

ТРАНСФОРМАТОРЫ ТИПА ТМ, ТМГ СО СПЕЦИАЛЬНЫМ ВСТРОЕННЫМ СИММЕТРИРУЮЩИМ УСТРОЙСТВОМ

Одной из главных задач электроснабжения является обеспечение качества выходных напряжений распределительных трансформаторов, удовлетворяющих требования ГОСТ 13109-87 при всевозможных нормальных режимах их работы, а также решение этой задачи с минимальными издержками.

В четырехпроводных электрических сетях 0,38 кВ России и других стран СНГ в основном используются трансформаторы со схемой соединения обмоток «звезда-звезда-нуль» (У/Ун). Однако эти самые дешевые в изготовлении трансформаторы в эксплуатации экономичны лишь при симметричной нагрузке фаз. Реально в сетях с большим удельным весом однофазных нагрузок равномерность их подключения во времени пофазно нарушается и потери электрической энергии в таких трансформаторах резко возрастают. На рисунке 1 показаны зависимости потерь короткого замыкания P_k трансформатора ТМ 100/10 при различных схемах соединения обмоток от величины тока в нулевом проводе, при $I_b = I_c = I_n$ и $I_a = 0 - I_n$. Из рисунка следует, что в трансформаторах У/Ун с увеличением тока $I_{нб}$ резко растут потери P_k .

Этот рост обусловлен появлением потоков нулевой последовательности (Φ_0) в магнитных системах трехфазных трансформаторов У/Ун, создаваемых токами небаланса $I_{нб}$ (равных $3 I_0$), протекающих в нулевом проводе сети. Φ_0 носят характер потоков рассеяния, аналогичных потокам короткого замыкания $\Phi_{кз}$, но по величине они значительно больше, о чем, в частности, позволяют судить соотношения полных сопротивлений Z_0 и $Z_{кз}$. Экспериментальные данные показывают, что Z_0 больше $Z_{кз}$ в 5-8, а для некоторых конструкций трансформаторов в 12 и более раз.

Неизбежным последствием неравномерности нагрузки фаз в сетях с трансформаторами У/Ун является резкое искажение системы фазных напряжений (на практике это называют смещением нулевой точки). Как следствие — увеличение потерь также и в линиях 0,38 кВ.

Искажение фазных напряжений в реальных условиях эксплуатации нередко вызывает такое их отклонение уже на низковольтных вводах трансформатора, которое значительно превышает нормы ГОСТ на качество электроэнергии. В конце линий, по данным исследований, это отклонение напряжений приблизительно в два раза выше. При указанном качестве пита-

ния токоприемников, повышение в них потерь электроэнергии и отказы в работе, в том числе у бытовых приборов (холодильников и т.п.), вполне естественно. К сожалению, до настоящего времени целенаправленных работ по данным вопросам проводилось недостаточно, однако, как показывает практика, экономический урон от искажения напряжений у токоприемников огромен.

Завышение установленной мощности трансформаторов У/Ун сверх требуемой по расчету (для понижения несимметрии напряжения), дает незначительный эффект, зато повышение потерь электроэнергии в сети дает значительное.

Кроме того, токи нулевой последовательности, при несимметрии нагрузки, в магнитной системе трансформатора У/Ун создают потоки нулевой последовательности, которые, замыкаясь через его бак, дно, крышку разогревают их, ухудшая охлаждение активной части. Это повышает температуру изоляции обмоток сверх нормы, и трансформатор, при суммарной нагрузке ниже номинальной, оказывается перегруженным. Такое положение объективно вызывает необходимость в увеличении номинальной мощности трансформатора на одну, а иной раз на две ступени больше необходимой (расчетной) со всеми вытекающими последствиями.

Для устранения указанных недостатков кафедрой электроснабжения сельского хозяйства БАТУ, Минским электротехническим заводом им. В.И. Козлова и Минскэнерго разработано специальное новое симметрирующее устройство (СУ), которое встраивается в трансформатор со схемой У/Ун.

Симметрирующее устройство представляет собой отдельную обмотку, уложенную в виде бандажа поверх обмоток высшего напряжения трансформатора со схемой

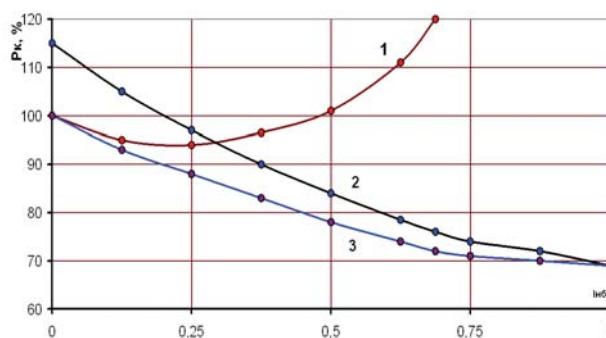
соединения обмоток У/Ун. Обмотка симметрирующего устройства рассчитана на длительное по ней протекание номинального тока трансформатора, т.е. на полную номинальную однофазную нагрузку.

Обмотка симметрирующего устройства включена в рассечку нулевого провода трансформатора из расчета того, что при несимметричной нагрузке и появлении тока в нулевом проводе трансформатора, а также связанного с ним потока нулевой последовательности, поток, создаваемый симметрирующим устройством, равный по величине и направленный в противоположном направлении, компенсирует действие потока нулевой последовательности, предотвращая этим самым перекося фазных напряжений.

Энергетические характеристики трансформаторов (потери короткого замыкания, холостого хода и др.) от наложения симметрирующего устройства практически не меняются, но при этом значительно сокращаются потери электроэнергии в сети. Система же фазных напряжений при неравномерной нагрузке фаз симметрируется как при схеме соединения обмоток У/Зн.

В настоящем докладе приведены результаты оценочных расчетов экономической эффективности использования в четырехпроводных электрических сетях 0,38 кВ Республики

Рисунок 1. Зависимость потерь короткого замыкания трансформатора ТМ 100/10 от схем соединения обмоток и величины тока в нулевом проводе ($I_{нб}$): 1 - трансформатор У/Ун; 2 - трансформатор У/Зн; 3 - трансформатор У/Ун с СУ.



Беларусь трансформаторов с новой схемой соединения обмоток «звезда-звезда-нуль с симметрирующим устройством», исходя только из потерь электрической энергии в трансформаторах и линиях.

Проведенный анализ сетей РБ позволил определить среднестатистическую сеть 0,38 кВ со следующими параметрами: мощность трансформатора 100 кВА (с учетом коммунально-бытовых потребителей в городах и городских поселках); длина линии 0,8 км; количество линий на одной ТП 2,5; сечение провода линии 35 мм²; нагрузка линий 0,38 кВ принята пропорциональной мощности трансформатора, от которого она запитана, и считалась равномерно распределенной по всей длине линии; время использования максимума нагрузки в году 2000 часов; величина тока в нулевом проводе 0,25 от номинального фазного.

Расчеты дополнительных потерь электрической энергии за счет несимметрии нагрузки были выполнены Белэнергосетьпроектом (г. Минск) по известным формулам с применением метода симметричных составляющих и использованием ЭВМ. Они производились в зависимости от величины тока в нулевом проводе, значения которого изменялось от 0 до 0,5 номинального фазного для трансформаторов мощностью от 25 до 250 кВА. Сечение нулевого провода принималось равным сечению фазных проводов.

Результаты расчетов сведены в таблице 1 (S_n – номинальная мощность трансформатора, кВА; $I_{н0}$ ток в нулевом проводе (в относительных единицах); P_c потери короткого замыкания, Вт (для трансформаторов со схемами соединения обмоток У/Ун, У/Зн, У/Ун с СУ); P_n дополнительные потери электроэнергии в линиях сети с трансформаторами У/Ун, У/Зн по сравнению с сетью с трансформаторами У/Ун с СУ; Q годовая экономия электроэнергии в сетях с трансформаторами У/Ун с СУ по сравнению с сетями с трансформаторами У/Ун, У/Зн).

Сопоставление потерь в среднестатистической электрической сети при неравномерной нагрузке с трансформаторами со схемами соединения У/Ун, У/Зн, и У/Ун с СУ показывает, что наиболее экономичной из них является схема У/Ун с СУ. Если к этому еще добавить и другие положительные стороны этой схемы (по сравнению с У/Ун: отсутствие дополнительного нагрева бака потоками Ф0, повышение устойчивости к однофазным токам к.з., надежность работы защиты и пр.), то будет понятно, почему протоколом по вопросам проектирования и строительства электрических сетей напряжением 0,38 – 10 кВ концерна «Белэнерго»

Sn, кВА	Марка и сечение провода	Inб	Pк, Вт			ΔРл, Вт		Q, кВт·ч	
			У/Ун	У/Зн	У/Ун с СУ	У/Ун	У/Зн	У/Ун	У/Зн
100	A35	0	1970	2265	1970	0	0	0	591
100	A35	0,1	1941	2127	1854	28	0	229	546
100	A35	0,2	2125	2014	1770	168	0	1026	488
100	A35	0,25	2278	1967	1739	307	-1	1693	454
100	A35	0,3	2492	1926	1716	509	-1	2569	418
100	A35	0,4	3073	1863	1693	1140	-2	5037	335
100	A35	0,5	3857	1825	1702	2150	-4	8609	238
25	A35	0,25	633	599	530	14	0	233	139
40	A35	0,25	979	878	777	48	0	501	203
63	A35	0,25	1450	1278	1130	115	0	871	295
160	A35	0,25	3272	2645	2339	828	-1	3521	611
250	A35	0,25	4665	3694	3266	1699	-2	6196	852

предписывается: «В целях снижения потерь электроэнергии и стабилизации напряжения в распределительных сетях 0,4 кВ при выборе трансформаторов для потребителей с коммунально – бытовой нагрузкой применять трансформаторы со схемой соединения У/Ун с симметрирующим устройством (СУ), изготавливаемых Минским электротехническим заводом, мощностью 25-250 кВА». Естественно, что установка в трансформаторах даже такого простого симметрирующего устройства, которое предложено, требует небольших дополнительных затрат на материалы и изготовление, Однако выполненные Белэнергосетьпроектом и конструкторским бюро МЭТЗ им. В.И.Козлова расчеты сроков его окупаемости в зависимости от величины тока в нулевом проводе дали результаты, приведенные в таблице 2.(ток небаланса указан в относительных единицах)

Из таблицы следует, что при среднестатистическом токе в нулевом проводе 0,25 от номинального фазного, симметрирующая обмотка только у трансформаторов $S_n = 25$ кВА окупается в срок 2 года и у $S_n = 40$ кВА в срок 1 год, для всех остальных мощностей окупаемость менее года.

Трансформаторы в среднем работают около 40 лет, отсюда нетрудно определить прибыль предприятия, установившего в сетях 0,38 кВ с несимметричной нагрузкой фаз трансформаторы со схемой соединения обмоток У/Ун с СУ.

Использование в электрических сетях 0,38 кВ с несимметричной нагрузкой фаз трансформаторов ТМ и ТМГ со схемой У/Ун с СУ мощностью от 25 до 250 кВА, выпуск которых освоен на МЭТЗ им. В.И. Козлова, позволяет получить значительный экономический эффект только за счет сокращения ничем не оправданных потерь электроэнергии в линиях и трансформаторах.

Трансформаторы с симметрирующим устройством мощностью от 63 до 250 кВА разработаны и выпускаются в герметичном исполнении (типа ТМГ).

Внутренний объем таких трансформаторов не имеет сообщения с окружающей средой, они полностью заполнены маслом. Расширитель и воздушная или газовая «подушка» отсутствуют. Это значительно улучшает условия работы масла, исключает его увлажнение, окисление и шламообразование. Трансформаторное масло перед заливкой в трансформатор дегазируется. Благодаря этому масло своих свойств, практически не меняет в течение всего срока службы трансформатора, поэтому производить отбор пробы масла не требуется.

Трансформаторы в герметичном исполнении практически не требуют расходов на предупредительные работы и на обслуживание в процессе эксплуатации, не нуждаются в профилактических ремонтах и ревизиях в течение всего срока эксплуатации. Это позволит снизить непроизводительные расходы в течение всего срока эксплуатации трансформатора, в зависимости от его мощности, на 40–63 % его полной стоимости.

А.Сердешнов, к.т.н.;
Ю. Леус; П. Шумра,
БАТУ, МЭТЗ им. В. И.Козлова
(г. Минск, Беларусь)

I _{н0}	Номинальная мощность трансформатора У/Ун СУ(S _n), кВА					
	25	40	63	100	160	250
0	0	0	0	0	0	0
0,1	13,5	7	5,1	4,7	2,9	1,9
0,2	3,2	1,7	1,2	1,0	0,6	0,4
0,25	2,0	1,0	0,7	0,6	0,4	0,2
0,3	1,4	0,7	0,5	0,4	0,2	0,2
0,4	0,7	0,4	0,2	0,2	0,1	0,1
0,5	0,4	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1