

**МІНІСТЕРСТВО ВНУТРІШНІХ СПРАВ УКРАЇНИ  
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ВНУТРІШНІХ СПРАВ  
КРЕМЕНЧУЦЬКИЙ ЛЬОТНИЙ КОЛЕДЖ**

**Циклова комісія авіаційного і радіоелектронного обладнання**

**ТЕКСТ ЛЕКЦІЇ**

з навчальної дисципліни

«Загальні знання дистанційно пілотованих суден:

Схемотехніка безпілотних літальних апаратів»

обов'язкових компонент

освітньо-професійної програми першого (бакалаврського) рівня вищої освіти

***272 Авіаційний транспорт  
(Оператор безпілотних літальних апаратів)***

**за темою № 5 – Джерела живлення БПЛА**

**Кременчук 2023**

**ЗАТВЕРДЖЕНО**

Науково-методичною радою  
Харківського національного  
університету внутрішніх справ  
Протокол від 30.08.2023 № 7

**СХВАЛЕНО**

Методичною радою  
Кременчуцького льотного коледжу  
Харківського національного  
університету внутрішніх справ  
Протокол від 28.08.2023 № 1

**ПОГОДЖЕНО**

Секцією Науково-методичної ради  
ХНУВС з технічних дисциплін  
Протокол від 29.08.2023 № 7

Розглянуто на засіданні циклової комісії авіаційного і радіоелектронного обладнання, протокол від 28.08.2023 № 1.

**Розробник:** викладач циклової комісії авіаційного і радіоелектронного обладнання, к.т.н., спеціаліст вищої категорії, викладач-методист  
Волканін Є.Є.

**Рецензенти:**

1. Доцент кафедри електричних станцій Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», к.т.н. Шокарьов Д.А.
2. Професор циклової комісії авіаційного і радіоелектронного обладнання, к.т.н., спеціаліст вищої категорії Гаврилюк Ю.М.

### **План лекції:**

1. Акумулятори.
2. Позначення параметрів силової літієвої батареї.
3. Заряджання літієвих батарей.
4. Особливості експлуатації та зберігання.
5. Підготовка батарей до зберігання.
6. Джерело бортового живлення.
7. Послідовний лінійний стабілізатор.
8. Імпульсні стабілізатори-перетворювачі.
9. Індикатор розряду батареї.

### **Рекомендована література:**

#### **Основна література:**

1. Теорія і практика застосування безпілотних літальних апаратів (дронів) / КНТ, 2023. – 126 с.
2. МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ “КОМАНДИРУ ПІДРОЗДІЛУ ПО ЗАСТОСУВАННЮ БпАК ТАКТИЧНОГО РІВНЯ” (за досвідом проведення ООС (раніше АТО), О.О. Павлишен (керівник розробки), Г.М. Тимчук, Т.В. Цокур, 2018. – 72 с.
3. UAV Based Remote Sensing, Volume 2, Special Issue Editors Felipe Gonzalez, Toro Antonios Tsourdos, 2017. – 406 p.
4. Aircraft General Knowledge 2 - Electrics and Electronics - 2014

#### **Допоміжна література:**

1. Unmanned aircraft systems : UAVS design, development and deployment / Reg Austin. This edition first published 2010. – 365 p.
2. Theory, design, and applications of unmanned aerial vehicles / A. R. Jha. Boca Raton, FL : CRC Press / Taylor & Francis Group, [2016]. 317 p.
3. SMART AUTONOMOUS AIRCRAFT Flight Control and Planning for UAV. Yasmina Bestaoui Sebbane, Université d'Evry, France. 2016 by Taylor & Francis Group, LLC – 434 p.

#### **Інформаційні ресурси в Інтернеті:**

1. [https://nvkarta.com/project/library/uploads/military/bpla/\[bpla\]\\_ua\\_dynamic\\_s\\_brochure.pdf](https://nvkarta.com/project/library/uploads/military/bpla/[bpla]_ua_dynamic_s_brochure.pdf)
2. [https://nvkarta.com/project/library/uploads/military/bpla/\[bpla\]\\_zastosuvannya\\_bpak\\_takty%60chnogo\\_rivnya.pdf](https://nvkarta.com/project/library/uploads/military/bpla/[bpla]_zastosuvannya_bpak_takty%60chnogo_rivnya.pdf)
3. <https://defence-ua.com/tags/389/>

## Текст лекції

### 1. Акумулятори.

Сумарний піковий струм, споживаний моторами навіть середнього мультикоптера, може досягати 70 А. Але при цьому батарея повинна бути якомога легшою і мати ємність, достатню для польоту як мінімум 10 хвилин. Цим суперечливим вимогам найкраще відповідають літієві акумулятори.

Існують дві основні модифікації літієвих акумуляторів: літій-іонні (Li-Ion) та літій-полімерні (LiPo, Li-Pol), що відрізняються типом електроліту. У літій-іонному акумуляторі використовується гелевий електроліт, а в літій-полімерному - спеціальний полімер, насичений розчином, що містить літій. У моделізмі використовуються саме літій-полімерні батареї, тому що вони здатні віддавати більший робочий струм, що в нашому випадку є критично важливим. Іншою вагомою перевагою літій-полімерних батарей є відсутність рідкого електроліту та можливість виготовляти міцніші плоскі акумулятори довільного розміру. У мобільних телефонах, планшетах, фотоапаратах та іншій побутовій електроніці також використовуються літій-полімерні батареї, але вони не розраховані на великий робочий струм, тому від ідеї використовувати їх у моделі слід відразу відмовитися. В іншому принципі роботи, властивості та правила експлуатації різних версій літієвих акумуляторів не відрізняються.

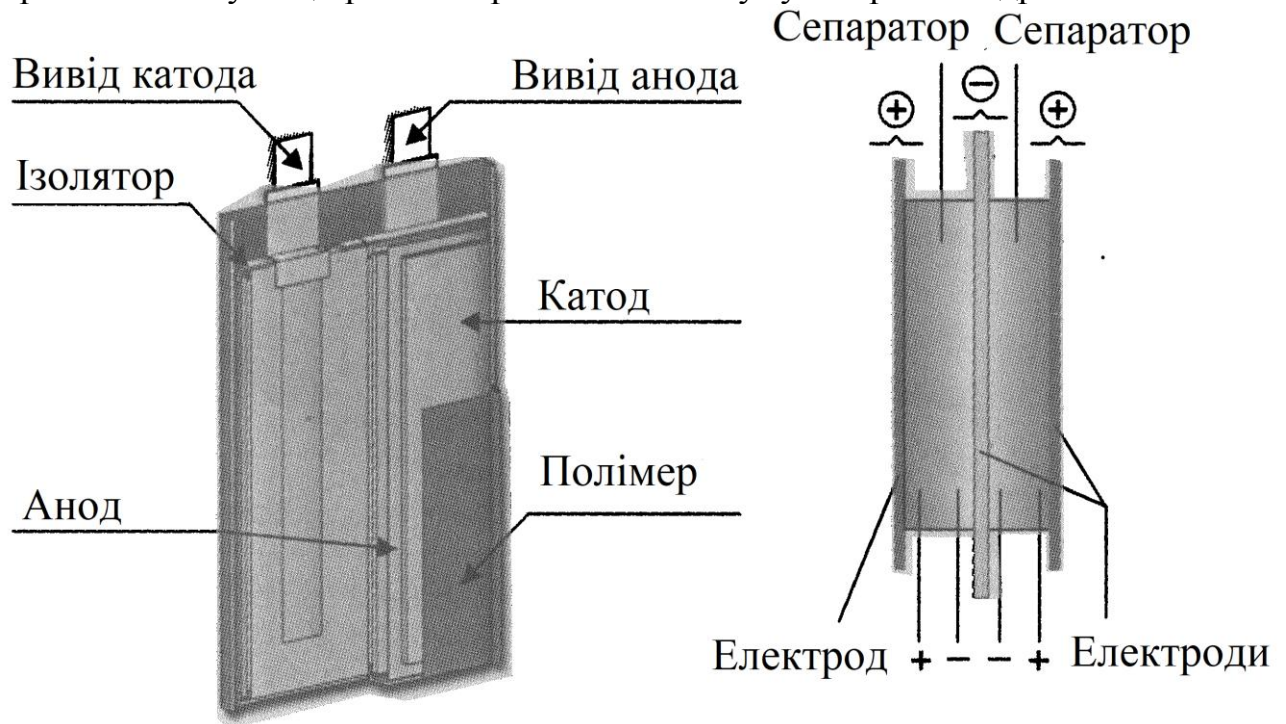


Рисунок 1. Улаштування літій-полімерної батареї

Літій-полімерні батареї збирають з окремих акумуляторних осередків, які зазвичай традиційно називають "банками" (рис. 1). Осередок являє собою герметичний плоский пакет з дуже міцного металізованого пластику, всередину якого вміщена листкова структура з електродів, і сепараторів, просочених полімерним гелевим електролітом. Завдяки такій конструкції витік електроліту

виключений, а сама батарея може мати довільну форму. Робоча напруга одного осередку — 3,7 В. Залежно від рівня заряду батареї напруга може бути трохи меншою або більшою. Мініатюрні моделі можуть харчуватися від одного осередку, найбільш поширені батареї складаються з двох або трьох послідовно з'єднаних осередків. В особливих випадках використовують до восьми послідовних осередків. Осередки можуть також з'єднуватися паралельно для збільшення струму, що віддається.

## **2. Позначення параметрів силової літієвої батареї.**

- Місткість батареї (Capacity) виражається в міліампер-годинниках (mAh) або в ампер-годиннику (Ah), наприклад "3300" або "3.3", і скорочено позначається буквою C.

- Граничний розрядний струм в амперах прийнято позначати величиною, кратної ємності C. Наприклад, маркування 20C при ємності 3300 mAh означає, що розрядний струм не повинен перевищувати  $20 \cdot 3,3 = 66$  А. Також іноді застосовується маркування Hi Discharge, що позначає розрядним струмом. При виборі батареї слід уважно читати її специфікацію. Виробники та продавці високого класу в описі батареї часто вказують два параметри: граничний тривалий струм (continuous discharge), що віддається кілька хвилин поспіль, та граничний піковий струм (peak discharge) тривалістю не більше 1-2 с. Значення граничного пікового струму може бути на 15-20% більше, ніж безперервного. Зрозуміло, граничних пікових навантажень треба уникати, але кілька пікових навантажень за час експлуатації не призведуть до руйнування батареї або пожежі. Однак китайські виробники і продавці іноді злегка лукавлять і вказують на етикетці батареї граничний піковий струм. Тому, якщо ви не впевнені, який параметр вказаний на батареї і ніде це додатково не розшифровано, слід вважати, що граничний тривалий струм приблизно на 20% менший від зазначеного на упаковці.

- Граничний зарядний струм в амперах зазвичай обмежується 1C. Наприклад, батарею ємністю 3300 mAh можна заряджати струмом не більше 3,3 А. Зараз з'явилися батареї з прискореним зарядом (fast charge), які можна заряджати струмом до 5C, що суттєво скорочує час заряду, проте не слід зловживати цим режимом. У разі використання прискореного заряду рекомендується особливо уважно стежити за підтримкою балансу напруги осередків.

- Схема з'єднання осередків позначається буквою S (serial) при послідовному з'єднанні та буквою P (parallel) при паралельному з'єднанні. Наприклад, маркування 3S позначає три послідовно з'єднані комірки, що дає робочу напругу  $3,7 \cdot 3 = 11,1$  В. Маркування 3S2P означає, що комірки з'єднані паралельно по дві для збільшення ємності та робочого струму, потім три таких пари з'єднані послідовно. З появою потужних силових батарей паралельне з'єднання стало застосовуватися рідше.

Літій-полімерні акумулятори мають обмежений термін служби. Причому навіть новий акумулятор, що жодного разу не заряджається, втрачає ємність

при зберіганні. За 2 роки зберігання нового акумулятора втрачається приблизно 20% ємності. Після першого циклу заряду-розряду незворотні хімічні процеси старіння різко прискорюються, і, як правило, за три календарні роки акумулятор втрачає 40-60% ємності, навіть якщо рідко експлуатується. Силкові батареї з підвищеною струмовіддачею схильні до старіння особливо сильно. Тому немає сенсу "економити" літій-полімерну батарею після покупки. Навпаки, треба намагатися вичерпати її можливості, поки вона ще нова. Також небажано купувати старі батареї. Крім природного старіння, батарея втрачає ємність та струмовіддачу з кожним циклом заряду. Стандартний термін служби сучасного літій-полімерного акумулятора становить 600 циклів заряду-розряду. Але, як правило, у силових батареях суттєве зниження ємності та зростання внутрішнього опору відбувається значно раніше, що робить подальшу експлуатацію батареї недоцільною.

Візуальною ознакою деградації батареї є здуття осередків. Спроба випустити газ через прокол оболонки з подальшою герметизацією липкою стрічкою, користь не принесе, оскільки газ — це лише наслідок незворотних процесів хімічної деградації. Розгерметизація пакету призводить до прискорення окислювальних процесів усередині комірки. Об'єктивними ознаками зношування батареї є:

- різке падіння ємності, батарея швидко заряджається та розряджається;
- зростання внутрішнього опору, через що батарея сильніше нагрівається і віддає менший струм у навантаження.

Характерною особливістю літєвих батарей є розкид характеристик окремих осередків, з яких вона складена. Виробники якісних батарей здійснюють при складанні стендовий підбір і відбраковування осередків, тоді як китайські фірми можуть зібрати батарею не тільки з осередків різних фабричних партій, але навіть з різних фабрик. Часто буває так, що лише одна з послідовно включених осередків суттєво постаріла, тоді як решта може послужити ще сезон. Тому корисно придбати як мінімум дві однакові батареї, щоб згодом мати можливість зібрати з двох батарей одну. Мати запас корисно і на випадок аварії, коли один із осередків може бути пробитий. Щоб виявити потенційно дефектну комірку, достатньо регулярно вимірювати напругу кожного комірки на балансірному роз'ємі після польотів. Знижена щодо інших осередків напруга вкаже на "слабку ланку".

### **3. Зарядження літєвих батарей.**

У літєвих батарей відсутній так званий "ефект пам'яті", тому їх можна заряджати після часткової розрядки, і скільки завгодно часто. Для них це буде навіть корисно, тоді як зберігання у розрядженому стані, навпаки, шкідливе для батареї. Однак, категорично заборонено повторно ставити на зарядку вже заряджену батарею! Це може призвести до надмірного заряду зі швидким виходом батареї з ладу або навіть пожежі.

Літій-полімерні батареї можна заряджати лише за допомогою спеціального зарядного пристрою. Такий пристрій може бути спеціалізованим, наприклад, в комплекті з покупною моделлю, так і універсальним, здатним працювати з різними типами батарей. Найбільш просту конструкцію має зарядний пристрій для мініатюрних батарейок, що складаються з одного осередку. Такі батареї використовуються в мікрокоптерах налагодженого розміру і можуть заряджатися від USB-роз'єму. Універсальні зарядні пристрої побудовані на основі мікроконтролера (рис. 2 та 3) і дозволяють налаштувати параметри заряду (напруга та максимальний зарядний струм) під конкретну батарею, а також бачити на дисплеї зарядного пристрою кількість енергії, "закачаної" в батарею, та тривалість заряду. Більш просунуті пристрої також дозволяють використовувати термосенсор контролю температури І батареї. Зарядні пристрої, керовані мікроконтролером, інколи називають інтелектуальними (Intelligent Charger).

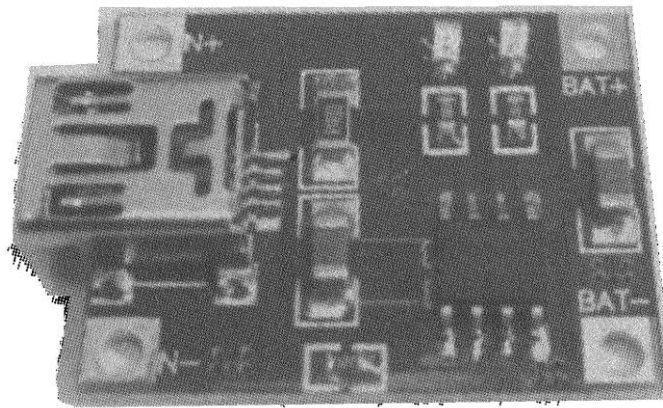


Рисунок 2. Зарядний пристрій для мініатюрних акумуляторів на основі інтегрального контролера заряду

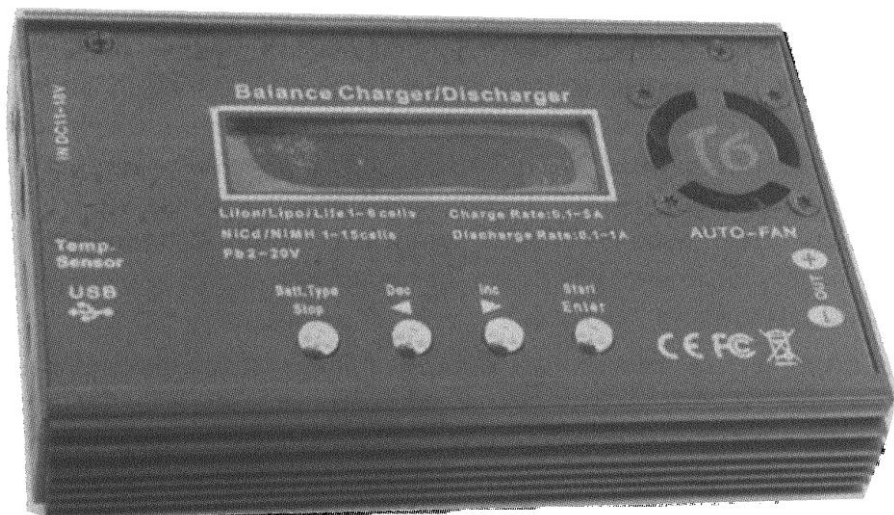


Рисунок 3. Універсальний зарядний пристрій на основі мікроконтролера

Осередкам, з яких складається батарея, властивий розкид параметрів. Зазвичай після розрядки напруга на комірках трохи відрізняється. Але в процесі зарядки напруга на осередках необхідно зрівняти з точністю не менше 0,01 В.

Якщо при кожному циклі заряду просто подавати зарядну напругу на батарею, вона, звичайно ж, зарядиться до потрібної напруги, але при цьому якісь осередки залишаться злегка недозарядженими, а якісь регулярно відчуватимуть перезаряд - виникне так зване розбалансування батареї, що призводить до прискореного виходу деяких осередків з ладу. Для вирівнювання напруги на осередках батареї оснащують окремим баланси́рним роз'ємом, на який виведені дроти від контактів усіх осередків. Цей роз'єм підключають до спеціального електронного пристрою - баланси́ру (рис. 4), який у процесі заряду перерозподіляє зарядний струм між осередками, вирівнюючи їх заряд. Більшість сучасних зарядних пристроїв обладнано вбудованим баланси́ром.

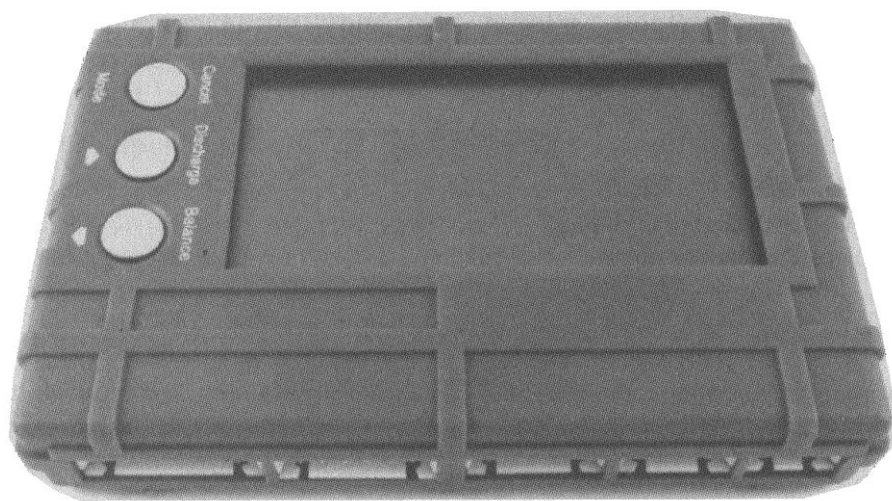


Рисунок 4. Балансир/розрядник/тестер для літєвих батарей

Немає гострої потреби використовувати баланси́р при кожній зарядці, особливо, якщо батарея якісна. Але контроль напруги осередків потрібно вести постійно. Категорично забороняється ставити на зарядку батарею, у якій напруга між осередками відрізняється більш ніж на 20%! Його загрожує перезарядом тих осередків, у яких напруга вища, перегрівом з розгерметизацією та пожежею. Якщо ви хочете спробувати реанімувати батарею з великим розкидом напруги на комірках, необхідно спочатку через баланси́рний роз'єм окремо підзарядити саму розряджену комірку (комірки).

Заряджання силових літій-полімерних батарей проводиться фіксованою напругою з розрахунку 4,20 на комірку і заданим для даної батареї струмом. У процесі заряду батареї напруга на її клеммах поступово підвищується, а зарядний пристрій не дозволяє зарядному струму перевищити задане значення. Цей режим називається режимом стабілізації струму. Через деякий час напруга на батареї досягає значення 4,20 на комірку і далі не наростає. Цей режим називається режимом стабілізації напруги. До моменту переходу в режим стабілізації напруги батарея набирає приблизно 70-80% ємності і зарядний струм, що споживається батареєю, починає знижуватися. При зниженні зарядного струму до 0,1-0,2С процес заряду завершується. Тривалий заряд малими струмами не застосовується і, на відміну нікель-кадмієвих

аккумуляторів, для літєвих аккумуляторів шкідливий і загрожує надлишковим зарядом.

**ПРИМІТКА** За негативних температур літєві аккумулятори взагалі не заряджаються, а позитивна температура не повинна перевищувати 50 °С.

#### **4. Особливості експлуатації та зберігання.**

Аккумулятори літєві надзвичайно примхливі і вимагають дуже акуратного поводження. Глибокий розряд осередку до напруги 2,7-2,9 призводить до швидкого зниження ресурсу. При розряді до 2,5 або нижче осередок повністю виходить з ладу протягом 20-30 хвилин. Якщо зіпсована батарея складається з кількох осередків, перевірте напругу на кожному осередку окремо. Найчастіше виходить з ладу тільки один осередок і решту можна буде використовувати як запасні або зібрати з них батарею на меншу напругу.

Надлишковий заряд до напруги вище 4,20 приводить не тільки до виходу осередку з ладу. Можливе здуття осередків, перегрів, розгерметизація та пожежа.

При температурі нижче -5 °С батарея швидко втрачає накопичений заряд навіть без навантаження. Як показує практика, за температури батареї -5...-10 °С час польоту скорочується вдвічі. Згадайте, до речі, як швидко розряджаються на морозі смартфони та інші гаджети, які живляться від літій-іонних батарейок. Для захисту літєвих батарей від холоду застосовуються спеціальні чохла, що підігріваються, з термостатом (рис. 5). Важливо зберегти батарею в теплі до початку польоту, а під навантаженням вона частково підігріватиме сама себе.

Нагрівання до температури близько 60 °С призводить до швидкої деградації батареї. При нагріванні до 70 °С внаслідок перевантаження або короткого замикання починається ланцюгова реакція саморозігріву за рахунок накопиченої енергії та подальша пожежа. Розряджений аккумулятор при замиканні не спалахне, а тихо вийде з ладу.

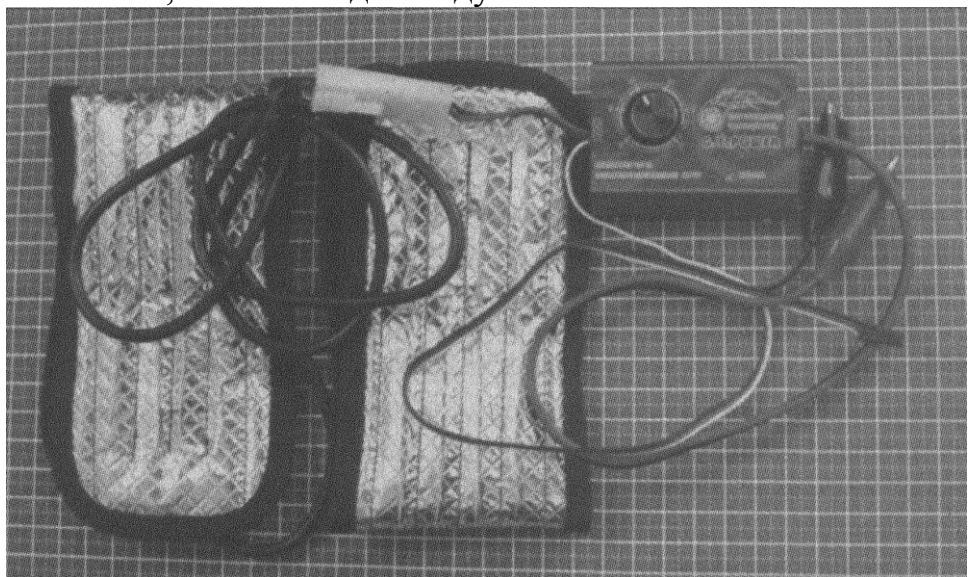


Рисунок 5. Чохол, що підігрівається з термостатом для передпольотного транспортування літєвих батарей

## **5. Підготовка батарей до зберігання.**

Щодо зберігання дані дещо суперечливі. З одного боку, у регламенті обслуговування та зберігання літєвих акумуляторів передбачено зберігання із зарядом 75% від номіналу. З іншого боку, експериментальні дані показують, що силові батареї найкраще зберігають свої параметри при зберіганні із зарядом 45-50% від номінального заряду та температури близько +10 °C. Ймовірно, істина в тому, що з заводу нові батареї надходять зарядженими на 75%, а після початку експлуатації їх краще зберігати при заряді 50%. У будь-якому випадку зберігання повністю заряджених акумуляторів призводить до швидкої втрати ємності. Наприклад, з досвіду автора, зберігання повністю заряджених батарей за кімнатної температури з листопада по березень призвело до скорочення польотного часу на 35%. При цьому ємність батарей, що вимірюється зарядним пристроєм, зменшилася лише на 15%. Але різко збільшився внутрішній опір батарей, і значна частина енергії почала витрачатися з їхньої нагрівання.

Під тривалим зберіганням ми маємо на увазі перерву використання батарей на термін більше трьох місяців. Тому, якщо перерва у польотах становитиме два-три тижні, спеціально готувати батарею до зберігання не треба. Але при підготовці до тривалого зберігання все ж таки краще скористатися спеціальним балансиром-розрядником або інтелектуальним зарядним пристроєм, ретельно відбалансувати комірки і розрядити батарею приблизно до 50% ємності.

Якщо ви використовуєте кілька однакових батарей, то рекомендується наклеїти на них липкі етикетки або шматочки малярського скотчу та умовними значками відзначати кожен цикл "розряд/заряд", а також підозрілі осередки. Це дозволить розподілити навантаження між батареями та якісніше їх обслуговувати.

## **6. Джерело бортового живлення.**

Від якості джерела бортового живлення безпосередньо залежить безпека польотів, оскільки проблеми з джерелом можуть стати причиною незрозумілих епізодичних збоїв у роботі бортової електроніки, аж до раптового перезавантаження польотного контролера в повітрі.

Деякі додаткові електронні модулі, такі як відеокамера, відеопередавач або передавач сигналу телеметрії, можуть живитися від напруги +12 і допускають пряме підключення до літій-полімерної батареї з напругою 3S. У більшості випадків для живлення бортового обладнання коптера (польотний контролер, радіоприймач, навігація і т. д.) потрібна напруга +5 В. Це напруга живлення, що історично склалася ще з тих часів, коли стандартна цифрова електроніка широкого застосування була п'ятивольтовою.

Багато сучасних інтегральних компонентів працюють при напрузі живлення 3,3 В. У цьому випадку на платі пристрою, як правило, присутня додаткова мікросхема інтегрального стабілізатора, що перетворює 5 В 3,3 В.

**УВАГА!** Потрібно бути особливо акуратним і уважним при використанні у своїх розробках мініатюрних модулів GPS, Bluetooth або міні-відеокамер.

Найчастіше ці модулі не містять вбудоване джерело 3,3 і повинні бути змонтовані на материнській платі, де таке джерело встановлено. Подача напруги 5 майже напевно виведе низьковольтний модуль з ладу. І навпаки, при живленні п'ятивольтового модуля від джерела 3,3 В він або працюватиме дуже нестабільно, або не працюватиме зовсім. Причому іноді модулі випускаються у двох варіантах живлення. Тому перед першим підключенням живлення ретельно переконайтеся, на яку робочу напругу розрахований модуль. Допускається безпосередньо живити 3,3-вольтові пристрої від одначейкової літій-полімерної батареї з робочою напругою 3,60-3,72.

Джерела бортового живлення є стабілізатор напруги і бувають двох видів: послідовні лінійні та імпульсні.

### 7. Послідовний лінійний стабілізатор.

Послідовний лінійний стабілізатор включається в розрив живильного ланцюга (рис. 2.28). Падіння напруги відбувається за рахунок внутрішнього омичного опору стабілізатора, тому значна частина дорогоцінної електричної енергії батареї перетворюється на тепло і розсіюється в навколишньому просторі. По суті, лінійний стабілізатор являє собою керований опір зі зворотним зв'язком, що реагує на коливання напруги на вході та навантаженні. Відповідно до формули  $WR = URI$ , чим більше падіння напруги на опорі та струм у ланцюгу навантаження, тим більше тепла виділяється на опорі. Очевидно, що при живленні п'ятивольтового навантаження від батареї напругою 12 на регуляторі падає 7 В, тобто більше половини. Відповідно, більше половини споживаної енергії марно розсіюватиметься на стабілізаторі у вигляді тепла. У цьому полягає головний недолік лінійних стабілізаторів — низький ККД.

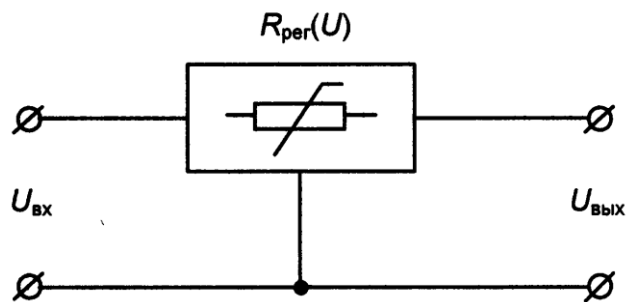


Рисунок 6. Схема вмикання лінійного стабілізатора

Достоїнствами лінійного стабілізатора є простота конструкції (у більшості випадків це мікросхема з трьома висновками), мала вага та габарити, дешевизна, універсальність, відсутність зовнішніх компонентів схеми. Більшість сучасних мікросхем стабілізаторів оснащені вбудованим захистом від короткого замикання та перегріву, іноді від переполнування. Тому лінійні інтегральні стабілізатори, як і раніше, широко застосовуються і в багатьох випадках незамінні, оскільки для мініатюрних і малопотужних пристроїв використання більш складних стабілізаторів технічно та економічно

недоцільно. Однак зі зростанням споживаного струму або різниці вхідної та вихідної напруги ефективність лінійних стабілізаторів катастрофічно знижується.

Традиційно прийнято вбудовувати інтегральні лінійні стабілізатори на плату регулятора оборотів безколекторного двигуна. Ця традиція походить від літакової практики, для спрощення конструкції та економії місця. Більшість регуляторів оборотів для мультикоптерів їх також продовжують вбудовувати, в результаті ми за замовчуванням маємо на борту чотири однакові джерела +5 В, по одному від кожного з регуляторів.

На жаль, використання цих джерел для живлення бортової апаратури не завжди є прийнятним. По-перше, регулятор оборотів двигуна є джерелом імпульсних перешкод, що проникають за джерело живлення. І якщо для живлення польотного контролера це не критично, то при живленні відеокамери або відеопередавача ці перешкоди можуть бути помітні на зображенні та каналі звуку. По-друге, регулятори оборотів і так нагріваються в польоті, іноді досить сильно. І якщо навантажити до краю один із вбудованих стабілізаторів, то відповідний регулятор може перегрітися.

Допускається з'єднувати виходи всіх вбудованих стабілізаторів +5 паралельно, тим самим рівномірно розподіляючи навантаження між ними. Це допустимо, якщо потрібно жити лише польотний контролер та приймач. Відеокамеру та апаратуру відео- та аудіоканалу все-таки краще жити від незалежного стабілізатора напруги, навіть якщо він підключений до тієї ж силової батареї.

**ПРИМІТКА** Ще один важливий нюанс: деякі польотні контролери вимагають підвищеної напруги живлення, не нижче 5,25 (але не вище 5,6 В) через те, що напруга живлення падає на послідовно включених захисних діодах схеми контролера. Але на виході ВЕС, вбудованих у регулятори оборотів, під навантаженням найчастіше виходить 4,85-4,90 В. При такій напрузі живлення, наприклад, польотні контролери МілШі АЮР м2 починають непередбачено збоїти та зависати. Деякі виробники спеціалізованих мультикоптерних регуляторів оборотів врахували цю проблему та випускають регулятори з підвищеною вихідною напругою вбудованої ВЕС. Якщо у ваших регуляторів оборотів занижена напруга джерел +5 В, живіть від них сервомашини, підсвічування і т. д., а для живлення контролера використовуйте окреме джерело.

## **8. Імпульсні стабілізатори-перетворювачі.**

В імпульсних стабілізаторах постійна вхідна напруга за допомогою вбудованого генератора та силового ключа перетворюється на імпульси високої частоти з регульованою тривалістю при незмінній частоті. Ставлення періоду повторення електричних імпульсів до тривалості називається шпаруватістю  $S$ , а зворотна величина  $1/S$  — коефіцієнтом заповнення. Чим вище коефіцієнт заповнення, тим більше кількість енергії, що передається зі входу стабілізатора на вихід, і тим вища напруга на вихідному каскаді.

Оскільки напруга регулюється тільки за рахунок тривалості активних імпульсів, а решта часу струм через силовий ключ регулятора не протікає, то втрати енергії мінімальні і ККД імпульсного регулятора значно вище, до 95%.

На відміну від лінійного стабілізатора, що працює тільки зі зниженням напруги, імпульсні стабілізатори можуть бути як знижувальні (Step-Down), так і підвищують (Step-Up), а за типом схеми безтрансформаторні (Switched ВАГА) і трансформаторні (UBEC). Найчастіше використовуються безтрансформаторні перетворювачі, що знижують, на ключовому елементі. Структурна схема такого перетворювача показано на рис. 7.

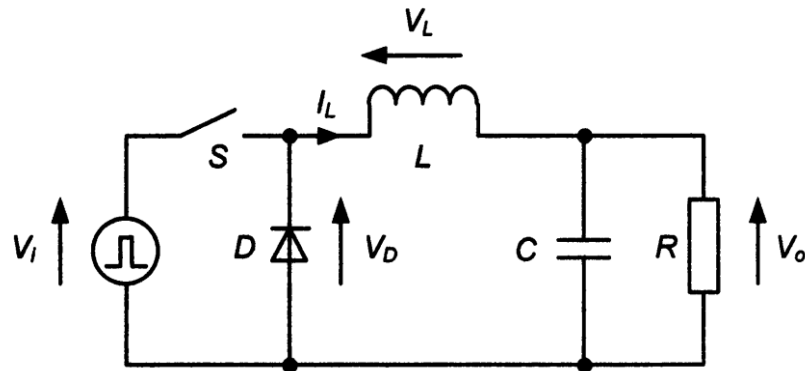


Рисунок 7. Структурна схема знижувючого перетворювача

Керований напругою генератор  $V$ , виробляє імпульси змінної шпаруватості, які управляють ключем  $S$ . Як ключ зазвичай використовуються MOSFET-транзистори з низьким прохідним опором каналу, що знижує втрати енергії на нагрівання. Коли ключ замкнутий, струм починає протікати через накопичувальний ланцюг з дроселя  $L$  і конденсатора, заряджаючи конденсатор. Напруга на навантаженні  $R$  дорівнює різниці напруги джерела живлення та ЕРС самоіндукції дроселя, струм через дросель зростає, як і напруга на конденсаторі та навантаженні. При розмиканні ключа струм самоіндукції дроселя продовжує протікати через навантаження в тому ж напрямку через діод  $D$  і через навантаження протікає струм розряду конденсатора. Далі цикл повторюється. Чим вище коефіцієнт заповнення імпульсів, тим вища напруга на конденсаторі та навантаженні. Генератори імпульсних перетворювачів працюють на високих частотах, від сотень кілогерц до одиниць мегагерц, що дозволяє знизити габарити накопичувального дроселя та конденсатора.

Вбудований ланцюг зворотного зв'язку генератора відстежує вихідну напругу і при падінні напруги на навантаженні збільшує тривалість імпульсів і навпаки. Перетворювач може бути як регульованим, так і налаштованим на задану вихідну напругу.

Переваги імпульсних перетворювачів:

- високий ККД;
- широкий діапазон вхідних та вихідних напруг;
- можливість плавного регулювання напруги.

### Недоліки імпульсних перетворювачів

- При пробі ключа у схемі перетворювача напруга первинного джерела виявляється повністю доданою до навантаження і, як правило, виводить її з ладу. Це, мабуть, найнеприємніший і найнебезпечніший недолік.

- Імпульсні перешкоди для чутливого обладнання. Але, як показала практика, робочі частоти та їх гармоніки навіть у найдешевших перетворювачів не заважають радіоприйманню та телеметрії на частоті 2,4 ГГц, а також роботі GPS/ГЛОНАСС та непомітні на картинці відеокамери. Низькочастотні канали зв'язку діапазону 40-70 МГц можуть відчувати перешкоди перетворювача.

- Більш складна конструкція, більша вага та габарити в порівнянні з інтегральним лінійним стабілізатором.

### 9. Індикатор розряду батареї.

Ви вже знаєте, що регулятори обертів мають функцію плавного відключення при розряді батареї нижче аварійного рівня. Ця функція рятує батарею від глибокого розряду, але здатна занапастити квадрокоптер, оскільки від початку плавного зниження тяги до повної втрати проходить не більше 40 с. Цього достатньо, щоб плавно посадити коптер, що знаходиться поряд, але повернути його з дистанції за кілька сотень метрів ви вже не встигнете. Тому наявність індикатора розряду батареї є критично важливою для безпечних польотів.

Індикатори розряду бувають двох видів: телеметрійний та звуковий. У варіанті з телеметрією напруга силової батареї вимірюється польотним контролером або модулем телеметрії, і далі передається в загальному потоці даних на приймальну станцію для відображення на моніторі, або накладається на відеозображення, що приймається з бортової камери. Достоїнствами такого методу є точність індикації, зазвичай до десятків часток вольту, і велика дальність дії, а також можливість приблизно оцінити політний час, що залишився.

Але телеметрія не завжди використовується. При польотах у межах прямої видимості, коли зберігається достатня чутність, можна (точніше, обов'язково!) використовувати звуковий індикатор розряду батареї. При досягненні порогового значення, але раніше, ніж спрацює відсікання регуляторів, індикатор подає переривчастий звуковий сигнал. Як правило, після цього у розпорядженні оператора залишається 1-2 хвилини польотного часу, щоб повернути та посадити коптер.

На індикаторі краще не заощаджувати і придбати такий варіант, який підключається до балансного роз'єму та контролює кожен комір окремо, а також миготінням світлодіода показує, яка з осередків розрядилася раніше (рис. 8). Це допоможе уникнути ситуації, коли одна з осередків раніше за інших розрядилася до критичного значення, тоді як напруга батареї в цілому залишається в межах норми. Індикатор найкраще монтувати у задній частині рами, випромінювачем у бік оператора. Бажано вибирати індикатор із спеціальним гучним випромінювачем.

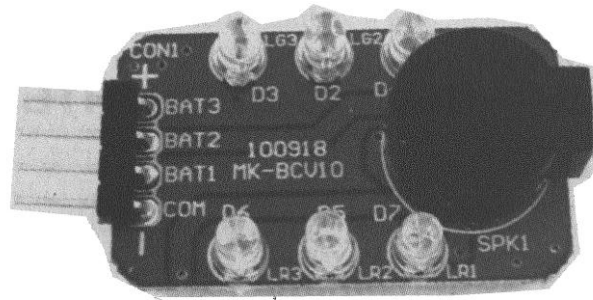


Рисунок 8. Індикатор розряду батареї з роздільним контролем осередків