

**Влияние преобразователей частоты  
на питающую электрическую сеть**

Фираго Б. И.\*, Павлячик Л. Б.\*\*, Медведев К. М.\*\*\*  
Белорусский национальный технический университет\*  
Вроцлавский технический университет (Польша)\*\*  
Гомельский государственный технический  
университет им. П.О. Сухого\*\*\*

В последнее десятилетие в Беларуси и других странах СНГ в промышленность и коммунальное хозяйство активно внедряются преобразователи частоты (ПЧ), позволяющие эффективно управлять режимами работы асинхронного электропривода и экономить значительную часть электроэнергии.

Одной из проблем, связанных с эксплуатацией систем "преобразователь частоты – асинхронный двигатель" (ПЧ-АД), является генерация ими в питающую электрическую сеть токов высших гармоник (ВГ), которые ухудшают качество электроэнергии в системе электроснабжения (СЭС) и снижают уровень электромагнитной совместимости ПЧ с сетью. Причиной этому является сильно искажённая кривая входного тока ПЧ-АД, особенно в прерывистом режиме работы (рис.1).

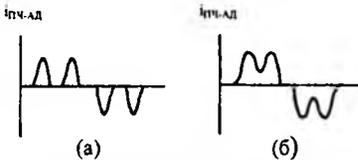


Рис. 1. Формы входных токов  
ПЧ-АД: (а) – прерывистая;  
(б) – непрерывная

Данное обстоятельство позволяет сделать вывод об актуальности проблемы

негативного влияния ПЧ-АД на питающую сеть и необходимости поисков её эффективного решения.

Авторами данной статьи были разработаны математическая и имитационная модели, позволяющие рассчитывать кривые входных токов системы ПЧ-АД с неуправляемым выпрямителем (НВ) и автономным инвертором напряжения (АИН) при любой несимметрии параметров питающей сети и получать их гармонический спектр.

В основе математической модели лежат аналитические выражения для кривых входного тока, выпрямленного напряжения, тока в ёмкости фильтра и тока эквивалентной нагрузки ПЧ-АД, полученных в результате решения дифференциальных уравнений, составленных для эквивалентной модели ПЧ-АД на интервалах проводимости НВ и отсутствия входного тока.

Имитационная модель составлена в программной среде MatLab/Simulink, и, в отличие от модели математической, позволяет получать не только прерывистые, но также и непрерывные входные токи системы ПЧ-АД.

Исследования, проведённые с помощью разработанных моделей, показали следующий характер влияния параметров симметричной питающей сети и режима работы самой ПЧ-АД на относительный уровень ВГ её входного тока:

- с увеличением эквивалентного сопротивления питающей сети уровень ВГ снижается;
- чем больше номинальная мощность электродвигателя и/или величина его загрузки, тем меньше ВГ во входном токе ПЧ-АД;
- чем меньше величина ёмкости фильтра ПЧ, тем сильнее искажена кривая входного тока системы ПЧ-АД.

Были также выявлены характер и степень влияния несимметрии напряжения питающей сети на гармонический состав входных токов ПЧ-АД. Установлено, что даже небольшая (допустимая по ГОСТ 13109-97) несимметрия питающего напряжения может приводить к значительной несимметрии входных токов. Отдельно следует отметить, что любая несимметрия параметров питающей сети приводит к появлению в кривых входного тока ПЧ-АД с трёхфазным НВ нечётных гармоник, кратных трём (3-й, 9-й, 15-й и т.д.), чего нельзя наблюдать при симметричной сети (рис.2).

Одним из основных средств снижения уровней ВГ входных токов ПЧ-АД являются сетевые дроссели и дроссели в контуре выпрямленного тока. Однако исследования, проведённые для маломощных ПЧ, показали, что с использованием только лишь дросселей невозможно добиться таких уровней ВГ, которые соответствовали бы СТБ МЭК 61000-3-2-2006, нормирующего

уровень эмиссии токов ВГ в питающую сеть устройствами с входным током не более 16 А в одной фазе.

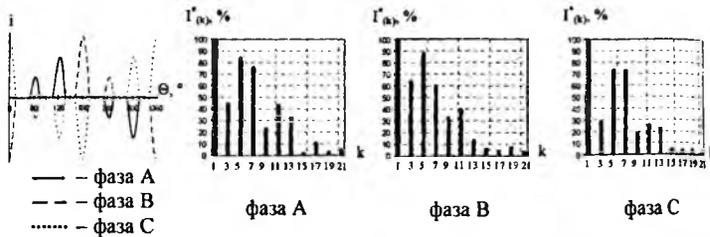


Рис.2. Несимметричные входные токи ПЧ-АД и их гармонический состав

Авторами данной публикации было предложено организационно-техническое мероприятие по снижению уровней ВГ в СЭС предприятий и коммунально-бытового сектора, суть которого заключается в комбинировании в определённой пропорции преобразователей с трёхфазными НВ (ПЧ средней и большой мощности) и однофазными НВ (маломощные ПЧ, компьютеры, телевизоры) таким образом, чтобы их питание осуществлялось от одного трансформатора.

Из рис.3 видно, что сумма типовых для преобразователей с трёхфазными и однофазными НВ кривых входных токов содержит в несколько раз меньше 5-й и 7-й гармоник, чем в каждой из кривых в отдельности.

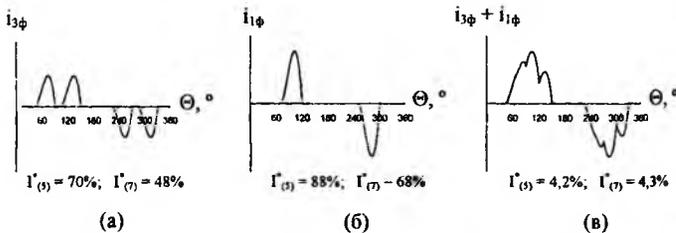


Рис.3. Кривые входных токов и относительные значения 5-й  $\Gamma_{(5)}$  и 7-й  $\Gamma_{(7)}$  гармоник преобразователей с трёхфазным (а) и однофазным (б) НВ, а также их суммарного тока (в)

Одним из самых перспективных и эффективных способов снижения уровней токов и напряжений ВГ в СЭС является использование силовых активных фильтров (АФ).

Авторами разработана имитационная модель АФ тока с гистерезисным регулятором, позволяющая исследовать эффективность использования данного устройства с целью фильтрации ВГ тока и компенсации реактивной мощности нелинейной нагрузки. Модель реализована в программной среде MatLab/Simulink. Полученные с помощью данной модели и представленные на рис.4. кривые подтверждают эффективность применения АФ тока.

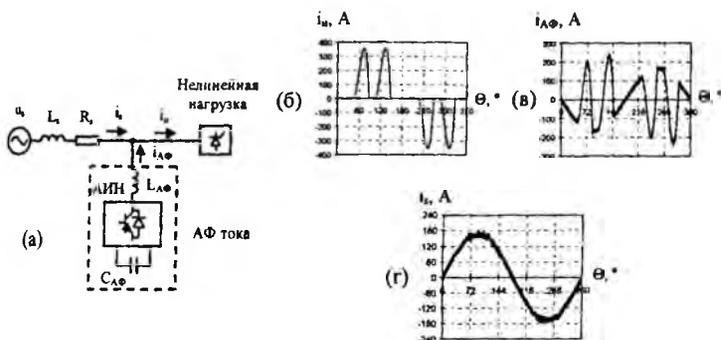


Рис.4. Схема подключения АФ тока (а), а также кривые токов, полученные в результате моделирования работы АФ: (б) – входной ток ПЧ-АД  $i_n$ ; (в) – ток АФ  $i_{АФ}$ ; (г) – ток сети  $i_s$