
УДК 621.316.06

В.С. ТУЗОВСКИЙ, студент гр. ЭРб-181 (КузГТУ)
Научный руководитель О.В. ПОПОВА, к.т.н., доцент
(КузГТУ)
г. Кемерово

СНИЖЕНИЕ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРАХ

Одной из основных проблем энергетики являются потери электроэнергии из мест генерации к потребителю. В постоянно развивающемся государстве, где происходит стремительный рост потребляемой электроэнергии, данная проблема ставит большие трудности для дальнейшего развития экономики. А так как значительная часть всех потерь приходится на силовые трансформаторы, то увеличение их энергоэффективности является приоритетной задачей.

В статье рассмотрены виды потерь, возникающих в силовых трансформаторах, а также определены способы их уменьшения.

Для повышения эффективности электропотребления необходимо минимизировать потери в энергосистеме. Одной из мер увеличения эффективности является минимизация потерь в силовых трансформаторах путем их усовершенствования.

Во время работы обмотки силовых трансформаторов на подстанциях нагреваются, это связано с наличием потерь при протекании по ним тока. Данные потери можно разделить на 2 группы: потери холостого хода, нагрузочные потери.

Рассмотрим каждую группу по отдельности.

Потери холостого хода.

Режим работы трансформатора, когда первичная обмотка получает питание, а вторичная разомкнута (без нагрузки), называется холостым ходом. Потери, возникающие при данном режиме работы, называются потерями холостого хода. Данный вид потерь появляется за счет влияния ряда факторов, таких как:

- Вихревые токи
- Гистерезис (перемагничивание)

При работе трансформатора первичная обмотка наводит ЭДС в магнитопроводе, вследствие чего по нему начинает протекать магнитный

поток. За счет наличия магнитного потока в магнитопроводе возникают вихревые токи, вызывающие его нагрев.

Ниже приведена формула нахождения потерь на вихревые токи:

$$P_B = f^2 \cdot S \cdot G, \quad (1)$$

где f – частота, S – площадь, G – масса.

По формуле (1) видно, что величина вихревых токов напрямую зависит от площади магнитопровода.

Гистерезис — это явление намагничивания, перемагничивания материала магнитопровода. Так как через трансформатор протекает переменный ток, то и магнитный поток в магнитопроводе тоже будет переменным. Из этого следует что при каждом переходе тока от максимального значения в минимальное и наоборот будет происходить перемагничивание магнитопровода то положительно, то отрицательно. Кривая намагничивания материала в данном случае принимает вид петли Гистерезиса, исходя из которой можно определить, что намагничивание и перемагничивание материала требует дополнительных затрат энергии, эта энергия и есть потери на гистерезис, вследствие которых происходит выделение тепла в магнитопроводе.

Нагрузочные потери.

Данный вид потерь характерен, когда трансформатор работает под нагрузкой, то есть ко вторичной обмотке подключены потребители электрической энергии. В данном случае часть электрической мощности, протекающая через обмотки трансформатора, преобразуется в тепловую, вызывая нагрев.

Происходит это из-за того, что обмотки трансформатора сделаны из токопроводящего материала (медь, алюминий), имеющего некоторое сопротивление прохождению тока, в зависимости от материала оно везде разное.

Из самого названия нагрузочные потери можно определить, что данный вид потерь присутствует если к трансформатору подключена нагрузка, и величина потерь будет зависеть от величины загрузки. Из этого следует, что при больших нагрузках, обмотки трансформатора будут греться сильнее, это приводит к более быстрому старению изоляции, ухудшению ее свойств, следовательно, увеличению токов утечки – увеличению потерь.

Рассмотрим способы минимизации потерь в трансформаторе.

Потери холостого хода.

Главной задачей в уменьшении потерь холостого хода будет являться минимизация вихревых токов, и уменьшении энергии, затрачиваемой на гистерезис (перемагничивание) магнитопровода.

Так как величина вихревых токов напрямую зависит от площади магнитопровода, то для их уменьшения используют шихтованную магнитную систему. Она подразумевает собой использование тонких пластин электротехнической стали, каждая из которых покрывается тонким слоем окислы в качестве изолятора, и сборку их в переплет по различным способам. Виды шихтовки показаны на рисунке 1.



Рисунок 1. Виды шихтовки магнитной системы:

а - косые стыки в шести углах; б - косые стыки в четырех и прямые - в двух углах; в - сочетание косых стыков с комбинированными

Магнитопровод собранный из множества отдельных тонких пластин стали, значительно уменьшает величину вихревых токов, так как они не могут больше занимать всю его площадь, а вынуждены тесниться в тонких пластинах. Также такая конструкция не препятствует прохождению магнитного потока сквозь магнитопровод и не нарушает правильность работы трансформатора.

Еще одной проблемой являются потери на гистерезис. Данная проблема требует вмешательство в состав используемых материалов в качестве магнитопровода.

Потери на гистерезис связаны со свойством материала намагничиваться, этот показатель в математическом виде показывает коэффициент коэрцитивной силы, чем он выше, тем больше нужно затратить энергии на перемагничивание материала. Следовательно, для минимизации потерь нужно использовать материал с низкой коэрцитивной силой.

Для получения материала с низкой коэрцитивной силой в сталь магнитопровода добавляют различные примеси, в зависимости от добавленных примесей различают марки сталей: 3401,3402,3403 и т.д.

Нагрузочные потери.

Так как нагрузочные потери являются следствием протекания тока через обмотки трансформатора и зависят от его удельного сопротивления, то решением данной проблемы будет использование в качестве проводника обмоток, материала с низким удельным электрическим сопротивлением.

В данной ситуации есть 2 выхода, использование дорогостоящей меди, имеющей очень малое сопротивление ($0,017 \text{ Ом}\cdot\text{мм}^2/\text{м}$), либо же

использовать более дешевый алюминий, имеющий большее сопротивление ($0,028 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$).

Еще один фактор вытекает из удельного сопротивления - при одинаковой требуемой мощности, сечение алюминиевого проводника в обмотке будет больше, следовательно, и размеры трансформатора будут больше по сравнению с медными.

Выбор того или иного материала проводника в основном зависит от технико-экономического расчета, по которому определяют наиболее выгодный вариант для поставленной задачи.

Практической применение.

Общая тенденция увеличения энергоэффективности в России началась еще в 2009 году, когда Правительством РФ был принят ряд документов, в которых говорится об энергоэффективности используемого оборудования, а в частности, что около 50% всего используемого оборудования было морально устаревшим, и требовалась полная его замена более эффективными.

Использование технологий, повышающих энергоэффективность являлась необходимостью, при решении данных проблем, поэтому их внедрение не заставило себя долго ждать.

В международной практике данные мероприятия уже широко используются при проектировании новых трансформаторов. Для определения энергоэффективности вновь проектируемого оборудования были введены стандарты:

- международные (ISO, IEC)
- европейские (EN, HD)
- национальные (UNE OTEL, NEN)

Основным показателем энергоэффективности, на которые опираются данные стандарты, являются величины нагрузочных потерь и холостого хода.

По данным показателям трансформаторы разделяют на следующие группы:

- для нагрузочных потерь A, B, C.
- для потерь холостого хода на A', B', C'.

К примеру трансформатор группы A-A' или C- C', причем второй будет энергоэффективней, так как группа C предполагает энергоэффективность выше чем A.

Вывод:

Основополагающими в развитии энергоэффективности трансформаторов являются меры, способствующие снижению потерь, к которым относятся использование меди в качестве проводов обмоток,

использование шихтованной магнитной системы, а также добавление в электротехническую сталь магнитопровода, присадок, уменьшающих потери на гистерезис. В купе все эти технологии дали большой скачок в развитии энергоэффективности, поэтому при проектировании новых силовых трансформаторов использование данных технологий должно быть обязательным.

Список литературы:

1. Дерзкий В. Г., Скиба В. Ф. Выбор мероприятий по снижению потерь электроэнергии в распределительных сетях. // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит, № 6, 2009.
2. Кириsov Игорь Геннадиевич, Овчаренко Татьяна Ивановна Минимизация потерь в силовых трансформаторах при изменении режима нагрузки // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. 2014. №6 (124). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/minimizatsiya-poter-v-silovyh-transformatorah-pri-izmenenii-rezhima-nagruzki> (дата обращения: 06.11.2021).
3. Хоменко И. В. Анализ электромагнитных процессов различных режимов работы силовых трансформаторов // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. 2014. №5 (123). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-elektromagnitnyh-protsessov-razlichnyh-rezhimov-raboty-silovyh-transformatorov> (дата обращения: 06.11.2021).
4. Кириsov Игорь Геннадьевич Сокращение технологического расхода электроэнергии в элементах системы электроснабжения // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. 2015. №6 (137). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sokraschenie-tehnologicheskogo-rashoda-elektroenergii-v-elementah-sistemy-elektrosnabzheniya> (дата обращения: 06.11.2021).
5. Синьков В. М. Снижение технологического расхода электроэнергии в трансформаторных подстанциях В. М. Синьков, И. П. Притока, А. А. Омельчук и др. - К.: Техника. 1987. - С.14-15.
6. В.Копытов, Б.А.Цуланов, Экономия электроэнергии в промышленности. Справочник., М.Энергия, 1982,115с.

Информация об авторах:

Тузовский Владислав Сергеевич, студент гр. ЭРб-181, КузГТУ, 650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, д. 28, vladislav922mail.ru@mail.ru

Попова Ольга Владимировна, к.т.н., доцент, КузГТУ, 650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, д. 28, pov.egpp@kuzstu.ru