

На рисунке 2 представлена зависимость первого максимума тяжения от длины подпролета, полученная Крейгом и Фордом теоретическим расчетом (подтвержденная экспериментально). Как видно из рисунка, выбор длины подпролета в области 8–13 м может приводить к возникновению очень больших значений первого максимума тяжения в случае короткого замыкания.

Кроме указанного параметра большое влияние на значение тяжения будут оказывать количество проводов в фазе, шаг расщепления, гирлянды изоляторов и т. д. Данные параметры требуют дальнейшего рассмотрения и исследования.

Литература

1. Сергей И.И., Андрукевич А.П. Упрощенный расчет максимальных тяжений расщепленных проводов при коротком замыкании // Энергетика... (Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ). – 2008. – № 6. – С. 18–23.
2. Craig D.B., Ford G.L. The response of strain bus to short-circuit currents. – IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems. – March/April 1980. – № 2.

УДК 621.314

МЕРОПРИЯТИЯ ПО ОГРАНИЧЕНИЮ ШУМА ТРАНСФОРМАТОРОВ

Гоцко А.А.

Научный руководитель – канд. техн. наук, доцент РЖЕВСКАЯ С.П.

Мероприятиям против шума, создаваемого трансформаторами, уделяется сейчас большое внимание, особенно в жилых районах.

Первым мероприятием защиты населения от шума трансформаторов является их установка на возможно большем расстоянии от жилых домов. Уменьшение уровня шума при увеличении расстояния (по свободному пространству с ровным рельефом) от открыто установленного трансформатора показано на рисунке 1.

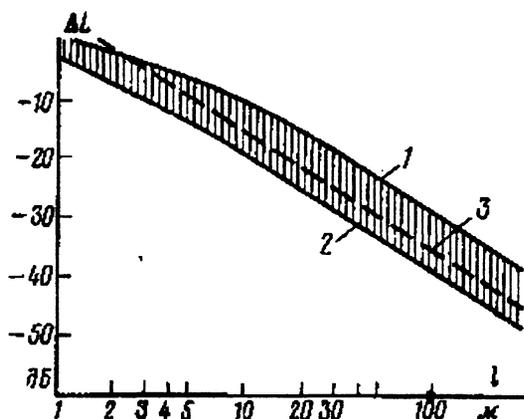


Рис. 1. Уменьшение уровня шума трансформатора при увеличении расстояния от него: L – уменьшение уровня шума; l – расстояние; 1 – у трансформаторов мощностью свыше 10 МВА; 2 – у трансформаторов мощностью 200–500 кВА; 3 – по закону сферического распространения волн

Современные знания о природе шума трансформаторов позволили постепенно в течение ряда лет значительно его уменьшить. Установлено, что шум скорее зависит от приложенного напряжения, чем от величины тока, и основная его причина – явление магнитострикции в магнитопроводе трансформатора (здесь речь идет о шуме, создаваемом самим трансформатором, а не его охлаждающими устройствами).

Уменьшение шума трансформаторов осуществляется снижением шумности магнитопровода, ограничением передачи шума от магнитопровода к баку трансформатора и звукоизоляцией трансформатора.

Для изготовления магнитопровода желательно применение материала с малой магнитострикцией. Рекомендуется применение стали с ориентированной зернистой структурой.

Исследования показали существенное влияние механических напряжений в стали на магнитострикцию и магнитную проницаемость, поэтому должна применяться сталь, у которой это влияние минимальное.

Пластины активной стали должны подвергаться тщательной правке. При сборке магнитопроводов необходимо обеспечить, чтобы механические напряжения в местах стяжки были по возможности небольшими и распределялись равномерно, а магнитные цепи не имели разрывов.

Для ограничения передачи шума от магнитов провода к баку трансформатора в масле помещают звукопоглощающие и звукоизолирующие барьеры, состоящие из двух тонких стенок с прослойкой между ними. Однако их применения считается ограниченным из-за отсутствия необходимых материалов и невозможности рассчитать их эффективность.

Перечисленные выше мероприятия позволили уменьшить уровень шума изготавливаемых трансформаторов на 3–10 дБА.

Дальнейшим средством снижения шумности трансформаторов является применение двойных баков. При таком исполнении уровень шума снижен на 15 дБА.

Известна также конструкция трансформаторов с устанавливаемыми на месте наружными кожухами, применение которой целесообразно при наличии выносных маслоохладителей. Преимущество наружных кожухов перед стационарными камерами заключается в возможности их использования при изменении места установки трансформатора.

Простейший способ звукоизоляции – ограждение трансформатора кирпичными стенами (рисунок 2а). Если жилые дома находятся только с одной стороны от трансформатора, достаточно иметь стены только с двух или трех сторон.

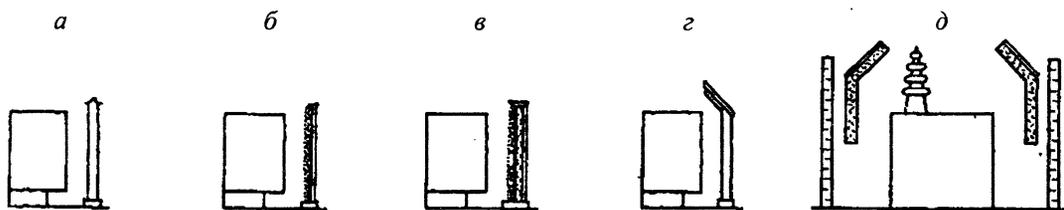


Рис. 2. Защита от шума трансформатора экранированием стенами

При высоте стены, превышающей высоту бака трансформатора на 1 м (считая от верхней грани бака), и при ее расстоянии 1 м от трансформатора уровень шума может быть уменьшен на 10 дБА, а в случае покрытия ее звукоизолирующим материалом (рисунок 2б и 2в) для шума низких частот на 1 дБА.

Для этого применяют, например, маты толщиной 60 мм из шлаковой ваты, стекло- или минерального волокна, закрепляемые непосредственно на стене или лучше на расстоянии нескольких сантиметров от нее.

Эффективность стены может быть увеличена добавлением козырька (рисунок 2г), что соответствует увеличению угла преломления. При этом уменьшение уровня шума в соответствующем направлении может составить 15 дБА.

При расположении, указанном на рисунке 2д, вентиляционные проемы не требуются, поскольку здесь через пространства между наружной стеной и акустическим барьером происходит приток холодного воздуха, замещающего теплый воздух, поднимающийся вверх от трансформатора.

Для глушения шума рекомендуется также покрытие стен перфорированными листами. При применении пленок глушение шума высоких частот малоэффективно, но при преобладающем шуме низких частот оно оказывается эффективнее.

Наиболее полная звукоизоляция трансформаторов достигается при их установке в закрытых камерах, стены которых покрыты звукопоглощающим материалом. При этом уменьшается отражение звуковых волн от стен, увеличивающее уровень шума в камере, так что уровень приближается к гарантированному фирмой для случая установки трансформатора на открытом воздухе.

Шум передается наружу из камер следующими путями: вибрацией стен, передаваемой им вследствие непосредственного их соприкосновения с трансформатором или же через пол, трубы от расширителя, шины или кабели; вибрацией стен, вызываемой звуковой энергией, передаваемой от трансформатора по воздуху; звуковой энергией, передаваемой наружу по воздуху через каналы или вентиляционные шахты.

Для исключения или ограничения передачи вибрации трансформаторов их устанавливают на пружинных или резиновых амортизаторах.

Для предупреждения передачи вибрации через трубы и шины крепление труб на стенах должно быть эластичным, а шинные ответвления должны крепиться к сборным шинам только через гибкие промежуточные звенья.

Эффективность звукоизоляции стенами зависит от массы единицы их площади. Так, при частоте шума, обычной для трансформаторов, кирпичная стена толщиной 12 см снижает уровень шума приблизительно на 35 дБ. При каждом увеличении или уменьшении массы в 2 раза гашение шума увеличивается или соответственно уменьшается на 4 дБ.

Каменная кладка не должна иметь щелей и должна быть оштукатуренной по крайней мере с одной стороны. Шум, передаваемый наружу через каналы приточно-вытяжной вентиляции, частично гасится в них. В прямолинейных каналах это происходит вследствие трения звуковой волны о стенки и ее отражения при выходе из канала.

Гашение шума вследствие трения о стенки зависит от коэффициента звукопоглощения материала стенок, диаметра и длины канала.

В гладких кирпичных и металлических стенках звукопоглощения не происходит и поэтому их следует обкладывать звукопоглощающим материалом (таблица 1).

Таблица 1

Материал	Частота, Гц		
	125	500	2000
Кирпич неоштукатуренный	0,024	0,03	0,05
Кирпич оштукатуренный	0,024	0,06	0,06
Бетон	0,01	0,01	0,01
Слой стекловолокна толщиной 3 см, наложенный на стену	0,22	0,88	1,0
Слой шлаковой ваты толщиной 4 см, покрытой гладким картоном	0,74	0,36	0,3

На городских подстанциях шум маслоохладительной установки с дутьем и принудительной циркуляцией масла трансформатора часто оказывается недопустимым. В связи с этим в Японии в течение многих лет на городских подстанциях применялись трансформаторы с водяным охлаждением, чем устранялся шум, создаваемый воздушной системой. Но из-за большого потребления воды для таких установок приходилось применять градирни, что снижало их экономичность.

Указанный недостаток устраняется применением системы испарительного охлаждения масла крупных трансформаторов, разработанной японской фирмой Mitsubishi

Electric Co. Эта система обеспечивает непосредственное и экономичное охлаждение масла с малым расходом воды и малым уровнем шума.

Маслоохладитель (рисунок 3) состоит из комплекта батарей, собранных из медных труб 1, через которые перекачивается масло трансформатора со скоростью 1,5 м/с. Трубы обрызгиваются водой из расположенной сверху системы сопел 2 так, чтобы вся их поверхность была покрыта тонкой водяной пленкой. Снизу трубы 1 обдуваются воздухом, что способствует испарению воды с их поверхности. Скрытая теплота испарения получается за счет отбора тепла от масла, причем испарительная способность установки мало зависит от расхода воды. Убыль воды за счет испарения компенсируется ее добавлением, производимым автоматическим регулятором уровня 3. Благодаря тому что требуемая скорость подачи воздуха и вентилятор сравнительно невелики установка создает только небольшой шум.

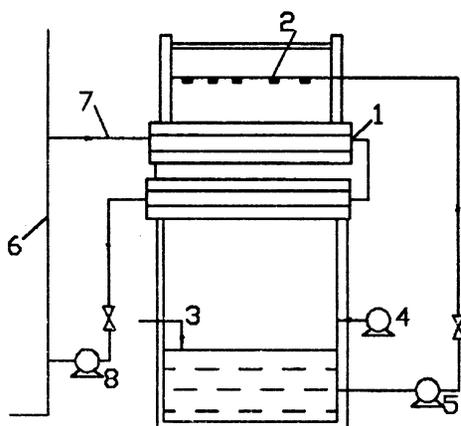


Рис. 3. Схематическое изображение испарительного маслоохладителя: 1 – змеевик для циркуляции масла; 2 – брызгальные сопла; 3 – регулятор уровня воды; 4 – вентилятор; 5 – водяной насос; 6 – трансформатор; 7 – масло; 8 – маслонасос

УДК 621.3.022

МОДЕЛИРОВАНИЕ ФИЛЬТРОВ НИЗКИХ ЧАСТОТ С ЛИНЕЙНОЙ ФАЗОВО-ЧАСТОТНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКОЙ

Лящинская И.В., Кот Д.Л.

Научный руководитель – канд. техн. наук, доцент РУМЯНЦЕВ В.Ю.

Характерным представителем фильтров с линейной фазово-частотной характеристикой является частотный фильтр Бесселя.

Фильтры Бесселя относятся к классу полиномиальных, т. е. их числитель является постоянным числом, а знаменатель – полиномом n -го порядка. Полиномиальные фильтровые цепи характеризуются тем, что их передаточные функции не содержат конечных нулей.

Идеальный фильтр нижних частот характеризуется: нулевыми потерями и пульсациями в полосе пропускания; бесконечной крутизной характеристики затухания на частоте среза; бесконечным затуханием в полосе задерживания (рисунок 1).

У идеального фильтра фазовый сдвиг линейно зависит от частоты, а групповое время задерживания постоянно для всех частот.

Фильтр Бесселя обладает приемлемой линейностью характеристики фазового угла в зависимости от частоты в полосе пропускания и вследствие этого дает хорошую аппроксимацию постоянного группового времени задерживания (рисунок 2).

При необходимости избежать колебательных выбросов при фильтровании импульсов, фазовый сдвиг между входным и выходным сигналами фильтра должен быть