УДК 621.398

В.В.ИВАНИК
Горно-электромеханический факультет, группа ЭРм-02,
ассистент профессора

МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЗОНАНСНОГО АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ВОЗВРАТНО-ВРАЩАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ С АЛГОРИТМОМ ПРЯМОГО УПРАВЛЕНИЯ МОМЕНТОМ

Проведено имитационное моделирование резонансного электропривода возвратно-вращательного движения (ВВД) динамически уравновешенного бурового снаряда с алгоритмом прямого управления моментом (DTC). Разработана система управления. Приведены результаты моделирования разомкнутой и замкнутой электромеханической систем (ЭМС).

Imitating modelling the resonant electric drive of return-rotary movement (RRM) for dynamically the counterbalanced chisel shell with algorithm of a direct torque control (DTC) is lead. The control system is developed. Results of modelling opened and closed electromechanical systems (EMS) are resulted.

Силовые резонансные электроприводы ВВД могут применятся в обогатительном оборудовании (вибрационные щековые дробилки, вибросита, виброгрохоты), а также для привода динамически уравновешенного бурового снаряда (ДУБС) на грузонесущем кабеле для очистки призабойных зон скважин, бурения ледников, взятия донных проб на шельфе и подледниковых озер Антарктиды. Традиционные вращательные электроприводы с дебалансным вибровозбудителем, применяемые в указанных устройствах, не могут обеспечить работу в резонансном режиме из-за сложности автоматического поддержания требуемого фазового соотношения между скоростью и движущим моментом.

Отличительная особенность колебательного электропривода возвратно-вращательного движения от традиционного заключается в том, что при таком движении ротора имеются особые точки, в которых его угловая скорость равна нулю. Известно несколько схем реализации знакопеременного момента на валу двигателя в режимах возвратно-вращательного движения [1, 2].

В работе исследуется резонансный электропривод ВВД с DTC динамически уравновешенного бурового снаряда на базе штатного погружного асинхронного электродвигателя (ПЭДУК) [3]. Использование штатного оборудования обеспечивает простоту изготовления установки, а также снижение капитальных затрат.

Система DTC обладает высоким быстродействием (вычисление потокосцепления и момента занимает не более 5 мс) и может быть использована для создания замкнутых бездатчиковых автоколебательных систем с частотами до 40 Гц.

Динамически уравновешенный буровой снаряд на грузонесущем кабеле представляет собой двухмассовую систему, в которой сумма моментов, приложенных к верхней J_1 и нижней J_2 частям, равна нулю в любой момент времени (рис.1, *а*) [2].

Математическое описание электромеханической системы ДУБС представлено в [4] и имеет вид

$$\begin{cases} J_1\varphi_1'' - c(\varphi_2 - \varphi_1) = -M + M_{æò1}; \\ J_2\varphi_2'' + c(\varphi_2 - \varphi_1) = -M_{ó} - M_{ñ}, \end{cases} \quad (1)$$

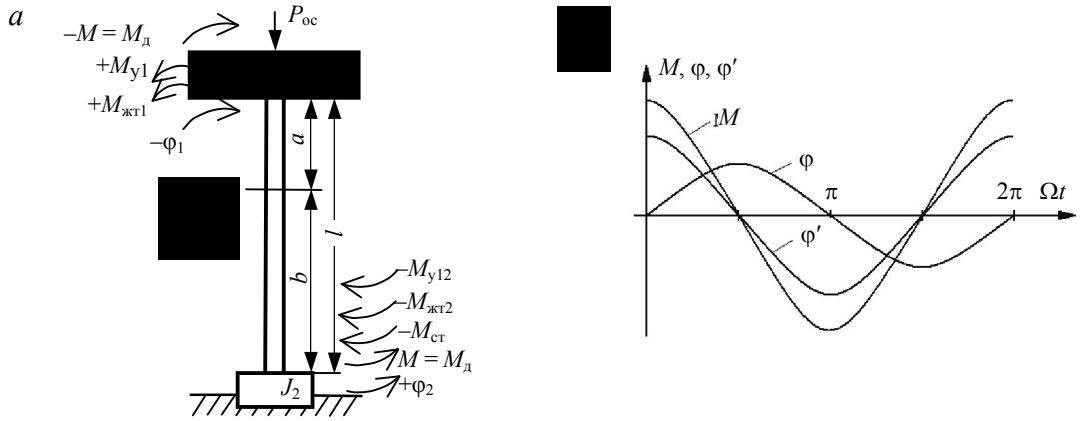


Рис.1. Динамически уравновешенный буровой снаряд: *а* – расчетная схема, *б* – фазовые соотношения полного угла закручивания торсиона φ, скорости φ′ и электромагнитного момента *M* при ВВД на резонансной частоте

где M – электромагнитный момент короткозамкнутого асинхронного двигателя, Н·м; $M_у$ – момент упругого элемента, Н·м; $M_{жт1}$ – момент жидкостного сопротивления на верхней части снаряда, Н·м; $M_с$ – суммарный момент сопротивления на нижней части снаряда, Н·м; φ_1 – угол поворота верхней части бурового снаряда, рад; φ_2 – угол поворота нижней части бурового снаряда, рад; J_1 – момент инерции верхней части бурового снаряда, кг·м^2; J_2 – момент инерции нижней части бурового снаряда, кг·м^2; c – коэффициент жесткости торсиона, (Н·м)/рад.

Анализируя ВВД рассматриваемой ЭМС на резонансной частоте (рис.1, *б*) и свойства современных систем DTC, можно сформулировать алгоритм и закон управления резонансными автоколебаниями при различных нагрузках:

1) по наблюдаемым координатам вычисляется с заданной точностью момент времени перехода кривой угловой скорости ротора через ноль [5];

2) выполняется реверс электромагнитного момента в вычисленные моменты времени.

Такое управление формирует управляющее воздействие в соответствующие резонансным условиям моменты времени (рис.1, *б*) и делает систему инвариантной к нагрузке и к изменениям динамических параметров ЭМС. Аналогом действия такого закона управления может служить процесс поддержания амплитуды движения детской качели приложением к ней встречно направленной силы в моменты изменения направления движения качели при нулевой скорости.

Имитационная модель (рис.2) включает в себя: 1 – блок моделирования системы управления электроприводом с алгоритмом прямого управления моментом; 2 – блок моделирования асинхронного электродвигателя; 3 – блок моделирования механической системы ДУБС; 4 – прибор для отображения токов в обмотках двигателя, скоростей и углов поворота роторной и статорной частей бурового снаряда; 5 – прибор для отображения полного угла поворота торсиона, скорость суммарного угла поворота и электромагнитного момента электродвигателя; 6 – блок моделирования момента жидкостного сопротивления в верхней части снаряда; 7 – блок моделирования момента сопротивления на буровой коронке; 8 – блок выявления нулевых точек скорости ротора и реверсирования момента; 9 – блоки для формирования сигналов задания для различных исследуемых режимов.

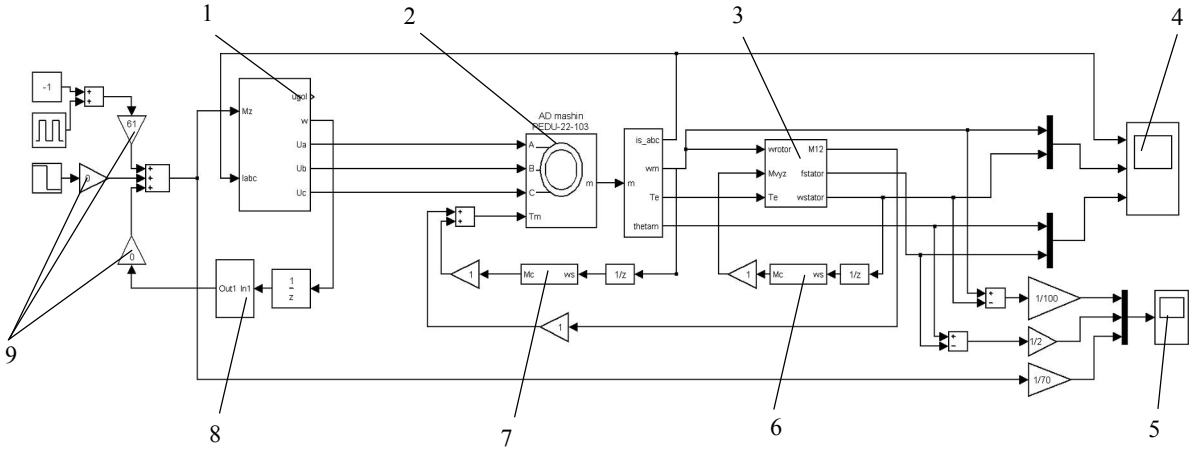


Рис.2. Блок-схема имитационной модели ДУБС с асинхронным электроприводом с прямым управлением моментом

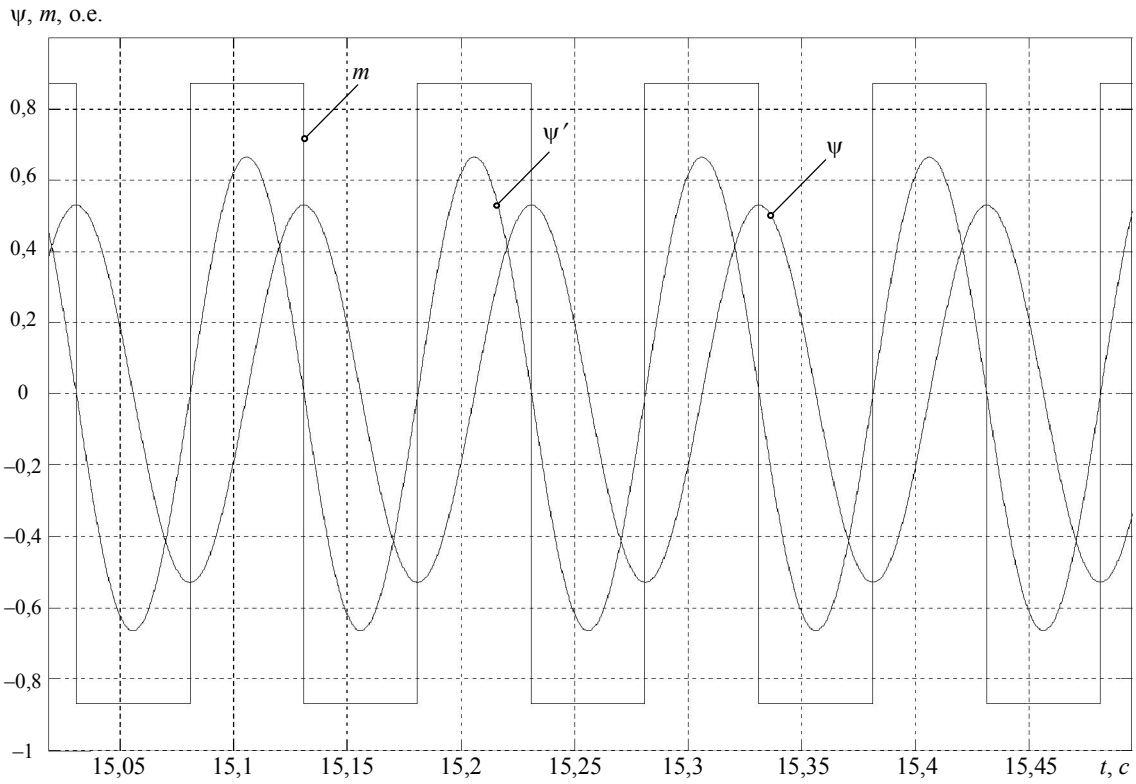


Рис.3. Работа системы в режиме автоколебаний на резонансной частоте при замкнутой системе с разработанными алгоритмом и законом управления

$\psi' = \varphi'/\varphi'_{max}$, $\varphi'_{max} = 100$ рад/с, $\psi = \varphi/\varphi_{max}$, $\varphi_{max} = 2$ рад, $m = M/M_{ном}$, $M_{ном} = 70$ Н·м

Модель позволяет получать осциллограммы углов и скоростей частей снаряда, полный угол закручивания торсиона и его производную, токи, напряжения и электромагнитный момент электродвигателя для разомкнутой и замкнутой систем управления при различных нагрузках и динамических параметрах ЭМС.

При исследовании режимов с разомкнутой системой управления установлено, что обеспечение автоколебаний на резонансной частоте ЭМС с такой системой управления невозможно, т.е. система неработоспособна.

Исследованы режимы резонансных колебаний различных видов нагрузки при сухом и вязком трении, случайных нагрузках и их комбинациях. Установлено, что система с принятыми алгоритмом и законом управления обеспечивает устойчивую работу системы в резонансном автоколебательном режиме при изменении нагрузки в широком диапазоне (рис.3).

Основные выводы:

1. Резонансные автоколебательные системы с разомкнутой системой и ручным управлением неработоспособны.

2. Автоколебательные системы электропривода с прямым управлением моментом с замкнутой системой управления могут обеспечить работу на частотах до 40 Гц.

3. Разработанные алгоритм и закон управления автоколебаниями ЭМС динамически уравновешенного бурового снаряда обеспечивают устойчивую работу в режиме автоколебаний на резонансной частоте при изменении нагрузок на буровой коронке в широком диапазоне.

4. Надежная работа системы в автоколебательном режиме достигается за счет того, что на каждом периоде работы вычисляются моменты времени, в которых угловая скорость ротора близка или равна нулю и выполняется реверсирование электромагнитного момента электродвигателя, создавая тем самым условие поддержания резонансных колебаний.

5. Расстройка параметров блока вычисления моментов времени нулевой скорости ротора в диапазоне ±5 % от расчетных не приводит к потери управляемости резонансного автоколебательного режима.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Луковников В.И.* Электропривод колебательного движения. М.: Энергоатомиздат, 1984.

2. Пат. 228420 РФ. МКИ^3 Е 21 В 4/04. Колонковый буровой снаряд с электроприводом / Э.А.Загривный, В.А.Соловьев. Опубл. 10.05.04. Бюл.№ 13.

3. *Соловьев В.А*. Особенности электропривода динамически уравновешенного бурового снаряда на грузонесущем кабеле / Сборник научных трудов ЮРГТУ. № 12. Новочеркасск, 2001.

4. *Тимошенко С.П.* Колебания в инженерном деле / С.П.Тимошенко, Д.Х.Янг, У.Уивер. М.: Машиностроение, 1985.

5. Электроприводы и системы с электрическими машинами и полупроводниковыми преобразователями (моделирование, расчет, применение) / М.В.Пронин, А.Г.Воронцов, П.Н.Калачиков, А.П.Емельянов; ОАО Силовые машины. СПб, 2004.

Научный руководитель д-р т. н. проф. *Э.А.Загривный*