

Министерство образования и науки Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное
Образовательное учреждение высшего образования
«Комсомольский-на-Амуре государственный
университет»

На правах рукописи

КАПЛАН ИЛЬЯ АЛЕКСАНДРОВИЧ

**РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ
СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА
С БЛОКОМ НАГРЕВА**

Направление подготовки
13.04.02 - «Электроэнергетика и электротехника»

АВТОРЕФЕРАТ
МАГИСТЕРСКОЙ ДИССЕРТАЦИИ

Потапова
Лидия Константиновна

Проверено

15.03.2019 Зачтено Библиотека

2019

Работа выполнена в ФГБОУ ВО «Комсомольский-на-Амуре государственный университет»

Научный руководитель

Доктор технических наук,
Доцент Сериков Александр Владимирович

Рецензент

директор учебно-производственного
центра КГА ПОУ «Губернаторский
авиастроительный колледж
г. Комсомольска-на-Амуре
(Межрегиональный центр компетенций)»
Киница Олег Игоревич,

Защита состоится «15» марта 2019 года в 09 часов 00 мин на заседании государственной экзаменационной комиссии по направлению подготовки 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника» в Комсомольском-на-Амуре государственном университете по адресу: 681913, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27, ауд. 203/3.

Автореферат разослан __ марта 2019 г

Секретарь ГЭК

Н.Н. Мельникова

Введение

Актуальность проблемы. Проблема энергосбережения является для России, как и для всего остального мира, довольно актуальной. С каждым годом цена на электроэнергию растёт, в связи с чем стоимость потерь электроэнергии также возрастает, объясняется это всё тем, что стоимость первичных энергоресурсов с каждым годом становится всё больше. Поэтому одной из востребованных задач электроэнергетики России является снижение уровня потерь электрической энергии. Для уменьшения энергопотребления необходимо, не только внедрять научные разработки, способствующие энергосбережению, но и технологии, направленные на увеличение энергоэффективности.

Одним из энергоэффективных устройств, применяемых для передачи электроэнергии, является трансформатор. В настоящее время КПД мощных силовых трансформаторов достигает 99%. Несмотря на это суммарные количественные потери электроэнергии при её передаче от генератора до потребителя являются внушительными. Так в России уровень потребления электроэнергии примерно составляет 1 трлн. кВт/ч, из них 7,5% составляют потери в силовых трансформаторах, что является довольно солидной величиной.

В рассматриваемой работе предлагается повысить энергоэффективность силового трансформатора путём использования мощности потерь для нагрева жидкости.

Объектом исследования является силовой трансформатор с блоком нагрева жидкости.

Предметом исследования являются тепловые и электромагнитные процессы, происходящие в силовом трансформаторе с блоком нагрева жидкости.

В данной работе рассматриваются особенности повышения энергоэффективности силового трансформатора за счёт использования в его конструкции нагревательного блока.

Цель исследования-на основе теоретических исследований, дать

оценку целесообразности применения нагревательного блока в трансформаторе для снижения энергетических потерь, а также разработать рекомендации для построения систем электроснабжения на основе трансформатора с блоком нагрева жидкости.

Основные задачи, решаемые в работе:

1. Разработка методики расчёта нагревательного блока силового трансформатора;
2. Оценка энергоэффективности нагревательного блока в различных режимах работы;
3. Оценка влияние работы нагревательного блока силового трансформатора на сети питающего напряжения;

Научная новизна результатов исследования состоит в научном обосновании режимов работы нагревательного блока, позволяющих повысить энергетическую эффективность силового масляного трансформатора.

Теоретическая и практическая ценность диссертационного исследования заключается в следующем:

1. Разработана методика электромагнитного расчёта нагревательного блока силового трансформатора;
2. Создана тепловая схема замещения нагревательного блока силового трансформатора, которая позволила обосновать энергоэффективные режимы работы.
3. Для исследования электромагнитных процессов, протекающих в силовом трансформаторе с блоком нагрева жидкости разработана компьютерная модель, с помощью которой проведена оценка возможности регулирования мощности нагревательного блока и влияние работы нагревательного блока на сети питающего напряжения.

Основные методы исследований. Для решения поставленных задач применялись методы расчёта тепловых процессов с помощью эквивалентных тепловых схем замещения, методы компьютерного моделирования переходных процессов в электрических цепях, основные положения теории электротехники и электромеханики.

Степень достоверности. Достоверность результатов диссертационного исследования подтверждается обоснованностью полученных выводов, базирующихся на строго доказанных и корректно используемых положениях прикладных и фундаментальных наук.

Личный вклад. Была разработана методики расчёта нагревательного блока силового трансформатора трубчатого типа и дана оценка его энергоэффективности.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Принципы расчета нагревательного блока силового трансформатора.
2. Результаты анализа энергоэффективности нагревательного блока.
3. Результаты анализа влияния работы силового трансформатора на электрическую сеть.

Апробация результатов. Результаты исследований, включенных в работу, докладывались на научно-технической конференции студентов и аспирантов (г. Комсомольск-на-Амуре, 2018 г.) и на второй Всероссийской научно-практической конференции (г. Хабаровск, 2018 г.).

Структура и объём диссертации. Диссертация состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка литературы из 20 наименований. Общий объём работы составляет 78 стр, 56 рисунков, 7 таблиц.

Во введении обоснована актуальность темы, сформулированы цели и задачи исследования, отражена научная новизна и практическая ценность полученных результатов, приведена общая характеристика и структура диссертации, а также положения, выносимые на защиту.

В первой главе рассматриваются общие сведения о способах повышения энергоэффективности силовых трансформаторах, а также приведены основные достоинства и недостатки каждого из способов.

Основными способами повышения энергоэффективности силовых трансформаторов является снижение потерь холостого хода (применение холоднокатаной стали; применение аморфных сталей; комбинированного использования анизотропной и изотропной сталей) и короткого замыкания

(применение ВТСП проводников; применение кабеля из сшитого полиэтилена).

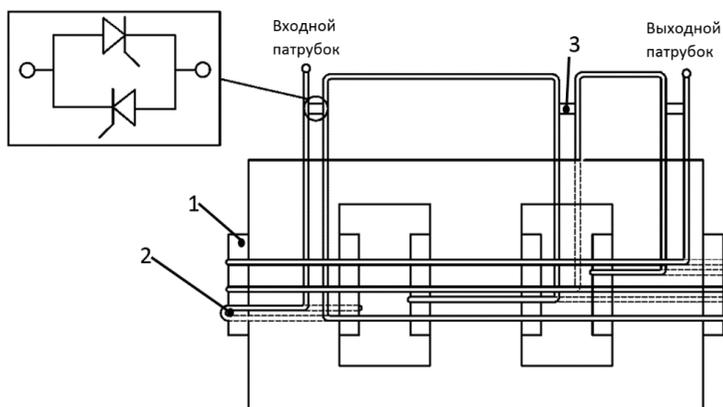
Но все эти способы требуют значительных капитальных вложений.

На их фоне способ повышения энергоэффективности трансформатора за счет использования этих потерь, путём включения в его конструкцию нагревательного блока выглядит довольно перспективным, так как не требует больших денежных вложений.

Нагрев теплоносителя осуществляется за счёт передачи тепла от трансформаторного масла. Для обеспечения необходимой температуры теплоносителя в нагревательном блоке 2 расположен короткозамкнутый контур, регулирование мощности, которого осуществляется с помощью тиристоров 3.

На рисунке 1 приведён трансформатор с блоком нагрева жидкости.

Во второй главе приведён обобщённый расчёт силового трансформатора с блоком нагрева. Также в данной главе приведена методика расчёта блока нагрева жидкости силового трансформатора трубчатого типа.



1-первичная и вторичная обмотки трансформатора; 2-нагревательный блок; 3-блок тиристоров.

Рисунок 1-Трансформатор с блоком нагрева жидкости

Определяющими параметрами при расчёте нагревательного блока данного типа являются: напряжение витка; габариты трубы; материал; длин-

на трубы. К тепловыделяющим элементам в таких устройствах предъявляются следующие требования: площадь соприкосновения обмотки нагревательного блока с теплоносителем должна быть достаточной, чтобы обеспечить требуемую удельную поверхностную мощность; площадь поверхности обмотки нагревательного блока, не имеющая контакта с нагреваемой средой должна быть минимальна; отклонение величины удельного активного сопротивления материала вторичной обмотки от номинального значения должно быть минимально возможным; материал обмотки нагревательного блока должен быть устойчивым к коррозии; температура теплоносителя не должна превышать 85°C.

Мощность нагревательного блока данного типа на прямую зависит от сопротивления трубы, которое определяется по формуле:

$$R_{\text{тр}} = \frac{(U_{\text{ПР}} - U_{\text{T}})^2}{P_{\text{ТР}}};$$

где $U_{\text{ПР}}$ -напряжение витка;

U_{T} -падение напряжения на вентиле;

$P_{\text{ТР}}$ -мощность одной фазы нагревательного блока.

Зная габариты и сопротивление трубы определяем необходимую длину трубы:

$$L_{\text{трубы}} = R_{\text{тр}} \cdot \frac{S_{\text{сеч.трубы}}}{r};$$

где r -это удельное электрическое сопротивление нагревательного блока, Ом·мм²/м;

$S_{\text{сеч.трубы}}$ -площадь сечения трубы.

Зная длину трубы можем найти площадь её внутренней поверхности:

$$S_{\text{внутр.пов.}} = d \cdot \pi \cdot L_{\text{трубы}}.$$

Далее определяем плотность теплового потока:

$$W_{\text{пов.трубы}} = \frac{P_{\text{ТР}}}{S_{\text{пов.трубы}}}.$$

Если плотность теплового потока превышает 10 Вт/см², то необходимо сделать повторный расчёт с изменёнными значениями габаритов трубы.

В третьей главе выполнен тепловой расчёт силового трансформатора с блоком нагрева жидкости.

Для оценки теплового состояния нагревательного блока и оценки количества тепловой энергии, переданной от нагревательного блока в воду, была составлена эквивалентная тепловая схема замещения.

Тепловая схема замещения силового трансформатора приведена на рисунке 2.

На основе данной схемы было составлено уравнение теплового баланса:

$$T_{TP} = \frac{P \cdot R_{\text{МАСЛА}} \cdot R_{\text{ВОДЫ}} + T_{\text{ВОДЫ}} \cdot R_{\text{МАСЛА}} + T_{\text{МАСЛА}} \cdot R_{\text{ВОДЫ}}}{R_{\text{МАСЛА}} \cdot R_{\text{ВОДЫ}}}$$

Исследования проводились для силового трансформатора ТРД-16 000/35 мощностью 16000 кВА. Мощность потерь холостого хода и короткого замыкания соответственно составляют 21 и 90 кВт. Мощность нагревательного блока 100 кВт.

Для оценки эффективности нагревательного блока был введён термин-коэффициент эффективности нагревательного блока, который определяется:

$$\eta = \frac{Q2}{P_{\text{НБ}}};$$

где $Q2$ -количество теплоты, переданное от нагревательного блока в воду;

$P_{\text{НБ}}$ -мощность нагревательного блока.

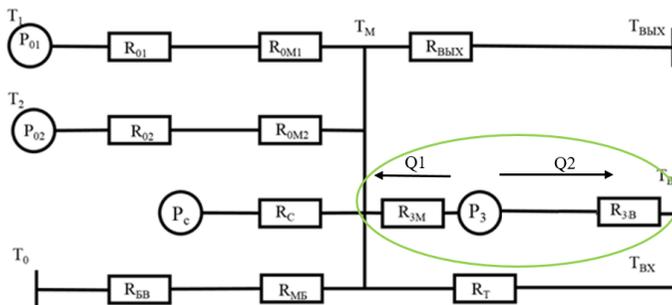


Рисунок 2- Тепловая схема замещения силового трансформатора с блоком нагрева.

Расчёты проводились для различных значений(скоростей) расхода воды.

В ходе исследований было определено, что при увеличении скорости течения(расхода) теплоносителя в данной системе приводит к уменьшению сопротивления стенка-вода и как следствие к увеличению теплового потока от стенки к воде.

Результаты исследований приведены на рисунке 3 в виде графика.

В четвёртой главе при помощи компьютерной модели системы электроснабжения проведено исследование электромагнитных процессов, происходящих при различных режимах работы нагревательного блока.

Для исследования переходных процессов, происходящих в нагревательном блоке, вводится ряд допущений: трёхфазное напряжение, подводимое к первичной обмотке симметрично и синусоидально (высшие гармоники отсутствуют); потери в стали магнитной системы не учитываются; остаточная намагниченность сердечника не учитывается.

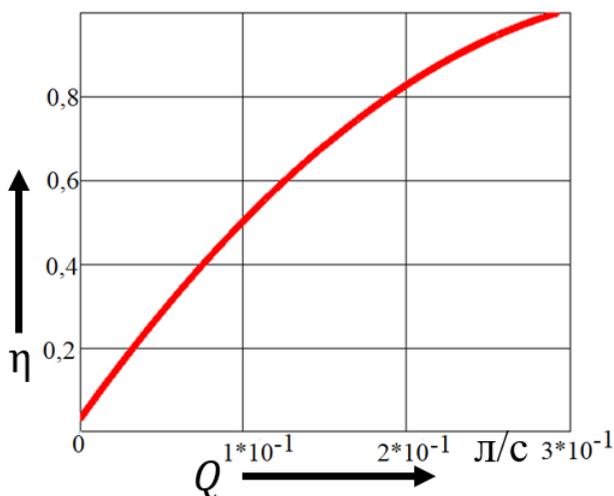


Рисунок 3-Зависимость коэффициента эффективности нагревательного блока от расхода воды

Исходя из этого, уравнения напряжений в трансформаторе с блоком нагрева принимают вид:

$$\begin{aligned}
 U_A &= \frac{d\psi_A}{dt} + r_1 \cdot i_A; & U_B &= \frac{d\psi_B}{dt} + r_1 \cdot i_B; & U_C &= \frac{d\psi_C}{dt} + r_1 \cdot i_C; \\
 U_a &= \frac{d\psi_a}{dt} + r_1 \cdot i_a; & U_b &= \frac{d\psi_b}{dt} + r_1 \cdot i_b; & U_c &= \frac{d\psi_c}{dt} + r_1 \cdot i_c; \\
 U_{\text{Анб}} &= \frac{d\psi_{\text{Анб}}}{dt} + r_1 \cdot i_{\text{Анб}}; & U_{\text{Внб}} &= \frac{d\psi_{\text{Внб}}}{dt} + r_1 \cdot i_{\text{Внб}}; & U_{\text{Снб}} &= \frac{d\psi_{\text{Снб}}}{dt} + r_1 \cdot i_{\text{Снб}}.
 \end{aligned}$$

, где $U_A, U_B, U_C, U_a, U_b, U_c, U_{\text{Анб}}, U_{\text{Внб}}, U_{\text{Снб}}$ -фазные напряжения питающей сети, вторичной обмотки и нагревательного контура; $\psi_A, \psi_B, \psi_C, \psi_a, \psi_b, \psi_c, \psi_{\text{Анб}}, \psi_{\text{Внб}}, \psi_{\text{Снб}}$ -потокосцепления обмоток первичной, вторичной и нагревательного блока; $i_A, i_B, i_C, i_a, i_b, i_c, i_{\text{Анб}}, i_{\text{Внб}}, i_{\text{Снб}}$ -фазные токи обмоток первичной, вторичной и нагревательного блока.

Для исследования влияния работы нагревательного блока на нагрузку, подключенную к вторичной обмотке была составлена имитационная компьютерная модель системы электроснабжения, приведённая на рисунке 4.

В процессе исследований было выяснено, что при угле управления тиристорами равном 90° , скачки напряжения во вторичной обмотке достигают наибольшего значения, но даже в этом случае их значения незначительно.

С уменьшением же мощности нагревательного блока на один порядок, влияние работы нагревательного блока на электрическую сеть вторичной обмотки, становится более значимым.

Одним из важнейших параметров характеризующим качество электроэнергии является отклонение кривой напряжений от синусоидальной формы. Несинусоидальность напряжения возникает вследствие подключения к сети потребителей, имеющих нелинейную вольтамперную характеристику. Данное отклонение согласно ГОСТ 32144-2013 характеризуется суммарным коэффициентом гармонических подгрупп.

Зависимость суммарного коэффициента гармонических подгрупп от отношения мощности трансформатора к мощности нагревательного блока приведена в таблице 1.

В результате исследований было выяснено, влияние нагревательного блока на цепь нагрузки минимально. Лишь при отношении мощностей

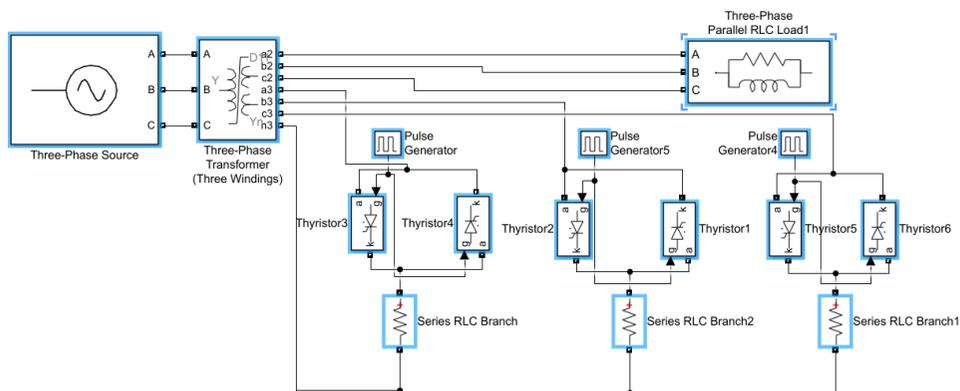


Рисунок 4-Имитационная компьютерная модель системы электро-снабжения

Таблица 1-Зависимость суммарного коэффициента гармонических подгрупп от отношения мощности трансформатора к мощности нагревательного блока.

$P_{TP} / P_{НБ}$	2	4	10	20	30	100	160
THD, %	5,96	1,95	0,67	0,47	0,51	0,63	0,66

нагревательного блока и силового трансформатора равной 2 в самом нагруженном режиме работы нагрева тельного блока (угол открытия тиристоров равен 90°) параметры электрической сети не соответствуют ГОСТу ($THD \geq 5\%$).

Заключение

В магистерской диссертации были проведены исследования эффективности использования нагревательного блока в силовом масляном трансформаторе.

Основными результатами работы являются:

1. Разработана методика электромагнитного расчета трехфазного нагревательного блока, состоящего из трех труб из электропроводного мате-

риала. Для электрического замыкания труб в каждой фазе используются тиристорные ключи, включенные встречно-параллельно. Для выбранной конструкции нагревательного блока по разработанной методике произведён расчёт геометрических размеров труб. Исследуемый нагревательный блок предназначен для обогрева жилого помещения площадью до 500 м².

2. Для оценки энергоэффективности работы нагревательного блока построена эквивалентная тепловая схема замещения силового масляного трансформатора с блоком нагрева жидкости. Анализ теплового режима нагревательного блока показал высокую эффективность его использования в конструкции силового трансформатора.

3. С помощью, созданной имитационной компьютерной модели системы энергоснабжения на базе силового трансформатора с блоком нагрева жидкости исследованы электромагнитные процессы. Анализ результатов позволил сделать вывод о незначительности влияния нагревательного блока на работу самого силового трансформатора и на работу нагрузки, подключенной к вторичной обмотке.

Список публикаций автора магистерской диссертации

1 Каплан, И.А. Исследование силового трансформатора с блоком нагрева жидкости. /И.А. Каплан, Литовец А.В, Сериков А.В.//Электропривод на транспорте и в промышленности: материалы 2 Всероссийской научно-практической конференции, Хабаровск, 20-21 сентября 2018 г. Редкол.: С.В. Власевский(отв. Ред.[и др.].-Хабаровск: .Изд-во «ДВГУПС», 2018.-с.284-290.

2 Каплан, И.А. Силовой трансформатор с блоком нагрева жидкости. /И.А. Каплан, Сериков А.В.//Научно-техническое творчество аспирантов и студентов: материалы 48-й научно-технической конференции студентов и аспирантов, Комсомольск-на-Амуре, 09-20 апреля 2018 г.: в 2 ч./Редкол.: Э.А. Дмитриева(отв. ред.)[и др.].-Комсомольск-на-Амуре: .ФГБОУ ВО «КнАГУ», 2018.-Ч1 с.284-290.