

В. С. КЛИМАШ (Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет, Россия), С. В. ВЛАСЬЕВСКИЙ, А. М. КОНСТАНТИНОВ (Дальневосточный государственный университет путей сообщения, Россия)

ТРЕХФАЗНОЕ ВОЛЬТОДОБАВОЧНОЕ УСТРОЙСТВО С ОДНОФАЗНЫМ ЗВЕНОМ ПОВЫШЕННОЙ ЧАСТОТЫ

Пристрій призначений для компенсації реактивної потужності мережі з одночасною стабілізацією напруги навантаження. У його склад входить високочастотний однофазний трансформатор, що включений між двома перетворювачами. Один перетворювач виконаний з ланкою постійного струму і підвищує частоту вище частоти мережі, а інший виконаний з безпосереднім зв'язком і знижує частоту до частоти мережі.

Устройство предназначено для компенсации реактивной мощности сети с одновременной стабилизацией напряжения нагрузки. В его состав входит высокочастотный однофазный трансформатор, который включен между двумя преобразователями. Один преобразователь выполнен со звеном постоянного тока и повышает частоту выше частоты сети, а другой выполнен с непосредственной связью и понижает частоту до частоты сети.

The device is intended for compensating the reactive capacity of circuit with simultaneous stabilization of the loading voltage. It includes a high-frequency single-phase transformer which is included between two converters. One of the converters is fitted with a d.c. link and raises frequency above that of the circuit, and the other one – with a direct communication, and lowers the frequency down to the frequency of circuit.

В настоящее время проблеме улучшения качества электроэнергии и энергосбережения уделяется исключительно большое внимание. Энергосбережение стало одним из приоритетных направлений технической политики во всех развитых странах мира. Возрастание цен на энергоносители, в частности на электроэнергию, а также ограничение возможностей увеличения мощности энергогенерирующих установок обуславливают пристальное внимание к данной проблеме. Она отражена в государственных и отраслевых программах России.

Рациональное электропотребление, а следовательно, и энергосбережение обеспечиваются не только экономичностью использования электроэнергии потребителями (в частности, электроприводами), но и зависит от качества электроэнергии питающей сети. Проблемой современного электроснабжения является постоянный рост количества и мощности электрооборудования, что приводит к превышению номинального значения сетевого тока и соответственно влияет на качество напряжения [1]. Отрицательное влияние этого явления испытывают все участники электроснабжения:

- на электростанциях происходят механические перегрузки генераторов, что снижает стабильность частоты их вращения;

- в распределительных сетях происходит перегрев изоляции линий электропередач и силовых трансформаторов, что повышает вероятность аварии или срабатывания защиты с прекращением подачи электроэнергии потребителю;

- потребители получают некачественную электроэнергию (преимущественно пониженное и искаженное напряжение), что может привести к неправильной работе или отказу электрооборудования.

Следует отметить, что в общем объеме нагрузок растет доля нелинейных нагрузок, содержащих ключевые преобразователи на входе. Они потребляют из сети несинусоидальный отстающий от напряжения ток, который вызывает несинусоидальные и несимметричные по фазам падения напряжения на сопротивлениях сети, которые, в свою очередь, искажают синусоидальную форму и фазную симметрию напряжения у потребителя.

В кривой напряжения появляются высшие гармоники, которые усиливают электрический и магнитный поверхностные эффекты, вызывают резонансы в фильтрах, ускоряют старение электротехнических материалов, искажают показания приборов учета расхода электроэнергии. Включение между питающей сетью и двигателем полупроводниковых (тиристорных или транзисторных) преобразователей, обеспечивающих управление и регулирование асинхронных двигателей оказывает существенное влияние на показатели качества электроэнергии питающей сети.

В результате потребители вынуждены использовать устройства, улучшающие качество электроэнергии. В частности, к таким устройствам относятся системы стабилизации напряжения с одновременной компенсацией реактивной мощности [2–5].

Существующие схемы компенсации реактивной энергии со стабилизацией напряжения (КРЭСТН) и схемы со стабилизацией напряжения (СТН), содержащие вольтодобавочные трансформаторы (ВДТ), выполненные на частоте сети 50 Гц, несомненно, обладают рядом положительных качеств. Однако эти схемы требуют совершенствования, отвечающего современным требованиям. Одним из перспективных направлений такого совершенствования в условиях опережающего роста цен на электротехнические материалы по сравнению с полупроводниковыми является включение ВДТ в звено повышенной частоты.

Применительно к стабилизированным источникам переменного напряжения малой мощности это направление разрабатывается в Томском институте автоматизированных систем управления [2].

В основу построения быстродействующих вольтодобавочных устройств с улучшенными массогабаритными показателями был положен принцип модуляции и демодуляции переменного напряжения с широтно-импульсным регулированием добавочного напряжения в процессе прямого или обратного преобразования частоты. Однако к недостаткам этого принципа, прежде всего, следует отнести высокий уровень коммутационных потерь вследствие того, что частота модуляции добавочного напряжения равна частоте коммутации полностью управляемых ключей. Кроме того, эти устройства содержат большое количество полностью управляемых ключей с двухсторонней проводимостью тока, половина из которых включена в цепи нагрузки. Этот недостаток особенно проявляется при многозонном формировании добавочного напряжения для трехфазной сети. Эти устройства также имеют ограниченные функциональные возможности, которые не позволяют обеспечивать компенсацию реактивной энергии из-за отсутствия звена постоянного тока.

В развитие этого направления предложено новое построение вольтодобавочных устройств со звеном повышенной частоты [3-5], позволяющих компенсировать отклонения напряжения и реактивную мощность сети. Вольтодобавочное устройство (рис. 1) включается в цепь вторичной обмотки силового трансформатора (СТ) и содержит два преобразователя частоты. Первый преобразователь частоты повышает частоту и представляет собой трехфазно-однофазный преобразователь со звеном постоянного тока (ПЧсЗПТ).

В состав ПЧсЗПТ входят управляемый реверсивный выпрямитель (РВ) с системой управления (СУРВ) и инвертор напряжения (ИН) с системой управления (СУИН). Второй преобразователь частоты понижает частоту до частоты сети и выполнен по однофазно-трехфазной нулевой схеме непосредственного преобразователя частоты с естественной коммутацией (НПЧ), управление которым осуществляется системой управления (СУНПЧ). В звено повышенной частоты между этими преобразователями включен однофазный понижающий высокочастотный трансформатор (ОВТ).

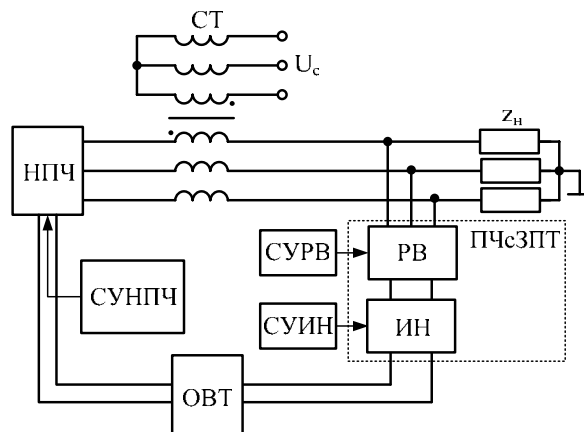


Рис. 1. Структурная схема включения компенсатора отклонений напряжения и реактивной мощности для трансформаторной подстанции: СТ – силовой трансформатор; z_n – трехфазная нагрузка

Предлагаемое устройство (рис. 1) работает следующим образом. ПЧсЗПТ из трехфазного напряжения на нагрузке формирует однофазное регулируемое напряжение высокой частоты. Это высокочастотное напряжение понижается ОВТ и подается на вход однофазно-трехфазного НПЧ. НПЧ с естественной коммутацией и ведомый сеть из однофазного регулируемого напряжения высокой частоты формирует три однофазных добавочных напряжения, которые, кроме общего регулирования при помощи РВ с системой управления СУРВ, могут дополнительно регулироваться независимо друг от друга за счет изменения угла задержки включения тиристоров каждой пары фазных вентильных групп.

Выходные фазные напряжения НПЧ вместе с соответствующими фазными напряжениями на вторичной обмотке СТ в сумме составляют трехфазное напряжение нагрузки z_n , которое стабилизируется на заданном уровне (например, номинальном) за счет воздействия сигналом управления на СУРВ.

Устройство производит регулирование фазных добавочных напряжений без сдвига их первых гармонических составляющих относительно соответствующих фазных напряжений вторичной обмотки СТ. Работа устройства в режиме вольтодобавки задается начальной фазой добавочного напряжения, 0 рад, а в режиме вольтовывчета – π рад.

Выполнение СУИН и СУНПЧ с возможностью регулирования фазы высокочастотного напряжения и синхронизированного с сетью добавочного напряжения в сторону опережения относительно напряжения сети позволяет реализовать способ управления стабилизатором с компенсацией реактивной мощности СТ подстанции. В связи с чем увеличивается жесткость его внешней характеристики.

Так как основным составным звеном предлагаемого устройства является НПЧ, то рассмотрим его более подробно.

Значение тока фазы вторичной обмотки силового трансформатора

$$I_{\phi 1} = S_T / U_{2\phi} \cdot m, \quad (1)$$

где S_T – величина мощности силового трансформатора, кВ·А; $U_{2\phi}$ – значение номинального напряжения вторичной обмотки силового трансформатора, В; m – число фаз сети.

Максимальное значение тока через тиристоры НПЧ

$$I_{\phi 1 \text{ макс}} = k_1 \cdot I_{\phi 1}. \quad (2)$$

Среднее значение тока через тиристор НПЧ:

$$I_{\text{ср}} = I_{\phi 1} / 2. \quad (3)$$

Действующее значение тока вторичной обмотки силового трансформатора

$$I_{s2} = K_m \cdot I_{\phi 1} \sqrt{\frac{2 \cdot \left(1 + \frac{3\sqrt{3} \cdot \cos 2\varphi}{2 \cdot \pi}\right)}{p_{\text{тр}2}}}, \quad (4)$$

где K_m – коэффициент выпрямления; $I_{\phi 1}$ – значение тока фазы вторичной обмотки силового трансформатора, А; φ – угол сдвига кривой тока нагрузки относительно кривой напряжения, эл. град.; $p_{\text{тр}2}$ – число вторичных обмоток силового трансформатора.

Максимальное значение напряжения на выходе НПЧ, исходя из представленной на рис. 2 векторной диаграммы:

$$U_{20} = \sqrt{(U_H + \Delta U_{\text{ст}} - U_c \cos \varphi)^2 + (U_c \sin \varphi)^2}, \quad (5)$$

где U_H – значение напряжения на нагрузке, В; $\Delta U_{\text{ст}}$ – значение падения напряжения на обмотке силового трансформатора, В; U_c – значение максимального напряжения сети, В.

Максимальное значение напряжения на выходе вторичной обмотки силового трансформатора

$$U_{c2} = \frac{U_{20}}{K_{\text{сх}} \cdot \sqrt{1 + \frac{m}{2 \cdot \pi} \cdot \sin \frac{2 \cdot \pi}{m} \cdot \cos \alpha}}, \quad (6)$$

где $K_{\text{сх}}$ – коэффициент схемы включения; m – число фаз выпрямления; α – угол регулирования НПЧ, эл. град.

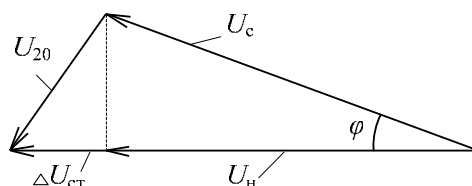


Рис. 2. Векторная диаграмма максимального значения напряжения U_{20} на выходе НПЧ

Таким образом, применение звена повышенной частоты позволяет уменьшить массогабаритные показатели компенсатора отклонений напряжения и реактивной мощности. При этом выбор рационального амплитудно-фазового управления преобразователями повышает качество электроэнергии для конкретных электроэнергетических объектов промышленности и транспорта.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Головкин П. И. Энергосистема и потребители электрической энергии. – М.: Энергия, 1979, 368 с.
2. Кобзев А. В. Многозонная импульсная модуляция. – Новосибирск: Наука, 1979. – 304 с.
3. Климах В. С. Трансформаторно-тиристорные преобразователи напряжения с импульсным, амплитудным и фазовым регулированием: Учебное пособие. – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре гос. техн. ун-т, 1998. – 62 с.
4. Климах В.С. Вольтодобавочные устройства для компенсации отклонений напряжения и реактивной мощности с импульсным, амплитудным и фазным регулированием. ДВО РАН: Монография. – Владивосток: Дальнаука. ДВО РАН. 2002. – 141с.
5. Пат. 2138112 РФ, МКИ 6 H02M5/257, G05F1/455, G05F1/70. Стабилизатор трехфазного напряжения с однофазным звеном высокой частоты/Климах В.С. (Россия) - № 96101619/09; Заявлено 29.01.1996; Опубл. 20.09.1999.

Поступила в редколлегию 25.06.2006.