

Описаний один із способів інтенсифікації відведення тепла від котушок трансформатора за допомогою руйнування ламінарного підшару ультразвуковим опроміненням. Приведені основні достоїнства і недоліки застосування ультразвуку для опромінення трансформаторів

Ключові слова: трансформатор, ультразвук, кавітація

Описан один из способов интенсификации отвода тепла от катушек трансформатора с помощью разрушения ламинарного подслоя ультразвуковым облучением. Приведены основные достоинства и недостатки применения ультразвука для облучения трансформаторов

Ключевые слова: трансформатор, ультразвук, кавитация

The one way of heat removal intensification from the transformer coils by means of laminar intermediate layer destruction by an ultrasonic irradiation is described. The basic merits and demerits of ultrasound application for transformers irradiation are shown

Keywords: transformer, ultrasound, cavitation

ВЛИЯНИЕ УЛЬТРАЗВУКА НА ТЕПЛОВЫЕ ПРОЦЕССЫ В ОБМОТКАХ МАСЛЯНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

С. В. Ильин

Аспирант

Кафедра теплоэнергетики

Запорожская государственная инженерная

академия

пр. Ленина, 226, г. Запорожье, Украина, 69006

Контактный тел.: 067-261-01-20

E-mail: svizp@mail.ru

Введение

На сегодняшний день проблемы организации эффективного отвода тепла от активной части масляных трансформаторов при минимальных затратах на электроэнергию и оборудование являются одними из ключевых в отрасли. Целью теплового и гидравлического расчета обмоток трансформатора является подбор охлаждающего оборудования и геометрии каналов, которые наиболее способствуют организации эффективного отвода тепла от катушек трансформатора с наименьшими затратами материалов, оборудования и электроэнергии.

Использование ультразвука для интенсификации теплообмена на границе стенка – жидкость

В настоящий момент облучение активной части трансформатора ультразвуковыми волнами является потенциально интересным в области охлаждения трансформаторов. Использование ультразвука вызвано необходимостью уменьшить толщину пограничного слоя, который оказывает дополнительное термическое сопротивление тепловому потоку, который направлен от нагретой меди катушек, через трансформаторный картон, в охлаждающую среду – трансформаторное масло. В случае, когда размер горизонтального канала между катушками составляет менее 3 мм, то пограничный ламинарный слой будет занимать всю площадь этого канала, так как толщина ламинарного слоя

трансформаторного масла будет составлять 1 – 1,5 мм. Следовательно, разрушение этого ламинарного слоя может считаться одним из приоритетных направлений исследований тепловых и гидравлических процессов, которые имеют место в обмотках трансформатора. Как альтернатива, применимая в теплообменниках, могут быть использование оребрение поверхностей теплообмена или использование материалов с шероховатой поверхностью. Однако, в отличие от теплообменников, перечисленные изменения конструкций неприемлемы в трансформаторе, в связи с функциональной нагрузкой последних. Следовательно, единственно приемлемым способом разрушения ламинарного слоя, и, соответственно, упрощения процесса охлаждения активной части трансформатора, является использование ультразвука [1].

Влияние на теплообмен пластины, в форме которой можно представить катушку, если рассматривать ее продольный разрез, ультразвуковых волн частотой 27–697 кГц, перпендикулярных потоку, при вынужденной конвекции экспериментально исследовалось в работе [2]. Скорость потока масла изменялась от 0,07 до 1,0 м/с. Максимальное увеличение теплоотдачи, достигавшее 80%, было получено на пластине в условиях стоячих волн, где с увеличением интенсивности ультразвука теплообмен повышается, а с ростом скорости потока при той же интенсивности ее влияние понижается. Анализ результатов, полученных при частоте 697 кГц, показал, что теплообмен улучшается вследствие турбулизирующего действия микротечений у поверхности теплообмена. С увеличением скорости

потока турбулизирующее действие поля ультразвуковых волн становится незначительным по сравнению с турбулизирующим действием самого потока. Поэтому применение ультразвука для интенсификации конвективного теплообмена имеет смысл только при низких скоростях потока [2]. Как раз такие скорости движения охлаждающей среды имеют место в горизонтальных каналах размером менее 3 мм.

Негативное влияние ультразвука на тепловые, химические и электрические процессы в обмотках трансформатора

Однако облучение ультразвуком сосуда с маслом, которым является бак трансформатора, имеет и негативные последствия для отвода теплоты от меди обмоток. Ультразвуковое поле в жидкости может вызвать заметное повышение температуры, которое при обычных размерах сосуда часто достигает нескольких градусов в минуту. Причиной выделения тепла является поглощение звука в облучаемой жидкости. Следует обратить внимание, что очень вязкие растворы и масла нагреваются не больше, чем вода, хотя можно было ожидать, что поглощение в этих средах больше, чем в воде. [1].

Выделение тепла в ультразвуковом поле очень усложняет исследование других воздействий ультразвука; отделение термических процессов от других возможно, почти исключительно, путем постановки параллельных опытов без ультразвука с таким же по величине нагреванием, но полученным иным путем. Особенно сильно нагреваются поверхности раздела двух облучаемых ультразвуком сред.

Кроме того, необходимо учитывать, что облучение емкости с маслом ультразвуком приведет к образованию микропузырьков воздуха в жидкости вследствие действия ультразвуковой кавитации [3]. Вибрация ультразвука приводит к появлению в масле локальных зон пониженного давления, в некоторых случаях — значительного размера, в которых растворенный в масле газ может выделяться в виде пузырьков. Появление разрежения обусловлено непрерывным изменением объема, вмещающего масло и ограниченного твердыми стенками, из которых одна, например, вибрирует. Учитывая несжимаемость масла, изменение объема возможно только при вытеснении его или притоке.

Следует также отметить, что в результате кавитирования масла возникает дополнительная напряженность электрического поля:

$$E = \frac{4e}{r} \sqrt{Nd},$$

где d — расстояние, образующееся между двумя слоями жидкости в момент разрыва (для масла $d = 5 \cdot 10^{-8}$ см), r — радиус кавитационной полости ($r = 10^{-4}$ см), N — число ионов с зарядом e в единице объема жидкости ($N = 10^{18}$).

$$E = \frac{4e}{10^{-4}} \sqrt{10^{18} \cdot 5 \cdot 10^{-8}} = 600 \text{ В/см.}$$

Это напряжение достаточно для того, чтобы вызвать разряд при давлении газов при давлении 0,02 атмосферы [1].

Выводы

На основании проведенного анализа, можно сделать следующие выводы:

- ламинарный пограничный слой в горизонтальных каналах является наиболее существенным сопротивлением тепловому потоку, направленному от меди обмоток в охлаждающую среду, следовательно, разрушение ламинарного слоя является наиболее перспективным направлением развития систем охлаждения трансформаторов;
- применение ультразвуковых волн может обеспечить до 80% увеличения теплоотдачи;
- применение ультразвука целесообразнее при движении жидкости со скоростью до 1 м/с. Как раз такие скорости движения охлаждающей среды имеют место в горизонтальных каналах размером менее 3 мм;
- применяя ультразвук необходимо помнить о негативных последствиях его воздействия, наиболее значительным из которых является дополнительный нагрев тел, погруженных в охлаждающую среду.
- Таким образом, несмотря на положительный эффект, выражающийся в разрушении ламинарного слоя на границе картон – масло и, как следствие, интенсификации отвода теплоты от меди катушек, использование ультразвука для облучения бака трансформатора имеет и серьезные недостатки, а именно:
- возникновение существенного локального перегрева масла на границах его распространения,
- возникновение ультразвуковой кавитации,
- возникновение дополнительной электрической напряженности внутри образованных газовых пузырьков,
- выделение воды в свободном состоянии из масла в баке трансформатора,
- деполимеризация сложных углеводов масла на более простые, что в свою очередь приведет к ухудшению эксплуатационных характеристик трансформаторного масла.

Литература

1. Бергман Л. Ультразвук и его применение в науке и технике. Перевод с немецкого. Издание второе. — М.: Издательство иностранной литературы, 1957. — 727 с.
2. Жукаускас А.А. Конвективный перенос в теплообменниках. — М.: Наука, 1982. — 472 с.
3. Яковлева И.Г., Ильин С.В. Очистка трансформаторного масла ультразвуковой кавитацией. Труды XVI Международной конференции «Теплотехника и энергетика в металлургии», НМетАУ, 4 – 6 октября 2011г. — Днепропетровск: Новая идеология, 2011. — С.223-224.