

УДК 621.398

БЕСКОНТАКТНЫЙ ДАТЧИК СКОРОСТИ ВОЗВРАТНО-ВРАЩАТЕЛЬНЫХ ДВИЖЕНИЙ РОТОРА И ОБЛАСТИ ЕГО ПРИМЕНЕНИЯ

Загривный Э. А., Губарь Н. С., Поддубный Д. А.

ФГБОУ ВПО Национальный минерально-сырьевой университет (НМСУ) «Горный», Санкт-Петербург, Россия (199106, Санкт-Петербург, В.О., 21 линия, 2), email: dimon_net@bk.ru

Для взятия донных проб подледникового озера Восток в Антарктиде предполагается использовать динамически уравновешенный буровой снаряд с резонансным электроприводом возвратно-вращательного движения. Для реализации резонансных режимов работы разработан простейший датчик скорости возвратно-вращательного движения. Датчик содержит цилиндрический корпус с крышкой, установленные в корпусе магнитопровод с двумя кольцевыми полуобмотками с полюсным делением равным π , явнополюсный ротор с постоянными магнитами с одной парой полюсов и подшипник скольжения. Явнополюсный ротор датчика устанавливается на вал электродвигателя с совмещением продольных осей симметрий роторов датчика и электродвигателя. Зазор между статором и ротором составляет приблизительно 1 мм. Представлен пример замкнутой системы управления авторезонансным электроприводом возвратно-вращательного движения с использованием этого датчика.

Ключевые слова: авторезонансный, буровой снаряд, датчик скорости, постоянные магниты, размах колебаний, явнополюсный ротор.

NONCONTACT SPEED SENSOR OF ROTORS SWINGING MOVEMENT AND FIELDS OF THE APPLICATION

Zagrivniy E. A., Gubar N. S., Poddubniy D. A.

National mineral-resources university «Mining», St-Petersburg, Russia (199106, St-Petersburg, V.O., 21 line, 2), email: dimon_net@bk.ru

For sampling from subglacial lake “Vostok” is assumed to use dynamically balanced drilling line with resonance electric drive of swinging movement. For realization of resonance modes a simple swinging movement speed sensor was developed. The sensor contains cylindrical body frame, magnet core with two ringed half-coils, salient pole rotor with constant magnets and slipping bearing. Salient – pole rotors sensor set on the motor shaft with combination of sensor and motor rotors longitudinal axes. Gap between stator and rotor is about 1 mm. Example of closed loop control system of auto resonance electric drive of swinging movement with speed sensor was shown.

Key words: autoresonance, drilling line, speed sensor, permanent magnets, range of oscillation, salient – pole rotor.

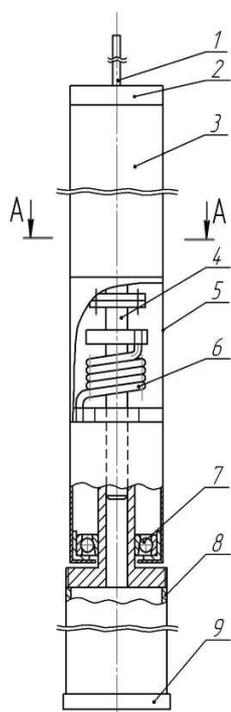


Рис. 1.

Конструктивная
схема ДУБС

Разработанным, запатентованным и изготовленным в НМСУ «Горный» электромеханическим буровым снарядом на грузонесущем кабеле достигнуты наивысшие мировые результаты при бурении ледника в Антарктиде на станции Восток – 05 февраля 2012 года на глубине 3769,3 метра скважины 5Г было вскрыто подледниковое озеро Восток. При бурении слабосвязанных пород и интервалов с кавернами подобные выше указанному снаряды становятся неработоспособными из-за потери сцепления распорного устройства со стенками скважины и невозможности компенсировать реактивный момент, возникающий при работе буровой коронки на забое. В отличие от традиционных, разрабатываемые динамически уравновешенные буровые снаряды (ДУБС) не требуют применения редуктора и распорных устройств и могут применяться для очистки призабойных зон нефтяных скважин, взятия донных проб рек, озер, морей и океанов, многорейсового бурения в шельфовых зонах с бортов неспециализированных судов, что является актуальным, особенно для взятия донных проб озера Восток в Антарктиде после его вскрытия (рис. 1). ДУБС представляет собой двухмассовую колебательную электромеханическую систему (ЭМС) с электроприводом возвратно-вращательного движения [1,2,4,6,7]. Статорная часть 1,2,5 погружного вентильного маслозаполненного электродвигателя соединена с роторной частью 4,7,8,9, упругим элементом 6 – пружиной кручения. При постановке снаряда на забой и подаче на статорные обмотки электродвигателя напряжения, формирующего знакопеременный электромагнитный момент, статорная и роторная части совершают возвратно-вращательные движения в противоположных направлениях. Давление на забой и момент сопротивления на буровой коронке определяются общей массой снаряда. Разработанная система управления электроприводом возвратно-вращательного движения позволяет получать авторезонансные колебания ЭМС ДУБС, инвариантные к изменениям и нелинейностям динамических параметров системы [3,5]. При работе на резонансной частоте электромеханической системы амплитуды колебаний имеют максимальные значения, а сумма моментов вращения, действующая на эти части, равна нулю, т.е. буровой снаряд является динамически уравновешенным. Авторезонансные колебания электропривода возвратно-вращательного движения для динамически уравновешенного бурового снаряда обеспечиваются путём реверсирования электромагнитного момента электродвигателя на каждом полупериоде синфазно со скоростью в точках перехода её через нулевое значение. Известно, что резонансные режимы в разомкнутых системах на практике нереализуемы.

Устройством для реализации способа управления резонансными колебаниями мог бы быть резольвер, которому необходим источник питания высокой частоты для роторной обмотки (образуемое в ней первичное возбуждение является опорным сигналом), а также необходим АЦП для обработки статорных Sin и Cos выходных сигналов и выделения полезного сигнала угла поворота. Всё это усложняет конструкцию и увеличивает стоимость и снижает защищённость. Поэтому решалась задача создания своего датчика, отвечающего всем требованиям и лишённого указанных недостатков. В результате разработан и изготовлен в двух вариантах (рис.2 а, б) простейший датчик скорости ВВД, служащий для реализации замкнутой системы управления электроприводом возвратно-вращательного движения с обеспечением незатухающих резонансных автоколебаний [1,3,5,6].

Датчик содержит цилиндрический корпус 1 с крышкой 4, установленные в корпусе 1 магнитопровод 2 с двумя кольцевыми полуобмотками с полюсным делением равным π и явнополюсный ротор с постоянными магнитами с одной парой полюсов 3, подшипник скольжения 5. Зазор между статором и ротором 6 составляет приблизительно 1 мм. Явнополюсный ротор 3 датчика установлен на валу электродвигателя с совмещением продольных осей симметрий роторов датчика и электродвигателя (рис. 2, а).

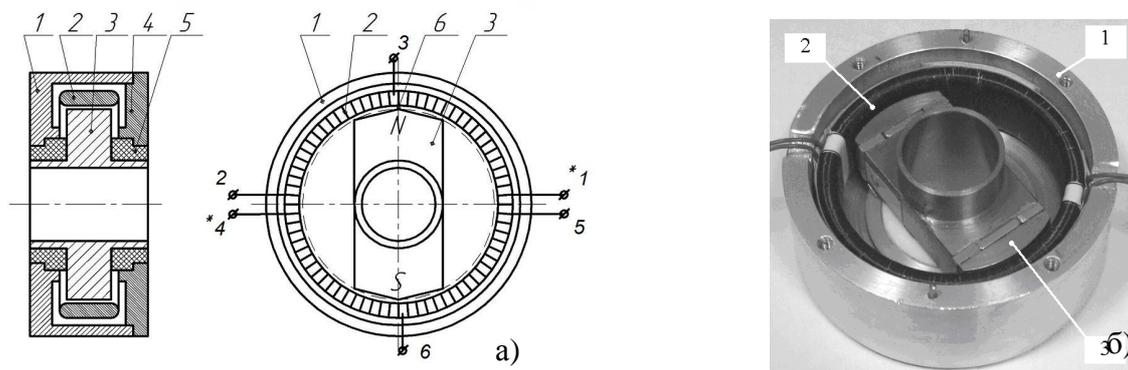


Рис. 2. а) Бесконтактный датчик скорости ВВД (конструктивная схема);

б) датчик скорости ВВД (крышка снята): 1 – корпус; 2 – магнитопровод с кольцевой обмоткой; 3 – ротор с постоянными магнитами марки К-15-15-03N

Бесконтактный датчик имеет 6 выведенных концов: “1-2-3” и “4-5-6”. Такое конструктивное исполнение позволяет получать различные напряжения на выходе в зависимости от схемы их соединения. При подключении обмотки по схеме, показанной на рис. 3, I), а) формируется напряжение равное напряжению каждой из полуобмоток, при этом повышая надежность. При реализации схемы рис. 3, I), б) получается удвоенное напряжение на выходе. При подключении по схеме рис. 3, I), с) получают гальванически развязанные обмотки.

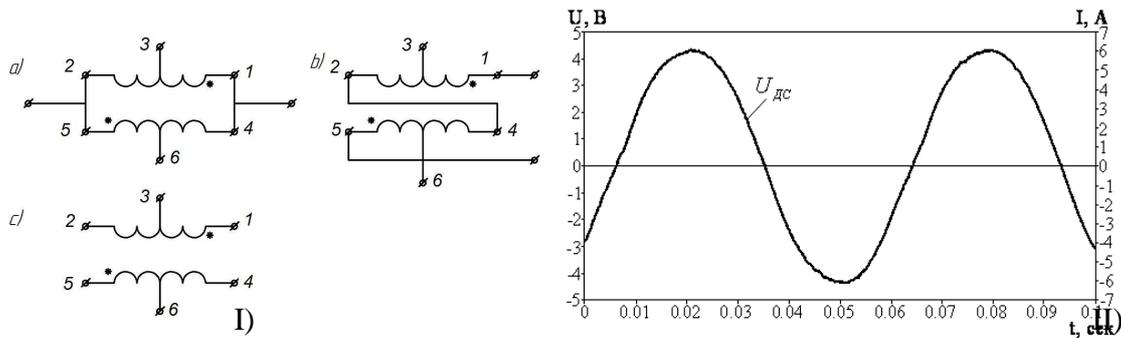


Рис. 3. I) Схемы подключения обмоток бесконтактного датчика скорости вращения и положения ротора; II) Осциллограмма напряжения от бесконтактного датчика скорости ВВД

Ротор датчика скорости установлен на валу электродвигателя с совмещением продольных осей симметрий роторов датчика и электродвигателя. Размах колебаний ротора электропривода возвратно-вращательного движения, при котором может быть использован бесконтактный датчик скорости ВВД, достигает 180° .

Экспериментальный датчик скорости ВВД имеет следующие параметры: внутренний диаметр кольцевого магнитопровода $d=70\text{мм}$, внешний $D=80$, ширина $l=15\text{мм}$, количество витков на одной полуобмотке – 300, толщина ротора с постоянными магнитами $l=15\text{мм}$, ширина полюса $h_\delta=36\text{мм}$, принятое среднее значение магнитной индукции в зазоре $B_{cp}=0,5\text{Тл}$. Напряжение на концах полуобмотки датчика скорости ВВД определится формулой $U_{ДС} = v \cdot B \cdot l \cdot N \cdot \alpha_\delta$,

где v – средняя линейная скорость движения ротора датчика; B – магнитная индукция постоянного магнита ротора; l – активная длина проводника, $N \cdot \alpha_\delta$ – число витков в магнитном поле ротора; N – число витков в полуобмотке, α_δ – коэффициент полюсного перекрытия. Коэффициент полюсного перекрытия: $\alpha_\delta = \frac{h_\delta}{\tau}$,

где h_δ – ширина магнитного полюса, τ – полюсное деление.

$$\text{Полюсное деление датчика } \tau = \frac{\pi \cdot d}{2} = \frac{1}{2} \cdot 3.14 \cdot 70 = 110 \text{ мм}, \quad \alpha_\delta = \frac{36}{110} = 0,33.$$

Скорость движения ротора изменяется по синусоидальному закону, напряжение на выводах полуобмоток датчика тоже будет иметь синусоидальный характер. Максимальный размах колебаний составляет 180° , расчётная частота колебаний ротора принята $f=15$ Гц, соответственно время одного полупериода равно $t = \frac{1}{f} \cdot 0.5 = \frac{1}{15} \cdot 0.5 = 0.034 \text{ с}$. Тогда средняя

$$\text{скорость за полпериода будет равна: } v = \frac{\tau}{t} = \frac{110}{0.034 \cdot 1000} = 3.23 \text{ м/с}.$$

Среднее напряжение на одной полуобмотке датчика за полпериода при известной средней скорости: $U_{DC\text{cp}} = 3,23 \cdot 0,5 \cdot 0,015 \cdot 300 \cdot 0,33 = 2,4 \text{ В}$ Амплитудное значение напряжения $U_{DC\text{max}} = U_{DC\text{cp}} \cdot \frac{\pi}{2} = 2,4 \cdot \frac{3,14}{2} = 3,8 \text{ В}$.

На рис. 3, II) представлена осциллограмма напряжения U_{DC} от бесконтактного датчика скорости ВВД, амплитудное значение которого равно $U_{DC} \approx 4 \text{ В}$.

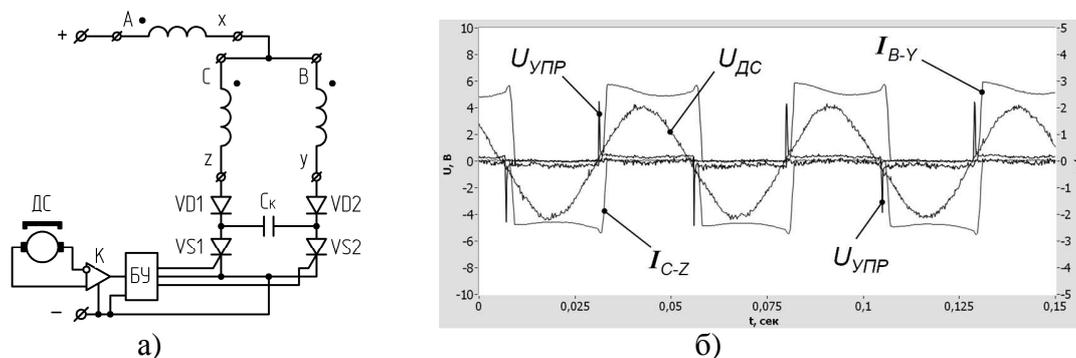


Рис. 4. а) Схема управления авторезонансными колебаниями электропривода ВВД:

ДС – датчик скорости, К – компаратор, БУ – блок управления, VS1 и VS2 – силовые тиристоры, VD1 и VD2 – силовые диоды, C_k – коммутирующая емкость, “А-Х” – обмотка возбуждения, “С-З”, “В-У” – рабочие обмотки;

б) осциллограмма токов рабочих обмоток “С-З” и “В-У”, напряжения датчика скорости ВВД U_{DC} , управляющих импульсов на тиристорах в авторезонансном режиме на частоте 20,5 Гц

Замкнутая система управления авторезонансным электроприводом ВВД (рис.4, а) обладает следующими особенностями [3,4,5,6]: при подаче напряжения от датчика скорости ВВД U_{DC} на вход компаратора К при значении $U_{DC} \approx 0$ на выходе компаратора формируется единичный скачок напряжения, под действием которого блок управления БУ выдаёт соответствующий управляющий импульс на силовые тиристоры VS1 или VS2 (рис.4,б). При этом ток в рабочих обмотках электродвигателя “С-З” и “В-У” формирует синфазный со скоростью электромагнитный момент, обеспечивая устойчивые резонансные соотношения в ЭМС при изменении технологических нагрузок и динамических параметров системы.

Список литературы

1. Загривный Э. А., Губарь Н. С. Вентильный электропривод возвратно-вращательного движения динамически уравновешенного бурового снаряда на грузонесущем кабеле // Материалы XVII Всероссийской научно-технической конференции «Энергетика: эффективность, надежность, безопасность». – Томск: Изд-во «СПБ Графикс», 2011. – С.28-31.
2. Загривный Э. А., Губарь Н. С. Динамически уравновешенный буровой снаряд на грузонесущем кабеле с вентильным электроприводом возвратно-вращательного движения // Международная

научно-практическая интернет-конференция SWorld «Достижения современной науки». – Украина, г. Одесса, 2011. – С.34-39.

3. Загривный Э. А., Губарь Н. С., Поддубный Д. А. Лабораторные экспериментальные исследования динамически уравновешенного бурового снаряда на грузонесущем кабеле с авторезонансным электроприводом возвратно – вращательного движения // Народное хозяйство республики Коми. – Воркута. – 2013. – № 1. – С.39-44.

4. Колонковый буровой снаряд с электрическим приводом. Патент Российской Федерации, № 2228420, МПК Е 21 В 4/04. Загривный Э. А, Соловьев В. А. – №2002118405; Заявлено 08.07.02; Опубл. 10.05.04, Бюл. №13.

5. Патент РФ, №2410826. Способ возбуждения и регулирования авторезонансных колебаний в электроприводе возвратно-вращательного движения // Загривный Э. А., Гаврилов А. Ю. Приоритет изобретения 27 января 2011 г.

6. Электромеханический колонковый буровой снаряд. Патент Российской Федерации, № 2337225, МПК Е21В 4/04 / Э.А. Загривный, В. В. Рудаков, С. С. Стародед, Ю. А. Гаврилов // Бюл. №30, 27.10.2008.

7. Электромеханический колонковый буровой снаряд. Патент РФ на полезную модель №95728 / Загривный Э. А., Фоменко А. Н., Иваник В. В. // от 11.12.2009 г.

Рецензенты:

Шклярский Я. Э., доктор технических наук, профессор кафедры "Электротехника, электроэнергетика, электромеханика", Национальный минерально-сырьевой университет "Горный", г. Санкт-Петербург.

Дмитриев Б. Ф., доктор технических наук, профессор кафедры электротехники и электрооборудования судов, ФГБОУ ВПО Санкт-Петербургский государственный морской технический университет, г. Санкт - Петербург.