

**Авторы:**

**Алдохина Александра Степановна**

студентка

**Шульга Вера Ивановна**

студентка

**Научный руководитель:**

**Гринберг Георгий Михайлович**

доцент

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный аэрокосмический

университет им. академика М.Ф. Решетнева»

г. Красноярск, Красноярский край

## **ЛАБОРАТОРНЫЙ СТЕНД ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ВРАЩАЮЩИХСЯ ТРАНСФОРМАТОРОВ**

**Аннотация:** в данной статье представлено краткое описание вращающихся трансформаторов, имеющих широкое применение в приборах систем управления аэрокосмической и ракетной техники. Обоснована необходимость создания учебного лабораторного стенда для исследования трансформаторов. Приведены особенности разработанного лабораторного стенда.

**Ключевые слова:** вращающийся трансформатор, система управления, летательный аппарат, лабораторный стенд.

Современный этап развития аэрокосмической техники характеризуется устойчивой тенденцией к росту интенсивности ее использования, а также повышенным требованиям к безопасности и безаварийности ее работы. В результате возрастают требования к точности и качеству систем управления движением летательных аппаратов (ЛА).

Любой ЛА должен осуществлять полет по заданной траектории. Однако в реальных условиях при движении ЛА на него оказывают влияние различные внешние факторы (состояние атмосферы, параметры работы двигательной установки, режим полета и др.). Вследствие действия этих возмущающих факторов

параметры полета ЛА отклоняются от расчетных. В связи с чем, одной из задач управления летательным аппаратом является его удержание на траектории, характеристики которой определены полетным заданием.

Как известно, движение какого-либо объекта рассматривается в виде совокупности двух составляющих: движения в пространстве центра масс объекта и углового движения объекта вокруг центра масс. Угловое движение ЛА характеризуется тремя углами: углом крена, углом рыскания и углом тангажа.

Одной из важнейших функций систем автоматического управления ЛА является стабилизация этих углов. Для успешного автоматического управления летательным аппаратом нужно иметь сведения об углах и угловых скоростях отклонения объекта управления от заданной траектории. Необходимость управления угловым движением вызывается тем, что летательный аппарат должен занимать вполне определенное положение по отношению к вектору скорости центра масс [2].

Для определения углов крена, рыскания и тангажа на ЛА устанавливаются предназначенные для этого бортовые приборы, в конструкции которых используются датчики угла. Принцип работы и устройство датчиков угла определяется решаемыми бортовыми приборами задачами. В случае, когда к бортовым приборам предъявляются повышенные требования по точности, стабильности параметров и некоторым другим характеристикам, в их составе широкое применение находят вращающиеся трансформаторы (ВТ).

Согласно ГОСТ 27471–87 «Машины электрические вращающиеся. Термины и определения», вращающийся трансформатор – это информационная электрическая машина, амплитуда выходного напряжения которой является функцией входного напряжения и углового положения ротора [4].

Вращающиеся трансформаторы, называемые иногда поворотными, широко используются в автоматических следящих системах и регуляторах, системах навигации летательных аппаратов, робототехнике и других областях промышленности и техники [5].

На рис. 1 показана конструкционная схема ВТ.

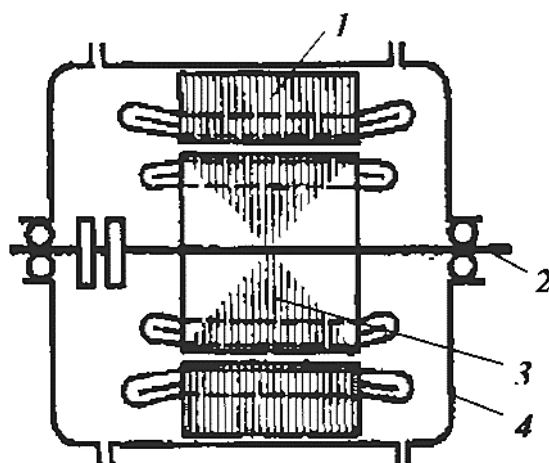


Рис. 1. Конструкционная схема вращающегося трансформатора: 1 – обмотки статора; 2 – ротор; 3 – обмотки ротора; 4 – корпус

Основными элементами ВТ являются: жестко закрепленный в корпусе 4 статор, имеющий обмотки 1; свободно вращающийся на шарикоподшипниках ротор 2, имеющий обмотки 3. На корпусе 4 ВТ имеются элементы, позволяющие устанавливать ВТ в приборе, в состав которого они входят, в строго определенном положении. Принцип работы ВТ основан на том, что при вращении ротора взаимная индуктивность между обмотками статора и ротора изменяется в определенной функциональной зависимости от угла поворота ротора. Электродвижущая сила, наводимая в обмотках ротора пульсирующим магнитным потоком, следует этой зависимости.

Соответствие технических характеристик ВТ требуемым значениям оказывает существенное влияние на точность и качество работы приборов, в которых они используются. Поэтому ВТ перед установкой их в приборы должны проходить тщательный контроль и поверку электрических характеристик. А у специалистов, выполняющих такие работы, должны быть развиты компетенции проведения названных операций контроля и поверки.

Для успешной подготовки к дальнейшей результативной профессиональной деятельности на производстве студенты, обучающиеся на кафедре систем автоматического управления (САУ) по специальности «Системы управления летательными аппаратами», в рамках своих образовательных программ должны по-

лучать не только теоретические знания, но и практические навыки работы с приборами и оборудованием. Данная задача может быть решена при условии, что будет реализована образовательная стратегия, предусматривающая наличие необходимого учебно-методического обеспечения. При организации лабораторного практикума в состав учебно-методического обеспечения должны входить как объекты изучения, так и учебные лабораторные стенды, предназначенные для исследования этих объектов. Лабораторные стенды должны быть укомплектованы необходимыми электроизмерительными и радиоизмерительными приборами, а также набором учебно-методических документов.

Целью нашей работы является разработка лабораторного стенда «Исследование вращающихся трансформаторов», позволяющего развивать у студентов требуемые компетенции выполнения операций контроля электрических характеристик ВТ.

Концепция технической реализации лабораторного стенда «Исследование вращающихся трансформаторов» описана в работе «Проект учебного лабораторного стенда «Исследование вращающихся трансформаторов» [1, с. 1071–1073].

На рис. 2 представлена разработанная нами структурная схема лабораторного стенда.



Рис. 2. Структурная схема лабораторного стенда «Исследование вращающихся трансформаторов»

Исследуемый ВТ посредством соединительного кабеля подключается к генератору-фазометру ГФ-21. Прибор ГФ-21, предназначен для измерения вели-

чины фазового сдвига между выходным током и входным напряжением датчиков, имеющих вход по переменному току (напряжение частоты 1000 Гц модулированное по амплитуде), выход по постоянному току и подходит для наших целей по техническим характеристикам. Электропитание прибора ГФ-21 от источников питания с напряжением  $40 + 2,2 / - 2,0$  В переменного тока частоты  $1000 \pm 10$  Гц и  $28,0 \pm 3,0$  В постоянного тока [3].

Внешние измерительные приборы (осциллограф, вольтметры, амперметры) и источники питания, с необходимыми техническими характеристиками, не выдаются студентами в виде готового набора, а подбираются ими самостоятельно из арсенала приборов кафедры САУ. Тем самым в образовательный процесс привносится элемент проблемного обучения, представляющего собой «такую организацию учебных занятий, которая предполагает создание под руководством преподавателя проблемных ситуаций и активную самостоятельную деятельность учащихся по их разрешению, в результате чего и происходит творческое овладение профессиональными знаниями, навыками и умениями и развитие мыслительных способностей» [6, с. 60–61].

Для контроля параметров ВТ необходимо задавать строго определенные угловые положения между ротором и статором (или корпусом, что тоже самое, так как статор закреплен в корпусе) ВТ. Для этого нами был спроектирован задатчик угловых положений, чертеж общего вида которого представлен на рис. 3. Задатчик угловых положений предназначен для контроля параметров ВТ различного конструктивного исполнения и позволяет поворачивать корпус ВТ относительно неподвижного ротора на  $360^\circ$  и устанавливать в требуемое положение.

Исследуемый ВТ закрепляется на пластине, которая с помощью прижимных планок 3 и винтов-барашков 4 прижимается к поворотному кольцу 2. При этом ось ротора ВТ располагается внутри муфты 8, установленной на планке 9. Имеющиеся на муфте 8 установочные винты с прямым шлицем и острым (коническим) концом позволяют зафиксировать ось ротора ВТ в неподвижном положении.

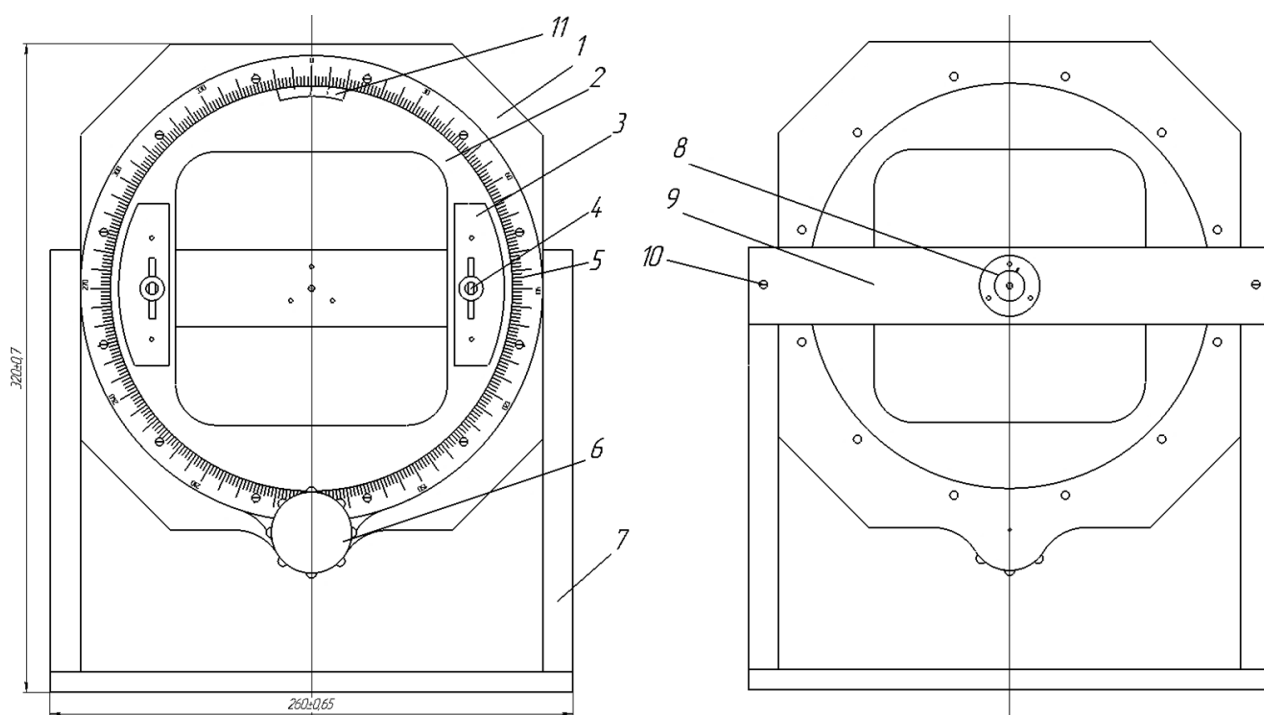


Рис. 3. Чертеж общего вида задатчика угловых положений. Вид спереди, сзади: 1 – неподвижное кольцо; 2 – поворотное кольцо; 3 – прижимная планка; 4 – винт-барашек; 5 – шкала; 6 – ручка; 7 – основание; 8 – муфта; 9 – планка; 10 – винт; 11 – нониус

Кольцо 2 имеет возможность поворачиваться относительно неподвижного кольца 1 при помощи ручки 6. Отсчет угла поворота кольца 2 производится по шкале 5, нанесенной на плоскости неподвижного кольца 1, и нониусу 11, расположенному на кольце 2.

Применяемые в бортовых приборах летательных аппаратов вращающиеся трансформаторы имеют различное конструктивное исполнение и различные габаритные размеры. Для того, чтобы в задатчике угловых положений можно было устанавливать различные ВТ, лабораторный стенд комплектуется набором съемных пластин. В качестве примера на рис. 4 показана пластина для вращающегося трансформатора, имеющего фланцевое крепление. На пластине имеются отверстия для винтов крепления фланца и отверстие для оси ротора.

Выполнение элемента крепления исследуемого ВТ в виде съемной пластины позволяет устанавливать в задатчик угловых положений вращающиеся трансформаторы различных конструктивных и габаритных исполнений.

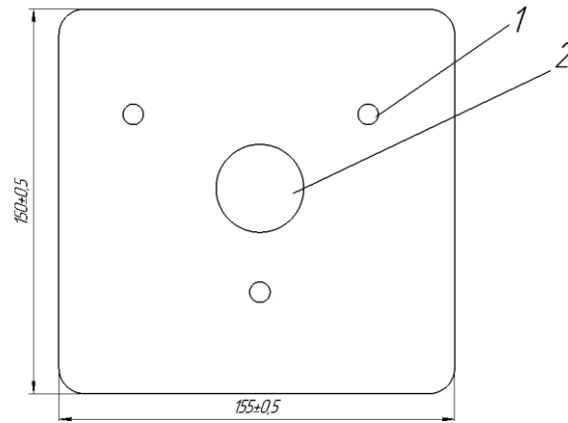


Рис. 4. Пластина крепления исследуемого вращающегося трансформатора:

1 – отверстия для крепления фланца, 2 – отверстие для оси ротора

Выполнение лабораторной работы на разработанном стенде позволяет студентам:

- закрепить на практике полученные теоретические знания в области специальных электрических машин;
- усвоить навыки экспериментального исследования подобных устройств;
- сравнить характеристики ВТ, полученные в ходе эксперимента, с теоретическими характеристиками и оценить погрешности ВТ;
- развить у студентов интерес к изучаемой дисциплине и экспериментальной деятельности.

### ***Список литературы***

1. Алдохина А.С. Проект учебного лабораторного стенда «Исследование вращающихся трансформаторов» / А.С. Алдохина, В.И. Шульга // Актуальные проблемы Авиации и космонавтики: материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвященной Дню космонавтики (10–15 апреля 2016 г., Красноярск): в 2 т. Т. 2 / Под общ. ред. Ю.Ю. Логинова; Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. – Красноярск, 2016 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://apak.sibsau.ru/page/materials> (дата обращения: 27.11.2016).

2. Воробьёв В.В. Системы управления летательных аппаратов: Учебник для курсантов и слушателей вузов ВВС [Текст] / В.В. Воробьёв, А.М. Киселёв, В.В. Поляков. – М.: ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского, 2008. – 203 с.

3. Генратор-фазометр ГФ-21. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. – 1985. – 34 с.

4. ГОСТ 27471–87 «Машины электрические вращающиеся. Термины и определения». – М.: ИПК Издательство стандартов, 1987. – 64 с.

5. Датчики. Вращающиеся трансформаторы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.rtkt.ru/components/datchiki.html> (дата обращения 08.09.2016).

6. Селевко Г.К. Современные образовательные технологии: Учебное пособие [Текст] / Г.К. Селевко. – М.: Народное образование, 1998. – 256 с.