

Е.В. МИХАЛЕВСКИЙ, Б.В. КЛИМЕНКО, докт. техн. наук, профессор

Методика компенсации реактивной мощности с использованием «расстроенных» (detuned) фильтров

В настоящее время все большую долю в общем объеме суммарных электрических нагрузок занимают резкопеременные и нелинейные нагрузки с повышенным потреблением реактивной мощности. Реактивная мощность – величина, характеризующая нагрузки, создаваемые в электротехнических устройствах колебаниями энергии электромагнитного поля в цепи синусоидального переменного тока [1]. Реактивная мощность и энергия ухудшают показатели работы энергосистемы, загрузка реактивными токами генераторов электростанций увеличивает расход топлива, увеличиваются потери в подводящих сетях и приемниках, увеличивается падение напряжения в сетях. Индуктивную нагрузку целесообразно компенсировать конденсаторами. При использовании конденсаторов для увеличения коэффициента мощности мы сталкиваемся с проблемой высших гармоник.

При подключении компенсирующего конденсатора индуктивность трансформатора совместно с емкостью конденсатора образует резонансную цепь, которая может возбуждаться генерируемыми нагрузкой гармоническими токами. Если частота одной из гармоник совпадает или близка к частоте собственных колебаний резонансной цепи, в ней могут возникнуть паразитные колебания тока большой амплитуды. Это приведет к значительному увеличению напряжения на конденсаторе, трансформаторе и на подключенных параллельно с ними цепях [2].

В таких цепях могут использоваться так называемые «расстроенные» фильтры, в которых риск возникновения резонанса уменьшается благодаря тому, что частота собственных колебаний цепи сдвигается вниз, в область, где не может быть гармоник за счет подключения к резонансной цепи дополнительной индуктивности. Эта индуктивность подключается последовательно с силовым конденсатором цепи компенсации.

Компоненты цепи компенсации коэффициента мощности с «расстроенным» фильтром должны тщательно подбираться в зависимости от необходимой степени коррекции, наличия определенных гармоник напряжения питания, необходимых фильтрующих характеристик, мощности короткого замыкания и характеристик резонансной цепи. Например, напряжение на конденсаторе при последовательном подключении индуктивности будет выше напряжения в питающей сети.

Катушка индуктивности обеспечивает необходимое значение резонансной частоты, и должна пропускать рабочий ток, достаточный для отвода ожидаемых гармоник. Резонансная частота фильтра обычно определяется косвенно через коэффициент расстройки p и измеряется в процентах.

$$p = 100 \cdot X_L / X_C = (f / f_{\text{RES}})^2 \cdot 100$$

Значение коэффициента расстройки используется для выбора параметров элементов «расстроенного» фильтра.

При этом последовательность построения «расстроенного» фильтра

предполагает следующие шаги:

1. Определение необходимой эффективной мощности (кВАр) конденсатора для коррекции коэффициента мощности.

2. Разработка батареи конденсаторов, обеспечивающей ступенчатость переключения емкости в 15%...20% от необходимой мощности.

3. Измерение существующих в питающем кабеле токов гармоник при отсутствии конденсатора коррекции и при различных нагрузках. Определение частоты и максимальной амплитуды каждой из присутствующих гармоник. Вычисление суммарного коэффициента гармоник тока THD (Total Harmonic Distorsions - показателя, характеризующего степень отличия формы сигнала от синусоидальной):

$$THD_i = 100 \cdot \sqrt{((I_3)^2 + (I_5)^2 + \dots + (I_n)^2)} / I_1$$

Вычисление отдельных коэффициентов каждой из гармоник:

$$THD_{ik} = 100 \cdot I_k / I_1$$

4. Измерение наличия гармоник напряжения питания снаружи системы. Предпочтительно измерение их на высоковольтной стороне. Вычисление суммарного коэффициента гармоник напряжения:

$$THD_u = 100 \cdot \sqrt{((U_3)^2 + (U_5)^2 + \dots + (U_n)^2)} / U_1$$

5. Если уровень гармоник (измеренный без конденсатора) выше или ниже $THD_i > 10\%$ или $THD_u > 3\%$, следует использовать компенсатор с «расстроенным» фильтром и переходить к шагу 6. Иначе следует использовать стандартный компенсатор.

6. Если уровень 3-й гармоники тока $I_3 > 0.2 \cdot I_5$, следует использовать фильтр с коэффициентом расстройки $p = 14\%$ и пропустить шаг 7. Иначе следует использовать фильтр, в котором $p = 7\%$ или $5,67\%$ и перейти к шагу 7.

7. Если $THD_u = 3\% \dots 7\%$, нужен фильтр, в котором $p = 7\%$; при $THD_u > 7\%$ нужен фильтр, в котором $p = 5,67\%$; при $THD_u > 10\%$ требуется специальная конструкция фильтра.

8. Подборка подходящих компонентов с использованием таблиц для компенсаторов с «расстроенным» фильтром и стандартные значения эффективной мощности, сетевого напряжения, частоты и определенного ранее коэффициента расстройки p [3].

Компенсация реактивной мощности имеет большое значение и является частью общей проблемы повышения КПД работы систем электроснабжения и улучшения качества электроэнергии.

Список литературы:

1. Минин Г.П. Реактивная мощность. – М.: Энергия, 1978. – 18с.
2. Красник В.В. Автоматические устройства по компенсации реактивной мощности в электросетях предприятий. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 136с.
3. Супронович Г. Улучшение коэффициента мощности преобразовательных установок: Пер. с польск. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 136с.