

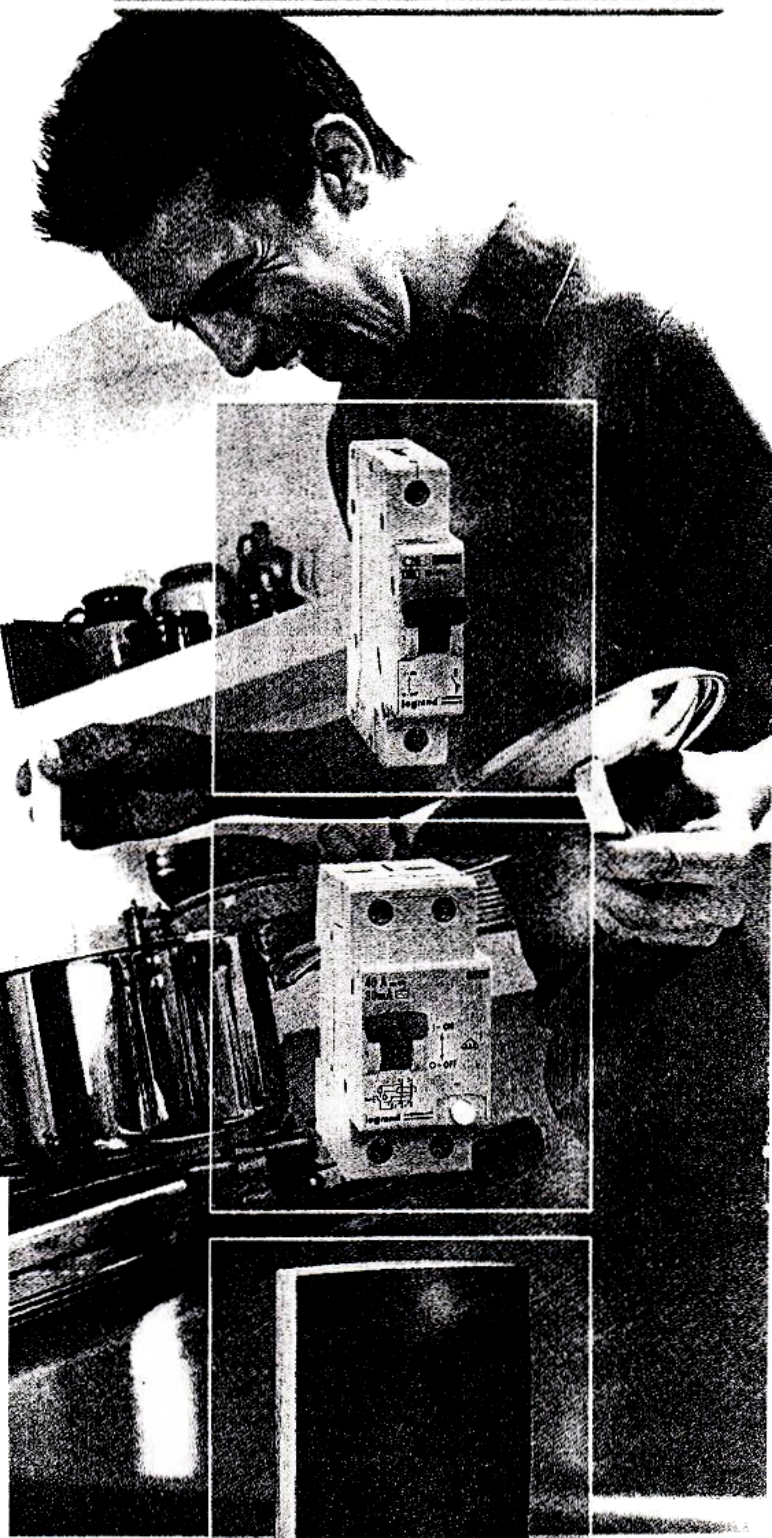
ЭЛЕКТРО

панорама

12.2005

ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Электробезопасность в повседневной жизни



Новая серия LR™ (автоматические выключатели и УЗО) от **Legrand** универсальна в своем применении. Она прекрасно подходит как для домашних установок (типовое жилье, дачи, коттеджи...), так и для установок в коммерческом секторе (магазины, офисы, кафе, салоны красоты, гостиницы...).

LR™ – гарантия электробезопасности
в повседневной жизни

legrand®



Трудный путь инвертора

Ю.В. Черников

(Продолжение. Нач. см. ЭП, № 11, 2005 г.)

Коллекторные генераторы переменной частоты и другие электромашинные преобразователи получили ограниченное применение из-за общих недостатков, свойственных электромашинным преобразователям – громоздкости, наличия вращающихся машин и особенно коллектора, механического метода управления частотой.

Тем не менее в первой половине XX века привод с частотным управлением получил, хотя и ограниченное, но прочное применение для некоторых видов производственных машин. Применялись вращающиеся преобразователи двух основных видов:

- двигатель-генераторные агрегаты, состоящие из двух машин, связанных муфтой и вращающихся с переменной управляемой скоростью – генератора переменной частоты (синхронного генератора или индукционного преобразователя частоты ИПЧ) и двигателя постоянного тока с регулируемой скоростью с питанием от цеховой сети постоянного тока;

- каскадные преобразователи, составленные из двух последовательно включенных двухмашинных агрегатов – асинхронного двигателя, который вращает генератор постоянного тока с независимым возбуждением, и двигателя постоянного тока независимого возбуждения, который вращает синхронный генератор или индукционный преобразователь частоты.

Типовые промышленные каскадные электроприводы применялись для всех мощностей и обычно имели диапазон частотного регулирования до 6:1 в системах с синхронным генератором и до 3:1 – с ИПЧ.

Среди приводов с частотным управлением одним из первых получил эффективное промышленное применение индивидуальный привод рольгангов прокатных цехов металлургических заводов, в которых установленная мощность этих электроприводов достигает от 25 до 50 % установленной мощности приводов всех вспомогательных механизмов [1]. Определяющим здесь оказались два фактора – надежность двигателей и отличные динамические характеристики индивидуального привода, обеспечивающие согласованное регулирование скорости и управление пуском, торможением и реверсом большого числа двигателей, приводящих во вращение ролики рольганга.

Вторая специфическая область частотно-управляемого привода – текстильные машины (прядильные и крутильные). В каждой из таких машин имеются сотни электродвигателей, каждый из которых объединяет электродвигатель с рабочим инструментом, например, рогулькой. Типичная конструкция электроверетена представляет собой асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором мощностью от 0,05 до 0,2 кВт, сквозь полый вал которого проходит нить к укрепленной на ней рогулке. Все преимущества, которые дает индивидуальный привод – радикальное упрощение кинематики и конструкции текстильных машин, улучшение качества пряжи и увеличение производительности, достигнуты только благодаря специфическим свойствам частотного управления, позволяющего получить синхронное управление большим числом электродвигателей с высокой степенью плавности и точности регулирования их скоростей.

Вопрос применения асинхронных двигателей с частотным управлением для тягового привода электровозов возник одновременно с самой идеей частотного управления. Уже в первых работах по частотному управлению М.П. Костенко указывал на тяговой привод как на одну из важнейших областей его применения (см. 1-ю часть статьи). Недостатки двигателей постоянного тока, обусловленные наличием коллектора, особенно остро сказываются в тяговом электроприводе. Тяговые двигатели работают в ос-

бо тяжелых условиях влажности, колебаний температуры, загрязнений, ударов и т.д. К ним предъявляются повышенные требования по надежности, а размещение двигателей в труднодоступных местах у осей и специфика работы подвижного состава крайне затрудняют уход за двигателями. Применение асинхронных двигателей, почти не требующих ухода, при частотном управлении позволяет радикально решить проблему тягового электропривода. Тяговый привод с плавным частотным управлением был разработан в Венгрии в 1940 г. для моторных вагонов электропоездов [1]. В 1953 г. были изготовлены первые 20 электропоездов с плавным частотным управлением для железных дорог Франции.

Следует отметить, что начиная с 30-х годов прошлого века указанные выше недостатки электромашинных преобразователей частоты стимулировали изыскание статических способов преобразования частоты на основе вентилей. Однако проблема создания вентильного преобразователя частоты, удовлетворяющего всем необходимым технико-экономическим требованиям управления асинхронным двигателем, оказалась достаточно сложной.

Для создания работоспособных вентильных преобразователей частоты требовалось решить следующие задачи:

- разработать надежные, экономичные, малогабаритные, удобные в монтаже и эксплуатации вентили;

- разработать удовлетворительные схемы коммуникации тока.

В свою очередь, совершенствование вентильных преобразователей частоты с регулируемым выходным напряжением и частотой шло по двум направлениям:

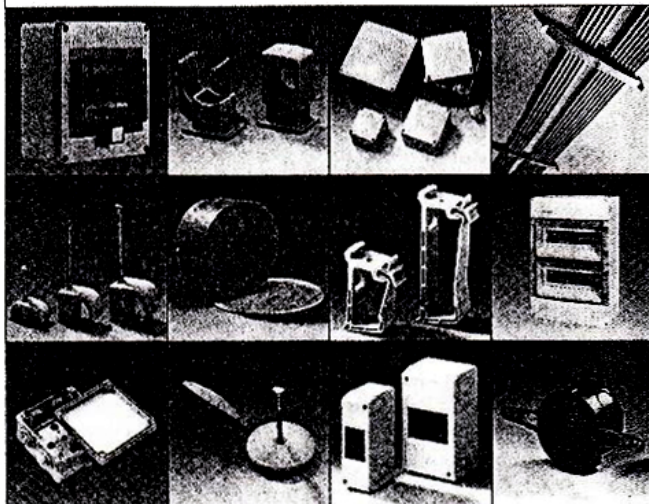
- создание вентильных преобразователей частоты с непосредственной связью питающей сети и цепи нагрузки;

- создание вентильных преобразователей частоты с промежуточным звеном постоянного тока и автономным инвертором.

Первый статистический непосредственный преобразователь частоты (НПЧ), характеризующийся переменным отношением частот и возможностью передачи энергии в обоих направлениях, был предложен Л. Хазелтином, который в январе 1926 г. получил патент Великобритании на «Улучшенный метод и аппаратуру для преобразования электрической энергии» [2]. Хазелтин установил общий для всех НПЧ фундаментальный принцип образования кривой переменного напряжения желаемой частоты из следующих одна за другой кривых напряжения многофазной системы переменного тока заданной частоты. Для реализации этого принципа он предложил использовать различные конструкции электрических вентилей, которые должны были подключать нагрузку поочередно к следующим одно за другим напряжениям источника переменного тока и, таким образом, получать кривую выходного напряжения. Система Хазелтина была замечательна в нескольких отношениях: поток энергии мог свободно поступать в нагрузку и из нагрузки, а отношение выходной частоты к входной могло быть произвольным. Практическому использованию этой системы препятствовало отсутствие электрических вентилей с удовлетворительными параметрами.

Интересные конструкции НПЧ с использованием фазоуправляемых ртутных вентилей были предложены в 1932 г. М. Шенкелем [3] и в 1935 г. фон Иссендорфом [4]. Эти НПЧ также обеспечивали двухстороннее направление потока энергии, хотя в отличие от системы Хазелтина достижимая полезная выходная частота, также переменная, была ниже частоты источника питания. Система обладала двумя важными достоинствами, которые обеспечили ей возможность практического применения: во-первых, использовались ртутные вентили, и, во-вторых, амплитуда выходного напряжения могла изменяться управлением углом включения вентилей. Эти преобразователи частоты были первоначально разработаны для преоб-

МЫ ПРЕДЛАГАЕМ НАДЕЖНОСТЬ, ВЫСОКОЕ КАЧЕСТВО И УМЕРЕННЫЕ ЦЕНЫ



03680, г. Киев, пр-т Ак. Глушкова, 1,
НК "Экспоцентр Украины", пав. №6
Тел./факс: (044) 526-92-50, 526-92-51
E-mail: info@sivax.kiev.ua
http://www.sivax.kiev.ua

разования стандартного трехфазного переменного тока с частотой 50 Гц в однофазный переменный ток с частотой 15, 16 или 25 Гц, который применялся на электрифицированном транспорте в Европе.

В Советском Союзе первые лабораторные установки для частотного регулирования асинхронных двигателей от ионных НПЧ были созданы под руководством Д.А. Завалишина в 1938–1939 гг. [5].

К достоинствам первых созданных НПЧ следует отнести:

- возможность осуществлять двусторонний обмен мощностью: из питающей сети в цепь нагрузки и из цепи нагрузки в питающую цепь, благодаря чему легко обеспечивается генераторное торможение двигателей нагрузки;

- возможность осуществлять плавное регулирование амплитуды и частоты напряжения на выходе (начиная с нуля), что часто оказывается необходимым для частотного управления двигателями переменного тока;

- возможность относительно простого получения на выходе преобразователя тока, по форме близкого к синусоидальному, что может оказаться особенно полезным при работе на двигателе средней или большой мощности.

Несмотря на то, что с помощью НПЧ принципиально возможно получить напряжение, частота которого была бы равна или даже превышала частоту питающей сети, в реальных схемах отношение частот напряжений питающей сети и цепи нагрузки обычно не бывает ниже 2. Это объясняется, прежде всего, тем, что дальнейшее увеличение частоты на выходе преобразователя требует применения исключительно многофазных схем ($m=12$ и более) и приводит к усложнению силовой схемы и системы управления. Эта особенность НПЧ определила рациональные области их возможного применения при питании от сети с промышленной частотой 50 Гц, к которым относятся:

- тихоходные приводы некоторых механизмов, например, приводы шахтных подъемных машин, в которых частота выходного напряжения при «дотягивании» составляет от 0 до 15 Гц;
- приводы электробуровых установок, в которых частота выходного напряжения преобразователя составляет от 0 до 25 Гц;
- приводы механизмов перемешивания и транспорта жидкого металла, в которых частота выходного напряжения преобразователя находится в пределах от 0 до 2 Гц.

Весьма эффективно НПЧ могут применяться в электрических системах с автономными источниками напряжения повышенной нестабильной частоты для получения напряжения стабильной частоты. В качестве примера можно указать на преобразователи, предназначенные для получения напряжения стабильной частоты 400 Гц в самолетных установках при переменной скорости вращения высокочастотного генератора, связанного с валом первичной турбины.

Параллельно с НПЧ шло развитие вентильных преобразователей частоты с промежуточным звеном постоянного тока и автономным инвертором. В этих преобразователях при их питании от промышленной сети переменного тока необходимыми элементами являются выпрямитель и автономный инвертор. Функции регулирования частоты выходного напряжения осуществляет инвертор, а напряжения – выпрямитель. Иногда обе функции осуществляет инвертор, а выпрямитель выполняется неуправляемым.

Значительный вклад в создание автономных инверторов в 30–50-е годы прошлого столетия внесли такие ученые, как американец С. Вагнер [6, 7], немцы В. Шиллинг и В. Остендорф, И.И. Каганов и А.А. Булгаков (СССР).

Положительным свойством созданных преобразователей частоты с промежуточным звеном постоянного тока и автономным инвертором является независимость выходной частоты от частоты питающей сети, ввиду чего предоставляется возможность получить, как повышенную, так и пониженную частоту вторичной цепи при весьма широком диапазоне ее изменения.

Это свойство определило рациональные области возможного применения таких преобразователей:

- частотное регулирование асинхронных двигателей;
- индуктивный нагрев;
- стабилизация частоты при переменной скорости вращения первичных генераторов (например, на судах и самолетах);
- автономные сети повышенной частоты (например, для питания ручного электроинструмента).

Однако до конца 50-х – начала 60-х годов преобразователи частоты на ионных вентилях почти не нашли практического применения. Основная причина заключалась в их громоздкости, низком КПД, невысокой надежности, критичности к окружающим условиям (температура, вибрация, положение в пространстве) и высокой стоимости.

Положение изменилось с появлением в конце 50-х годов кремниевых управляемых вентилях – тиристоры. Поскольку тиристоры имеют характеристики, качественно подобные характеристикам ионных приборов, но в значительной мере лишены их недостатков, т.е. имеют малые габариты, надежную конструкцию, низкое падение напряжения в открытом состоянии, высокое быстродействие, они позволяют создавать преобразовательные устройства с весьма высокими технико-экономическими параметрами. При этом оказалось возможным использовать почти весь теоретический задел в области преобразовательной частоты, накопленный на этапе их развития на базе ионных приборов.

Литература:

1. Булгаков А.А. Частотное управление асинхронными двигателями. – 3-е изд., перераб. и доп. М.: Энергоиздат, 1982.
2. Hazeltine L.A. «An Improved Method and Apparatus for converting Electric Power», British Patent № 218675, Jan. 4, 1926.
3. Schenkel M. «Eine unmittelbare Asynchrone Umrichtung niedrefrequente Bahnnetze», Electr. Bahnen, 8, 69–73 (1932).
4. Von Issendorff J. «Der Gesteuerte Umrichter», Wiss. Veröff. Siemens, 14, 1–31 (1935).
5. Завалишин Д.А. Ионный преобразователь частоты для регулирования скорости асинхронных двигателей, «Электротехника», 1939, № 4.
6. Wagner C.F. Parallel inverter with resistive load. Trans. AIEE, 1935, 54, p. 1227.
7. Wagner C.F. Parallel inverter with inductive load. Trans. AIEE, 1936, 55, p. 970.

(Продолжение следует)