

# Електронне керування платформою з корисним навантаженням

Тимошенко С. В., ORCID [0000-0003-4825-0335](https://orcid.org/0000-0003-4825-0335)

Кафедра конструювання електронно-обчислювальної апаратури [keoa.kpi.ua](http://keoa.kpi.ua)

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» [kpi.ua](http://kpi.ua)

Київ, Україна

**Анотація**—В даній статті розглянуто організацію керування платформою з корисним навантаженням. Під словом керування розуміється: центрування платформи в «0», поворот платформи на заданий кут зі сталою швидкістю, безпервне обертання платформи за та проти часової стрілки, команди старт/стоп, поправка на вітер. При розробці електронної системи використовуються сучасні електронні компоненти. В якості корисного навантаження може виступати професійна екшн-камера. Система розрахована на універсальність у використанні.

**Ключові слова** — обертання платформи; електронне керування; BLDC-двигун; обертальний трансформатор.

## ВСТУП

Останніми роками зростає популярність та попит на вироби, що мають електричний двигун. До таких кінцевих продуктів можна віднести електромобілі, електровелосипеди, самокати, тощо. А серед молоді і не тільки, все більше і більше з'являється людей, що займаються фотографією, зйомкою відеорядів та іншими видами фото та відео-зйомки. Оскільки, іноді процес зйомки може тривати годинами чи днями, в різну погоду та час дня, використання звичайного штативу може викликати деякі незручності та проблеми. Тому доцільно створити систему, що могла б керувати відносно невеликою платформою. Така система включатиме в себе електричний двигун і екшн-камеру як приклад корисного навантаження на платформу, що обертатиметься. При цьому не обов'язково, щоб людина знаходилась поруч. Таке рішення дозволяє вести зйомку в умовах поганої погоди. Система, що пропонується до розгляду, має набір достатніх функцій, щоб вести зйомку. При цьому зручність панорамних зйомок і таймлапсів зростає в рази.

## I. АНАЛІЗ РИНКУ

Переважаюча кількість готової продукції схожої тематики має конкретне направлення у користуванні і не може бути використане деінде. Як правило, таких універсальних систем мало і виготовляються вони на конкретне замовлення. Наприклад, поворотний штатив-платформа Time Lapse компанії Puluz [1] (Рис. 1), що виробляє продукцію для фото та відео-зйомки, являє собою невеликий штатив, у верхній частині якого розташовується блок керування. В заявленій характеристиці дозволяється закріплювати вантаж не більше 1 кг, що є надто малою вагою. Фактично, таке обмеження говорить про те, що більше ніж смартфон чи малогабаритну камеру закріпити на штатив не вда-

ється. Функціонал пристрою дозволяє обертати платформу на 360 градусів [2], але при цьому обертання відбувається тільки на фіксований кут повороту, що також накладає певні обмеження користувачеві.

До недоліків відноситься неможливість контролю швидкості обертання платформи, а це, в свою чергу, впливатиме на продуктивність роботи кінцевого користувача. Досить важливу роль грає і те, що виробники такої продукції економлять на електронних компонентах системи, що в майбутньому відобразиться на терміні придатності пристрою.

До переваг можна віднести малогабаритність системи та відносну зручність у її використанні. Але в той же час функціонал розглянутого вище пристрою надто обмежений.



Рис. 1 Штатив компанії Puluz

Існують і інші вироби, що мають подібний принцип роботи. Сюди відносяться обертальні підставки для: кондитерських та ювелірних виробів, 3D фото-та відео-зіомки, демонстрації товарів на виставках, показу експонатів в музеях та інших подібних закладах.

Як висновок можна сказати, що за рахунок використання якісних і надійних електронних компонентів та розширення функціональних можливостей системи, можна створити кінцеву продукцію, рівень якої буде вищим, ніж той, що наразі існує на ринку.

## II. ПРОБЛЕМАТИКА

Основна проблема такої продукції знаходиться в її реалізації, вартості електронних компонентів та інтересу звичайних користувачів. Відповідно попит на такий прилад може дещо знизитись. В той же час, немало важливу роль грає і універсальність створеної системи. Вона призначена не тільки для екшн-камер чи звичайних смартфонів. В якості корисного навантаження на платформу може виступати будь-що, чому потрібен обертальний рух. В результаті на виході з'явиться універсальний пристрій, надійність якого буде вищою, ніж представлені моделі на ринку. В загальному такі системи не надто розповсюджені і потрібні для виконання специфічних і, в деяких випадках, складних завдань, що потребують не тільки обертання платформи, а і електронного блоку, що буде обробляти велику кількість інформації.

## III. ОПИС МОДЕЛІ

Фізично представлена система складатиметься з:

- Безколекторного двигуна постійного струму
- Обертального трансформатора
- Платформи, що буде обертатись
- Електронного блоку керування.

В свою чергу блок електроніки та обробки даних складається з:

- Драйверу для керування двигуном.
- Мікросхеми для обробки даних обертаючого трансформатора.
- SoC-процесору.

Всі ці комплектуючі зібрані в блок та встановлені на жорстку триногу. Таке рішення дозволить використовувати систему в більш агресивному середовищі.

На Рис. 2 зображена структурна схема системи.

В спрощеному вигляді принцип роботи системи можна описати наступним чином. SoC-процесор посилає сигнал драйверу, що керує BLDC-двигуном. Драйвер запускає міст з шести польових транзисторів в правильній послідовності і двигун починає обертатись. Швидкість обертання та напрям задає процесор і передає драйверу. В свою чергу двигун з'єднаний з обертальним трансформатором (резольвером), що слугує для зчитування кута повороту валу двигуна. Дані з обертального трансформатора, що перетворює

синусоїдальні сигнали в електричну напругу, поступають на спеціалізовану мікросхему, що оброблює їх і передає до процесору.

Щоб користувач зміг бачити всі необхідні параметри системи та нею керувати, надалі буде розроблений спеціальний додаток написаний на мові C та Verilog.

Система повинна мати достатній набір рішень, що зможуть забезпечити наступні функції:

- Правильний запуск безколекторного двигуна постійного струму.
- Керування напрямом обертання двигуна.
- Керування швидкістю обертання.
- Обертання з постійною швидкістю.
- Центрування положення платформи при ініціалізації системи.
- Можливість адаптування обертання під час сильного вітру.

Для першого прототипу такої системи використовується безколекторний двигун постійного струму з потужністю 105 Ватт, максимальною швидкістю обертання 4000 грм та обертаючим моментом 0,25 Н\*м.

Для керування двигуном використовується мікросхема-драйвер [3]. Такий вид електронних компонентів мають підвищену надійність. В них передбачені спеціально назначені піни для захисту від короткого замикання, перевищення за струмом та напругою, неправильного увімкнення та подання сигналів на транзисторний міст, що в свою чергу являє собою кінцевий автомат з шістьма станами, що також грає ключову роль в керуванні двигуна.

Важливо не забувати про силову частину керування двигуном. Як правило, проектування силових частин починається з вибору транзисторів. Найкраще для таких цілей підходять польові MOSFET транзистори [4].

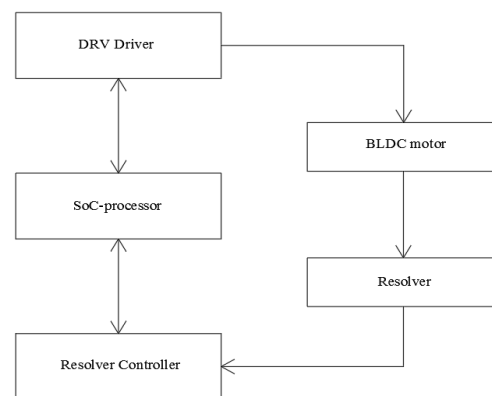


Рис. 2 Структурна схема

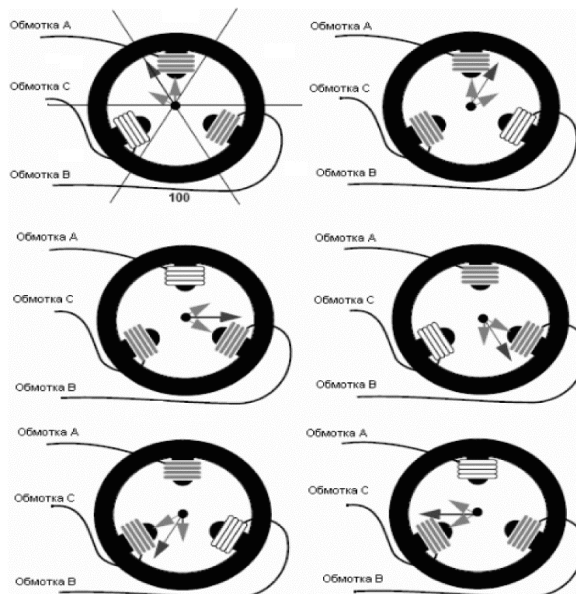


Рис. 3 Порядок комутацій обмоток

При виборі транзисторів необхідно знати максимально можливий струм і величину напруги, від якої живиться двигун [5]. В більшості випадків транзистори вибираються з коефіцієнтом запасу 2-2,4 по струму. Також дуже важливим параметром в транзисторах є опір відкритого транзистора. Його величина варіюється в межах декількох мОм. Просте правило: чим менший внутрішній опір транзистора, тим краще [6]. Адже в момент перемикання плечей транзисторів, потужність різко зростає і, відповідно, почнуть виділятися великі об'єми тепла. З формули (1) видно: якщо внутрішній опір транзистора буде більшим, то потужність зростає, а, отже, і більше тепла буде виділятися на транзисторі. Тому важливо не забувати про розсіювання тепла. Щоб завадити перегріву і виходу з ладу транзисторів, є необхідність ставити радіатор.

$$P = R_{ds} \cdot I_d^2 \quad (1)$$

де  $P$  – потужність,  $R_{ds}$  – внутрішній опір транзистора,  $I$  – струм.

Необхідно і пам'ятати про такий параметр, як Dead Time. Він грає немалу роль в правильному функціонуванні керування двигуном. Dead time – це затримка, яка потрібна для того, щоб всі транзистори, які потрібно, закрились і закінчились перехідні процеси [7]. Такою затримкою повинен керувати сам драйвер.

За допомогою драйверу буде керуватись швидкість обертання платформи та напрям. Зустрічаються драйвери в яких всередині встановлені датчики Холла. З їх допомогою можна отримати більше інформації про швидкість обертання двигуна та положення валу. Також і на деяких електричних моторах встановлені датчики Холла [8]. Тому задля уникнення надлишковості у функціоналі компонентів необхідно це врахувати.

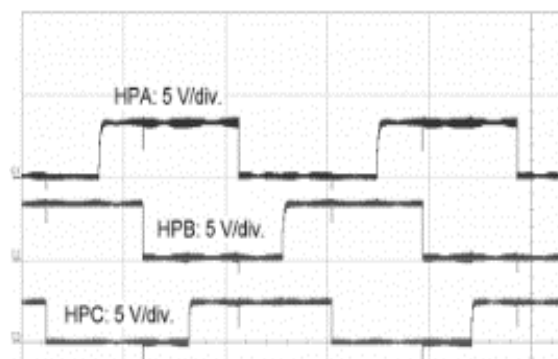


Рис. 4 Часова діаграма

ТАБЛИЦЯ 1 ІНФОРМАЦІЯ З ДАТЧИКІВ

Значення датчиків Холла	Фаза
101	A-B
001	A-C
011	B-C
010	B-A
110	C-A
100	C-B

В якості драйверу для двигуна застосовується мікросхема компанії Texas Instruments – DRV8306. В ній є весь необхідний функціонал.

Робота двигуна полягає в послідовному включенні певних пар обмоток таким чином, щоб вектори двох магнітних полів були ортогональні один до одного. Покрокове увімкнення таких пар призведе до руху ротора за часовою або проти часової стрілки [9]. На Рис. 3 зображений порядок увімкнення обмоток. Важливо відмітити, що увімкнення обмоток повинно бути в суворій послідовності, адже від цього залежить коректність роботи двигуна. При неправильному поданні напруги на обмотки, ротор почне робити короткі «стрибки» в різні сторони і не зрушиться з місця. Такий тип керування дозволяє набрати швидкість протягом короткого часу, але при цьому не дозволяє керувати двигуном плавно.

При подачі постійного струму на обмотку, вона стає електромагнітом. В результаті, коли котушки знаходяться під напругою, протилежні полюси ротора та статора починають притягуватись один до одного. Коли полюси наблизилась один до одного, вмикається інша пара обмоток, протилежні полюси знову починають притягуватись і так крок за кроком. На Рис. 4 зображена часова діаграма роботи датчиків Холла.

В Таблиця 1 наведена інформація увімкнення ключів в залежності від сигналів датчиків Холла.

До двигуна під'єднується точний обертаючий трансформатор ЛШЗ.010. Він має доволі малу похибку вимірів і складає всього 0,05%. А клас точності при випробуваннях склав 0,05 за офіційним паспортом.

Обертаючий трансформатор використовується в якості зворотного зв'язку і слугує для перетворення кута повороту валу двигуна в електричну напругу,

амплітуда якої пропорційна або взагалі є функцією синуса або косинуса кута [10]. Для роботи такого компонента необхідний додатковий підсилювач з великим коефіцієнтом підсилення, так як вихідна потужність сигналу обертаючого трансформатора мала. На Рис. 5 зображений обертаючий трансформатор.

Дані з трансформатора надходять до спеціалізованої мікросхеми, що оброблює дані і передає до SoC-процесору. І вже за допомогою розробленого додатку користувач зможе побачити, на який кут повернулася платформа.

#### ВИСНОВКИ

Представлена система перш за все розрахована на універсальне використання як в повсякденному житті, так і для специфічних задач. Розглянута система добре підходить для дуже тривалої зйомки на смартфон чи камеру.

Якщо до такої системи додати обчислювальний блок, то функціонал та сфера використання зростуть на порядки. Наприклад, за допомогою спеціального обчислювального блоку і обертальної платформи можна розрахувати акустику потрібного приміщення. Іншими словами система відкриває ціле поле для експериментів у її використанні. А простий спосіб керування буде тільки сприяти цьому.

Також варто відмітити, що при використанні описаних в статті компонентів та написаному додатку система стає надійною у експлуатації. Іншими словами, друга складова, на яку орієнтована представлена пристрій – це надійність.



Рис. 5 Обертаючий трансформатор ЛШЗ.010

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

- [1] “ELEKTRONNYY POVOROTNYY SHTATIV TIME-LAPSE PULUZ PU362L [ELECTRONIC ROTARY TRIPOD TIME-LAPSE PULUZ PU362L],” For-extreme. [Online]. Available: <https://for-extreme.com.ua/mount/stands/puluz-pu362l-panoramic-head>.
- [2] “PULUZ Electronic 360 Degree Rotation,” Puluz, 2019. [Online]. Available: <http://www.puluz.com/product/default/view.do?itemNo=PU362L>.
- [3] “Drayvery ot TI: Upravlyay lyubym elektrodvigatelem [TI Drivers: Drive Any Electric Motor],” Texas Instruments, 2016. [Online]. Available: <https://www.compel.ru/lib/75973>.
- [4] B. Check, “Switched On: MOSFET Selection Guide,” 2017. [Online]. Available: <https://www.boulderes.com/resource-library/switched-on-mosfet-selection-guide>.
- [5] “BLDC motor and controller theory,” 2014. [Online]. Available: <https://hackaday.io/project/3176-gator-quad/log/11053-bldc-motor-and-controller-theory>.
- [6] S. THORNTON, “Metal Oxide Field Effect Transistor: What is RDS(on)?,” 2017. [Online]. Available: <https://www.microcontrolertips.com/mosfets-what-is-rdson-faq/>.
- [7] Ridonkulus, “PWM control and Dead Time Insertion,” 2014. [Online]. Available: <https://hackaday.io/project/3176-gator-quad/log/11741-pwm-control-and-dead-time-insertion>.
- [8] “What are Brushless DC Motors,” Renesas. [Online]. Available: <https://www.renesas.com/us/en/support/technical-resources/engineer-school/brushless-dc-motor-01-overview.html>.
- [9] S. Mishyn, “Upravleniye beskollektornym dvigatelem po signalam obratnoy EDS – ponimaniye protsessa [Brushless motor control based on reverse emf signals - understanding of the process],” Habr, 2016. [Online]. Available: <https://habr.com/ru/post/390469/>.
- [10] “Resolver (electrical),” Wikipedia. [Online]. Available: [https://en.wikipedia.org/wiki/Resolver\\_\(electrical\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Resolver_(electrical)).



UDC 62.529

# Electronic Control of Platform with Payload

Tymoshenko S.V., ORCID [0000-0003-4825-0335](https://orcid.org/0000-0003-4825-0335)

Faculty of Electronics

National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”  
Kyiv, Ukraine

**Abstract**—This article proposes an idea for developing a hardware complex and software for electronic control of a payload platform. As such a load, there can be anything that needs rotating motion, be it a camera, a smartphone, an electronic computing unit, an antenna, and so on. Physically, the system is a rigid tripod on which the platform is located. The rotation of the platform gives a brushless DC motor. The motor is controlled by a special driver, which was previously software and hardware configured. It is important not to forget the power part of the engine control. Generally, the design of the power section begins with the selection of transistors. MOSFETs are best suited for this purpose. When choosing transistors, you need to know the maximum current and the voltage from which the motor is powered. In most cases, the transistors are selected with a power factor of 2-2.4 current. To obtain data on the rotation of the angle of the motor shaft, a rotating transformer connected to a special controller is required. All output from the motor driver and the rotary transformer controller comes to the SoC processor. With it, the user will be able to control the system as a whole. The use of electronic components from electronics giants such as: Texas Instruments and Intel FPGA will increase the reliability of the system during operation. The system is also designed for versatility in operation.

In a simplified form, the principle of operation of the system can be described as follows. The processor sends a signal to the driver that controls the engine. The driver starts the bridge of six field effect transistors in the correct sequence and the motor starts to rotate. The processor sets the rotation speed and direction and passes it to the driver. In turn, the motor is connected to a rotary transformer, which serves to read the angle of rotation of the motor shaft. Data from a rotary transformer that converts sinusoidal signals into electrical voltage is supplied to a specialized microcircuit, which processes them and transfers them to the processor.

The finished system should provide the user with such functionality: the correct start of the brushless DC motor, control of the direction of rotation of the motor, speed control, rotation at a constant speed, centering the platform position during system initialization, the ability to adapt rotation during strong winds.

To increase the functionality of the system, you can add to it a computing unit, which will be a separate board with its own processor. This will allow you to use the device for more complex tasks.

**Keywords** — *electronic control; BLDC-motor; resolver.*

