

Вибромодуль с эффектом управляемой вибромощности колебаний на магнито-резонансных LC контурах

02, июнь 2018

Корниенко А. Н.^{1,*}, Драгунова А. В.¹

УДК: 621.31

¹Россия, МГТУ им. Н.Э. Баумана

*epe@bmstu.ru

a-dragunova@bk.ru

Введение

Вибрационные машины и устройства, как известно, [1] позволяют совершенствовать технологии различных производств, обеспечивая получение значимого технико-экономического эффекта. С помощью вибрации могут быть интенсифицированы процессы измельчения, смешивания, разделения частиц сыпучих материалов по плотности и размеру фракций, осуществляется вибротранспортирование, вибрационное погружение свай, уплотнение бетонных смесей и многое другое [3, 4].

Основные задачи при разработке вибротехники состоят в формировании систем вибро-возбуждения на силовом, кинематическом либо параметрическом принципах. Одним из наиболее перспективных решений современных вибрационных устройств [2] признается электромеханическая конфигурация электромагнитного вибровозбудителя. Такие устройства работают в режимах вынужденных колебаний различного амплитудного и фазового спектров. Особенно эффективно виброколебания реализуются в резонансных режимах на частотах вынуждающих воздействий или супергармонического резонанса на частоте кратной основной гармонике.

В качестве приоритетных показателей, характеризующих электромагнитный тип вибровозбудителя, следует рассматривать возможности:

- регулирование амплитуды вибрации;
- создание вибросистемы на вибромодулях с синхронным взаимодействием;
- высокая надежность и долговечность.

Практически реализуемые промышленностью конфигурации электромагнитных вибраторов [5] в своем большинстве основываются на схемах либо одноконтурного возбуждения при последовательном включении катушки электромагнита с диодом, либо двухконтурной структуры спаренных катушек двух электромагнитов относительно источника питания с включением диодов в обратной полярности. Вторая схема обеспечивает вибрационное перемещение якоря с частотой 50 Гц вследствие его попеременного притяжения к полюсам

статоров электромагнитов и не использует силовую возвратную реакцию упругой системы подвески.

Представленные варианты конструкции линейных возвратно-поступательных вибраторов обеспечиваются питанием от однофазного источника синусоидального напряжения и характеризуются генерируемой вибрацией на фиксированной частоте 50 Гц при практически нерегулируемой амплитуде, зависимой от степени загрузки. Важным достоинством однофазных виброустройств является их мобильность и компактность, однако существующие ограничения на вибромощность и связываемую с ней интенсификацию вибровоздействия в различных технологических циклах потребовали разработки более совершенных вибраторов.

1. Конструкция и принцип действия вибромодуля

В представляемом исследовании рассматривается конфигурация электромеханического вибромодуля с генерацией вынужденных колебаний по двухтактной схеме с участием резонансных LC контуров на частоте 100 Гц при питании от трехфазной сети 50 Гц. Заявляемая эффективность предлагаемого решения обеспечивается существенным ростом управляемой вибромощности, регулируемой амплитудой вибрации и возможностью формирования силовой вибросистемы из ряда вибромодулей с самосинхронизацией взаимодействия.

Конструкция разрабатываемого вибромодуля представляется сочетанием статорного узла, состоящего из двух Ш-образных магнитопроводов, обращенных полюсами друг к другу, и якоря в виде прямоугольного магнитопровода, располагаемого в межполюсном пространстве с образованием плоских воздушных зазоров величиной несколько миллиметров. На средних стержнях магнитопроводов статоров размещаются катушки, причем на одном из них катушка подключается к фазному напряжению, а на другом две секции катушек соответственно подключаются к двум фазным напряжениям трехфазного источника по схеме «звезда».

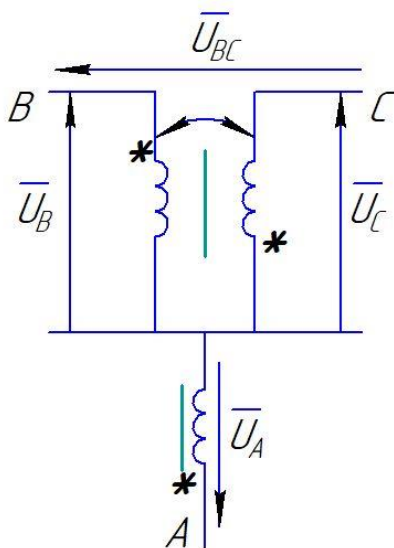


Рис. 1. Электрическая схема подключения катушек статора к источнику

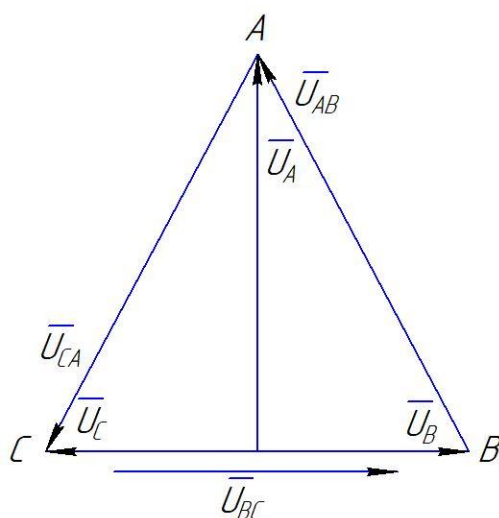


Рис. 2. Векторная диаграмма напряжений

На рис. 1 изображена двухсекционная катушка, расположенная на одном из магнитопроводов статора с подключением к фазным напряжениям U_B и U_C . На другом магнитопроводе размещена односекционная катушка, подключенная к фазному напряжению U_A . При этом распределение фазных напряжений в соответствии с рис. 2 в виде векторной диаграммы достигается формированием величины индуктивностей секций катушек определенным соотношением витков.

В результате проведенных расчетов установлено требуемое сочетание количества витков односекционной ω_A и двухсекционных ω_B и ω_C катушек по параметру индуктивностей как $\omega_A/(\omega_B=\omega_C)=1/0,58$. Таким образом обеспечиваются величины фазных напряжений на катушках $U_A = 0,86 U_L$; $U_B = U_C = U_L/2$, где U_L – линейное напряжение трехфазного источника $U_L = U_{AB} = U_{BC} = U_{CA}$. Общую точку объединения комплекта катушек статора может образовывать любой вывод односекционной катушки и обязательно начальный вывод, обозначаемый символом (*), одной секции и конечный вывод другой секции двухсекционной катушки.

Принцип действия вибромодуля заключается в осуществлении возвратно-поступательных перемещениях якоря, располагаемого между встречно обращенными полюсами магнитопроводов статора, под воздействием знакопеременных электромагнитных тяжений от системы катушек. Для обеспечения технологически востребуемых характеристик вибровозбуждений вибромодуль комплектуется автотрансформатором с дискретным выходом на несколько позиций, блоком конденсаторов схемы управления, вибродатчиком для контроля амплитуды вибрации, а также релейных коммутационных элементов.

В целом рассматриваемая вибросистема представляет собой электромеханическую резонансную структуру, настраиваемую на определенный уровень вибромощности и амплитуду вибраций с частотой 100 Гц. В качестве регуляторов характеристик вибромодуля следует считать:

- величины индуктивностей электромагнитов статора, зависящих от задаваемых воздушных зазоров между боковыми поверхностями якорного пакета магнитопровода якоря и полюсами магнитопроводов статора;
- номиналы емкостей конденсаторных блоков, включаемых между фазами подводимого напряжения источника питания, способных управлять жесткостью и фазочастотными показателями образуемых резонансных LC контуров, а, следовательно, развиваемой мощностью.

Для представления процесса вибровозбуждения колебаний на частоте 100 Гц на рис. 3 изображены временные диаграммы распределения фазных напряжений на катушках статора за один период. Ниже на рис. 4 располагается графическая иллюстрация образования циклических магнитных тяжений, развиваемых катушками статорного комплекта.

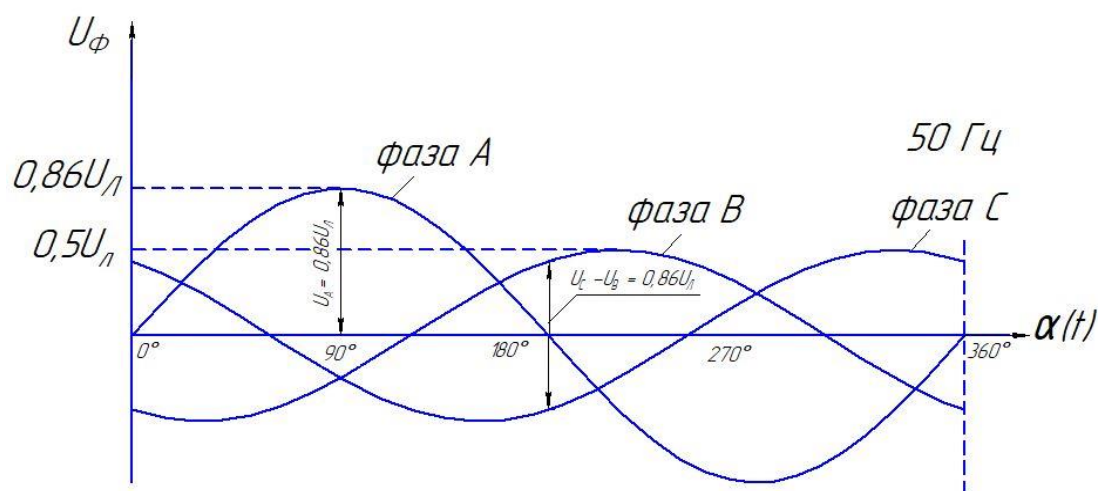


Рис. 3. Временные диаграммы распределения фазных напряжений на катушках статора за один период

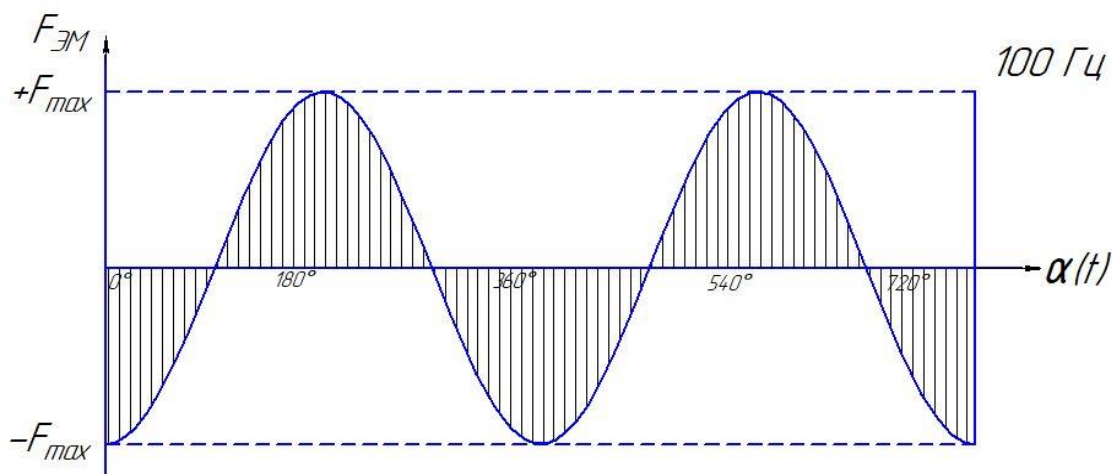


Рис. 4. Образование циклических магнитных тяжений, развиваемых катушками статорного комплекта

Согласно рис. 3 координате 0° соответствует отсутствие напряжения $U_A = 0$, а фазные напряжения U_B и U_C , при согласном включении, вычитаются и имеют максимум, равный $0,86\overline{U_{BC}} = \overline{U_B} - \overline{U_C}$. Таким образом на рис. 4 демонстрируется проявление экстремума маг-

нитного притяжения якорного пакета к полюсам магнитопровода с двухсекционной катушкой. При достижении координаты 90° секции двухсекционной катушки электрически подавляют друг друга, а тяжение к магнитопроводу с односекционной катушкой становится максимальным. В координате 180° повторяется силообразование магнитного тяжения, характерное при координате 0° , а для 270° - аналогичное координате 90° .

В итоге рассмотрения изменений фазных напряжений $U_a(t)$, $U_b(t)$, $U_c(t)$ с частотой 50 Гц засвидетельствуем наличие принципиально важного положения, свойственного представленной архитектуре включения катушек статора с определенными витковыми данными в трехфазную сеть, об особенностях проявления в конструкции вибромодуля попеременных магнитных тяжений с удвоенной частотой вынужденных колебаний 100 Гц. Отметим также, что полярность, наводимая в полюсах магнитопровода с односекционной катушкой в координатах 90° и 270° , меняется на противоположную, однако для силообразования этот фактор не имеет значения.

2. Обеспечение регулирования амплитуды виброколебаний

Для энергетической накачки вибросистемы и обеспечения управляемости дозирования вибромощности применяется целый комплекс средств [4]. С учетом задачи достижения высокой энергоемкости системы при колеблющейся массе подвижного узла технологических установок до 100 кг и более предлагается формировать резонансные LC виброконтуры. Резонансные колебательные контуры образуются сочетанием несимметричного характера распределения фазных напряжений на катушках статора, объединенных по схеме «звезда», и наложения на них соединения емкостных блоков конденсаторов в формате «треугольника» относительно клемм трехфазного источника.

Резонансная структура виброконтуров обеспечивает высокую динамику обменных процессов запасаания магнитной энергии в катушках и преобразования ее в электрическую на конденсаторных блоках с частотой вдвое большей частоты питающего напряжения, то есть осуществляется синхронизация со 100 Гц частотой возбуждаемых механических колебаний. В этой связи происходящий автоколебательный электромагнитный процесс в резонансных LC контурах способствует усилению режима вынужденных колебаний вибросистемы.

В настоящее время продолжают исследования всех факторов воздействия на управляемость вибромощностью и отрабатываются инженерные критерии оценки эффективности настройки нестандартной структуры LC контуров. Частная рекомендация по настройке резонансного LC контура состоит в выборе первой точки половинной мощности, определяемой соотношением $I = 0,707I_{рез}$ на дорезонансной ветви токовой характеристики $I(C)$ в функции величины емкости конденсатора C . Локальное применение изложенной рекомендации осуществлено для конкретной величины зазора в кинематике конструкции вибромодуля и заданной амплитуды вибровозбуждения в экспериментальной практике исследования процесса интенсификации и улучшения качества высокохудожественного литья изделий из медных и бронзовых расплавов.

Технологическая установка для литейного производства изделий со сложным рельефом внешней поверхности представляет конструкцию, включающую неподвижное массивное основание и виброподвижный стол, на котором размещаются заливочные формы. Стол связывается с основанием посредством механических консольных секций пружин и подвергается возвратно-поступательному вибрационному воздействию для освобождения из расплава воздушных пузырьков и лучшему заполнению микрополостей внутренней поверхности литевых форм.

Используемый ранее двухтактный вибратор на принципе возбуждения колебаний с частотой 50 Гц при последовательном соединении катушек двух электромагнитов с обратным включением диодов был демонтирован и замещен элементами конструкции разработанного вибромодуля. При этом якорь жестко связывался со столом, а магнитопроводы статора устанавливались на консоли, закрепленной неподвижно относительно основания установки. Для трехфазного питания статорных катушек использовался автотрансформатор с дискретной регулировкой напряжения на пять позиций.

В результате проведенных настроечных операций резонансных LC контуров схемы управления динамическими качествами вибромодуля определены номиналы емкостей конденсаторов по критерию соответствия режиму достижения половинной мощности. При варьировании величины воздушного зазора между якорем и полюсами магнитопроводов статора в диапазоне от 2 мм до 5 мм с дискретностью 0,5 мм выявлена возможность управления вибромощностью и определены границы эффективного регулирования амплитуды колебаний.

Сравнительные тесты технологических возможностей вибромодуля со 100 Гц воздействием и ранее применяемой частотой вибрации 50 Гц проводились с одинаковой амплитудой $\pm 2,5$ мм и оценивались по показателям производительности и качеству изготовления изделий. В результате интенсификации вибровоздействия с частотой 100 Гц отводимое время на виброуплотнение расплава сократилось втрое по сравнению с 50 Гц вибрацией, так же качественно повысилась заполняемость сложного микрорельефа изделий и тем самым отбраковка снизилась до 1%. На основе проведенных исследований в дальнейшем планируется отработка совершенствования технологических операций литья оптимизацией режимов вибровоздействия на частоте 100 Гц.

Заключение

Предложенная модель формирования параметров катушек электромагнитов вибромодуля со встречно ориентированными полюсами Ш-образных магнитопроводов статора при трехфазном питании на частоте 50 Гц обеспечивает достижение виброколебаний якоря с частотой 100 Гц.

Представленная конфигурация силового вибромодуля характеризуется существенным ростом вибромощности с функцией управляемости для проявления требуемого уровня интенсификации технологических процессов.

Практическая реализация заявленных критериев настройки сформированных резонансных LC контуров, образованных объединением катушек электромагнитов с конденсаторными блоками в единую структуру, позволяет управлять вибромощностью и регулировать амплитуду виброколебаний в диапазоне ± 3 мм, что подтверждено тестовыми испытаниями.

Список литературы

- [1]. Блехман И.И. Теория вибрационных процессов и устройств. Вибрационная механика и вибрационная техника. СПб.: ИД «Руда и металлы». 2013. 639 с.
- [2]. Исмагилов Ф.Р., Саттаров Р.Р. Электромеханические преобразователи для вибрационной техники. М.: Машиностроение. 2008. 276 с.
- [3]. Гончаревич И.Ф., Фролов К.В. Теория вибрационной техники и технологии. / АН СССР. Институт машиноведения им. А.А. Благонравова. М.: Наука. 1981. 318 с.
- [4]. Пановко Г.Я. Динамика вибрационных технологических процессов. / Институт машиноведения им. А. А. Благонравова РАН. М.: Институт компьютерных исследований; Ижевск: Регулярная и хаотическая динамика. 2006. 176 с.
- [5]. Яцун С.Ф. Вибрационные технологии, мехатроника и управляемые машины. // Сборник научных статей по материалам XI международной научно-технической конференции «Вибрация - 2014». В 2 ч. (Курск, 15-17 мая 2014 г. Юго-Западный Государственный Университет). Курск: Издательство ЮЗГУ. 2014. 423 с.