

ЧАСТОТНОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ СУДОВОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Богданов Владислав Дмитриевич

магистрант, Санкт-Петербургский Государственный Университет Аэрокосмического приборостроения, РФ, г. Санкт-Петербург

Комендантов Андрей Юрьевич

магистрант, Санкт-Петербургский Государственный Университет Аэрокосмического приборостроения, РФ, г. Санкт-Петербург

Бурдин Роман Александрович

магистрант, Санкт-Петербургский Государственный Университет Аэрокосмического приборостроения, РФ, г. Санкт-Петербург

Давудян Артур Унанович

магистрант, Санкт-Петербургский Государственный Университет Аэрокосмического приборостроения, РФ, г. Санкт-Петербург

Судостроение – очень сложная и наукоёмкая отрасль современной промышленности, в нее вовлечено невероятно большое количество предприятий, производящих части корпусов, силовые установки, навигационные системы и множество других компонентов.

Совершенствование электротехнических частей, находящихся на кораблях, судах и других плавучих сооружениях – одно из важнейших направлений современного судостроения.

Обычно, используемые на судне двигатели не имеют систем управления и напрямую подключаются к сети. Прямой пуск приводит к просадкам напряжения, появляется необходимость в дополнительных генераторах для запуска. Такой способ значительно сокращает рабочий ресурс электродвигателей. Именно поэтому проектирование чаще всего производится с расчётом на максимальную нагрузку, что приводит к избыточному потреблению электроэнергии.

Безотказная работа каждого из узлов системы управления, а также эффективная эксплуатация судна особенно важны в морских условиях. Именно этим критериям отвечает технология частотно – регулируемого управления электропривода.

Частотный преобразователь

Частотный преобразователь (ЧП) – это устройство, которое объединяет в себе выпрямитель и инвертор. Выпрямитель преобразует переменный ток сети в постоянный, а инвертор – преобразует постоянный ток в переменный с частотой, отличной от частоты питающей сети. Схема ЧП представлена на Рисунке 1.

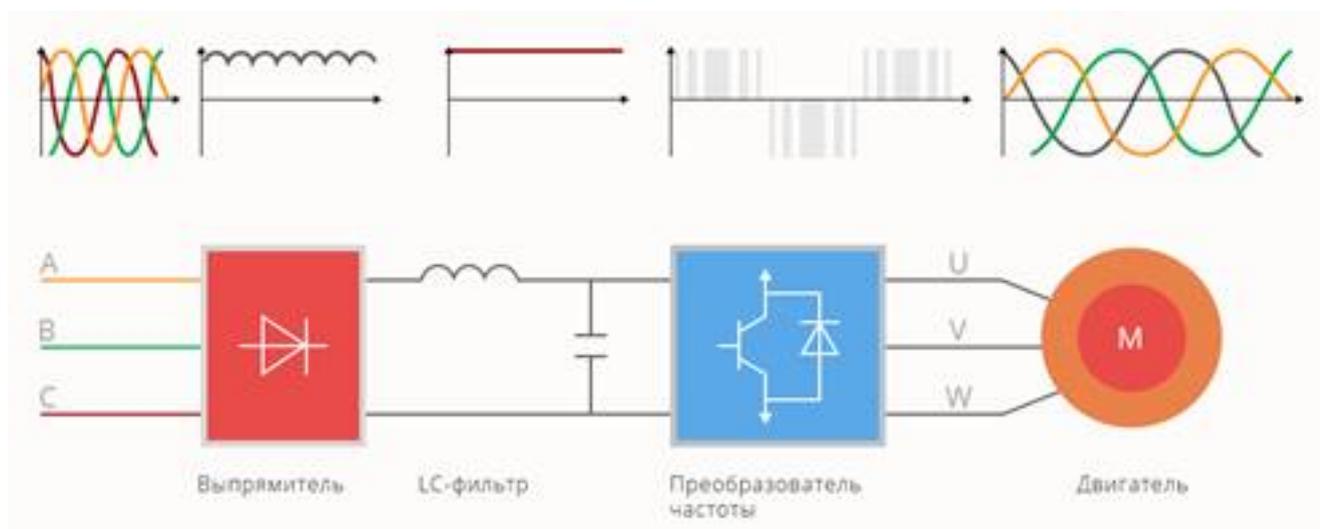


Рисунок 1. Схема частотного преобразователя

Выходные запираемые тиристоры GTO (gate turn-off) или транзистора IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor), открываясь и запираясь, за счёт электронного управления, формируют необходимую частоту напряжения. Возможность менять частоту напряжения питающей сети позволяет непрерывно изменять подаваемую в нагрузку мощность. Таким образом, частотное управление электроприводом позволяет плавно регулировать скорость вращения двигателя, тем самым подстраивая работу электродвигателя под необходимую в данный момент нагрузку. Данный способ управления существенно сокращает энергопотребление и увеличивает срок службы оборудования.

Скалярное управление основано по линейному закону - частота и амплитуда зависят пропорционально друг от друга. Изменение частоты влечет изменение амплитуды питающего напряжения тем самым изменяя уровень крутящего момента, к.п.д. и коэффициента мощности электродвигателя.

Скалярное управление поддерживает на одном уровне отношение макс. момента электродвигателя к моменту нагрузки на выходном валу. Если изменить частоту - изменяется амплитуда напряжения, но отношение макс. момента электродвигателя к моменту нагрузки на валу двигателя не изменится. Отношение макс. момента к моменту нагрузки называется перегрузочная способность двигателя. При постоянном отношении перегрузочной способности номинальные коэффициент к.п.д и мощности электродвигателя на всех частотах вращения фактически не изменяются.

Максимальный момент, электродвигателя можно найти по следующей формуле:

$$M_{\text{макс}} = k \times (U^2 / f^2)$$

где: k - постоянный коэффициент.

Исходя из вышеизложенного, зависимость питающего напряжения от выходной частоты определяется моментом нагрузки на валу электродвигателя.

Для поддержания равномерного момента нагрузки частотный преобразователь поддерживает постоянное отношение амплитуды напряжения к выходной частоты $U/f = \text{const}$, фактически обеспечивается постоянство максимального момента электродвигателя.

Векторное управление позволяет существенно удерживать постоянство момента во всей области регулирования частоты, повысить точность, увеличить реакцию электропривода на изменение выходной нагрузки. Векторное управление обеспечивает непосредственное

управление моментом вращения электродвигателя.

Момент вращения зависит от тока статора. Протекая в цепи ток создает возбуждающее магнитное поле. Векторное управление позволяет изменять фазу статорного тока, то есть вектор тока при непосредственном управлении моментом.

Для изменения вектора тока (положения магнитного потока статора относительно вращающегося ротора) нужно всегда точно знать положение ротора. Решить эту задачу можно с помощью внешнего датчика положения ротора (энкодера), либо рассчитав положение ротора путем математических вычислений.

Применения частотного преобразователя

Регулированием скорости можно добиться высокой точности позиционирования руля за счет построения точной аналоговой системы управления. Привод меняет скорость и направление движения насоса в системе с поворотным шиббером и реверсивными гидравлическими насосами.

Частотно-регулируемое управление подруливающими двигателями поддерживает высокий крутящий момент, быструю и точную работу и маневренность в любых условиях на море. Гребной винт с фиксированным шагом, управляемые преобразователями частоты, имеют эффективность работы на 20-30% больше по сравнению с гребным винтом с фиксированной скоростью и переменным шагом. Функция предварительного подогрева обмоток постоянным током преобразователей частоты дает возможность избежать применения дополнительных нагревателей для борьбы с конденсатом.

На морском судне всегда присутствует большое количество насосов различного назначения: насосы воды балласта, насосы трюмной воды, циркуляционные насосы, насосы в системах пожаротушения, питательные и смазочные насосы, насосы морской воды. Частотно-регулируемое управление насосами в соответствии с фактической потребностью приводит к существенной экономии электроэнергии.

Гармонические искажения

Следует учитывать, что преобразователи частоты помимо упомянутых преимуществ имеют и некоторые недостатки. Они генерируют паразитные гармонические искажения в бортовую сеть судна. Если не контролировать этот процесс, гармоники могут негативно повлиять на рабочие и функциональные характеристики генераторов и другого оборудования.

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 отличаются от тиристоров полной управляемостью, простая неэнергоёмкая система управления, высокая рабочая частота. Благодаря этому преобразователи частоты на IGBT позволяют расширить диапазон управления скорости вращения двигателя. Схема IGBT транзистора представлена на Рисунке 2.

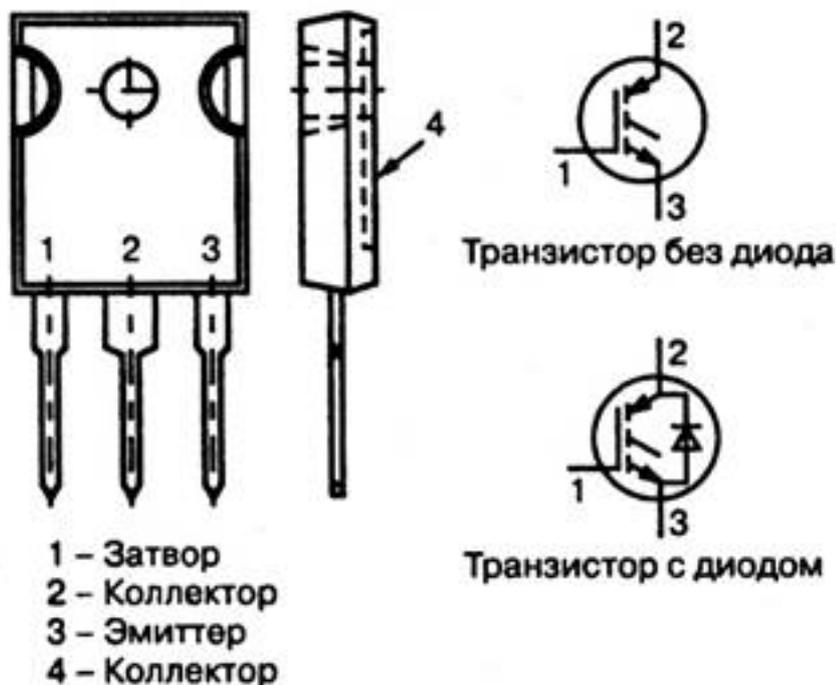


Рисунок 2. Схема IGBT транзистора

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 "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 надежностью, что весьма важно для судового оборудования. Они позволяют реализовать более полную защиту от бросков тока и от перенапряжения, что существенно снижает вероятность отказов и повреждений электропривода.

Перспективы внедрения

Практика однозначно говорит о целесообразности применения преобразователей частоты в различных инженерных системах судов. Экономится электроэнергия, а значит и топливо, необходимое для ее производства. Приводы повышают надежность и производительность оборудования, уменьшают его износ, увеличивают срок службы.

Внедрение преобразователей частоты возможно не только при строительстве новых судов, но и в рамках их модернизации. Применение ЧП позволяет судовладельцам экономить на эксплуатации судна и снижать сроки окупаемости. Для судостроителей использование частотно-регулирующих приводов делает их продукцию более конкурентоспособной и востребованной на мировом рынке.

Список литературы:

1. «Проектирование электрических машин». И.П. Копылов, Б.К. Клоков, В.П. Морозкин, Б.Ф.

Токарев – 2005;

2. Статья «Частотно-регулируемый электропривод» (электронный ресурс: <https://www.vesper.ru/presscenter/articles/chastotno-reguliruemyy-elektroprivod>), дата обращения: 03.02.2020;

3. Статья «Эффективное управление судовым электроприводом» (Электронный ресурс: <https://elkommax.ru/articles/upravlenie-sudovym-elektroprivodom.html>), дата обращения: 04.02.2020;

4. Статья «Частотно-регулируемое управление двигателями на морских судах» (Электронный ресурс: <https://drives.ru/po-otraslyam/sudostroenie/>), дата обращения: 04.02.2020;

5. Силовая электроника. Ч. II: Инверторы и преобразователи частоты: учеб. пособие / А. А. Мартынов. – СПб.: ГУАП, 2012. – 144 с.: ил.

6. Частотный преобразователь принцип действия: (Электронный ресурс: <http://www.artesk.ru/main-about-invertor.html>), дата обращения: 05.02.2020;

7. Область применения частотного регулирования: (Электронный ресурс: <https://cyberleninka.ru/article/n/oblasti-primeneniya-sposoba-dinamicheskogo-tormozheniya-v-chastotno-reguliruemyh-elektroprivodah-sudovyh-mehanizmov>), дата обращения: 05.02.2020;