

Д.А. Ведерников, Г.А. Килин
Пермский национальный исследовательский
политехнический университет, Пермь

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДАТЧИКА ДБСКТ ДЛЯ ВНА ГТЭС

В данной статье представлена разработка математической модели датчика ДБСКТ для применения ее в модели ГТУ. Собран теоретический материал по протеканию физических процессов в реальном датчике. Выполнено моделирование и сравнение полученных характеристик с реальным объектом. Произведен и доказан расчет угла поворота ротора реального датчика и математической модели.

Ключевые слова: дублированный бесконтактный синусно-косинусный трансформатор; газотурбинная установка, газотурбинная электростанция; газотурбинный двигатель; математическая модель.

D.A. Vedernikov, G.A. Kilin
Perm national research polytechnic university, Perm

MATHEMATICAL MODEL OF DBSKT SENSOR FOR VNA GTES

This article presents the development of a mathematical model of the DBSCT sensor for its application in the GTU model. Theoretical material on the course of physical processes in a real sensor is collected. Simulation and comparison of the obtained characteristics with a real object are performed. The calculation of the rotation angle of the rotor of the real sensor and the mathematical model is made and proved.

Keywords: duplicated contactless sine-cosine transformer; gas turbine plant, gas turbine power plant; gas turbine engine; mathematical model.

Применение в электроэнергетике и электротехнике газотурбинных двигателей в наземных электростанциях является одним из актуальных направлений, поскольку могут обеспечивать электроэнергией не только бытовых электропотребителей, но и промышленные предприятия.

Газотурбинная электростанция (ГТЭС) является сложным и дорогостоящим механизмом, поскольку включает в себя много мелких деталей. На сегодняшний день с развитием компьютерной техники строят патетические модели данных электростанций. Это делается для того, чтобы можно было предугадать возможное поведение системы, провести проверки на отказоустойчивость работы ГТЭС, получить расчет возможного КПД установки. [2]

Если говорить о математическом моделировании, то необходимо понимать, что это такое и что в себя включает? Прежде всего, любое моделирование подразумевать применение теоретических аспектов знаний. Если же говорить о математическом моделировании технических систем, то оно основано на применении математического аппарата, в частности, алгебраические и дифференциальные уравнения, алгебру логики и другие.

Одной из положительных характеристик математического моделирования является возможность проверки и доработки механизмов до включения в рабочий режим реальных установок.

Поскольку основной составляющей ГТЭС является газотурбинная установка (ГТУ), в состав которой входят управляющие и следящие системы.

Наиболее важным в ГТУ является узел входного направляющего аппарата (ВНА), который необходим для создания постоянного и одинакового давления в компрессор низкого давления ГТУ газотурбинной электростанции. Поскольку лопатки ВНА не представляется возможным выполнить жестко закрепленными, что привело бы к получению только одного режима работы ГТУ. Это негативно сказалось бы на работе двигателя. Так как невозможно получить одинаковые параметры окружающей среды для нормальной работы двигателя. Поэтому для отслеживания угла поворота используется датчик ДБСКТ. Общий вид датчика ДБСКТ-250-1Ш представлен на рисунке 1.

Актуальность разработки и применения данного устройства в ГТЭС подтверждается тем, что при определении угла поворота лопаток ВНА можно значительно влиять на энергоэффективность ГТУ. [2]

Активная работа в развитии трансформаторов относится еще к XIX веку. С тех пор разработано множество конструкций трансформаторов. В свою очередь, датчик ДБСКТ является трансформатором с поворотным ротором, похожим конструктивно на асинхронный двигатель (АД). [3]

Датчики ДБСКТ предназначены для выдачи в САУ информации об угловом положении ВНА КВД и заслонки (тарелки) клапана перепуска воздуха за КНД. Применение ВНА дает возможность изменять режим работы двигателя. [1]

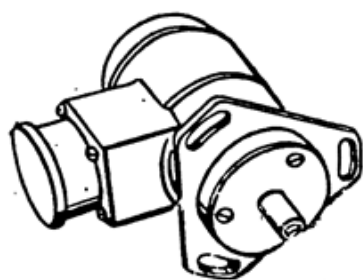


Рисунок 1 – Общий вид датчика ДБСКТ–250–1Ш

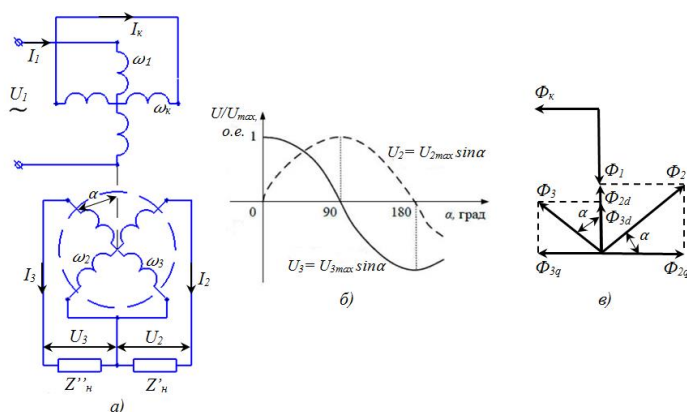


Рисунок 2 – Синусно-косинусный вращающийся трансформатор в синусно-косинусном режиме

Данный тип датчика включает в себя статор и ротор в виде магнитопроводов с пазами на наружных сторонах. Имеет четыре обмотки, расположенные две на статоре (w_1 и w_k) и две на роторе (w_2 и w_3) (рисунок 2). Статорные обмотки сдвинуты относительно друг друга в пространстве на угол 90° и чаще всего эти обмотки имеют одинаковое число витков, следовательно, получаем одинаковое сопротивление (Z_1 и Z_k).

При включении обмотки статора в цепь переменного синусоидального напряжения, ЭДС на обмотке w_1 будет меняться по закону синуса. Следовательно, ЭДС обмотки будет также меняться по закону синуса. Получаем напряжение \dot{U}_2 на выходе в зависимости от угла поворота ротора α :

$$\dot{U}_2 = \dot{U}_{2m} \sin \alpha, \quad (1)$$

тогда, поскольку напряжение на выходе обмотки w_3 сдвинуто на 90° , то \dot{U}_3 :

$$\dot{U}_3 = \dot{U}_{3m} \sin\left(\frac{\pi}{2} + \alpha\right) = \dot{U}_{3m} \cos \alpha. \quad (2)$$

Из зависимостей (1) и (2) видно, что напряжения меняются по синусной и косинусной зависимостям. Также из этих выражений и условий равенства обмоток получаем значения напряжений \dot{U}_{2m} и \dot{U}_{3m} будут одинаковы и определяются выражением (3). [4]

$$\dot{U}_{2m} = \dot{U}_{3m} = (w_2/w_1)\dot{U}_1, \quad (3)$$

где \dot{U}_1 – входное напряжение ПТ, определяемое на зажимах обмотки возбуждения w_1 .

Используя выражение (3), получаем напряжения на выходе синусной и косинусной обмотках:

$$\dot{U}_2 = \dot{U}_1(w_2/w_1) \sin \alpha, \quad (4)$$

$$\dot{U}_3 = \dot{U}_1(w_3/w_1) \cos \alpha. \quad (5)$$

В том случае если трансформатор предназначен для измерения угла поворота, то чаще всего используют синусоидальную обмотку в качестве выходного сигнала. Косинусная обмотка применяется в том случае если необходимо получить калибровочную характеристику. [5,6]

Технические данные датчика необходимые для моделирования:

1) напряжение источника питания – $6 \pm 0,6$ В;

2) частота напряжения, генерируемая на источнике питания – 2000 ± 100

Гц;

3) максимальное выходное напряжение – $3,8 \pm 0,4$ В.

Как уже было выше сказано, величина напряжения на выходе одной из обмоток пропорционально $\sin \alpha$, а другой $\cos \alpha$.

Математическая модель датчика ДБСКТ представлена на рисунке 3.

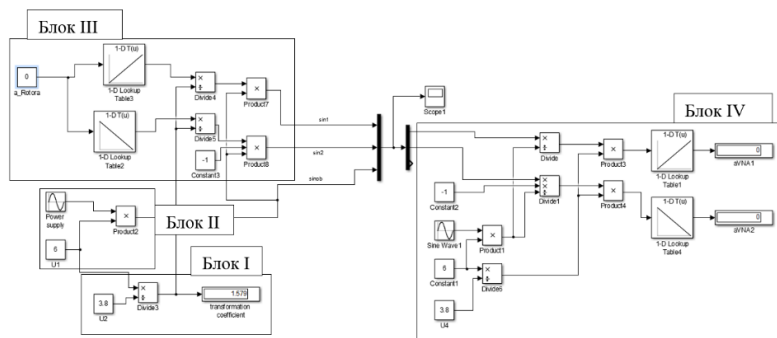


Рисунок 3 – Математическая модель датчика ДБСКТ

На схеме (см. рисунок 3) модель датчика состоит из 3 блоков (блок I, II, III) и блок считывания напряжения и преобразования его в угол (IV).

Блок I – производит расчет коэффициента трансформации трансформатора по выражению (6).

$$k = \frac{U_1}{U_2}, \quad (6)$$

где U_1 – напряжение, источника питания, а также статорное напряжение датчика, U_2 – напряжение выходе, снимаемое со вторичной обмотки.

Паспортные данные реального датчика ДБСКТ-250-1Ш: постоянная величина напряжения на статоре датчика $U_1 = 6$ В, а выходное напряжение с датчика U_2 может меняться от -3,8 В до 3,8 В в зависимости от поворота вала ротора датчика.

Используя формулу (6), рассчитаем коэффициент трансформации. Данный коэффициент необходим для связи напряжений первичной и вторичной обмоток. Величина коэффициента трансформации в модели представлена на дисплее “Блоком I” (см. рисунок 3).

$$k = \frac{6 \text{ В}}{3,8 \text{ В}} = 1,579. \quad (7)$$

Полученные данные идентичны.

Блок II математической модели выполняет функции источника питания и соответственно обмотку статора, с параметрами напряжения 6 В и частотой 2 кГц (12566.400 рад/с).

Блоком III модели выполняет функцию поворота ротора. На рисунке 3 в *a_Rotora* можно задавать величину угла поворота ротора. В реальном же датчике это выполняется вращением ротора.

Блок IV – блок для считывания величины напряжения со вторичной обмотки и преобразования его в электрический сигнал с последующей выдачей значения в САУ.

Выполняя моделирование при повороте угла ротора реального датчика в положении ноль и задании нулевого положения математической модели видно, что характеристики идентичны (рисунок 4).

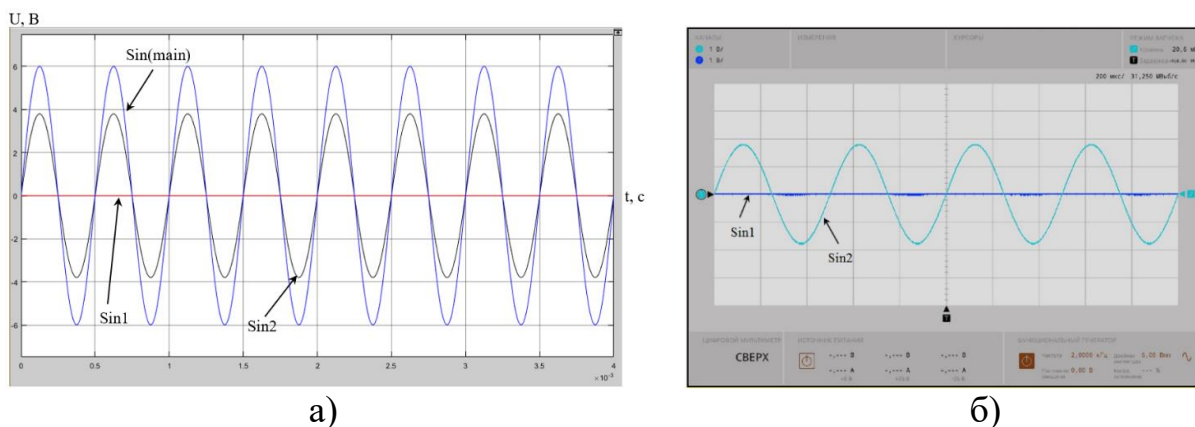


Рисунок 4 – Графики выходного напряжения при $\alpha = 0^\circ$,

а) в результате имитационного моделирования датчика ДБСКТ, б) реальный режим работы датчика ДБСКТ

Если проверить теоретически, подставив $\alpha = 0^\circ$ в уравнения (1) и (2). Получим величину $\sin(0^\circ) = 0$, поэтому величина напряжения $U_1 = 0$ В, а напряжение U_2 пропорционально $\sin\left(\frac{\pi}{2} + \alpha\right)$ (сдвинут на 90°). Поэтому можно сказать, что величина U_2 будет изменяться по $\cos \alpha$, а $\cos 0^\circ = 1$, то напряжение $U_2 = 3,8$ В.

Изменяя угол поворота как модели, так и реального датчика на $\alpha = -40^\circ$. Напряжение на выходе будут зависеть от угла $\alpha = -40^\circ$. Расчет производим аналогично как для $\alpha = 0^\circ$. Графики представлены на рисунке 5.

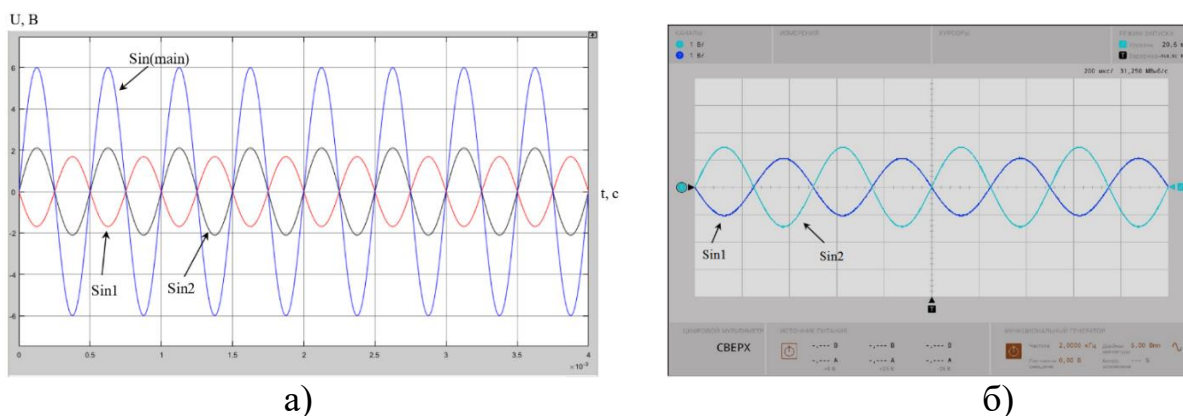


Рисунок 5 – Графики выходного напряжения при $\alpha = -40^\circ$,

а) в результате имитационного моделирования датчика ДБСКТ, б) реальный режим работы датчика ДБСКТ

В случае угла $\alpha = -90^\circ$, получим величину $\sin(-90^\circ) = -1$, поэтому величина напряжения $U_1 = -3.8$ В, а напряжение U_2 пропорционально $\sin\left(\frac{\pi}{2} + \alpha\right)$ (сдвинут на 90°) или это есть $\cos \alpha$. Подставив α в косинус получаем $\cos(-90^\circ) = 0$, получаем напряжение $U_2 = 0$ В. Результат моделирования математической модели и реального датчика представлен на рисунке 6. Как видно из рисунков, характеристики получились идентичные. Это говорит о том, что данную модель можно включить в математическую модель ГТУ.

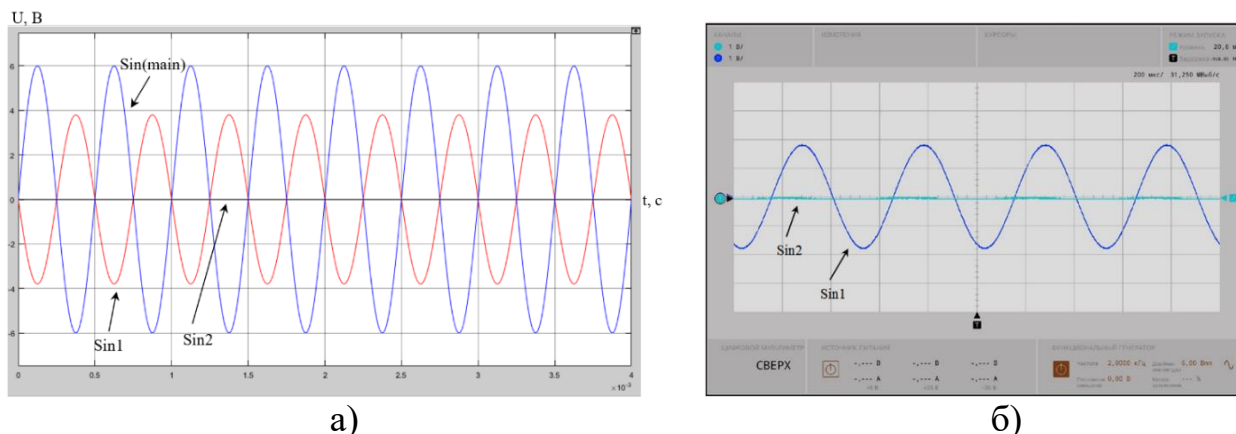


Рисунок 6 – Графики выходного напряжения при $\alpha = -90^\circ$,

а) в результате имитационного моделирования датчика ДБСКТ, б) реальный режим работы датчика ДБСКТ

Таким образом, в рамках разработки математической модели ГТУ АО «ОДК-Авиадвигатель» была подготовлена математическая модель датчика ДБСКТ. В процессе работы также была доказана необходимость применения данного устройства в работе ГТУ. Для этого была изучена техническая документация на датчик. Описан принцип работы и физика процессов, происходящих внутри датчика. Представлены аналитические уравнения, при помощи которых выполнено построение математической модели. Полученные характеристики модели и реального датчика получились идентичны, что говорит о возможности использования данной модели в общей модели ГТУ.

Список литературы

1. Баканов М.В. Информационные микромашины следящих и счетно-решающих систем (вращающиеся трансформаторы, сельсины) / М. В. Баканов, В. А. Лыска, В.В. Алексеев. – Москва: Сов. радио, 1977.
2. Ведерников Д.А. Резервное питание предприятий на основе газотурбинных электростанций / Д.А. Ведерников, Г.А. Килин // Материалы X международной интернет-конференции молодых ученых, аспирантов, студентов «Инновационные технологии: теория, инструменты, практика». – Пермь, 2018. – С. 301-307. – URL: <https://innotech.pstu.ru/archive/2018.pdf> (дата обращения 05.12.2020).
3. Вращающийся трансформатор [Электронный ресурс] / Электрические трансформаторы – URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Вращающийся_трансформатор(дата обращения 10.11.2020).
4. Леонов А.И. Инерционные автоматические трансформаторы вращающего момента / А. И. Леонов. - Москва: Машиностроение, 1978.
5. Осин И.Л. Электрические машины автоматических устройств: учебное пособие для вузов / И.Л. Осин, Ф.М. Юферов. - М.: Изд-во МЭИ, 2003.
6. Юферов Ф.М. Электрические машины автоматических устройств: учебник для вузов / Ф.М. Юферов. - Москва: Высш. шк., 1976.

Сведения об авторах

Ведерников Дмитрий Андреевич – магистрант Пермского национального исследовательского политехнического университета, Пермь, email: vedernikov.d.a98@mail.ru

Килин Григорий Александрович – старший преподаватель кафедры «Электротехника и электромеханика», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь, email: thisisforasm@rambler.ru

About the authors

Vedernikov Dmitry Andreevich – Master's student of Perm National Research Polytechnic University, Perm, email: vedernikov.d.a98@mail.ru

Kilin Grigory Alexandrovich – Senior Lecturer of the Department of Electrical Engineering and Electromechanics, Perm National Research Polytechnic University, Perm, email: thisisforasm@rambler.ru