

Еще раз о преимуществах MTS-трансформаторов

Владимир КАЗАКОВ
kvladimir3@yandex.ru

После публикации в нашем журнале статьи «Новые модульные трансформаторы» [1] автор стал получать множество писем. Данная статья содержит ответы на наиболее часто встречающиеся в этих письмах вопросы.

1. Можно ли получить более подробные данные MTS-трансформаторов для оценки их применимости в наших изделиях?

К сожалению, из-за непреодолимых препятствий, в течение целого года создаваемых одним из местных влиятельных чиновников, ООО «СИЭЙСС электроникс» прекратило деятельность, и план строительства крупного трансформаторного завода в г. Чебоксары не будет осуществлен. В 2007 году, вероятно, France Transfo (г. Эннери, Франция) начнет серийные поставки MTS-трансформаторов с патентованной литой Trihal-изоляцией первичных обмоток. В этом случае компания Schneider Electric и ее российские представительства предоставят покупателям подробные технические данные продукции завода.

2. Какие новые технологии использованы при производстве MTS-трансформаторов?

Соединение выводов обмоток с фольгой осуществляется паро-динамическим методом в воздушной среде с применением оборудования «Диамет» Обнинского центра порошкового напыления. Характеристики соединений даже разнородных металлов (алюминия, железа, меди) по механическим и электрическим параметрам выше, чем у соединений деталей из однородных металлов, полученных лазером в вакуумной среде, и тем более выше характеристик обычных сварных и паяных соединений, а стоимость оборудования и затраты соответствуют технологии обычной электросварки. Расходный материал — проволока из соединяющего металла. При «сварке» детали нагреваются только до 60–80 °С, это не разрушает близлежащие лаковые покрытия. Можно надежно соединять детали из любых металлов и любым металлом в труднодоступных местах, например, внутри глубокого узкого отверстия. Производительность такого оборудования в 2 раза выше, чем у обычного сварочного автомата.

Краткие описания используемых новейших недорогих технологий и оборудования — по электролитическому производству фольги чистого железа, по скоростной резке без заусенцев и идеальной формовке металлических лент, по нанесению качественной изоляции Al_2O_3 , а также по лакированию и стек-

ло-эмалированию при спекании обмоток — можно найти в европейских патентах.

Характеристики оборудования, которое можно использовать в различных производственных отраслях, превосходят характеристики аналогов, хотя его цена на 2 порядка ниже.

3. Какие дополнительные преимущества перед обычными трансформаторами имеют MTS-трансформаторы?

Как указывалось в статье, опубликованной в «КиТ» № 8/2006, MTS-трансформаторы имеют размеры и вес активных деталей в 3,3 меньший, чем лучшие образцы обычных трансформаторов, во столько же раз меньше потери энергии и стоимость материалов. MTS-трансформаторы относятся к трансформаторам с фазной симметрией и высокой надежностью, отличаются низким уровнем потоков рассеяния и отсутствием внешних излучений. Эти трансформаторы бесшумны в работе, более устойчивы к действию пандемоторных сил и нагреву. Технология их изготовления также значительно проще, чем у обычных трансформаторов, и автоматизируется при затратах, которые на 2–3 порядка ниже.

Дополнительными преимуществами MTS-трансформаторов перед остальными трансформаторами являются:

- возможность высококачественного установления коэффициента трансформации за счет того, что охват сердечника трансформатора вторичной обмоткой — центральным сердечником от витка к витку — плавно меняется от 0 до 100% (в обычных трансформаторах охват сердечника витками пропорционален целому количеству витков, и коэффициент трансформации устанавливается грубо). Это свойство MTS-трансформаторов особенно ценно при производстве трансформаторов с малым количеством витков;
- возможность почти полного устранения вихревых токов в сердечнике за счет навивки сердечника многослойной фольгой, состоящей из тонких слоев чистого железа, изолированных друг от друга, и выравнивания ЭДС между концевыми выводами слоев.

Кратко рассмотрим MTS-трансформаторы с рулонным центральным сердечником — вторичной обмоткой, описанным в патенте,

то есть трансформаторы с рабочими вторичными напряжениями не выше 0,4 кВ.

Если рулон навивается M -слойной фольгой, и номер M имеет крайний наружный слой фольги, то для выравнивания межслойных ЭДС фольги каждый нижний $(m-1)$ -й слой фольги ($1 \leq m \leq M$) необходимо начинать навивать на $(N_{a,m} - N_{a,m+1})$ раньше более наружного m -го слоя, размещая дополнительные витки в центральной полости рулона, где: $N_{a,m}$ — количество уравнивающих витков m -го слоя, дополнительных к количеству витков N основной наружной части рулона, навитой всеми M слоями фольги. Навивка осуществляется следующим образом: сначала $N_{a,1} - N_{a,2}$ витков навивается первым нижним слоем фольги, далее $N_{a,2} - N_{a,3}$ витков — двумя нижними слоями, $N_{a,3} - N_{a,4}$ витков — тремя нижними слоями, ..., $N_{a,M-1}$ витков — $M-1$ нижними слоями, и наконец навивается N витков всеми M слоями, так как для верхнего M -го слоя уравнивающих витков не требуется.

Зависимости количества добавочных витков N_a от соотношения наружного и внутреннего радиусов сердечника при использовании двух-, трех- и десятислойной фольги показаны на рис. 1.

При использовании фольги с любым количеством слоев и при любых соотношениях размеров сердечника можно пользоваться общей формулой для определения количества $N_{a,1}$ витков центрального выравнивающего рулона, который навит первым нижним слоем фольги:

$$N_{a,1} = N \times 0,266 \times (M - 1)^{0,587} \times [0,44 - 0,058 \times (R/R_{01} - 2)^{0,494}],$$

где N — количество витков основного наружного рулона, навитого всеми слоями фольги; M — количество слоев в фольге; R — внешний радиус основного рулона; R_{01} — радиус центральной полости сердечника.

Количество уравнивающих витков для следующих слоев фольги ($N_{a,3}$, $N_{a,2}$, ..., $N_{a,M-1}$), если $M > 2$, можно определить по номограмме, показанной на рис. 2. Для решения задачи достаточно разделить отрезок под графиком на равные $(M-2)$ части, и точки пересечения вертикалей из концов этих частей

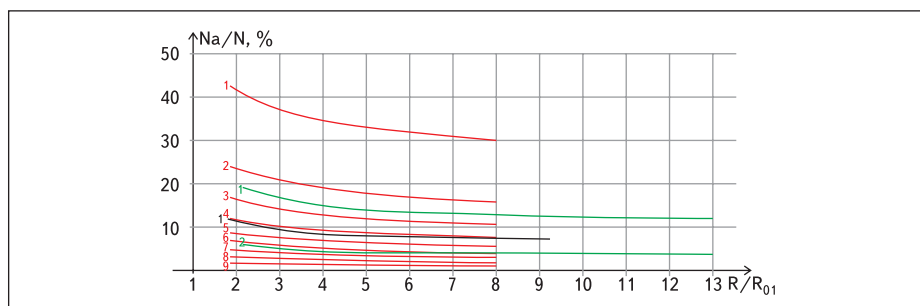


Рис. 1. Зависимости отношения $N_{a,m}/N$ количества уравнильных витков нижних слоев фольги к количеству витков ее наружного слоя от отношения наружного R и внутреннего R_{01} радиусов сердечника, где зависимость 1 дана для уравнильных витков для первого нижнего слоя фольги; зависимости 2, 3, ... — для следующих слоев. Красным цветом обозначены зависимости для 10-слойной фольги, зеленым — для 3-слойной, черным — для 1-слойной

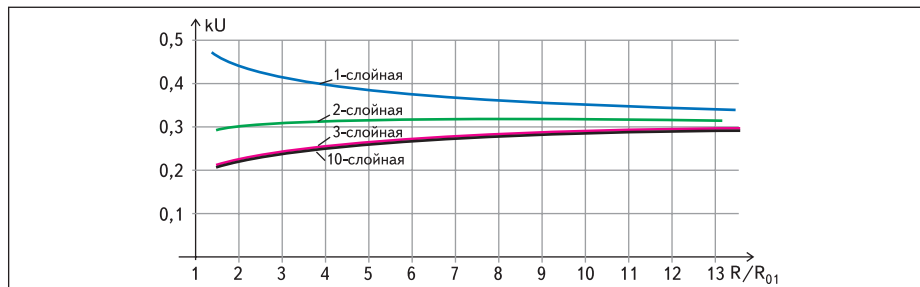


Рис. 3. Зависимости k_U от R/R_{01} при навивке сердечника фольгой, имеющей разное количество слоев

с кривой номограммы укажут значения $N_{a,3}$, $N_{a,2}$, ..., $N_{a,M-1}$ в долях от $N_{a,1}$.

Более точно количество уравнильных витков для нижних слоев фольги при навивке 2-, 3- или 10-слойной фольгой можно определить, используя таблицу. В таблице также приводятся значения k_U отношения ЭДС сердечника к ЭДС медной обмотки с числом витков N , охватывающей весь сердечник.

Трансформаторы с «бубликовым» сердечником, то есть с вторичными напряжениями до 500 кВ и выше, имеют такие же преимущества, а их обмотки существенно меньше обмоток обычных высоковольтных трансформаторов.

4. Можно ли у вас приобрести программу для расчета трансформаторов всех типов?

Приобретение программы для расчета трансформаторов экономически неоправданно.

Вам будет выгоднее заказать у нас полный расчет конкретного типа трансформатора. По данным Запорожского НИИ трансформаторостроения, расчет некоторых видов мощных трансформаторов требует 3–6 месяцев. При этом не учитывается множество параметров, а трансформатор получается неоптимальным по характеристикам, стоимости, надежности. С помощью нашей программы расчета при таких же ценах оптимальные точные данные для трансформатора любого типа можно получить в полном объеме в течение часа. В целом заказ выполняется в течение нескольких дней.

Литература

1. Казаков В. В. Новые модульные трансформаторы // Компоненты и технологии. 2006. № 8.

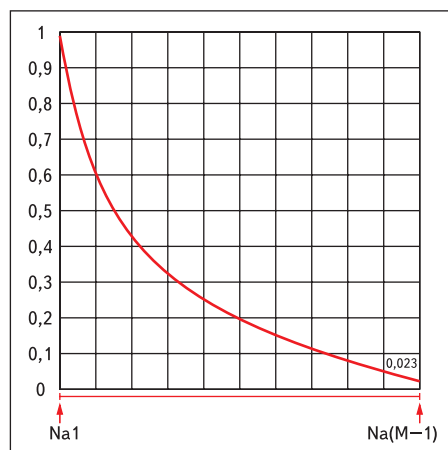


Рис. 2. Номограмма для определения количества уравнильных витков рулона для 2-го, 3-го, $M-1$ слоев фольги

Таблица. Зависимости $N_{a,m}/N$ от R/R_{01} и k_U от R/R_{01} при навивке 1-, 2-, 3- или 10-слойной фольгой. Здесь $k_U = (SN)_{\text{железн}} / (S_{\text{наруж}} \times N)$, где: $(SN)_{\text{железн}}$ — охват сердечника собственными витками, $(S_{\text{наруж}} \times N)$ — полный охват сердечника N -витками.

Значение k_U при 1-слойной навивке				
R/R_{01}	1,4	2	3	5
k_U	0,475	0,445	0,417	0,389
Количество уравнильных витков и значение k_U при 2-слойной навивке				
R/R_{01}	1,85	3,09	5,15	9,3
$N_{a,1}/N, \%$	11,69	8,9	7,7	6,925
k_U	0,31	0,312	0,315	0,319
Количество уравнильных витков и значение k_U при 3-слойной навивке				
R/R_{01}	2,32	4,2	7,35	13,63
$N_{a,1}/N, \%$	18,75	13,4	11,88	10,8
$N_{a,2}/N, \%$	5,75	3,4	2,84	2,51
k_U	0,238	0,263	0,283	0,299
Количество уравнильных витков и значение k_U при 10-слойной навивке				
R/R_{01}	1,87	3	4,76	8,05
$N_{a,1}/N, \%$	42,5	36,9	33,2	29,67
$N_{a,2}/N, \%$	23,75	20,4	17,9	15,48
$N_{a,3}/N, \%$	16,75	13,8	12,05	10,23
$N_{a,4}/N, \%$	11,6	10	8,6	7,25
$N_{a,5}/N, \%$	8,85	7,3	6,25	5,21
$N_{a,6}/N, \%$	6,48	5,24	4,45	3,69
$N_{a,7}/N, \%$	4,43	3,55	3,04	2,5
$N_{a,8}/N, \%$	2,73	2,2	1,85	1,52
$N_{a,9}/N, \%$	1,27	1,02	0,84	0,7
k_U	0,25	0,27	0,28	0,29