

**УВЕЛИЧЕНИЕ ЧИСЛА ФАЗ  
КАК СПОСОБ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ  
ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ  
ПОКАЗАТЕЛЕЙ И РАСШИРЕНИЯ  
ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ  
АВТОНОМНЫХ ИНВЕРТОРОВ  
НАПРЯЖЕНИЯ**

Бражников А.В.<sup>\*</sup>, Бабин В.А.<sup>\*\*</sup>, Белозеров И.Р.<sup>\*</sup>

<sup>\*</sup>*Сибирский федеральный университет,  
Красноярск, Россия*

<sup>\*\*</sup>*Компания «Комбарко», Москва, Россия*

В последние десятилетия частотно-регулируемые электроприводы переменного тока находят все более широкое применение в различных отраслях промышленности, в области электрического транспорта и т.д., постепенно расширяя свою экспансию там, где до недавнего времени предпочтение отдавалось регулируемым приводам постоянного тока и гидроприводам (это объясняется широко известными преимуществами, которыми обладают частотно-управляемые приводы переменного тока перед другими типами приводов и постоянным их совершенствованием). При этом наиболее перспективными считаются приводы переменного тока, построенные на базе преобразователей частоты со звеном постоянного тока, основными элементами которых являются автономные инверторы (тока или, чаще, напряжения).

Традиционно многофазные автономные инверторы (АИ) строятся таким образом, что отдельные фазы АИ оказываются соединенными *параллельно* друг с другом (в дальнейшем – вариант *А*). При этом с ростом числа фаз фазные токи инвертора уменьшаются (при неизменном фазном напряжении), что является одним из основных преимуществ увеличения числа фаз системы электропривода переменного тока более трех, поскольку при этом появляется возможность строить АИ на базе полупроводниковых приборов (силовых транзисторов, тиристоров, диодов), рассчитанных на меньшие номинальные значения тока, чем при числе фаз, равном трем, и при этом избежать параллельного их соединения, что в большинстве случаев приводит к увеличению стоимо-

сти изготовления и массогабаритных показателей преобразователя частоты.

Однако, возможен и альтернативный (в определенном смысле) вариант построения многофазного автономного инвертора, при котором многофазный АИ состоит из однофазных инверторов, соединенных между собой последовательно (в дальнейшем – вариант *В*). В этом случае отдельные фазы многофазного АИ оказываются соединенными в общей схеме инвертора тоже *последовательно*. При этом наблюдается эффект, обратный тому, что характерен для варианта *А*: при таком принципе построения АИ с ростом числа фаз фазные токи инвертора не изменяются, а фазные напряжения уменьшаются пропорционально числу фаз. В ряде случаев эта особенность может оказаться преимуществом такого принципа построения многофазных АИ, поскольку он позволяет строить инверторы с числом фаз более трех на базе полупроводниковых приборов, рассчитанных на меньшие напряжения, чем в случае трехфазного варианта.

Также возможен и третий, комбинированный вариант построения многофазных АИ, при котором объединяются два описанных выше принципа (вариант *С*): речь идет о последовательно-параллельном принципе построения многофазных автономных инверторов, при котором *m*-фазный АИ представляет собой последовательное соединение *N* инверторов, каждый из которых имеет число фаз, равное *m'*, где  $m' = m / N$ . Между соседними *m'*-фазными инверторами (последовательно с ними) устанавливаются ограничительные дроссели для уменьшения реактивного воздействия этих инверторов друг на друга (т.е. взаимного влияния по переменной составляющей входного тока каждого из этих инверторов). На входе каждого из *m'*-фазных инверторов устанавливается конденсатор для обеспечения замкнутого контура для протекания реактивной (переменной) составляющей входного тока данного инвертора. В такой схеме ток *I*, потребляемый всей *m*-фазной схемой при четных значениях *m* определяется по формуле

$$I = U \cdot m' / (4N \cdot R_f), \quad (1)$$

где *U* – напряжение на входе *m*-фазного инвертора; *R<sub>f</sub>* – активное сопротивление фазы нагрузки инвертора.

При нечетных значениях *m* формула (1) принимает следующий вид:

$$I = U \cdot [(m')^2 - 1] / (4N \cdot R_f \cdot m'). \quad (2)$$

При этом фазное напряжение ( $U_f$ )  $m$ -фазного АИ (как при четных, так и при нечетных значениях  $m'$ ) определяется по формуле

$$U_f = U / (2N). \quad (3)$$

В общем случае в такой системе  $m'$ -фазные инверторы могут иметь неодинаковое число фаз  $m'$ .

Следует отметить еще два принципиальных момента, касающихся варианта  $B$ . Во-первых, этот вариант может рассматриваться как частный случай варианта  $C$ . Во-вторых, преобразователи частоты, построенные на базе автономных инверторов, выполненных по варианту  $B$ , могут быть использованы для питания многофазных стержневых обмоток электродвигателей переменного тока (см., например, [1-3]). Двигатели с такими обмотками необходимы для реализации в системе электропривода так называемого  $pm$ -управления, использование которого позволяет существенно расширить регулировочные возможности привода, а тем самым – улучшить ряд его технико-экономических характеристик.

Все описанные варианты построения АИ в сочетании с увеличением числа фаз более трех в соответствующей ситуации могут рассматриваться как способы расширения установленной мощности частотно-управляемых электроприводов переменного тока, более экономичные, чем те, что связаны с параллельным соединением полупроводниковых элементов в схеме преобразователя (без увеличения числа фаз последнего). При этом вариант  $C$  является наиболее перспективным из-за своей гибкости, которая заключается в том, что при таком принципе построения инвертора проектировщик имеет максимальный простор для варьирования значений фазных токов и напряжений, исходя из реальных возможностей имеющейся в его распоряжении элементной базы.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бражников А.В. Преимущества, перспективы применения и конструктивные особенности многофазных инверторных электроприводов с  $pm$ -управлением // Сборник научных трудов «Перспективные технологии и техника для горно-металлургического комплекса». – Красноярск: Издательство КГАЦМиЗ, 1999. – С. 375-385.

2. Бражников А.В., Пантелеев В.И., Довженко Н.Н. Фазно-полюсное управление

многофазными асинхронными инверторными электроприводами // Журнал «Электрика», 2005, № 3. – С. 22-27.

3. Бражников А.В., Минеев А.В., Пантелеев В.И., Довженко Н.Н. Конструкции двигателей для многофазных инверторных электроприводов с  $pm$ -управлением // Сборник научных трудов «Вестник университетского комплекса». – Красноярск: Издательство ВСФ РГУИТП, НИИ СУВПТ, 2005. – Вып. 3 (17). – С. 198-200.

### ТЕХНОГЕННОЕ НАРУШЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО БАЛАНСА ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ

Вергинский П.А.

Усьолье-Сибирское, Россия

#### 1. Вступление

03 Октября 2009 года «ВЕСТИ.РУ» опубликовали основные тезисы Доклада Ростехнадзора «О причинах аварии на Саяно-Шушенской ГЭС», которая произошла 17 августа 2009 года, представленный в Правительство России. В этом Докладе обращает на себя внимание большой комплекс организационно-технологических нарушений и упущений ведомственного и государственного руководства на СШГЭС, которые при объективном анализе присущи деятельности этого же руководства в осуществлении организационно-технологических мероприятий на любой другой ГЭС России, но почему-то даже не упоминается гидравлический удар, о котором сообщали со слов свидетелей все СМИ в первые дни после катастрофы.

#### 2. Возникновение проблемы

Как известно, типичным примером возникновения гидравлического удара является трубопровод с постоянным напором и установившимся движением жидкости при резком перекрытии задвижки (клапана). Теоретически явление гидравлического удара объяснил ещё Н.Е. Жуковский [1]: Увеличение давления при гидравлическом ударе определяется выражением: