

А.В. Остапчук

(Украина, Днепрпетровск, Национальный горный университет)

МЕТОДИКИ ПРАКТИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ УРОВНЯ ВЫСШИХ ГАРМОНИК ТОКА ОДНОФАЗНОГО ЗАМЫКАНИЯ.

Как было отмечено ранее [1], составляющие высших гармоник в токе замыкания на землю при определенных условиях имеют значительную величину. **Целью** данной статьи является оценка этих величин для определения уровня высших гармоник и выполнения мероприятий по ограничению или использованию их для устройств релейной защиты. За счет искажения формы кривой фазного напряжения при однофазном замыкании на землю через место повреждения будут протекать токи высших гармоник, как правило, нечетных. Составим схему замещения сети с компенсированной нейтралью учитывая, что в токе замыкания не содержится реактивная составляющая. Схема замещения изображена на рисунке

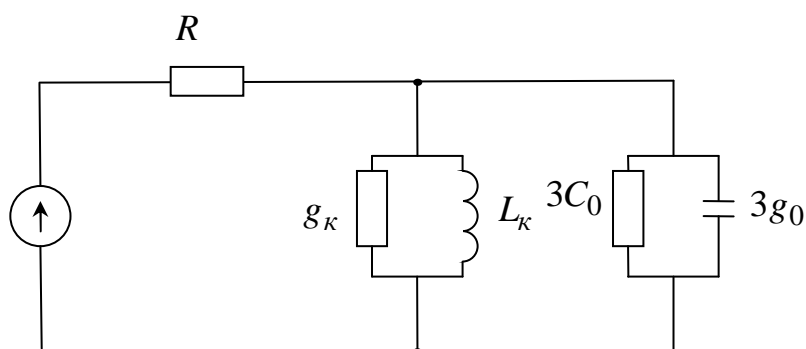


Рис.1. Схема замещения для расчета тока однофазного замыкания в компенсированной сети

При известной величине емкостного тока замыкания на землю

$$I_c = U_{\phi 1} 3\omega C_0 = U_{\phi 1} b_0$$

можно определить

$$\frac{I_v}{I_c} = \frac{U_v}{U_{\phi 1}} \left(v - \frac{1}{v} \right),$$

откуда

$$\frac{U_v}{U_{\phi 1}} = \frac{I_v}{I_c} \frac{1}{v - \frac{1}{v}} = \frac{I_v}{I_c} \frac{v}{v^2 - 1}$$

Таким образом, по известному гармоническому составу фазного напряжения можно определить гармонические составляющие тока и наоборот. Определение гармонического состава фазного напряжения затруднительно, так как содержание высших гармоник в фазном напряжении обычно не превышает нескольких процентов.

Определение гармонического состава тока однофазного замыкания на землю не вызывает особых затруднений и может быть выполнено разложением кривой тока в гармонический ряд.

Как показывают исследования [2] кривая тока содержит только нечетные гармоники, т.е. выполняется условие

$$f(\omega t) = -f(\omega t + \pi)$$

поэтому коэффициенты Фурье могут быть найдены по одному полупериоду из следующих выражений:

$$\left. \begin{aligned} a_v &= \frac{2}{T} \int_0^T i \cos v\omega t dt \approx \frac{2}{m} \sum_{k=1}^m i_k (\cos v\omega t)_k; \\ b_v &= \frac{2}{T} \int_0^T i \sin v\omega t dt \approx \frac{2}{m} \sum_{k=1}^m i_k (\sin v\omega t)_k; \end{aligned} \right\}$$

$$I_{vm} = \sqrt{a_v^2 + b_v^2}$$

$$\varphi_v = \arctg \frac{a_v}{b_v}$$

$$\cos \varphi_v = \frac{b_v}{I_{vm}}$$

$$\sin \varphi_v = \frac{a_v}{I_{vm}}$$

Ток замыкания на землю будет

$$i = \sum_{v=1}^{\infty} i_v = \sum_{v=1}^{\infty} I_{vm} \sin(v\omega t + \varphi_v)$$

Таким образом, по результатам испытаний, используя специальные приборы для определения гармонических составляющих, или из осциллограммы тока в точке замыкания на землю можно определить составляющие токов отдельных гармоник, что позволяет оценить возможности использования различных устройств защиты от однофазных замыканий на землю, а также гармонический состав фазного напряжения.

Ограничением в изложенном выше методе является проведение экспериментальных замеров и их сложной технической реализации. Поэтому альтернативой при решении данных вопросов является математическое моделирование. В последнее время получили значительное развитие методы непосредственного расчета установившегося несимметричного режима, основанные на известных методах расчета режимов на основной частоте [3], адаптированных к необходимости в данном случае иметь совокупность решений на всех учитываемых высших гармониках. Для использования этих методов необходимо корректно задавать в узлах электрической сети с нелинейными элементами векторы высших гармоник токов, генерируемых этими элементами.

В связи с широким применением ЭВМ для расчета несимметричных режимов, все большую популярность набирает метод гармонического баланса [4-5], обеспечивающий учет взаимовлияния нелинейных элементов и питающей сети, а также позволяющий предельно упростить учет частотных зависимостей параметров элементов электрической сети. Общая идея этого метода состоит в представлении всех переменных нелинейных дифференциальных уравнений усеченными рядами Фурье и подстановке их в исходные дифференциальные уравнения. В результате получается нелинейная система алгебраических уравнений относительно компонентов векторов гармоник исходных переменных, которая решается итерационным способом. Этот метод, как показала практика, эффективен в тех случаях, когда временные зависимости режимных величин могут быть аппроксимированы сравнительно небольшим числом гармоник. Важным практическим применением является, в частности, использование однофазного источника гармоник для определения частотных свойств контуров однофазного замыкания на землю в сетях с изолированной нейтралью.

В последнее время ведется работа по ограничению или компенсации гармонических составляющих тока однофазного замыкания на землю. И не всегда данные мероприятия выполняются с должным технико-экономическим обоснованием. Желательно чтобы в нормах была обоснована величина тока гармонической составляющей, при которой рекомендуется (или) допускается установка специальных компенсирующих устройств. При применении метода гармонического баланса достигается высокая эффективность в расчете уровня гармоник и исследования характера их протекания. Что позволяет сделать выводы для каждого конкретного случая.

Выводы

1. Рассмотренные методы оценки уровня высших гармоник в токе замыкания достаточно точны, однако трудоемкие и дорогостоящие, так как требуют практических замеров в реальных сетях с использованием специального оборудования;
2. Перспективным для использования в данном направлении является применение метода гармонического баланса, позволяющего выявить уровень гармоник с применением математического моделирования, с достаточно высокой точностью.

3. При выполнении мероприятий по снижению уровня высших гармоник в токе однофазного замыкания на землю нужно рассматривать конкретно каждый случай, исходя из технико-экономических соображений.

Список литературы

1. Остапчук А.В. О влиянии высших гармоник тока однофазного замыкания на характер протекания процесса //Сборник научных трудов НГУ №15, Том 2. Днепропетровск: РИК НГУ, 2002. С. 232-236
2. Аррилага Дж., Бредли Д., Боджер П. Гармоники в электрических системах. – М.: Энергоатомиздат. 1990
3. Андреюк В.А., Сказываемая Н.С. Метод расчета на ЭВМ установившихся режимов энергосистем. – Тр. НИИПТ. – Л.: Энергоатомиздат. 1980.
4. Глухивский Л.И. Расчет периодических процессов электротехнических устройств (дифференциальный гармонический метод). – Львов: Высшая школа, 1984.
5. Картасиди Н.Ю. Разработка алгоритмов расчета несинусоидального режима при учете взаимовлияния нелинейной нагрузки и электрической сети по методу гармонического баланса: Автореф. дис. ... канд. тех. наук – С.Петербург, 1993