

УДК 621.345.1

А.В. Аристов

Преобразователь с широтно-импульсной модуляцией для активной компенсации продольных колебаний

Рассмотрен вопрос применения транзисторного преобразователя с широтно-импульсной модуляцией в системе активного компенсатора продольных колебаний, выполненного на базе линейной машины двойного питания с амплитудно-фазовым токовым управлением. Представлены функциональные схемы компенсатора и преобразователя, а также результаты испытаний макетного образца.

Ключевые слова: преобразователь, широтно-импульсная модуляция, компенсатор продольных колебаний, передаточная подвижность системы.

Естественное стремление к увеличению мощности двигательных установок и скорости хода судов привело к повышению интенсивности продольных колебаний и увеличению вероятности возникновения резонансов в рабочем диапазоне чисел оборотов гребного вала. Во время работы амплитуда продольных колебаний валопроводов может достигать такого критического уровня, что вызывает повреждение главных упорных подшипников, элементов корпуса, редукторов, а главное – способствует значительной вибро-акустической активности корпуса судна. Указанные причины вызывают необходимость применения специальных виброзащитных систем, которые могут быть конструктивно реализованы на основе пассивных элементов (масс, пружин, демпферов) или активных систем, имеющих собственные источники энергии.

В пассивных виброизолирующих системах усилия, обеспечивающие стабилизацию упруго-закрепленных объектов, формируются как естественный отклик специально вводимых в систему пассивных элементов (масс, жесткостей) на определенный тип возмущения. Основным достоинством таких устройств является возможность обеспечения дополнительного виброизолирующего эффекта без применения сложных и дорогостоящих систем управления [1]. Однако ограниченность таких виброизолирующих систем по типу обрабатываемых возмущений и их относительно невысокая эффективность во многих случаях не позволяют обеспечить высокую степень виброизоляции и выполнить жесткие требования к перемещениям валопроводов.

Решение проблемы снижения продольных резонансных колебаний валопроводов целесообразно искать путем создания специальных устройств – активных виброзащитных систем (АВС), представляющих собой системы автоматического управления вибраций объекта. Применение безредукторных колебательных электроприводов на основе преобразователей с широтно-импульсной модуляцией, с этой целью, открывает совершенно новые перспективы в области борьбы с продольными колебаниями валопроводов [2].

В зависимости от способа и использования колебательного электропривода АВС на его основе может быть отнесена к трем различным группам: к активным виброкомпенсаторам, где управляющие силы приложены непосредственно к изолируемому объекту наряду с вынуждающими силами с целью их компенсации; виброзащитным системам с переменными параметрами, которые воздействуют на параметры системы (массу, жесткость демпфирование), меняя их величину, например, за счет электромеханических обратных связей по ускорению, скорости и перемещению, и тем самым вносят как положительные, так и отрицательные фиктивные массу, жесткость или демпфирование, и, наконец, к виброзащитным системам с переменной структурой, где изменяются не только параметры, но также ход и порядок включения различных звеньев.

Функциональная схема активного компенсатора пульсирующих усилий первой группы на базе электропривода колебательного движения с линейной машиной двойного питания и преобразователем с ШИМ представлена на рис. 1.

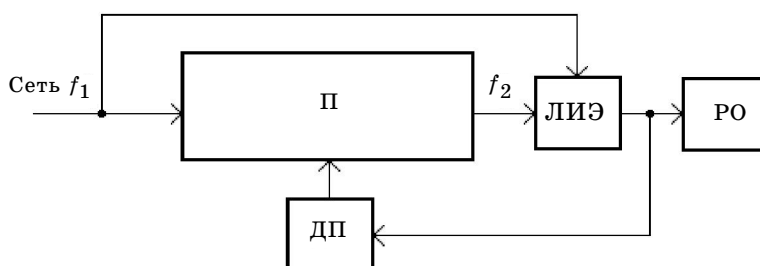


Рис. 1. Функциональная схема активного компенсатора продольных колебаний

Она включает в себя: преобразователь П; линейный исполнительный элемент ЛИЭ; рабочий орган РО; широкополосный датчик положения ДП.

Синтез колебательной системы целесообразно выполнять на основе частотных методов с применением математической линеаризации уравнений двигателя. В качестве координаты центра разложения выбирается точка совпадения центра вторичного элемента линейного двигателя с центром его индуктора. Система управления приводом строится по схеме амплитудно-фазового токового управления с контуром регулирования частоты колебания и усиления, настроенного на полигармонический состав возмущающих периодических воздействий.

Колебательный режим работы с учетом полигармоничности составляющих продольных колебаний создается за счет питания статорных $s1$, $s2$ и роторных $r1$, $r2$ обмоток линейного двигателя токами вида

$$I_{s1,r1}(t) = I_{m1,2} \sin(2\pi f_1 t + \alpha);$$

$$I_{s2,r2}(t) = I_{m1,2} \cos(2\pi f_1 t + \alpha) \cdot \sin(2\pi(f_1 - f_2)t + \beta) + \sum_{k=1}^{\infty} I_{mk,oc} \sin k(2\pi(f_1 - f_2)t + \beta_k),$$

где $I_{m1,2}$ – амплитудные значения первых гармонических составляющих токов обмоток линейного двигателя; α , β – начальные фазы питающих токов; f_1 – частота питающей сети; $(f_1 - f_2) = \omega/2\pi$ – частота колебаний первой гармонической составляющей; $I_{mk,oc}$ – амплитудное значение гармонических составляющих цепи обратной связи от продольных колебаний валопровода.

Первая составляющая тока $I_{s2,r2}$, взаимодействуя с током $I_{s1,r1}$, создает в воздушном зазоре ЛИЭ компенсирующее колебательное электромагнитное поле первой гармоники основной частоты, а вторая – гармонические составляющие разностных и суммарных частот. На низких частотах, когда вибрационные процессы имеют практически гармонический характер, скорость вибрации в точке разложения будет определяться как

$$V(\omega) = \sum_{k=1}^m \sum_{j=1}^G M_j^k(\omega) \cdot F_j^k(\omega),$$

где m – число точек, к которым приложена сила $F(\omega)$, вызывающая на частоте ω продольные колебания валопровода; $M(\omega)$ – передаточная подвижность индуктора относительно точки разложения.

Из соотношения видно, что отдельные передаточные подвижности не характеризуют вибрационные свойства объекта. Эти свойства определяются суммой передаточных подвижностей. Поэтому для более полного подавления колебаний валопровода система управления должна обеспечивать работу ЛИЭ в широком частотном диапазоне, а сигнал обратной связи, поступающий с датчика положения, – учитывать фактическую нелинейность электрической машины.

Функциональная схема преобразователя представлена на рис. 2. Она реализует принцип импульсной модуляции выходных параметров, позволяющий получить высокие энергетические и технико-экономические показатели преобразовательных устройств [3].

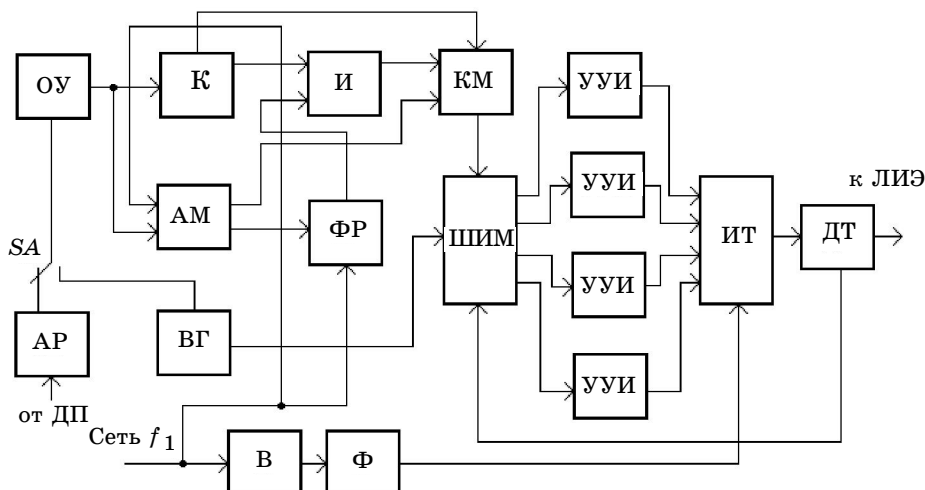


Рис. 2. Функциональная схема преобразователя с ШИМ

Особенность применения такого принципа заключается в том, что выходной сигнал воспроизводит не только входной, но и обеспечивает требуемое качество, с учетом гармонического состава формируемого тока. Система управления преобразователем включает в себя: усилитель-ограничитель ОУ; амплитудный регулятор АР; внутренний генератор ВГ; компаратор К; амплитудный модулятор АМ; коммутатор КМ; фазовый регулятор ФР; широтно-импульсный модулятор ШИМ; усилитель управляющих импульсов УУИ; инвертор ИТ; датчик тока ДТ; выпрямитель В; фильтр Ф и инвертор тока ИТ.

Сигнал обратной связи с датчика положения ДП поступает на амплитудный регулятор, состоящий из усилителя инфранизкой частоты с регулируемым коэффициентом усиления и аттенюатора, предназначенного для согласования по уровню сигнала обратной связи с рабочим напряжением АМ. Модулируемое по амплитуде сигналом обратной связи напряжение частоты питающей сети, поступающее с выхода ФР, инвертируется в инверторе И и подается на второй вход коммутатора КМ, на первый вход которого поступает сигнал непосредственно с выхода АМ. Коммутатор работает по схеме «ИЛИ» и управляется напряжением логической единицы, формируемой компаратором К в момент перехода сигнала обратной связи через нуль. Синусоидальный модулированный по фазе сигнал поступает на ШИМ, где сравнивается с прямым и обратным пилообразными напряжениями несущей частоты, вырабатываемой кварцевым генератором. ШИМ формирует последовательность импульсов, которые поступают на УУИ, управляющие силовыми ключами мостового инвертора тока. Для исключения аварийных режимов работы с датчика тока заводится сигнал обратной связи, пропорциональный потребляемому току инвертора, блокирующий выходной каскад ШИМ. Кроме того, в системе управления введена защита входного каскада от перенапряжения, которое может возникнуть во время работы ЛИЭ при обесточивании одной или обеих его обмоток. Возросшая при этом амплитуда колебаний бегуна двигателя, а следовательно, и амплитуда сигнала обратной связи ограничиваются на выходе УО до уровня допустимого максимального напряжения для модулирующего входа АМ.

В соответствии с представленной функциональной схемой (см. рис. 1) был разработан макетный образец активного компенсатора продольных колебаний валопровода на усилие 2000 Н в диапазоне частот колебаний вала $2,5 \div 14$ Гц и амплитуд $0,005 \div 0,01$ м при массе подвижного элемента компенсатора – 200 кг.

В качестве силовых ключей в инверторе тока использованы биполярные транзисторы с изолированным затвором IGBT фирмы International Rectifier (IR) типа GA100TS120U. Данный класс приборов силовой электроники позволяет коммутировать токи до сотен ампер, что является необходимым условием работы компенсатора. Преобразование сигналов логического уровня в сигналы управления IGBT, а также их оптическая развязка осуществлялись специализированными микросхемами – драйверами, имеющими встроенный контроль напряжения управления и степени насыщения транзисторов. В качестве широтно-импульсного модулятора применен ШИМ контроллер серии SG2524N.

Электромеханическая часть компенсатора выполнена на базе линейной машины двойного питания обращенного типа, что позволило существенно повысить электромагнитное усилие при относительно небольшой длине индуктора. Конструктивно листы магнитопровода ЛИЭ выполнены из электротехнической стали и снабжены в радиальном направлении прорезями для уменьшения вихревых токов и укладки соединительных проводов обмоток. Первичный и вторичный элементы ЛИЭ фиксированы относительно друг друга таким образом, что прорези в листах ориентированы по образующей и направлены к основанию индуктора. При этом образуется осевое электромагнитное усилие, которое частично компенсирует вес вторичного элемента, разгружая центрирующие подшипники.

На рис. 3 представлены осциллограммы, иллюстрирующие работу макетного образца компенсатора продольных колебаний при испытаниях на полигармоническое воздействие. На нем обозначено: 1 – выходной ток преобразователя; 2, 3 – скорость и закон движения подвижного элемента ЛИЭ.

Результаты испытаний показали, что на низких частотах закон движения подвижного элемента двигателя повторяет управляющее воздействие в то же время, как в области высоких частот, он, а следовательно, и механическая подвижность компенсатора, имеют случайный характер. Поэтому при разработке преобразователя для ЛИЭ следует ориентироваться не на передаточную подвижность системы, а использовать понятие механической

подвижности в полосе частот $\Delta\omega$ и рассчитывать силовую часть преобразователя через механический импеданс в полосе частот $\Delta\omega$.

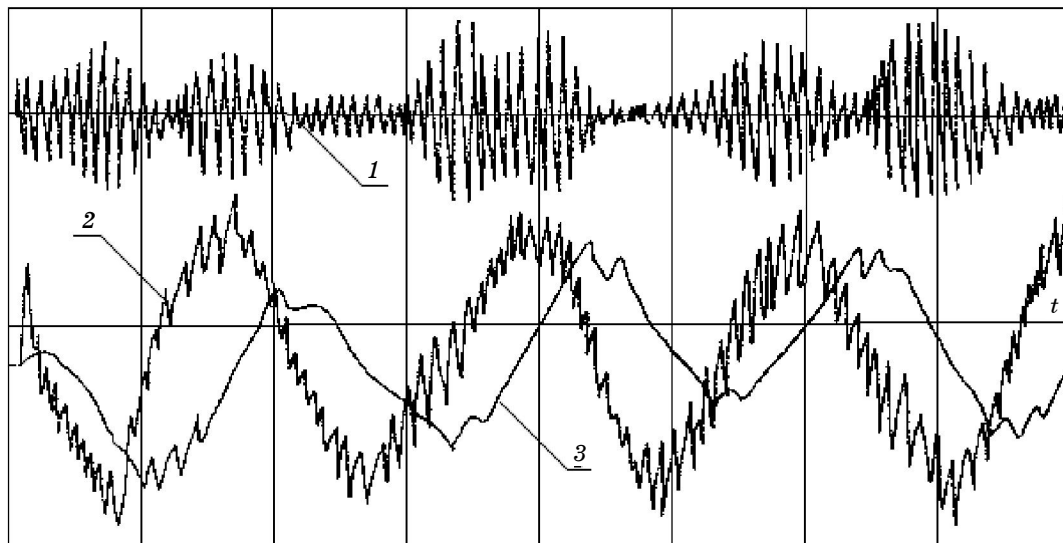


Рис. 3. Временные диаграммы компенсатора продольных колебаний

Таким образом, испытания макетного образца компенсатора показали, что применение преобразователя с ШИМ в составе активного компенсатора продольных колебаний валопроводов автономных объектов позволяет формировать требуемое компенсирующее воздействие, благодаря чему существенно снижается вибрационная активность и повышается надежность системы в целом.

Литература

1. Генкин М.Д. Методы управляемой виброзащиты машин. – М.: Наука, 1985. – 240 с.
2. Луковников В.И. Электропривод колебательного движения. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 152 с.
3. Кобзев А.В. Модуляционные источники питания РЭА / А.В. Кобзев, Г.Я. Михальченко, Н.М. Музыченко. – Томск: Радио и связь, 1990. – 336 с.

Аристов Анатолий Владимирович

Д-р техн. наук, проф. кафедры электропривода и электрооборудования
Томского политехнического университета
Тел.: 30-16-27
Эл. почта: avv@ido.tpu.ru

A.V. Aristov

Pulse-width modulation converter for active compensation of longitudinal oscillations

The use of a pulse-width modulation transistor converter in active system for longitudinal oscillations compensation is considered. The compensator is based on double-way feed linear machine with amplitude-phase current control. Functional diagrams of the compensator and converter, and also results of a prototype tests are presented.

Key words: converter, pulse-length modulation, longitudinal compensator, transmission system mobility.