

УДК 621.314

Н.С. Бодруг, А.П. Баева

УЧЕТ ВЛИЯНИЯ ВЫСШИХ ГАРМОНИК НА РАБОТУ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Рассмотрено влияние высших гармоник в электроэнергетической системе. Рассмотрены негативные последствия высших гармоник при работе силовых трансформаторов. Приведен расчет времени окупаемости активного и пассивного фильтра гармоник.

Ключевые слова: нелинейная нагрузка, высшие гармоники, активный фильтр, пассивный фильтр, эффективность использования фильтров гармоник.

ACCOUNTING IMPACT HIGHER HARMONICS OF POWER TRANSFORMERS

The influence of higher harmonics in the electric power system is considered. The negative consequences of higher harmonics during operation of power transformers are considered. As a result, the payback time calculation of the active and passive harmonic filters is given.

Key words: nonlinear load, higher harmonics, active filter, passive filter, harmonics filter efficiency.

DOI: 10/22250/jasu.23

На сегодняшний день актуальным стал вопрос качества электрической энергии. Одним из источников искажений, влияющих на качество электроэнергии, является нелинейная нагрузка, которая негативно сказывается и на работе электрического оборудования. Повышается уровень высших гармоник тока и напряжения в сетях электроснабжения. Именно нелинейность нагрузки приводит к появлению гармонических искажений в сети. Помимо потребителей с нелинейной нагрузкой, искажения формы может вызвать оборудование с характеристикой вольт-амперного вида, нелинейного типа, к которому можно отнести силовое оборудование (электронное):

вращающиеся машины – генераторы и двигатели, поле которых вращается неидеально-синусоидально;

трансформаторы с нелинейными характеристиками, особенно с насыщением;

диодные мосты, частотные преобразователи мощности, различного рода выпрямители, источники бесперебойного питания.

Использование в сети элементов и оборудования с такой характеристикой приводит к следующим негативным последствиям:

- 1) гармоники нелинейной нагрузки вызывают дополнительные потери в трансформаторах;
- 2) происходит электрическое старение изоляции, сокращается срок службы;
- 3) увеличивается активное сопротивление обмоток трансформатора, что приводит к нагреву, превышение температуры силового трансформатора на каждые 10 градусов сокращает срок его службы примерно вдвое;
- 4) происходит непреднамеренное срабатывание предохранителя или автоматического выключателя вследствие дополнительного нагрева их элементов;

5) возникают помехи в сетях телекоммуникаций, которые напрямую зависят от порядка гармоник (выше гармоника – больше уровень помех).

Существуют два варианта решения проблем несинусоидальной нагрузки в сетях – схемные решения и применение дополнительных технических средств.

Схемные решения могут использоваться и в стадии разработки, и в стадии ввода в эксплуатацию электроэнергетической системы.

Современные исследования требуют решения проблемы с помощью современных технических средств. К ним относят: магнитные дроссели, пассивные фильтры (ПФ), гибридные фильтры, активные фильтры (АФ) и др.

Основной задачей является целесообразность применения любого технического средства. Важно своевременно определять правильность использования активного и пассивного фильтров. Электронное силовое оборудование имеет высокую стоимость, поэтому необходимо установить наилучшее соотношение между ценой аппарата и потерями, которые могут вызывать гармоники. Для этого в сети следует учитывать высшие гармоники, их влияние на силовые трансформаторы, чтобы определить сроки окупаемости активных и пассивных фильтров.

Как правило, пассивные фильтры состоят из индуктивных и емкостных элементов. Различают несколько видов ПФ – широкополосные, одночастотные; широкополосные типа С.

Пассивные фильтры являются простыми и надежными устройствами, но имеют недостатки, к которым относятся: отрицательное влияние на переходные процессы, происходящие в электрической сети; технологический разброс значения индуктивности реактора фильтра и емкости конденсатора и, как следствие, – изменение этих значений в процессе эксплуатации электротехнического оборудования. В связи с такими недостатками пассивные фильтры рационально применять на больших промышленных предприятиях для подавления нескольких гармоник, причем потребляемая мощность должна быть постоянной.

Более современным устройством является активный фильтр – АФ. Он создает методом импульсной модуляции среднее значение напряжения (тока), которое равняется разности линейного напряжения (тока) его главной гармоники. Он позволяет решить больше проблем при работе промышленного электрооборудования. Активный фильтр подключается параллельно с нагрузкой и преобразует любого рода ток с индуктивным (емкостным) накопителем электроэнергии со стороны постоянного тока.

Исследования показывают, что активная фильтрация – инновационное направление в развитии полупроводниковой преобразовательной техники, позволяющее сократить негативные последствия высших гармоник и улучшить качество электрической энергии.

Как критерий оценки принимаем срок окупаемости. В расчетах средняя стоимость пассивного фильтра 44 тыс. рублей, а средняя стоимость активного фильтра – 151 тыс. рублей.

Проанализировав указанные зависимости, покажем критерий использования АФ гармоник:

$$d_{5,7,11,13} = \frac{K_{5,7,11,13}}{K_U} = \frac{\sqrt{U_5^2 + U_7^2 + U_{11}^2 + U_{13}^2}}{\sqrt{\sum_{n=2}^{40} U_n^2}} < 50\%$$

В результате АФ выгоднее применять при доле 5-й, 7-й, 11-й, 13-й гармоник от общего гармонического спектра менее чем 50%.

В результате вычислений получаем зависимости времени окупаемости при использовании фильтров гармоник от коэффициента искажения синусоидальности кривой напряжения и доли 5-й, 7-й, 11-й, и 13-й гармоник из общего гармонического содержания. Представлен критерий использования АФ гармоник, который подтверждает результативность применения АФ гармоник при значениях

доли 5-й, 7-й, 11-й, и 13-й гармоник от общего гармонического содержания, равной $d_{5,7,11,13} < 50\%$. При этом время окупаемости фильтра зависит от величины коэффициента. При использовании пассивных фильтров важно учитывать их особенности (установленная мощность влияет на эффективность пассивных фильтров), а также то, что пассивный фильтр фильтрует лишь определенный спектр гармоник, полностью не устраняя негативные последствия высших гармоник.

1. Аррилага, Дж. Гармоники в электрических системах / Дж. Аррилага, Д. Брэдли, П. Боджер.; пер. с англ. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 320 с.

2. Freund, A. Nonlinear loads mean trouble // *Electr. Constr. and Maint.* – 1988. – Vol. 87, № 3. – P. 83-90.

3. Бржезицкий, В.А. О влиянии высших гармонических составляющих напряжения на характеристики измерительных трансформаторов / В.А. Бржезицкий, А.В. Найдовский, С.В. Бутов. // *Вестник КПИ. Серия «Электроэнергетика»*. – 1983. – Вып. 20. – С. 36-40.

4. Лютаевич, А.Г. Оценка эффективности использования активного фильтра гармоник в системах электропитания для улучшения качества электроэнергии / А.Г. Лютаевич, С.Ю. Долингер. – Омск: Омский научный вестник. – 2010. – № 1. – С. 133-136.

5. Розанов, Ю.К. Силовая электроника: учебник для вузов / Ю.К. Розанов, М.В. Рябчинский, А.А. Кваснюк. – М.: Изд. дом МЭИ, 2007. – 632 с.