

2. Дьякова Г. Н., Смяян В. Е., Кордикова Е. И. 3D-сканирование и последующее изготовление анатомических моделей методами аддитивных технологий // Труды БГТУ. Сер. 2, Химические технологии, биотехнологии, геоэкология. 2023. № 1 (265). С. 15–20. DOI: 10.52065/2520-2669-2023-265-1-2.

УДК 621.22.018.8: 621.317.79: 681.14

## **СТЕНД ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ ПРИВОДОВ ПРОПЕЛЛЕРОВ БПЛА В ПЕРЕХОДНЫХ РЕЖИМАХ**

**М.Ю. ЩЕГЛОВ, Д.Е. ЛУНГУ**

Казанский национальный исследовательский технический  
университет им. А. Н. Туполева – КАИ (КНИТУ-КАИ)  
Казань, Россия

С целью исследования приемистости и управляемости приводов пропеллеров БПЛА, формирования оптимальных законов управления, а также, решения задач стандартизации и сертификации данных устройств, актуальной является задача определения частоты вращения приводов пропеллеров БПЛА в лабораторных условиях с фиксацией переходных процессов по данному параметру.

Первичный сигнал может быть легко получен, например, от микрофонного датчика, расположенного рядом с вращающимся пропеллером, или с уже встроенного в некоторые электроприводы датчика Холла – с последующим преобразованием в периодические импульсные сигналы и преобразованием их параметров электронно-счётными средствами. Однако основной проблемой решения подобных задач является противоречие между временем, выделенным на измерение, которое не должно быть большим по соображениям фиксации частоты именно в переходных режимах, самой измеряемой частотой и требуемой точностью измерения. Так, например, если требуется циклически проводить измерения частоты вращения пропеллера за 0,1 с (10 отсчётов в секунду), а сама измеряемая частота составляет 200 Гц, то подсчитанные за 0,1 с всего 20 импульсов методом непосредственного счёта дадут погрешность  $\pm 5\%$ , поскольку в зависимости от взаимного расположения измеряемых импульсов относительно начала и конца интервала измерения, реально их может уместиться и 19 и 21.

Данная проблема в цифровой измерительной технике известна и решается давно, существуют не только статьи и монографии, но и учебники, в которых описаны различные способы и устройства, например, /1/. Вновь классифицировать их нет необходимости в рамках данной статьи, можно указать лишь на два обстоятельства.

1. Высокая точность существующих эталонов времени и частоты (прежде всего кварцевых генераторов – до  $10^{-8}$  относительных единиц, и меньше), а также, высокая частота тактового генератора и большая ёмкость счётчиков, позволяют с высокой точностью фиксировать временные параметры исследуемых импульсов.

2. Начало, и окончание интервала времени измерения не могут быть синхронизированы с фронтами исследуемого сигнала.

Исходя из этого представляется наиболее эффективным очевидный способ определения средней частоты  $f_x$  исследуемого сигнала за заданное время  $T_u$  измерения, суть которого поясняет рис. 1, на котором отображён входной сигнал после преобразования в прямоугольные импульсы  $U_{вх}$ .

В качестве примера, близкого к крайнему случаю, здесь отображена ситуация, когда за время измерения  $T_u$  умещается только два целых периода входного сигнала, соответственно, число попавших передних фронтов импульсов  $U_{вх}$  равно трём,  $N = 3$ . Для меньших,  $N$  данный способ измерения теряет смысл

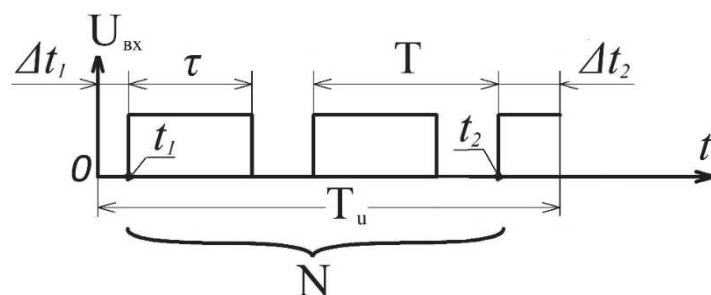


Рис. 1. Временная диаграмма входного импульсного сигнала в наложении на интервал измерения

Здесь отображается промежуток времени только однократного измерения от нуля до  $T_u$ , в течение которого ведётся фиксация величин, необходимых для определения средней за время  $T_u$  частоты  $f_x$ . Очевидно, что наряду с  $N$  и заданным  $T_u$ , это  $\Delta t_1$  (время от начала измерения  $t = 0$  до момента появления первого переднего фронта импульса  $U_{вх}$ ) и  $\Delta t_2$  (время от последнего на интервале измерения переднего фронта импульса  $U_{вх}$  до конца интервала измерения  $T_u$ ). Видим, что если данные величины определены, то искомая величина определяется соотношением

$$f_x = \frac{(N - 1)}{T_u - \Delta t_1 - \Delta t_2 + \delta t}$$

где  $\delta t$  – инструментальная погрешность определения временных параметров знаменателя ( $N$  как целочисленное значение определяется счётом, соответственно не имеет погрешности).

С учётом современного уровня развития электронной импульсной и цифровой техники задача фиксации моментов времени по рис. 1 с получением необходимых величин и их счёт с последующим вычислением искомой величины по приведённой зависимости на аппаратном и программном уровнях достаточно просто решается с помощью микроконтроллеров, содержащих аналоговые и цифровые входы и выходы и терминал для ввода и отображения данных.

Таким образом, может быть предложена структурно-функциональная схема для исследования частоты вращения приводов пропеллеров БПЛА в переходных режимах, представленная на рис. 2

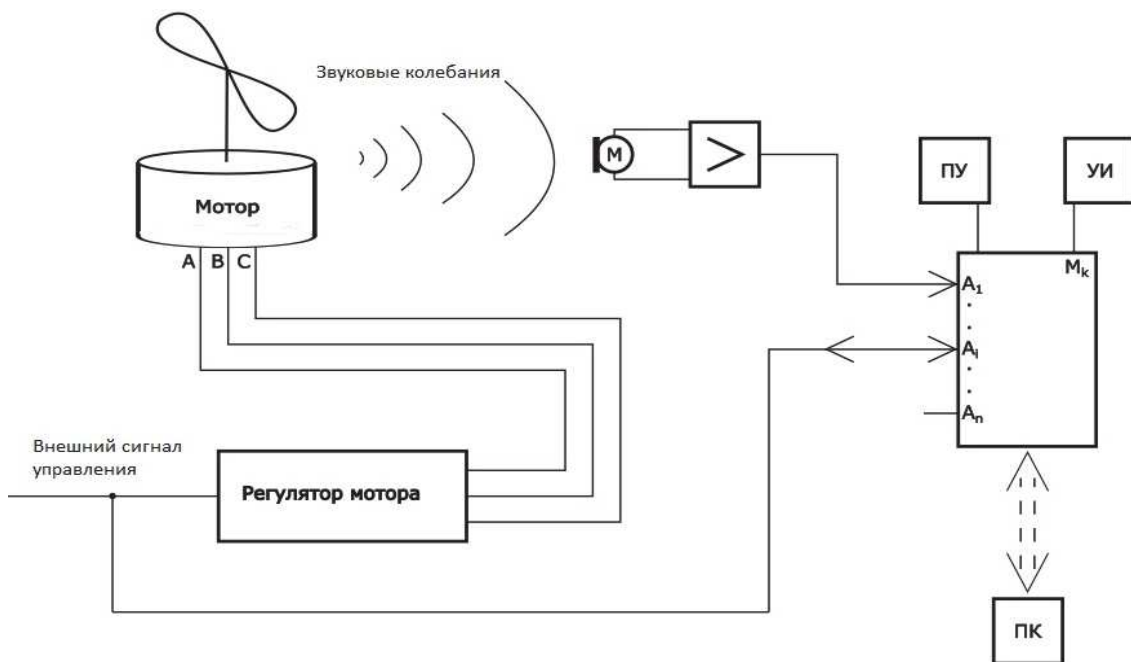


Рис. 2. Структурно-функциональная схема для исследования частоты вращения приводов пропеллеров БПЛА

В неё входят:

- мотор с пропеллером и электронным регулятором;
- датчик частоты вращения – в данном случае, например, микрофон М с предварительным усилителем;
- микроконтроллер МК с аналоговыми входами-выходами  $A_1 \dots A_n$ , пультом управления ПУ и устройством индикации УИ.

Кроме того, в системе может быть применён персональный компьютер ПК, соединённый с микроконтроллером МК по отдельной интерфейсной линии, например, через порт USB.

Система работает следующим образом.

При вращении пропеллера мотора периодические звуковые колебания улавливаются микрофонным датчиком М и после предварительного усиления поступают на аналоговый вход  $A_1$  микроконтроллера МК. Последний заранее запрограммирован с клавиатуры пульта ПУ либо другим способом, реализуя следующие действия. Он формирует из входного микрофонного сигнала импульсы  $U_{вх}$ . в соответствии с рис. 1, фиксирует соответствующие моменты времени и оцифровывает необходимые параметры, квантуя временные промежутки внутренними тактовыми импульсами достаточно высокой частотой  $f_T$ . Затем осуществляет вычисление по приведённой формуле и выводит результат на устройство индикации УИ. При этом временной интервал формируется как целое число периодов тактовых импульсов, тогда погрешность квантования временных интервалов не превысит длительности двух тактовых импульсов, т.е. в приведённом выше соотношении

$$\delta t \leq \frac{2}{f_T}$$

Программа измерения частоты  $f_x$  в микроконтроллере зациклена, т.е. начиная со следующего такта процесс измерения повторяется, и через новый промежуток времени  $T_u$  результат обновляется, позволяя таким образом фиксировать изменения исследуемой частоты вращения, в том числе, в переходных режимах.

Управление мотором через регулятор может осуществляться как от внешнего сигнала управления, так и от микроконтроллера М – через аналоговый двунаправленный вывод  $A_i$ . В последнем случае формирование, обработка и передача сигналов управления мотором осуществляется по отдельной подпрограмме, записанной в микроконтроллер М. Применение персонального компьютера ПК даёт дополнительные возможности управления и обработки.

Правомочность предложенных в данной статье технических решений подтверждена результатами моделирования. Можно показать теоретически и это также подтверждено моделированием, что уже при тактовой частоте счёта временных параметров  $f_T = 1$  МГц входные частоты от 100 до 1000 Гц при  $T_u = 0,1$  с (цикличность измерений 10 Гц), будут измерены с погрешностью не более 0,02 Гц.

Таким образом, предложенный в данной работе стенд, позволяет исследовать характеристики широкого класса моторов, применяемых в БПЛА, с целью их нормирования и улучшения.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Ермолов Р.С. Цифровые частотомеры, “ЭНЕРГИЯ”, Ленинградское отделение, 1973 152 с. с ил.

УДК 621.3 + 629.735.4+ 739.826

### **СТУДЕНТЫ И ВОЛОНТЁРЫ: ОПЫТ ИННОВАЦИОННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ ОСВОЕНИЯ ВЫПУСКА МАЛЫХ ПАРТИЙ БПЛА В РАМКАХ СТУДЕНЧЕСКОГО КБ**

М.Ю. ЩЕГЛОВ<sup>1</sup>, А.И. СУСТАВОВА<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Казанский национальный исследовательский технический университет им. А. Н. Туполева – КАИ (КНИТУ-КАИ)  
Казань, Россия

<sup>2</sup>Центр помощи Новороссии «Матрёшка»  
Екатеринбург, Россия

В настоящее время БПЛА приобретают стремительное и повсеместное распространение в различных сферах деятельности человека. Одно из важнейших современных применений БПЛА – обеспечение безопасности. Особое значение они имеют на новых территориях в Новороссии, где наблюдение, а также доставка небольших грузов становятся вопросом жизни и смерти сотен и тысяч людей и жизнеспособности целых территорий.

При этом востребованность в готовых к эксплуатации МБПЛА в России также стремительно растёт. И, пожалуй, одной из главных проблем сейчас в деле освоения их производства и наладки является недостаток специализированных организаций и специалистов как по разработке (конфигурированию), так и сборке, отладке, программированию, и т.п. И речь сейчас не об инженерах и технологах, могущих создавать подобную технику и участвовать в наладке отечественного производства, это, видимо, дело лишь ближайшего будущего. Чтобы это стало возможным необходимо практический опыт, приобретённый ещё со студенческой скамьи будущими специалистами в возможно более массовом порядке.