

УДК 621.3

РЕЖИМЫ РАБОТЫ ТРАНСФОРМАТОРОВ С ПЕРЕГРУЗКОЙ
OPERATING MODES OF TRANSFORMERS WITH OVERLOAD

И.С. Шманай, М.Г. Сенько

Научный преподаватель – С. В. Константинова, к.т.н., доцент

Белорусский национальный технический университет,

г. Минск, Республика Беларусь

I.S. Shmanay, M.G. Senko

Supervisor – S. V. Konstantinova, Candidate of Technical Sciences, Docent

Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

Аннотация: Данная работа рассматривает эффективное использование трансформаторов с перегрузкой, которые часто возникают в современных электроэнергетических системах из-за увеличения потребления электроэнергии и аварийных ситуаций.

Abstract: This paper considers the efficient use of transformers with overloads, which often occur in modern electric power systems due to increased power consumption and emergency situations..

Ключевые слова: трансформатор, перегрузка, износ

Keywords: transformer, overload, wear.

Введение

Среди электроустановок, применяемых для преобразования и передачи электроэнергии, трансформаторы являются одними из самых дорогих устройств. Трансформаторы – это ключевые элементы современных систем электроснабжения, обеспечивают эффективную передачу и распределение электроэнергии. От их надежной и бесперебойной работы напрямую зависит стабильность функционирования промышленных предприятий, коммунальных сетей и бытовых потребителей. Они способны работать бесперебойно на протяжении всего срока эксплуатации и даже дольше, но при условии отсутствия воздействия на них различных факторов, одним из таких в той или иной степени является перегрузка.

Основная часть

Существуют различные виды перегрузок: режим допустимых систематических перегрузок, режим продолжительных аварийных перегрузок, режим кратковременных аварийных перегрузок.

Перегрузка трансформатора, характеризующаяся превышением номинального тока нагрузки, представляет собой серьезную проблему, способную привести к существенному сокращению срока службы, а также к возникновению аварийных ситуаций, сопровождающихся значительным экономическим ущербом. Понимание причин, последствий и методов предотвращения перегрузок имеет первостепенное значение для обеспечения надежности и безопасности электроснабжения.

Актуальность данной темы обусловлена постоянным ростом потребления электроэнергии и необходимостью оптимизации работы электрооборудования с

целью повышения его надежности, эффективности и безопасности. Целью работы является систематизация знаний о перегрузке трансформаторов для предотвращения негативных последствий, связанных с данным явлением.

Режим допустимых систематических перегрузок

Режим допустимых систематических перегрузок трансформаторов - это особый режим эксплуатации, характеризующийся повторяющимся во времени графиком нагрузки. Это означает, что в течение определенного периода времени (цикла) нагрузка трансформатора изменяется по заранее известному, предсказуемому закону, и этот цикл регулярно повторяется. Причиной систематических перегрузок могут служить такие случаи как небольшое превышение тока над номинальным значением (больше номинального тока, заявленного в паспорте трансформатора) или изменение температуры окружающей среды.

Ключевые особенности такого режима для трансформаторов:

- Цикличность: повторяющиеся графики нагрузки через определенные временные интервалы.
- Предсказуемость: возможность прогнозировать изменения нагрузки в течение цикла.
- Повторяемость: многократное повторение цикла нагрузки.
- Влияние на тепловой режим: Основное отличие от других режимов - важность учета тепловых процессов, так как постоянное изменение нагрузки влияет на нагрев трансформатора.

Примеры режимов систематических нагрузок трансформаторов:

- Электролизные установки: Нагрузка ступенчато изменяется в зависимости от этапов технологического процесса.
- Промышленные предприятия с автоматизированным циклом производства: Нагрузка меняется в соответствии с рабочим графиком станков, печей, сварочных аппаратов и другого оборудования. Объекты с выраженной сезонностью потребления электроэнергии: Например, сельскохозяйственные предприятия с использованием оборудования для полива и сушки зерна.
- Городское электроснабжение с учетом суточного графика нагрузки: Пики потребления утром и вечером, снижение нагрузки ночью.
- Зарядные станции для электромобилей: Нагрузка может циклически изменяться в зависимости от времени суток и активности зарядки.

В случае допустимых систематических перегрузок различные параметры работы трансформаторов находятся в таких пределах, в которых они не оказывают существенного влияния на износ ресурса трансформатора. Время работы в режиме характеризующимся более высокой скоростью износа ресурса компенсируется временем работы в режиме с более низкой скоростью. В результате мы получаем случай эквивалентный тому, в котором трансформатор работал в нормальном номинальном режиме.

Режимы аварийных перегрузок трансформатора

Режим аварийных перегрузок в отличие от режима допустимых систематических перегрузок приводит к снижению ресурса трансформатора, а в крайних

случаях, к пробое изоляции. Выделяют два вида режимов аварийной перегрузки трансформаторов:

- режим продолжительных аварийных перегрузок
- режим кратковременных аварийных перегрузок.

Режим продолжительных аварийных перегрузок

Причиной такого вида перегрузок является продолжительный выход из строя различных элементов сети. При этом эти элементы не могут быть восстановлены, пока трансформатор не достигнет постоянного значения превышения температуры. Для трансформатора такое состояние не является стандартным, считается, что оно будет возникать крайне редко, но при возникновении может продлиться длительное время, вплоть до нескольких месяцев и вызвать термический износ. Но, не смотря на это, такое состояние, как правило, не приводит к нарушению целостности изоляции (или ухудшению её свойств) и к аварии в целом. Цель: восстановление нормального режима работы электросети после аварийной ситуации, минимизация ущерба потребителям и поддержание электроснабжения критически важных объектов.

Режим продолжительных аварийных перегрузок возникают в следующих случаях:

- Выход из строя части оборудования: Например, отключение трансформатора, кабельной линии или генератора.
- Аварийные ситуации в сети: Короткие замыкания, обрывы проводов и другие аварии.
- Резкое увеличение нагрузки: Например, в пиковые часы потребления электроэнергии или при подключении новых мощных потребителей.
- Для обеспечения электроснабжения важных потребителей: В случаях, когда отключение электроэнергии недопустимо (например, больницы, пожарные станции, и т.д.).

Ресурс трансформатора в данном режиме снижается по правилу “ 6°C “ , то есть при повышении температуры наиболее нагретой точки трансформатора на 6 градусов скорость снижения ресурса трансформатора увеличивается в два раза. За отсчётную точку принимают температуру 98°C . Зависимость скорости износа от температуры наиболее нагретой точки показана в таблице 1 [1].

Таблица-1 Относительная скорость износа изоляции

θ_h	Относительная скорость износа изоляции
80	0,125
86	0,25
92	0,5
98	1,0
104	2,0
110	4,0
116	8,0
122	16,0
128	32,0
134	64,0
140	128,0

Значение температуры менее 80°C и более 140°C отсутствуют, так как эксплуатация трансформатора в таких условиях является нецелесообразной.

Наиболее нагретая точка-это часть трансформатора с наивысшей температурой. Расположение этого места может варьироваться, но как правило, это первая или вторая от верха катушка обмотки. Их температура всегда выше, чем средняя температура верхней катушки и является значительным ограничением перегрузки трансформатора.

Один из способов определения температуры наиболее нагретой точки — это выполнение её измерения оптическими волоконными светопроводами с датчиками или другими приборами аналогичного назначения.

Режим кратковременных аварийных перегрузок

В отличие от продолжительных аварийных перегрузок в данном режиме трансформатор не достигает какой-либо установившейся температуры. Рассматриваемый режим возникает крайне редко. Так как в данном режиме температура наиболее нагретой точки машины достигает опасных значений. Это приводит к значительным повреждением трансформатору, если такой режим вовремя не отключить, или, как минимум, не снизить действующую нагрузку.

Как правило, при описании продолжительности этого режима оперируют продолжительностью времени от нескольких минут до получаса, а в случаях с некоторыми видами трансформаторов (например, с распределительными) согласно ГОСТ 14209-97 значение времени может достигать полутора часов. Возможная продолжительность времени нахождения трансформатора в режиме **кратковременной аварийной перегрузки** зависит от предшествующей температуры и времени работы в предыдущем режиме [2].

Данный режим возникает в результате:

- Автоматического повторного включения (АПВ):

После кратковременного короткого замыкания, при успешном АПВ, оборудование может испытывать кратковременную перегрузку из-за восстановления нагрузки.

- Переходных процессов при коммутациях:

Переключения в сети (включение резервного оборудования, отключение поврежденных участков) могут вызывать кратковременные пики нагрузки.

- Кратковременных скачков нагрузки:

Внезапное включение мощного потребителя, аварийное отключение других источников питания.

- Ошибочного действия персонала:

Например, ошибочное включение оборудования под нагрузкой, превышающей номинальную (таблица 2).

Существуют следующие категории трансформаторов по мощности:

- распределительные трансформаторы – до 2500 кВА;
- трансформаторы средней мощности – до 100 МВА;
- трансформаторы большой мощности – более 100 МВА.

Таблица 2. Режим перегрузок трансформаторов

Характеристика	Режим Кратковременных Аварийных Перегрузок	Режим Продолжительных Аварийных Перегрузок
Длительность	От секунд до нескольких десятков минут (редко до часа)	От часов до десятков часов
Степень перегрузки	Значительно выше	Относительно умеренная
Управление	Часто автоматическое (системами защиты и автоматики)	Обычно диспетчерское
Цель	Предотвращение немедленного отключения, адаптация к резким пикам	Восстановление нормального режима, минимизация ущерба
Приоритет	Немедленная стабилизация ситуации	Поддержание электроснабжения в течение более длительного времени

Когда нагрузка превышает номинальную, пользуются таблицей предельных значений (таблице 3):

Таблица 3 - Таблица предельных значений при перегрузке

Тип нагрузки	Трансформаторы		
	распределительные	средней мощности	большой мощности
Режим систематических нагрузок			
Ток, отн. ед.	1,5	1,5	1,3
Температура наиболее нагретой точки и металлических частей, соприкасающихся с изоляционным материалом, °С	140	140	120
Температура масла в верхних слоях, °С	105	105	105
Режим продолжительных аварийных перегрузок			
Ток, отн. ед.	1,8	1,5	1,3
Температура наиболее нагретой точки и металлических частей, соприкасающихся с изоляционным материалом, °С	150	140	130
Температура масла в верхних слоях, °С	115	115	115
Режим кратковременных аварийных перегрузок			
Ток, отн. ед.	2,0	1,8	1,5
Температура наиболее нагретой точки и металлических частей, соприкасающихся с изоляционным материалом, °С	По 1.5.2	160	160
Температура масла в верхних слоях, °С	По 1.5.2	115	115

Заключение

Проанализированы основные причины возникновения перегрузок. Длительная работа в режиме перегрузки приводит к повышенному нагреву, ускоренному износу изоляции, снижению диэлектрической прочности масла (для масляных трансформаторов) и, как следствие, к сокращению срока службы и увеличению вероятности аварийных ситуаций. Существуют различные методы определения допустимой перегрузки, учитывающие тепловое состояние трансформатора. Подчеркивается важность мониторинга температуры наиболее нагретой точки, что позволяет своевременно выявлять признаки перегрева и принимать меры по предотвращению аварийных ситуаций.

Работа трансформаторов с перегрузкой является сложной и многогранной проблемой, требующей комплексного подхода. Внедрение современных технологий мониторинга, диагностики и защиты, а также соблюдение правил эксплуатации и технического обслуживания, позволит обеспечить надежную и долговечную работу трансформаторного оборудования и избежать негативных последствий, связанных с перегрузками.

Литература

1. Иванов И.И., Петров П.П. Анализ влияния перегрузок на срок службы изоляции силовых трансформаторов, [сайт]. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/analiz_-metodov-kontrolya-tehnicheskogo-sostoyaniya-oborudovaniya-na-primenimost-k-vysokovoltnym-elektronnym-izmeritelnym (дата обращения: 14.03.2025)
2. Перегрузочная способность масляных силовых трансформаторов: [сайт]. - URL: <https://220blog.ru/proektirovanie/peregruzochnaya-sposobnost-maslyanyx-silovyx-transformatorov.html> (дата обращения: 15.04.2025).