

## Особенности режима работы питающей сети во время плавного пуска мощных синхронных двигателей

Гапон Д. А., канд. техн. наук

НТУ «ХПИ», Харьков

Бедерак Я. С., инж.

ПАО «АЗОТ», Черкассы

Выявлена причина аварийного отключения конденсаторной установки 6 кВ, подключенной к секции шин 6 кВ главной понижающей подстанции промышленного предприятия, во время пуска мощного синхронного двигателя напряжением 6 кВ, питающегося от той же секции шин через устройство плавного пуска. Разработаны меры защиты от подобного отключения. Предложена схема управления конденсаторной установкой с целью ее отключения на время пуска синхронной машины. Кроме того, рекомендована установка анализатора качества электрической энергии на присоединении конденсаторной установки для осциллографирования формы кривых токов и напряжений и своевременного выявления резонансных явлений.

**Ключевые слова:** конденсаторная установка, двоянный токоограничивающий реактор, высшие гармоники, резонанс.

На одном из промышленных предприятий во время пуска синхронного двигателя (СД) 6 кВ (мощностью 8000 кВт), питающегося от секции шин 6 кВ главной понижающей подстанции (ГПП) через устройство плавного пуска, произошло аварийное отключение конденсаторной установки (КУ) 6 кВ, подключенной к той же секции. Подключение СД к шинам подстанции было выполнено в рамках модернизации производства. Нагрузкой подстанции являлись также асинхронные двигатели напряжением 6 и 0,4 кВ, подключенные к сети напрямую, без каких-либо преобразователей.

Цель данной статьи — анализ причины аварийного отключения КУ и определение мер защиты питающей сети от высших гармоник, возникающих при плавном пуске мощного СД. Исследование их влияния на работу сети электроснабжения промышленных предприятий описано в [1–4].

При пуске любого электродвигателя возникают динамические перегрузки по току и моменту, которые могут привести к износу механической и электрической частей машины, посадке напряжения питающей сети, а также (в некоторых случаях) к разрушению вала. Подобные проблемы особенно актуальны для электрических машин большой мощности, работающих на высоком напряжении. Для их решения в последнее время все чаще применяют высоковольтные устройства плавного пуска двигателя.

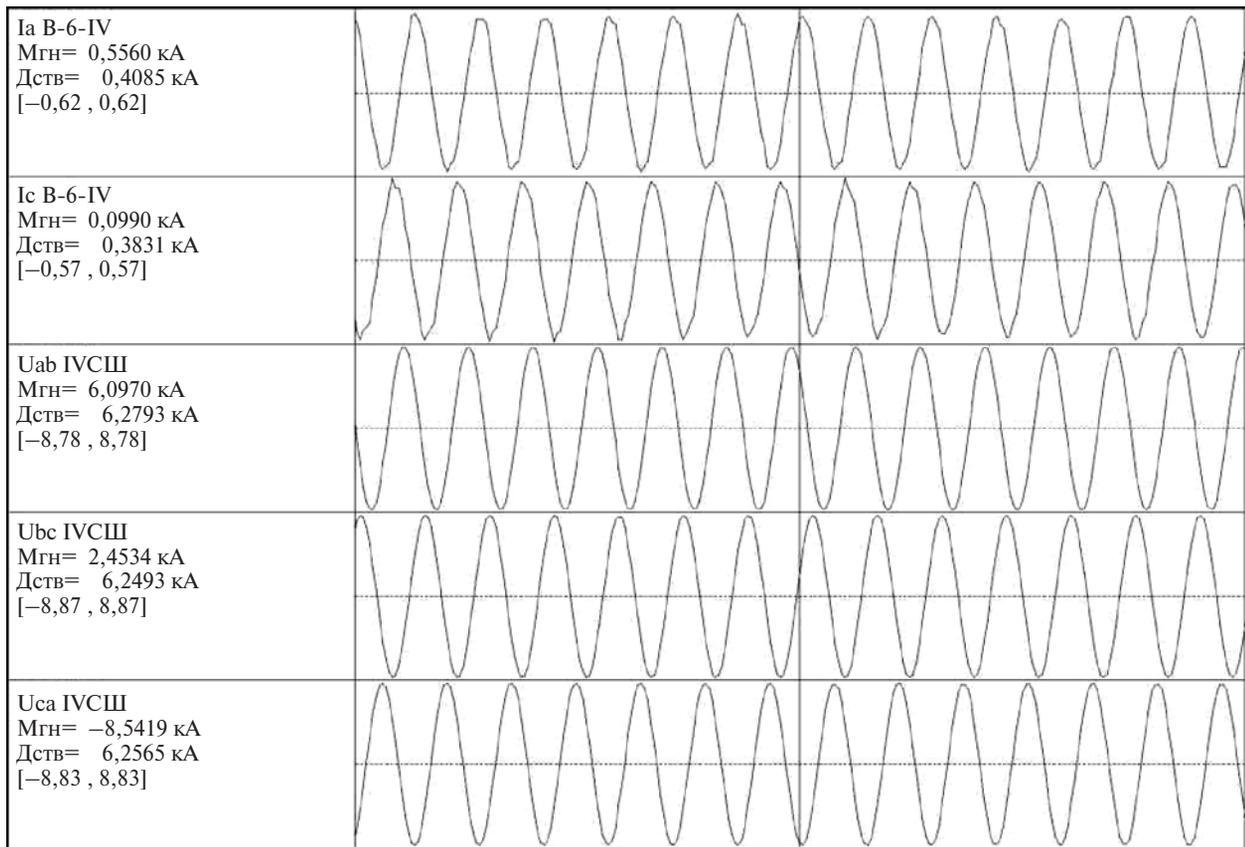
Основой данного устройства являются несколько встречно-параллельных групп тири-

стороров (их количество определяется числом фаз машины). Управление вентилями осуществляется с помощью микропроцессорного блока управления, который формирует необходимую последовательность открытия тиристороров. Значение результирующего напряжения определяется углом открытия тиристороров, т. е. временем между прохождением синусоиды питающего напряжения через нуль и подачей импульса на управляющий электрод тиристорора. Таким образом, плавно изменяя угол открытия, устройство также плавно изменяет напряжение на статоре, что способствует плавному нарастанию частоты вращения двигателя и препятствует скачкам тока в статорной цепи. Однако при этом возникают несинусоидальные токи с высоким содержанием высших гармоник (ВГ) в питающей сети.

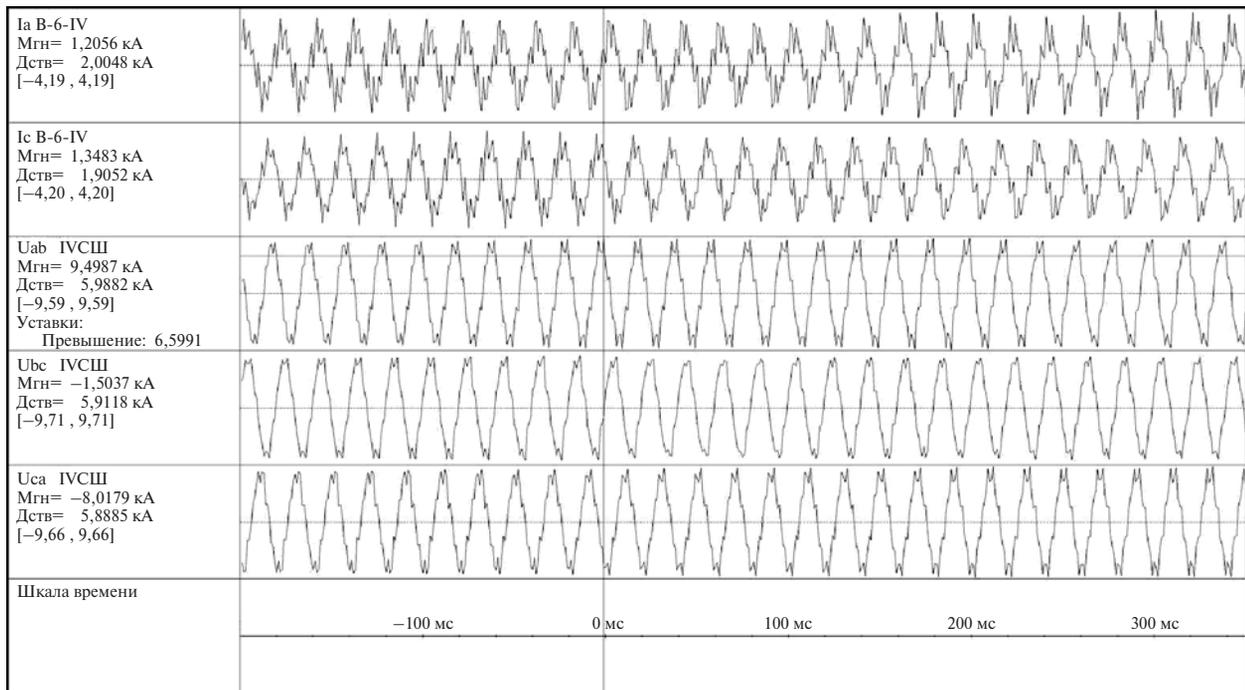
В [1] указано, что в ряде случаев при несинусоидальном напряжении КУ могут выходить из строя в результате вспучиваний или взрывов. Причина их разрушения — постоянная перегрузка токами ВГ, которая, как правило, происходит при возникновении резонансного или близкого к нему режима на частоте какой-либо гармоники, имеющейся в амплитудном спектре напряжения сети. Резонансные контуры образуются емкостью КУ и индуктивностью сети.

На рис. 1 представлена обобщенная однолинейная схема секции шин 6 кВ ГПП № 6 промышленного предприятия. К шинам ГПП через устройство плавного пуска подключен СД мощностью 8000 кВт. Сигналы от транс-





a)



б)

Рис. 2

ния на вводе 6 кВ в нормальном режиме (рис. 2, а) и в режиме плавного пуска СД (рис. 2, б).

Резонансный контур состоит из активного сопротивления реактора, батареи конденсаторов, индуктивного сопротивления ветви реак-

тора и емкостного сопротивления КУ фидера 26Г (рис. 1) в одной ветви и активного сопротивления реактора, индуктивных сопротивлений реактора и нагрузки — в другой ветви. Эквивалентное активное сопротивление нагрузки равняется отношению суммы

активного сопротивления реактора и нагрузки фидера  $26B$ , умноженной на активное сопротивление остальной нагрузки секции шин, к их сумме. Аналогично рассчитывается эквивалентное индуктивное сопротивление.

Частота резонансных явлений, как правило, соответствует частотам ВГ небольших порядков ( $\gamma = 5, 7, 9, 11, 13$ ), и именно эти составляющие согласно [1] наиболее опасны для КУ. Таким образом, если в каком-либо режиме работы подстанции возможно возникновение резонанса токов или близкого ему режима на частоте одной из гармоник, КУ может недопустимо перегрузиться резонансным током, что и произошло в данном случае. Поэтому при проектировании схем электроснабжения промышленных предприятий и, в частности, устройств компенсации реактивной мощности необходимо принимать во внимание возможные резонансные явления. Это также следует учесть в нормативной документации и стандартах или руководящих указаниях по применению устройств плавного пуска двигателей.

В качестве меры защиты сети подстанции от аварийных ситуаций, связанных с резонансными явлениями, предлагается применять такую схему управления КУ, которая была бы способна отключать ее на время пуска СД и включать после пуска. Это возможно путем установки или датчика тока на присоединении фидера  $36Г$ , или микропроцессорного устройства релейной защиты и включения замыкающего контакта того либо другого через указательное реле в цепь отключения выключателя 6 кВ фидера  $26Г$  (см. рис. 1).

До внедрения такой схемы управления КУ единственной надежной мерой защиты сети 6 кВ подстанции от аварийных перегрузок при резонансе токов было отключение вручную КУ перед пуском СД.

Помимо применения предлагаемой схемы целесообразна установка анализатора качества электрической энергии на присоединении КУ для осциллографирования формы кривых токов и напряжений на достаточно длительном промежутке времени. Это позволит определить резонансную частоту контура. При наличии такой информации возможно выполнить расчет фильтрующих устройств для подавления возникающих колебаний.

### Выводы

1. При проектировании схем электроснабжения промышленных предприятий, содержащих КУ, следует учитывать возможные резонансные явления.

2. С целью получения информации о наличии и характере резонансных явлений на присоединениях КУ рекомендуется устанавливать анализаторы качества электрической энергии.

3. Для защиты КУ от перегрузки резонансными токами предлагается внедрить схему управления выключателем КУ, которая отключит ее на время плавного пуска СД.

### Список литературы

1. **Жежеленко И. В.** Высшие гармоники в системах электроснабжения промпредприятий. — М: Энергоатомиздат, 2000.
2. **Жежеленко И. В., Саенко Ю. Л.** Показатели качества электроэнергии и их контроль на промышленных предприятиях. — М: Энергоатомиздат, 2000.
3. **Контроль** потребления электроэнергии с учетом ее качества / О. Г. Гриб, В. И. Васильченко, Ю. С. Громадский и др. Под ред. О. Г. Гриба. — Харьков: ХНУРЭ, 2010.
4. **Бедерак Я. С., Олейнік С. В., Шуляк А. А.** Дослідження режиму роботи конденсаторних установок 6(10) кВ, підключених до вітки здвоеного струмообмежувального реактора. — Електромеханічні і енергозберігаючі системи, 2013, вип. 2 (22), ч. 2.

ei@uch.net