

Исследование электромагнитного поля силового кабеля в стальной гильзе

О. В. Стрельцова¹, А. С. Бондарь²

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет

«ЛЭТИ» В.И. Ульянова (Ленина)

¹streltsova-olga1995@mail.ru, ²bonda3005@gmail.com

Аннотация. При прокладке кабельных линий 0,4 кВ вводы кабеля в здания и трансформаторные подстанции выполняются в стальных гильзах, представляющих собой трубу, вмурованную в бетонный фундамент. В работе проведено двухмерное моделирование в пакете ANSYS Multyphysics электромагнитного поля, создаваемого кабелем при протекании тока, и исследовано влияние этого поля на стальную гильзу. Особый интерес представляло исследование возможного нагрева трубы при наличии в спектре тока высших гармонических составляющих. Представлены диаграммы распределения температур в системе.

Ключевые слова: кабель в стальной гильзе; распределение температур; электромагнитное поле; моделирование в ANSYS Multyphysic; высшие гармонические составляющие

I. ОПИСАНИЕ ТИПА ИССЛЕДУЕМОГО КАБЕЛЯ

Для моделирования в пакете ANSYS Multyphysics был выбран кабель типа АВВГ 1х120, который состоит из следующих частей [1]:

1. Алюминиевая жила.
2. Изоляция жилы: поливинилхлоридный (ПВХ) пластикат И-40-13А.
3. Оболочка: ПВХ пластикат О-40.

Рабочая температура нагрева алюминиевых жил составляет 70°C, а температура эксплуатации в районе должна быть ±50°C. Кабели такого типа применяются для электроснабжения в сетях с напряжением до 1000 В и токовой нагрузкой не более 252 А. Обычно кабель АВВГ применяют трехфазный четырех- или пятижильный со скруткой жил по сердечнику для снабжения жилых домов, хозяйственных построек и т.д. Электромагнитные поля, создаваемые токами, текущими в фазных жилах, компенсируют друг друга, поэтому сам кабель не разогревается до недопустимых высоких температур. Кабель АВВГ не рекомендуется для прокладки в грунте без использования полиэтиленовых труб (ПНД труб), а также запрещена прокладка данного типа кабеля в стальных трубах ввиду отсутствия слоя брони. Однако, для вывода кабеля из трансформаторных подстанций 10/0,4 в стене или фундаменте проделывают отверстие, в которое помещают стальную гильзу (отрезок трубы), служащую кабелю защитой от повреждений.

Если при прокладке трех-, четырех- и пятижильного кабеля при работе без перегрузок не возникнет перегрева изоляции и трубы, то при прокладке одножильного кабеля, представляющего собой фазу или нулевой проводник, температура может превысить допустимую.

В нулевом проводнике при трехфазной симметричной нагрузке ток не протекает, однако, проведенные на практике измерения показали, что при наличии в сети нелинейных потребителей возможно его появление в нейтрали. Это связано с тем, что в случае нелинейной нагрузки появляются гармонические составляющие выше первого порядка, а гармоники, кратные трем, суммируются в проводнике нейтрали, что может вызвать его нежелательный перегрев и в дальнейшем разрушение.

В данной работе при моделировании предположили наихудший вариант: амплитуды гармонических составляющих гармоник кратных трем в каждой фазе составляют примерно 30% от амплитуды основной гармоники, таким образом, при присутствии в сети одной из гармоник, кратных трем, в нулевом проводнике будет протекать фазный ток частотами 150 Гц (3-я гармоника), 450 Гц (9-я гармоника) или 750 Гц (15-я гармоника).

Вокруг кабеля создается переменное магнитное поле, силовые линии пронизывают трубу, в результате чего в трубе индуцируется ток. Глубина проникновения тока в трубу зависит от частоты, поэтому в результате присутствия той или иной гармоники она меняется, а вместе с ней мощность, выделяемая в трубе.

В работе приведены результаты исследования зависимостей мощности, выделяемой в трубе и жиле от частоты тока, зависимости мощности от толщины трубы и ее диаметра, а также тепловые и электромагнитные поля. Для моделирования в ANSYS Multyphysic процесса нагрева было выбрано время, соответствующее 12 часам непрерывного протекания тока, среднее значение которого равно 250 А.

II. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

A. Распределения электромагнитных и тепловых полей

На первом этапе моделирования была решена электромагнитная задача, в ходе которой получены результаты распределения электромагнитного поля на двух разных частотах (рис. 1, 2).

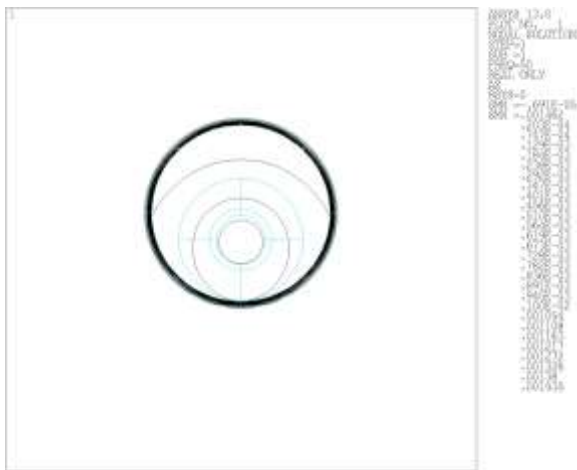


Рис. 1. Электромагнитное поля при частоте 50 Гц

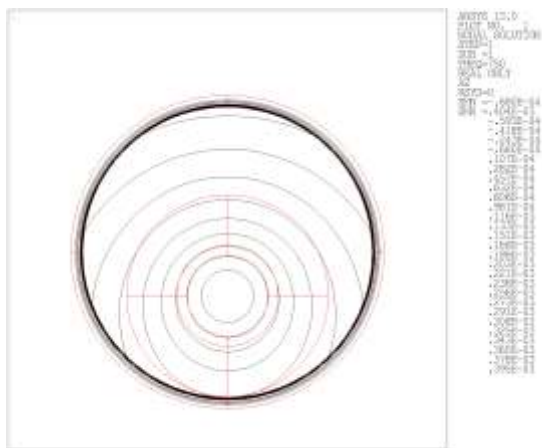


Рис. 2. Электромагнитное поле при частоте 750 Гц

Как видно из рис. 1 и 2, с увеличением частоты концентрация силовых линий вокруг жилы увеличивается, что может приводить к большему нагреву трубы. Так как труба выполнена из ферромагнитного материала, то линии поля концентрируются внутри нее, а несимметричность картины поля по вертикали обусловлена тем, что кабель расположен ближе к нижней части трубы.

На втором этапе решена тепловая задача, в результате которой были получены картины распределения температур по всей системе «кабель-труба» для частот 50 Гц, 150 Гц и 450 Гц (рис. 3, 4, 5).

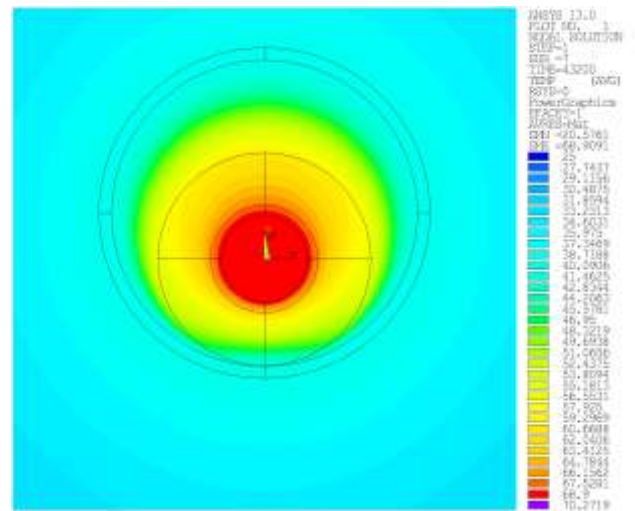


Рис. 3. Распределение температур при 50 Гц

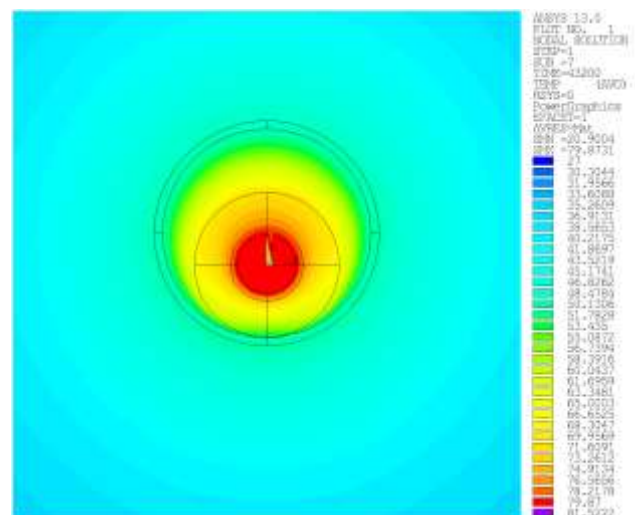


Рис. 4. Распределение температур при 150 Гц

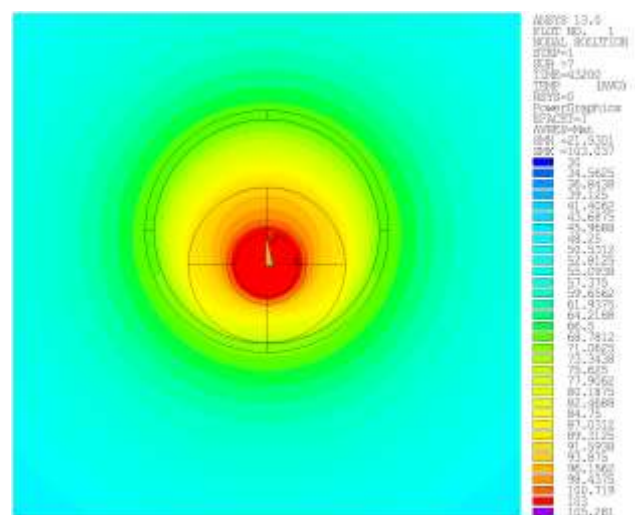


Рис. 5. Распределение температур при 450 Гц

Из приведенных выше рисунков следует, что уже на частоте 150 Гц температура жилы поднимается выше 70 градусов, что может быть пожароопасно. В месте соприкосновения трубы и кабеля происходит теплообмен между ними, что приводит к уравниванию температуры.

В. Зависимости потерь мощности от различных параметров

В ходе работы были получены значения потерь мощности в трубе, которые возникают в результате протекания по ней токов, индуцируемых переменным магнитным полем кабеля. В слое глубины проникновения выделяется тепловая энергия по закону Джоуля–Ленца.

На рис. 6 и 7 представлены графики зависимости мощности, выделяемой в трубе и в жиле, от частоты тока, протекающего в кабеле. На рис. 8, 9 представлены зависимости потерь мощности в трубе от ее диаметра и толщины стенки соответственно.

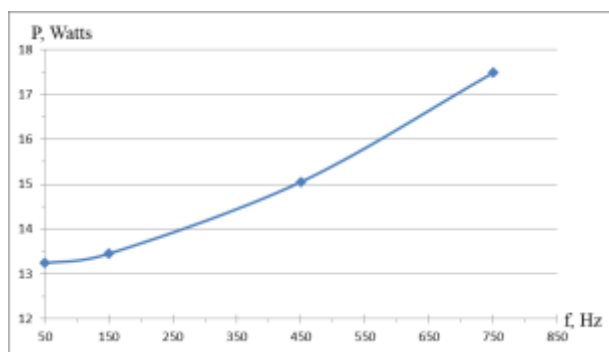


Рис. 6. Зависимость мощности, выделяемой в жиле, от частоты тока

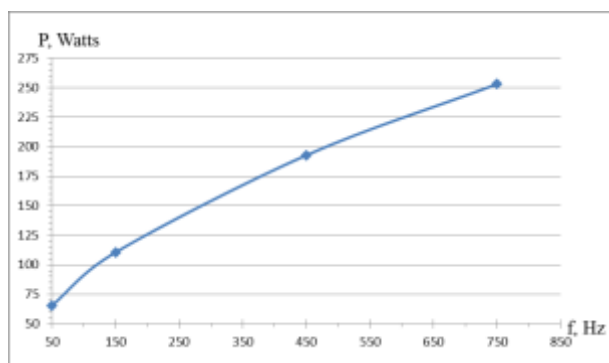


Рис. 7. Зависимость мощности, выделяемой в трубе, от частоты тока

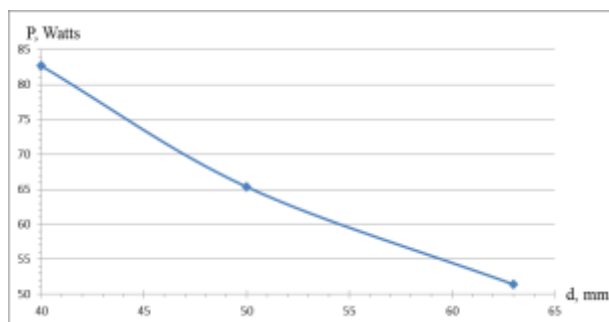


Рис. 8. Зависимость мощности, выделяемой в трубе, от диаметра трубы

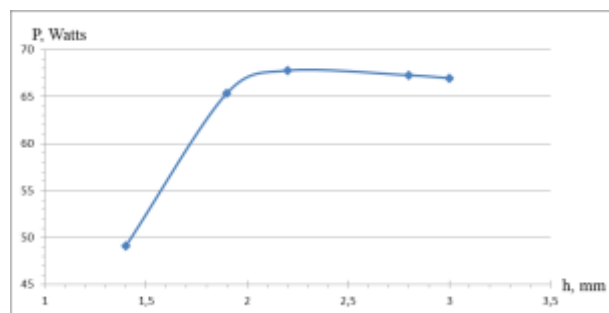


Рис. 9. Зависимость мощности, выделяемой в трубе, от толщины стенки трубы

Из рис. 6 и 7 следует, что с ростом частоты тока потери мощности также увеличиваются, что обусловлено уменьшением глубины проникновения и уменьшением длины волны. Пока длина электромагнитной волны больше, чем толщина стенки трубы, нагрев будет осуществляться сильнее за счет переотражения электромагнитной волны от внутренней стенки трубы.

Однако, на рис. 9 можно наблюдать пик в зависимости мощности от толщины стенки трубы, который связан с тем, что она становится больше длины волны, а значит переотражения не происходит, волна затухает по экспоненциальному закону в толще стенки, поэтому выделяемая в трубе мощность падает.

По рис. 8 видно, что с увеличением диаметра трубы потери мощности в ней уменьшаются, так как поле, пронизывающее стенку трубы, ослабевает, а, следовательно, снижается сила индуцируемого тока.

III. ВЫВОДЫ ПО ПРИВЕДЕННЫМ РЕЗУЛЬТАТАМ

Представленные в работе зависимости, а также распределение температур позволяют сделать ряд выводов по применению одножильных кабелей типа АБВГ.

Кабели такого типа можно выводить отдельно в трубе как фазу через стену трансформаторной подстанции при условии, что частота тока 50 Гц, а диаметр и толщина трубы подобраны оптимально. Но если предположить, что нулевой проводник будет проходить отдельно в трубе, то могут возникнуть проблемы с перегревом жилы и окружающего пространства при прохождении через нулевой кабель высших гармонических составляющих. Для того, чтобы избежать перегрева изоляции и окружающего пространства желательно делать трубу большего диаметра.

Таким образом, определенные правила прокладки кабелей необходимо соблюдать: нулевой провод не прокладывается в отдельно от фазных, а подводимый в земле к жилым домам кабель применяется либо четырехжильный (3 фазы и ноль) или пятижильный (3 фазы, ноль и земля) [3].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Кабель силовой АБВГ, вес, характеристики. URL: <https://energoprom.net.ua/ru/production/catalog/silovie/pvh/avvg/avvg-1x120/> (дата обращения 25.05.2018)
- [2] ГОСТ Р 50571.5.52-2011. Электроустановки низковольтные. Часть 5-52. Выбор и монтаж электрооборудования. Электропроводки – введен 2013-01-01
- [3] Правила устройства электроустановок (издание седьмое). URL: <http://docs.cntd.ru/> (дата обращения: 23.05.2018)