

УДК 629.735.05 : 629.735.33-519

В.Ю. ЛАРІН

Національний авіаційний університет, Україна

ВИМІРЮВАННЯ КУТА ПОВОРОТУ РУЛЯ ВИСОТИ БЕЗПІЛОТНОГО ЛІТАЛЬНОГО АПАРАТУ ЗА ДОПОМОГОЮ ФЕРИМАГНІТНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА

В статті описано спосіб вимірювання кута повороту руля висоти безпілотного літального апарату за допомогою феримагнітного перетворювача переміщення, включеного в ланку зворотного зв'язку кола “блок керування польотом–рульова машинка”. Розглянуто структуру та принцип дії рулевих машинок, які застосовують на безпілотних літальних апаратах в якості виконавчих механізмів. Описано порядок розташування чутливого та приводного елементів феримагнітного перетворювача переміщення для контролю величини кута повороту руля висоти та наведено структуру каналу керування рульової машинки із ланкою зворотного зв'язку, що містить вказаний первинний перетворювач.

Ключові слова: безпілотний літальний апарат, рульова машинка, кут повороту, переміщення, феримагнітний перетворювач, чутливий елемент, приводний елемент.

1. Актуальність дослідження

В секторі безпілотної авіації одним із шляхів підвищення ефективності безпілотних літальних апаратів (БПЛА) є подальше удосконалення апаратури та алгоритмів систем автоматичного керування, що дозволить підвищити точність виконання поставлених перед БПЛА складних завдань. При цьому не менш значущим фактором розвитку вказаного сектору авіації є розроблення безпілотних апаратів низької вартості (так званих low-cost систем). Фактор зниження собівартості безпілотного літака застосовують до усіх його складових частин: безпосередньо літака та його навігаційної системи і системи автоматичного керування, які разом реалізують функцію автопілоту.

В системі автоматичного керування безпілотних літальних апаратів (БПЛА) основним виконавчим механізмом є рульові машинки (сервомашинки), які трансформують керуючий електричний сигнал від блока управління БПЛА у відповідну величину поворота качалки, що закріплена на валу редуктора рульової машинки. Качалка за допомогою тяги і кронштейна на іншому кінці тяги жорстко поєднана із рулем висоти (або елеронами). Відповідно, при повороті качалки сервомашинки відбувається поворот руля висоти і літальний апарат змінює своє місцеположення у вертикальній площині.

Якщо на БПЛА встановлені дешеві рульові машинки аналогового типу, система керування БПЛА не має можливості проконтролювати точність реалізації рулем висоти поданого на нього керуючого впливу. Враховуючи сказане, підвищується ризик невиконання заданого алгоритму польоту. Тому питання підвищення точності low-cost систем навігації та управління БПЛА є актуальним.

2. Аналіз існуючого положення

Рульові машинки класифікують за конструктивом, та за типом внутрішньої електронної схеми керування. Конструктивні розміри впливають на електромеханічні характеристики – момент, потужність, міцність, передатне відношення. Електронна схема реалізує відрізок алгоритму керування, визначає потрібну величину швидкості обертання валу двигуна машинки і відповідно швидкість повороту качалки, напрям руху повороту. За конструктивними розмірами рульові машинки визначають такі типи – “Стандарт”, “Міні”, “Мікро” і “Нано”. Існують також великі рульові машинки типу “Гігант”, але вони не застосовуються у БПЛА. Зовнішній вигляд рульової машинки такий як це показано на рис. 1 [1]. По зовнішньому вигляду машинки не можливо визначити тип її внутрішньої електронної схеми.

За типом електронної схеми розрізняють два типи рулевих машинок – аналогові і цифрові.



Рис. 1. Зовнішній вигляд сервомашинки класу Standart

Різниця між цими двома типами рульових машинок полягає в електричній принциповій схемі.

В схемах аналогових типів рульових машинок передбачено наявність локального зворотного зв'язку, роль якого виконує потенціометр. Розглянемо внутрішню схему аналогової рульової машинки (рис.2) [1, 2].

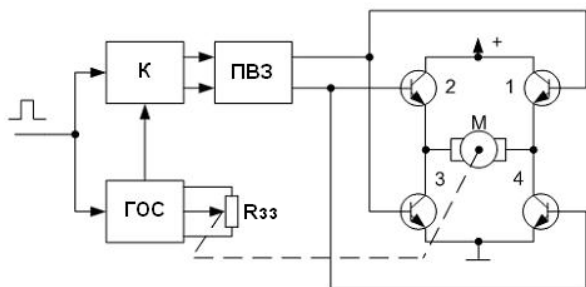


Рис. 2. Структура внутрішньої схеми рульової машинки

На рис.2. представлено такі елементи: К – компаратор, ПВЗ – пристрій вибірки-зберігання, М – електромотор; ГОС – генератор опорного сигналу, Rзз – потенціометр зворотного зв'язку.

Розглянемо функціонування внутрішньої схеми. Керуючий імпульс (або послідовність імпульсів) від автоматичного блоку керування надходить до компаратору і одночасно запускає генератор опорного сигналу. Опорним сигналом є також послідовність імпульсів. Тривалість імпульсу опорного сигналу залежить від потенціометра зворотного зв'язку, який механічно поєднано із вихідним валом машинки. Тривалість цього імпульсу може бути різною. Наприклад – від 1 мс до 2 мс із періодом 20мс. Вказані значення визначають крайні положення качалки рульової машинки, тобто – від мінус 45° до +45° відносно лінії нульового положення.

В компараторі відбувається порівняння керуючого та опорного імпульсів за тривалістю. Різницевий імпульс з'являється на верхньому або нижньому виводах компаратора, в залежності від того, який з порівнюваних імпульсів є тривалішим. Тривалість різницевого імпульсу визначає різницю між потрібним та дійсним положенням руля висоти. На протязі часу циклу керуючого імпульсу ця величина запам'ятовується у пристрої вибірки-зберігання у вигляді потенціалу постійної напруги. Вихідні сигнали із ПВЗ керують ключами транзисторного мосту 1-2-3-4, який забезпечує пряме або реверсне вмикання електродвигуна М.

Цифрові машинки містять мікроконтролер у колі зворотного зв'язку. Це дозволяє реалізувати складні алгоритми керування. Завдяки цифровій схемі такі машинки є більш швидкодіючими та

більш точнішими. Але це позначається на вартості – вартість цифрових рульових машинок значно більше ніж аналогових.

3. Постановка завдання дослідження

Завданням даної статті є розробка способу контролю поточного положення руля висоти, для його подальшого застосування як в аналогових, так і в цифрових рульових машинках.

4. Розробка способу контролю кута повороту руля висоти

Розглянемо схематично варіант застосування цифрової машинки для керування поворотом руля висоти (рис.3).

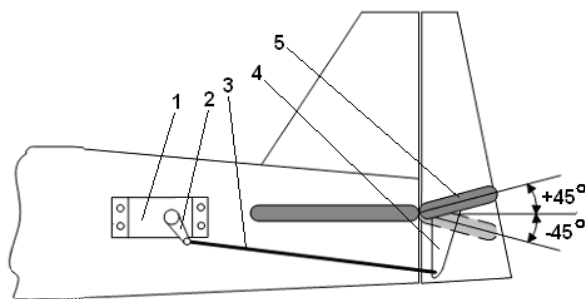


Рис. 3. Схема установки сервомашинки на БПЛА

На схемі цифрами позначено такі елементи: 1 – рульова машинка, 2 – качалка рульової машинки, 3 – тяга рульової машинки, 4 – кронштейн, 5 – руль висоти. На рис.3. показано варіант реалізації максимального кута повороту качалки від мінус 45° до +45°. Але для літальних апаратів такий великий кут повороту руля висоти не потрібен. Конструктор може встановити кронштейн невеликих розмірів для зменшення величини кута повороту або схемотехнічним (програмним) шляхом встановити необхідну межу зміни кута повороту.

В якості первинного перетворювача пропонується обрати феримагнітний перетворювач. Перевагою вказаного пристрою є те, що він дозволяє безконтактним шляхом визначати ряд механічних величин – положення, переміщення, кут повороту.

Чутливим елементом феримагнітного перетворювача є котушка індуктивності, яку намотано на феримагнітному осердді броньового типу, одна половина якого відкрита для розповсюдження магнітного потоку [3, 4]. Обрати можна як вітчизняні феритові вироби типу СБ, ОБ (рис.4), або осердя фірми Epcos – RM 10. При появі в зоні розповсюдження магнітного потоку феромагнітного об'єкту відбувається зміна добротності котушки. Оскільки котушка увімкнена в коливальний LC-контур автогенератора,

зміна її добротності призводить до зменшення амплітуди генеруємих LC-контуром синусоїдальних коливань, навіть до їх зриву, але зрив генерації коливань не є обов'язковою умовою функціонування датчика.



Рис. 4. Броньове феритове осердя

Зазвичай автогенератори будують по схемі ємнісної трьох точки, яку можна настроювати як на аналоговий так і на дискретний режим. У феримагнітних перетворювачах автогенераторного типу приладів вимірювання швидкості, переміщення, прискорення у якості інформативного параметру обирають добротність котушки [5]. Математично зміну добротності контуру можна представити як зміну еквівалентної індуктивності та активного опору котушки

$$Z_k = R_k(X) + j\omega \cdot L_k(X),$$

де Z_k – комплексний опір котушки,

$R_k(X)$ – активний опір котушки,

$\omega L_k(X)$ – реактивний опір котушки,

X – контролюємий параметр зовнішнього середовища, що змінюється.

Визначено математичну залежність вихідної напруги контуру від величини еквівалентної добротності:

$$U_{\text{вих}_k} = \frac{k \cdot \omega_0^2}{p^2 + \frac{\omega_0}{Q_3} \cdot p + \omega_0^2} \cdot U_{\text{вх}_k}, \quad (1)$$

де $U_{\text{вих}_k}$ – напруга на умовному виході контуру;

$U_{\text{вх}_k}$ – напруга на умовному вході контуру;

ω_0 – резонансна частота контуру;

Q_3 – еквівалентна добротність контуру;

k – коефіцієнт передачі контуру на резонансній частоті.

Наведений вище вираз (1) демонструє залежність вихідної напруги контуру від добротності, при незмінності частоти та вхідної напруги, яка є напругою живлення контуру. Схематичним шляхом ці параметри стабілізують. Тоді змінною є лише добротність, величина якої буде змінюватися при появі в зоні розповсюдження електромагнітного потоку котушки чутливого елемента будь якого феромагні-

тного елемента, який буде грати роль приводного елемента. На рис. 5 показано взаємодію чутливого елемента феримагнітного перетворювача із об'єктом, який з'являється у зоні магнітного потоку (штрихові лінії демонструють розповсюдження магнітного потоку). Більшість ліній магнітного потоку показано незамкнутими для наочності сприйняття.

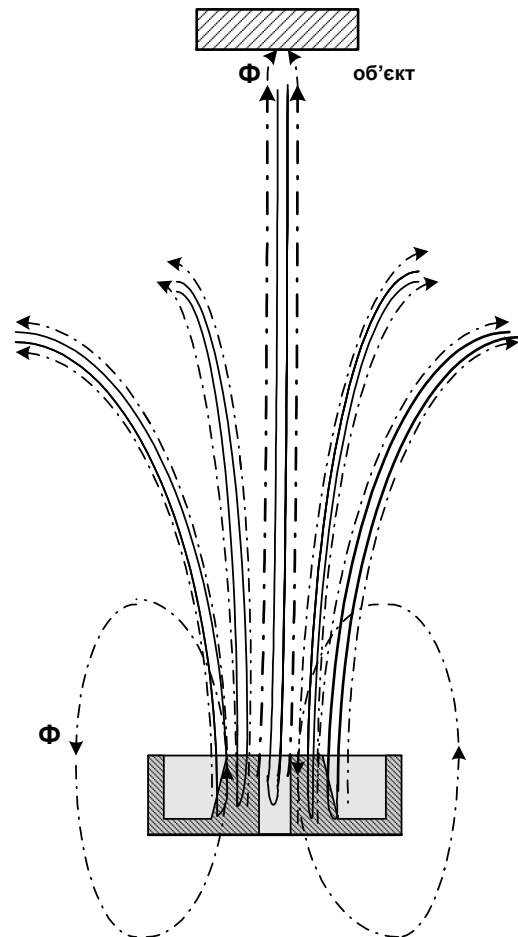


Рис. 5. Взаємодія перетворювача із об'єктом

Як вже було сказано вище подібну вимірювальну схему застосовують для вимірювання таких механічних величин, як відстань (від чутливого елемента до приводного), положення, кут. Завдяки виконаним дослідженням гарантована величина динамічного діапазону феримагнітного перетворювача складає 55 мм [4].

Для вимірювання кута повороту руля висоти пропонується схема вимірювання переміщення тяги качалки рульової машинки (див. рис. 3) як похідної від зміни величини кута повороту руля. Тобто, якщо прийняти, що точка механічного з'єднання тяги і кронштейна є жорсткою (тобто відсутній люфт), то можна припустити, що зміна кута повороту руля висоти є лінійною функцією переміщення тяги.

Чутливим елементом схеми вимірювання буде котушка індуктивності, розміщена у феритовому

осерді броньового типу. Для спрацьовування чутливого елемента потрібно мати приводний елемент. Його функцію може виконувати металева пластинка округлої форми, діаметр якої може співпадати із діаметром осердя. Для зменшення аеродинамічного опору, який діятиме на приводний елемент в польоті, у ньому слід виконати отвори або прорізи. Це дозволить усунути прогинання металевої пластини під дією повітряної струї і у той же час не впливатиме на чутливість чутливого елемента.

Наведемо схематично розміщення приводного та чутливого елементів феримагнітного перетворювача (ФіМП) пристрою вимірювання кута повороту.

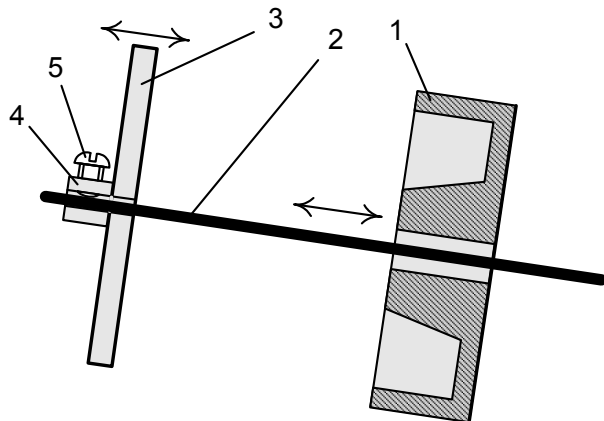


Рис. 6. Схема розташування приводного та чутливого елементів ФіМП

Чутливий елемент ФіМП (позиція 1) жорстко закріплюється до корпусу БПЛА таким чином, щоб він не заважав руху рухомих частин літака. При цьому тяга (позиція 2) качалки пропущена у центральний отвір броньового осердя, який зазвичай використовують для уведення підстроювального елемента. Таким чином забезпечується вільне переміщення у подовжній площині тяги скрізь нерухомий, відносно неї, чутливий елемент. Необхідно, щоб тяга була виконана не з феромагнітного матеріалу, якщо ні, то її введення у цей отвір призведе до замикання ліній магнітного потоку і відповідно до зриву генерації автогенератора, що зробить неможливим процес вимірювання її переміщення. Приводний елемент (позиція 3) навпаки, повинен бути виконаний з феромагнітного матеріалу. На приводному елементі виконано втулку (позиція 4), скрізь яку його надівають на тягу. За допомогою гвинта на втулці (позиція 5) приводний елемент кріпиться до тяги. У такий спосіб забезпечується його переміщення разом із тягою. В результаті ми отримаємо наближення/віддалення приводного елемента відносно чутливого при збільшенні/зменшенні кута повороту руля висоти. Максимальна відстань від приводного елемента до чутливого визначається порогом чутливості останнього.

Тоді можна навести структуру каналу управління рульової машинки, який містить ФіМП (рис. 7).

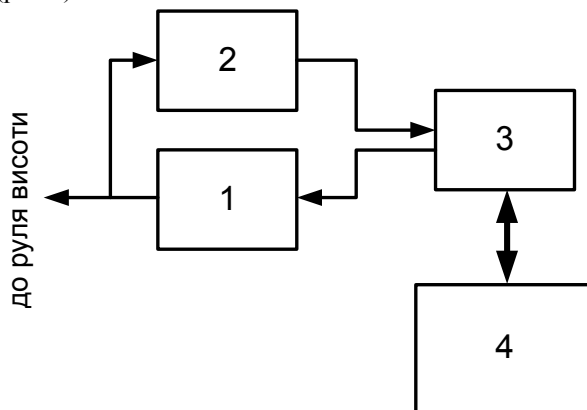


Рис. 7. Канал управління рульової машинки із ФіМП

На рис. 7 показано такі елементи: 1 – рульова машинка; 2 – ФіМП, який складається із приводного, чутливого елементів та електронної схеми; 3 – локальний мікроконтролерний блок управління рульовою машинкою; 4 – загальна система управління БПЛА (автопілот).

Локальний мікроконтролерний блок управління вводять до складу аналогових рульових машинок. Він виконуватиме такі завдання – опрацювання вимірювальної інформації від ФіМП, прийняття сигналу управління про заданий кут повороту руля висоти від автопілота та його корекція з урахуванням поточної величини кута повороту на основі результатів вимірювання. Мікроконтролерний блок може бути розташований на платі із вимірювальним перетворювачем, при цьому ланки живлення мікроконтролера та вимірювального перетворювача повинні бути різними та добре екранованими.

Електрична схема вимірювального перетворювача за рахунок використання SMD компонентів буде мати дуже малі розміри та масу.

Для усунення впливу похибок при вібраціях БПЛА в польоті, частоту генерації перетворювача обирають значно вищою, ніж частотний діапазон вібраційної складової загальної похибки.

Висновки

Наведено базову математичну модель феримагнітного первинного перетворювача, яка демонструє залежність вихідної напруги від добротності котушки чутливого елемента.

Схематично показано взаємодію чутливого та приводного елементів феромагнітного перетворювача та запропоновано визначати кут повороту руля як функцію від лінійного переміщення тяги рульової

машинки.

Розроблено схему вимірювання, яка дозволяє реалізувати спосіб вимірювання кута повороту як функції переміщення тяги, за рахунок розташування приводного та чутливого елементів, а також структуру каналу управління рульової машинки із ферромагнітним перетворювачем у ланку зворотного зв'язку.

Література

1. *Аппаратура радиоуправления. Часть 3. Рулевые машинки [Электронный ресурс] / RCdesign. – Режим доступа: http://www.rcdesign.ru/articles/radio/servo_intro. – 08.12.2012 г.*

2. *Войцеховский, Я. Дистанционное управление моделями. Пособие моделиста и радиолюбителя [Текст]: пер. с польск. / Я. Войцеховский. – М. Связь, 1977. – 432 с.*

3. *Ларин, В.Ю. Разработка методики проектирования преобразовательных звеньев для приборов с ФМПП и ФМП [Текст] / В.Ю. Ларин / Вісник ДУКІТ. – 2010. – том 8 (№1). – С. 93–98.*

4. *Ларин, В.Ю. Новые методы исследования и разработки приборов и систем [Текст] / В.Ю. Ларин. – Донецк: Вебер, 2010. – 316 с.*

5. *Ларин, В.Ю. Разработка математической модели чувствительного элемента ферромагнитного преобразователя [Текст] / В.Ю. Ларин // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2009. – №2/6 (38). – С. 52–55.*

Поступила в редакцию 9.12.2012

Рецензент: д-р техн. наук, проф., проф. кафедры электронной техники Н.И. Чичикало, ГВУЗ Донецкий национальный технический университет, г. Донецк.

ИЗМЕРЕНИЕ УГЛА ПОВОРОТА РУЛЯ ВЫСОТЫ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА С ПОМОЩЬЮ ФЕРРИМАГНИТНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

В.Ю. Ларин

В статье описан способ измерения угла поворота руля высоты беспилотного летательного аппарата при помощи ферромагнитного преобразователя перемещения, включенного в качестве звена обратной связи цепи «блок управления полетом – рулевая машинка». Рассмотрена структура и принцип действия рулевых машинок, которые используют на беспилотных летательных аппаратах в качестве исполнительных механизмов. Описан порядок расположения чувствительного и приводного элементов ферромагнитного преобразователя перемещения для контроля угла поворота руля высоты и приведена структура канала управления рулевой машинкой с цепью обратной связи, которая содержит указанный первичный преобразователь.

Ключевые слова: беспилотный летательный аппарат, рулевая машинка, угол поворота, перемещение, ферромагнитный преобразователь, чувствительный элемент, приводной элемент.

MEASUREMENT OF SLEWING ANGLE OF ELEVATOR OF UNMANNED AIRCRAFT VEHICLE USING FERRIMAGNETIC TRANSFORMER

V.J. Larin

In the article the method of measurement of slewing angle of elevator of unmanned aircraft vehicle using ferrimagnetic transformers is connected as a loop of feedback of “control unit – servo” circuit has considered. The structure and principle of operation of servos are used in unmanned aircraft vehicles as actuating mechanism have described. The order of location of sensing and driving elements of ferrimagnetic transformer for control of elevators slewing angle is described and structure of control channel of servo with the feedback loop containing the showed primary transformer is given.

Key words: unmanned aircraft vehicle, servo, slewing angle, transference, ferrimagnetic transformer, sensing element, driving element.

Ларін Віталій Юрійович – доктор технічних наук, доцент, професор кафедри аеронавігаційних систем, Національний авіаційний університет, м. Київ, Україна, email : vjlarin@gmail.com.