

**Частотные преобразователи на IGBT транзисторах
морского исполнения серии EI-M для асинхронных
электрических двигателей**



**ЭФФЕКТИВНОЕ
управление СУДОВЫМ
ЭЛЕКТРОприводом**

ПОДРУЛИВАЮЩИЕ УСТРОЙСТВА

ВИНТО-РУЛЕВЫЕ КОЛОНКИ

ЯКОРНО-ШВАРТОВНЫЕ МЕХАНИЗМЫ

**ПИТАТЕЛЬНЫЕ, РАЗГРУЗОЧНЫЕ,
БАЛЛАСТНЫЕ И ДРУГИЕ НАСОСЫ**

**ЛЕБЕДКИ, КРАНЫ
И ДРУГИЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДЫ**



ЭФФЕКТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ СУДОВОГО ЭЛЕКТРО- ПРИВОДА

В.Ерин, канд.техн.наук
ООО «Веспер автоматика»

О проблеме

Одним из важных направлений совершенствования электротехнической части кораблей, судов, плавучих сооружений сегодня является создание принципиально нового электрооборудования с применением современной силовой электроники и новых микропроцессорных систем управления.

Снижение затратной составляющей морского флота и повышение его экономической эффективности, по мнению ведущих специалистов отрасли, должны быть достигнуты, наряду с другими факторами, за счет разработки и внедрения судовых механизмов с управляемым электроприводом, а также за счет замены судового оборудования, поставляемого по импорту, перспективными российскими разработками.

В связи с вышеизложенным, внимание российских судовладельцев, судостроителей, поставщиков судовой электроаппаратуры заслуживает новая разработка отечественного предприятия «Веспер автоматика», одного из ведущих производителей силовой преобразовательной техники.

О частотном преобразователе серии EI-M

Речь идет о частотных преобразователях морского исполнения серии EI-M, предназначенных для управления асинхронными электродвигателями в судовых электромеханизмах.

В чем же изюминка частотных преобразователей EI-M и почему они должны заслуживать внимания специалистов? — Ведь известно, что частотные преобразователи на судах использовались и ранее!

Да, частотные преобразователи применялись для управления судовым электроприводом. Но до последнего времени это были преобразователи непосредственного типа (преобразователи с непосредственной связью).

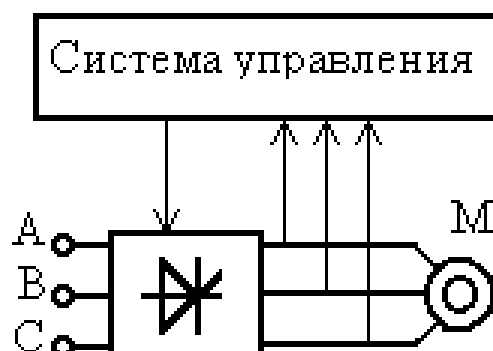


Рис. 1.

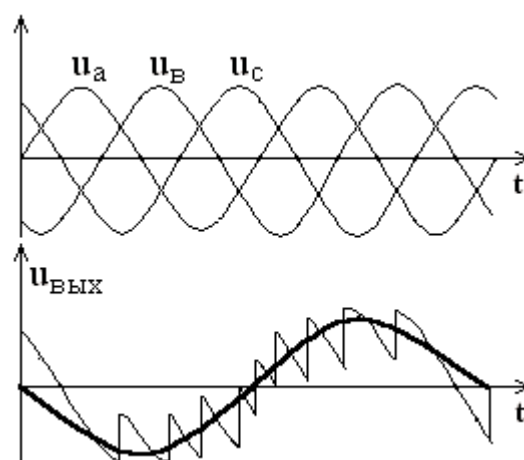


Рис. 2.

Силовая часть преобразователей с непосредственной связью представляет собой управляемый выпрямитель, и выполнена на не запираемых тиристорах (рис.1.). Система управления поочередно отпирает группы тиристоров и подключает статорные обмотки двигателя к питающей сети.

Таким образом, выходное напряжение преобразователя формируется из «вырезанных» участков синусоид входного напряжения. На рис.2. показан пример формирования выходного напряжения для одной из фаз нагрузки. На входе преобразователя действует трехфазное синусоидальное напряжение u_a, u_b, u_c . Выходное напряжение $u_{\text{вых}}$





имеет несинусоидальную «пилообразную» форму, которую условно можно аппроксимировать синусоидой (утолщенная линия).

Опыт эксплуатации преобразователей такого типа на отечественных судах и судах зарубежной постройки показал ряд их существенных недостатков.

К серьезному недостатку следует отнести влияние на качество электроэнергии судовой сети. «Резаная» синусоида на выходе преобразователя является источником высших гармоник, которые вызывают дополнительные потери в электрическом двигателе, перегрев электрической машины, снижение момента, очень сильные помехи в судовой питающей сети. Применение компенсирующих устройств приводит к повышению стоимости, массы, габаритов, понижению к.п.д. системы в целом.

Данные преобразователи имеют низкий коэффициент мощности, который сильно зависит от нагрузки и резко уменьшается при регулировании выходного напряжения вниз от номинального.

Кроме того, выходная частота преобразователей непосредственного типа изменяется в пределах 25 — 30 % от номинальной частоты, что ограничивает их применение в судовых механизмах с широким диапазоном регулирования скорости вращения.

Частотные преобразователи серии EI-M, изготавливаемые компанией «Веспер автоматика», относятся к типу преобразователей нового поколения. Они выполнены на современных полупроводниковых элементах — IGBT транзисторах. Такой тип частотных преобразователей в последнее десятилетие очень широко и успешно используется в регулируемом электроприводе во всех отраслях промышленности.

Практически первыми в России в 2002 году эти частотные преобразователи сертифицированы

Морским Регистром Судоходства и Речным Регистром, а предприятие «Веспер автоматика» получило свидетельство о признании изготовителя.

В преобразователях этого типа (рис. 3.) переменное напряжение питающей сети (u_{BX}) с постоянной амплитудой и частотой ($U_{BX} = \text{const}$, $f_{BX} = \text{const}$) поступает на **выпрямитель (1)**.

Для сглаживания пульсаций выпрямленного напряжения ($u_{\text{выпр.}}$) используется **фильтр (2)**, так называемое звено постоянного тока.

С выхода фильтра постоянное напряжение u_d поступает на вход **автономного импульсного инвертора (3)**.

Автономный инвертор современных преобразователей, как было отмечено, выполнен на основе силовых биполярных транзисторов с изолированным затвором IGBT. На рассматриваемом рисунке изображена схема преобразователя частоты с автономным инвертором напряжения, получившая наибольшее распространение и принятая за основу в преобразователях компании «Веспер автоматика».

В инверторе осуществляется преобразование постоянного напряжения u_d в трехфазное импульсное напряжение u_{II} . По сигналам системы управления каждая обмотка электрического двигателя подсоединяется через соответствующие силовые транзисторы инвертора к положительному и отрицательному полюсам звена постоянного тока. Длительность подключения каждой обмотки в пределах периода следования импульсов модулируется по синусоидальному закону. Наибольшая ширина импульсов обеспечивается в середине полупериода, а к началу и концу полупериода уменьшается. Таким образом, система управления обеспечивает широтно-импульсную

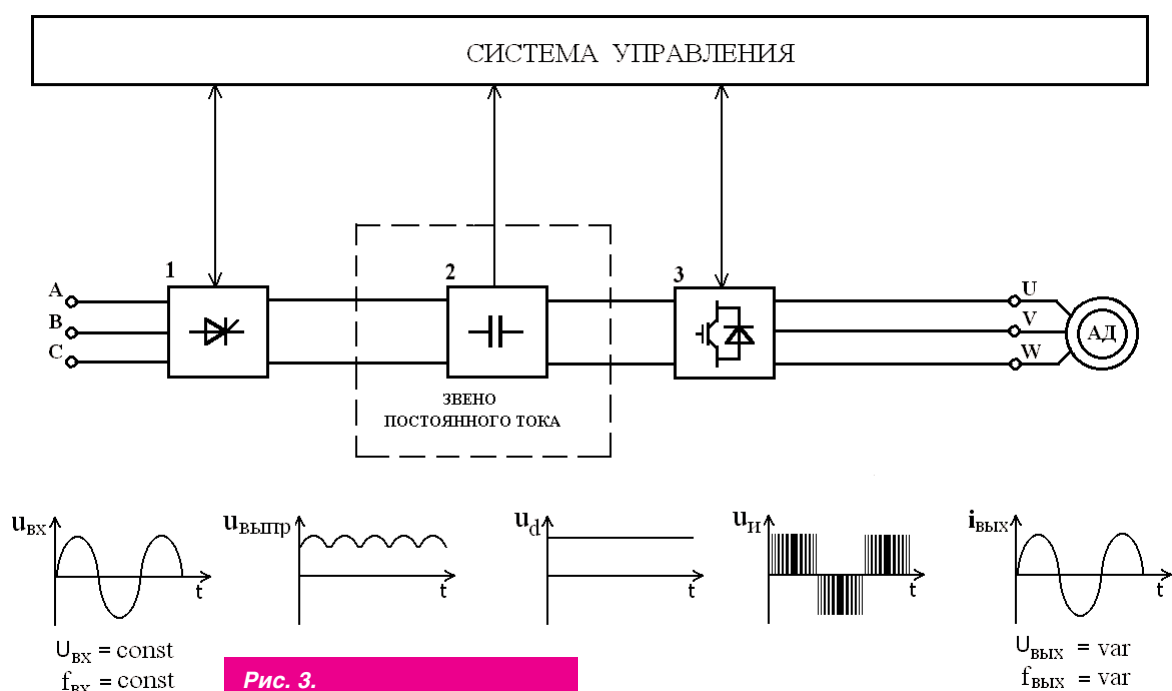


Рис. 3.

модуляцию (ШИМ) напряжения, прикладываемого к обмоткам двигателя.

Применение IGBT транзисторов позволяет повысить несущую частоту ШИМ до 15–16 кГц и выше. Обмотки электродвигателя на такой высокой частоте вследствие их высокой индуктивности работают как фильтр. Поэтому в них протекают практически синусоидальные токи.

Биполярные транзисторы с изолированным затвором IGBT отличают от тиристоров полная управляемость, простая неэнергоёмкая система управления, высокая рабочая частота

Благодаря этому преобразователи частоты на IGBT позволяют расширить диапазон управления скорости вращения двигателя.

Применение IGBT с более высокой частотой переключения в совокупности с синусоидальной широтно-импульсной модуляцией снижает уровень высших гармоник, характерных для тиристорных преобразователей. Как следствие меньшие добавочные потери в обмотках и магнитопроводе электродвигателя, уменьшение нагрева электрической машины, снижение пульсаций момента и исключение так называемого «шагания» ротора в области малых частот. Снижаются потери в трансформаторах, конденсаторных батареях, увеличивается срок их службы, а также срок службы изоляции проводов. Уменьшается количество ложных срабатываний устройств защиты, и снижаются погрешности измерений индукционных датчиков.

Преобразователи на транзисторах IGBT по сравнению с тиристорными преобразователями при одинаковой выходной мощности отличаются меньшими габаритами, массой, повышенной надёжностью, что весьма важно для судового оборудования.

Они позволяют реализовать более полную защиту от бросков тока и от перенапряжения, как следствие, существенное снижение вероятности отказов и повреждений электропривода.

Об опыте и эффективности использования

Первый опыт практического использования частотного преобразователя серии EI-M связан с судном-сборщиком льяльных и сточных вод «Брянск». На его борту впервые в России было установлено принципиально новое отечественное подруливающее устройство. Новизна заключается в использовании винта фиксированного шага с приводом от частотно-регулируемого электропривода. Частотно-регулируемый электропривод состоит из асинхронного двигателя и частотного преобразователя мощностью 45 кВт (рис. 4.). Управление подруливающим устройством (ПУ) осуществляется непосредственно от частотного преобразователя (ЧП) или от пульта дистанционного управления (ПДУ). Ручка управления на дистанционном

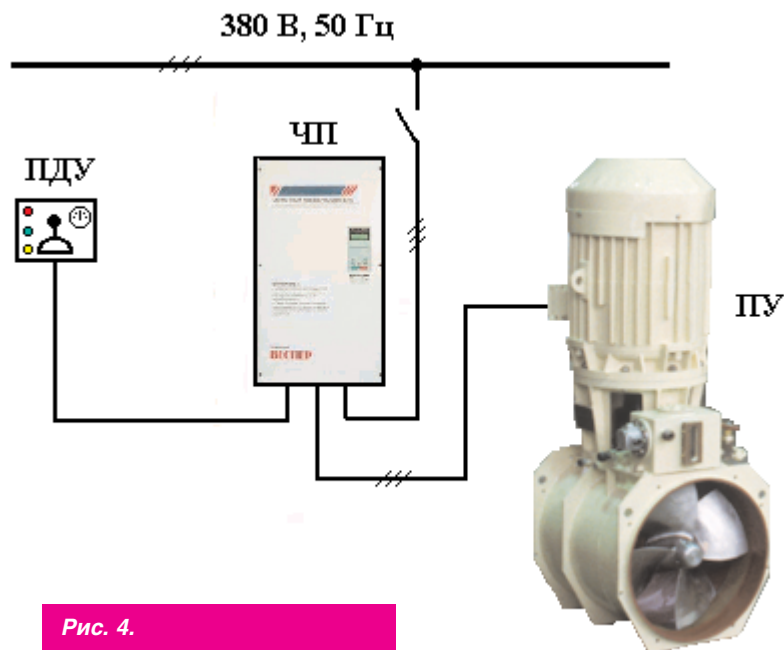


Рис. 4.

пульту выполнена в виде джойстика. На пульте индицируются направление вращения и скорость вращения винта, а также информация о наиболее важных параметрах работы подруливающего устройства.

Как показал почти двухлетний опыт эксплуатации, преобразователь частоты в составе частотно-регулируемого электропривода ПУ позволяет плавно регулировать скорость вращения и тягу винта от нуля до максимального значения, обеспечивая реверс, плавный пуск и останов электропривода винта. Плавное регулирование тяги винта и реверс дают возможность судоводителю управлять операциями по маневрированию судна быстрее и точнее. Кроме того, при плавном регулировании скорости вращения винта пропорционально скорости снижается потребление электроэнергии от судовой электросети. Плавный пуск и останов электропривода устраняют пиковые нагрузки на судовую электросеть и просадки напряжения в ней, а также ударные нагрузки на механическую часть подруливающего устройства.

Электрическая дистанционная система управления на основе частотно-регулируемого привода проще, надежнее и требует меньших ухода и затрат в эксплуатации нежели гидравлическая система в традиционных подруливающих устройствах.

Всего за год с небольшим на суда различного класса было поставлено несколько десятков частотных преобразователей морского исполнения для подруливающих устройств такого типа. Единичная мощность частотных преобразователей в них составляет от 22 кВт до 315 кВт.

Суммируя результаты практической эксплуатации, следует подчеркнуть, что применение подруливающих устройств с винтом фиксированного шага и частотно-регулируемым электроприводом обеспечивает:

- улучшение маневренности судна при швартовке, тралении, буксировке, проходе узкостей и т.п.;
- уменьшение времени разгрузки, погрузки, снижение количества столкновений и навалов судна;



- повышение точности динамического позиционирования при меньших энергетических затратах;
- повышение безопасности мореплавания.

Особую группу судовых электроприводов для оснащения частотными преобразователями образуют механизмы, осуществляющие транспортировку жидкостей и газов. Это питательные, топливные, грузовые, конденсатные и другие насосы, а также вентиляторы, воздуходувки, компрессоры. В них наиболее ярко проявляются возможности и преимущества частотного регулирования скорости вращения приводных электродвигателей.

Рассмотрим коротко две типовые задачи, связанные с судовыми насосами и компрессорами (вентиляторами).

Управление приводом насосов

При пуске асинхронных двигателей грузовых нефтеперекачивающих насосов возникают проблемы с качеством электроэнергии. Провал напряжения в судовой электросети во время пуска превышает в отдельных случаях нормы Морского Регистра в два раза. Причина кроется в том, что потребляемая мощность насосов соизмерима с мощностью судовой электростанции.

Используемые в настоящее время методы не решают полностью проблему пуска мощных судовых приводов.

При регулировании производительности насосов используются многоскоростные асинхронные двигатели, которые позволяют лишь ступенчато изменять частоту вращения.

Частотный преобразователь в данной ситуации является лучшей альтернативой (рис. 5.). Он запускает двигатель с потребляемым током, не превышающим номинального значения; обеспечивает плавное регулирование частоты вращения практически от нуля до номинального значения и выше. Использование встроенного в преобразователе

ПИД-регулятора позволяет с высокой точностью поддерживать требуемые значения расхода или напора жидкости на выходе насоса.

Управление приводом компрессоров судовых холодильных установок.

Потребная производительность компрессора существенно зависит от режима работы морозильной установки. Для обеспечения замораживания пиковых выловов рыбы необходимо увеличение холодопроизводительности установок, при замораживании рыбопродукции с расчетными параметрами требуется номинальная производительность, а в реальных условиях промысла порой требуется и пониженная производительность.

Обеспечить потребную производительность возможно путем изменения частоты вращения приводного асинхронного электродвигателя с помощью частотного преобразователя.

Схема управления приводом компрессора имеет вид аналогичный схеме привода насосов (рис. 5.).

При регулировании компрессора обеспечивается также плавный пуск двигателя и устранение пиковых нагрузок на судовую электросеть.

Как показывает практика, оснащение частотными преобразователями электроприводов насосов и компрессоров (вентиляторов) обеспечивает:

- уменьшение потребления электроэнергии за счет оптимального управления электродвигателем в зависимости от производительности;
- плавный пуск электродвигателя с током, не превышающим номинального значения, и как следствие, устранение пиковых нагрузок на электросеть и просадок напряжения в ней;
- увеличение срока службы электропривода и технологического оборудования за счет

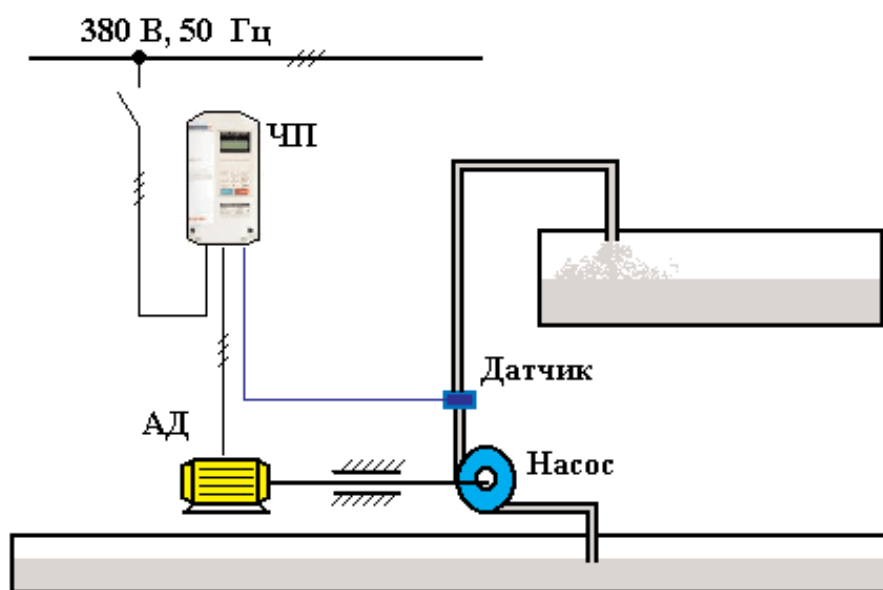


Рис. 5.

исключения ударных токов и механических ударных нагрузок;

- повышение надежности, упрощение технического обслуживания, снижение эксплуатационных затрат.

Весьма перспективным представляется использование частотных преобразователей в электроприводах якорно-швартовых механизмов, лебедок различного назначения, судовых кранов и т.п.

Эти механизмы предъявляют, пожалуй, самые жесткие требования к электроприводу:

- поддержание максимального момента на валу практически при нулевой частоте вращения;
- управление частотой вращения в обоих направлениях (выборка/вытравливание, подъем/опускание);
- регулирование момента на валу с высокой точностью во всем рабочем диапазоне;
- пуск и торможение полностью нагруженного механизма.

Полностью удовлетворяют перечисленным требованиям преобразователи серии EI-M с векторным управлением. В настоящее время они успешно эксплуатируются на судах в подобных механизмах.

В качестве примера приведем схему частотно-регулируемого электропривода лебедок технологических комплексов специального судна (рис. 6.). Это один из сложных проектов, который наиболее полно характеризует возможности векторного управления. Асинхронный двигатель (АД) через редуктор вращает барабан лебедки. На барабан лебедки намотано специальное «кабель-шланговое» устройство. Общая длина «кабель-шланга» составляет до 6 тыс. метров и вес — до 12 — 15 тонн. В процессе работы «кабель-шланг» медленно разматывается с идущего судна и волочится по

дну. По окончании работы «кабель-шланг» наматывается на барабан лебедки.

Система управления включает частотный преобразователь (ЧП) и пульт дистанционного управления (ПДУ). ПДУ позволяет управлять лебедкой непосредственно с палубы, обеспечивая визуальный контроль над обстановкой.

Частотный преобразователь обеспечивает плавный старт барабана лебедки, максимальный момент на валу в начале размотки и начале намотки «кабель-шланга». При выборке и вытравливании кабель-шланга преобразователь с требуемой точностью управляет скоростью вращения барабана.

Оборудование надежно функционирует в морских условиях и полностью отвечает требованиям заказчика.

О компании

«Вечер автоматика» одна из немногих российских компаний — производителей силовой преобразовательной техники, которая успешно работает на рынке с 1992 года.

Сегодня компания предлагает потребителям следующее, серийно выпускаемое оборудование:

- частотные преобразователи и устройства плавного пуска для асинхронных и синхронных двигателей
- станции автоматического управления электроприводом
- технологические датчики и исполнительные устройства

С использованием продукции компании «Вечер» решены тысячи технологических задач во всех отраслях промышленности. На сотнях объектов промышленности специалистами компании выполнен полный цикл работ от проектирования оборудования до его запуска. На десятках предприятий произведена автоматизация крупных технологических процессов «под ключ».

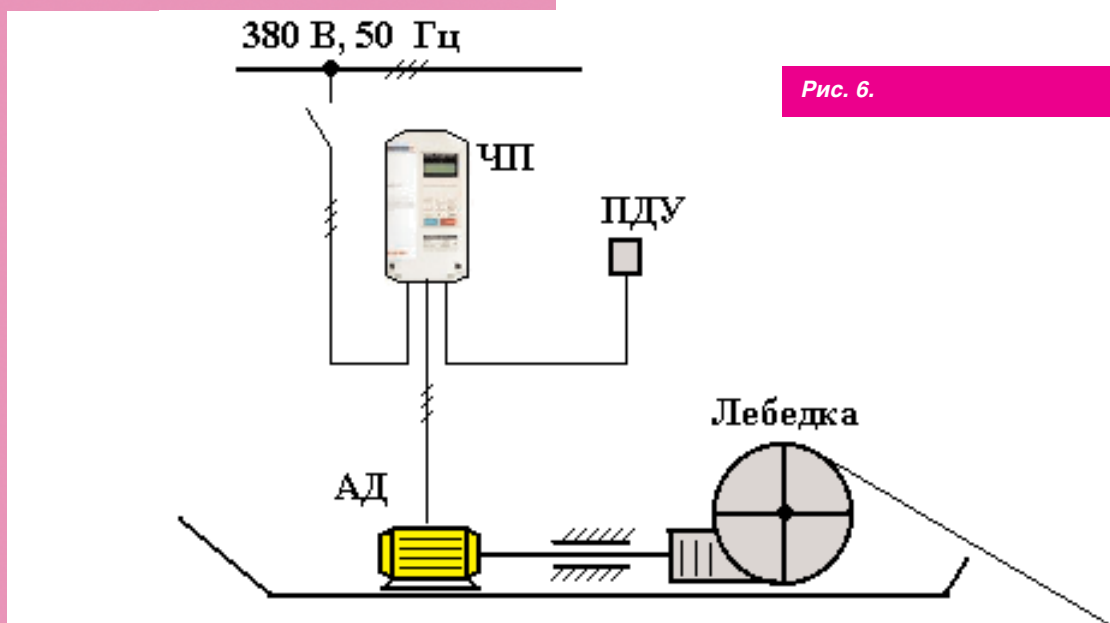


Рис. 6.