

УДК 621.313.333

РЕЗОНАНСНЫЙ ВИБРАЦИОННЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД МАШИН И УСТАНОВОК С АВТОМАТИЧЕСКИМ УПРАВЛЕНИЕМ

© 2009 В.Н. Дмитриев, А.А. Горбунов

Ульяновский государственный технический университет

Поступила в редакцию 10.03.2009

Предложена система автоматического управления вибрационным электроприводом, позволяющая при заранее неизвестной частоте собственных колебаний системы определять резонансный режим и поддерживать стабильную работу электропривода на этой частоте.

Ключевые слова: электропривод, машины, установки, состояние, резонансный режим, автоматическое управление

В большинстве мощных низкочастотных вибрационных машин установок в качестве вибровозбудителя используется частотно-управляемый асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором, имеющий на своем валу дебаланс – асинхронный дебалансный вибродвигатель (АДВД) [1]. При работе вибрационных машин в резонансном режиме, когда частота возмущающей силы совпадает с частотой собственных колебаний вибросистемы, обеспечиваются наибольшие амплитуды при наименьшем статическом моменте дебалансов. В резонансных вибромашинах вследствие полного уравнивания сил инерции удается разгрузить привод от действия динамических давлений, что позволяет уменьшить его размеры, повысить долговечность и снизить затраты энергии на преодоление сопротивлений вращению. Для выполнения требуемого технологического процесса требуются небольшие возмущающие силы даже при весьма значительных размерах рабочего органа машины [2, 3].

Однако резонансные системы имеют и недостатки, главным из которых является неустойчивость рабочего режима при изменении загрузки вибромашины, а также собственной или вынуждающей частоты колебаний. Эта неустойчивость часто является причиной нарушения технологического процесса, что препятствует широкому внедрению высокоэффективных резонансных вибромашин.

Решение данной проблемы связано с разработкой специальной системы автоматического управления резонансным вибрационным электроприводом (САУ АДВД), которая должна обеспечить как оптимальные статику и динамику привода, так и поиск и стабильное поддержа-

Дмитриев Владимир Николаевич, доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой.

E-mail: eapu@ulstu.ru.

Горбунов Алексей Александрович, старший преподаватель. E-mail: eapu@ulstu.ru.

ние резонансного режима, а также обеспечить постоянство амплитуды колебаний рабочего органа. Вопросы синтеза подобных систем, несмотря на свою актуальность, сегодня недостаточно полно отражены в литературе.

Данная статья посвящена разработке САУ АДВД, выполняющей поиск резонансного режима и его поддержание без участия оператора. Причем резонансная точка заранее неизвестна, и системе приходится «анализировать» весь диапазон рабочих частот привода.

Общий вид виброустановки представлен на рис. 1. Здесь два одинаковых АДВД расположены на виброплатформе массой m , их валы вращаются в противоположные стороны, из-за чего платформа совершает направленные колебания. Эквивалентные коэффициент жесткости пружин и коэффициент сопротивления обозначены как k_y и b_y соответственно. На платформе установлен датчик вибрации (ДВ), формирующий синусоидальное напряжение, соответствующее вибросмещению платформы.

На дебалансе одного из АДВД на линии, соединяющей центр вращения с центром масс, установлен светодиод И1, а на внутренней стороне

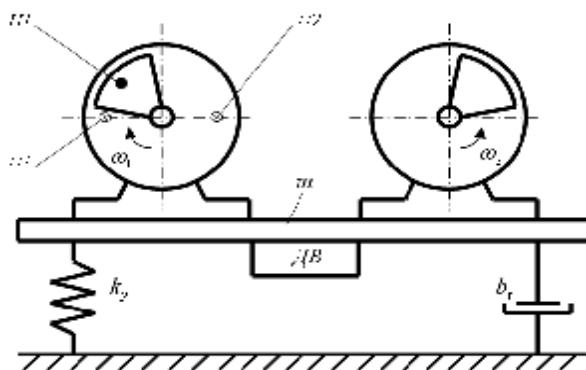


Рис. 1. Вибрационная система направленных колебаний

корпуса АДВД на горизонтальной осевой линии симметрично оси вращения установлены фотодиоды П1 и П2 так, что при вращении дебаланса И1 каждый раз становится строго напротив П1 или П2, образуя оптопару. Для дальнейшего пояснения работы системы оптопары обозначаются как датчик скорости (ДС).

Принцип работы САУ основан на том, что при резонансе синусоида возмущающей силы по фазе на 90° опережает синусоиду вибросмещения, то есть, зная сдвиг фаз силы и вибросмещения, можно определить режим работы виброустановки: дорезонансный, резонансный или зарезонансный. В соответствии с этим система измеряет сдвиг фаз и формирует управляющий импульс, поступающий на задатчик интенсивности (ЗИ), который, в свою очередь, позволяет разгонять, тормозить и поддерживать постоянной скорость привода.

Функциональная схема САУ АДВД представлена на рис. 2. Силовая часть преобразователя частоты (ПЧ) управляется микроконтроллером (МК), причем современные преобразователи частоты могут иметь встроенный регулятор тока (РТ). Сигналы с датчика скорости и датчика вибрации поступают на управляющее устройство (УУ), там анализируются, и после этого управляющее устройство выдает импульс на задатчик интенсивности. Дальнейшая работа схе-

мы очевидна. Следует отметить, что в данной схеме отсутствует регулятор скорости в отдельном исполнении, хотя его роль выполняется управляющим устройством в совокупности с задатчиком интенсивности. Поэтому предлагаемую схему можно считать двухконтурной системой подчиненного регулирования. Управляющее устройство резонансной САУ АДВД, условно разделена на два блока: 1 – блок «А», осуществляющий пуск двигателя; 2 – блок «Б» – нахождение и поддержание резонансного режима.

Принципиальная схема блока «А» приведена на рис. 3. Данный блок работает следующим образом. В начальном состоянии все триггеры схемы сброшены. Однако триггер Т2 в этот момент может находиться в произвольном состоянии. Включение элементов схемы осуществляется нажатием кнопки «Пуск». При этом происходит установка триггера Т1 и сброс триггера Т2. Сброс Т2 необходим для того, чтобы исключить возможность начала функционирования блока «Б» пока происходит пуск двигателя. Установка Т1 приводит к срабатыванию оптопары VD4 и появлению на входе R счетчика СТ1 разрешающего импульса. То есть в схеме ЗИ открытым оказывается фотодиод VD4 и происходит подача на вход регулятора скорости линейно-растающего сигнала, а СТ1 начинает формировать на своем выходе двоичный код. Появление им-

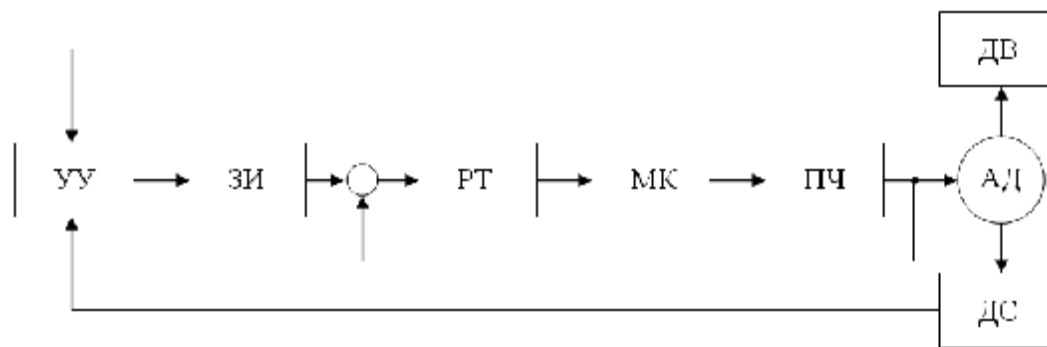


Рис. 2. Функциональная схема вибрационного электропривода

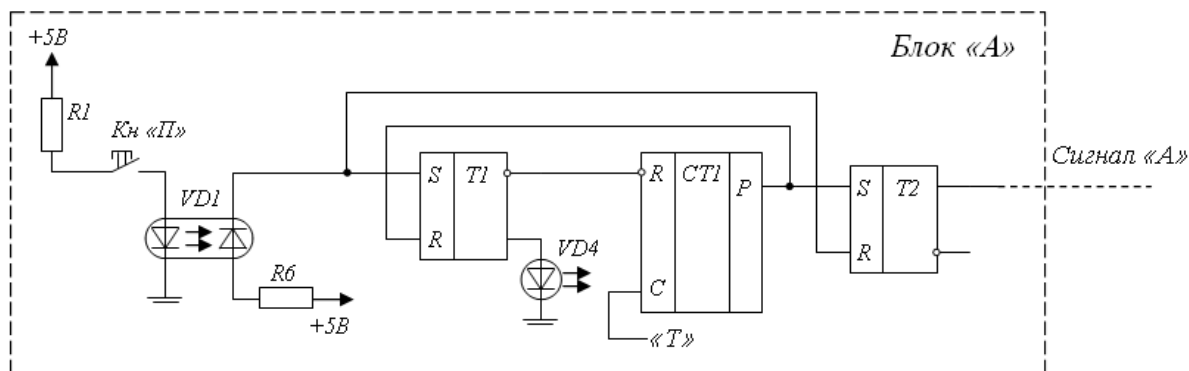


Рис. 3. Принципиальная схема блока «А»

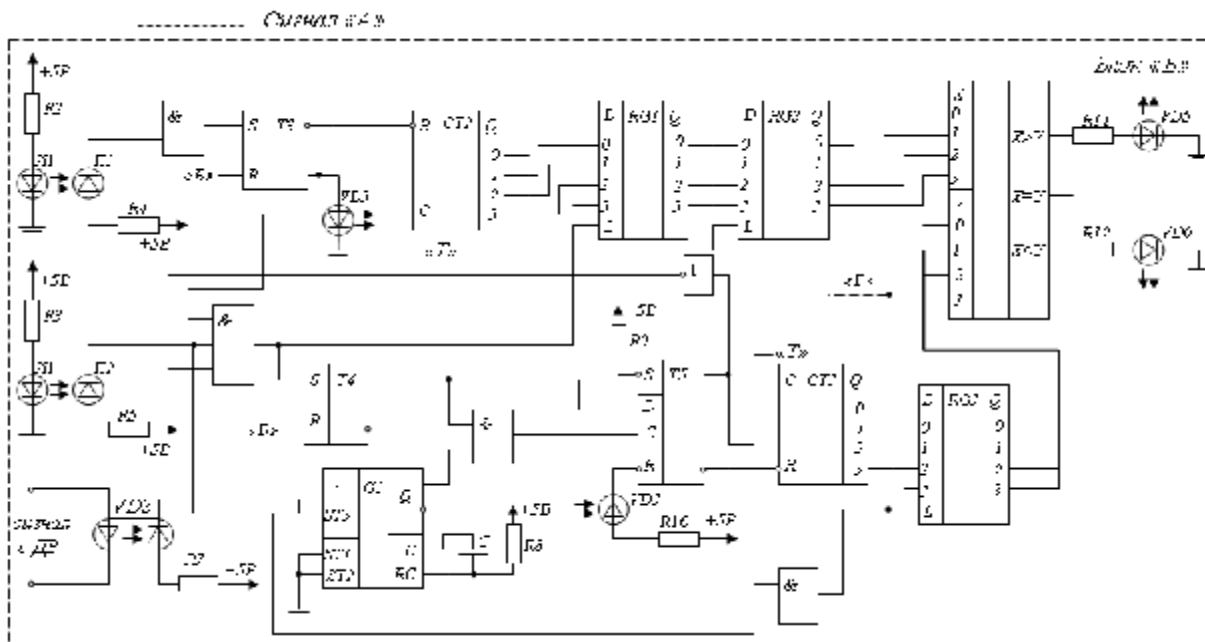


Рис. 4. Принципиальная схема блока «Б»

пульса переполнения PU на выходе СТ1 устанавливает триггер Т2 и сбрасывает Т1, что приводит к закрытию фотодиода VD4 и разрешению работы блока «Б». Закрытие фотодиода VD4 в данный момент обуславливает появление сигнала постоянного уровня на выходе задатчика интенсивности, и двигатель начинает вращаться с постоянной скоростью.

Разрядность СТ1 и частота тактовых импульсов определяются исходя из требований длительности пускового режима, то есть двигатель разгоняется до тех пор, пока идет счет в СТ1. Назначением блока «А» является обеспечение пуска двигателя с заданным темпом нарастания скорости.

В момент времени, когда И1 встанет строго напротив П1, кратковременный световой импульс (оптопара И1-П1) установит триггер Т3. В свою очередь Т3 в установленном состоянии разрешает работу счетчика СТ2 (при R=0 счетчик формирует выходной код, при R=1 он обнуляется). Все счетчики, используемые в схеме, работают в режиме суммирования. Выход СТ2 подсоединен ко входу регистра RG1. Установленный Т3 переводит триггер Т5 в режим работы D-триггера (за счет оптопары VD3) и подготавливает схему к приходу импульса П2. Итак, выполняется счет тактовых импульсов «Т» до тех пор, пока не придет импульс от П2, который записы-

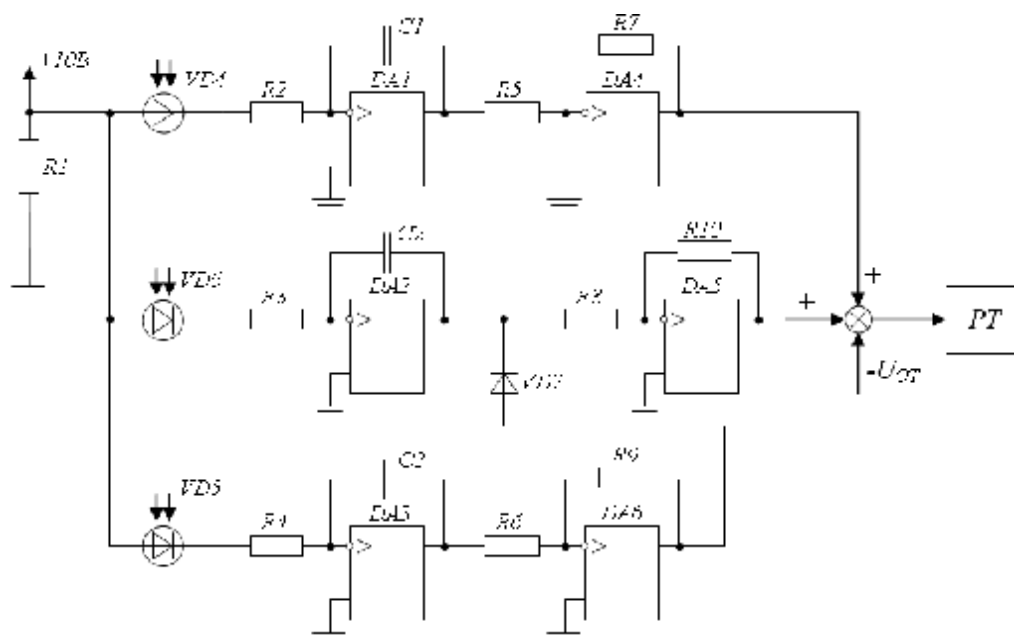


Рис. 5. Принципиальная схема задатчика интенсивности

вает в регистр RG1 двоичный код соответствующий 1/4 периода колебаний. Фактически СТ2 фиксирует полупериод колебаний, но, сдвинув разряды при подаче их в регистр, получим деление полупериода на два. Сигнал записи в регистр устанавливает триггер Т4, тем самым разрешая прохождение импульсов с одновибратора G1 на тактовый вход Т5. Одновибратор выдает короткие импульсы при подаче на его вход положительного фронта сигнала, то есть импульс на его выходе будет формироваться в момент, когда синусоида вибросмещения имеет нулевое значение при переходе из отрицательной области в положительную. Т5 работает в режиме D-триггера с возможностью сброса. С приходом тактового импульса Т5 устанавливается и обеспечивает работу СТ3, а также запрещает повторную запись кода в RG1. После этого система ожидает прихода импульса П2, при котором формируется сигнал "Б", записывающий код с СТ3 в регистр RG3, а код из RG1 " в RG2. В этот момент на компараторе сравниваются значения, записанные в RG2 и RG3, и, в зависимости от их соотношения, на выходе компаратора срабатывает одна из оптопар VD5 или VD6, что приводит к уменьшению или увеличению скорости привода. В случае равенства содержимого указанных регистров на выходе задатчика интенсивности формируется постоянный сигнал. С целью учета погрешностей на компаратор подаются старшие разряды (степень допуска учитывается в каждом конкретном случае). Сигнал "Б" сбрасывает Т3 и Т4, подготавливая схему к следующему циклу работы.

Для исследования динамики описанной системы на основе функциональной схемы САУ АДВД была создана математическая модель виброустановки, позволяющая учесть потери в магнитопроводе статора двигателя и его возможную электромагнитную несимметрию, переменные

параметры ротора, насыщение по пути основного магнитного потока, механические потери в подшипниках и вибрационную нагрузку.

Результаты моделирования пусковых процессов вибропривода представлены на рис. 6-7.

Полученные графики показывают достаточно неравномерный характер изменения скорости вращения вала АДВД. На рис. 6 пуск осуществляется в три этапа: разгон до резонансной точки, кратковременное вращение вала на этой скорости и выход на установившуюся скорость. Причем установлено, что на вид пусковых процессов основное влияние оказывают статический момент дебаланса и частота питающей сети [1, 4]. Увеличение статического момента дебаланса приводит к увеличению времени нахождения двигателя в резонансной зоне, а чрезмерное увеличение может привести к "застреванию" привода на этой частоте (Эффект Зоммерфельда), что может повлечь за собой выход двигателя из строя.

Результат математического моделирования на рис. 7 демонстрирует работоспособность созданной системы автоматического управления и соответствие ее поставленным целям. После завершения пускового режима система находит резонансную точку и поддерживает работу привода в этой точке. Разработанная резонансная САУ может быть успешно использована для широкого класса различных вибрационных машин.

Рассмотренная САУ АДВД позволяет выполнить поиск резонансного режима и его поддержание с достаточной степенью точности, интегрируется в типовой асинхронный электропривод, управляемый преобразователем частоты, и обладает простотой реализации. По предварительным расчетам применение данной САУ позволяет повысить производительность работ на 30 – 50 % по сравнению с разомкнутой системой настройки на резонанс. В свою очередь, задача поддержания на постоянном уровне или

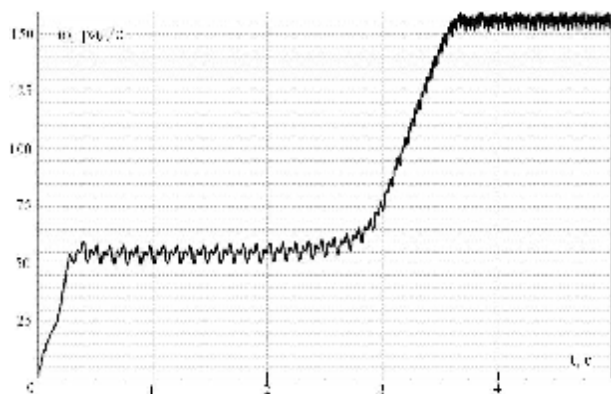


Рис. 6. График изменения частоты вращения АДВД в составе разомкнутой САУ при пуске в зарезонансную зону

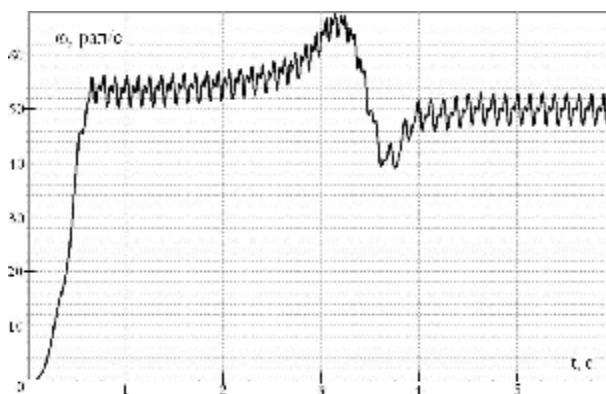


Рис. 7. График изменения частоты вращения АДВД в составе замкнутой САУ при пуске в резонансную зону

изменения по определенному закону амплитуды колебаний возлагается на регулируемые дебалансы, разработка которых также является актуальной задачей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Алимходжаев, К. Т.* Частно-управляемые вибродвигатели переменного тока : автореф. дис. ... док. техн. наук / *Алимходжаев Камалиддин Тиллаходжаевич.* Ташкент, 2004. – 38 с.
2. *Базаров, Н. Х.* Автоматика вибромашин / *Н. Х. Базаров.* – Ташкент: Узбекистан, 1976. – 118 с.
3. *Быховский, И. И.* Автоматизация резонансных вибромашин / *И.И. Быховский, С.И. Попов.* – М.: ЦНИИТЭстроймаш, 1972. – 47 с.
4. *Дмитриев, В.Н.* Исследование пусковых режимов асинхронного дебалансного вибродвигателя / *В.Н. Дмитриев, А. А. Горбунов* // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2008. – № 1-2. – С. 119–122.

RESONANT VIBRATION ELECTRIC DRIVE OF MACHINES AND PLANTS WITH AUTOMATIC CONTROL

© 2009 V.N. Dmitriev, A.A. Gorbunov

Ulyanovsk State Technical University

System of automatic control of resonant vibration electric drive have been suggested. System allows to determine resonant regime and to support stable operation of electric drive for preliminary unknown frequency of natural oscillations of system.

Key words: electric drive, machinery, plants, state, resonant regime, automatic control