

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА**

Факультет радіофізики, електроніки та комп'ютерних систем
Кафедра квантової радіофізики та наноелектроніки

До захисту допущено:

«На правах рукопису»

Завідувач кафедри _____ Ганна КАРЛАШ

« 20 » травня 2023 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА

на тему:

«Розробка схеми керування мультикоптера»

Виконав:

студент 2-го курсу магістратури
денної форми навчання
спеціальності 105 Прикладна фізика
ОНП «Прикладна фізика та наноматеріали»
Пер'ян Руслан Русланович _____

Наукові керівники:

к.ф.-м. н., доцент
Кельник Олександр Ігорович _____
д. ф.-м. н.,
Горячко Андрій Миколайович _____

Рецензент:

д.ф.-м. н., НТУУ КПІ
Геннадій Євгенович Монастирський _____

Засвідчую, що у цій магістерській роботі
немає запозичень з праць інших авторів без
відповідних посилань
Студент _____

Робота допущена до захисту в ЕК рішенням кафедри квантової радіофізики та
наноелектроніки від «19» травня 2023 р., протокол № 19.

Завідувач кафедри
, канд. фіз.мат. наук, доцент
Карлаш Ганна Юріївна

Київ 2023

РЕФЕРАТ

Магістерська робота: 120 ст., 25 рис., 5 джерел.

В результаті виконання дослідницької роботи було розроблено:

1) Лічильник на ТРЛ та ТТЛ логіці:

1.1 схема пропуску першого логічного нуля, та зміни довжини вихідного сигналу, чи передача рівноцінної довжини вхідного сигналу до вихідного — що змінює логіку лічильника та відрізняє його від інших лічильників;

1.2 на ТРЛ та ТТЛ схема електронної кнопки з фіксацією.

Схему лічильника можливо інтегрувати в мікросхему, на шість сигналів та додати три виходи для безколекторного двигуна постійного струму, та на даних модулях можливо зібрати лічильники за формулами: $1\text{КНвих.}(\text{в даному випадку позначені КН2-КН6})+1=n$ — кількість вихідних сигналів; $\text{КНвих.}-1=\text{КНперек.}$ (в даному випадку позначені КН7-КН10), також в структурі обов'язково лежить КН1 (з контурами I, II, чи без контурів I, II), та КН11;

1.3 Також були зроблені дослідження над лічильником з RC- контуру на три, шість та сім виходів з генерацією сигналу. Та побудовані таблиці результатів досліджень змін кількості вихідних сигналів в залежності від зміни RC-контур, та побудований лічильник на шість сигналів в режимах «Бігуча тінь», «Бігучий вогонь».

2 Розроблений елемент живлення, який дає можливість заряджати АКБ від сонячної енергії, зарядного пристрою чи від прикурювача авто, та в денний час дає можливість безперервної роботи живлення:

2.1 зібрана сонячна батарея, розміром 300x300мм (9-24В, 2,24-2,36А) з монокристалічних елементів на основі кремнію;

2.2 зібрані два АКБ 2S (8В, 2,2 Аг, 10С) та 3S (12В, 2,2 Аг, 10С) на основі банок 18650 — оксид літію марганцю LiMn_2O_4 , для експерименту використовувались 18650 без внутрішнього драйвера;

2.3 драйвер контролю заряду-розряду АКБ (контролер верхнього та нижнього рівня);

2.4 драйвер переключення між АКБ на основі банок 18650 (контролер нижнього рівня);

2.5 DC/DC перетворювач підвищуючий/понижуючий з 5-24В до 4,5-19,5В фіксованої величини, до 10А навантаження;

2.6 автоматичний кроковий контролер напруги та струму;

2.7 термозапобіжник заряду АКБ з автоматичним встановленням рівня заряду розряду АКБ;

2.8 схема драйвера переключення внутрішніх банок АКБ, на основі «18650», що дає змогу зменшення навантаження на силову схему драйвера силової установки дрона.

3. Драйвер керування силовими установками (колекторними, кроковими, безколекторними)

3.1 розроблена схема подачі живлення шістьма варіаціями до силових установок;

3.2 логічне перемикання реле для подачі реверсу;

3.3 розроблена схема полу-мостового драйверу;

3.4 розроблена схема генерації імпульсів з однаковою довжиною сигналу та скважністю

3.5 розроблена схема діодно-логічного перемикання.

МУЛЬТИКОПТЕР, БЕЗКОЛЕКТОРНИЙ ДВИГУН, ДРАЙВЕР, СИСТЕМА КЕРУВАННЯ, ЛІЧИЛЬНИК, КОНТАКТЕР, КНОПКА З ФІКСАЦІЄЮ, ВИМИКАЧ, АКБ, КОНТРОЛЕР, СИЛОВА УСТАНОВКА, КОНТРОЛЕР, ЛОГІКА, ДРОН

ЗМІСТ

ВСТУП	6
I. ЧАСТИНА — ЛІЧИЛЬНИК	6
1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ	8
1.1 ЦИФРОВИЙ ЛІЧИЛЬНИК ІМПУЛЬСІВ	8
2. РОЗРОБКА МАКЕТУ ЛІЧИЛЬНИКА ДЛЯ ПОДАЛЬШОГО ВИКОРИСТАННЯ У ДРАЙВЕРІ СИЛОВОЇ УСТАНОВКИ МУЛЬТИКОПТЕРІВ ТА ДРОНІВ	9
2.1 РОЗГЛЯД ОСНОВНИХ ФУНКЦІЙ ЕЛЕМЕНТІВ ЛІЧИЛЬНИКА ТА МОЖЛИВІ ВАРІАНТИ ЇХ РЕАЛІЗАЦІЇ.....	9
2.2 ПРИНЦИП РОБОТИ ЛІЧИЛЬНИКА	16
2.3 ДІОДНЕ ЛОГІЧНЕ ПЕРЕМИКАННЯ.....	20
2.4 МІКРОСХЕМА ЛІЧИЛЬНИК (ДРАЙВЕР) ДЛЯ ДВИГУНІВ МУЛЬТИКОПТЕРІВ	22
2.5 ІНШІ СПОСОБИ РЕАЛІЗАЦІЇ ЛІЧИЛЬНИКА ІМПУЛЬСІВ.....	23
II. ЧАСТИНА — ЕЛЕМЕНТ ЖИВЛЕННЯ.....	32
3. ПРИНЦИП РОБОТИ СИСТЕМИ ЖИВЛЕННЯ	32
3.1 АКУМУЛЯТОРНА БАТАРЕЯ (АКБ).....	32
3.2 СОНЯЧНА БАТАРЕЯ.....	34
3.3 СТРУКТУРА ПРИСТРОЮ.....	37
3.4 DC/DC ПЕРЕТВОРЮВАЧ.....	40
3.5 СХЕМА КОНТРОЛЕРА ВЕРХНЬОГО ТА НИЖНЬОГО РІВНЯ.....	41
3.6 СХЕМА КОНТРОЛЕРА НИЖНЬОГО РІВНЯ.....	44
3.7 ПРИНЦИП РОБОТИ ТЕПЛОВОГО ЗАХИСТУ	45
3.8 ПРИНЦИП РОБОТИ ПРИСТРОЮ АВТОМАТИЧНОГО ВСТАНОВЛЕННЯ ЗАРЯДУ, РОЗРЯДУ.....	47
3.9 ДРАЙВЕР ПЕРЕКЛЮЧЕННЯ БАНОК АКБ	47
3.10 ПРИНЦИП РОБОТИ ТЕРМОКОНТРОЛЕРА БАНОК АКБ1 ТА АКБ2	52
3.11 СХЕМА ВИЗНАЧЕННЯ РІВНЯ ЗАРЯДУ АКБ	52

3.12 СХЕМА ДОДАВАННЯ ДО АКБ, ЯКА ЗНАХОДИТЬСЯ В РОБОТІ, ЩЕ ОДНОГО АКБ	53
ІІІ. ЧАСТИНА — ДРАЙВЕР ДВИГУНІВ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ.....	55
4.1 ОПИС СТРУКТУРИ ДРАЙВЕРА	55
4.2 РОБОТА МОДУЛЯ ПЕРШОГО МАТЕРИНСЬКОГО БЛОКУ	55
4.3 РОБОТА МОДУЛЯ ДРУГОГО МАТЕРИНСЬКОГО БЛОКУ	56
4.4 ПІВМОСТОВИЙ ДРАЙВЕР	57
4.5 ШІМ СИГНАЛ	57
4.6 СИЛОВА ЧАСТИНА N-МОСТ	58
4.7 ЛОГІЧНА ЧАСТИНА ДРАЙВЕРА	59
4.8 КОРОТКИЙ ОГЛЯД	61
ВИСНОВКИ.....	62
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	65
ДОДАТОК А.....	66
ДОДАТОК В.....	88

ВСТУП

У даній магістерській роботі мною було продовжено тему попередніх років моєї дослідницької та інженерної діяльності – управління силовою установкою мультикоптерів та дронів. У бакалаврській дипломній роботі я зіткнувся з певними недоліками лічильника CD4017. Один з головних недоліків – це важкість у інтегруванні готової мікросхеми лічильника в мою мікросхему контролер для двигунів, що не дає змогу випускати масово даний драйвер. Для цього у даній роботі було створено власний лічильник імпульсів із додатковими можливостями у напрямку керування двигунів. Це зменшить вартість мого і так дешевого драйвера та дасть змогу випускати у подальшому мікросхему драйвер у масовому виробництві. Розглянуті та досліджені лічильники на RC-контурі, на ТТЛ, ТРЛ логіці (на біполярних транзисторах) та на польових транзисторах. Досліджені та наведені порівняння кожного із цих типів лічильників, їх переваги та недоліки.

У мультикоптерів та дронів використовуються трифазні двигуни постійного струму. Для керування двигунами використовуються драйвери. Перевагою мого драйверу керування є те, що він побудований на принципах аналогової електроніки (а не цифрової) та може працювати стабільно у потужних магнітних полях. Ще однією істотною перевагою мого драйвера над іншими є його ціна.

Також дана тема є актуальною, тому що в під час війни виник дефіцит радіодеталей, а отже тепер дана схема лічильника вирішує відразу три актуальних проблеми. По-перше, дає змогу зробити драйвер, запропонований у роботі бакалавра, легко інтегрованим в одну мікросхему, так як що драйвер, що лічильник імпульсів складаються з транзисторів (здебільшого біполярних) та резисторів, а, отже, із р-п переходів та опорів. По-друге, робить виготовлення драйвера незалежним від наявності радіоелементів на ринку та незалежним від їх вартості. Таким чином навіть при значних підвищеннях вартості радіоелементів запропонована мікросхема драйвер буде зберігати одну зі своїх головних переваг над іншими драйверами – низьку собівартість. По-третє, створено новий драйвер, який має деякі функції додатково додані спеціально, щоб даній лічильник працював

3

двигунами.

Створення лічильника є актуальним напрямком до розвитку та покращення роботи драйвера, створеного у дипломній роботі бакалавра.

Створення нових схем подільників та лічильників імпульсів є актуальним завданням у даний час, тому що сучасні мікросхеми лічильники не мають достатнього захисту проти магнітних полів і тому не можуть повноцінно використовуватися у оборонній та військовій галузях. Подільники та лічильники імпульсів мають дуже широкий спектр можливостей та застосувань, проте, функціонал сучасних мікросхем лічильників та подільників імпульсів можна суттєво розширити, що у свою чергу дасть можливість застосовувати їх для більшого спектру завдань. Також мікросхема лічильник є одним із ключових вузлів у розробленій мною схемі керування мультикоптерів і може виконувати все керування.

Іще одна з важливих частин схеми – це блок, який відповідає за рівень заряду та розряду батареї. Перевагою наявності такої частини схеми є те, що завдяки контролю розряду ми можемо змінювати потужність живлення силової частини, а завдяки контролю рівня заряду на кожній з батарей було створено, по-перше, схему розрядки (яка контролює потужність живлення силових установок), а, по-друге, схему для контролю рівня заряду та температури, яка дозволяє додавати іще одну батарею коли одна з батарей розряджена (або переключення батарей з розрядженої на заряджену). Розглянутий варіант з переключенням батарей дозволяє зробити з неактивної батареї – батарею, що буде заряджатися, наприклад, сонячною панеллю, а з іншої батареї зробити живлення для схеми.

Потім всі отримані частини застосовуються для створення універсального драйвера, який би мав змогу працювати з колекторними, безколекторними та шаговими електродвигунами.

І. ЧАСТИНА — ЛІЧИЛЬНИК

1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

1.1 Лічильник імпульсів

Лічильник імпульсів – це пристрій, створений для підрахунку кількості сигналів, які надходять на його вхід. Схему лічильника імпульсів можна також застосовувати як подільник імпульсів. Лічильники зазвичай будуються на тригерах, або на логічних елементах (з яких і складаються тригери). Верхня межа лічильника визначається числом задіяних тригерів. Так як тригер це двійковий елемент, то він має два стани 1 (ввімкнений) та 0 (вимкнений). Кількість таких станів можна подати у вигляді виразу 2^n , де n – кількість тригерів у схемі лічильника, а максимальне десяткове число до якого можна дорахувати задається виразом $N = 2^n - 1$, так як перший стан всіх нулів (стан у якому на виходах всіх тригерів лічильника ми маємо нуль) використовується для десяткового запису 0. Лічильники імпульсів можуть мати два ходи відліку: на збільшення (сумуючі) та на зменшення (віднімаючі). Існують реверсивні лічильники, які можуть виконувати дві ці функції одразу. Виходи лічильника позначають Q_m , де m – це номер виходу, тобто його порядок зміни. Відлік m також починають з нуля, тобто перший тригер формує вихід Q_0 . Q з найбільшим індексом є старшим розрядом. Тригери також мають у своїй структурі вихід R , який використовується для скидання тригера. Цей вихід часто застосовують при конструюванні лічильників. Об'єднавши всі R кожного з тригерів між собою ми отримуємо вихід для скидання одразу всіх тригерів лічильника, а, отже, і для скидання самого лічильника. На нього достатньо подати певний рівень напруги і лічильник почне рахувати з нульового розряду, тобто скинеться або обнулиться. При приходженні на вхід лічильника імпульсу він переходить у наступне положення (збільшує свій двійковий код (або зменшує його)). Якщо у лічильнику всі тригери потрапили в положення 1, то такий лічильник називають переповненим. Такі лічильники мають найпростішу будову, а принцип їх роботи називається принципом послідовного переносу. Також вони мають деякі недоліки, наприклад, затримку при зміні станів тригера. Вона є незначною, проте, помітною на графіках.

2. РОЗРОБКА МАКЕТУ ЛІЧИЛЬНИКА ДЛЯ ПОДАЛЬШОГО ВИКОРИСТАННЯ У ДРАЙВЕРІ СИЛОВОЇ УСТАНОВКИ МУЛЬТИКОПТЕРІВ ТА ДРОНІВ

2.1. Розгляд основних функцій елементів лічильника та можливі варіанти їх реалізації

Лічильник у своїй структурі має дві різних за функціоналом групи елементів: група що виконує функцію пам'яті, тобто буде запам'ятовувати 0 або 1 та зберігати це положення поки на вхід не потрапить сигнал для зміни стану та група що виконує функцію перемикачів, тобто створює сигнал для зміни стану елементів першої групи.

У ролі елементів першої групи можуть виступати: реле з пам'яттю (тобто з фіксацією), тригер, перемикач (вимикач) та кнопка з фіксацією, яка при натисненні (або при надходженні на неї сигналу у випадку якщо вона виготовлена на польових або біполярних транзисторах) буде змінювати стан та зберігати його. Найчастіше це тригери, які при приході на вхід керуючого сигналу змінюють свій стан на протилежний, наприклад, JK-, RS-, або T-тригери.

У ролі елементів другої групи, зазвичай, виступають групи логічних елементів, за допомогою яких будується логіка, тобто послідовність та умови для здійснення перемикачів та скидань елементів першої групи. Для реалізації цих функцій існують готові модулі (логічні мікросхеми), проте, для повної інтеграції в єдину мікросхему свого драйвера, я побудував всі ці елементи на основі ТТЛ та ТРЛ на біполярних та польових транзисторах. Найпростішим варіантом реалізації елементів другої групи є кнопка (без фіксації) та перемикач.

Також лічильник можна побудувати за допомогою конденсаторів та резисторів (RC контурів), які будуть поступово заряджатися з кожним новим імпульсом, що до них надходить та поступово розряджатися передаючи енергію на наступний конденсатор. Почнемо з розгляду принципу роботи найпростішого з варіантів реалізації кожної з цих двох груп, тобто, кнопки без фіксації, кнопки з фіксацією та перемикача.

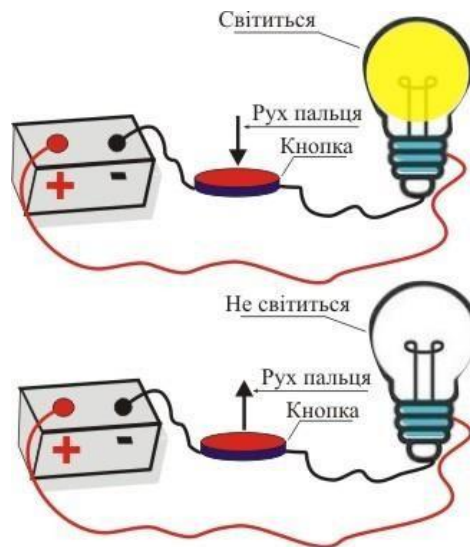


Рис. 2.1 Кнопка без фіксації

Звичайна кнопка без фіксації працює таким чином: якщо на кнопку натиснули, то в колі з'являється сигнал, тобто, на виході з'являється 1, якщо сигналу немає (на кнопку ніхто не тисне) то на виході буде 0. Кнопка з фіксацією працює так: коли ми натискаємо на кнопку, то сигнал з'являється (1) якщо його не було (0), та зникає (0), якщо був (1), тобто, вихідний сигнал змінюється на протилежний.



Рис. 2.2 кнопка з фіксацією

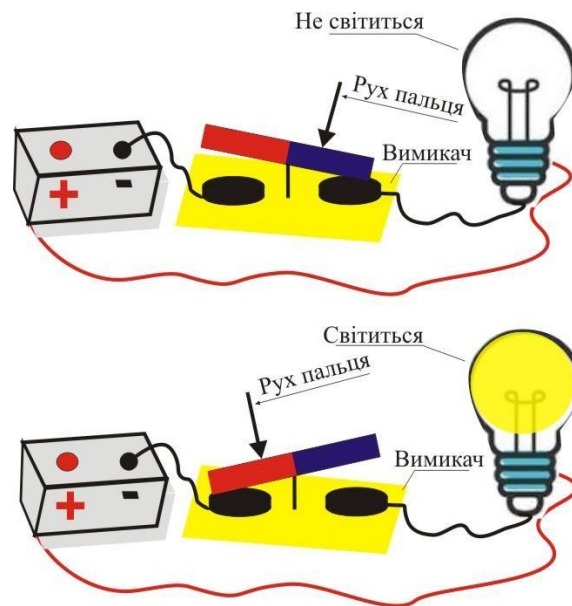


Рис. 2.3 Перемикач

Перемикач може бути двох типів: він може замикати центральний дріт з правим виходом або з лівим виходом а також він може виконувати функцію вимикача. Вимикач, аналогічно як і кнопка з фіксацією, має два вхідних положення. При кожному натисканні вихідний сигнал змінюється на протилежний, тобто, якщо на виході був сигнал (1), то сигнал зникне (0), а якщо сигналу не було (0), то він навпаки з'явиться. Перемикач більш універсальний за два інших пристрої, тому що перемикач може як задавати логіку перемикання так і виступати у ролі елемента першої групи, тобто у ролі елемента запам'ятовуючої групи.

Надалі дані описані пристрої були створені на основі польових та біполярних транзисторів. Тільки кнопки і вимикачі замінені затворами польових транзисторів та базами біполярних транзисторів. Для створення кнопки достатньо встановити один біполярний транзистор (і базу використати у якості виходу, що вмикає кнопку) або один польовий транзистор (і його затвор використати у якості виходу схеми, на якому очікується сигнал для ввімкнення кнопки).

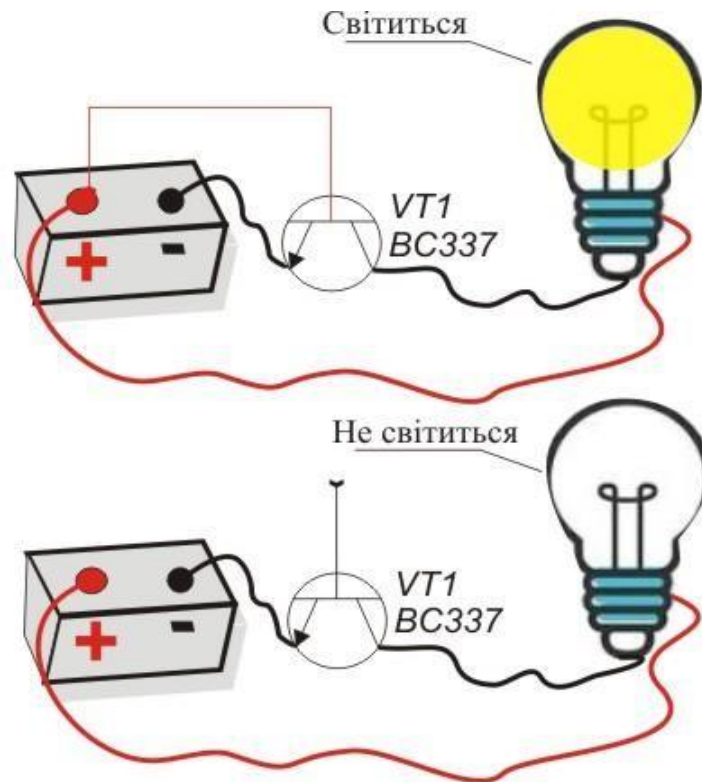


Рис. 2.4 Кнопка без фіксації створена на основі біполярного транзистора n-p-n типу

Для роботи перемикача (вимикача) потрібно побудувати таку логіку: якщо прийшов сигнал і на виході є сигнал, то розімкнути коло (створити відсутність сигналу, тобто логічний 0), а якщо ж на вхід прийшов сигнал, а на виході сигналу немає, то навпаки потрібно замкнути коло (створити сигнал на виході, тобто логічну 1). Запишемо таблицю істинності для перемикача.

Таблиця 2.1 Таблиця істинності перемикача (вимикача)

Стан на виході вимикача	Вхідний сигнал	Результат на виході
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

Як можна побачити з даної таблиці якщо ми візьмемо вихідний сигнал та вхідний сигнал на перемикач і застосуємо для них функцію XOR. Ми отримаємо потрібний нам результат на виході. Тобто, якщо приходить вхідний сигнал для перемикача, то стан на виході змінюється на протилежний. Якщо ж сигналу для зміни стану немає, то немає і зміни вихідного сигналу. Це

також можна зробити за допомогою трьох логічних елементів для яких існують мікросхеми: 2І, 2АБО, 2І-НЕ. Їх потрібно застосувати таким чином 2І(2АБО(стан на виході вимикача, вхідний сигнал), 2І-НЕ(стан на виході вимикача, вхідний сигнал)). Нижче наведена таблиця істинності для цих трьох операцій.

Таблиця 2.2 Таблиця істинності перетворень для отримання перемикача (вимикача)

Стан на виході вимикача	Вхідний сигнал	OR (або)
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1
Стан на виході вимикача	Вхідний сигнал	NAND (І-НЕ)
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0
OR (або)	NAND (І-НЕ)	Результат на виході
0	1	0
1	1	1
1	1	1
1	0	0

Та схема реалізації на логічних елементах наведена на рис. 2.4.

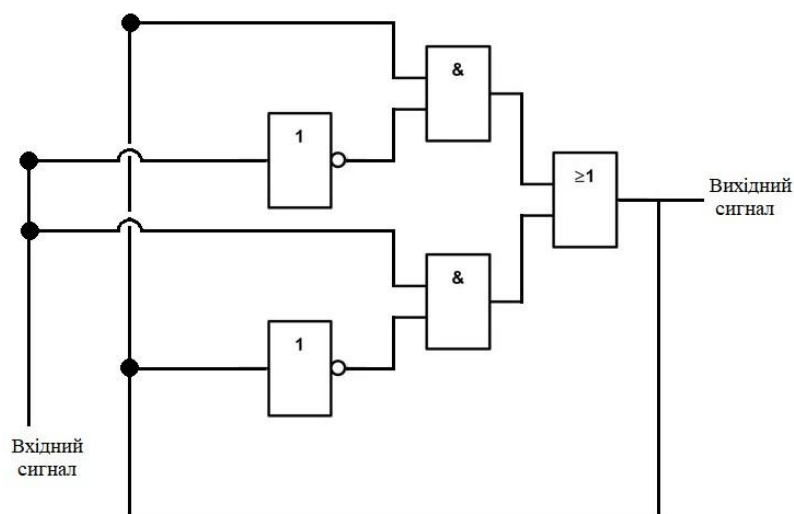


Рис. 2.5. Схема перемикача (вимикача) побудованого на логічних елементах

Аналогічною є таблиця істинності і реалізація на базі логічних елементів для кнопки з фіксацією.

Розглянемо побудову схеми фіксації на біполярних транзисторах.

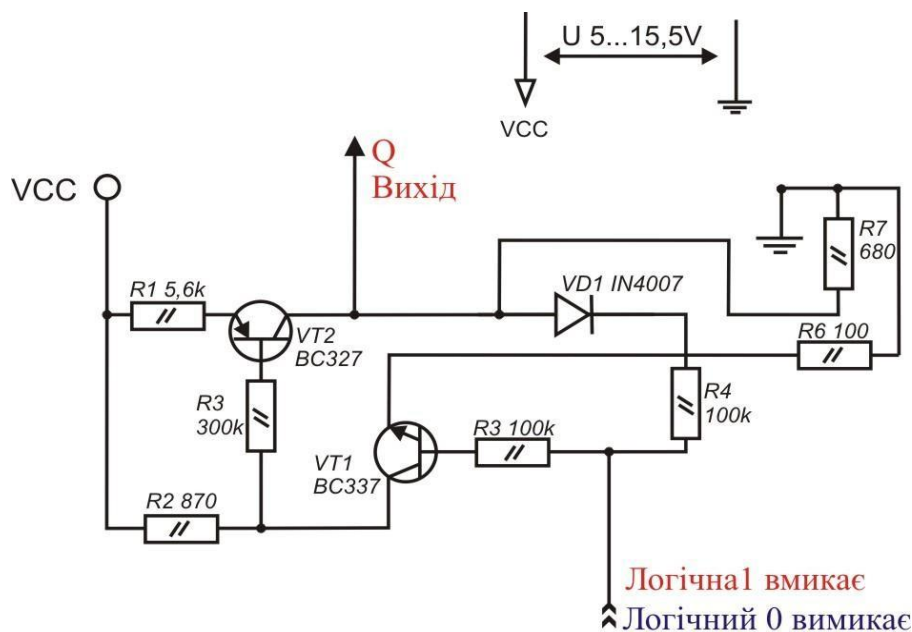


Рис. 2.6 Схема фіксації поданого сигналу на біполярних транзисторах

Розглянемо два можливих варіанти вхідного сигналу на схему рис. 2.6. Розглянемо спочатку прихід логічної одиниці (тобто сигналу) на VT1, біполярний транзистор n-p-n типу. У такому випадку транзистор VT1 відкриється, а отже на його колекторі виникне логічний нуль. Біполярні транзистори p-n-p типу, на відміну від транзисторів n-p-n типу, відкриваються не логічною одиницею а нулем. У даний момент часу транзистор VT1 працює як кнопка без фіксації. Потрібно зафіксувати це положення. Для цього скористаємося іще одним транзистором VT2, який є комплементарною парою транзистора VT1. Якщо транзистор VT1 відкритий, то відкриється і транзистор VT2 у якого на колекторі утворить логічна одиниця. Дана логічна одиниця йде на вихід Q та через діод VD1 та резистори бази R4 і R3 на транзистор VT1. Дана логічна одиниця відкриває транзистор VT1 і схема фіксується. Інший можливий випадок – це подання на вхід схеми логічного нуля. Якщо на базу транзистора VT1 подати логічний 0, то транзистор VT1 закриється, а отже і закриється транзистор VT2. На вихід Q також прийде поданий нуль, який пройде через резистор R4 та діод VD1. Діод VD1 встановлений, щоб перешкоджати виходу

прямої одиниці (поданої на вхід) на вихід Q. На вихід Q логічна одиниця потрапляє з колектора транзистора VT2.

Маючи схему фіксації, яка може зберігати стан логічної одиниці та нуля за відсутності вхідного сигналу, потрібно побудувати схему для розмикання цього фіксатора (аналог скидання тригера).

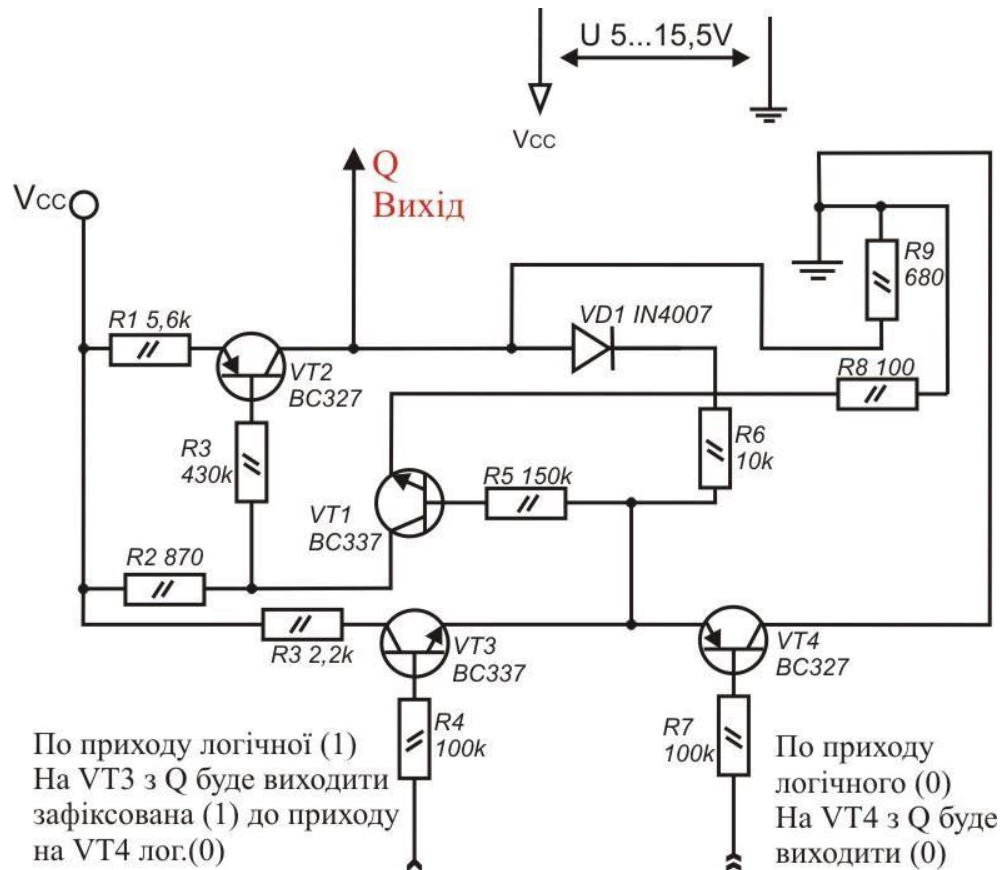


Рис. 2.7 Схема фіксації логічного рівня з виходом для установки логічної одиниці та логічного нуля

Схема на рис. 2.7 відрізняється від схеми на рис. 2.6 наявністю двох транзисторів: VT3 р-п-р типу і VT4 п-п-п типу. Якщо на транзистор VT3 подати сигнал (логічну одиницю), то на емітері цього транзистора також встановить логічна одиниця, яка, у свою чергу, після проходження через резистор R5 прийде на базу VT1. За допомогою ж транзистора VT4, ми отримуємо логічний нуль на вході транзистора VT1, так як при подачі логічного нуля на базу транзистора VT4 він відкриється і на його емітері виникне логічний нуль. Логічна одиниця затримується у даній схемі фіксації до тих пір поки логічний нуль не прийде на транзистор VT4 та не скине її. У додатку А.3 остаточна схема даного пристрою.

2.2. Принцип роботи лічильника

На схемі додаток А.3 ми маємо два виходи один використовується для скидання схеми а інший для створення логічної одиниці на виході. Доки з нашої схеми фіксації логічного рівня приходить логічний нуль, на базу транзистора VT4 (аналог елементу НЕ у даній схемі) з Q виходить логічна одиниця. Якщо на базу транзистора VT1 подати логічний нуль, то на виході розглянутої схеми фіксації зі скиданням утвориться логічна одиниця, яка закриє транзистор VT4 та на виході Q утвориться логічна одиниця. Вихід Q₁ є прямим виходом розглянутої раніше схеми фіксації логічного рівня зі скиданням і дасть на виході логічну одиницю. Якщо ж закрити транзистор VT2, подавши на нього логічний нуль, через VD2, то схема повернеться в своє початкове положення. Всі ці блоки, названі як КН2-КН6 на додатку А.1 працюють по такому принципу (рис.2.8) та виконують роль елемента першої групи (пам'яті зі скиданням) та мають аналогічний функціонал з тригером.

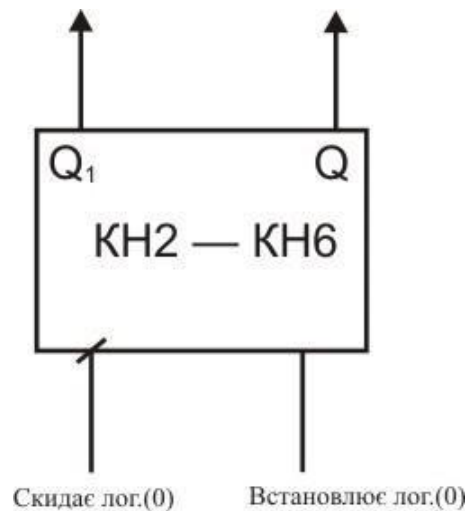


Рис. 2.8 Пристрій першої функціональної групи для лічильника

У початковий момент часу на колекторі транзистора VT4 встановлюється логічна одиниця яка у свою чергу відкриває транзистор VT7 та на виході Q встановлюється логічна одиниця. Також в цей час схема фіксації має на виході логічний нуль, тому транзистор VT6 зачинений і на виході Q₁ встановлений логічний нуль. При подачі логічного нуля на транзистор VT1, на колекторі транзистора VT4 встановлюється логічний нуль, який закриває транзистор VT7 та на виході Q встановлюється логічний нуль. На транзистор VT6 через резистор

R12 підключений прямиий вихід схеми фіксації логічного рівня, а отже на його базу приходить логічна одиниця та він відчиняється. Транзистори VT5 та VT6 додатку А.3 відчиняються і на виході Q_1 встановлюється логічна одиниця, а вихід Q переходить у стан логічного нуля. За таким механізмом реалізовано перенесення логічної одиниці. Блоки КН2-КН6 працюють як пристрої першої функціональної групи і запам'ятовують стани на виходах та змінюють його (перемикаються та переносять логічну одиницю на наступний елемент) при приходженні на вхід керуючого сигналу про перемикання. Даний керуючий сигнал – логічний нуль, який подається на транзистор VT1 блоками КН7-КН10, які і реалізують логіку перемикання і є елементами другої функціональної групи.

Блоки КН7-КН10 Рис.2.9 мають подібну схему до блоків КН2-КН6, так як в основі їх будови та роботи лежить схема фіксації логічного рівня.

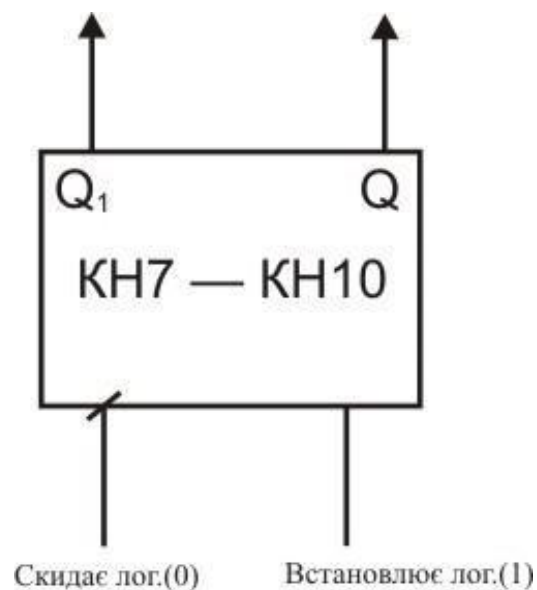


Рис. 2.9 Пристрій другої функціональної групи лічильника

Відмінність схем КН7-КН10 та КН2-КН6 полягає в тому, що на схему фіксації зі скиданням (яка є спільною для двох розглянутих схем) керуючий сигнал подається напряму (на базу транзистора VT1 додатку А.4), а не через транзистор (логічний елемент НЕ, представлений транзистором VT1 додатку А.3, з колектор якого з'єднаний з базою транзистора VT2), а отже, керування здійснюється за допомогою подачі керуючого сигналу у вигляді логічної одиниці,

а не логічного нуля. Функціонально блоки КН7-КН10 реалізують логічну частину переносу сигналу у лічильнику і зміщують логічні нулі, що подаються на вхід даного лічильника.

Проте, тепер виникає потреба у тому, щоб на початку роботи обов'язково першим сигналом прийшла одиниця, так як якщо на вхід лічильника прийде логічний нуль, то блоки КН7-КН10 здійснять перемикання блоків КН2-КН6 та відлік почнеться з другого виходу, тобто з Q_1 . Даний функціонал реалізований в блоці КН1 додаток А.1.

Даний блок виконує функцію пропуску всіх логічних нулів доти, доки на вхід цієї схеми не буде подана логічна одиниця. Схема цього блоку показана на додатку А.2. Він також має в своїй конструкції кнопку з фіксацією логічного рівня та логічний елемент І (який складається з біполярних транзисторів VT3 та VT5).

На початку транзистори VT1 та VT2 відкриті. Коли на вхід даного блоку приходять логічний нуль, то транзистор VT2 зачиняється, тоді через резистори R3, R4 відчиняється база транзистора VT3, але транзистор VT5 зачинений. Транзистори VT3 та VT5 утворюють логічний елемент І який не пропускає логічний нуль на елементи другої групи, які виконують переноси сигналів у лічильнику. Це гарантує початок рахунку лічильника саме з першого виходу.

Інший можливий варіант – це подача на блок КН1 на вхід логічної одиниці. Логічна одиниця прийде на базу транзистора VT1 він закриється і це дасть змогу відкритися транзистору VT6 з колектору якого логічна одиниця потрапляє на контур І КН1, а також ця одиниця приходять першою на елементи лічильника і лічильник порахує перший сигнал. Колектор транзистора VT6 також з'єднаний зі схемою з фіксацією логічного рівня (представленою на схемі транзисторами VT7, VT8 та діодом VD2), яка при приходженні на неї логічної одиниці фіксує її та передає через діод VD3 зі свого виходу на транзистор VT5 логічного елементу І та фіксує на ньому значення логічної одиниці (тримає його відкритим) весь час поки на схемі є живлення, так як немає розмикання. Наступний нуль, який прийде на вхід цієї схеми, спрацює так як логічний елемент І пропустить сигнал (транзистори VT3

та VT5 будуть ввімкненими) і цього разу відкриє транзистор VT4 та пропустить через нього на емітер логічний нуль на Контур II (стоп). В подальшому логічна одиниця переходить по виходах КН2-КН6, а логічний нуль приходиться на входи блоків КН7-КН10, що у свою чергу дає їм можливість створювати керуючий сигнал для блоків КН2-КН6. Блок-схема даного пристрою зображена на додатку А.1.

Даний блок містить два контури: контур I, який робить вихідний сигнал на Q_0 - Q_5 (тобто на всіх виходах лічильника) тривалим, тобто одиниця буде на виході лічильника поки керуючий сигнал, створений блоками КН7-КН10 не перенесе цю одиницю на наступний вихід лічильника та контур II, який створює зупинку лічильника, якщо його підключити до будь-якого потрібного нам виходу Q_1 - Q_5 .

Якщо нам потрібно зберегти тривалість логічної одиниці на виході лічильника такою, як її генерує ШІМ, то вихід (базу транзистора VT14) КН1 потрібно з'єднати з живленням V_{cc} . Якщо зупинка сигналу нам не потрібна, то вихід контуру II КН1 потрібно з'єднати з мінусом живлення лічильника, щоб не було наводок від висячих виходів.

Коли лічильник повністю заповнюється, тобто спрацьовує останній вихід лічильника, потрібно зробити скидання всіх блоків КН2-КН6 та КН7-КН10 у початкове положення. Для цього створений блок КН11 (додаток А.1). Схема цього блоку – додаток А.5.

Вхід VD2 ми поміщаємо в будь-який із вихідних сигналів Q_1 - Q_5 (додаток А.1). Це визначає на якому сигналі лічильнику потрібно зробити скид та почати рахувати спочатку. З VD2 сигнал поступає на схему фіксації логічного рівня (транзистори VT4, VT2 та діод VD3), яка відкриває транзистори VT3 та VT5. Колектор транзистора VT8 використовується для переносу логічної одиниці на інші мікросхеми та прилади. Якщо на вхід блоку КН11 приходиться логічний нуль з КН1, то транзистор VT7 (є складовою елемента I з транзистором VT6) відкривається і пропускає логічну одиницю. Логічний елемент I (утворений транзисторами VT7 та VT6) спрацьовує і пропускає логічну одиницю, яка відкриває базу транзистора VT9, який скидає КН2-

КН10, а блок КН11 скидається, через діод VD1 та транзистор VT1 (логічний елемент НЕ), першим вихідним сигналом Q_0 з лічильника (додаток А.1).

Транзистори контуру ІІ КН1 між КН1 та КН11 (додаток А.1) встановлюють зупинку лічильника на потрібному сигналі Q_0 - Q_5 лічильника (для цього базу транзистора VT14 блоку КН1 потрібно з'єднати з мінусом живлення). Електричні параметри створеного лічильника наведені на рис. 2.10.

Напруга живлення, В	+4...+15
Вхідна напруга	+2,5...+7,5

Електричні параметри

Параметри		Тип.
Вхідна напруга "0", В	$U_{п=+5В}$	0,05
	$U_{п=+9В}$	0,05
	$U_{п=+15В}$	0,05
Вихідна напруга "1", В	$U_{п=+5В}$	4,95
	$U_{п=+9В}$	8,95
	$U_{п=+15В}$	14,95
Вхідний струм, мкА	$U_{п=+15В}$	0,6
Струм споживання в стані спокою, мкА	$U_{п=+5В}$	80
	$U_{п=+9В}$	100
	$U_{п=+15В}$	120
Вихідний струм, мА	$U_{п=+5В}$	0,36
	$U_{п=+9В}$	0,9
	$U_{п=+15В}$	3,5

Рис. 2.10 Електричні параметри створеного лічильника

2.3. Діодне логічне перемикання

A	B	C
ЖОВТИЙ	ЧОРНИЙ	ОРАНЖЕВИЙ
0	0	1
0	1	1
0	1	0
1	1	0
1	0	0
1	0	1

Рис. 2.11 Таблиця подачі сигналів

Драйвер створений мною в дипломній роботі бакалавра можна інтегрувати в створений лічильник додавши в нього три виходи, які можна буде з'єднувати з N-МОСТАми.

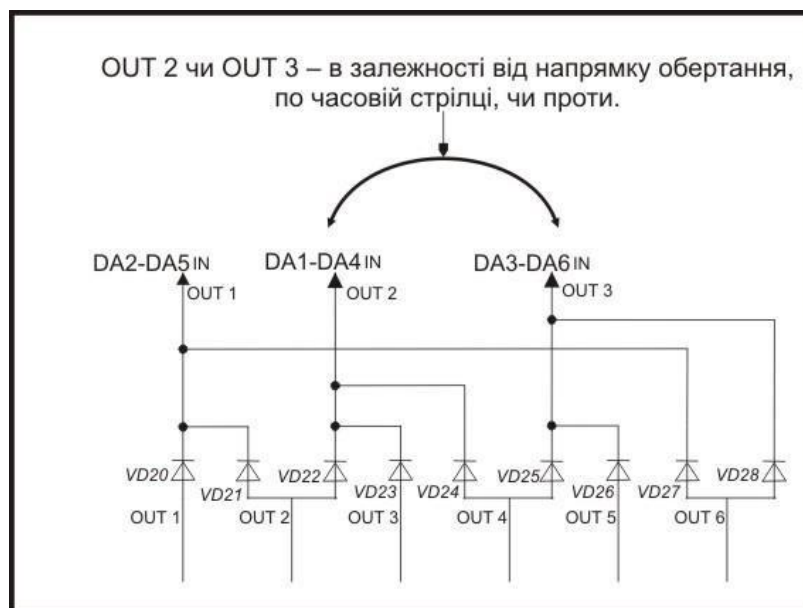


Рис. 2.12 Схема діодного перемикачя розробленого у дипломній роботі бакалавра для керування трифазними двигунами постійного струму для мультикоптерів та дронів

На рис. 2.11 зображена таблиця сигналів, а на рис. 2.12 схема діодної розв'язки, яка дає змогу реалізувати дану таблицю керування силової установки мультикоптера (A, B, C – це виходи двигуна). OUT1–OUT6 – це місця куди в такій же послідовності потрібно приєднати виходи нашого лічильника.

Для керування силовими установками мультикоптерів виходи діодного перемикачів OUT1-OUT3 потрібно підключити до N-МОСТів у яких транзистори постійно відчинені на стікання у випадку відсутності вхідного сигналу (якщо на верхньому плечі транзисторів пів мостів з'являється сигнал, то стік в даній точці закривається).

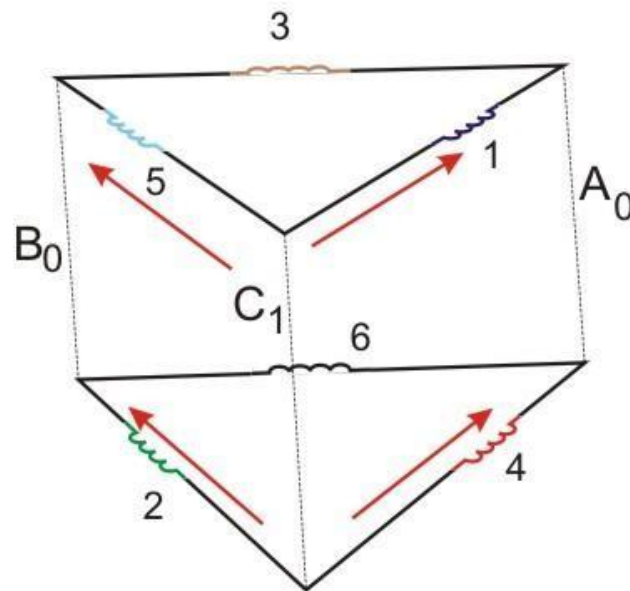


Рис. 2.13 Хід струму у котушках двигуна, при керуванні двигуном за запропонованою схемою на рис. 2.11

Від послідовностей підключення OUT1, OUT2 та OUT3 залежить напрямок обертання двигуна.

2.4 Мікросхема лічильник (драйвер) для двигунів мультикоптерів

На рис. 2.14 зроблені креслення та розписані піни лічильника при інтеграції в мікросхему. Q_0 - Q_5 – вихідні сигнали лічильника, OUT1-OUT3 – вихідні сигнали на півмостові драйвери N-МОСТів для безколекторних двигунів постійного струму, з'єднаних трикутником (12котушок, 14магнітів).

Живлення складає від 4В до 15В. Скид використовується для встановлення циклічності лічильника. Лічення – це вихід мікросхеми, на який надходить сигнал ШІМ чи сигнали в ключовому режимі та саме ці сигнали і рахує лічильник. 1+ – це вихід, який дає можливість отримувати на виході логічну одиницю за тривалістю таку ж як і тривалість ШІМ сигналу або встановлювати

логічну одиницю на виході лічильника, до тих пір, поки на вхід лічильника «лічення» не прийде логічний нуль.

Стоп зупиняє лічильник на одному з $Q_0 \dots Q_5$ в залежності від того, в який із Q він встановлений. Перенос дає на виході сигнал (логічну одиницю) по закінченню циклу лічильника. Земля – це вихід до якого потрібно під'єднати спільний мінус схеми.

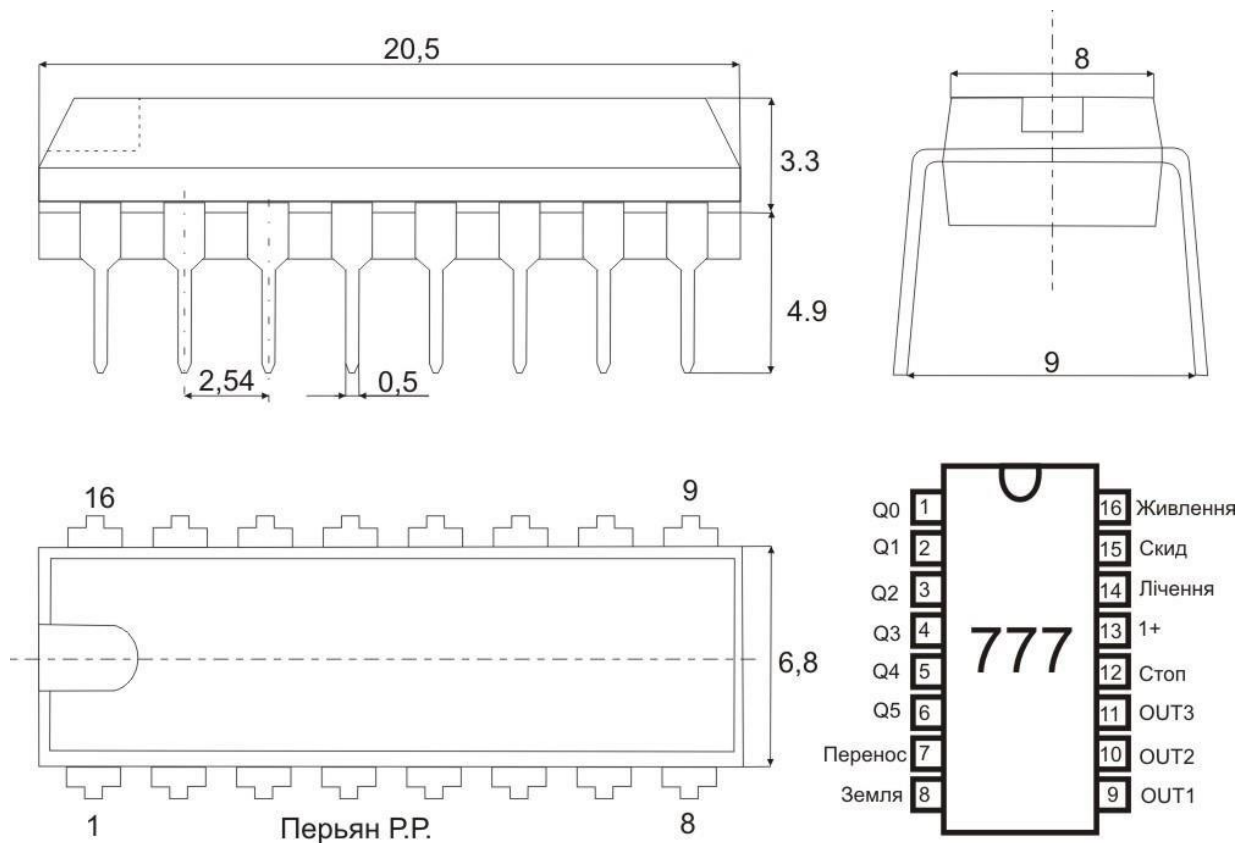


Рис. 2.14 Креслення мікросхеми лічильника

2.5 Інші способи реалізації лічильника імпульсів

Перевагою використання мікросхем є те, що вони займають менші розміри та виконують певну визначену функцію, перевірені на багаторічній практиці та містять багато досліджень, а також можливість майже із будь яких вільних виходів логічних мікросхем створити ШІМ сигнал всередині мікросхеми та прибрати залежність від зовнішнього ШІМ сигналу та взагалі потребу в його використанні.

Недоліками мікросхем тригерів є те, що, по-перше, важко змінити характеристики тригера ззовні, а найчастіше навіть не можливо, так як його

структура знаходиться у мікросхемі та, так як не відомо чітко з яких елементів складена та чи інша мікросхема, то важко інтегрувати всю свою схему в нову мікросхему, а, по-друге, в умовах воєнного стану не всі мікросхеми є доступними.

Але перенесення сигналу можна здійснити і за допомогою таких елементів як транзистори (створивши на них кнопки з фіксацією та без). У ролі кнопки з фіксацією себе дуже добре показує польовий транзистор залишаючись у закритому чи відкритому стані до приходу наступного закриваючого чи відкриваючого затвор імпульсу. А у ролі кнопки без фіксації найкраще підійдуть біполярні транзистори.

Такий підхід має ряд переваг: по-перше, схеми, складені на основі опорів, ємності р-п переходів та самих р-п переходів є добре інтегрованими в одну мікросхему, що збільшує надійність такої схеми та зменшує вартість при масовому виробництві, збільшує надійність та розміри плати, забезпечує компактність пристрою, по друге, такі схеми не чутливі (або мало чутливі – працюють з майже будь яким транзистором такого ж типу) до елементів з яких такі схеми складаються та доступність елементів – складових схеми, а по-третє, в таких семах можна створити внутрішню генерацію імпульсів та прибрати необхідність у використанні зовнішнього ШІМ сигналу.

Можна також зробити лічильник та подільник імпульсів за допомогою лише польових або лише біполярних транзисторів окремо.

Перевагою використання польових транзисторів є те, що лічильник може стати відразу всім драйвером, так як він може керувати великою потужністю та відразу живити котушки двигунів без силових ключів, а також вони мають більш високу швидкодію, порівняно з біполярними, так як у них відсутнє накопичення і розсіювання неосновних носіїв заряду.

Їх недоліками є більша вартість та складність в інтеграції їх в мікросхему.

Також перенесення імпульсів по виходах можна здійснити за допомогою мультівібратора (наприклад, на резисторах, транзисторах та конденсаторах) чи взагалі на RC-контурі (складених з резисторів та конденсаторів).

Перевагою такого підходу є: по-перше, те, що лічильники за такою схемою є простими у складанні для будь-якого радіолюбителя, та дешевими, а по-друге, мають відразу внутрішню генерацію сигналу та не мають потреби у зовнішньому ШІМ генераторі та у будь-якій доробці схеми для генерації. Схеми та результати такого дослідження наведені у додатку.

Проте, є у такого підходу і недоліки, а саме лічильник за таким принципом важко інтегрувати в одну мікросхему та при масовому виробництві цей спосіб стає дорожчим за транзисторний і має меншу надійність, займає більші розміри (менш компактний), має більшу вагу та для чіткої роботи потребує ретельний вибір номіналу резистора для кожного конденсатора.

Також можна створити лічильник за допомогою використання запам'ятовуючого елемента та логічної схеми перемикання цього елемента. Так наприклад для запам'ятовування може бути використаний ефект гігантського опору та властивість спінів змінювати напрямок своєї орієнтації. Проте, дані технології, по-перше, складно та дорого реалізуються відносно схем складених з резисторів та p-n переходів, а, по друге, вони набагато більш чутливі до магнітних полів ніж транзисторні електричні схеми (отже, є менш надійними).

Так, наприклад, можна використати зовнішню пам'ять чи пам'ять плати Arduino Uno. Два різних алгоритми реалізації лічильника імпульсів за допомогою програмного коду я написав та перевіряв на практиці.

Загальною перевагою програмного підходу до реалізації лічильника є те, що код легко пишеться, є зрозумілим будь якій людині, яка пробувала зробити хоча б один проект на Arduino (чи Raspberry Pi), тобто є більш простим, а також програмний код легко змінювати у процесі розробки проекту додаючи йому все більше певних можливостей та удосконалюючи його (на відміну від реалізації схеми на окремих елементах (резисторах, транзисторах, діодах та конденсаторах), де іноді, щоб додати чи змінити певну функцію схеми її доводиться повністю перебудувувати заново. Мають можливість генерувати сигнали без зовнішнього ШІМ генератора та відслідковувати правильність

роботи схеми, отримуючи зворотній зв'язок, а також у військовій сфері легко полагодити програму завантаживши її на контролер заново за кілька хвилин.

Якщо використати мікросхему, таку як $\mu\text{P}2040$, то можна досягти виконання іще більшого спектру задач за рахунок наявності двох обчислювальних кристалів (процесорів), які працюють незалежно один від одного. У такому випадку один з кристалів може бути використаний для обміну інформацією (сигналами) з головним контролером (наприклад, Arduino Mega) і передачею на нього кількості обертів двигуна, температури двигуна, кута нахилу променя мультикоптера відносно лінії моря, температури силових ключів, тощо. Інший же процесор (ядро) виконуватиме функцію керування безпосередньо двигуном (а саме, буде виконувати функцію лічильника імпульсів).

Суттєвими недоліками у використанні такого підходу є те, що, по-перше, надійність такого підходу нижча і при використанні магнітних полів проти такого приладу він вийде зі строю та не виконає свого призначення, по-друге, такий підхід потребує значно більше коштів на виготовлення.

У ролі запам'ятовуючого пристрою, стан якого ми будемо змінювати може слугувати реле з пам'яттю (як РСП32). Перевагою реле з пам'яттю є те, що воно буде мати більш високу стійкість до ударів та механічної дії на нього і є дуже надійним у якості пам'яті, відразу може бути задіяне у керуванні двигуном без силового ключа, так як може пропускати через себе струм великої потужності, на відміну від існуючих лічильників (таких як CD4017, чи лічильника на Arduino).

Проте, у такого підходу також є недоліки пов'язані з тим, що даний механізм втратить свою пам'ять у магнітних полях та знову ж таки буде гіршим в жорстких умовах.

Також, окрім описаної вище схеми, було створено іще одну схему на біполярних та одну схему на польових транзисторах. Дані схеми найкраще підходять для подальшого використання оскільки вони є добре інтегрованими. Логіка роботи даних схем побудована на принципі того, що або польовий транзистор, або тригер, або електронна кнопка з фіксацією на біполярних транзисторах (кнопка з фіксацією) змінює свій стан тоді, коли звичайна кнопка,

на біполярних або польових транзисторах, яка реагує на зовнішній ШІМ сигнал (а точніше на зміну знаку напруги), встановлена на вході лічильника та, при приході на неї сигналу ззовні, спрацьовує та пропускає змінюючий сигнал на кнопку з фіксацією. Тобто, механізм роботи аналогічний до розглянутої вище схеми лічильника.

Так, у початковий момент часу, встановлюється стан – всі транзисторні кнопки з фіксацією вимкнені. Далі, після того як на вхідну кнопку без фіксації прийде сигнал почне перевірятися така умова: якщо всі кнопки з фіксацією знаходяться у стані «вимкнено» і спрацювала вхідна кнопка без фіксації, то змінити стан першого виходу Q_0 на стан «ввімкнено».

Далі логіка працює таким чином: при повторному приходженні сигналу знову спрацьовує кнопка без фіксації на вході на зміну знаку напруги та перевіряється така умова: якщо у Q_i кнопки з фіксацією стан «ввімкнено», то, за умови, що $i \neq n$ ввімкнути Q_{i+1} , та вимкнути Q_i кнопку з фіксацією, а якщо ж $i = n$, то вимкнути Q_i та ввімкнути Q_0 кнопку з фіксацією.

Схема на польових транзисторах виявилася більш універсальною за рахунок великої кількості режимів роботи, а саме: можливості реалізувати ефекти бігучий вогонь, бігуча тінь, лічильник з переносом імпульсів послідовно та регістр з зсувом. Схема на польових транзисторах побудована на основі розрядки ємності затвору, тому існує залежність ефекту, що спостерігається від значення опору: якщо затвор встигає закритися, то відбувається ефект лічильника з переносом, якщо час закриття у півтора рази більший за час відкриття, то одержується взагалі готовий драйвер з трьох виходів такого лічильника (один вихід допрацьовує і відразу починає намагнічуватися наступна котушка двигуна), якщо час відкриття одного транзистора рівний часу закриття іншого польового транзистора, то відбувається ефект поліцейської мигалки (лічильник на два з декількома однаковими виходами), якщо час розрядки рівний половині часу зарядки, то буде спрацьовувати одночасно кожен третій вихід, якщо час закриття вдвічі більший за час відкриття, то вогні будуть загоратися попарно, відразу по два, якщо час закриття втричі більший за час відкриття, то вогні будуть

загоратися по три відразу, якщо час закриття в чотири рази більший за час відкриття, то вогні будуть загоратися відразу по чотири, якщо час закриття у п'ять разів перевищує час відкриття, то вогні будуть загоратися по п'ять (тобто, у моїй схемі спочатку загоряться п'ять вогнів, а потім лише один останній), якщо час закриття рівний шести часам відкриття, то вогні будуть загоратися і гаснути всі разом (працюватимуть як мигалка з шести виходів) і останній режим роботи спостерігається коли час закриття польових транзисторів стає більшим за шість часів відкриття транзистора, - це режим коли всі виходи постійно працюють.

Для досягнення такого різноманіття роботи схеми, я не використовував верхні та нижні імпульси одного генератора імпульсів, а встановив два незалежних генератори: один формує імпульси для відкриття транзистора і, тим самим задає частоту відкриття, а інший генерує імпульси для закриття транзистора і задає частоту закриття. Для цього встановлена комбінація із різних резисторів та конденсаторів, які формують імпульс і задають його частоту.

Також суттєвою перевагою є те, що даний лічильник може досить добре керувати великими навантаженнями без додаткових силових ключів та має велику (в порівнянні з біполярними транзисторами та конденсаторними контурами) частоту спрацьовування, що дозволяє такому лічильнику працювати в діапазоні високих частот.

Недоліком даної схеми є важкість у одночасному підлаштуванні частоти закриття та відкриття транзисторів для збереження одного і того ж ефекту з різними частотами. Дане завдання легко вирішується якщо завчасно обрати певний потрібний режим роботи. Найбільш актуальними для виконання драйверів на основі такого лічильника є два режими: час відкриття транзистора рівний шести часам закриття транзистора та час відкриття транзистора у півтора рази більший за час закриття транзистора. Для першого випадку потрібно виготовити стерео резистор такий, щоб опір максимальний для перших виходів був у шість разів більший за опір у других виходів, а конденсатори для обох генераторів (RC – кіл використати одного номіналу). Тоді $\frac{\tau_{RC\text{відкриття}}}{\tau_{RC\text{закриття}}} = \text{const} = 6$,

так як $\frac{\tau_{RC\text{відкриття}}}{\tau_{RC\text{закриття}}} = \frac{R_{\text{відкриття}} \cdot C}{R_{\text{закриття}} \cdot C} = \frac{R_{\text{відкриття}}}{R_{\text{закриття}}} = \frac{k \cdot n \cdot R}{n \cdot R} = k = 6$. Тут R – значення меншого опору стерео резистора, n – процентне значення того, на скільки резистор є відкритим (воно є однаковим для резистора і RC – кола відкриваючого генератора, і RC – кола закриваючого генератора, тому що у стерео резистора опір обох його частин змінюється відсотково однаково), k – відношення опорів першої та другої частин стерео резистора. Такий резистор можна створити використовуючи дрід однакової довжини (l) та з різного матеріалу для обох частин стерео резисторів (буде різним питомий опір, ρ), або дроту з одного матеріалу, однієї довжини проте різної площі перерізу (S) цього дроту (так як опір визначається як $R = \frac{\rho \cdot l}{S}$). Другий випадок реалізується аналогічно до першого, але максимальний опір першої половини стерео резистора слід обрати в півтора рази більшим за опір другої його половини, тоді $\frac{\tau_{RC\text{відкриття}}}{\tau_{RC\text{закриття}}} = \text{const} = 1,5$.

Схема на біполярних транзисторах також має певні переваги, а саме легко розширюється на різну кількість вихідних сигналів просто додаванням іще однієї схеми електронної кнопки та схеми, що буде реалізовувати логіку перемикачів і для цієї транзисторної кнопки. Працює також у багатьох режимах роботи: як лічильник, як подільник імпульсів, має скидання. Виконує роль лічильника, як CD4017, але без втрати одного ШІМ імпульсу кожного разу для скидання лічильника.

Недоліком цієї схеми є потреба у зовнішньому генераторі імпульсів та потреба у силових ключах для управління потужними навантаженнями. Перша проблема вирішується дуже легко за допомогою додавання мультівібратора у ролі генератора імпульсів, який також можна зробити на резисторах та транзисторах. Потім вивести ніжки генератора імпульсів окремо в зовнішню конструкцію схеми. Це створить додаткову універсальність даного лічильника так як його можна буде використовувати як без зовнішнього ШІМ сигналу так і з ним в залежності від потреби.

Менші частоти спрацювання ніж у польових транзисторів не є суттєвим недоліком у використанні таких лічильників для керування мультикоптерами,

оскільки максимальна частота роботи (обертання) двигунів мультикоптерів не надто велика (знаходиться у кілогерцовому діапазоні).

Також реалізовано лічильники на основі RC – контурів та досліджено велику кількість різних комбінацій резисторів та конденсаторів і побудовані відповідні графіки та таблиці (додаток В).

Перевагою такого методу реалізації лічильника імпульсів є доступність радіо елементів, відсутність потреби у зовнішньому генераторі імпульсів та простота у збиранні.

Недоліками такого підходу є складність у встановленні комбінацій резисторів та конденсаторів для різних частот, обмеженість частоти спрацьовування відносно польових та біполярних транзисторів, через обмеженість у значеннях ємностей конденсаторів та затримка на деякий час перед спрацюваннями, пов'язана з зарядом конденсаторів.

Також недоліком є те, що при різких стрибках значень напруги лічильник може видавати іншу послідовність сигналів, проте, це легко виправити додавши у конструкцію такого лічильника підвищуючий/понижуючий імпульсний DC – DC перетворювач, що відразу і розширить потенціал до роботи з різними напругами живлення та з реальними батареями, які в процесі роботи розряджаються та зменшують вихідну напругу, яку вони подають в коло зі струмом, яке вони живлять. Так як перетворювач зі стабілізатором може забезпечити роботу в дуже широкому спектрі вхідного живлення, то дану доробку можна застосувати і для лічильника на біполярних транзисторах.

Для лічильника на польових транзисторах можна встановити компаратор та порівнювати рівні напруги живлення та мінімальної напруги для повного відкриття польового транзистора. Якщо рівень живлення нижчий за напругу повного відкриття польового транзистора, то вхідну напругу слід подати на підвищуючий DC – DC перетворювач імпульсного типу від даного діапазону напруги живлення до значення напруги відкриття польового транзистора. Такі імпульсні перетворювачі та стабілізаційні схеми дозволять лічильникам

працювати в великих діапазонах частот без особливих втрат на їх живлення, так як вони мають високий коефіцієнт корисної дії (ККД).

Створено дві схеми на біполярних та одна схема на польових транзисторах.

Також була здійснена і програмна реалізація лічильника імпульсів з внутрішньою та зовнішньою генерацією ШІМ імпульсів та з регулюванням частоти роботи лічильника за допомогою потенціометра.

Даний метод реалізації мав такі переваги: легкість у написанні коду, можливість швидко змінювати код та оптимізувати його, реверс лічильника при натисканні на кнопку. Реверс є однією з найсуттєвіших переваг так як це дає змогу працювати двигунам як по часовій стрілці так і проти часової стрілки. Програмованість дозволяє також використовувати один і той самий дрон для різних завдань без зміни конструкції в ньому (наприклад, спочатку використати дрон для розвідки за допомогою камери чи замінування перспективно можливої території для розміщення, а потім вирушити на підрив стратегічно важливих об'єктів у ролі дрона підривника.

Головним недоліком даної схеми є те, що вона не вирішує цілі завдання, а саме, виконання бойових завдань у суворих для роботи умовах (наприклад, у сильному магнітному полі, поруч з трансформатором або у потоці електромагнітних хвиль, за допомогою яких ворог зможе вивести дрони з ладу. Ще одним мінусом є ціна робота виготовленого за такими технологіями так як програмований чіп для кожного двигуна буде коштувати значно більше за схему на польових та біполярних транзистора. Це також спричиняє обмежене використання таких дронів у якості дрона підривника.

Швидкість спрацьовування польового та біполярного транзистора також вища за швидкість обробки сигналу за допомогою Arduino чи Raspberry Pi, проте, враховуючи те, що швидкість обертів у безколекторного трифазного двигуна для мультикоптерів складає кілька кілогерц, швидкості програмованої логіки вистачає, тому у моєму випадку це не є суттєвим недоліком.

II. ЧАСТИНА — ЕЛЕМЕНТ ЖИВЛЕННЯ

3. ПРИНЦИП РОБОТИ СИСТЕМИ ЖИВЛЕННЯ

3.1. Акумуляторна батарея (АКБ)

Для живлення силових установок двигунів мультикоптерів частіше за все використовуються батареї номіналом від 1S до 4S, де 1S це 3,7В. На дрон потрібно встановлювати автономні блоки живлення, саме тому я створив два варіанти таких блоків: з двома АКБ та з двома АКБ і додатковим автономним джерелом живлення.

Для дослідження використовувалися Li-Ion акумуляторні батареї 18650, які складаються з катода (відрізняється у різних моделях та надає кожному акумулятору унікальних властивостей), анода (зазвичай виготовляється з кремнію та графіту) та електроліта. На рис. 3.3 зображений хімічний склад таких батарей. Цифри у назві означають розміри акумулятора в міліметрах рис. 3.2.

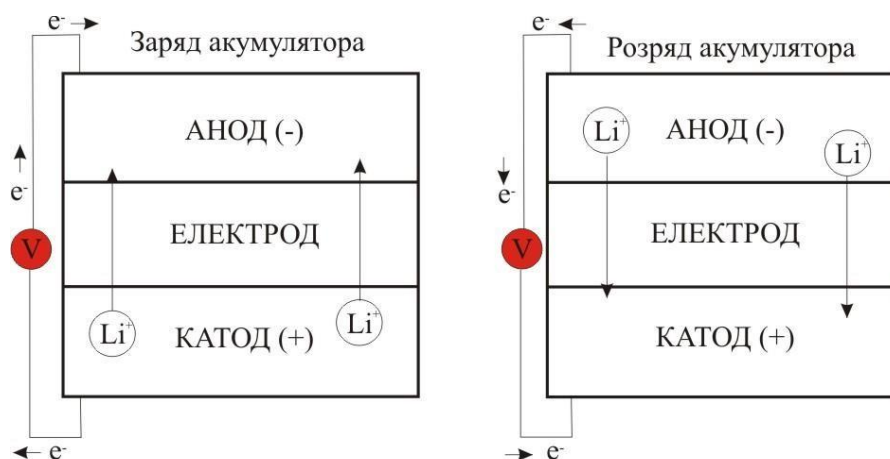


Рис. 3.1 Схема будови літій-іонного акумулятора, його будова



Рис. 3.2 Розміри акумулятора

В дипломній роботі бакалавра я застосовував 2S та 3S акумулятори побудовані на IMR хімічних сполуках, що мають найбільшу ефективність та стабільність серед розглянутих хімікатів, тому що такі акумулятори не гріються, коли розряджаються при високому струмі.

	ICR	INR	IMR	NCR	IFR
Катод (матеріал)	LiCoO ₂ (LCO)	Li(NiCoMn)O ₂ (NCM)	LiMn ₂ O ₂ (LMO)	Li(NiCoAl)O ₂ (NCA)	LiFePO ₄ (LFP)
Температура (max)	150°C	210°C	250°C	150°C	270°C
Ток розряду	1C	1C, 2C	10C	1C	25C – 40C
Цикл	500 – 1000	1000 – 2000	300 – 700	>500	1000 – 2000
Напруга (max)	4,25V	4,25V, 4,35V	4,25V	4,25V	3,65V
Напруга (номінал)	3,6V, 3,7V	3,6V, 3,7V	3,6V, 3,7V, 3,8V	3,6V	3,2V, 3,3V
Напруга (min)	2,5V, 2,75V	2,5V,	2,5V (глибокий розряд) менш 2,0V	2,5V, 2,75V	2,0V,

Рис. 3.3 Хімічна будова АКБ

Для того, щоб підвищити термін розрядки акумулятора та (або) напругу їх механічно з'єднують у більш потужні системи живлення. Існує два основних способи такого з'єднання: спаяти контактною сваркою (щоб не зіпсувати акумулятор під час нагріву) та скріпити термоусадкою (також іноді акумулятори скріплюють іще і скотчем) і найлегший третій метод – це вложити в спеціальні корпуси для 18650 (корпус з вивідними контактами). Для збільшення напруги ми з'єднуємо акумуляторні батареї послідовно, а для збільшення сили струму (тобто, терміну розрядки) паралельно Рис. 3.4.

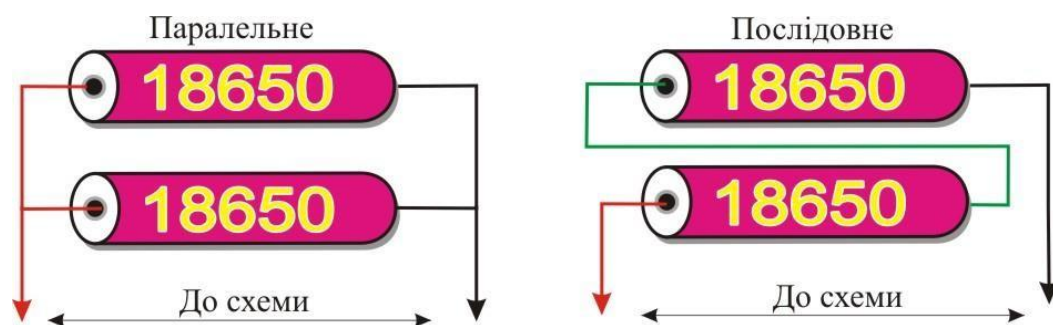


Рис. 3.4 З'єднання двох батарей

Для подальших експериментів було створено батареї номіналами 2S та 3S (за допомогою послідовних з'єднань АКБ). Кількість паралельних з'єднань таких блоків рівна кількості двигунів, що будуть перебувати у роботі. Експериментальна 3S система живлення побудована з трьох IMR 18650 з'єднаних послідовно.

На кожному акумуляторі позначено дві величини С (номінальну та пікову сили струму). У даному випадку для одного акумулятора 10С/25С. Отже, $2200\text{мАгод} * 10 * 0,001 = 22\text{А}$, це номінальний струм, який батарея зможе видавати при безперервному навантаженні.

Характеристики створеного АКБ: номінальний струм (22А), короточасний струм (55А), ємність (2200мАгод), номінальна напруга 11,1В, мінімальна напруга (6В), максимальна напруга (12,75В), розміри (18x65).

Акумулятори 18650 бувають із захистом, наприклад, (РСВ), що призводить до збільшення довжина з 65 мм до 66-67 мм (на 1-2 мм) і без.

3.2. Сонячна батарея

Одним із варіантів автономного блоку живлення є сонячна панель – безлічі фотоелектричних перетворювачів, зафіксованих на жорсткій чи гнучкій підкладці. Розгляд роботи цього пристрою розглянемо на кремнієвій сонячній панелі. Кожен фотоелемент панелі складається з двох пластин кремнію, сполучених мідними смугами. У місці дотику пластини мають найтонше покриття: одна – борне, інша – фосфорне. Під дією фотонів сонячного світла у фотоелементі з'являються області з надлишком і нестачею («дірки») електронів. На стику пластин, в місці напівпровідникового р-п переходу виникає згенерований струм, який надходить до перетворювачів напруги Рис. 3.5.

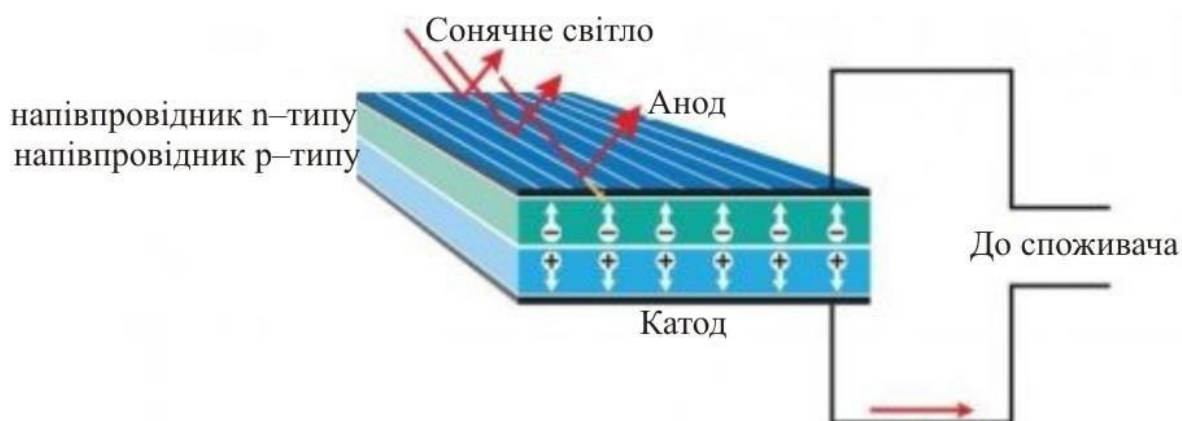


Рис. 3.5 Принцип роботи та будова сонячної панелі

Таблиця 3.1 Порівняння різних типів сонячних панелей

Види кремнієвих сонячних панелей	Переваги	Недоліки
Аморфні панелі	<ol style="list-style-type: none"> 1. Можливість виготовлення тонких, гнучких виробів. 2. Надійність і простота конструкції. 3. Висока продуктивність при розсіяному освітленні. 4. Стабільна робота при високих температурах. 5. Менше зниження ефективності при запиленні поверхні. 6. Можливість монтажу на будь-які архітектурні форми. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Потреба в великих площах. 2. Висока вартість виробів на гнучкій підкладці.
Монокристалічні панелі	<ol style="list-style-type: none"> 1. Висока продуктивність – не менше 17-25%. 2. Мінімальне падіння потужності протягом 25 років експлуатації. 3. Займають меншу площу, ніж полікристалічні, аморфні панелі аналогічної потужності. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Висока вартість, тривала окупність. 2. Чутливість до забруднень. 3. Зниження продуктивності при розсіяному світлі.
Полікристалічні панелі	<ol style="list-style-type: none"> 1. Менша вартість у порівнянні з монокристалічними виробами. 2. Хороші показники продуктивності в умовах розсіяного світла. 3. За 20 років експлуатації зберігають 80-85% потужності. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Середня порівняно з іншими панелями продуктивність – 15-20%. 2. Займають більше площі, ніж монокристалічні панелі тієї ж потужності.

1. До тигеля завантажуюємо очищений кремній



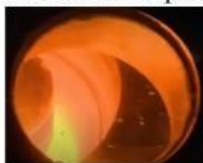
2. Плавимо при температурі у 1415°C



3. До тигеля поміщаємо затравку, зразок майбутнього кристала



4. Навколо зразка, вибудовуючись в чітку структуру кремній повільно наростає, шар за шаром



5. Через двое суток з тигелю дістають кристал монокремнію



6. Кристал ріжуть сталлюю ниткою зі швидкістю 10м/с на пластини від 180мкм до 200мкм



7. Насичення металевою сіткою



8. Контактні струми, я наносив за допомогою флюсу (розчин спиртової каніфолі)



Рис. 3.6 Послідовність та етапи створення сонячної панелі

Для перевірки фотомодулів перед спаюванням їх необхідно розмістити на діелектричній підкладці, наприклад, на склі та в темній кімнаті під одним і тим же кутом подають світло однакової інтенсивності на кожний елемент (пластину). Для

перевірки однакового і вірного функціоналу всіх частин батареї потрібно за однакових умов та освітлення виміряти вихід кожної частини панелі та залишити лише ті, які співпадають по вихідній напрузі та спаюємо їх між собою для отримання достатнього рівня напруги і з'єднуємо через діод між собою (паралельно модуль до модуля), як на рис. 3.7.

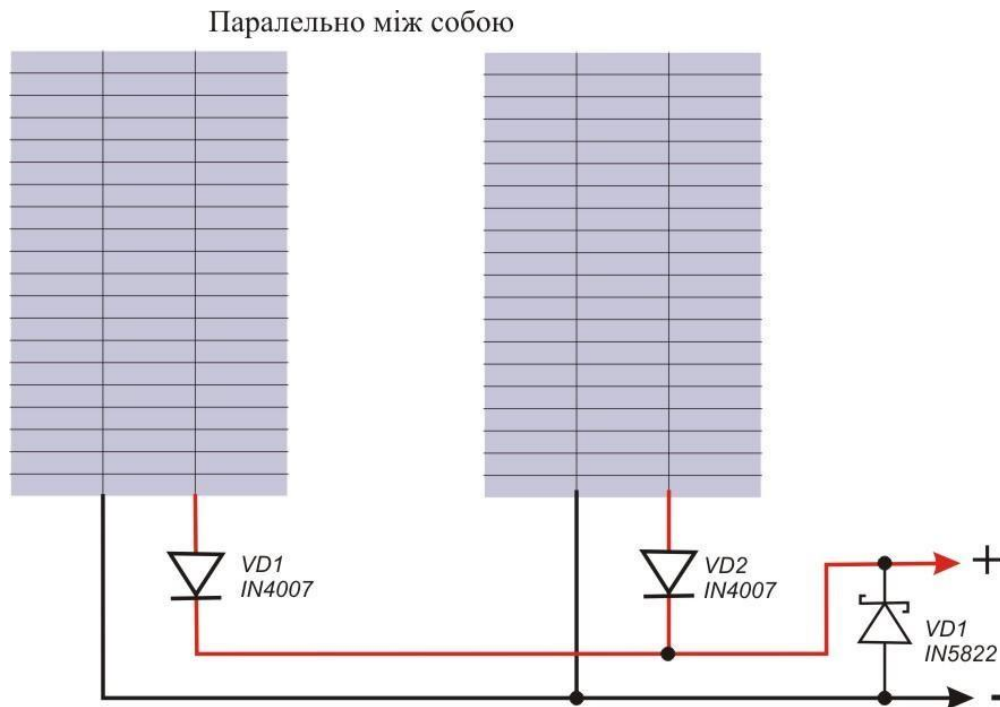


Рис. 3.7 Схема підключення частин сонячної панелі для отримання автономного джерела живлення

Готовий модуль розміщуємо на етилен-вініло-цитатну плівку та ламінуємо, наприклад, заливаємо компандумом видавлюючи бульбашки повітря і тильну частину готової сонячної панелі кріпимо на клей до пластику.

3.3. Структура пристрою

На структурній схемі (додаток А.6) перед DC/DC перетворювачем встановлений перемикач, який дає змогу обрати тип зарядного пристрою, яким ми будемо заряджати наші батареї. З імпульсного DC/DC перетворювача, який має здатність підвищувати та понижати напругу (додаток А.7), струм приходить на блок резисторів (А R₂). Саме цим резисторним блоком встановлюється рівень вихідної напруги для зарядки джерел живлення від 1S до 4S.

Потім струм потрапляє на схему контролера верхнього та нижнього рівня, яка містить автоматичний покроковий контроль напруги живлення в залежності від напруги наявної на батареї, яка заряджається (додаток А.8). Покроковий контроль рівня напруги на заряд побудований на основі лінійного регульованого стабілізатора напруги Lm317T та добудованої до неї схеми з транзисторів, стабілізуючих діодів та резисторів. Ці додаткові елементи виконують функцію автоматичної зміни опору. Також на цій схемі відбувається встановлення нижнього рівня (тобто, рівня з якого потрібно почати заряд) та верхнього рівня (яким встановлюється значення до якого треба здійснити заряд).

Далі струм проходить до контролера нижнього рівня (додаток А.9), яким визначається рівень заряду АКБ1, якщо він достатній, то на зарядку відправляється АКБ2, якщо ж навпаки рівень заряду на батареї АКБ1 недостатній для роботи схеми, то АКБ1 переходить на зарядку, а вся схема починає працювати від зарядженого АКБ2.

Для контролю за станом батарей в схемі встановлений контролер температури на АКБ1 та АКБ2 (додаток А.10), який припиняє заряд пошкодженої батареї (яка знаходиться на заряді) та передає сигнал на контролер автоматичного рівня заряду-розряду АКБ (додаток А.12), який зменшує рівень заряду-розряду даної батареї таким чином, щоб функціонувала її вціліла частина. Дана функція реалізована за допомогою термодатчиків, так як пробиті батареї гріються більш інтенсивно при зарядці та роботі на повну потужність. Також контролер температури АКБ (додаток А.10) запускає ще один термоконтролер (додаток А.15, А.14), який визначає пошкоджену банку АКБ та від'єднує її з кола АКБ на двох АКБ1 та АКБ2. Якщо одна з банок АКБ буде не робоча, то АКБ почне грітись, але це не обов'язково означає, що весь блок акумуляторів пошкоджений. Значна частина акумулятора може бути не пошкодженою і працювати при менших значеннях напруги заряду та розряду. Контролер автоматично встановлює рівень напруги заряду-розряду однаковий для АКБ1 та АКБ2.

Також запропонована схема має захист від помилок користувача. Так, якщо акумулятор 1S, а виставити на заряд напругою 4S, то спочатку свою функцію

почне виконувати покрокова зарядка, яка не дасть великого стрибка струму. Але все ж таки у будь-якому випадку АКБ поступово почне грітись і тут до роботи покрокової зарядки доєднуються у роботу термодатчики, які знімуть з заряду та понизять покроково рівень заряду, також від'єднають банку, яка грілась в даному АКБ та таку ж банку по порядку з протилежного АКБ.

АКБ, яке з'єднано до навантаження, має драйвер переключення банок АКБ (додаток А.13), який по заданій величині напруги розрядку банок з'єднує наступну банку в коло, при падінні напруги знову з'єднує наступну при цьому від'єднуючи попередню банку АКБ.

Драйвер заряду-розрядку АКБ має функцію поступового запуску силової установки, тобто запуск здійснюється на 1S і при розгоні поступово перемикаючись на 2S, потім на 3S і так далі до максимального значення акумулятора наростає напруга виходу. Для цього контролер додає задіяні банки (підвищення напруги), або відключає їх (вихідна напруга зменшується). Цей драйвер дає можливість використання 4S батареї, для роботи силової установки дрона 1S-3S, при цьому на виході АКБ буде максимально 1S-3S (в залежності від значень встановлених пілотом дрона). Ця функція розширяє спектр батарей, які можна застосувати.

Функція розгону суттєво зменшує початкові великі струми з силової установки (драйверу керування силовою установкою, тобто блоком керування потужністю, а саме зніме навантаження з польових транзисторів, та польових транзисторів N-МОСТів).

Якщо потрібно застосувати 8S АКБ для 2S споживання, то потрібно переробити імпульсний DC/DC стабілізатор, змінивши кількість обмоток котушки DC/DC, щоб він видавав на виході 40В (або скористатися DC/DC перетворювачем на конденсаторах, NE555 та стабілітронах, UC3845, котушках чи трансформаторі з датчиком холу). Також під більш високі рівні напруги доведеться змінити і кроковий контроль зарядної напруги (у контурі III додаток А.8) на ряд стабілітронів 18V(1N4746A), 24V(1N4749A), 30V(1N5363B), та встановити потрібні вихідні напруги за допомогою підстроювальних резисторів.

Контур III (додаток А.8) виготовлений з двох модулів для можливості заміни ряду стабілітронів, а всі інші контролери та драйвери, модулі змін не потребують.

Також для зарядки такої потужної батареї зарядний пристрій повинен видавати також не менше напруги за напругу на батареї (тобто, не менше 40В). Дані схеми розроблені під 1S-4S батареї, проте, модульна структура побудови схеми дає змогу в випадку необхідності змінювати не всю схему, а лише деякі модулі (блоки).

Також модульна структура дозволяє тримати блок заряду в наземному вигляді і не підіймати зайву вагу, якщо зарядка нам не потрібна.

3.4. DC/DC перетворювач

У ході роботи було розглянуто три варіанти побудови DC/DC перетворювачів: на датчику Холла, на плаваючому конденсаторі та на котушці індуктивності (додаток А.7).

Був обраний за основу DC/DC перетворювач на котушці індуктивності. Його можна використати в господарських цілях (наприклад, LED освітлення в квартирі) та для дронів.

DC/DC перетворювач (схема додаток А.7), створений на основі мікросхеми UC3843 та котушки індуктивності. Мікросхема контролює частоту відкриття польових транзисторів Q_1-Q_3 , та за допомогою вбудованого в мікросхему компаратора, порівнює вихідну та задану напруги, тримаючи вихідну напругу в межах малого коливання в діапазоні заданої напруги. Це встановлюється в схемі за допомогою резистора R_2 блоку А (додаток А.12).

Коли транзистори Q_1-Q_3 відкриті, котушка DR_1 замкнута і на ній відбувається накопичення енергії (наростає магнітне поле), при розімкненні кола магнітна енергія котушки переходить в струм індукції, який має напрямок завдяки діоду VD_1 . Потім відбувається заряд конденсатора C_8 і, коли транзистори Q_1-Q_3 закриті, конденсатор C_8 розряджається. Цикл повторюється.

При заміні транзисторів Q_1-Q_3 , наприклад, на IRLR7833 можливі зміни в контролі вихідної напруги та робота пристрою з меншою вхідною та вихідною

напругами. Так як у IRLR7833 поріг відкриття затвору $2,2V$, а у IRL3705 поріг відкриття затвору $4V$.

Даний блок на сонячній батареї заряджає АКБ (3S, 2,2Агод), за 2 години 15хвилин, при навколишньому середовищі ($-5^{\circ}C$, в похмурий день, мінливої хмарності 27 грудня 2022р.). Від зарядного пристрою «КАЧУМ 2018» (приєднано замість сонячної батареї до контролера), заряджає АКБ (3S, 2,2Агод), за 42хвилини, при навколишньому середовищі ($+18^{\circ}C$, 27 грудня 2022р., в кімнатних умовах та при кімнатній температурі).

3.5. Схема контролера верхнього та нижнього рівня

На схемі контролера верхнього та нижнього рівня (додаток А.8) при падінні напруги на одному з АКБ (рівень напруги на якому відбудеться спрацювання встановлюється резистором R_{26} блоку С додаток А.12), транзистор VT_9 , який до цього був постійно відкритим, закривається і відкриває транзистор VT_8 , який замикає схему фіксації логічного рівня зі скиданням у положенні логічної одиниці (схема фіксації тут представлена транзисторами VT_{10} , VT_{11} , а скидання схеми фіксації відбувається через транзистор VT_7). Фіксація тут застосовується тому, що при зарядці батареї напруга на ній почне зростати і перевищивши значення напруги, при якій потрібно заряджати батарею (напруги встановленої резистором R_{26}), зарядка відразу припиниться. У нашому ж випадку завдяки зафіксованому положенню логічного рівня, зарядка буде тривати доти, доки на базу транзистора VT_7 не прийде розмикаючий схему сигнал, який прийде разом із повним завершенням заряду батареї.

Далі транзисторний ключ (VT_{12} , VT_{13}) управляє транзистором VT_{14} , який в свою чергу включає реле. Реле можна замінити одним з півмостивих драйверів N–МОСТів чи мікросхемою Ir2111. Хоча реле в даній схемі краще використовувати так як для нього не потрібні радіатори, додаткові паралельні польові транзистори або інші способи боротьби з нагрівом. Це обумовлено конструкцією самого реле. Іще одна перевага реле над іншими елементами – йому не потрібен спільний мінус з основною схемою.

Коли реле PR замкнулось, струм з DC/DC через лінійний перетворювач на основі мікросхеми Lm317T протікає на АКБ, яке знаходиться на зарядці, але при цьому лінійний стабілізатор регулює покроково напругу на виході автоматично завдяки резисторам $R_1 - R_6$, та транзисторам $VT_2 - VT_5$, $VT_{15} - VT_{18}$, а також діодам Зенера VD_{10} , VD_{11} , VD_{13} , VD_{14} (відіграючи роль змінного автоматично опору, для лінійного стабілізатора напруги за рахунок контролю напруги на батареї).

Ступінчаста зарядка працює таким чином: якщо АКБ прийшло на заряд і напруга на ньому менша за 5,5В, то зарядка почнеться з вихідною напругою 6,6В з лінійного стабілізатора, коли ж напруга на батареї перевищить значення 5,5В, то опір лінійного стабілізатора зміниться і вихідна напруга стане рівною 8,2В. Аналогічно, якщо напруга на батареї перевищить 7,8В, то вихідна напруга з лінійного стабілізатора становитиме 10,5В. Коли ж АКБ зарядиться до напруги більшої за 13,1В, то вихідна напруга з лінійного стабілізатора становитиме 17,2В. Також у схемі верхнього та нижнього рівня встановлена кнопка для замикання реле, яка дасть змогу зарядити критично розряджене реле.

За рівень заряду АКБ відповідають резистори R_{14} та R_{12} . Коли напруга в колі досягне потрібного нам рівня, виставленого резистором R_{14} (блок В додаток А.12), регульований нами струм відчинить транзистор VT_1 , який в свою чергу відчинить транзистори VT_6 , VT_7 (транзистор скидання схеми фіксації логічного рівня побудованої на транзисторах VT_{10} , VT_{11}). При розмиканні схеми фіксації логічного рівня транзистор VT_{14} розімкне реле і зарядка припиниться. Отже, за допомогою резисторів R_{14} та R_{12} ми встановлюємо максимум напруги до якої буде відбуватися зарядка.

Також з транзистора VT_6 йде вивід на контролер нижнього рівня. Цей вихід потрібен для того, щоб батарею яка щойно зарядилася поставити на роботу, а ту яка працювала відправити на заряд.

Перемикач S_4 застосовується для перемикання джерел живлення. Для заряду АКБ від зарядного пристрою чи прикурювача авто ми переводимо його вниз, тим самим забезпечуючи регулювання напруги, що дасть контроль струму заряду

в межах 3 Ампер. В разі заряду АКБ з сонячної батареї перемикач S_4 переводимо вверх. Тим самим отримуємо прямий вихід з сонячної панелі, без лінійного перетворювача, так як сонячна батарея має конструкційну віддачу струму до 2 Ампер, тоді на лінійному перетворювачі не має втрат струму.

Щойно будь-який зі АКБ підключається в коло, вмикається його зарядка. Навіть, коли АКБ не досягло нижнього рівня встановленого резистором R_{26} до досягнення потрібного рівня встановленого резистором R_{14} (йде скачок напруги). Таку функцію схеми може використати оператор, при запуску дрона, ввімкнувши сонячну панель, чи будь-який інший зарядний пристрій, а потім АКБ1 за допомогою кнопки примусового ввімкнення. Таким чином перевіриться заряд батареї АКБ1 та, у випадку якщо вона не повністю заряджена, вона зарядиться до кінця (про повний заряд нас сповістить діод VD_{16}). При такій перевірці і підзарядці АКБ1, АКБ2 вмикати не потрібно. Аналогічні дії можна зробити для АКБ2. Діоди $VD_4 - VD_6, VD_8$ вказують рівень заряду АКБ. Під час польоту, діоди тримаємо у вимкненому положенні, щоб зменшити здатність до спостереження дрона, зменшити використання заряду АКБ та пришвидшити заряд розрядженої батареї. Якщо АКБ має напругу, меншу за 2,3В, то цієї напруги не вистачить щоб замкнути реле PR, тому для таких випадків у коло встановлена кнопка S для примусового вмикання заряду батареї (дану кнопку можна вмикати як пальцем так і дистанційно).

Діод VD_7 сигналізує про те, що АКБ не ввімкнуті. Якщо натиснути та відпустити кнопку S і він горить, то потрібно ввімкнути АКБ, якщо при роботі він починає мигати, потрібно вимкнути одну з АКБ та ввімкнути це ж АКБ знову. В разі не спрацювання потрібно скористатися кнопкою S та спробувати послати батарею на зарядку. Якщо після цього мигання не зникло, потрібно повторити цю ж послідовність дій для іншої АКБ. В разі повторного мигання діоду VD_7 , АКБ вийшли зі строю і їх потрібно замінити, так як на них не йде заряд.

Також діоди VD₁₇ та VD₁₈ з'єднані з термоконтролером і діодом VD₁₂ і утворюють логічний елемент ЗАБО, тобто, якщо хоча б на якомусь із діодів буде логічна одиниця заряд відразу припиниться.

DC/DC U(V)	LM317T U(V)	Заряд U(V)	Розряд U(V)	S=3,7V (S)
6	5,2	4,1	2,7	1
11,5	6,6 8,2 10,5	8,2	4,2	2
15,5	6,6 8,2 10,5 13,8	12,1	6,2	3
19,5	8,2 10,5 13,8 17,2	15,8	9	4

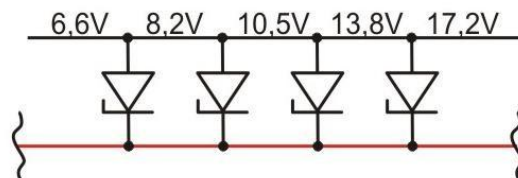


Рис. 3.8 Ступінчата подача напруги та встановлення рівнів напруги на кожній частині схеми

Дана схема контролю заряду розряду має діапазон 0,1V від 2,3V до 19,5V.

3.6. Схема контролера нижнього рівня

Схема контролера нижнього рівня (додаток А.9) виконує функцію визначення заряду першої батареї. На основі цих даних вона направляє заряджену АКБ на роботу та живлення двигуна, а розряджене на зарядку.

Коли ми вмикаємо АКБ1 вимикачем S₁, йде скачок напруги, внаслідок якого батарея АКБ1 буде перевірена на зарядженість і підзарядиться її до кінця та відправиться у роботу. Якщо у нас немає сонячної панелі або іншого джерела живлення, то АКБ1 просто відразу відправиться у роботу. АКБ1 – червоний провід на схемі, на реле буде замкнутий з фіолетовим проводом (до навантаження).

Якщо ми ввімкнемо вимикачем S₂ спочатку АКБ2, а потім АКБ1, то цього процесу відбуватися не буде і АКБ1 зразу буде замкнуте до навантаження, а АКБ2 на зарядку. Тоді процес описаний для АКБ1 повністю повториться для

АКБ2, так як вона постійно замкнута з контролером верхнього та нижнього рівня (блакитний провід на реле замкнутий з зеленим).

Коли в процесі роботи АКБ1 буде розряджати, транзистор VT_7 зачиниться, VT_5 відчиниться і ввімкнеться схема фіксації логічного рівня (VT_6 , VT_4), яка змінить сигнал на транзисторному ключі (VT_2 , VT_3), який ввімкне транзистор VT_1 , а той в свою чергу замкне коло на реле, на якому відбудеться переключення і та АКБ що працювала відправляється на зарядку, а та АКБ що заряджалась відправить у роботу. Також VT_1 передасть сигнал на термоконтролер, який в свою чергу переключить датчики, на елемент I драйвера переключення банок АКБ. АКБ2 (блакитний провід) замкнеться до навантаження (фіолетовий вихід), а АКБ1 (червоний провід) переключиться до драйвера верхнього та нижнього рівня (зелений вихід).

Після контролю заряду, на контролері верхнього та нижнього рівня та повного заряду АКБ1, на контролер нижнього рівня з контролера верхнього та нижнього рівня через транзистор VT_6 прийде скидання. Що поверне її в первісне положення. АКБ1 замкне з виходом до навантаження, а АКБ2 буде заряджатись.

АКБ1 та АКБ2 повинні бути однакові по номіналам, тому що інакше час зарядки і розрядки у них співпадати не буде, а отже живлення та його контроль буде відбуватись по меншій АКБ.

3.7. Принцип роботи теплового захисту АКБ1, АКБ2

Живлення схеми йде через лінійний стабілізатор напруги (додаток А.10), але живлення схеми відбувається з затримкою, крім живлення схеми фіксації логічного рівня а цій схемі. Ця затримка потрібна для того, щоб АКБ яке було в роботі та нагрівалось пропускаючи через себе струм охолонули. Модуль затримки виконаний на мікросхемі таймері NE555, де час затримки задає R_3C_3 -контур (додаток А.11) та має діапазон затримки від 1,1сек до 3хв32сек. Модуль затримки вмикається по приходу сигналу з транзисторів VT_{12} та VT_{13} контролера верхнього та нижнього рівня, тобто якщо якась з АКБ починає заряджатись. Функцію включення таймеру виконують транзисторні ключі VT_1 ,

VT2 (додаток А.11). Після завершення відліку таймером схема (додаток А.10) отримує живлення.

Вхід логічного нуля з контролера нижнього рівня до входу термоконтролера, тобто, в базу транзистора VT9 переключаться транзисторні ключі VT8, VT7, VT11 і буде відкритий. Таким чином у разі спрацювання КУ-028 АКБ1 з транзистору VT6 вийде сигнал до контролера верхнього та нижнього рівня, який припинить зарядку, а також дасть сигнал на контролер автоматичного встановлення рівня зарядки-розрядки, який в свою чергу понизить S зарядки (переведе в нижчий діапазон контроль та зарядку АКБ). Також запустить термоконтролер банок АКБ, який в свою чергу від'єднає нагріту банку з кола АКБ (додаток А.15, А.14).

Якщо на вході не буде логічного нуля з контролера нижнього рівня на вхід термоконтролера, тобто в базу транзистора VT9 переключаться транзисторні ключі VT8, VT11, VT7 і він буде відкритий. У разі спрацювання КУ-028 АКБ2 з транзистору VT5 вийде сигнал до контролера верхнього та нижнього рівня, який припинить зарядку, а також дасть сигнал на контролер автоматичного встановлення рівня зарядки-розрядки, який в свою чергу понизить S заряду (переведе в нижчий діапазон контроль та зарядку АКБ). А також задіє схему фіксації логічного рівня (VT2, VT1, VD3), яка дасть сигнал на вхід контролера нижнього рівня, тобто в базу транзистора VT9 (додаток А.9), який в свою чергу відключить зарядний пристрій від пристрою живлення, до поки не натиснути (S — Reset), якщо пристрій в польоті, цю функцію не застосовуємо.

Кнопка з фіксацією буде працювати лише з термоконтролером банок АКБ, який в свою чергу від'єднає нагріту банку з кола АКБ (додаток А.15, А.14). Діапазон регулювання датчиків КУ-028 від 0°C до 85°C, завдяки змінним резисторам R4, R21 (додаток А.10).

Рівень № сиг-налу	S	Вихідна напруга на Dc/Dc «А»	Напруга спрацьовування «D» R16	Напруга спрацьовування «С» R26	Напруга спрацьовування «В» R14
1	4S	19,5V	9,5V	9V	15,8V
2	3S	15,5V	6,5V	6,2V	12,1V
3	2S	11,5V	4,4V	4,2V	8,2V
4	1S	6V	2,8V	2,7V	4,1V

Рис. 3.9 Номінали резисторів під різні АКБ

3.8. Принцип роботи автоматичного встановлення рівня заряду, розряду

(Додаток А.12) за допомогою кнопки S_1 встановлюємо рівень контролю в залежності від застосованих АКБ (1S, 2S, 3S, 4S). Якщо якась АКБ пробита, спрацює термоконтролер на DD1 прийде сигнал і мікросхема перенесе на інший блок (мікросхема лічильник може бути CD4017BE, CD4022BE, чи будь-який із запропонованих мною лічильників) підстроювальних резисторів і так до 1S. Кнопка S_2 дає змогу перезапустити цикл. Це можливо здійснити дистанційно, подавши на VT2 логічну одиницю, також на діод VD1, щоб здійснити повторне налаштування. Підстроювальні резистори налаштовуємо згідно таблиці.

3.9. Драйвера переключення банок АКБ.

(Додаток А.13, А.14) Вихід 7 мікросхеми LM393N запускає на 1S, після фіксованого переключення контролює справність банок АКБ. Вихід 1 LM393N здійснює послідовний контроль використання банок АКБ, та якщо якась зламана, компаратор за допомогою інших мікросхем її пропустить. Виходи 1 та 7 мікросхеми LM393N контролюють запуск та зупинку ШІМ. ШІМ на основі мікросхеми NE555 регулює затримку переключень реле PR₇ – PR₉ (додатки А.13, А.14), та генерує ШІМ сигнал для лічильника CD4017BE (це потрібно в випадку, коли банка АКБ пошкоджена). Компаратор дає постійний сигнал, в такому випадку переключення лічильника не відбулося б, а так через деякий час, встановлений нами за допомогою ШІМ, прийде логічний нуль на вхід лічильника

та зробить перенос вихідного сигналу лічильника. Лічильник переносить операції та фіксує їх поки йде закладений процес на даному піні лічильника. КНФ1 та КНФ2 фіксують логічні операції, поки йде закладений процес на даному КНФ. Натомість можливе застосування також лічильників, тригерів.

У схемі з реле $PR_4—PR_6$ є RC –конттури, які згладжують процеси приєднання та від'єднання банок АКБ. Для реле $PR_7—PR_9$ RC –конттури не потрібні, так як затримку опрацювання даних операцій здійснює ШІМ (мої елементи дають затримку у 5 секунд, можливо виставляти меншу або більшу затримку при необхідності).

$S_3—S_7$ перемикачі, які ми застосовуємо в разі використання здвоєних банок АКБ, тобто в слоті стоїть не 1S а 2S, маємо чотири пари по 2S. Застосовуємо при використанні 8S для живлення 2S силових установок. При цьому спрацювання виходу 7 мікросхеми LM393N встановлюємо таке ж як для виходу 1 цієї ж мікросхеми LM393N. Компаратори з виходами 1 та 7 мікросхеми LM393N будуть спрацьовувати при 5,3В.

На основі мікросхеми LM393N (здвоєного компаратора), з'єднаного з виходом АКБ, ми виставляємо такий рівень спрацювання компаратора (опис зроблений для 4S АКБ зі споживанням 2S силової установки дрона (алгоритм встановлення напруги залишається аналогічним у будь-якому випадку)):

Для виходу 7 мікросхеми LM393N, встановлюємо 4,2В та резистор R6 в положення спрацювання в потрібний нам момент зв'язаний зі стерео резистором драйвера силової установки. Якщо не використовуємо з'єднання зі стерео резистором драйвера силової установки, тоді вихід резистора R6 з'єднуємо з плюсом живлення. Тоді для виходу 7 мікросхеми LM393N, встановлюємо 4,1В спрацювання компаратора (силова установка буде мати запуск на 1S), як тільки рівень 1S впаде з 4,2В до 4,1В, відбудеться переключення роботи виходів компараторів завдяки транзисторному ключу VT2, VT3, VT5. На запуск ШІМ буде працювати вихід 1 мікросхеми LM393N.

Для виходу 1 мікросхеми LM393N встановлюємо рівень спрацювання 5,3В резистором R8, а ШІМ спрацює на рівні 5,2В. Сигнали з виходів 1 та 7

мікросхеми LM393N з'єднані через резистор R14 на базу транзисторів VT4 та VT17, які запускають ШІМ (рівень затримки виставляємо резистором R20; на даній схемі затримка виставлена 5 секунд). Це потрібно для випадку пробиття банки АКБ, тому що імпульс буде повторюватись поки на вході 2 мікросхеми LM393N не буде потрібна напруга виставлена нами, що відключить ШІМ, а затримка дає змогу стабілізації системи живлення до навантаження.

Імпульс з ШІМ (вихід 3 мікросхеми NE555) подається на резистор R31 та на базу транзистора VT9, який запускає лічильник. Вихідні сигнали лічильника з'єднуємо таким чином: Q₀ через LED до мінуса живлення, це потрібно, щоб коли цикл буде повторюватись, то на виході Q₀ буде одразу сигнал, тому ми його пропускаємо. Компаратори, не маючи потрібної напруги на входах 2 та 6 мікросхеми LM393N, не відключать ШІМ і імпульс з виходу 3 мікросхеми NE555 повториться і перенесе нам на вихід лічильника Q₁, який ми з'єднуємо через діод VD15 до реле, яке з'єднає нам в коло банку АКБ.

При падінні напруги на виході АКБ до 5,3В, цикл повториться і запрацює сигнал Q₂ лічильника, який ми з'єднуємо через діод VD14 до реле, яке з'єднає нам наступну банку АКБ, а попередню від'єднає з кола. Також через діод VD24 відкриє транзистор VT20, в разі спрацювання компаратора на виході 7 мікросхеми LM393N (а це відбудеться за умови, якщо перша банка АКБ пошкоджена). КНФ1 зафіксує реле PR₇ і друга банка АКБ стане першою (додатки А.13, А.14).

Такий процес і з Q₃, тільки через діоди VD16, VD25 та КНФ2, КНФ2 скидає КНФ1 в вільний стан (додаток А.14.), зафіксує реле PR₈ і третя банка АКБ стане першою (додатки А.13, А.14).

Q₄ ми з'єднуємо зі скиданням КНФ1 та КНФ2. Тоді всі реле (банок АКБ) розімкнуться. В результаті на виході АКБ буде 2,6В.

Контролери заряду встановлені в діапазоні: нижній рівень 2,5В (бо ми виставили спрацювання компаратора на 5,3В), цей рівень не дасть змогу контролеру нижнього рівня відправити АКБ на заряд в процесі підключення та відключення банок АКБ.

Для цього верхній рівень контролера верхнього та нижнього рівня встановлюємо рівним 16В. Менш ніж за 2 секунди АКБ починає заряджатись.

Також Q_0 з'єднуємо через LED, щоб виходи задіяні в процесі не мали самонаведення та випадкових чи спрямованих магнітних полів, що завадить правильній роботі лічильника. Логічні елементи «І» на транзисторах VT11–VT12, VT13–VT14, VT11 та VT13 підтверджують, що АКБ на контролі зарядки, а VT12 та VT14 визначають, яка саме з двох АКБ на зарядці АКБ1 чи АКБ2, а яка працює з навантаженням (подібно термоконтролеру).

Функцію лічильника «стоп» ми використовуємо для того, щоб зупинити цикл відліку, тоді всі реле знаходяться в вільному стані. А послідовне з'єднання реле PR₄ — PR₆, коли АКБ потрапляє на контролери зарядки, здійснюють елементи «І» для АКБ1 це VT11, VT12, а для АКБ2 — VT14, VT13. Можливе встановлення перемикача до входів на діоди VD17–VD19 з наступними комбінаціями. Діоди-перемикач-плюс живлення, та діоди-перемикач-елемент «І» (VT11, VT12 чи VT14, VT13) (тоді можна не використовувати розроблений мною контролер заряду).

Функцію лічильника «Стоп» скидає транзистор VT10, який отримає пропускний сигнал через транзистор VT22, який в свою чергу буде відкритий, коли це АКБ буде на контролі зарядки та пропустить скидання з контролера верхнього та нижнього рівня (загальне скидання VT6 додаток А.8). Можливе скидання кнопкою S₂, в разі не використання зарядних модулів.

Реле зафіксують в послідовному з'єднанні банки АКБ за допомогою елементів «І» на транзисторах VT11–VT12, VT13–VT14, через діоди VD17–VD19. Після зарядки АКБ і повернення до роботи з навантаженням лічильник буде скинутий, і вихідний сигнал буде виходити з Q_0 , а виходи 1, 7 мікросхеми LM393N почнуть керувати процесом. Лічильник сигналом з виходу Q_1 переключить виходи компараторів і зафіксує (VT19, VT16 та діод VD21) на мікросхемі LM393N з 7 на 1 вихід, а далі цикл повторюється.

Лічильник використовуємо CD4017BE, або CD4022BE чи подібні до їх функціоналу лічильники на потрібну кількість вихідних сигналів. Якщо

використовуємо лічильник на біполярних транзисторах, розроблений мною, то з'єднання робимо по опису роботи лічильника.

Перемикачі S_3 – S_7 (додаток А.13, А.14) використовуємо в разі, коли в одному слоті не 1S, а 2S, тобто при використанні 8S АКБ переключення будуть відбуватись на реле PR_7 – PR_9 , які будуть по мірі розряду одного з слотів переносити плюс живлення на виході АКБ.

Макет живлення робочої моделі показаний на рис. 3.10.



Рис. 3.10 Діючий макет блоку живлення

В разі використання даного пристрою з на мультикоптері, але без автономного зарядного пристрою (сонячної батареї), потрібно від'єднати модулі заряду, тоді драйвер буде працювати з двома АКБ, та дасть уяву, коли дрону повертатись на базу. При використанні на дроні з автономним живленням (сонячною батареєю), від'єднайте модуль покрокової подачі напруги від контролера верхнього та нижнього рівня. Це зменшить вагу дрона та з правильно розрахованими АКБ та сонячною батареєю, дрон буде здійснювати безперервний політ в денний час, а також, перебувши ніч в безпечному місці, з приходом дня по зарядці АКБ продовжить політ до цілі. Якщо ж АКБ та сонячна батарея будуть розраховані неправильно, дрон буде здійснювати політ з посадками для підзарядки АКБ

(політ цвіркуна). По прильоту дрона, з'єднайте контролери знову та здійсніть заряд АКБ.

При використанні на мультикоптерах сонячної батареї її встановлюємо по верху дрона та закріплюємо на чотирьох його променях, при цьому силові установки встановлюємо з низу цих променів. Тобто лопаті силових установок знаходяться по низу дрона.

3.10. Принцип роботи термоконтролера банок АКБ1 та АКБ2

Схема термоконтролера побудована на мікросхемі LM339N з використанням фіксації завдяки транзисторам $VT_1 - VT_4$ та термісторам R_1-R_8 (монтаж термісторів показаний на фото в додатку А.15).

На виході компараторів з початку виходить логічний нуль, після спрацювання термістора змінюється вхідна напруга на даному компараторі, тоді на виході з компаратора нічого немає. Резистори $R_{25}-R_{28}$ підтягують логічну одиницю, яка йде до реле (додаток А.14) та змінює їх стан. Також логічна одиниця вмикає через транзистори VT_1-VT_4 фіксацію даного компаратора і він має на виході незмінний стан, що дає змогу утримувати в заданому стані процес, який пов'язаний з даним компаратором.

Лічильник може бути побудований і на компараторах так як у даній схемі компаратор виконує функцію схеми фіксації логічного рівня, але на побудову лічильника на компараторах (якщо компаратори побудувати на біполярних транзисторах) потрібна буде більша кількість елементів, що ускладнить схему та збільшить вартість готового пристрою.

Натомість можливо замінити LM339N чотирма контурами контролера верхнього та нижнього рівня (додаток А.8), чи контролера нижнього рівня (додаток А.9), в залежності чи потрібне скидання чи ні, встановивши дільник з резистора та термістора на місці змінного резистора R_{26} , R_{16} в залежності що використовувалось.

3.11. Схема визначення рівня заряду АКБ

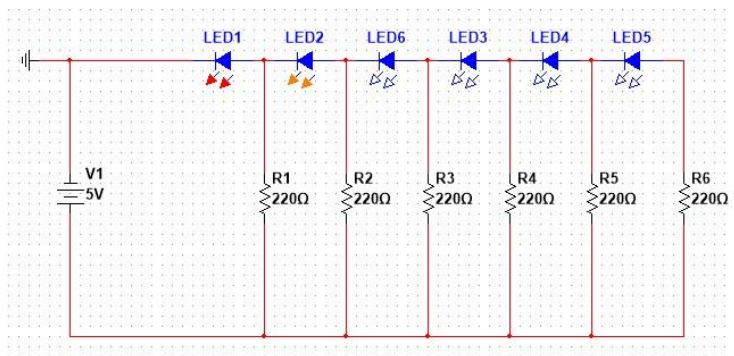


Рис. 3.111 Схема визначення рівня заряду АКБ

Схема призначена для визначення рівня заряду на батареї та візуалізації цієї інформації за допомогою світлодіодної ланки. У таблиці 3.1 наведено напруги та кількість діодів яка при цих напругах світиться. Схема розрахована на батарею до 4S.

Напруга, (В)	Кількість активних світлодіодів
14,8	6
11	5
8,8	4
6,9	3
5	2
2,9	1

Табл. 3.1 Кількість діодів, що загорається при прикладанні напруги вище або рівної даній

3.12. Схема додавання до АКБ, яка знаходиться в роботі, іще одного АКБ

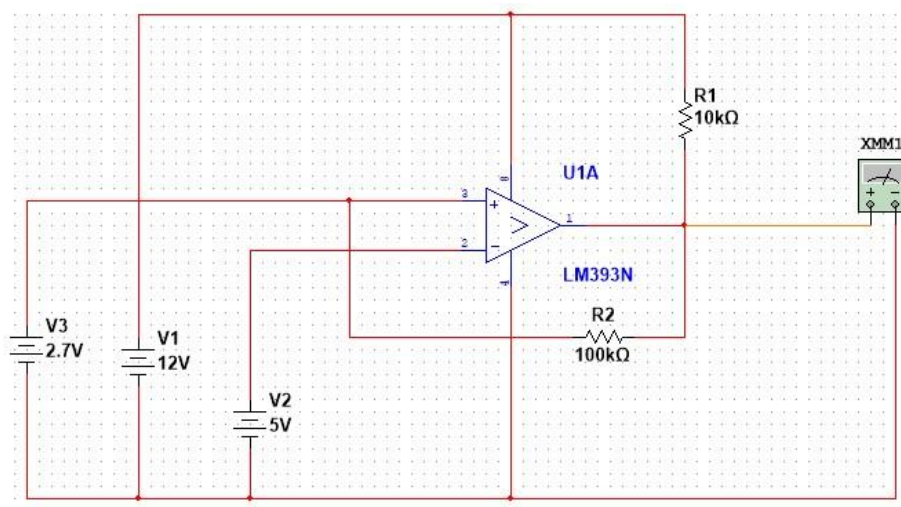


Рис. 3.122 Схема компаратора, яка замикає реле

На даній схемі блок V3 є еталонним, так як саме він визначає положення спрацювання компаратора. Живлення V2 – це наша батарея. Якщо рівень заряду на батареї встановиться меншим за 2,7В, то на виході компаратора встановиться напруга 12В. Даних 12В потрібні для подачі їх на реле, через яке до АКБ1 у випадку зменшення заряду на ній під'єднається іще АКБ2. Та при послідовному з'єднанні їх напруги будуть додаватися.

Перевагою такої схеми є те, що окрім двох батарей, реле і одного компаратора більше нічого не потрібно і така схема добре підійде для застосування у дронах. У такої схеми є один суттєвий недолік – потреба у додатковому еталонному живленні (для батареї 3,7В це є батарейка 2,7В). Цим елементом може бути батарейка

крапля.

III. ЧАСТИНА — ДРАЙВЕР ДВИГУНІВ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

4.1. Структурний опис пристрою

(Додаток А.16) Даний драйвер дає можливість керування силовими установками постійного струму на 2, 3, 4, 5, 9 виходів. По конструкційній структурі це можуть бути колекторні, безколекторні та крокові силові установки.

Розроблений мною драйвер є модульним для того, щоб споживач міг вибрати, для якої установки йому потрібні ті чи інші модулі, або ж усі модулі для використання перерахованих силових установок. Також окремі модулі можливо використовувати в інших схемах та приладах.

В основі лежить материнський блок, який складається з двох модулів: перший модуль складається з лінійного перетворювача, конденсаторного ряду, та ШІМ (додаток А.17), а другий модуль складається з регулятора потужності на основі польових транзисторів (додаток А.18) та релейних, діодних перев'язок.

Завдяки цьому блокові ми маємо шість способів керування вихідною потужністю: з загальним стерео резистором (лінійним, лінійним з ШІМ, ШІМ) та з окремим змінним резистором (лінійним, лінійним з ШІМ, ШІМ).

До материнського блоку з'єднуємо наступні модулі: півмостовий драйвер, генератор скважності та сигналу, логічний блок, N-МОСТи.

4.2. Робота першого модуля материнського блоку

(Додаток А.17) Даний модуль має три складові: лінійний стабілізатор напруги на основі мікросхеми LM317T, що дає змогу контролювати напругу на логіці драйвера керування силовими установками в межах 1,5В до 36В; конденсаторний ряд, що дає нам змогу отримувати пірамідальні коливання (меандр); ШІМ на основі мікросхеми NE555, який працює з чотирма інтервалозадаючими конденсаторами C_4 , C_5 , C_6 , C_7 . C_4 та C_5 мають переключення SA_1 . Так як більшість силових установок не можуть стартувати на великих частотах, запуск здійснюємо на C_4 , а потім переходимо на C_5 . Крім того маємо переключення резисторів, вимикач SA_2 , для швидкого старту. Швидка зміна частоти не дає підняти зворотному струмові поки силова установка набирає оберти. Резистори R_3 , R_5 , R_9 задають вихідні параметри ШІМ (додаток А.17).

4.3. Робота другого модуля материнського блоку

(Додаток А.18) Даний модуль має три складові: лінійний стабілізатор напруги на основі польових транзисторів, що дає змогу контролювати напругу на силових установках; релейне перемикання один, яке складається з реле $PR_2—PR_4$ та біполярного транзистора $VT1$ (завдяки цьому перемиканню ми здійснюємо три варіанти подачі напруги на силову установку (лінійне керування та лінійне з ШІМ, транзистори $Q_1—Q_4$, ШІМ керування транзистори Q_5, Q_6)). Також управління затворами польових транзисторів здійснюємо стерео резистором R_{14} (додаток А.18), він же R_5 (додаток А.17); релейне перемикання два, яке складається з реле $PR_5—PR_6$ та діодно-логічного перемикання (діоди $VD_{11}—VD_{14}$), що забезпечує зміну полярності на вихідних джеках J_3 та J_4 .

Тобто ми маємо змогу керувати колекторними, кроковими та безколекторними силовими установками, для цього застосовуємо вимикачі S_1 та S_2 та джеки J_1 та J_2 для вхідної логічної одиниці на них, які завдяки транзисторам зроблять ввімкнення паралельно вимикачам, по зникненню логічної одиниці відключать ту чи іншу функцію.

Якщо S_1 ввімкнений на джекові J_3 (додаток А.18), зміниться полярність на червоному виході стане мінус живлення, а на чорному плюс живлення і якщо підключимо, навпаки, на червоному стане плюс живлення, а на чорному мінус живлення. В джек J_1 ми можемо з'єднати наш ШІМ та обертати низькочастотні безколекторні, крокові силові установки.

Якщо S_2 ввімкнений, відбудеться перемикання між джеками J_3, J_4 . Це дає змогу реверсу силових установок (колекторних, безколекторних, крокових). В джек J_2 ми можемо з'єднати ШІМ, мультівібратор та інші датчики, лічильники, інфрачервоний датчик тощо.

Завдяки материнському блоку ми маємо: шість різних варіацій подачі живлення на силові установки; завдяки релейно-діодній логіці маємо: прямий реверс на джекові J_3 , та реверс між джеками J_3, J_4 , що дає можливість контролювати колекторні силові установки різних конструкцій, та завдяки вимикачам S_1, S_2 , чи виходам під датчики чи пристрої J_3, J_4 здійснювати контроль

колекторних двигунів різних конструкцій постійного струму, а також крокових та безколекторних низько частотних силових установок.

Перемикач S_3 перемикає між виходами живлення силових установок на два входи чи більше.

4.4. Півмостовий драйвер

Драйвер побудований так, що OУТВ постійно відчинений та видає плюс живлення, а вихід ОУТА постійно відчинений на стікання та видає мінус живлення. (Додаток А.19) Транзистори Q_1 , Q_2 постійно зачинені, тоді VT1 зачинений, а VT2 відчинений, VT9 відчинений, VT10 відчинений. В цьому випадку Q_4 відчинений та втягує на OУТВ плюс живлення. Транзистор Q_3 зачинений, так як VT3 відчинений на колекторі буде мінус, VT4 зачинений.

Вихід ОУТА побудований дзеркально виходу OУТВ, Q_5 зачинений, а Q_6 відчинений та втягує на вихід ОУТА мінус живлення. Коли на IN прийде логічна одиниця, тобто драйвер розроблений під вхідну напругу на IN до 5В, та пропускну 4,5В -24В, на виході OУТВ буде мінус живлення, а на виході ОУТА плюс живлення.

Затвори Q_1 , Q_2 постійно зачинені у вільному стані, завдяки резисторам R_1 , R_4 . Це дає змогу уникнути наводок, магнітних та інших перешкод на затвори цих транзисторів. Це дає змогу драйверу робити вільно і у ключовому режимі.

На виходах ОУТА, OУТВ вже є можливість обертати безколекторні силові установки. Посилаючи на IN вхід ШІМ сигнал чи в ключовому режимі (датчиками).

Драйвером є можливість замінити електромагнітні реле, якщо ми в подальшому від них відмовимось в загальному драйвері силових установок.

4.5. ШІМ сигнал

На модулі один материнського блоку в нас є генератор імпульсів, на основі мікросхеми NE555. Для повноцінної роботи безколекторних двигунів будь—якої конструкційної складності скважність та сигнал ШІМ повинні бути в ідеалі рівні, або приблизно однакові по своїй довжині.

Коли ми подаємо живлення на одну з котушок силової установки, а потім полу-мостовий драйвер змінює фазу подачі на цю ж котушку, то періоди повинні бути однакові. Збільшується потужність силових установок, а для крокової силової установки це обов'язково, тоді вона працює як годинник.

В основі моєї дипломної роботи лежить лічильник, тож я і роблю синхронізацію завдяки йому. Метою розробки свого лічильника була заміна існуючого в драйвері, лічильника логіки силової установки та виготовлення його на біполярних транзисторах та резисторах, тобто доступних компонентах.

Скважність та сигнал будуть однакові по довжині, так як в моєму лічильнику не має заповненості тригерів та їх скидання.

Ще драйвер модульний, тому кожен блок маємо можливість замінити в будь-який момент. (Додаток А.20) На лічильник приходить ШІМ сигнал, кожний нуль, зміщує вихідні сигнали з OUT1 на OUT2 і навпаки, так як встановлена циклічність на два виходи. З цих виходів маємо сигнали. Далі пропускаємо їх через схему фіксації логічного рівня (VT4, VT2 та діодам VD2, VD3, додаток А.20). На діод VD2 подається сигнал OUT1, тим самим фіксується логічний стан до появи сигналу на OUT2, який пропускається через діод VD1, який відчинить транзистор VT1 та зніме фіксацію з даної частини схеми.

Осцилограми вихідних сигналів показані в (додатку А.20). Сигнал та скважність майже однакова по довжині на різних частотах. Так як мій півмостовий драйвер працює, коли на його вході IN логічна одиниця до 5В, добудовуємо ще одну схему та цей модуль (довжина сигналу та скважність однакові) буде закінчений.

(Додаток А.20) На колектор транзистора VT8 подаємо живлення, а сигнал з кнопки з фіксацією в його базу, вихідний сигнал знімаємо з емітера транзистора. Сигнал маємо прямий не інверсний. Стабілітрон VD4 зрізає надлишок напруги та стабілізує вихідну напругу.

4.6. Силова частина N-МОСТ

Силова частина (додаток А.21) – це всі півмости відчинені на стікання до приходу на них логічної одиниці, тоді даний півміст зачиняється на стікання і

подає живлення на котушку двигуна. Також додається ще четвертий вихід COM2 та логічна перев'язка реле, яка дає змогу реверсу крокових двигунів на 8, 9 виходів, тобто з конструкційним реверсом двигуна (з'єднання робимо до клем А, В, С, D, COM2 для прямого ходу та А1, В1, С1, D1, COM2 для інверсного). Переключення цього реверсу можливо здійснити за допомогою вимикача S_5 , а також за допомогою логічної одиниці, яку ми посилаємо в з'єднання J_5 (додаток А.21).

Вимикач S_7 використовуємо, коли силова установка з нульовим дротом, S_7 розімкнутий, а коли без нульового дроту ввімкнутий до транзисторів N-МОСТів.

Якщо ми використовуємо безколекторний двигун постійного струму конструкції трикутник на три виходи, з'єднання робимо таким чином: А, В, С, реверс цих двигунів робить реле PR_3 (додаток А.22).

При використанні безколекторного двигуна постійного струму конструкції зірка на чотири виходи, з'єднання робимо таким чином: А, В, С, COM2, S_7 — вимкнений, реверс цих двигунів також робить реле PR_3 (додаток А.22).

При використанні крокового двигуна на 4, 5 виходів без конструкційного реверсу, S_7 потрібно перевести в залежності від кількості виходів з силової установки чи використання нульового дроту (4 (без нульового) чи 5 (з нульовим) виходом, а з'єднання робимо таким чином: А, В, С, D, COM2, реверс (якщо такий можливий) роблять реле PR_4 , PR_5 (додаток А.22), та ввімкнуте реле PR_3 (додаток А.22) для перекиду вихідних сигналів з логіки, щоб заживити першу котушку, а потім другу крокового двигуна).

4.7. Логічна частина драйвера

(Додаток А.22) Живлення лічильника та всіх реле здійснюємо з модуля один материнського блоку (LM317T). На вхід (14 вихід) лічильника подаємо ШІМ сигнал з виходу Q генератора симетричних імпульсів (додаток А.20). Скидання (15 вихід) установка циклічності лічення лічильника, через перемикач S_1 встановлюємо в залежності від типу двигуна: циклічність лічильника на 6 чи 8. Для крокових встановлюємо перемикач на 8, для безколекторних двигунів

постійного струму (зірка, трикутник) на 6. Стоп (13 вихід), та земля (8 вихід) з'єднуємо з мінус живленням.

При запуску крокового двигуна на лічильнику встановлюємо циклічність на 8 перемикачем S_1 . Для запуску з одиничним кроком ми пропускаємо такі сигнали Q_1, Q_3, Q_5, Q_7 за допомогою перемикачів реле PR_1, PR_2 , тобто ми маємо чотири сигнали на виході Q_0, Q_2, Q_4, Q_6 , також вмикаємо реле PR_3 яке перекине нам вихідні сигнали INB на INC та навпаки будемо мати таку по-черговість Q_0, Q_4, Q_2, Q_6 . Ці сигнали здійснюють поступовий перенос сигналу на N-МОСТи.

Реле $PR_1 - PR_3$ вмикаються вимикачем S_2, S_3 чи подачею логічної одиниці на джекові J_1, J_2 . При запуску крокового двигуна з половинним кроком, на лічильнику встановлюємо циклічність на 8 перемикачем S_1 , та вмикаємо такі реле PR_3 та PR_5 . PR_5 — це зміна кінця діодної циклічності в залежності від лічення лічильника.

Таблиця сигналів дійсна для безколекторних двигунів постійного струму конфігурацій зірка та трикутник. Таблиці для крокових двигунів вказані в додатку А.21.

Реле PR_4, PR_5 здійснюють реверс крокових двигунів (якщо дозволяє конструкційна можливість двигуна). Реле вмикаються вимикачем S_4 , чи подачею логічної одиниці на джек J_3 .

Також для реверсу безколекторного двигуна постійного струму (зірка, трикутник) встановлено 2С реле PR_3 , що дає змогу перекиду виходу INB на INC та навпаки INC на INB .

Натомість, щоб не використовувати реле, можливе використання півмостових драйверів, але я поставив реле (герконові) в логіку, щоб не навантажувати силову частину. Вони легкі, займають мало місці, як мікросхема на 8 виходів, мають велику швидкість спрацювання та великий ресурс роботи. $COM2$ та подачу живлення на силові (польові) транзистори здійснюємо з модуля два материнського блоку, а саме з J_3 (прямий вихід додаток А18).

Якщо нам знадобиться запускати двигуни на велику кількість виходів, ми можемо з'єднати лічильники між собою та отримати безліч вихідних сигналів.

4.8. Короткий огляд

Подача ШІМ на затвори транзисторів регулювання потужності та транзисторів N-МОСТів, коли вони здійснюють свою основну функцію знімає нагрів польових транзисторів (працюють в імпульсному режимі).

Завдяки моєму драйверу є можливість керування силовими установками: колекторними, безколекторними, кроковими.

ВИСНОВКИ

У ході виконання дипломної магістерської роботи були досліджені різні варіанти реалізації лічильника та подільника імпульсів та створені графіки та таблиці їх робіт та створені і запропоновані власні схеми реалізації даних елементів. Створено узагальнену схему (модель) побудови лічильників на елементах двох груп (елементи першої групи відіграють роль пам'яті, а елементи другої групи реалізують логіку зміни станів цих елементів першої групи).

Як найбільш практичні та порівняно недорогі дрони вони мають широке практичне значення. В умовах війни в Україні потужна армія з недорогих дронів може стати потужним рушієм до перемоги. Тому було поставлене одне з головних завдань: обрана схема має бути універсальною та нечутливою до елементів. Виконання даної умови дасть можливість самостійно (без зарубіжних елементів) конструювати та виготовляти бойові дрони.

Найкраще у поставлені критерії та в дешевизну і практичність схеми вкладається схема на польових та на біполярних транзисторах. Дані схеми добре підходять з точки зору не лише ціни, а й здатності до виконання завдань в сурових умовах. Кожна схема не має принципової потреби до конкретного елемента та може бути виготовлена з будь-яких (р- та n-) польових транзисторів та у випадку схеми з біполярних транзисторів з будь-яких (р-n-p та n-p-n) біполярних транзисторів та обидві ці схеми легко інтегруються в одну мікросхему, що суттєво знижує собівартість дрона при масовому виробництві.

Вирішити питання з приводу постійного вдосконалення схем таким же легким і зручним способом, як для програмованої схеми не вдалося, проте, кожна схема розбита мною на окремі функціональні частинки, кожна з яких виконує свою певну функцію. Це дозволяє проводити доробки та вдосконалення схем досить швидко і зручно.

Лічильник на конденсаторах також був детально досліджений під час виконання практики. Він також працює не гірше за лічильники на транзисторах, проте, потім при створенні єдиної мікросхеми контролера для дрона виникнуть труднощі з інтеграцією схеми у мікросхему при відчутних значеннях ємності.

У даний момент часу я продовжую працювати над лічильниками та контакторами (для переходу двигунів між режимами роботи зірка – трикутник). Я визначив найперспективніші схеми для подальшого конструювання на їх основі драйверів та повністю їх дослідив.

Польові транзистори є більш універсальними завдяки можливості працювати на високих частотах (добре підійдуть для високошвидкісних дронів розвідки) та контролювати і керувати навантаженнями з великою потужністю без додаткових силових ключів, а біполярні транзистори більш дешеві та добре підходять наприклад для драйверу дрона камікадзе.

Саме з цих причин для подальших дослідів я обрав ці дві реалізації схеми лічильника для драйверу керування мультикоптера.

Розроблено: макет лічильника на шість виходів на ТРЛ та ТТЛ логіці із вбудованим драйвером для БКД постійного струму, який можна використовувати в схемах з лічильником, подільником частот; RGB драйвер на RC-контурі; лічильники на шість та сім сигналів із вбудованим генератором імпульсів.

Досліджені вплив резисторів та конденсаторів їх номіналів на роботу RC-контур, данні зведені в таблиці додаток В.

Виготовлено макет лічильника.

Розроблено: елемент живлення; дворівневий драйвер контролю; схема автоматичного покрокового контролю потужності заряду; схема живлення з поступовим приєднанням та від'єднанням з кола банок АКБ; схеми термоконтролера АКБ, які підтримують синхронність роботи двох АКБ як з навантаженням так і при зарядці;

Зібрані АКБ батареї та Сонячна батарея.

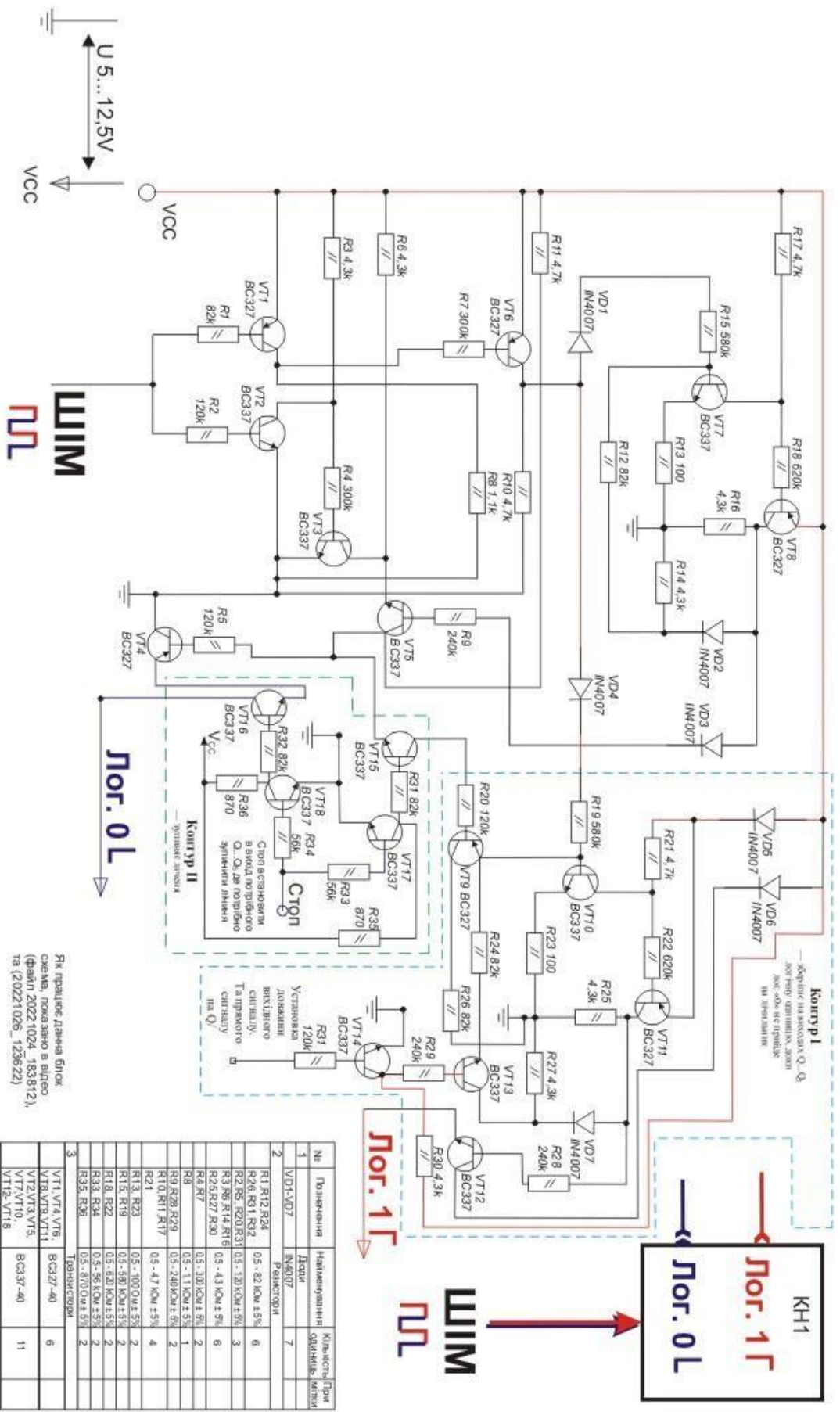
Розроблено: модульний (блочний) драйвер для силових установок постійного струму колекторних, крокових, безколекторних (зірка, трикутник); три способи подачі сигналів та керування потужністю на силові установки (материнський блок); логічні перев'язки реле та діодів, що дають змогу керувати силовими установками, а саме: реверсом, регулюванням потужністю силових установок (за

допомогою напруги, ШІМ, ШІМ з напругою та ШІМ для частоти обертання силових установок.

Керування одночасно частотою зарядки та розрядки котушки та напругою на цій котушці силової установки дає найбільший заряд котушки, тому й виростає потужність силових установок. Так як датчики Холла встановлені стаціонарно, то з наростанням напруги вони спрацьовують на переключення, хоча котушка може взяти ще заряд, тобто датчик теж потрібно відводити від силової установки. Що стосується контролю на зворотному струмі, самоіндукція дротів та наведення магнітних полів дає збій системи.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

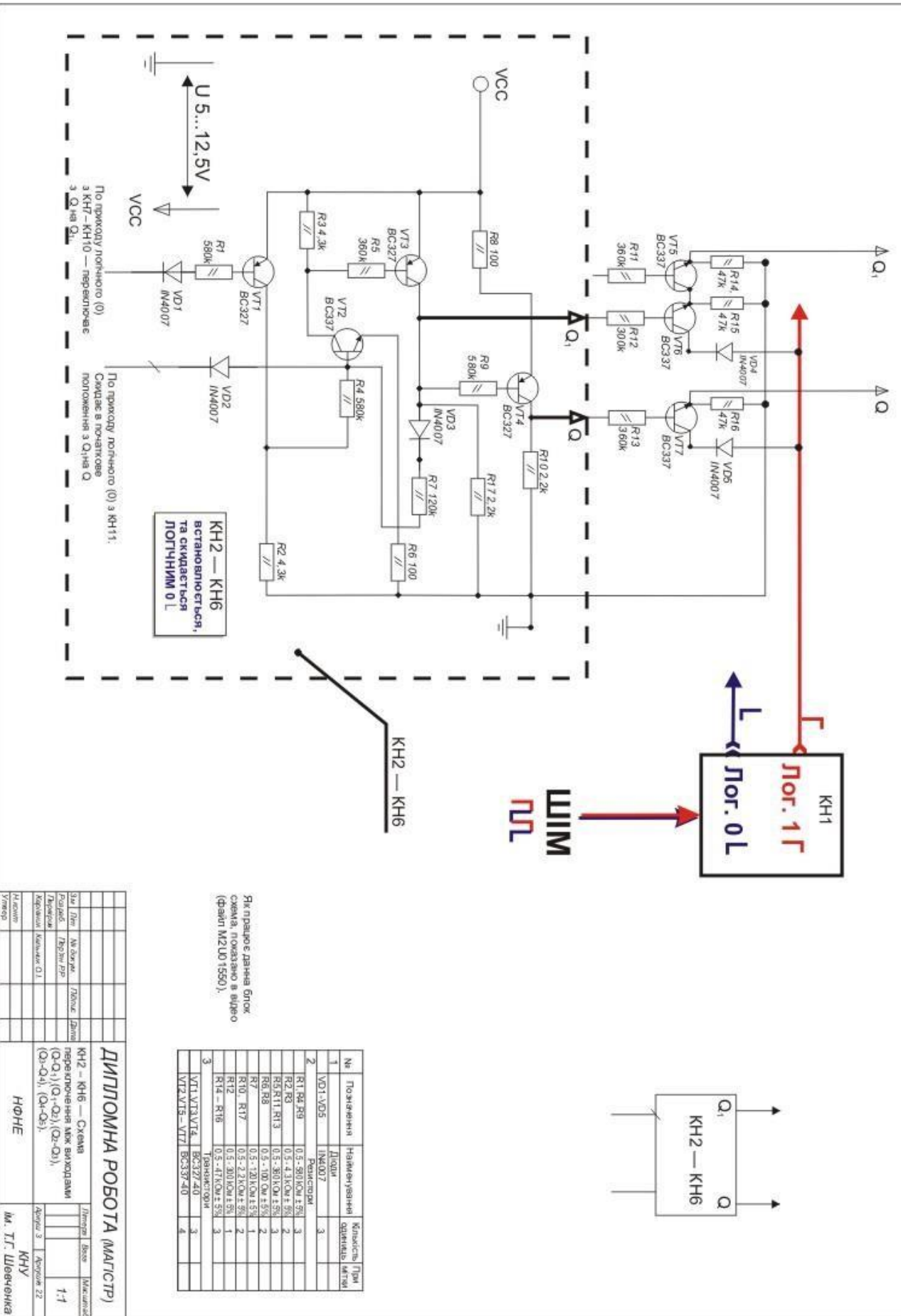
1. Курсова робота «ШІМ генератори імпульсів» [Пер'ян Р.Р.]
2. Дипломна робота бакалавра «Розробка схем керування мультикоптера»
[Пер'ян Р.Р.]
3. Motor 930kv a2212 характеристики. [Электронный ресурс]. – Режим доступа:
https://diyshop.com.ua/index.php?route=product/product&product_id=94
4. Motor 2204 2300kv a2212 характеристики. [Электронный ресурс]. – Режим
доступу: <https://www.rc-hobby.com.ua/dvigateli-elektricheskie/emx-mt-1577/>
5. Что такое бесколлекторный двигатель? [Электронный ресурс]. – Режим доступа:
<https://dronomania.ru/faq/chto-takoe-beskollektornyj-dvigatel.html>

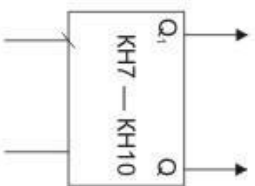
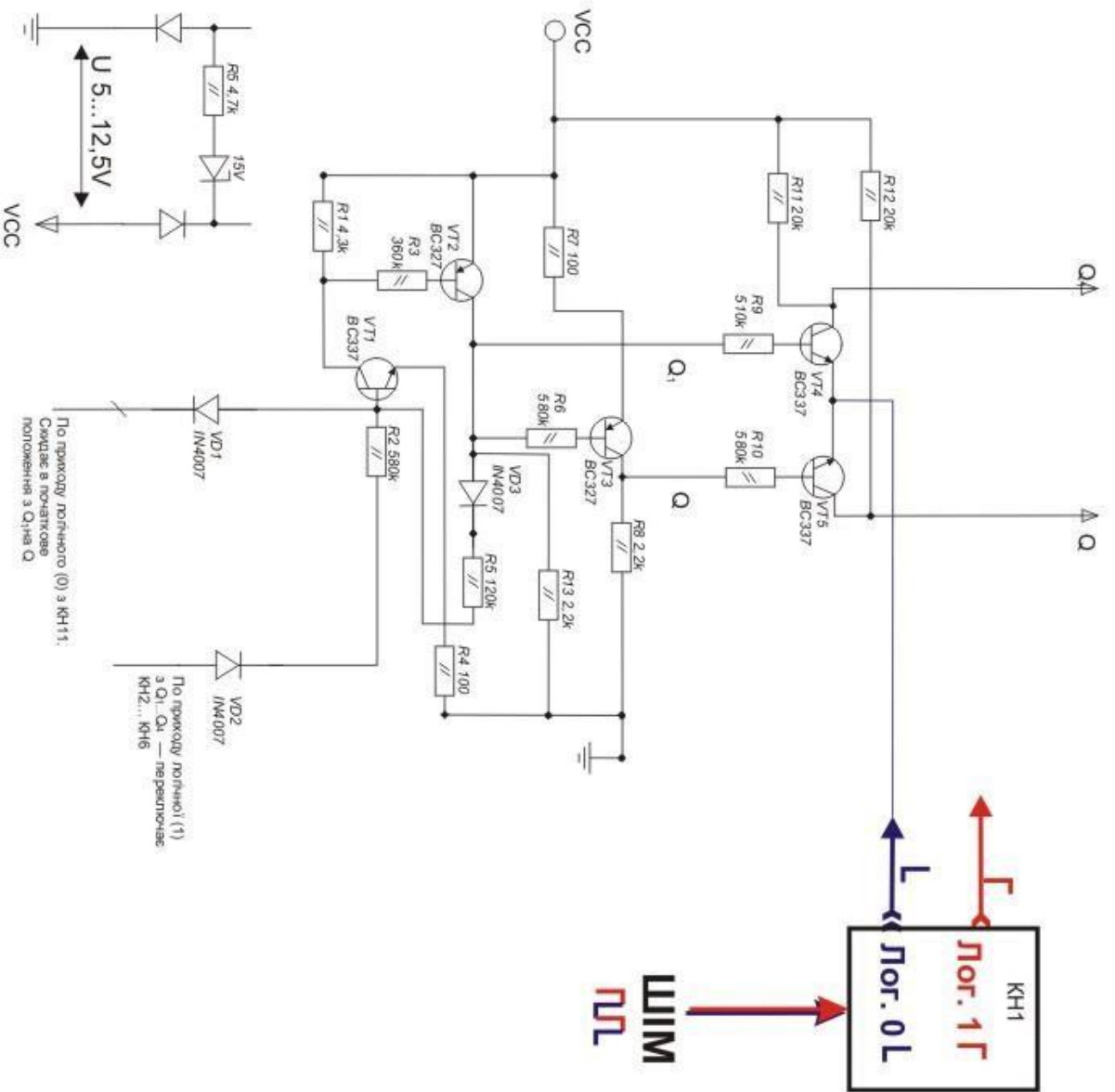


РК прикладне дане блок-схема, показано в відео (Файл: 2022.1024_183812). та (20221026_123622)

№	Позначення	Найменування в документах	Кількість	Пит
1	VD1-VD7	ІН4007	7	
2	R1-R12, R24	Резистори	6	
R15, R19	05 - 02 КОМ ± 5%	6		
R2, R5, R20, R31	05 - 130 КОМ ± 5%	3		
R3, R6, R14, R16	05 - 43 КОМ ± 5%	6		
R25, R27, R30	05 - 100 КОМ ± 5%	2		
R4, R7	05 - 11 КОМ ± 5%	2		
R8	05 - 240 КОМ ± 5%	2		
R9, R28, R29	05 - 47 КОМ ± 5%	4		
R10, R11, R17	05 - 100 КОМ ± 5%	2		
R13, R23	05 - 02 КОМ ± 5%	2		
R15, R19	05 - 02 КОМ ± 5%	2		
R18, R22	05 - 02 КОМ ± 5%	2		
R33, R34	05 - 05 КОМ ± 5%	2		
R35, R36	05 - 870 КОМ ± 5%	2		
3	VT1-VT4, VT6, VT8, VT9, VT11	Транзистори	6	
VT2, VT3, VT5, VT7, VT10, VT12, VT15	BC337-40	11		

ДИПЛОМНА РОБОТА (МАТРИЦ)			
КН1 —	Розробити ШИМ на портові адаптери (1) та портовий (0) з пропуском керування керування (0)	Ліцензія	Максимально
КН2 —	КН3 —	Автори 2	Автори 22
НФНН		КНУ	
М. І. Шевченко			





Як правило дання блок схема, показана в відео (адреси M2U01554, M2U01549, M2U01552, M2U01553).

№	Позначення	Найменування	Кількість	Тип
1	VD1-VD3	Діоди ІМД007	3	
2	R1	Резистор	1	
	R2, R6, R10	0.5 - 4.3kOhm ± 5%	3	
	R3	0.5 - 80kOhm ± 5%	1	
	R4, R7	0.5 - 100 Ohm ± 5%	2	
	R5	0.5 - 120kOhm ± 5%	1	
	R8, R13	0.5 - 2.2kOhm ± 5%	2	
	R9	0.5 - 510kOhm ± 5%	1	
	R11 - R12	0.5 - 20kOhm ± 5%	2	
3	VT1, VT4, VT5, VT2, VT3	Транзистори BC327-40 BC337-40	3	
			2	

По прикладу логічного (0) з KH15. Сигнале в початковому положення з Q1 на Q

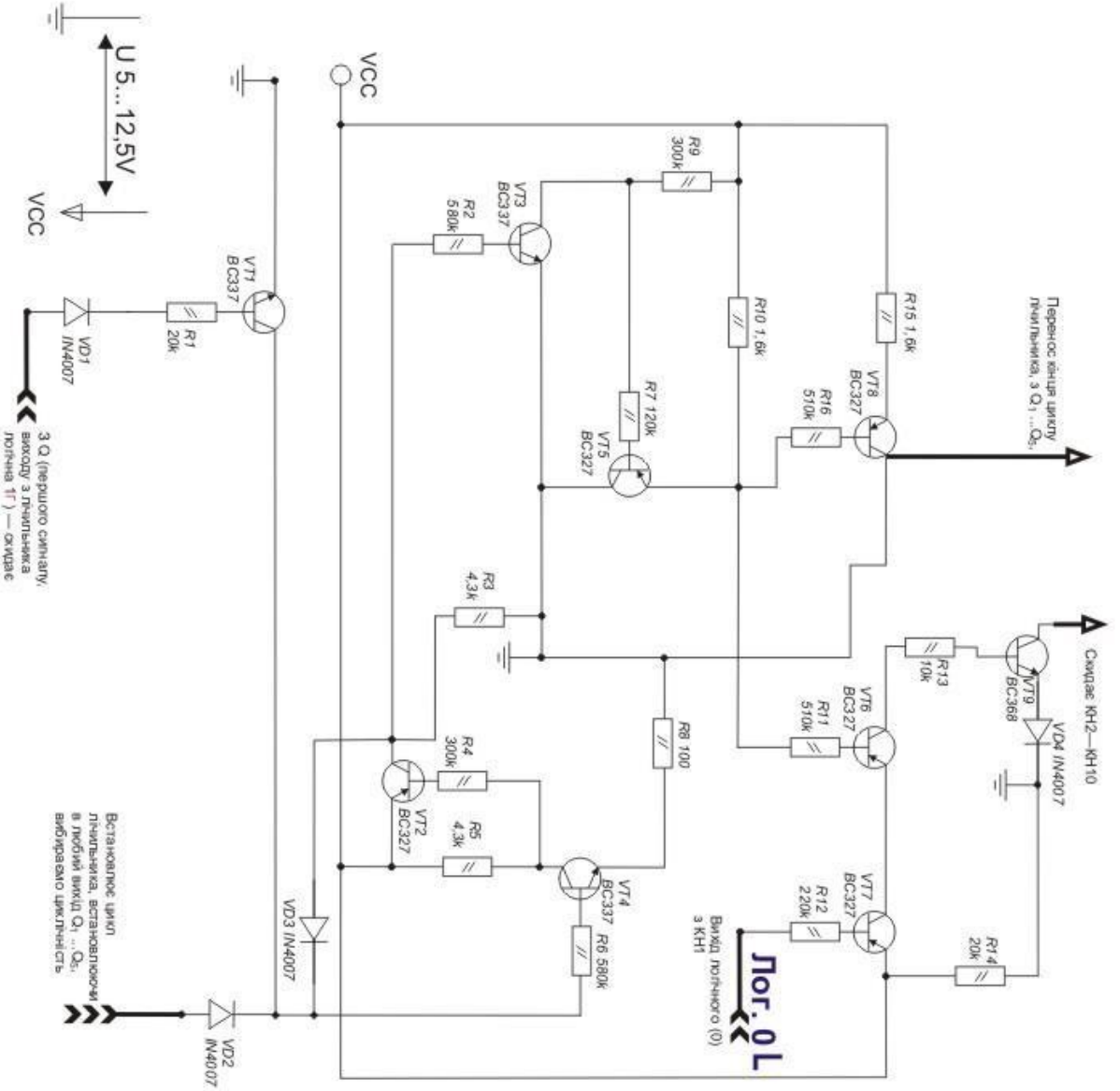
По прикладу логічного (1) з Q1. Qd — переключач KH2, KH6

№ з/д	Дат.	М. викон.	Листів	Знач.
Розроб.	Тестув.	Пр.		
Корект.	Корект.	ОД		
Дизайн				
Утверд.				

ДИПЛОМНА РОБОТА (МАГІСТР)
 переключення лог. виходами (Q1-Q1), (Q1-Q2), (Q2-Q3), (Q3-Q4), (Q4-Q5).

Листів: 4
 Аркушів: 22

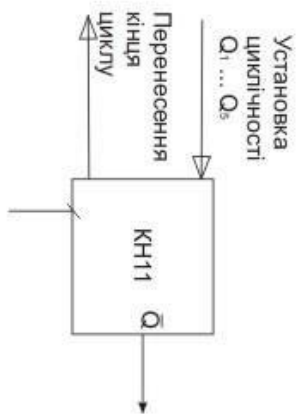
ФОНЕ
 КНУ
 М. Т. Шевченка



3 Ω (першого сигналу, виходу з гальваніза логічна 1) — опір

Встаючий цикл логічного 0, встановлюючи в логічній вихіді Q₁...Q₅ вибіраємо циклічність

Log. 0L
Вихід логичного (0) з КН1



Як працює дана блок-схема показано в відео (файл M2U015S31), та (M2U015S3)

№	Позначення	Найменування	Кількість / Трим
1	VD1-VD4	Диоди IN4007	4
2	R1, R14	Резистори 0.5 - 20 КОМ ± 5%	2
	R2, R6	0.5 - 58 КОМ ± 5%	2
	R3, R5	0.5 - 43 КОМ ± 5%	2
	R4, R9	0.5 - 309 КОМ ± 5%	2
	R7	0.5 - 20 КОМ ± 5%	1
	R8	0.5 - 100 Ом ± 5%	2
	R10, R15	0.5 - 18 КОМ ± 5%	2
	R11, R16	0.5 - 51 КОМ ± 5%	2
	R12	0.5 - 228 КОМ ± 5%	1
	R13	0.5 - 10 КОМ ± 5%	1
3	VT1-VT9, VD4	Транзистори BC337-40	3
	VT2, VT5 - VT9	BC327-40	5
	VT9	BC368	1

ДИПЛОМНА РОБОТА (МАГІСТР)

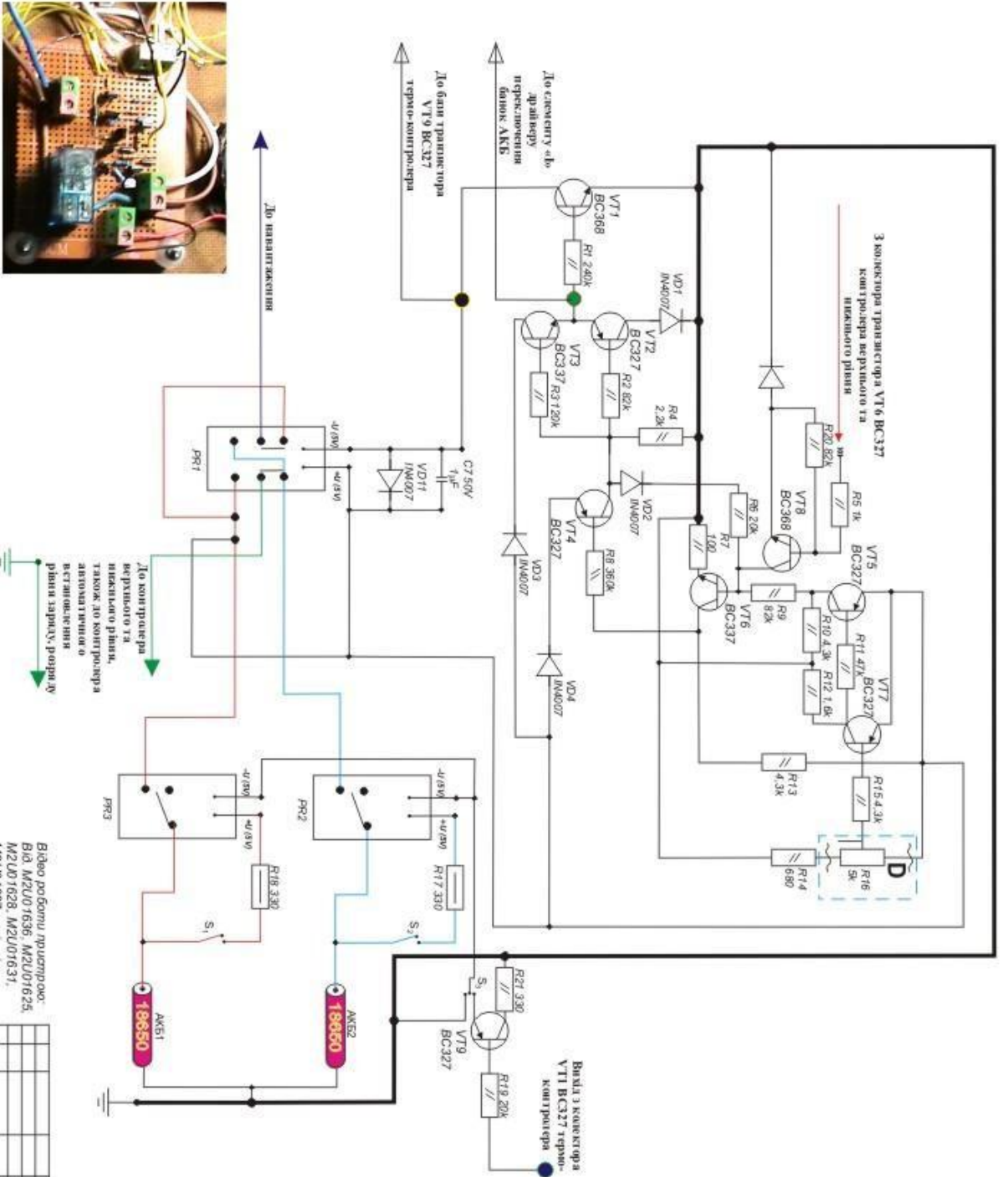
КН11 — СХЕМА ВСТАВНОЇ ЦИЛУ, та переносу імпо.

№	Тип	№ докум.	Листів	Дата
	Розробка	Техніч. проєкт		
	Корекція	Корекція 0.1		
	Н.контр.			
	Утверд.			

НФОНЕ		Листів	Вказівка
		Додаток 5	Додаток 22
		КНУ	1-1

Ім. Т.Г. Шевченка

**Контролер
нижнього
рівня**



⚠️ АКБ1 – АКБ2 до повільної зміни щ. в го регулятор R2,R3,AKB2ДІЄДІЄ
перевіряючи на екрані монітора повільно змінюючи АКБ

Відео роботи пристрою:
 B1d, M2U01636, M2U01624,
 M2U01628, M2U01631,
 M2U01637 на ют. відео.
 При вказанні в рефераті:
 до двох робіт

№	Позначення	Найменування	Кількість/Пити
1	VD1-VD4	1N4007	4
2	C1	БВВ-1,ВКВ-2,10%	1
3	R18	Потенціометр 0,5%-20 Ом ± 5%	1
4	R1	Резистор	1
	R2, R9, R20	0,5 - 200 КОм ± 5%	3
	R3, R11, R19	0,5 - 20 КОм ± 5%	3
	R5	0,5 - 2,2 КОм ± 5%	1
	R6	0,5 - 1 КОм ± 5%	1
	R7	0,5 - 100 Ом ± 5%	1
	R8	0,5 - 300 Ом ± 5%	1
	R10, R13, R15	0,5 - 1,6 КОм ± 5%	2
	R12	0,5 - 1,6 КОм ± 5%	1
	R11	0,5 - 47 КОм ± 5%	1
	R17, R18, R21	0,5 - 30 Ом ± 5%	2
	R19, R6	0,5 - 20 КОм ± 5%	2
	R14	0,5 - 680 Ом ± 5%	1
5	VT1, VT8	BC368	2
	VT2, VT4	BC327-40	4
	VT5, VT7	BC337-40	4
7	VT3, VT6, VT9	BC337-40	6
	PR1	Електромагнітне реле SAZAD, MCB, BODIC	1
	PR2	SAZAD, MCB, BODIC	2
	PR3	SAZAD, MCB, BODIC	2

ДИПЛОМНА РОБОТА (МАГІСТР)

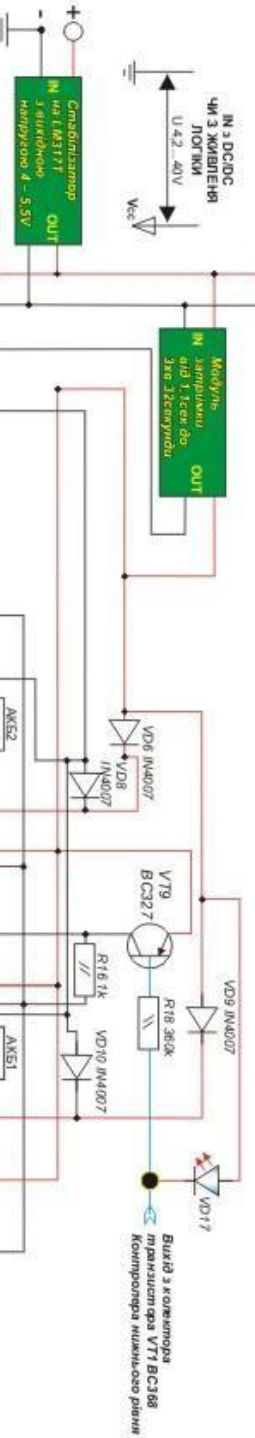
Схема електрична
 принципова(повна)(в.б.),
 контролема нижнього
 рівня заряду та реверсу-
 заряду м.к. АКБ

№	Тип	Назва	Листок	Дата
1	Розробка	Тезис реферату		
2	Розробка	Курсовий проект		
3	Розробка	Курсовий проект		
4	Розробка	Курсовий проект		
5	Розробка	Курсовий проект		
6	Розробка	Курсовий проект		
7	Розробка	Курсовий проект		
8	Розробка	Курсовий проект		
9	Розробка	Курсовий проект		
10	Розробка	Курсовий проект		
11	Розробка	Курсовий проект		
12	Розробка	Курсовий проект		
13	Розробка	Курсовий проект		
14	Розробка	Курсовий проект		
15	Розробка	Курсовий проект		
16	Розробка	Курсовий проект		
17	Розробка	Курсовий проект		
18	Розробка	Курсовий проект		
19	Розробка	Курсовий проект		
20	Розробка	Курсовий проект		
21	Розробка	Курсовий проект		
22	Розробка	Курсовий проект		

ФОНЕ

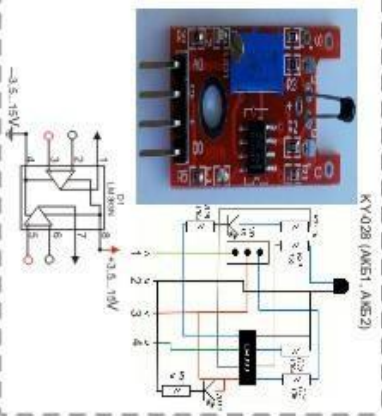
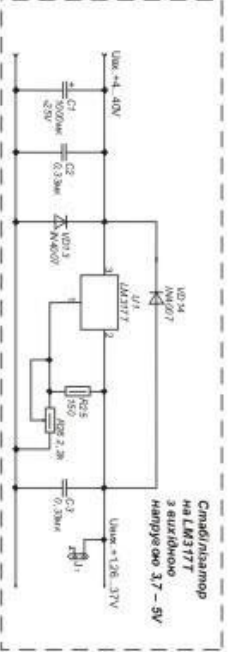
М. Т. Шевченка





**Термо-
контролер
АКБ№1,
АКБ№2**

● — Точки виходу (термо-контролера АКБ1 та АКБ2), до бази транзистора контролера автоматичного встановлення рівня заряду, розряду, заряду, розряду — це логічний елемент «ЗІПІН» (ЗІПІН (ЗІПІН)).
● — Діоди VD1, VD2, та VD1 (контролера автоматичного встановлення заряду, розряду) — це логічний елемент «ЗІПІН» (ЗІПІН (ЗІПІН)).
● — Діоди VD1, VD2, та VD1 (контролера автоматичного встановлення заряду, розряду) — це логічний елемент «ЗІПІН» (ЗІПІН (ЗІПІН)).



Відео роботи пристрою:
AKB M2U01786, M2U01786,
M2U01792, та інші, які
вказані в рефераті
до даної роботи

№	Позначення	Найменування	Кількість (шт)
1	VD1-VD4, VD6-VD10, VD18, VD19	Діоди ІМ4007	14
2	VD5, VD7, VD15-VD17	12V, 0.015A, 5шт	5
3	U1	Концентратор I2C, I2C-to-1Wire-10%	1
4	BUZ	BUZ-0330W-10%	2
5	AKB1, AKB2	Аккумулятори	2
6	R1-R32	Резистори	32
7	VT1-VT10	Транзистори	10
8	U2	Мікросхема	2
9	U3	Мікросхема	1
10	U4	Мікросхема	1
11	U5	Мікросхема	1
12	U6	Мікросхема	1
13	U7	Мікросхема	1
14	U8	Мікросхема	1
15	U9	Мікросхема	1
16	U10	Мікросхема	1
17	U11	Мікросхема	1
18	U12	Мікросхема	1
19	U13	Мікросхема	1
20	U14	Мікросхема	1
21	U15	Мікросхема	1
22	U16	Мікросхема	1
23	U17	Мікросхема	1
24	U18	Мікросхема	1
25	U19	Мікросхема	1
26	U20	Мікросхема	1
27	U21	Мікросхема	1
28	U22	Мікросхема	1
29	U23	Мікросхема	1
30	U24	Мікросхема	1
31	U25	Мікросхема	1
32	U26	Мікросхема	1

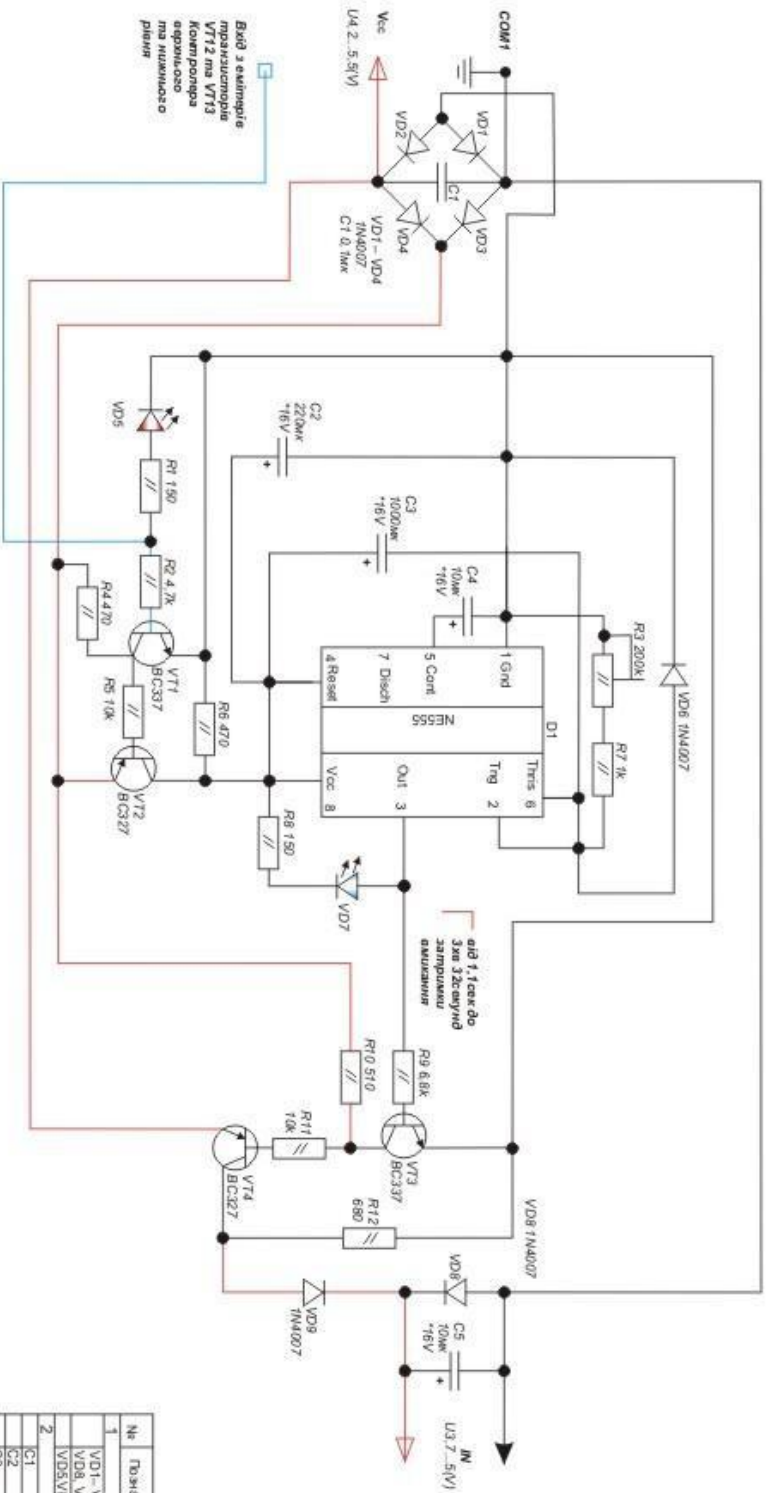
ДИПЛОМНА РОБОТА (МАГІСТР)
Схема електронна
принципова (схема) (схем),
термо-контролер
АКБ1 АКБ2

Ліцензія: 1-1
Датум: 10 / 22

М. І. Шевченко

№	Тип	Назва	Ліцензія	Дата
1	Робота	Термо-контролер АКБ1 АКБ2	1-1	10 / 22
2	Робота	Термо-контролер АКБ1 АКБ2	1-1	10 / 22
3	Робота	Термо-контролер АКБ1 АКБ2	1-1	10 / 22
4	Робота	Термо-контролер АКБ1 АКБ2	1-1	10 / 22
5	Робота	Термо-контролер АКБ1 АКБ2	1-1	10 / 22
6	Робота	Термо-контролер АКБ1 АКБ2	1-1	10 / 22
7	Робота	Термо-контролер АКБ1 АКБ2	1-1	10 / 22
8	Робота	Термо-контролер АКБ1 АКБ2	1-1	10 / 22
9	Робота	Термо-контролер АКБ1 АКБ2	1-1	10 / 22
10	Робота	Термо-контролер АКБ1 АКБ2	1-1	10 / 22
11	Робота	Термо-контролер АКБ1 АКБ2	1-1	10 / 22
12	Робота	Термо-контролер АКБ1 АКБ2	1-1	10 / 22
13	Робота	Термо-контролер АКБ1 АКБ2	1-1	10 / 22
14	Робота	Термо-контролер АКБ1 АКБ2	1-1	10 / 22
15	Робота	Термо-контролер АКБ1 АКБ2	1-1	10 / 22
16	Робота	Термо-контролер АКБ1 АКБ2	1-1	10 / 22
17	Робота	Термо-контролер АКБ1 АКБ2	1-1	10 / 22
18	Робота	Термо-контролер АКБ1 АКБ2	1-1	10 / 22
19	Робота	Термо-контролер АКБ1 АКБ2	1-1	10 / 22
20	Робота	Термо-контролер АКБ1 АКБ2	1-1	10 / 22
21	Робота	Термо-контролер АКБ1 АКБ2	1-1	10 / 22
22	Робота	Термо-контролер АКБ1 АКБ2	1-1	10 / 22
23	Робота	Термо-контролер АКБ1 АКБ2	1-1	10 / 22
24	Робота	Термо-контролер АКБ1 АКБ2	1-1	10 / 22
25	Робота	Термо-контролер АКБ1 АКБ2	1-1	10 / 22
26	Робота	Термо-контролер АКБ1 АКБ2	1-1	10 / 22
27	Робота	Термо-контролер АКБ1 АКБ2	1-1	10 / 22
28	Робота	Термо-контролер АКБ1 АКБ2	1-1	10 / 22
29	Робота	Термо-контролер АКБ1 АКБ2	1-1	10 / 22
30	Робота	Термо-контролер АКБ1 АКБ2	1-1	10 / 22
31	Робота	Термо-контролер АКБ1 АКБ2	1-1	10 / 22
32	Робота	Термо-контролер АКБ1 АКБ2	1-1	10 / 22

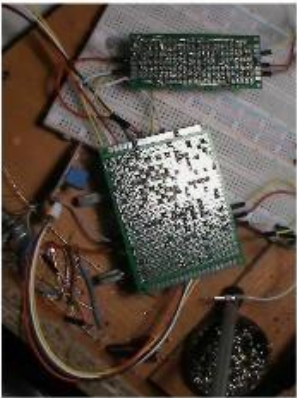
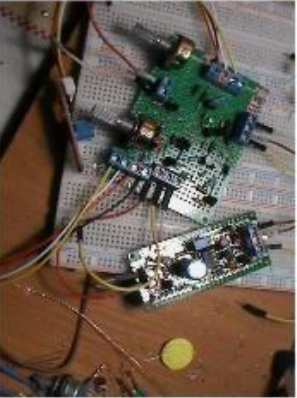
Термо-контролер АКБ№1, АКБ№2



№	Позначення	Найменування	Кількість / Колір
1	VD1 - VD4, VD6, VD8, VD9	Діоди ІN4007	7
2	VD5, VD7	LED 12V, 0.01A	2 3 Сині
	C1	500pF, 10V ± 10%	1
	C2	100nF, 50V ± 10%	1
	C3	100µF, 16V ± 10%	1
	C4, C5	100µF, 10V ± 10%	2
3	VT1 - VT4	Підроз'ємний реліс	1
	R3	20k, 0.5W ± 5%	1
4	R1, R8	0.5 - 150 Ohm ± 5%	2
	R2	0.5 - 4.7 kOhm ± 5%	1
	R4, R6	0.5 - 10k Ohm ± 5%	2
	R5, R11	0.5 - 10k Ohm ± 5%	2
	R7	0.5 - 1k Ohm ± 5%	1
	R9	0.5 - 68k Ohm ± 5%	1
	R10	0.5 - 50 Ohm ± 5%	1
	R12	0.5 - 680 Ohm ± 5%	1
5	D1	NE555N	1
6	VT1, VT3	BC337-40	2
	VT2, VT4	BC327-40	2

Відео роботи пристрою:
[Від: M2U01786, M2U01796](#)
[M2U01792, та інші...](#)
 вказані в розділі до даної роботи

Фото пристрою термо-контроля АКБ№1 АКБ№2



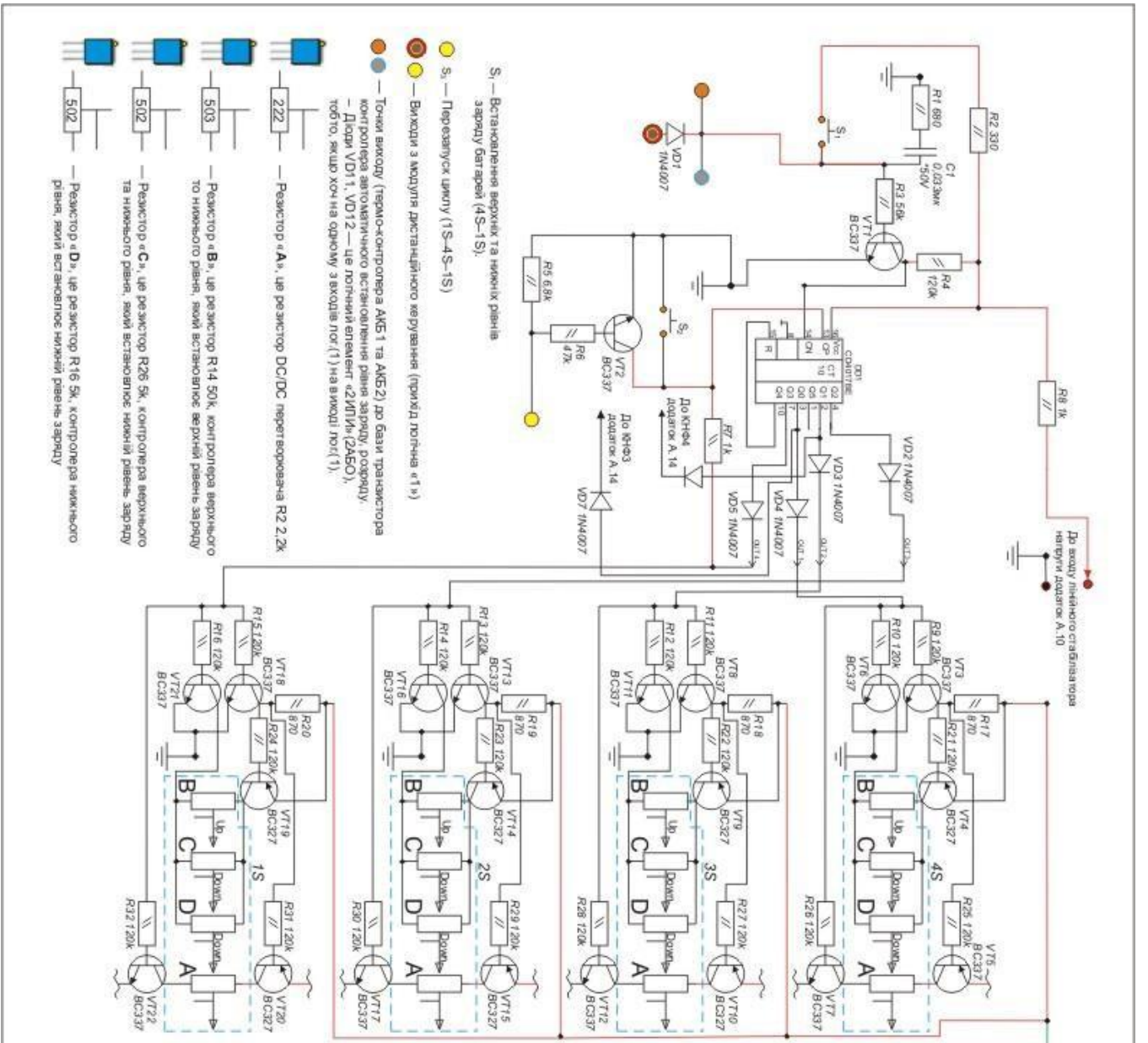
ДИПЛОМНА РОБОТА (МАСТР)

Схема електрична принципова(овна)(ез), загальна виконана, та миттєво виконана

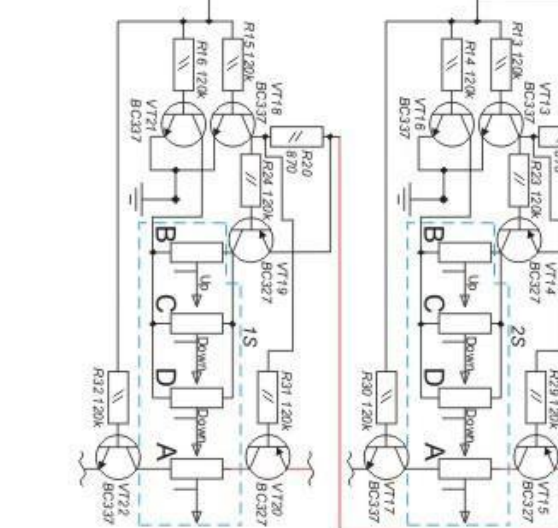
№	Тип	Назва	Листів	Дата
1	Розробка	Терм. кон.	1	1.1
2	Виконання	Миттєво	22	

ФОНЕ

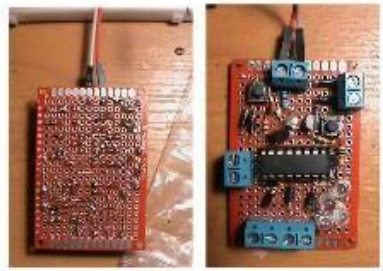
М. І. Шевченко



- S₁ — Перемикач живильної мережі (1S-4S-1S)
- S₂ — Встановлення верхньої та нижньої рівнів заряду батареї (4S-1S)
- S₃ — Точки виходу (термо-контроль АКБ1 та АКБ2) до бази трансистора контролера автономного живлення рівня заряду, розряду.
- S₄ — Додаток VD1, VD12 — це логічний елемент «2ИЛИ» (2АБО), тобто, якщо хоч на одному з входів лог(1) на виході лог(1).



3 виходи реле контролера РР1 контролюють рівня живлення



Контролер автономного живлення рівня заряду, розряду

Додаток А.12

Відео роботи пристрою:
 ВЯ: M2U01B2L
 M2U01B33 — M2U01B36
 та інші, які вказані в рефераті до даної роботи

№	Позначення	Найменування	Кількість	Помилки
1	VD1-VD7	Диоди 1N4007	7	
2	C1	Конденсатори 1000,033мФ/10В	1	
3	R-A	Підпроваджені резистори	222	
R-B	0,5-50K Ом ±5%	4	503	
R-C, R-D	0,5-5K Ом ±5%	8	502	
4	R1	0,5-680 Ом ±5%	1	
R2	0,5-330 Ом ±5%	1		
R3	0,5-20K Ом ±5%	1		
R4	0,5-100K Ом ±5%	1		
R5	0,5-47K Ом ±5%	1		
R6	0,5-1K Ом ±5%	2		
R7, R8	0,5-1K Ом ±5%	2		
R9-R16, R21-R28	0,5-680 Ом ±5%	20		
R17, R20	0,5-870 Ом ±5%	4		
5	VD1	Мікросхема	1	
6	VT1-VT8, VT9-VT12, VT13-VT16, VT17, VT18, VT21, VT22	Транзистори BC327-40	14	
VT4, VT5, VT9, VT10, VT14, VT15, VT19, VT20	BC327-40	8		

ДИПЛОМНА РОБОТА (МАГІСТР)

Схема електрична принципова(івна)(БЗ) автономного живлення рівня заряду

НФНЕ

КНУ

М. Т. Швецьонка

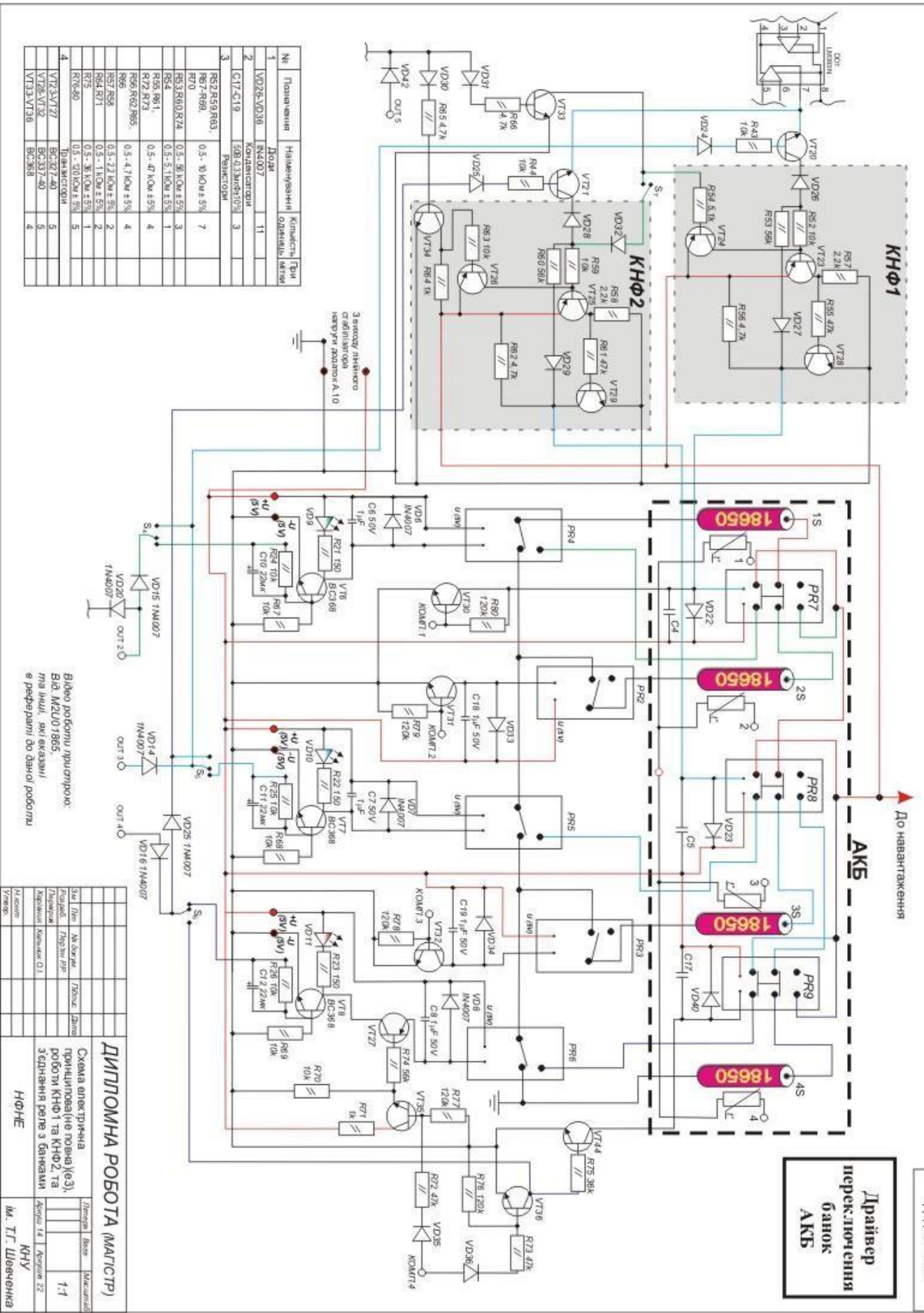
Дата	Місяць	Рік	Листів	Всього	Максимум
Роздає	Перевіряє	Листів	Деталь		
Корисний	Кількість 0.1				
Н.Комп					
Умове					

1-1

Додаток 12

Август 22

**Драйвер
переключення
банок
АКБ**



№	Позначення	Найменування	Кількість	Тип
1	VD26-VD36	Діоди	11	
2	С17-С19	Конденсатори	3	
3	RS2-RS9, R63, R70	Резистори	7	
4	RS3, RS0, R14, RS5, RS1, R12, R13, RS6, RS2, RS5, RS7, RS8, RS4, R11, R15, R16, R17, R18, R19	Резистори	19	
5	VT2, VT7, VT3, VT32, VT33, VT36	Транзистори	6	

Відео роботи пристрою:
[Відео роботи пристрою](#)
 Відео роботи пристрою з банками АКБ

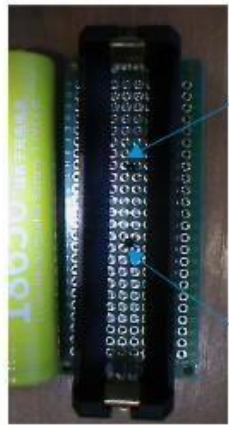
ДИПЛОМНА РОБОТА (МАГІСТР)

Схема електронна принципова (не повна), роботи КНФ 1 та КНФ 2, з'єднанні реле з банками АКБ

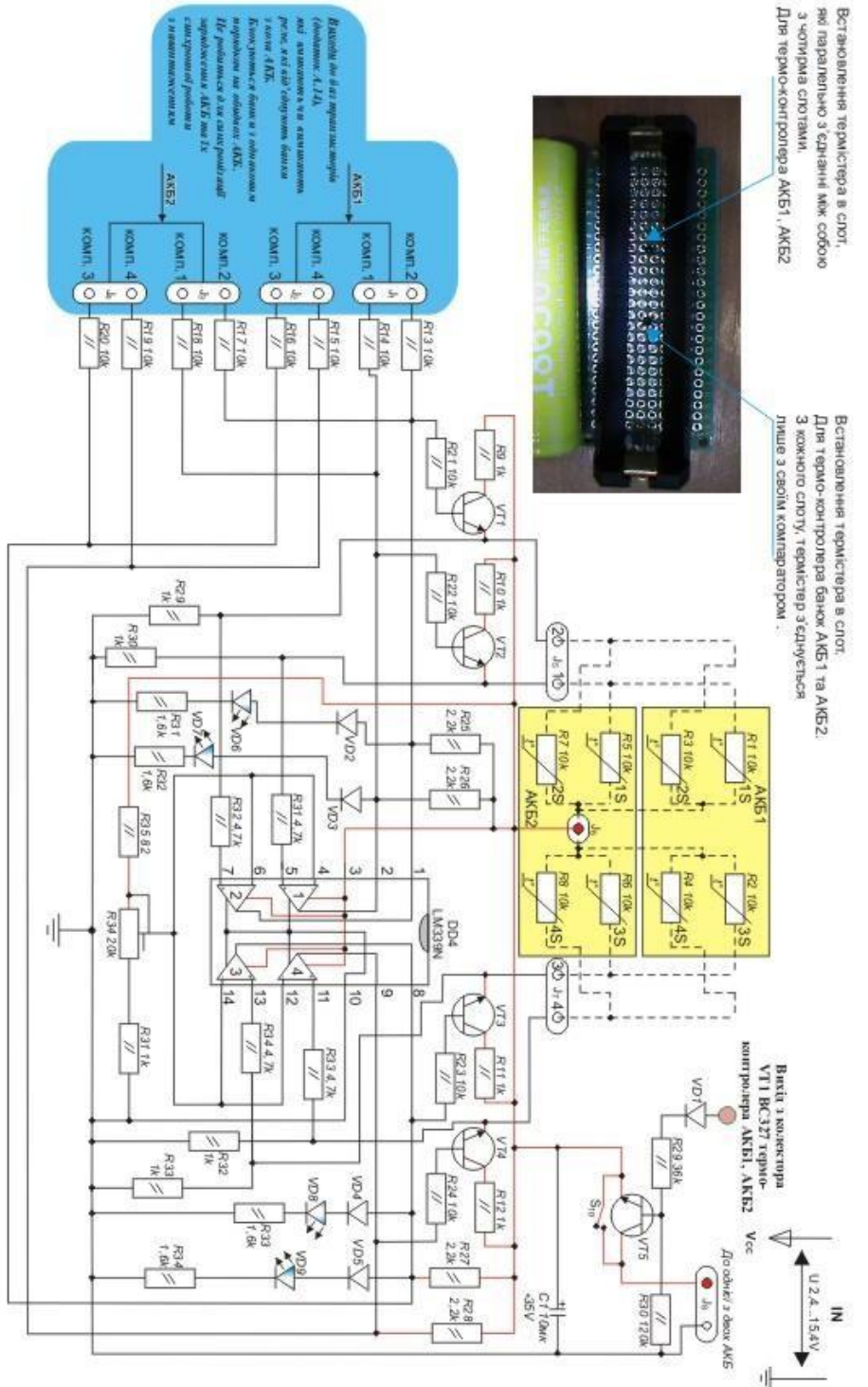
№ФОНЕ

М. П. Шевченко

Встановлення термістора в слот, який паралельно з'єднаний між собою з чотирма слотами.
Для термоконтролю АКБ1, АКБ2



Встановлення термістора в слот. Для термоконтролю банок АКБ1 та АКБ2 з кожного слоту, термістор з'єднується лише з своїм компаратором.



Термо-контролер банок АКБ1 та АКБ2



Відео роботи пристрою:
Вид. М2U01870.
та інші, які вказані в рефераті до даної роботи

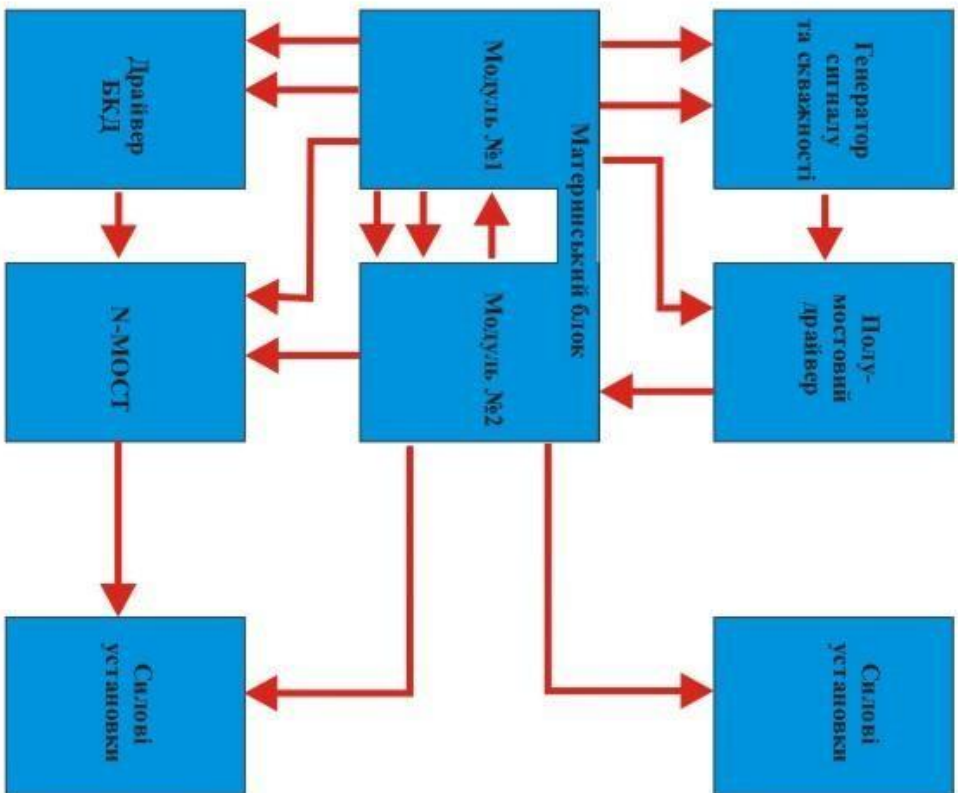
№	Позначення	Найменування	Кількість	Пити
1	V/D1-V/D5	Діоди	5	4
2	V/D6-V/D9	LED 3V, 0,015А	4	2 шт
		Конденсатори		
3	C1	50В, 100мкФ ±10%	1	203
		Підсилювальний елемент		
4	R1-R4	Резистори	8	т
		ВТС - 10/0,1 ± 1%	10	т
	R5-R12	0,5 - 1 КОМ ± 5%	10	т
	R13-R24	0,5 - 10 КОМ ± 5%	12	т
	R25-R28	0,5 - 2,2 КОМ ± 5%	4	т
	R29	0,5 - 8 КОМ ± 5%	1	т
	R30	0,8 - 30 КОМ ± 5%	1	т
	R31-R34	0,5 - 4,7 КОМ ± 5%	4	т
	R35	0,5 - 82 Ом ± 5%	1	т
		Мікросхема	1	т
5	DD4	LM339N	1	т
		Транзистори		
6	V11-V15	BC327-40	5	т

ДИПЛОМНА РОБОТА (МАСТР)

Схема електронна принципова (існуючі), термо-контролер банок АКБ1 та АКБ2

Стр.	Титул	Місце	Дата
1	Назва	Львів	2023
2	Прізвище	Тришук РР	
3	Клас	Класик О.1	
4	Ім'я		
5	Учитель		

М. Т. Шевченка



Змі	Лист	№ докум.	Підпис	Дата
Розроб	Перш РР			
Керівник	Кольчик О. І.			
Н.юсти				
Утвер.				

ДИПЛОМНА РОБОТА (МАГІСТР)

Схема електрична принципова (повна) (єз) контролера колекторних, безколекторних, та крокових двигунів постійного струму. З реверсом та без нього

Літера Ваз Масштаб

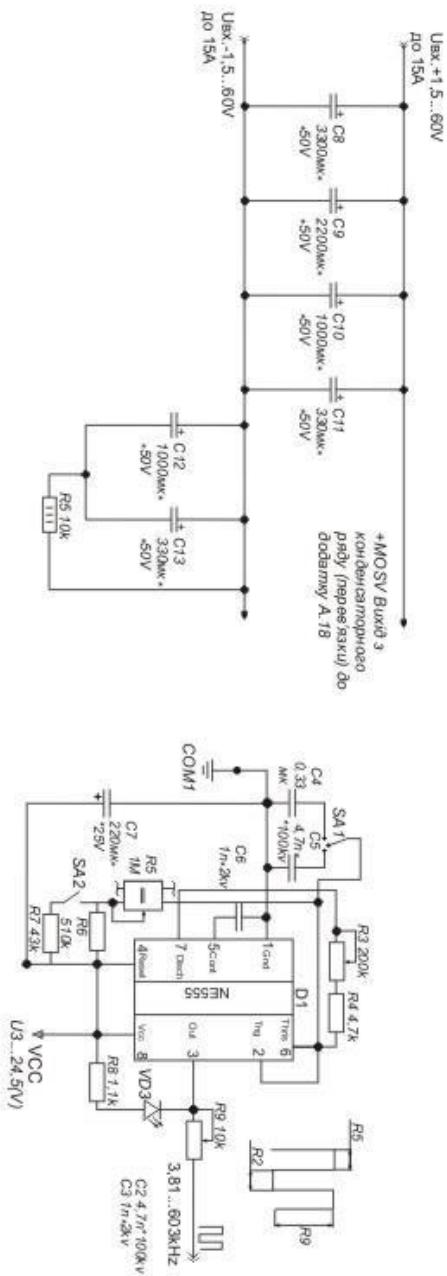
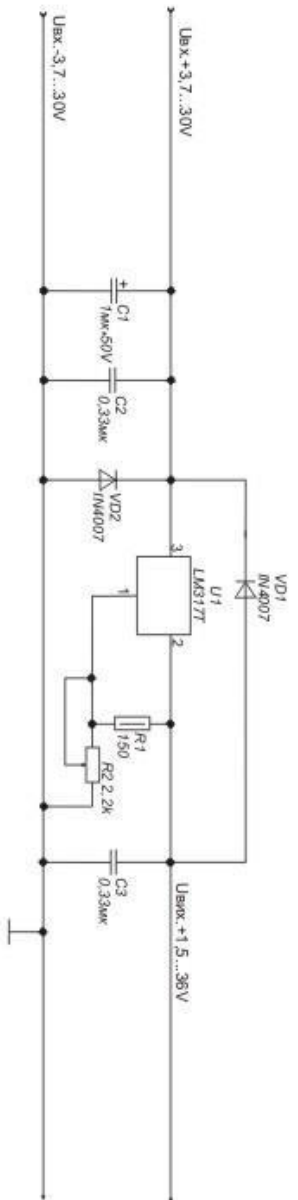
1:1

Друків 16 Друків 22

НФНЕ **КНУ**

ім. Т.Г. Шевченка

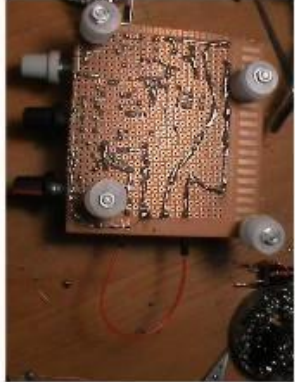
Додаток А.17



№	Позначення	Найменування	Кількість	При одиниць мітки
1	VD1-VD2	ІRLM4007	2	3.5mm
	VD3	3V, 0.015A	1	
2		Змінні резистори		
	R2	0.5 - 2.2 КОМ ± 5%	1	
	R3	0.5 - 200 КОМ ± 5%	1	
	R9	0.5 - 10 КОМ ± 5%	1	
3		Резистори		
	R1	0.5 - 190 Ом ± 5%	1	
	R4	0.5 - 4.7 КОМ ± 5%	1	
	R5	2 - 1 МОМ ± 5%	1	
	R6	0.5 - 510 КОМ ± 5%	1	
	R7	0.5 - 43 КОМ ± 5%	1	Стерео
	R8	0.5 - 1.1 КОМ ± 5%	1	
	R10	3 - 10 КОМ ± 5%	1	
3		Конденсатори електролітичні		
	C1	1мФ-50V	1	
	C7	220мФ-25V	1	
	C8	3300мФ-50V	1	
	C9	2200мФ-50V	1	
	C10, C12	1000мФ-50V	2	
	C11, C13	330мФ-50V	2	
4		Конденсатори		
	C2, C3, C4	0.33мФ-50V	3	
	C5	0.0047мФ-50V	1	
	C6	0.0047мФ-50V	1	
5		Мікросхеми		
	U1	ІRLM317T	1	
	D1	NE555H	1	



ФОТО
ПРИСТРОЮ



Зм	Лист	№ докум.	Титул	Дата
Розроб	Перш РР			
Твердження	Корекція О.І.			
І.юсти				
Утвер.				

Схема електрична принципова
(повна) (ез) модуля №1
материнського блоку

Літера Вава Масштаб

1:1

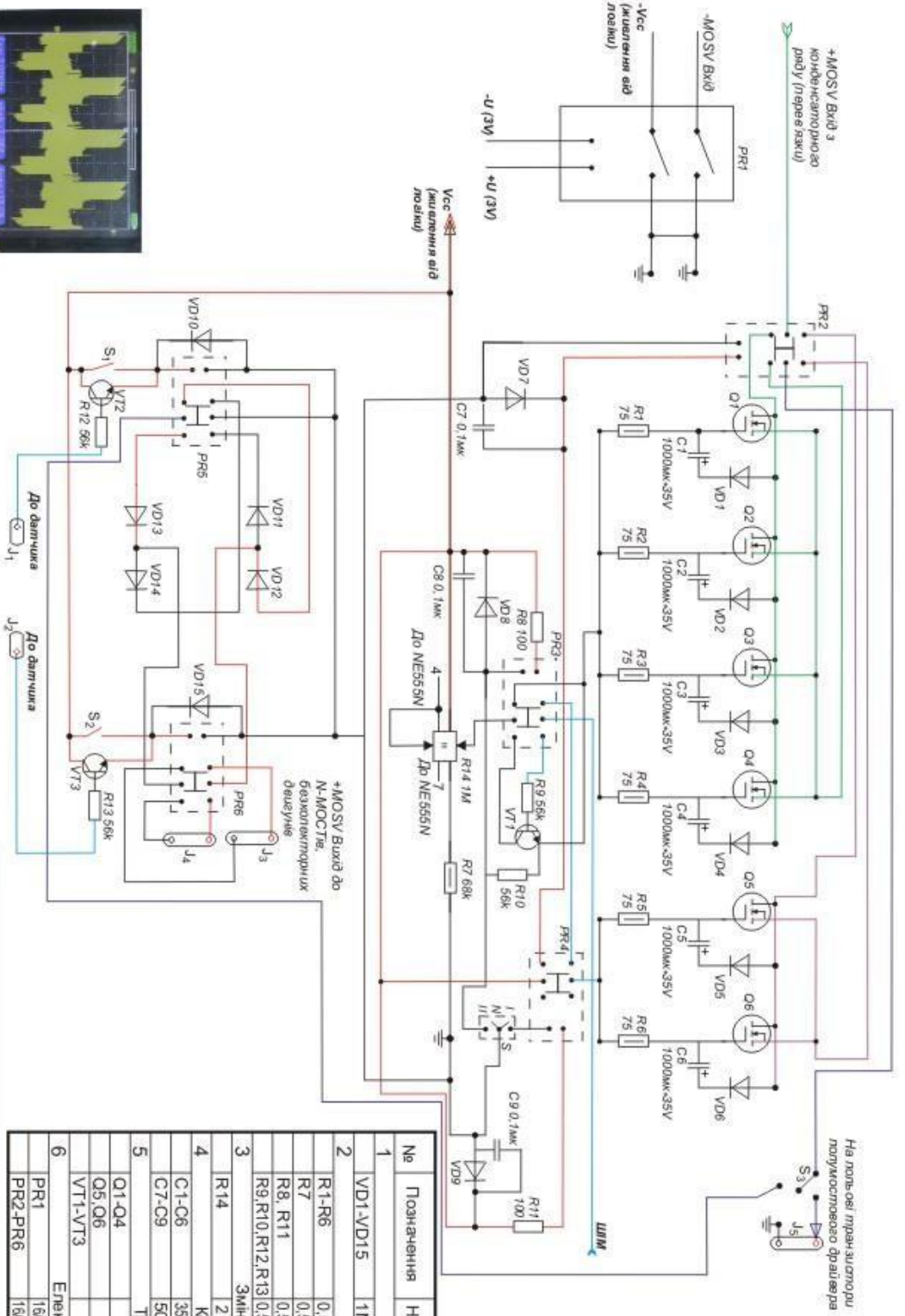
Архив 17 Архив 22

КНУ
ім. Т.Г. Шевченка

ДИПЛОМНА РОБОТА (МАГІСТР)

НФНЕ





№	Позначення	Найменування	Кількість	Прий одніиць	мітки
1	VD1-VD15	Діоди	15		
2	R1-R6	Резистори	6		
	R7	0,5 - 68 КОМ ± 5%	1		
	R8, R11	0,5 - 100 Ом ± 5%	2		
	R9, R10, R12, R13	0,5 - 56 КОМ ± 5%	4		
3	R14	Змінні резистори	1		
		2 - 1 МОМ ± 5%	1		Стерео
4	C1-C6	Конденсатори	6		
	C7-C9	35В-1000мкФ±10%	6		
		50В-1мкФ±10%	6		
5	Q1-Q4	Транзистори	4		
	Q5, Q6	IRF3205	2		
	VT1-VT3	IRFL3705	3		
		BC337-40	3		
6	IC1	Електромагнітні реле	1		5VDS
	PR1-PR6	16A 240V/AC/60VDC 1C	1		5VDS
		16A 240V/AC/60VDC 2C	5		5VDS

ДИПЛОМНА РОБОТА (МАГІСТР)

Схема електрична принципова (повна) (ез) модуля №2 матеріального блоку

Зм	Лист	№ доум.	Підпис	Дата
Розроб	Перш РР			
Техревіз	Корекція	Корекція	О.І.	
Н.юсти				
Утвер.				

НФНЕ

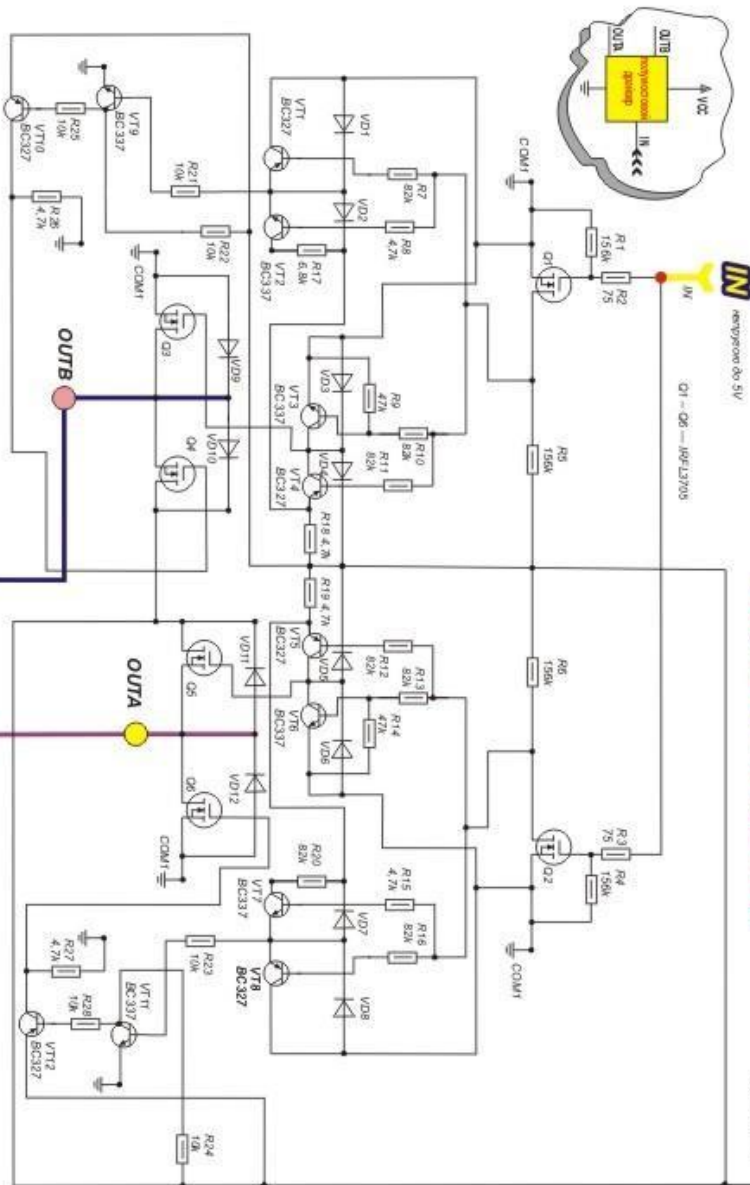
КНУ
ім. Т.Г. Шевченка

3 виготовлення ШІМ на затворі транзисторів Q1, Q2 при роботі ВКДП1

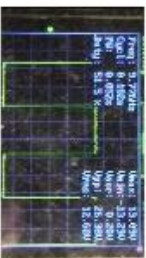


Полумостовий драйвер

Уск. на 5.2АВ



Виміри між OUTA та OUTB



Додаток А.19

№	Позначення	Найменування	Кількість	Три
1	VD1-VD12	Діоди	12	
2	R1,R4,R5,R6 R2,R3 R7,R10-R13, R16,R20 R8,R15,R18, R19,R26,R27 R9,R14 R17 R21-R25,R28	Резистори 0.5 - 156 Ом ± 5% 0.5 - 75 Ом ± 5% 0.5 - 82 Ом ± 5% 0.5 - 4.7 Ом ± 5% 0.5 - 47 Ом ± 5% 0.5 - 6.8 Ом ± 5% 0.5 - 10 Ом ± 5%	6 6 1 1 2 4	
3	Q1-Q6	Транзистори	6	
	VT1, VT4, VT5, VT8, VT10, VT12 VT2, VT3, VT6, VT7, VT9, VT11	IRFL3705 BC327-40 BC337-40	2 3	

ДИПЛОМНА РОБОТА (МАГІСТР)

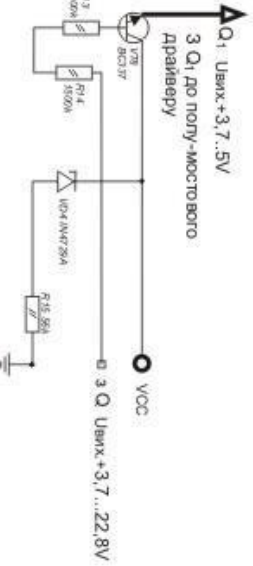
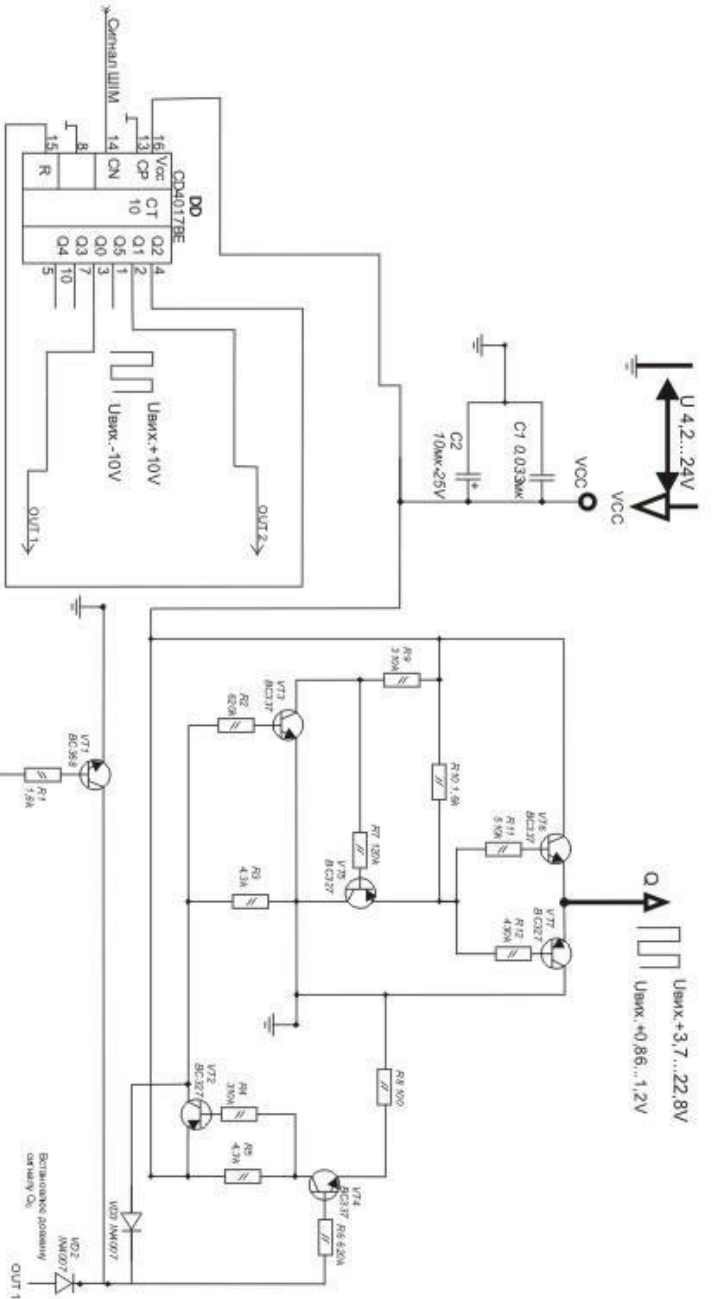
Схема електрична
принципова(повна)(ез),
драйвер N-МОСТУ

Змі	Лист	№ докум.	Підпис	Дата
Розроб	Лерман РР			
Керівник	Корбаль О.І.			
Н.юсти				
Утвер.				

НФНЕ

КНУ
ім. Т.Г. Шевченка

Листів 19 | Аркуше 22
Масштаб
1:1



№	Позначення	Найменування	Кількість	При
1	VD1-VD3	Діоди	3	МТК
	VD4	IN4729A	1	3V6
2	R1, R140	Резистори	2	
	R2, R6	0.5 - 1.6 КОМ ± 5%	2	
	R3, R5	0.5 - 620 КОМ ± 5%	2	
	R4, R9	0.5 - 4.3 КОМ ± 5%	2	
	R7	0.5 - 3.10 КОМ ± 5%	2	
	R8	0.5 - 120 КОМ ± 5%	1	
	R11	0.5 - 100 Ом ± 5%	1	
	R12	0.5 - 510 КОМ ± 5%	1	
	R13	0.5 - 430 КОМ ± 5%	1	
	R14	0.5 - 1 МОМ ± 5%	1	
	R15	0.5 - 1.5 МОМ ± 5%	1	
3		Конденсатори	1	
	C1	50V, 0.033µF ± 10%	1	
	C2	25V - 10µF ± 10%	1	
4		Транзистори	1	
	VT1	BC368	1	
	VT3, VT4, VT6, VT8	BC337-40	4	
	VT2, VT5, VT7	BC327-40	3	
5	DD	Мікросхема	1	
	DD	CDD4017BE	1	

ДИПЛОМНА РОБОТА (МАГІСТР)

Схема електрична принциплова (повна) (ез) генерації сіметричних імпульсів.

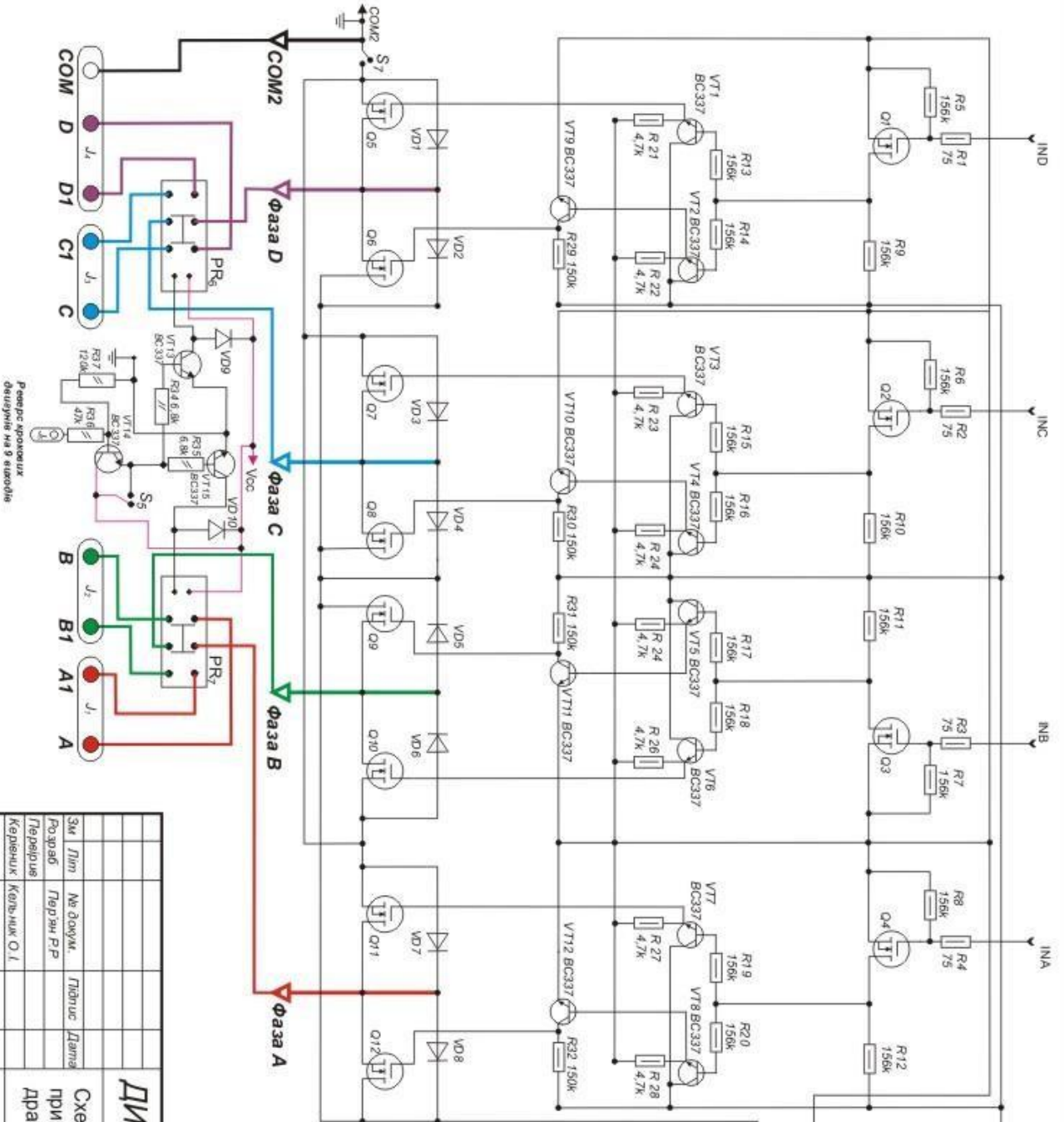
Змі	Лип	№ доум.	Ліплиц	Дата
Розроб	Перш	РР		
Керівник	Керівник	О.І.		
І.юліт				
Утвер.				

Схема електрична принциплова (повна) (ез) генерації сіметричних імпульсів.

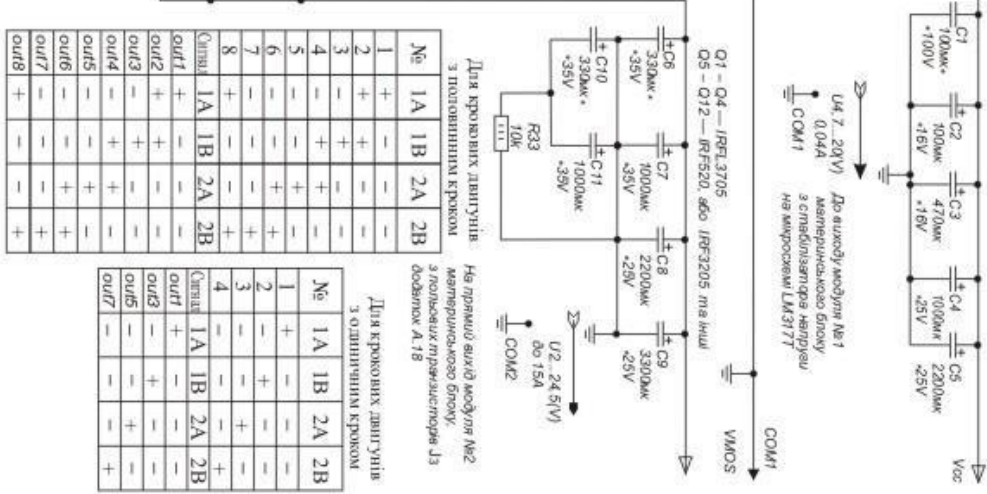
Масштаб 1:1

Архив 20 | Архив 22

КНУ ім. Т.Г. Шевченка



Реле роз'єрних діалогів на 9 виходів



Для кроковий двигунів з подвійним кроком

№	1A	1B	2A	2B
1	+	+	-	-
2	+	-	+	-
3	-	+	-	+
4	-	-	+	+
5	-	+	-	-
6	+	-	+	+
7	+	+	-	-
8	-	-	+	+
Купів	1A	1B	2A	2B
out1	+	-	-	-
out2	+	+	-	-
out3	-	-	+	+
out4	-	+	+	+
out5	-	-	+	+
out6	-	+	+	+
out7	-	-	+	+
out8	+	-	-	+

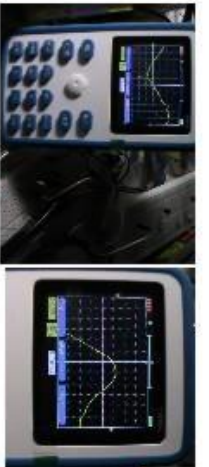
Для кроковий двигунів з одним кроком

№	1A	1B	2A	2B
1	+	+	-	-
2	+	-	+	-
3	-	+	-	+
4	-	-	+	+
Купів	1A	1B	2A	2B
out1	+	-	-	-
out2	+	+	-	-
out3	-	-	+	+
out5	-	+	+	+
out7	-	-	+	+

ДИПЛОМНА РОБОТА (МАГІСТР)				Літера	Вага	Масштаб
Схема електрична принципова (повна) (ез), драйвер N-МОСТУ						1:1
НФНЕ				Архив 21	Архив 22	
				КНУ		
				ім. Т.Г. Шевченка		
Зм	Лит	№ докум.	Літочис			
Розраб	Перш РР					
Техрепоз	Керівник	Корекція	О.І.			
Н.Юлія						
Улер.						

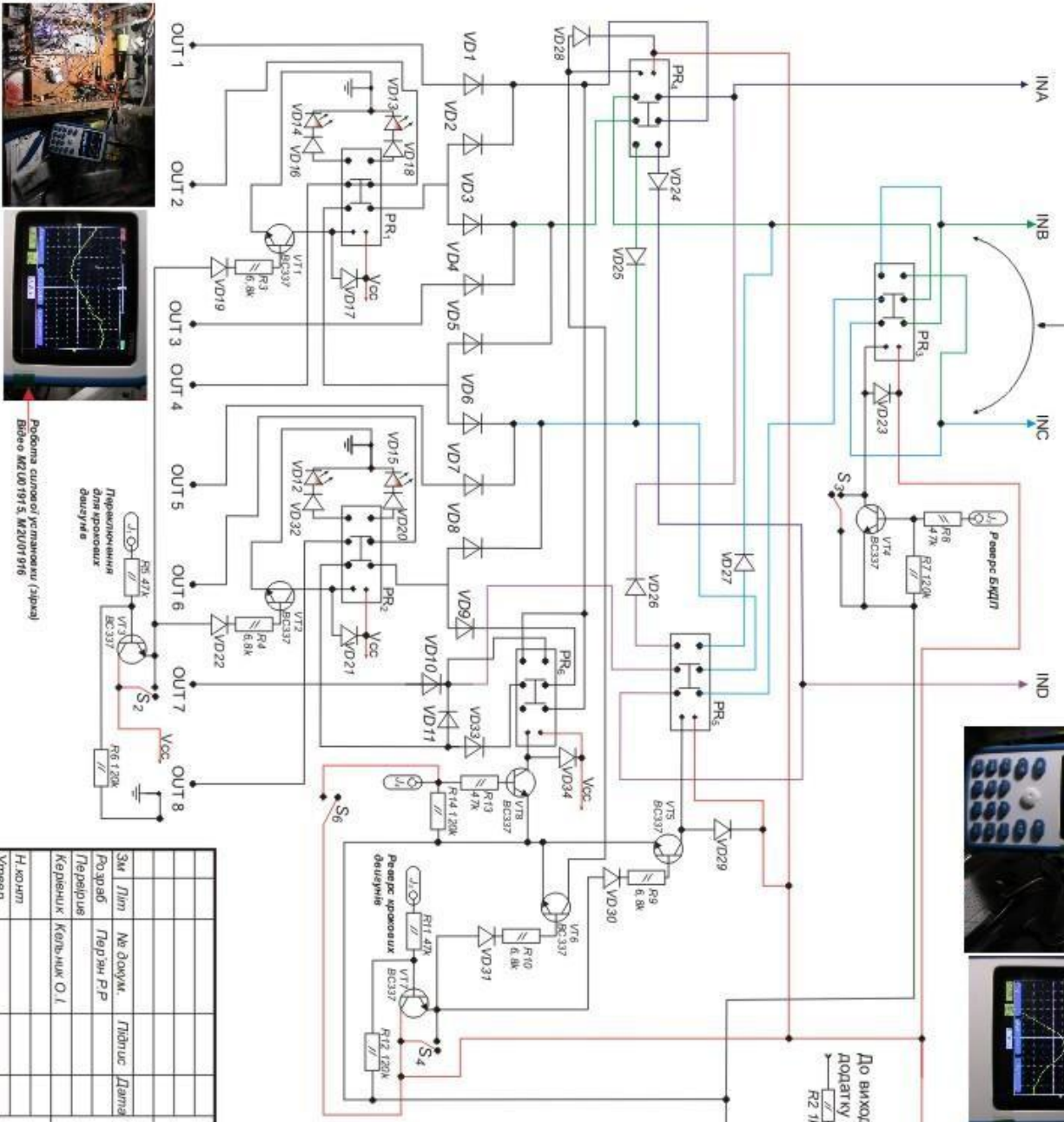
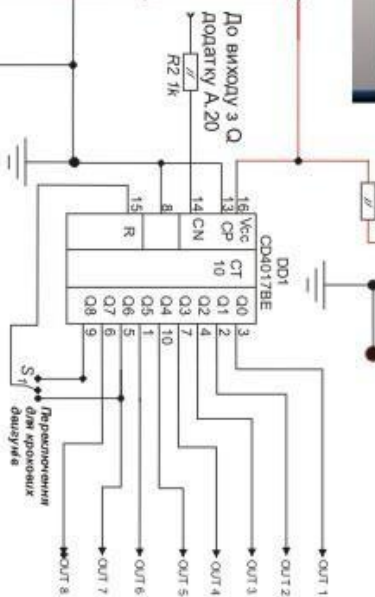
Додаток А.22

INB чи INC – в залежності від напрямку обертання, по часовій стрілці, чи проти.



Робота силової устатковки (фрагм) Відео M2U07915, M2U07916

До входу на модуль №1 материнського блоку до LM317T



Робота силової устатковки (фрагм) Відео M2U07913, M2U07916

Зм	Лип	№ доум.	Підпис	Дата
Розроб	Первн РР			
Керівник	Кольчак О.І.			
І.юліт				
Упер.				

№	Позначення	Найменування	Кількість	При
1	VD1-VD11, VD16-VD34, VD12-VD15	Діоди	30	3,5мм
2	R1-R2, R3-R4, R9, R10, R5, R8, R11, R13, R6, R7, R12, R14	Резистори	2	
3	DD1	Мікросхема	4	
4	PR1-PR6	Електромагнітні реле	6	
5	VT1-VT8	Транзистори	6	5VDS
			8	BC327-40

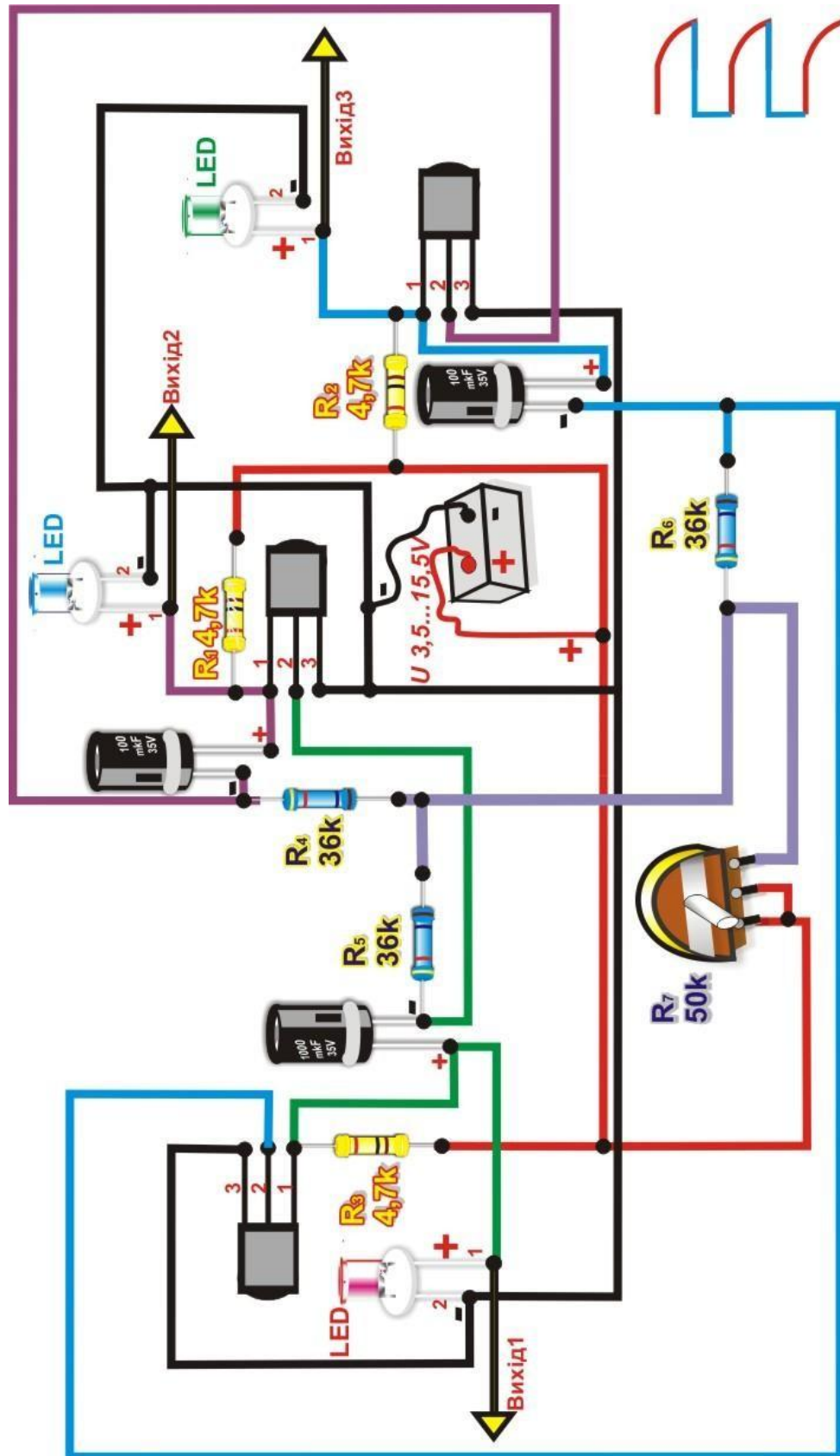
ДИПЛОМНА РОБОТА (МАГІСТР)

Схема електрична принципова (повна) (єз), діюдно-логічних передв'язок НФНЕ ім. Т.Г. Шевченка

Літера	Вага	Масштаб
		1:1
Архив 22	Архив 22	

ДОСЛІДЖЕННЯ ЛЧИЛЬНИКА НА RC КОНТУРАХ

ДОДАТОК В.1

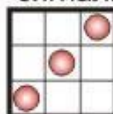


ДОДАТОК В.2

№	Позначення	Найменування	Кількість одиниць	При мітки
1	Резистори			
	R1	0,5 - 1 кОм ± 5%	3	
	R2	0,5 - 4,7 кОм ± 5%	3	
2	Змінні резистори			
	R3	0,5 - 50 кОм ± 5%	1	

mkf, V	U (Волт)	I (Амп.)	Hz
C1 10 mkf, 25V	13	0,04	935
	9	0,02	175
	5	0,01	115
C2 220 mkf, 25V	13	0,04	149
	9	0,02	111
	5	0,01	84,0
C3 470 mkf, 16V	13	0,04	201
	9	104	
	5	0,01	84,4

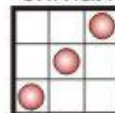
Таблиця вихідних сигналів



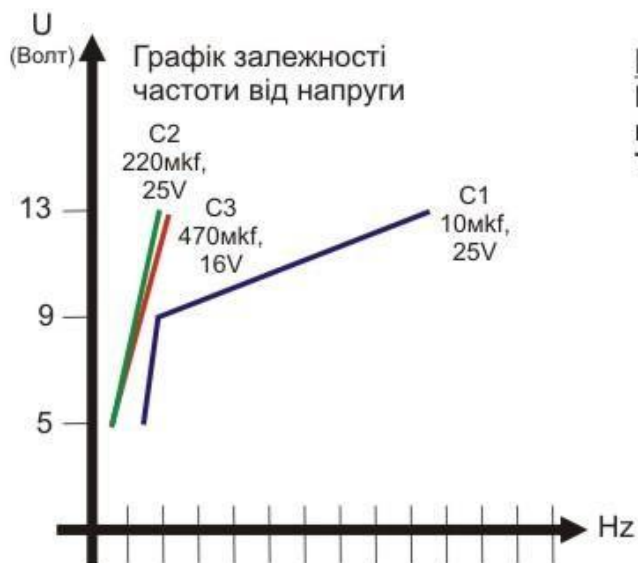
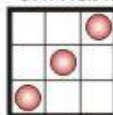
Позначення вихідних сигналів

- — Перший вихідний сигнал.
- — Другий вихідний сигнал.
- — Третій вихідний сигнал.

Таблиця вихідних сигналів



Таблиця вихідних сигналів

**Робота лічильника:**

Перший загоряється, гасне, потім другий, за ним третій. Так цикл повторюється

ДОДАТОК В.3

№	Позначення	Найменування	Кількість одиниць	При мітки
1	Резистори			
	R1	0,5 - 4,7 кОм ± 5%	3	
	R2	0,5 - 4,7 кОм ± 5%	3	
2	Змінні резистори			
	R3	0,5 - 50 кОм ± 5%	1	

mkf, V	U (Вольт)	I (Амп.)	Hz
C1 10 mkf, 25V	13	—	—
	9	—	—
	5	—	—
C2 220 mkf, 25V	13	—	—
	9	—	—
	5	—	—
C3 470 mkf, 16V	13	—	—
	9	—	—
	5	—	—

Таблиця вихідних
сигналів

Позначення вихідних
сигналів

- — Перший вихідний сигнал.
- — Другий вихідний сигнал.
- — Третій вихідний сигнал.

Таблиця вихідних
сигналів

Таблиця вихідних
сигналів

**Робота лічильника:**
Не працює

ДОДАТОК В.4

№	Позначення	Найменування	Кількість одиниць	При мітки
1	Резистори			
	R1	0,5 - 10 кОм ± 5%	3	
	R2	0,5 - 4,7 кОм ± 5%	3	
2	Змінні резистори			
	R3	0,5 - 50 кОм ± 5%	1	

mkf, V	U (Волт)	I (Амп.)	Hz
C1 10 mkf, 25V	13	—	—
	9	—	—
	5	—	—
C2 220 mkf, 25V	13	—	—
	9	—	—
	5	—	—
C3 470 mkf, 16V	13	—	—
	9	—	—
	5	—	—

Таблиця вихідних сигналів

Позначення вихідних сигналів

- — Перший вихідний сигнал.
- — Другий вихідний сигнал.
- — Третій вихідний сигнал.

Таблиця вихідних сигналів

Таблиця вихідних сигналів



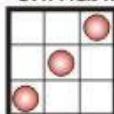
Робота лічильника:
Не працює

ДОДАТОК В.5

№	Позначення	Найменування	Кількість одиниць	При мітки
1	Резистори			
	R1	0,5 - 1 кОм ± 5%	3	
	R2	0,5 - 36 кОм ± 5%	3	
2	Змінні резистори			
	R3	0,5 - 50 кОм ± 5%	1	

mkf, V	U (Вольт)	I (Амп.)	Hz
C1 10 mkf, 25V	13	0,04	224
	9	0,03	85,7
	5	0,02	30,9
C2 220 mkf, 25V	13	0,04	122
	9	0,03	92,3
	5	0,02	78,4
C3 470 mkf, 16V	13	0,04	66,0
	9	0,03	54,0
	5	0,02	34,4

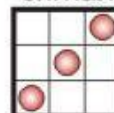
Таблиця вихідних сигналів



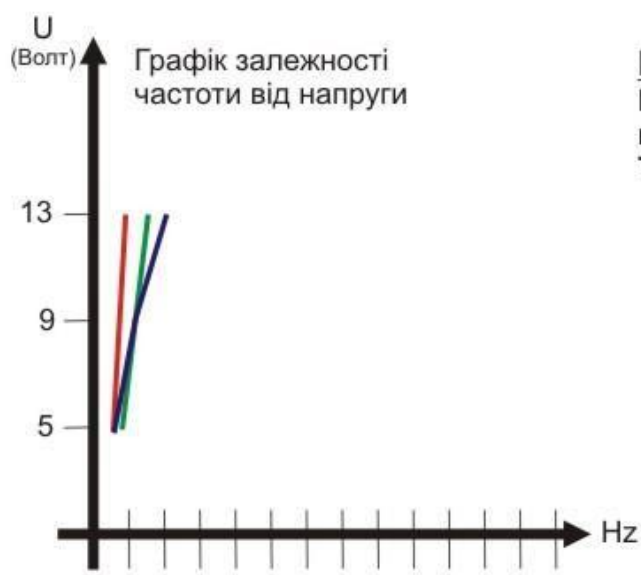
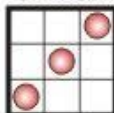
Позначення вихідних сигналів

- — Перший вихідний сигнал.
- — Другий вихідний сигнал.
- — Третій вихідний сигнал.

Таблиця вихідних сигналів



Таблиця вихідних сигналів



Робота лічильника:

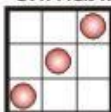
Перший загоряється, гасне, потім другий, за ним третій. Так цикл повторюється

ДОДАТОК В.6

№	Позначення	Найменування	Кількість одиниць	При мітки
1	Резистори			
	R1	0,5 - 4,7 кОм ± 5%	3	
	R2	0,5 - 36 кОм ± 5%	3	
2	Змінні резистори			
	R3	0,5 - 50 кОм ± 5%	1	

mkf, V	U (Волт)	I (Амп.)	Hz
C1 10 mkf, 25V	13	0,02	1,76 KHz
	9	0,01	551
	5	0,01	492
C2 220 mkf, 25V	13	0,02	478
	9	0,02	478
	5	0,01	321
C3 470 mkf, 16V	13	0,02	375
	9	0,01	248
	5	144	

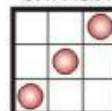
Таблиця вихідних сигналів



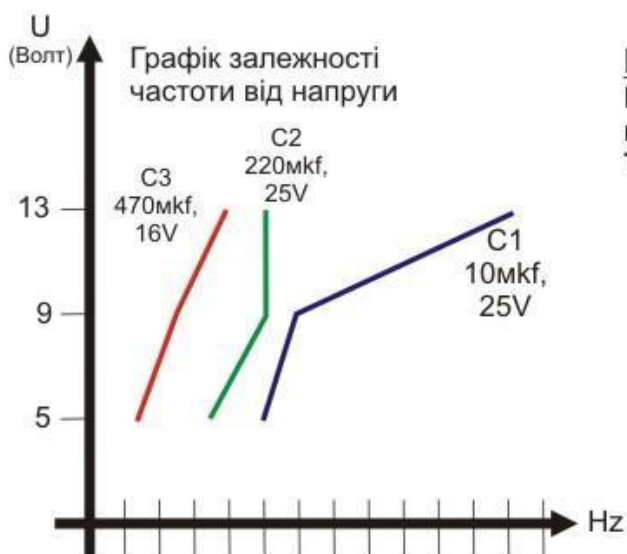
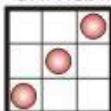
Позначення вихідних сигналів

- — Перший вихідний сигнал.
- — Другий вихідний сигнал.
- — Третій вихідний сигнал.

Таблиця вихідних сигналів



Таблиця вихідних сигналів

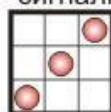
**Робота лічильника:**

Перший загоряється, гасне, потім другий, за ним третій. Так цикл повторюється

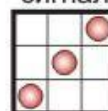
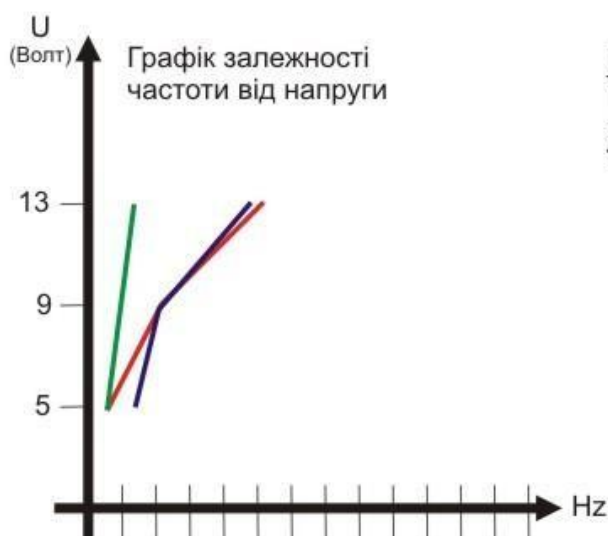
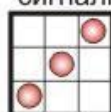
ДОДАТОК В.7

№	Позначення	Найменування	Кількість одиниць	При мітки
1	Резистори			
	R1	0,5 - 10 kОм ± 5%	3	
	R2	0,5 - 36 kОм ± 5%	3	
2	Змінні резистори			
	R3	0,5 - 50 kОм ± 5%	1	

mkf, V	U (Вольт)	I (Амп.)	Hz
C1 10 mkf, 25V	13	0,06	330
	9	0,04	201
	5	0,02	174
C2 220 mkf, 25V	13	0,02	78,0
	9	0,01	71,8
	5	0,01	65,9
C3 470 mkf, 16V	13	0,02	437
	9	0,01	224
	5	0,01	65,7

Таблиця вихідних
сигналівПозначення вихідних
сигналів

- — Перший вихідний сигнал.
- — Другий вихідний сигнал.
- — Третій вихідний сигнал.

Таблиця вихідних
сигналівТаблиця вихідних
сигналів**Робота лічильника:**

Перший загоряється, гасне, потім другий, за ним третій. Так цикл повторюється

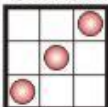
- C3
470mkf,
16V —————
- C2
220mkf,
25V —————
- C1
10mkf,
25V —————

ДОДАТОК В.8

№	Позначення	Найменування	Кількість одиниць	При мітки
1	Резистори			
	R1	0,5 - 1 кОм ± 5%	3	
	R2	0,5 - 66 кОм ± 5%	3	
2	Змінні резистори			
	R3	0,5 - 50 кОм ± 5%	1	

mkf, V	U (Волт)	I (Амп.)	Hz
C1 10 mkf, 25V	13	0,06	184
	9	0,04	164
	5	0,02	100
C2 220 mkf, 25V	13	—	—
	9	—	—
	5	—	—
C3 470 mkf, 16V	13	—	—
	9	—	—
	5	—	—

Таблиця вихідних сигналів



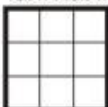
Позначення вихідних сигналів

- — Перший вихідний сигнал.
- — Другий вихідний сигнал.
- — Третій вихідний сигнал.

Таблиця вихідних сигналів



Таблиця вихідних сигналів



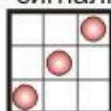
Робота лічильника з C2, C3:
Не працює

Робота лічильника з C1:
Перший загоряється, гасне, потім другий, за ним третій. Так цикл повторюється.

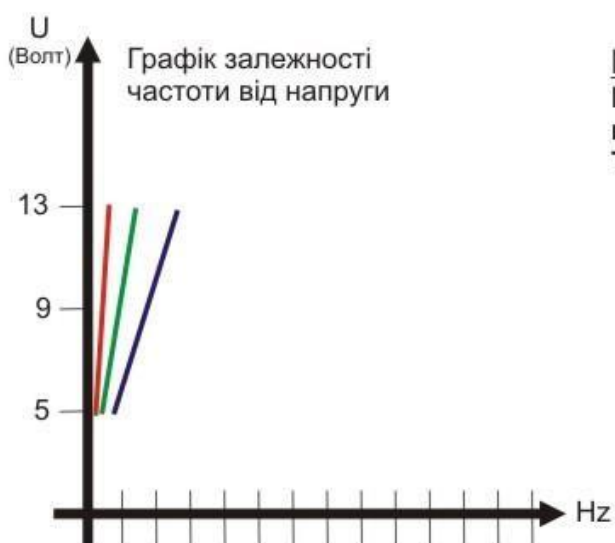
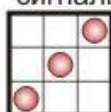
ДОДАТОК В.9

№	Позначення	Найменування	Кількість одиниць	При мітки
1	Резистори			
	R1	0,5 - 4,7 кОм ± 5%	3	
	R2	0,5 - 66 кОм ± 5%	3	
2	Змінні резистори			
	R3	0,5 - 50 кОм ± 5%	1	

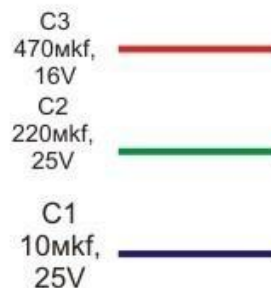
mkf, V	U (Волт)	I (Амп.)	Hz
C1 10 mkf, 25V	13	0,02	264
	9	0,01	163
	5	0,01	84
C2 220 mkf, 25V	13	0,02	110
	9	0,01	101
	5	0,01	36,6
C3 470 mkf, 16V	13	0,02	65,5
	9	114	
	5	0,01	21,2

Таблиця вихідних
сигналівПозначення вихідних
сигналів

- — Перший вихідний сигнал.
- — Другий вихідний сигнал.
- — Третій вихідний сигнал.

Таблиця вихідних
сигналівТаблиця вихідних
сигналів**Робота лічильника:**

Перший загоряється, гасне,
потім другий, за ним третій.
Так цикл повторюється.

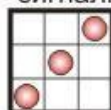


ДОДАТОК В.10

№	Позначення	Найменування	Кількість одиниць	При мітки
1	Резистори			
	R1	0,5 - 10 кОм ± 5%	3	
	R2	0,5 - 66 кОм ± 5%	3	
2	Змінні резистори			
	R3	0,5 - 50 кОм ± 5%	1	

мкф, V	U (Вольт)	I (Амп.)	Hz
C1 10 мкф, 25V	13	0,06	400
	9	0,04	200
	5	0,02	22,7
C2 220 мкф, 25V	13	0,06	98
	9	0,04	157
	5	0,02	100
C3 470 мкф, 16V	13	0,06	100
	9	91,0	
	5	0,02	23,7

Таблиця вихідних сигналів



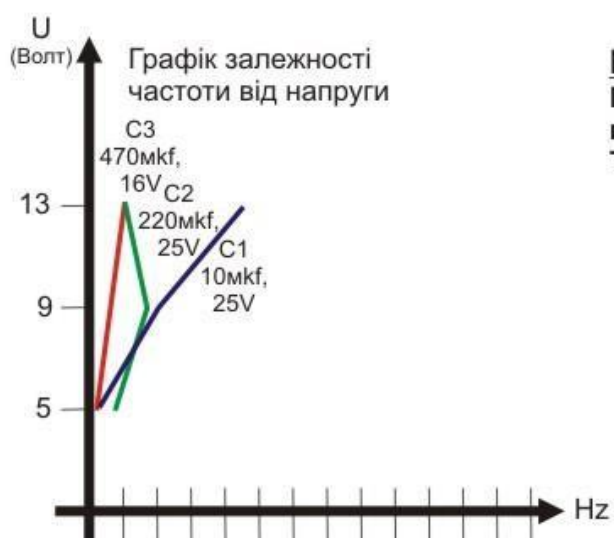
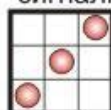
Позначення вихідних сигналів

- — Перший вихідний сигнал.
- — Другий вихідний сигнал.
- — Третій вихідний сигнал.

Таблиця вихідних сигналів



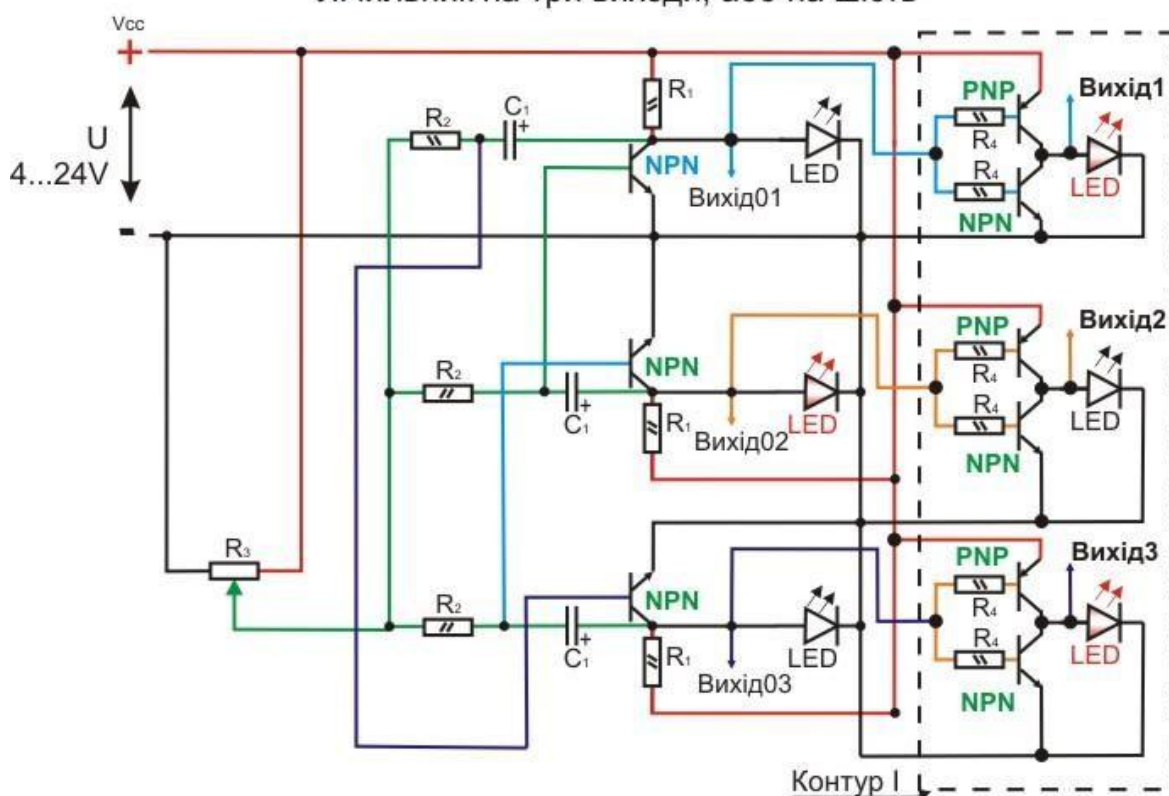
Таблиця вихідних сигналів

**Робота лічильника:**

Перший загоряється, гасне, потім другий, за ним третій. Так цикл повторюється

ДОДАТОК В.11

Лічильник на три виходи, або на шість



Лічильник може використовуватись, як RGB драйвер, при використанні (Контур I), маємо генератор фаз для БК двигунів на 3,6 катушок. При запуску БК двигуна на 12 катушок, двигун обертається але не має потужності. Також є можливість використувати і нульові виходи (Вихід 01, 02, 03).



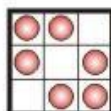
mkf, V	U (Волт)	I (Амп.)	KHz
C1	24	0,06	24,8
0,47	15	0,04	18,6
mkf, 50V	5	0,02	0,20



Таблиця вихідних сигналів

□ — Нема сигналу.

● — Вихідний сигнал.



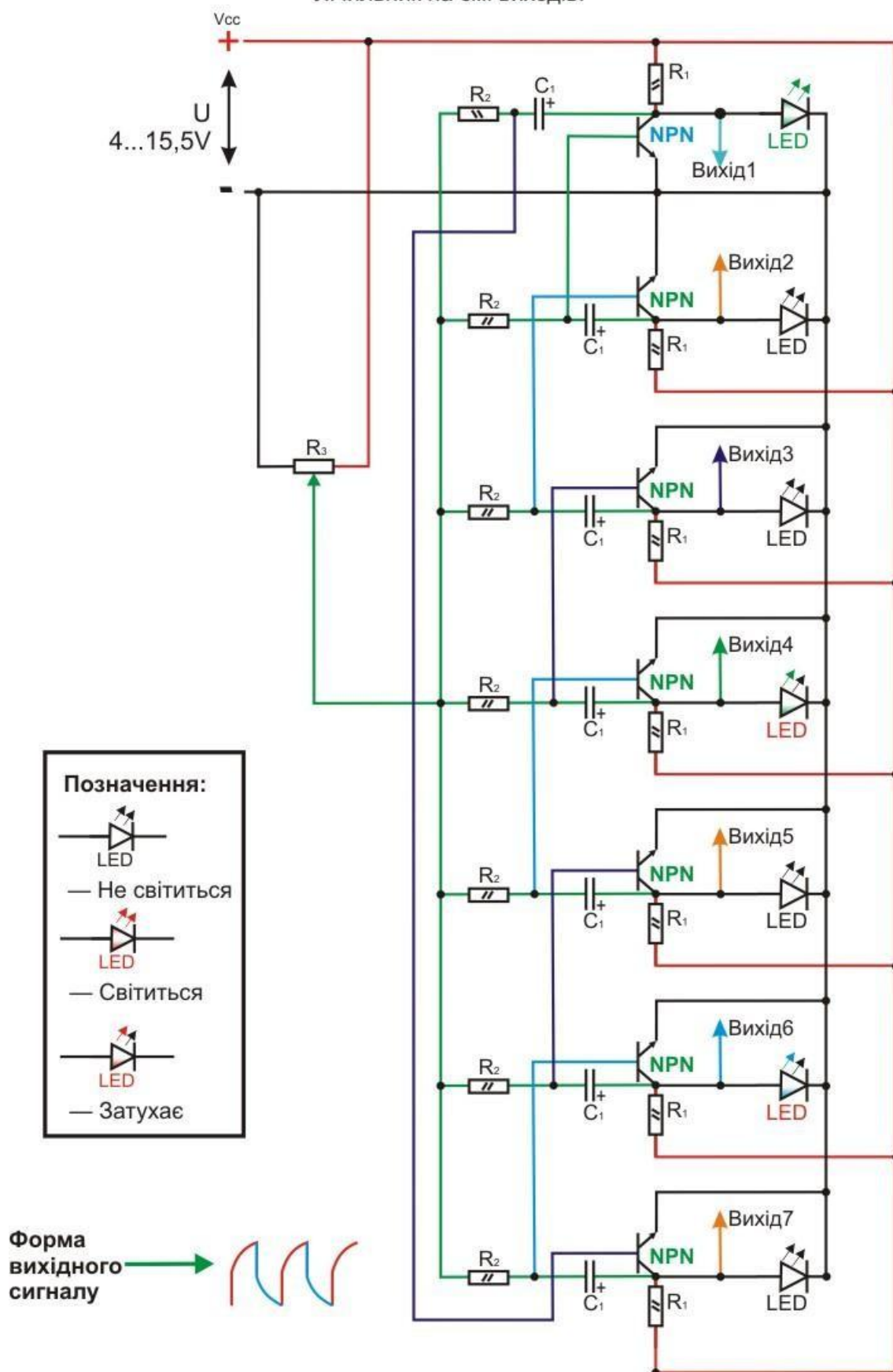
Форма вихідного сигналу



№	Позначення	Найменування	Кількість одиниць
1 Резистори			
	R1	0,5 - 4,7 кОм ± 5%	3
	R2	0,5 - 10кОм ± 5%	3
	R4	0,5 - 36кОм ± 5%	6
2 Змінні резистори			
	R3	0,5 - 5кОм ± 5%	1
3 Конденсатор			
	C1	0,47mkf 50V ± 5%	3

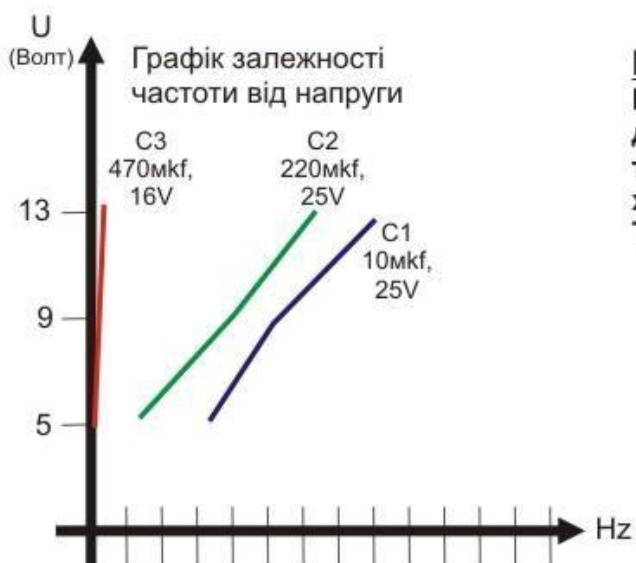
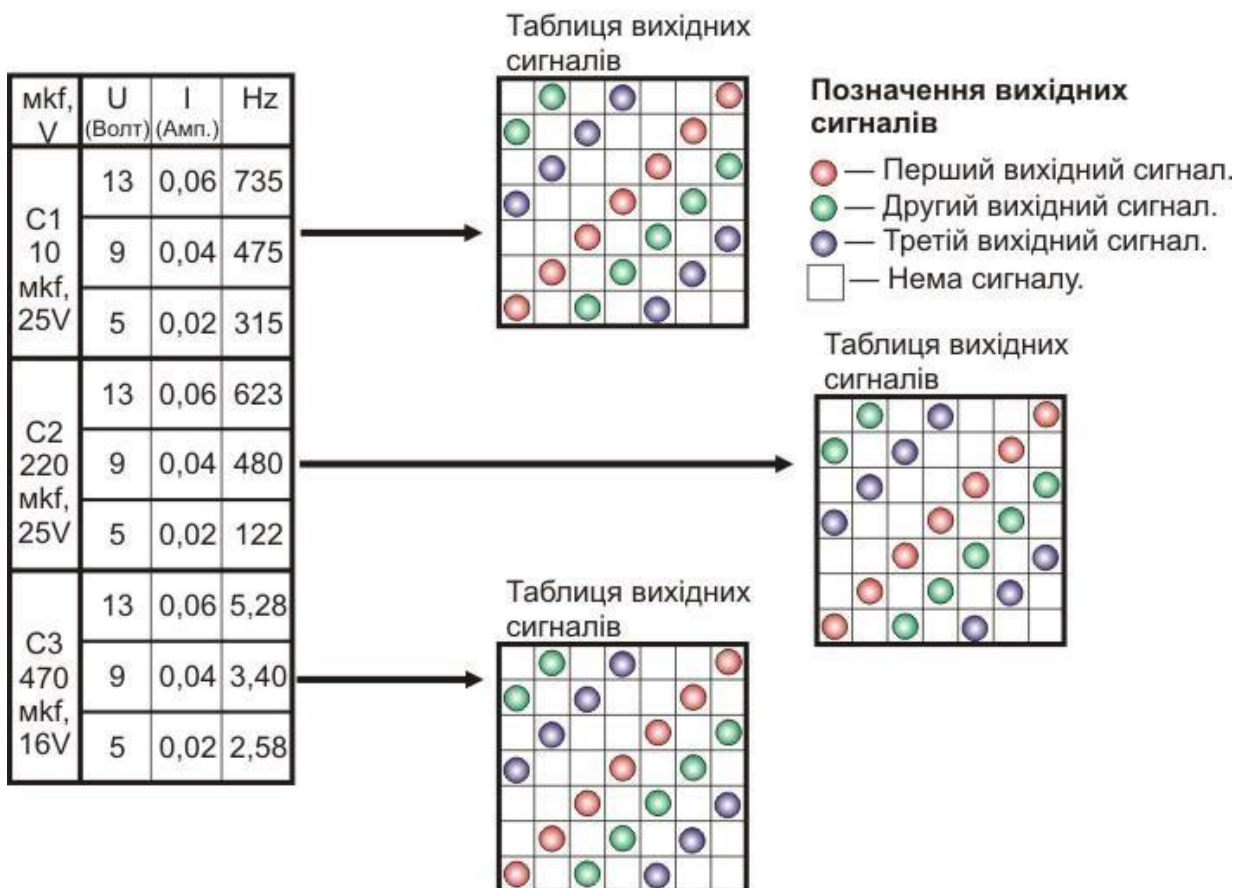
ДОДАТОК В.12

Лічильник на сім виходів.



ДОДАТОК В.13

№	Позначення	Найменування	Кількість одиниць	При мітки
1	Резистори			
	R1	0,5 - 1 кОм ± 5%	7	
	R2	0,5 - 36 кОм ± 5%	7	
2	Змінні резистори			
	R3	0,5 - 50 кОм ± 5%	1	



Робота лічильника:
Перший загоряється потім другий, за ним третій — тоді перший гасне і переходить на іншу позицію. Так цикл повторюється

ДОДАТОК В.14

№	Позначення	Найменування	Кількість одиниць	При мітки
1	Резистори			
	R1	0,5 - 4,7 кОм ± 5%	7	
	R2	0,5 - 36 кОм ± 5%	7	
2	Змінні резистори			
	R3	0,5 - 50 кОм ± 5%	1	

mkf, V	U (Волт)	I (Амп.)	Hz
C1 10 mkf, 25V	13	0,02	56,3
	9	0,02	24,8
	5	0,01	37,2
C2 220 mkf, 25V	13	0,02	17,8
	9	0,02	10,9
	5	0,01	2,60
C3 470 mkf, 16V	13	0,03	1,40
	9	0,02	1,30
	5	0,01	1,20

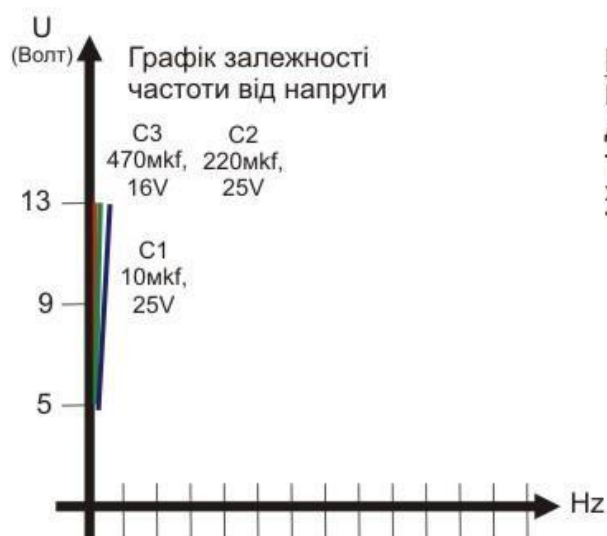
Таблиця вихідних сигналів

Позначення вихідних сигналів

- — Перший вихідний сигнал.
- — Другий вихідний сигнал.
- — Третій вихідний сигнал.
- — Нема сигналу.

Таблиця вихідних сигналів

Таблиця вихідних сигналів



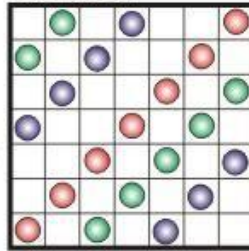
Робота лічильника:
Перший загоряється потім другий, за ним третій — тоді перший гасне і переходить на іншу позицію. Так цикл повторюється

ДОДАТОК В.15

№	Позначення	Найменування	Кількість одиниць	При мітки
1 Резистори				
	R1	0,5 - 10 кОм ± 5%	7	
	R2	0,5 - 36 кОм ± 5%	7	
2 Змінні резистори				
	R3	0,5 - 50 кОм ± 5%	1	

mkf, V	U (Волт)	I (Амп.)	Hz
C1 10 mkf, 25V	13	0,01	94,1
	9	0,01	53,3
	5	0,01	33,5
C2 220 mkf, 25V	13	0,01	21,1
	9	0,02	16,2
	5	0,01	1,19
C3 470 mkf, 16V	13	0,01	2,42
	9	0,01	1,28
	5	0,01	1,07

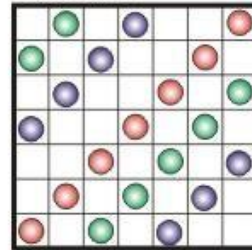
Таблиця вихідних сигналів



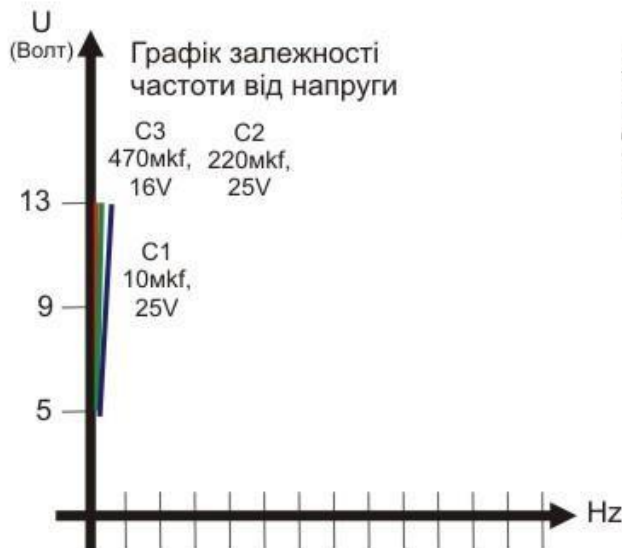
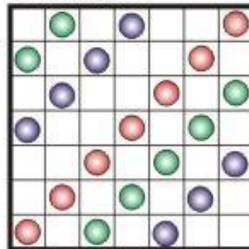
Позначення вихідних сигналів

- — Перший вихідний сигнал.
- — Другий вихідний сигнал.
- — Третій вихідний сигнал.
- — Нема сигналу.

Таблиця вихідних сигналів



Таблиця вихідних сигналів



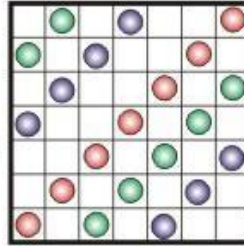
Робота лічильника:
Перший загоряється потім другий, за ним третій — тоді перший гасне і переходить на іншу позицію. Так цикл повторюється

ДОДАТОК В.16

№	Позначення	Найменування	Кількість одиниць	При мітки
1 Резистори				
	R1	0,5 - 1 кОм ± 5%	7	
	R2	0,5 - 4,7 кОм ± 5%	7	
2 Змінні резистори				
	R3	0,5 - 50 кОм ± 5%	1	

mkf, V	U (Волт)	I (Амп.)	Hz
C1 10 mkf, 25V	13	0,06	200
	9	0,04	136
	5	0,02	112
C2 220 mkf, 25V	13	0,04	120
	9	0,02	114
	5	0,01	104
C3 470 mkf, 16V	13	0,04	338
	9	0,06	101
	5	0,02	54

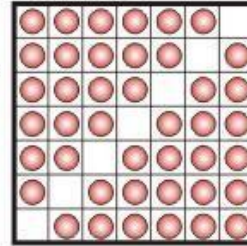
Таблиця вихідних сигналів



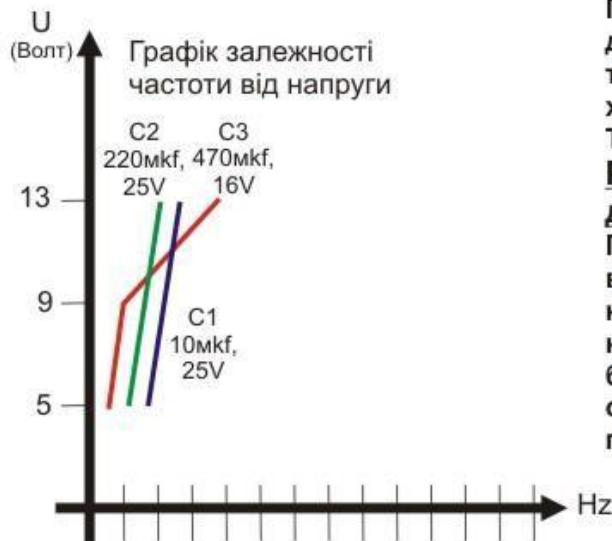
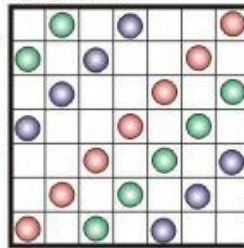
Позначення вихідних сигналів

- — Перший вихідний сигнал.
- — Другий вихідний сигнал.
- — Третій вихідний сигнал.
- — Нема сигналу.

Таблиця вихідних сигналів



Таблиця вихідних сигналів



Робота лічильника для C1, C3:

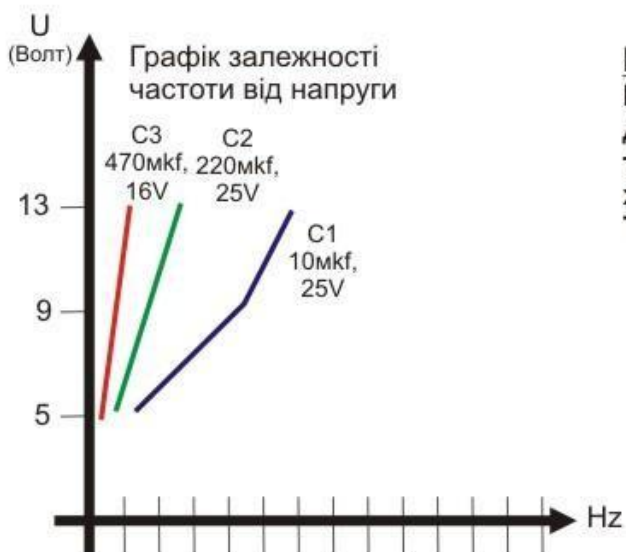
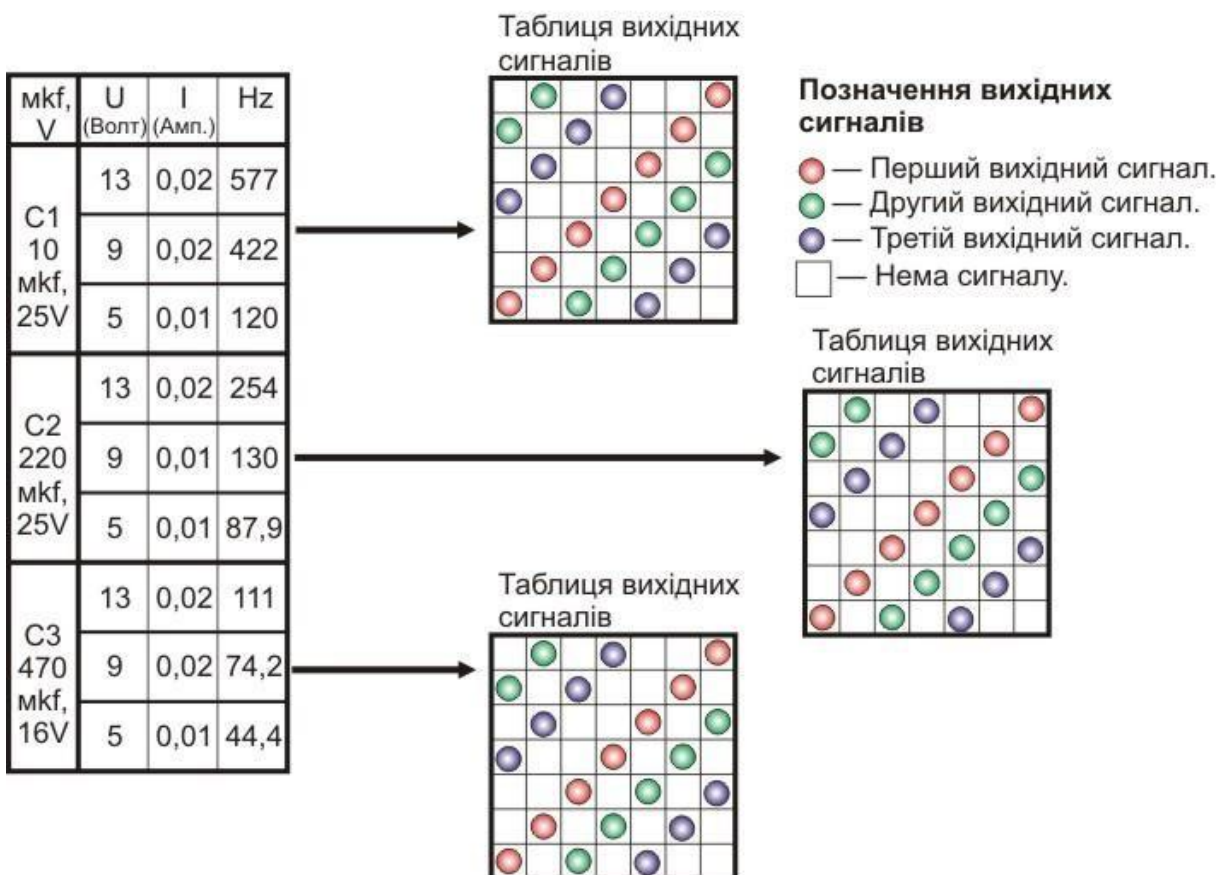
Перший загоряється потім другий, за ним третій — тоді перший гасне і переходить на іншу позицію. Так цикл повторюється

Робота лічильника для C2:

Пререхід сигналу відбувається за рахунок затухання (Бігуча тінь). Додавши контур на виході «НС», будемо мати наступне, один світиться та переходить (Бігучий вогонь).

ДОДАТОК В.17

№	Позначення	Найменування	Кількість одиниць	При мітці
1 Резистори				
	R1	0,5 - 4,7 кОм ± 5%	7	
	R2	0,5 - 4,7 кОм ± 5%	7	
2 Змінні резистори				
	R3	0,5 - 50 кОм ± 5%	1	



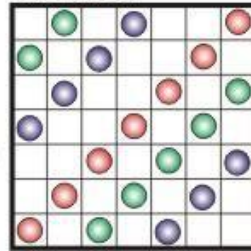
Робота лічильника:
Перший загоряється потім другий, за ним третій — тоді перший гасне і переходить на іншу позицію. Так цикл повторюється

ДОДАТОК В.18

№	Позначення	Найменування	Кількість одиниць	При мітки
1 Резистори				
	R1	0,5 - 10 кОм ± 5%	7	
	R2	0,5 - 4,7 кОм ± 5%	7	
2 Змінні резистори				
	R3	0,5 - 50 кОм ± 5%	1	

mkf, V	U (Вольт)	I (Амп.)	Hz
C1 10 mkf, 25V	13	0,02	130
	9	0,02	123
	5	0,01	113
C2 220 mkf, 25V	13	0,04	120
	9	0,01	90,0
	5	0,01	44,0
C3 470 mkf, 16V	13	0,04	71,6
	9	0,02	34,9
	5	84,9	

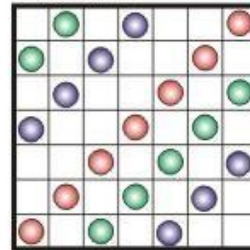
Таблиця вихідних сигналів



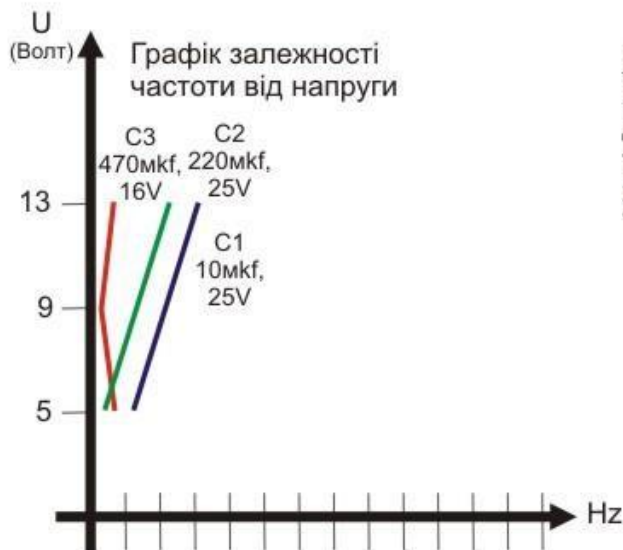
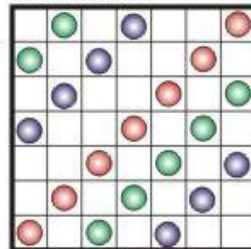
Позначення вихідних сигналів

- — Перший вихідний сигнал.
- — Другий вихідний сигнал.
- — Третій вихідний сигнал.
- — Нема сигналу.

Таблиця вихідних сигналів



Таблиця вихідних сигналів



Робота лічильника:
Перший загоряється потім другий, за ним третій — тоді перший гасне і переходить на іншу позицію. Так цикл повторюється

ДОДАТОК В.19

№	Позначення	Найменування	Кількість одиниць	При мітки
1 Резистори				
	R1	0,5 - 1 кОм ± 5%	7	
	R2	0,5 - 66 кОм ± 5%	7	
2 Змінні резистори				
	R3	0,5 - 50 кОм ± 5%	1	

mkf, V	U (Волт)	I (Амп.)	Hz
C1 10 mkf, 25V	13	0,08	813
	9	0,06	775
	5	0,02	393
C2 220 mkf, 25V	13	0,08	602
	9	0,06	544
	5	0,02	457
C3 470 mkf, 16V	13	0,08	—
	9	0,06	—
	5	0,02	—

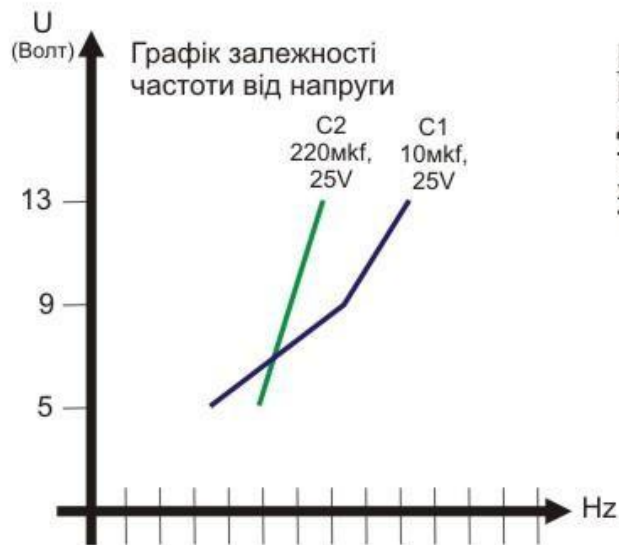
Таблиця вихідних сигналів

Позначення вихідних сигналів

- — Перший вихідний сигнал.
- — Другий вихідний сигнал.
- — Третій вихідний сигнал.
- — Нема сигналу.

Таблиця вихідних сигналів

Таблиця вихідних сигналів



Робота лічильника:
Перший загоряється потім другий, за ним третій — тоді перший гасне і переходить на іншу позицію. Так цикл повторюється

ДОДАТОК В.10

№	Позначення	Найменування	Кількість одиниць	При мітки
1 Резистори				
	R1	0,5 - 4,7 кОм ± 5%	7	
	R2	0,5 - 66 кОм ± 5%	7	
2 Змінні резистори				
	R3	0,5 - 50 кОм ± 5%	1	

mkf, V	U (Волт)	I (Амп.)	Hz
C1 10 mkf, 25V	13	0,02	909
	9	0,01	554
	5	0,01	303
C2 220 mkf, 25V	13	0,02	355
	9	0,02	202
	5	0,01	100
C3 470 mkf, 16V	13	0,02	113
	9	0,01	200
	5	0,01	98,9

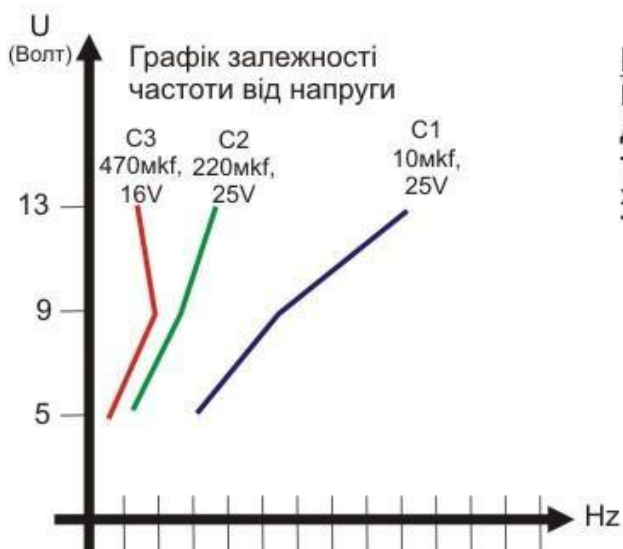
Таблиця вихідних сигналів

Таблиця вихідних сигналів

Таблиця вихідних сигналів

Позначення вихідних сигналів

- — Перший вихідний сигнал.
- — Другий вихідний сигнал.
- — Третій вихідний сигнал.
- — Нема сигналу.



Робота лічильника:
Перший загоряється потім другий, за ним третій — тоді перший гасне і переходить на іншу позицію. Так цикл повторюється

ДОДАТОК В.11

№	Позначення	Найменування	Кількість одиниць	При мітки
1 Резистори				
	R1	0,5 - 10 кОм ± 5%	7	
	R2	0,5 - 66 кОм ± 5%	7	
2 Змінні резистори				
	R3	0,5 - 50 кОм ± 5%	1	

mkf, V	U (Вольт)	I (Амп.)	Hz
C1 10 mkf, 25V	13	0,02	126
	9	0,01	113
	5	0,01	101
C2 220 mkf, 25V	13	0,02	112
	9	0,01	107
	5	0,01	47,0
C3 470 mkf, 16V	13	0,02	80,0
	9	0,01	68,7
	5	0,01	10,2

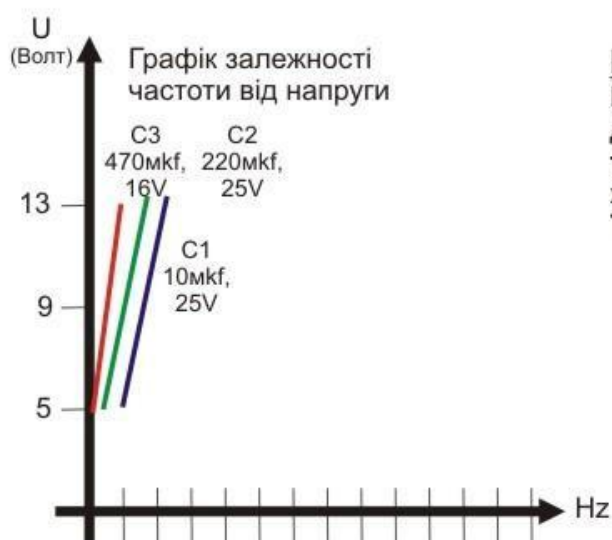
Таблиця вихідних сигналів

Позначення вихідних сигналів

- — Перший вихідний сигнал.
- — Другий вихідний сигнал.
- — Третій вихідний сигнал.
- — Нема сигналу.

Таблиця вихідних сигналів

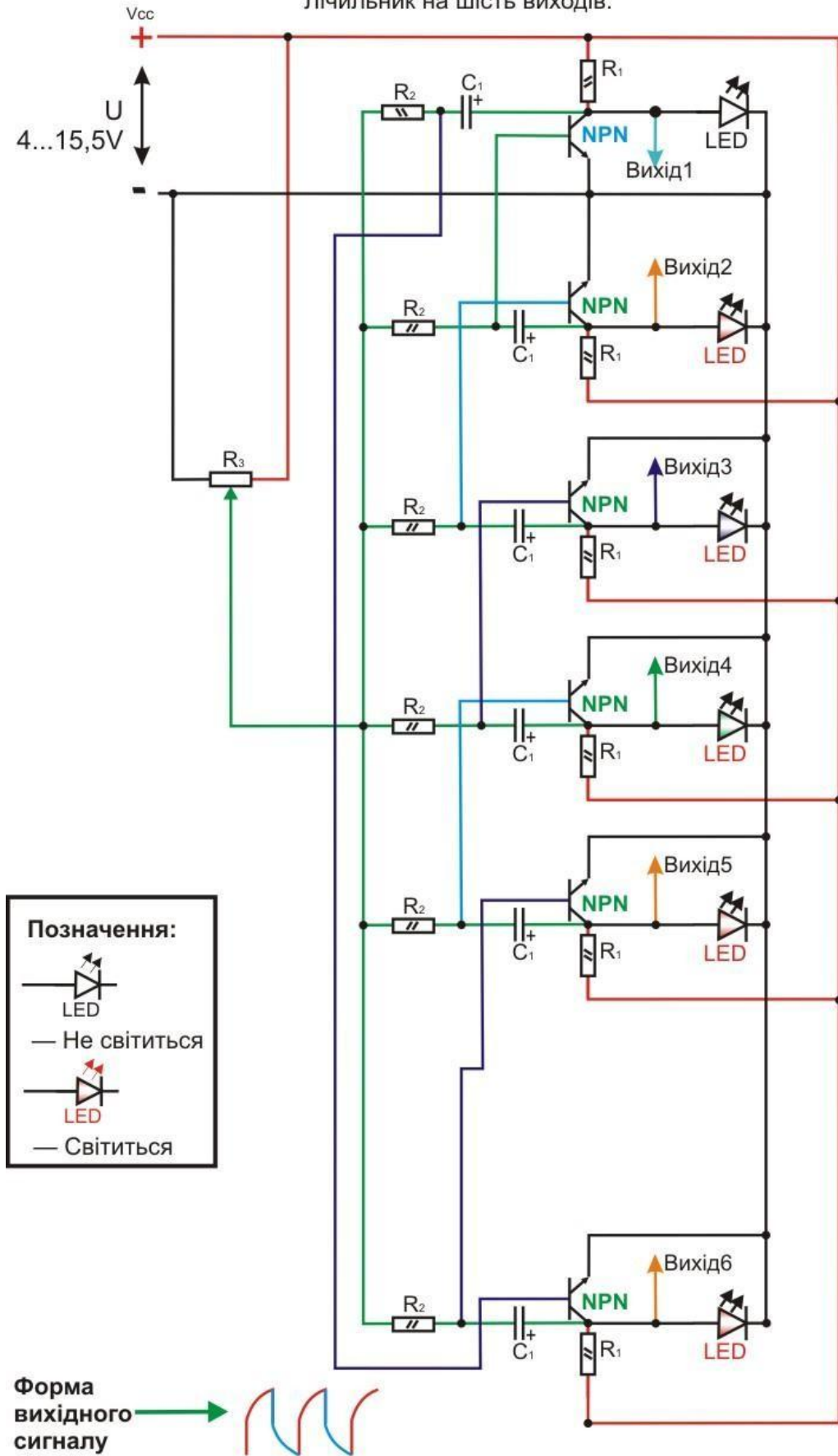
Таблиця вихідних сигналів



Робота лічильника:
Перший загоряється потім другий, за ним третій — тоді перший гасне і переходить на іншу позицію. Так цикл повторюється

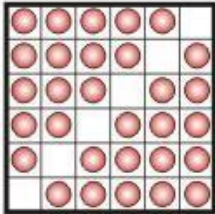
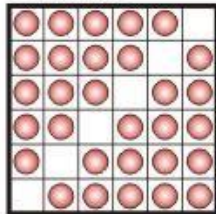
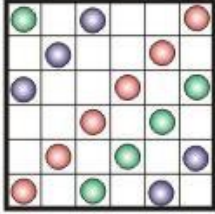
ДОДАТОК В.12

Лічильник на шість виходів.







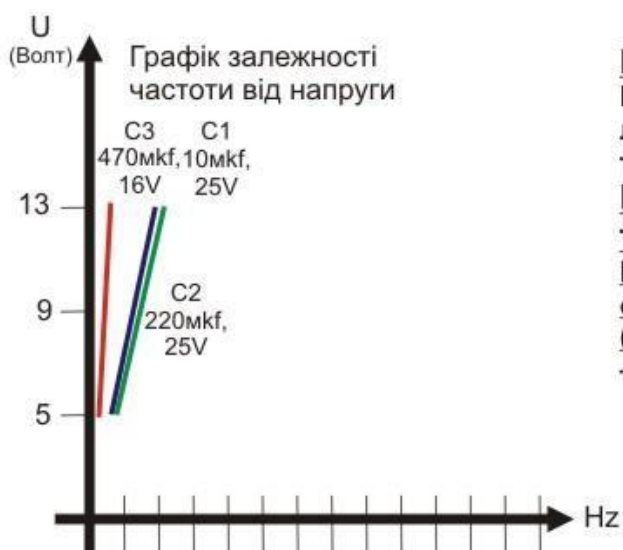
ДОДАТОК В.14

№	Позначення	Найменування	Кількість одиниць	При мітки
1	Резистори			
	R1	0,5 - 4,7 кОм ± 5%	6	
	R2	0,5 - 4,7кОм ± 5%	6	
2	Змінні резистори			
	R3	0,5 - 50 кОм ± 5%	1	

mkf, V	U (Волт)	I (Амп.)	Hz	Таблиця вихідних сигналів
C1 10 mkf, 25V	13	0,02	111	
	9	0,01	102	
	5	0,01	81,7	
C2 220 mkf, 25V	13	0,02	176	
	9	0,01	123	
	5	0,01	107	
C3 470 mkf, 16V	13	0,02	47,6	
	9	0,01	15,3	
	5	0,01	11,3	

Позначення вихідних сигналів

-  — Перший вихідний сигнал.
-  — Другий вихідний сигнал.
-  — Третій вихідний сигнал.
-  — Немає сигналу.

**Робота лічильника з C3:**

Виходять та змінюють послідовно позицію три сигнали одночасно.

Робота лічильника з C2 та C1:

Всі п'ять сигналів виходять одночасно, одного немає (Бігуча тінь)

– та зміщується на один шаг.

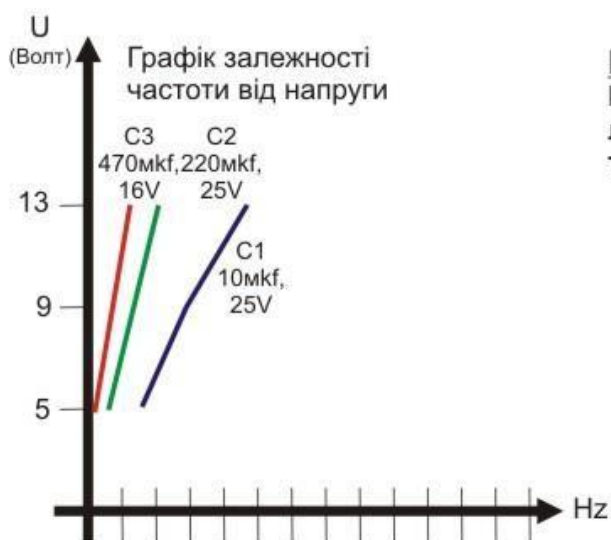
ДОДАТОК В.15

№	Позначення	Найменування	Кількість одиниць	При мітки
1	Резистори			
	R1	0,5 - 10 кОм ± 5%	6	
	R2	0,5 - 4,7кОм ± 5%	6	
2	Змінні резистори			
	R3	0,5 - 50 кОм ± 5%	1	

mkf, V	U (Волт)	I (Амп.)	Hz	Таблиця вихідних сигналів
C1 10 mkf, 25V	13	0,06	561	
	9	0,03	303	
	5	0,02	172	
C2 220 mkf, 25V	13	0,03	113	
	9	0,03	102	
	5	0,02	84,5	
C3 470 mkf, 16V	13	0,02	101	
	9	0,02	71,3	
	5	0,02	45,2	

Позначення вихідних сигналів

- Перший вихідний сигнал.
- Другий вихідний сигнал.
- Третій вихідний сигнал.
- Нема сигналу.



Робота лічильника:

Виходять та змінюють послідовно позицію три сигнали одночасно.

ДОДАТОК В.16

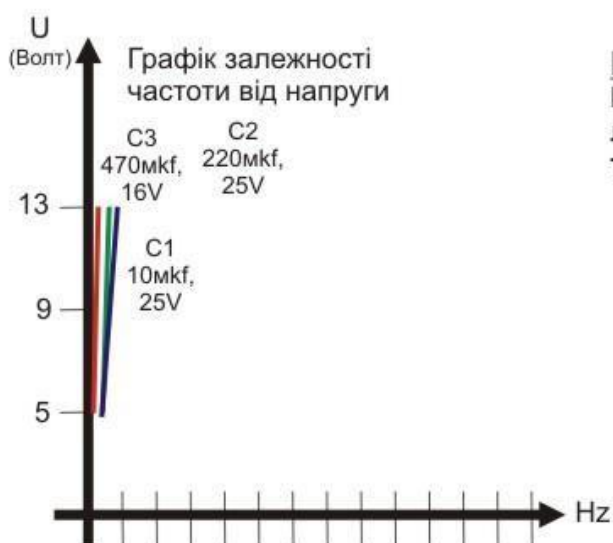
№	Позначення	Найменування	Кількість одиниць	При мітки
1	Резистори			
	R1	0,5 - 1 кОм ± 5%	6	
	R2	0,5 - 36кОм ± 5%	6	
2	Змінні резистори			
	R3	0,5 - 50 кОм ± 5%	1	

mkf, V	U (Волт)	I (Амп.)	Hz	Таблиця вихідних сигналів
C1 10 mkf, 25V	13	0,06	541	
	9	0,04	22,2	
	5	0,02	19,0	
C2 220 mkf, 25V	13	0,06	51,3	
	9	0,04	22,3	
	5	0,02	18,5	
C3 470 mkf, 16V	13	0,06	12,5	
	9	0,04	11,7	
	5	0,02	11,1	

Позначення вихідних сигналів

- Перший вихідний сигнал.
- Другий вихідний сигнал.
- Третій вихідний сигнал.
- Нема сигналу.

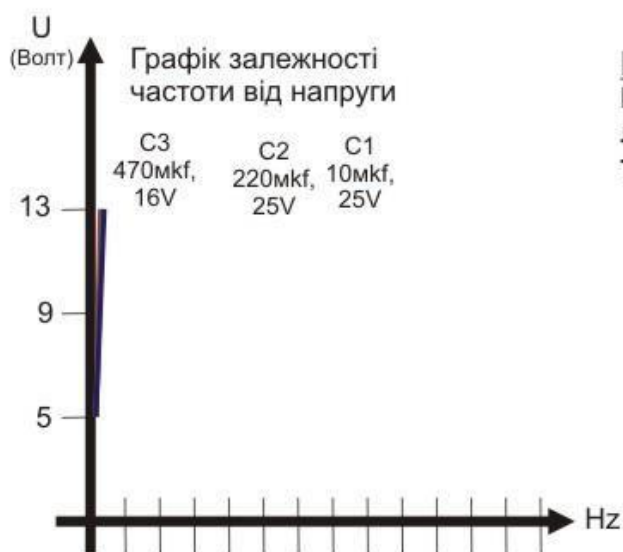
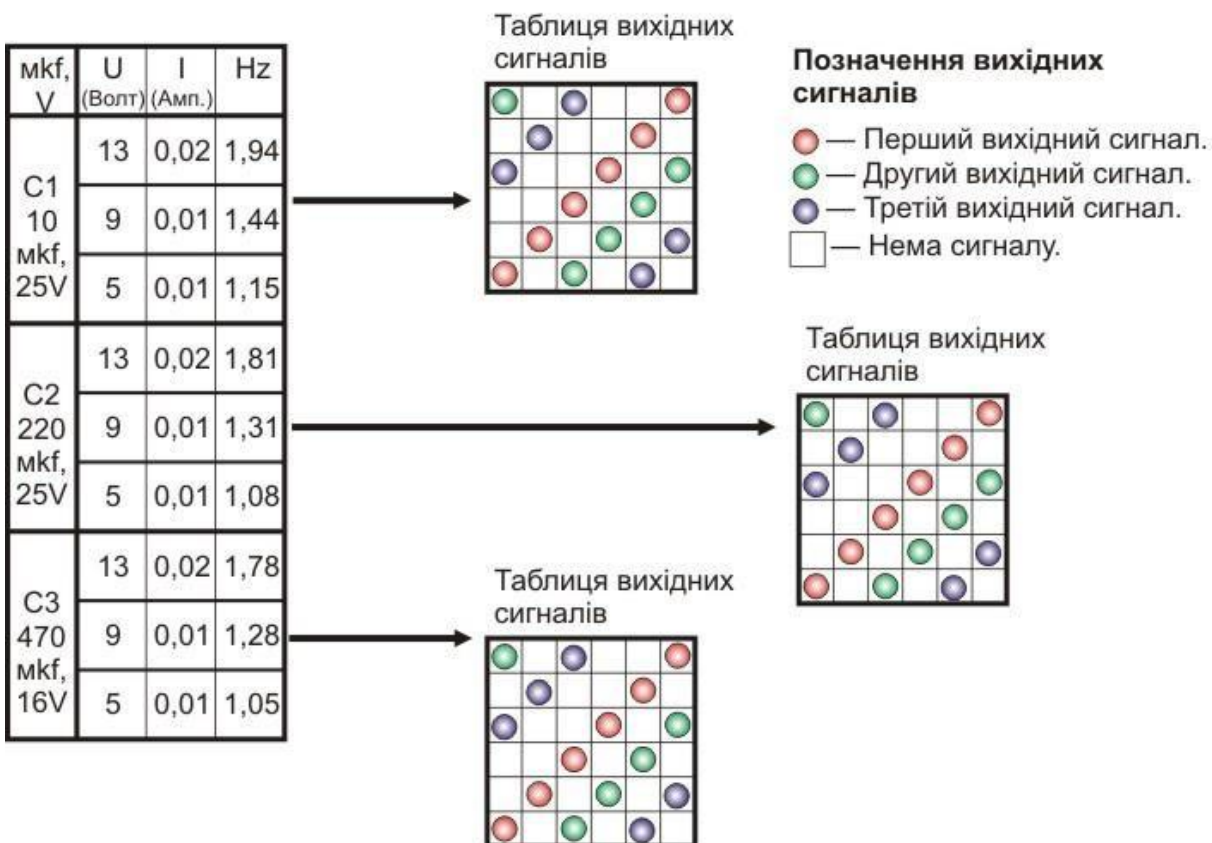
Таблиця вихідних сигналів

**Робота лічильника:**

Виходять та змінюють послідовно позицію три сигнали одночасно.

ДОДАТОК В.17

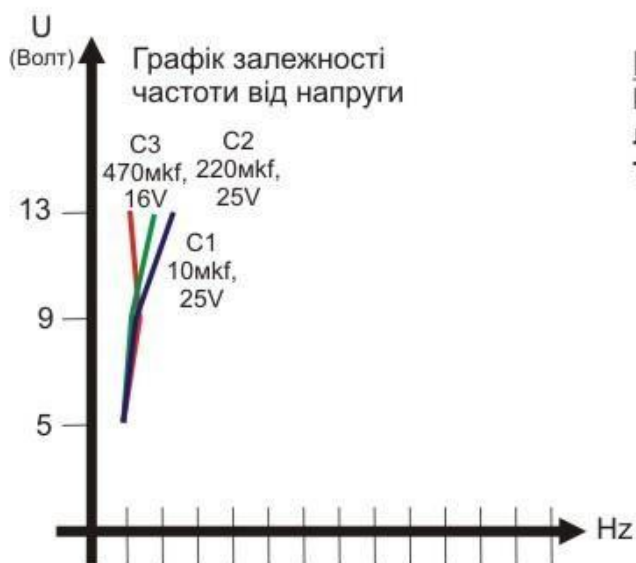
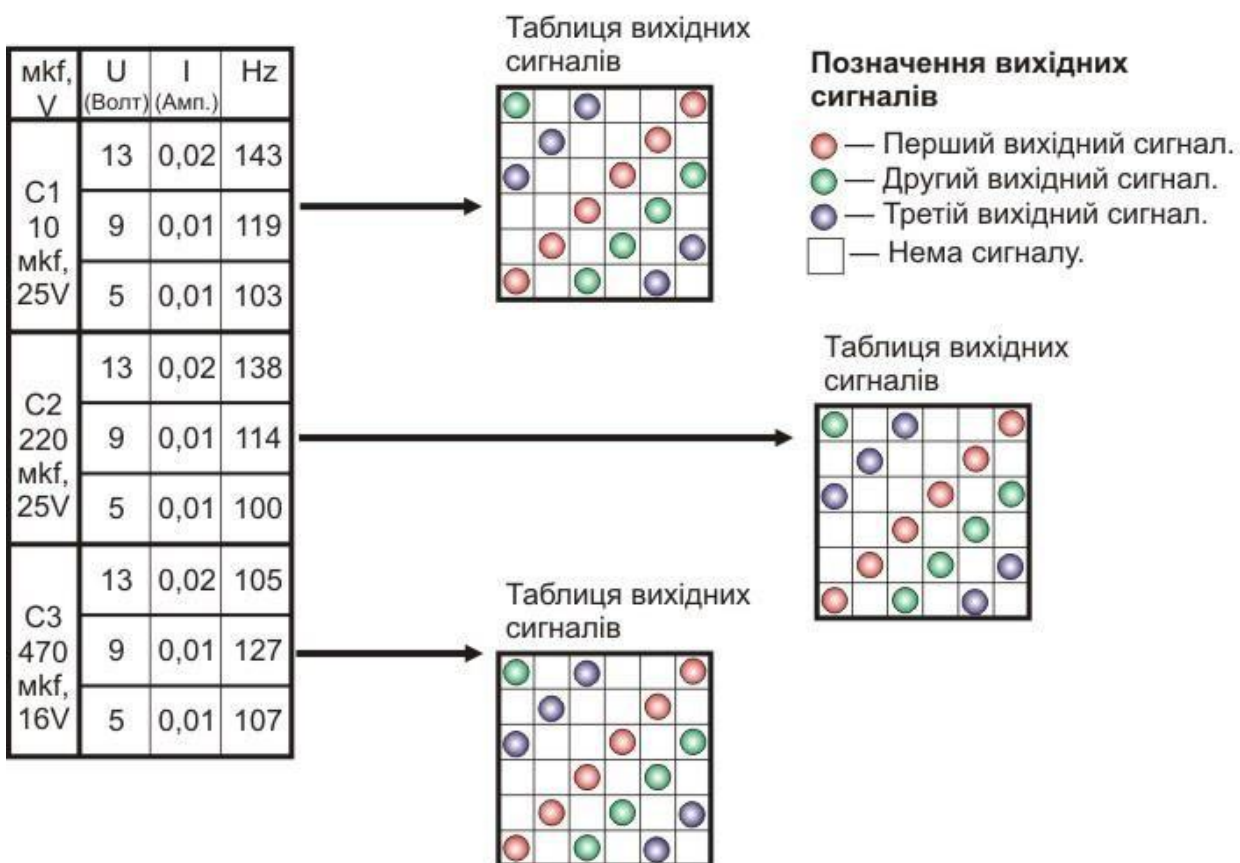
№	Позначення	Найменування	Кількість одиниць	При мітки
1	Резистори			
	R1	0,5 - 4,7 кОм ± 5%	6	
	R2	0,5 - 36кОм ± 5%	6	
2	Змінні резистори			
	R3	0,5 - 50 кОм ± 5%	1	



Робота лічильника:
Виходять та змінюють послідовно позицію три сигнали одночасно.

ДОДАТОК В.18

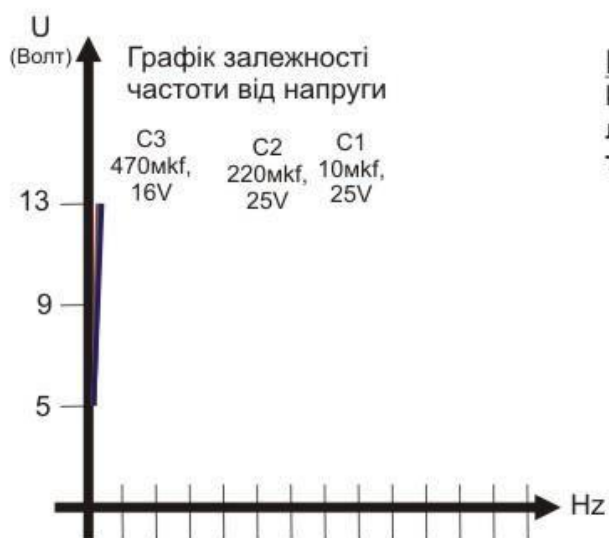
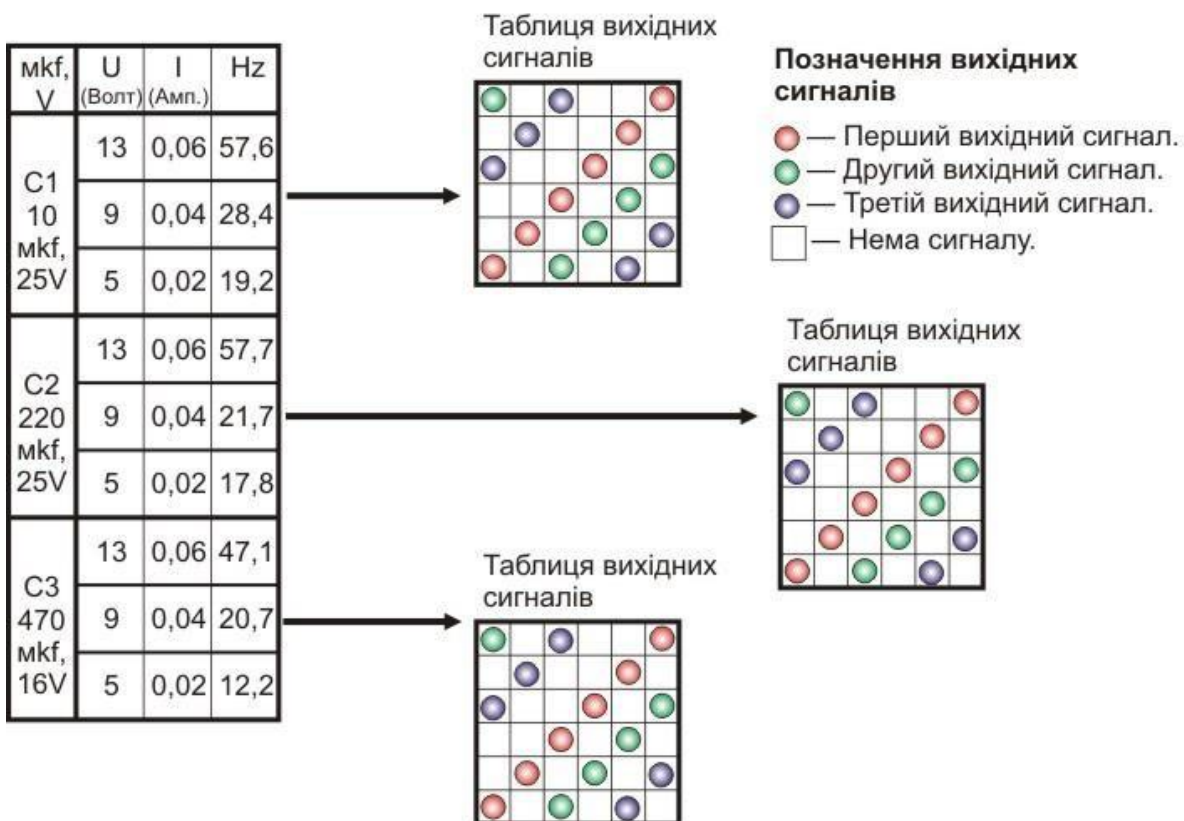
№	Позначення	Найменування	Кількість одиниць	При мітки
1	Резистори			
	R1	0,5 - 10 kОм ± 5%	6	
	R2	0,5 - 36kОм ± 5%	6	
2	Змінні резистори			
	R3	0,5 - 50 kОм ± 5%	1	



Робота лічильника:
Виходять та змінюють послідовно позицію три сигнали одночасно.

ДОДАТОК В.19

№	Позначення	Найменування	Кількість одиниць	При мітки
1	Резистори			
	R1	0,5 - 1 кОм ± 5%	6	
	R2	0,5 - 66кОм ± 5%	6	
2	Змінні резистори			
	R3	0,5 - 50 кОм ± 5%	1	



Робота лічильника:
Виходять та змінюють послідовно позицію три сигнали одночасно.

ДОДАТОК В.20

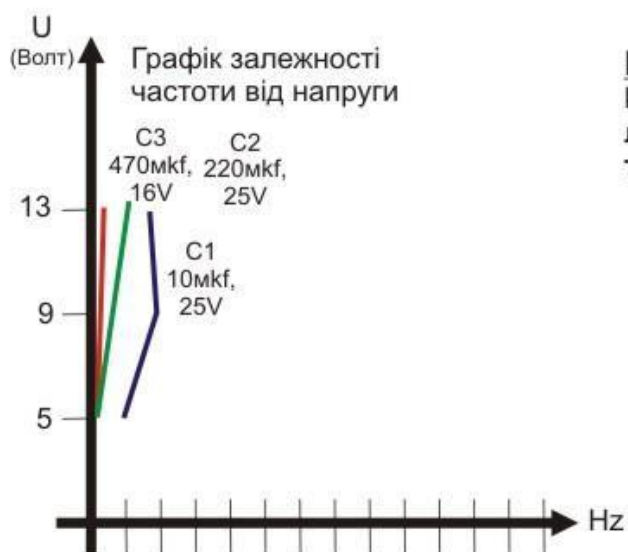
№	Позначення	Найменування	Кількість одиниць	При мітки
1	Резистори			
	R1	0,5 - 4,7 кОм ± 5%	6	
	R2	0,5 - 66кОм ± 5%	6	
2	Змінні резистори			
	R3	0,5 - 50 кОм ± 5%	1	

mkf, V	U (Волт)	I (Амп.)	Hz	Таблиця вихідних сигналів
C1 10 mkf, 25V	13	0,02	119	
	9	0,01	145	
	5	0,01	101	
C2 220 mkf, 25V	13	0,02	87,4	
	9	0,01	30,6	
	5	0,01	22,6	
C3 470 mkf, 16V	13	0,02	35,5	
	9	0,01	27,3	
	5	0,01	12,0	

Позначення вихідних сигналів

- Перший вихідний сигнал.
- Другий вихідний сигнал.
- Третій вихідний сигнал.
- Нема сигналу.

Таблиця вихідних сигналів

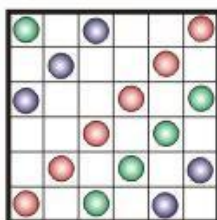


Робота лічильника:
Виходять та змінюють послідовно позицію три сигнали одночасно.

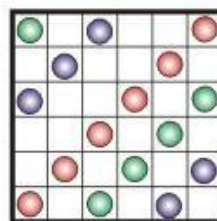
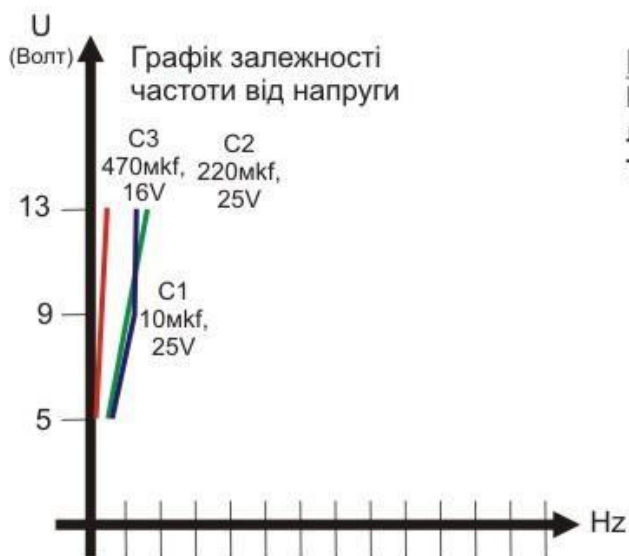
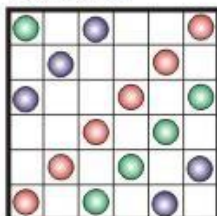
ДОДАТОК В.21

№	Позначення	Найменування	Кількість одиниць	При мітки
1	Резистори			
	R1	0,5 - 10 kОм ± 5%	6	
	R2	0,5 - 66kОм ± 5%	6	
2	Змінні резистори			
	R3	0,5 - 50 kОм ± 5%	1	

mkf, V	U (Вольт)	I (Амп.)	Hz
C1 10 mkf, 25V	13	0,02	108
	9	0,01	89,7
	5	0,01	55,9
C2 220 mkf, 25V	13	0,01	116
	9	0,01	80,6
	5	0,01	45,5
C3 470 mkf, 16V	13	0,02	50,8
	9	0,01	22,1
	5	0,01	11,3

Таблиця вихідних
сигналівПозначення вихідних
сигналів

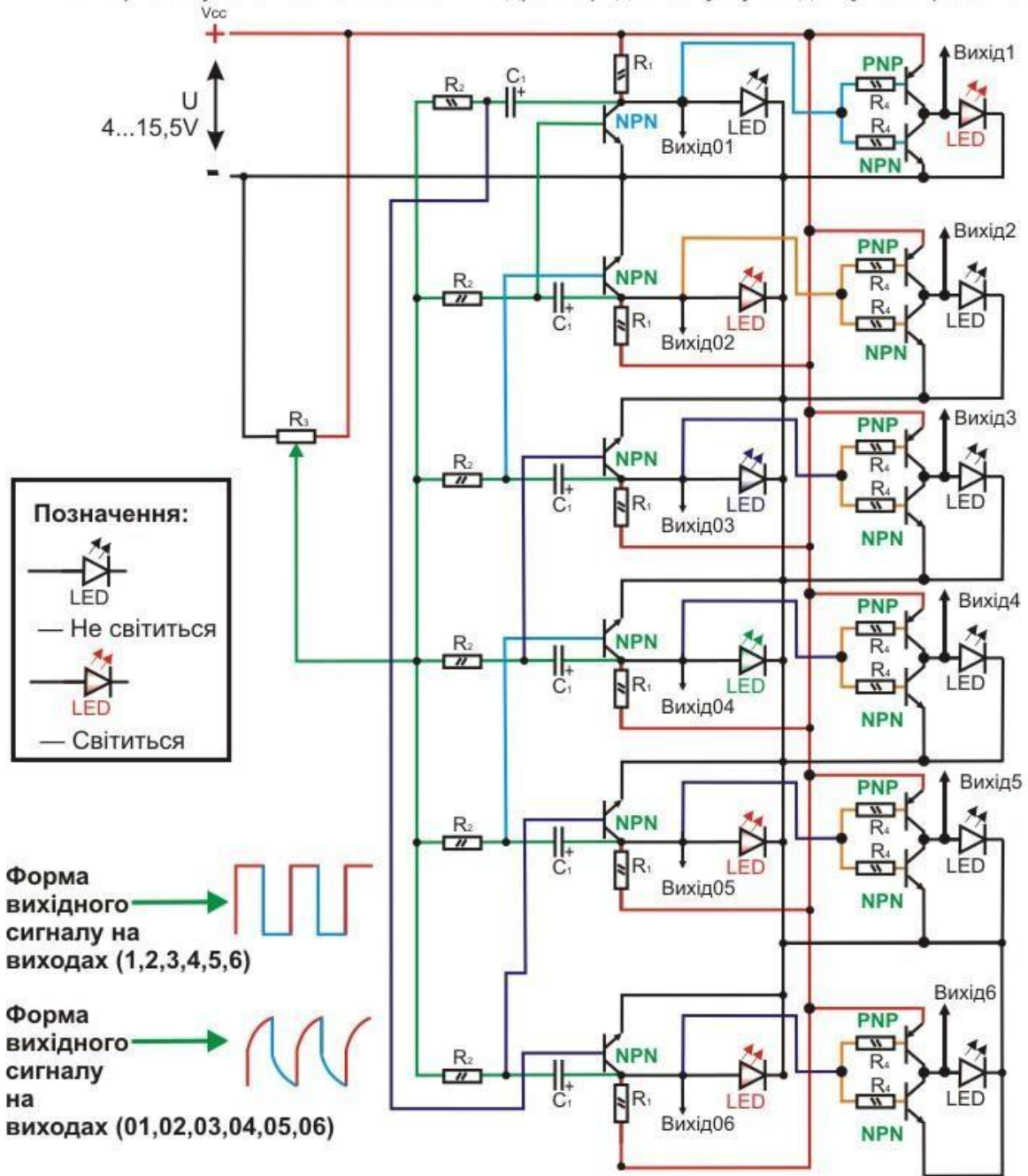
- — Перший вихідний сигнал.
- — Другий вихідний сигнал.
- — Третій вихідний сигнал.
- — Нема сигналу.

Таблиця вихідних
сигналівТаблиця вихідних
сигналів

Робота лічильника:
Виходять та змінюють послідовно позицію три сигнали одночасно.

ДОДАТОК В.22

Лічильник на шість виходів, або на 12 (використовуючи виходи 01,02,03,04,05,06). Використовувався замість CD4017 в драйвері для запуску БК двигуна в презентації



Позначення:
 LED
 — Не світиться
 LED
 — Світиться

Форма вихідного сигналу на виходах (1,2,3,4,5,6)

Форма вихідного сигналу на виходах (01,02,03,04,05,06)

Таблиця вихідних сигналів

□ — Нема сигналу.
 ● — Вихідний сигнал.

●					
	●				
		●			
			●		
				●	
					●

№	Позначення	Найменування	Кількість одиниць
1 Резистори			
	R1	0,5 - 4,7 кОм ± 5%	6
	R2	0,5 - 10кОм ± 5%	6
	R4	0,5 - 36кОм ± 5%	12
2 Змінні резистори			
	R3	0,5 - 5кОм ± 5%	1
3 Конденсатор			
	C1	0,47mkf 50V ± 5%	6

№	Найменування	Фото №	Кількість шт.	Примітки
1.	Камера			
1.1.	SONY — DCR-SX45E	26-27	1	70X EXTENDED ZOOM
2.	Мультиметр			
2.1.	DIGITAL MULTIMETR UK-830LN	04,06	1	
2.2.	DIGITAL MULTIMETR DT700C	00-03	2	
2.3.	DIGITAL MULTIMETR DT-830B	17-18	1	
2.4.	DIGITAL MULTIMETR DT-9505M	19-20	1	
2.5.	DIGITAL MULTIMETR DT-181	38-39	2	
3.	Блок живлення			
3.1.	BAKU BK-1501T+	07-08	1	0-14.5V 0-1A
3.2.	КАЧУМ-2018	12-13	1	0-20V 0-15A
3.3.	YADGONG YG-1502DD	07-08	1	0-15.5V 0-2A
3.4.	КАЧУМ	37	1	0-40V 25A
3.5.	Акумулятор LI-On Sanyo UR-18650FM	41	4	3,7V 10A
4.	Макетна плата			
4.1.	SOLDERLESS BREADBOARD MB-102	14	10	
5.	Дюпон			
5.1.	Голка, голка	14	100	22,5 mm
5.2.	Голка, голка	14	100	13 mm
6.	Осцилограф			
6.1.	FNIRSI-5012H	09-11	1	№NQ1 (2020.07.28)
6.2.	DIGITAL DSO138	34	1	
6.3.	FNIRSI DSO150	35	1	
7.	Ваги			
7.1.	QC PAAS	21-22	1	0.1g-500g
7.2.	DOMOTEC	31	1	0.001g-5000g
8.	Датчик температури			
8.1.	Датчик температури	30	1	°C
9.	Тахометр			
9.1.	DT-2234C+	32-33	1	об/хв.

Зм	Літ	№ докум.	Підпис	Дата	Літера	Вага	Масштаб
							1:1
Розраб		Пер'ян Р.Р					
Первіріє							
Керівник		Кельник О.І.			Аркуш 1	Аркушів 1	
Н.конт					КНУ ім. Т.Г. Шевченка		
Утвер.							

Перелік обладнання

НФНЕ