

ОЦЕНКА ПОТЕРЬ МОЩНОСТИ ЧЕРЕЗ ИЗОЛЯЦИЮ КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ ПРИ НАЛИЧИИ В СЕТИ ГАРМОНИК, ОТЛИЧНЫХ ОТ ФУНДАМЕНТАЛЬНОЙ

А. А. Алферов

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

Научный руководитель Н. В. Грунтович

Уровень сложности оборудования на промышленных предприятиях постоянно повышается. Поэтому системы обеспечения качества электроснабжения должны справляться с решением широкого спектра проблем, начиная от провалов, колебаний, выбросов напряжения, высокочастотных шумов, импульсных помех и заканчивая обеспечением электропитания при полном отсутствии напряжения промышленной сети. Одну из таких проблем представляют искажения формы напряжения, вызванные гармоническими составляющими тока, потребляемого нелинейной нагрузкой.

Большая часть оборудования представляет собой нелинейную электрическую нагрузку, создающую искажения в питающей сети. Суммарный эффект этих нагрузок выражается в искажении напряжения, которое воздействует на другое оборудование, получающее электропитание от того же источника. Это может вызывать перегрев и рассинхронизацию в других устройствах, сбои в коммуникациях и сетях передачи данных, повреждение дорогостоящей аппаратуры и другие нежелательные эффекты.

Широко используемые в промышленности и быту компьютерные сети, статические преобразователи, газоразрядные осветительные устройства и электронные балласты, электродуговые печи постоянного и переменного тока, сварочные аппараты, электродвигатели переменного тока с регулируемой скоростью вращения, специальные медицинские приборы относятся к оборудованию, генерирующему высшие гармоники в сеть. В свою очередь, высшие гармоники могут приводить к дополнительному нагреву, снижению сопротивления изоляции и росту диэлектрических потерь в кабельных линиях промышленных предприятий.

В рамках проводимого энергетического аудита на ОАО «Красносельскстройматериалы» были проведены замеры коэффициентов несинусоидальности кабеля, питающего электродвигатель второй печи обжига и по снятым данным установлено, что коэффициенты 12; 14; 15; 16; 18; 20; 21; 22; 24; 26; 27; 28; 30; 32; 33; 34; 36; 38; 39 и 40 гармонических составляющих напряжения значительно превышают допустимые значения.

По данным измерений коэффициент несинусоидальности изменяется в пределах от 0,41–0,55, следовательно, в 2–2,5 раза превышает нормируемое значение.

С учетом анализа полученных результатов в лабораторных условиях был проведен эксперимент, целью которого являлось определение влияния высоких частот на сопротивление изоляции кабельных линий, на тангенс угла диэлектрических потерь и на потери мощности в них. Для эксперимента был выбран кабель N2XS_Y 1 × 120 мм² с изоляцией из сшитого полиэтилена. Данные кабеля: длина 30 см, $\text{tg}\delta = 0,0009$; емкость $C = 49,2$ пФ. Схема замещения изоляции кабельной линии приведена на рис. 1,

где $R_{г}$; $C_{г}$ – сопротивления, обусловленные геометрической формой изоляции; $R_{аб}$; $C_{аб}$ – сопротивления абсорбции; $R_{из}$ – сопротивление изоляции.

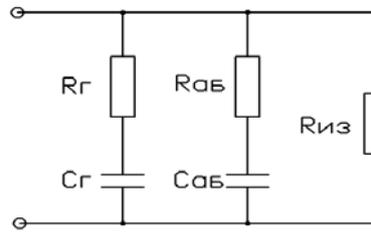


Рис. 1. Схема замещения изоляции кабельной линии

В ходе проведения эксперимента учитывались емкость кабельной линии и сопротивление шупов осциллографа. Замеры проводились для последовательной и параллельной схем замещения. Эксперимент проводился для диапазона частот от 100 Гц до 68 кГц. Для более четкого отображения результатов использовался делитель напряжения с коэффициентом деления, равным 10.

Обработка полученных результатов проводилась с использованием программы, разработанной в пакете MathCAD.

Для последовательной схемы замещения были получены следующие результаты (рис. 2).

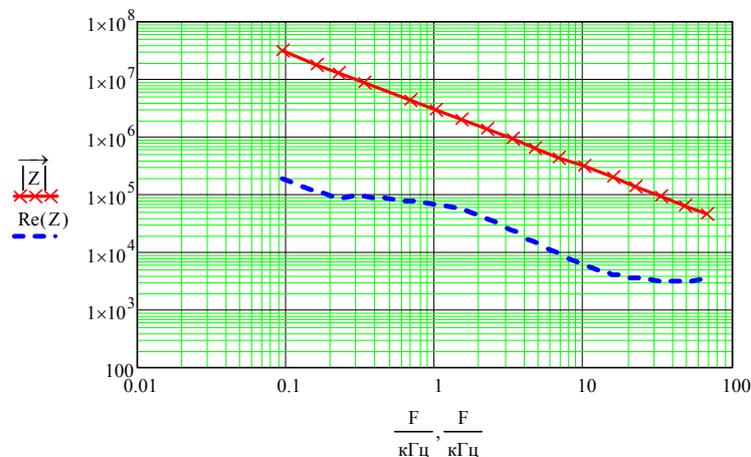


Рис. 2. Результаты измерения сопротивления изоляции кабеля при последовательной схеме замещения

Из анализа рис. 2 следует, что с повышением частоты сопротивление изоляции уменьшается: так, на частоте 100 Гц оно равно 30 МОм, а на частоте 10 кГц, 0,3 МОм. При снижении сопротивления возрастают токи утечки через изоляцию кабельных линий, что приводит к росту тангенса угла диэлектрических потерь, расчет которого проведем по формуле (1):

$$\operatorname{tg} \delta = \omega CR, \quad (1)$$

где ω – угловая частота, с^{-1} ; C – емкость изоляции, Ф; R – активное сопротивление изоляции, Ом.

Преобразуя формулу (1), получим:

$$\operatorname{tg}\delta = \frac{R}{-Xc}. \quad (2)$$

Знак «-» появляется из-за того, что емкостное сопротивление является отрицательным, поэтому для расчетов его необходимо заменить сопряженным. Произведя расчет тангенса угла диэлектрических потерь по формуле (2), получаем результаты, представленные на рис. 3

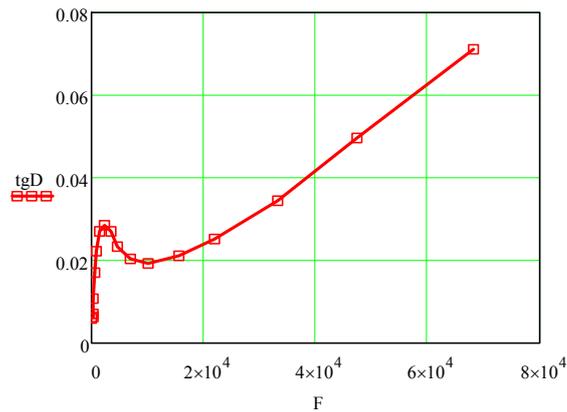


Рис. 3. Зависимость тангенса угла диэлектрических потерь от частоты питающего напряжения

Из анализа рис. 3 следует, что с повышением частоты возрастает угол диэлектрических потерь, пик на графике связан с поляризацией диэлектрика.

При известном угле диэлектрических потерь можно рассчитать потери активной мощности в изоляции по формуле (3):

$$P_a = U^2 \omega C \operatorname{tg}\delta. \quad (3)$$

Произведя расчет потерь мощности, были получены результаты, приведенные на рис. 4

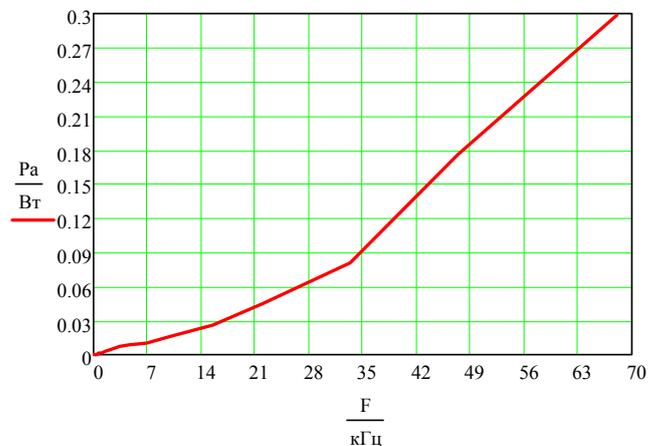


Рис. 4. Зависимость потерь активной мощности от частоты питающего напряжения

Из анализа рис. 4 следует, что при увеличении частоты питающего напряжения с 100 Гц до 68 кГц потери мощности возрастают с 0,01 до 0,29 Вт на метр.

Л и т е р а т у р а

1. ГОСТ 13109–97. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – Введ. 1.08.99. – Минск : Межгос. совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 1999. – 31 с.
2. Богородицкий, Н. П. Электротехнические материалы / Н. П. Богородицкий. – Л. : Энергия, 1977. – 352 с.
3. Арриллага, Дж. Гармоники в электрических системах / Дж. Арриллага, Д. Брэдли, П. Боджер. – М. : Энергоатомиздат, 1990. – 320 с.