

# ОЦЕНКА ФАКТОРОВ, СПОСОБСТВУЮЩИХ УСКОРЕНИЮ СТАРЕНИЯ ИЗОЛЯЦИИ КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

А. А. Алферов

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический  
университет имени П. О. Сухого», Беларусь*

Научный руководитель Н. В. Грунтович

Вопрос влияния высших гармоник на оборудование систем электроснабжения возник достаточно давно.

Один из первых экспериментов по влиянию высших гармоник на кабельные линии был проведен в 1984 г.: его целью было выяснить способствуют ли высшие гармоники ускоренному старению изоляции проводов и кабелей. Для выяснения этого положения учеными были проведены замеры токов утечки кабелей, проложенных почти одновременно и работающих в сходных температурных условиях; часть обследованных кабелей работала при практически синусоидальном напряжении, другая – при уровне высших гармоник в кривой напряжения в пределах 6–8,5 % (преобладали 5-я и 7-я гармоники). Токи утечки во втором случае через 2,5 года эксплуатации оказались в среднем на 36 %, через 3,5 года – на 43 % больше, чем в первом.

Опыт эксплуатации свидетельствует о том, что в сетях с большим удельным весом вентильных нагрузок часто возникают однофазные замыкания в кабеле. Так, в сетях непрерывного толстолистового стана горячего проката число однофазных замыканий на землю за год оказалось на 30–40 % больше чем в сетях, где преобразователи отсутствовали [1].

Присутствие в кабельных линиях высших гармоник приводит к следующим последствиям:

1) возможному перегреву и разрушению нулевых рабочих проводников кабельных линий вследствие их перегрузки токами третьей гармоники.

Высшие гармоники тока, кратные трем, определяющие высокое значение коэффициента амплитуды и генерируемые однофазными нагрузками в трехфазных системах имеют специфическое результирующее воздействие.

В трехфазных цепях гармоники сдвинуты на 360 градусов друг к другу, совпадают по фазе и образуют нулевую последовательность. Нечетные гармоники, кратные третьей, суммируются в проводнике нейтрали.

В ходе проведения замеров токов в нулевых рабочих проводниках торгового центра, специализирующегося на продаже современной бытовой техники, было выявлено, что в нулевой жиле протекают токи, значения которых соизмеримы с фазными. С учетом того, что состав электроприемников потребителя изменяется без реконструкции электрической сети, можно ожидать перегорания нулевых проводников из-за протекания токов гармоник, кратных трем. Обрыв нулевого провода может привести к смещению нейтрали и как следствие к выходу из строя электроприемников [2];

2) созданию дополнительных потерь в кабельных линиях, гармониками, генерируемыми нелинейной нагрузкой.

При питании жилы кабельной линии нелинейным напряжением значение ее сопротивления будет изменяться в зависимости от частоты. Это обусловлено появлением скин-эффекта, который заключается в неоднородном распределении плотности переменного тока по сечению проводника. При высоких частотах ток практически существует только в тонком поверхностном слое, т. е. внутри достаточно толстого проводника ток высокой частоты не течет. Данное явление приводит к дополнительным потерям мощности, рассеиваемой в жиле кабельной линии и дополнительному ее нагреву.

Активное сопротивление жилы на  $n$ -й гармонике  $R_n$  можно определить по формуле [3]:

$$R_n = R_0(0,187 + 0,532\sqrt{n}),$$

где  $R_0$  – сопротивление жилы на основной частоте.

При выборе электрического оборудования и расчетах потерь мощности и электроэнергии при несинусоидальных режимах необходимо учитывать нагрев токоведущих частей.

Высшие гармоники тока приводят к дополнительным потерям в изоляционных материалах кабельных линий. Данные потери могут обуславливаться сквозным током или активными составляющими поляризованных токов. В случае высоких напряжений потери возникают вследствие ионизации газовых включений внутри диэлектрика, особенно интенсивно происходящих при высоких частотах.

С повышением частоты питающего напряжения происходит снижение активного и емкостного сопротивления изоляции и как следствие увеличение токов утечки через нее [4];

3) ускоренному старению изоляции проводов и кабелей.

Проблема старения электроизоляционных материалов, используемых при изготовлении силовых кабелей, имеет важное практическое значение, так как эти изделия предназначены для многолетней эксплуатации и преждевременный выход их из строя ведет к существенным негативным последствиям. Однако в процессе эксплуатации кабели с полимерной изоляцией часто выходят из строя значительно раньше гарантированного срока службы. Это связано с возникновением и развитием в полимерной изоляции под действием электрического поля и влаги системы тонких цилиндрических микроканалов – триингов. Изучение частотных характеристик водных триингов дало возможность установить, что механизм воздействия сил электриче-

ского поля на полимер ускоряется с повышением частоты. С повышением температуры существенно возрастает диффузия воды в полимеры, что снижает их механическую и электрическую прочность [5].

Влияние электромагнитных полей на электропроводность технических диэлектриков обусловлено небольшим количеством свободных зарядов, связанных с наличием примесей, либо продуктов окисления, возникающих в результате нагрева и старения изоляции при эксплуатации. В режиме холостого хода кабеля, находящегося под напряжением, действующая на электрические заряды сила определяется интенсивностью электрического поля. В нагрузочном режиме работы силового кабеля на заряды в диэлектрике действуют электрическое и магнитное поля, обусловленные переменным током, протекающим по жилам.

Токовая нагрузка в жилах кабеля приводит к возникновению кругового вращающегося поля, создающего магнитные потери в оболочке кабеля, и к дополнительному воздействию на изоляцию. Разрушающее воздействие на диэлектрик магнитного поля аналогично действию электрического поля и соизмеримо по результатам и, следовательно, связано с ростом интенсивности электрохимических процессов, приводящих к изменению в структуре диэлектрика и развитию пробоя. Магнитное поле увеличивает износ изоляции в рабочих режимах на несколько процентов по сравнению с износом от действия электрического поля. При этом за время действия устройств релейной защиты при протекании токов двух- и трехфазного КЗ разрушающее воздействие на кабель от магнитного поля будет соизмеримо с действием электрического поля [6].

При оценке качества высоковольтной изоляции большое внимание уделяется частичным разрядам, особенно интенсивно происходящих при высоких частотах, так как они определяют темпы электрического старения изоляции и являются наиболее частой причиной ее повреждения.

Под влиянием высокой напряженности электрического поля в газовых порах кабельной изоляции способны формироваться электрические разряды. Ток этих разрядов ограничен диэлектрическим барьером, расположенным на границе между металлической токопроводящей жилой кабеля и газовой порой – дефектом в кабельной изоляции. Поры чаще всего формируются в процессе экструзионного наложения полимерной изоляции либо вблизи токопроводящей жилы, либо вблизи металлической оболочки силовых кабелей высокого и среднего напряжения.

Частичные разряды связаны с рассеянием энергии, следствием которого является электрическое, механическое и химическое воздействие на диэлектрик.

Но в то же время частичные разряды, развивающиеся при старении диэлектрика изоляции в газовых включениях, могут служить средством диагностики состояния изоляции кабельных линий. Определение степени развития возникающих в изоляции локальных дефектов посредством измерений частичных разрядов в нормальном режиме работы оборудования и последующий ремонт обходятся на порядок дешевле, чем действия, необходимые при пробое изоляции.

Для проведения мониторинга качества высоковольтной изоляции по излучению частичных разрядов необходимо применение средств измерения, обеспечивающих широкополосный прием случайных импульсных сигналов и их непосредственное пиковое детектирование. Основными измеряемыми параметрами являются: амплитуда принимаемого сигнала, интенсивность потока разрядов и ее зависимость от порога обнаружения. Оценка качества изоляции производится по результатам анализа динамики относительных измерений этих параметров при постоянстве периодически повторяемых измерений [7].

## **500 Секция X. Энергоэффективность, надежность и диагностика...**

### Литература

1. Жежеленко, И. В. Высшие гармоники в системах электроснабжения промпредприятий / И. В. Жежеленко. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Энергоатомиздат, 1984. – 160 с.
2. Оценка теплового режима кабеля питающего нелинейную нагрузку / В. Н. Тульский [и др.] // Пром. энергетика. – 2012. – № 7. – С. 42–45.
3. Избранные вопросы несинусоидальных режимов в электрических сетях предприятий / И. В. Жежеленко [и др.] ; под ред. И. В. Жежеленко. – М. : Энергоатомиздат, 2007.
4. Алферов, А. А. Оценка потерь мощности через изоляцию кабельных линий на промышленных предприятиях при наличии в сети гармоник, отличных от фундаментальной / А. А. Алферов, Н. В. Грунтович // Исследования и разработки в области машиностроения, энергетики и управления : Материалы XII Междунар. науч.-техн. конф. студентов, магистрантов и молодых ученых. – Гомель, 26–27 апр. 2012 г. / М-во образования Респ. Беларусь, Гомел. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого, 2012. – С. 496–499.
5. Андреев, А. М. Исследование строения электроизоляционных материалов силовых кабелей и конденсаторов / А. М. Андреев, В. А. Канискин, Ю. А. Полонский // Электричество. – 1999. – № 1. – С. 39–44.
6. Коржов, А. В. Влияние магнитного поля кабелей 6–10 кВ на их изоляцию / А. В. Коржов, А. И. Сидоров, Е. В. Томашева // Электричество. – 2009. – № 1. – С. 46–53.
7. Глухов, О. А. Оценка высоковольтной изоляции по электромагнитному излучению частичных разрядов в эксплуатационных условиях / О. А. Глухов // Электротехника. – 2001. – № 4. – С. 52–57.