издание второе. Энергоатомиздат