

УДК 621.314.69

Скрипченко Олександр Васильович

студент кафедри Електронних пристроїв та систем

Національного технічного університету України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Скрипченко Александр Васильевич

студент кафедры электронных устройств и систем

Национального технического университета Украины

«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»

Skrypchenko Alexander

Student of the Department of Electronic Devices and Systems

National Technical University of Ukraine

«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»

**РОЗРОБКА ЗАРЯДНОГО ПРИСТРОЮ ДЛЯ ЛІТІЙ-ІОННОГО ТА
ЛІТІЙ-ПОЛІМЕРНОГО АКБ З РЕЖИМОМ ЗАРЯДЖАННЯ
РЕВЕРСИВНИМ СТРУМОМ
РАЗРАБОТКА ЗАРЯДНОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ ЛИТИЙ-ИОННОГО
И ЛИТИЙ-ПОЛИМЕРНОГО АКБ С РЕЖИМОМ ПОДЗАРЯДКИ
РЕВЕРСИВНЫМ ТОКОМ
CONSTRUCTING A CHARGER FOR LITHIUM-ION AND LITHIUM-
POLYMER BATTERIES WITH REVERSE CHARGING MODE**

Анотація. Розроблений зарядний пристрій для літій-іонних, літій-полімерних акумуляторів, який сприятиме збільшенню кількості циклів заряду-розряду без суттєвих втрат ємності з часом. У роботі проведено аналіз існуючих рішень указаної задачі, які дозволяють побудувати пристрій. Виконано їх порівняння з погляду організації моделювання

отримуваних розв'язків, виведення графіків. Для розв'язання розробленої схеми в роботі використано програми моделювання електричних систем.

Ключові слова: *зарядний пристрій, літій-іонний/полімерний АКБ, заряд реверсивним струмом.*

Аннотация. *Разработано зарядное устройство для литий-ионных, литий-полимерных аккумуляторов, которое будет способствовать увеличению количества циклов заряда-разряда без существенных потерь емкости со временем. В работе проведен анализ существующих решений указанной задачи, которые позволяют построить устройство. Выполнено их сравнение с точки зрения организации моделирования получаемых решений, вывода графиков. Для решения разработанной схемы в работе использованы программы моделирования электрических систем.*

Ключевые слова: *зарядное устройство, литий-ионный/полимерный АКБ, заряд реверсивным током.*

Summary. *A charger for lithium-ion, lithium-polymer batteries is being developed, which will increase the number of charge-discharge cycles without significant loss of capacity over time. In the work the analysis of existing solutions of the given problem, allowing to construct the device is carried out. Their comparison from the point of view of organizing the modeling of the resulting solutions, drawing out graphs is made. To solve the developed scheme in the work there were used a program of simulation of electrical systems.*

Key words: *charger, lithium-ion/polymer battery, reverse charge current.*

Літій-іонні та літій-полімерні акумулятори знайшли популярність порівняно нещодавно. Завдяки високій щільності енергії в 0.58 МДж/кг, високому ККД, та кількості циклів використання в середині 2000-х вони почали активно використовуватися в портативних пристроях, а з налагодженням виробництва та поступовим зменшенням собівартості

батареї, почали встановлювати в автономні станції великої потужності (більше 30 кВт/год), автомобілі та інше. Проте всі акумулятори мають недоліки, які проявляються з плином часу. Причинами можуть бути як окиснення електродних матеріалів, так і використання акумуляторів у стресс-умовах, коли робота автономного пристрою продовжується нижче 5% заряду акумулятора [1].

Літій-іонний акумулятор складається з електродів (катодного матеріалу на алюмінієвій фользі і анодного матеріалу на мідній фользі), розділених просоченими електролітом пористими сепараторами. Корпус має запобіжний клапан, що скидає внутрішній тиск при аварійних ситуаціях і порушенні умов експлуатації.

Літій-іонні акумулятори застосовуються в комплекті з системою контролю і управління - СКУ або BMS (battery management system) і спеціальним пристроєм заряду розряду

До переваг літій-іонного акумулятора можна віднести :

1. Висока енергетична щільність (ємність);
2. Низький саморозряд;
3. Не вимагають обслуговування.

До недоліків відноситься той факт, що акумулятори Li-ion першого покоління були схильні до вибухового ефекту. Це пояснювалося тим, що в них використовувався анод з металевого літію, на якому в процесі багаторазових циклів зарядки / розрядки виникали просторові освіти (дендрити), що призводять до замикання електродів і, як наслідок, пожежі або вибуху. Цю проблему вдалося остаточно вирішити заміною матеріалу анода на графіт. Подібні процеси відбувалися і на катодах літій-іонних акумуляторів на основі оксиду кобальту при порушенні умов експлуатації (перезарядці). В табл. 1. наведені втрати ємності при зберіганні. Як можна побачити, зі збільшенням температури сумарна ємність акумулятора буде падати сильніше.

Втрата ємності при зберіганні

Температура, °С	С 40 % зарядом, % за рік	Со 100 % зарядом, % за рік
0	2	6
25	4	20
40	15	35
60	25	40 % за три місяці

Вибір зарядного пристрою для li-ion та li-pol АКБ

Головними відмінностями розробки від інших видів зарядних пристроїв є:

1. зарядка літій-іонних та літій полімерних батарей змінним асиметричним струмом, замість постійного;
2. наявність в періоді асиметричного струму відрізка, меншого за нуль;
3. порівняно менші показники вхідного струму;
4. збільшення часу життя АКБ;
5. Збільшення циклів заряду АКБ.

В результаті неправильної експлуатації акумуляторних батарей їх пластини пасивуються і виходять з ладу. Проте, відомий спосіб відновлення таких батарей асиметричним струмом (при співвідношенні зарядної і розрядної складових цього струму 10: 1 і співвідношенні імпульсів цих складових 1: 2). Цей спосіб дозволяє активізувати поверхні пластин старих акумуляторів і виробляти профілактику справних.

Такий спосіб заряджання є більш довготривалим, ніж постійним струмом, але сприяє більш довготривалій службі, та підходить здебільшого для заряджання багатобаночних акумуляторів, де заміна АКБ проходить вкрай рідко, або взагалі відсутня. Звичайно ж такий спосіб заряджання набагато ефективніший для кислотних акумуляторів, де присутня сульфатація електроліту та ефект пам'яті, які відсутні в літій-полімерних та літій-іонних акумуляторів [2].

Відповідно до теорії і практики електрохімічних процесів заряд акумулятора реверсивним струмом дає можливість управляти відновними реакціями і структурними змінами активного матеріалу електродів. Це дозволяє збільшити пористість і сумарну площу діючої поверхні електродів, тобто збільшити поверхню зіткнення електроліту з активним матеріалом електродів, полегшити умови дифузії і вирівнювання концентрації електроліту в приелектродному шарі. Збільшення пористості сприяє підвищенню величини максимального струму заряду і розряду.

При заряді реверсивним струмом в кінці заряду виділяється менше тепла і інтенсивне газовиділення та розгермитизація починається пізніше, створюються оптимальні умови регулювання відновних реакцій, зменшуються швидкості росту кристалів літію [3].

На рис. 1 представлена діаграма асиметричного струму для схеми.

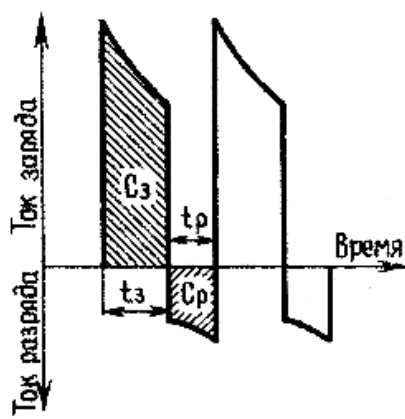


Рис. 1. Діаграма асиметричного струму

Зарядка, що підключається електронним ключем до клем акумулятора, а в паузах до клем підключається розрядний резистор. Регулювати частоту і швидкість спрацьовування електронного ключа не є проблемою. Порядок заряду реверсивним струмом аналогічний заряду постійним струмом. Для його реалізації необхідно досить складний спеціальний зарядний пристрій - генератор реверсивного струму.

На рис. 2 представлена схема заряджання реалізована на LM2576-ADJ.

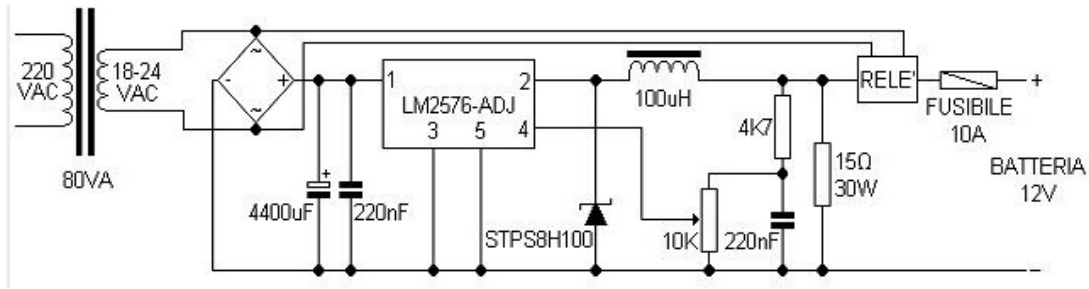


Рис. 2. Схема заряджання асиметричним струмом

Звичайно ж час заряджання літій-іонних та літій-полімерних акумуляторів буде значно довший, ніж в інших кислотних АКБ, оскільки, маючи більш велику питому потужність та запасуючу енергію на кілограм, матимуть більший нагрів, який цим АКБ не є бажаним.

Середня максимальна температура li-ion та li-pol АКБ при заряджанні не повинна перевищувати 50 градусів Цельсія. Тому ця схема використовується для багатобаккових акумуляторів та середній амплітудний струм не повинен перевищувати 5А для 6-ти та більше комірок.

Блок схема зарядного пристрою складається з 3-х ключових блоків. На рис. 3 зображена спрощена блок-схема зарядного пристрою.

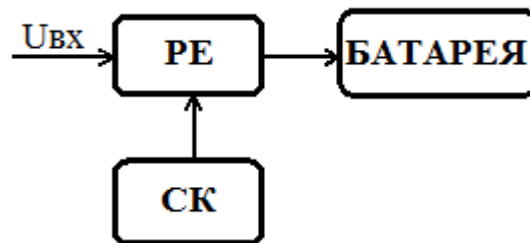


Рис. 3. Блок-схема зарядного пристрою

Зарядні пристрої мають, зазвичай, джерело напруги, яка поступає на регулюючий елемент, який підпорядкований системою керування. Саме вона визначає, яку модуляцію треба синхронізувати на навантаження (батарея).

Регулюючим елементом представляється блок ШІМ. Він регулює скважність імпульсів, коефіцієнт їх заповнення на виході. Форма імпульсів задається з системи керування. Вона представляє собою AVR

мікроконтролер та коло зворотного зв'язку. Оскільки деякі мікроконтролери мають широкі можливості, включаючи широтно-імпульсну модуляцію, аналогово-цифрові перетворювачі високої точності, операційні підсилювачі напруги, доцільно вибирати саме такі. Вони значно зручніші при кодуванні на мовах високого рівня, завдяки об'єднанню багатьох блоків в один, зменшується ефективна площа плати, менші показники тепловиділення, споживання енергії. Коло зворотного зв'язку включає 2 блоки датчиків струму та напруги. Воно призначене для відслідковування вхідної напруги та струму батареї для запобігання перезаряду та високого нагріву. При надто високих показниках, указаних в прошивці мікроконтролера, останній скерує блоком ШІМ, згодом зменшиться коефіцієнт заповнення імпульсів, а отже середні показники струму, напруги, поступаючі на навантаження. Знімання вимірювальної напруги розміщено перед навантаженням, представляє собою шунт, з якого знімаються показники, які через дільник напруги надходять в АЦП мікроконтролера. Датчик струму знаходиться на мінусовому виводі навантаження і також під'єднаний через операційний підсилювач до АЦП.

Всі елементи зарядного пристрою живляться постійним чи змінним струмом, в залежності від призначення. Для них відведений блок живлення, який, в свою чергу, живиться від джерела напруги.

Для індикації режимів роботи та керування вбудовані блоки індикації та панель керування.

Повна схема зарядного пристрою наведена на рис.4.

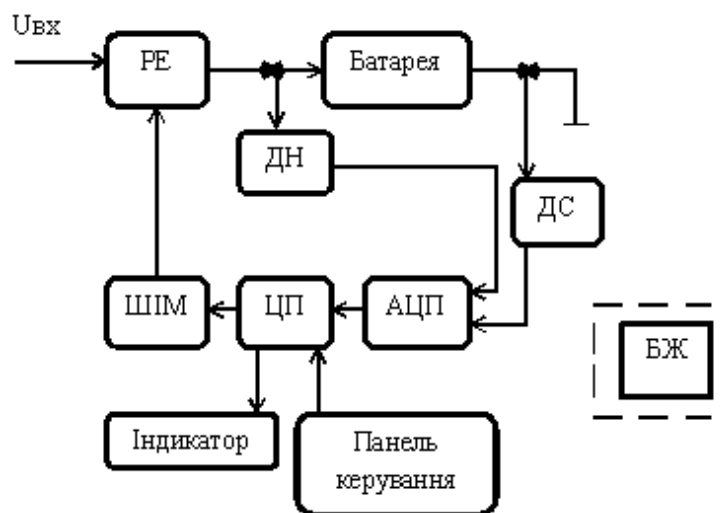


Рис. 4. Блок-схема зарядного пристрою літій-іонного, літій-полімерного акумулятора

Отже, система керування на рис. 4 представляє собою AVR мікроконтролер, який включає в собі такі блоки як: блок ШІМ, центральний процесор, аналогово-цифровий перетворювач. Також до мікроконтролера в АЦП надходить інформація про стан батареї (коло зворотного зв'язку), представлена у вигляді 2-х датчиків (ДН, ДС). Про стан зарядного пристрою, режим роботи сповіщають індикатори, якими керує ЦП. Керування режимами роботи ЦП здійснюється за допомогою панелі управління. Індикатор та панель управління відноситься до блоку пульт управління.

Блок живлення під'єднаний до мережі змінної напруги 220В та повинен підтримувати постійну напругу +15В, -15В, +5В. Для виконання цієї задачі доцільно використати трансформатор, напруга на вторинній обмотці якої буде 20В тому, що напругу на вторинній обмотці потрібно робити більшою за напругу живлення батареї у зв'язку з відхиленнями від норми -15...+10%, тому вона може складати як 187В, так і 242В, а отже і на вторинній обмотці також зміниться напруга, що є неприйнятним для живлення високоточних мікросхем, чутливих до перепадів випрямленої напруги. Після пониження напруги мережі для отримання заряджання

батареї асиметричним струмом потрібно джерело постійної напруги живлення -15В. Для цього потрібна друга вторинна обмотка та під’єднаний діодний міст. Для стабілізації напруги від плаваючих 17 до 22В та отримання стабілізованої напруги 15В, потрібно встановити стабілізатор напруги [5]. Стабілізатор напруги — перетворювач електричної енергії, що дозволяє отримати на виході напругу, яка знаходиться в заданих межах, при значних коливаннях вхідної напруги і опору навантаження. Лінійний стабілізатор напруги являє собою дільник напруги, на вхід якого подається вхідна (нестабільна) напруга, а вихідна (стабілізована) напруга знімається з нижнього плеча дільника. Стабілізація здійснюється шляхом зміни опору одного з плечей дільника: опір постійно підтримується таким, щоб напруга на виході стабілізатора знаходилася в установлених межах. При великому відношенні величин вхідної і вихідної напруг лінійний стабілізатор має низький ККД, так як більша частина потужності розсіюється у вигляді тепла на регулюючому елементі. Тому регулюючий елемент повинен мати можливість розсіювати достатню потужність, тобто повинен бути встановлений на радіатор потрібної площі або ж розміщений в корпусі з достатньою тепловіддачею. Перевага лінійного стабілізатора — простота, відсутність перешкод і невелика кількість використовуваних деталей. Лінійний стабілізатор у вигляді мікросхеми LM7805 підійде для виконання завдання та наведений нижче на рис. 5.

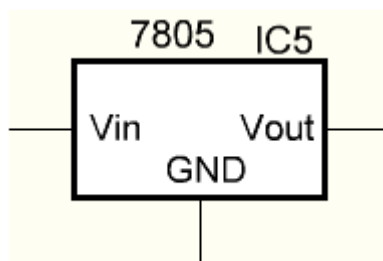


Рис. 5. Мікросхема-стабілізатор LM7805

Оскільки заряджання батареї реалізоване на 15В, враховуючи відхилення норм електроживлення мережевої напруги, напруга номіналом

20В проходить через транзисторний стабілізатор напруги, реалізований на обох лініях електроживлення. Стабілізатори напруги працюють наступним чином. Якщо напруга на вході стабілізатора збільшиться, воно відразу передається і на його вихід, що призведе до збільшення струму, що протікає до ключового транзистора. Оскільки напруга на стабілітроні практично не змінюється, зростання напруги на навантаженні викличе зменшення напруги УЕБ, струму бази транзистора VT і збільшення опору переходу колектор-емітер. Внаслідок збільшення опору переходу колектор-емітер на цьому переході буде більше падіння напруги, що спричинить за собою зменшення напруги на навантаженні. При зменшенні вхідної напруги, навпаки, напруга УЕБ підвищиться, що спричинить за собою збільшення струму бази, зменшення опору переходу колектор-емітер і напруги на цьому переході. На схемі транзисторними стабілізаторами напруги виступають: біполярний ррр-транзистор VT1, кремнієвий стабілітрон VD1, резистор R6. Аналогічний стабілізатор напруги реалізований і для лінії живлення від ємною складовою напруги: VT2, VD2, R7.

Два діодних мости, які використовуються у якості випрямлячів напруги з вторинних обмоток трансформатора Tr1, повинні відповідати умовам напруги не менш ніж 20В та струму не менше 5А. Після трансформації вхідної напруги з 220В до 20В, встановлені два діодних мости GBU6A з максимальною напругою 50В та струмом у 6А, кожен з яких під'єднаний до першої та другої вторинних обмоток відповідно. Діодний міст VDS1 формує позитивну імпульсну напругу. Вона зображена на рис. 6.

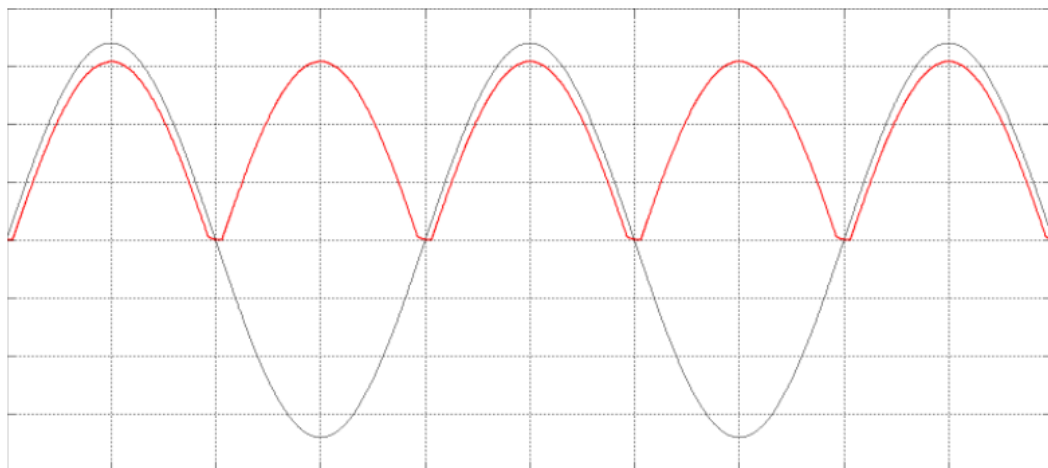


Рис. 6. Імпульсна напруга діодного мосту VDS1

Діодний міст VDS2 формує аналогічну, тільки інвертовану імпульсну напругу.

На рис. 7 зображена форма напруги діодного мосту VDS2.

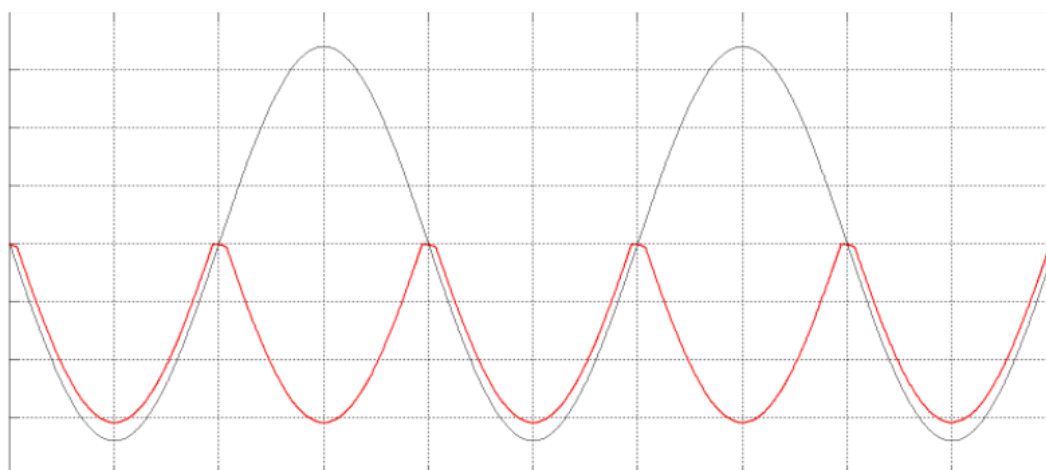


Рис. 7. Імпульсна напруга діодного мосту VDS2

Один з виводів кожного діодного мосту під'єднаний до спільної землі, інші з виводів формують лінію живлення +15В, -15В відповідно. Був вибраний діодний міст GBU6A з максимальною напругою 50В та струмом у 6А.

Випрямляч в даній роботі представляє собою 2 діодні мости, які перетворюють змінну синусоїдальну напругу в імпульсну від'ємну та додатню. Два діодних мости, які використовуються у якості випрямлячів напруги з вторинних обмоток трансформатора Tr1, повинні відповідати

умовам напруги не менш ніж 20В та струму не менше 5А. Був вибраний діодний міст GBU6A з максимальною напругою 50В та струмом у 6А. Також до складу випрямляча входить фільтруючий конденсатор, який згладжує вихідні пульсації та випрямляє напругу.

Імпульсна напруга згладжується, коли проходить через фільтр, який представляє собою фільтруючий конденсатор бажано номіналом 1000мкФ на 50В, який був розраховується для двох ліній живлення. На рис.8. зображена форма випрямленої напруги.

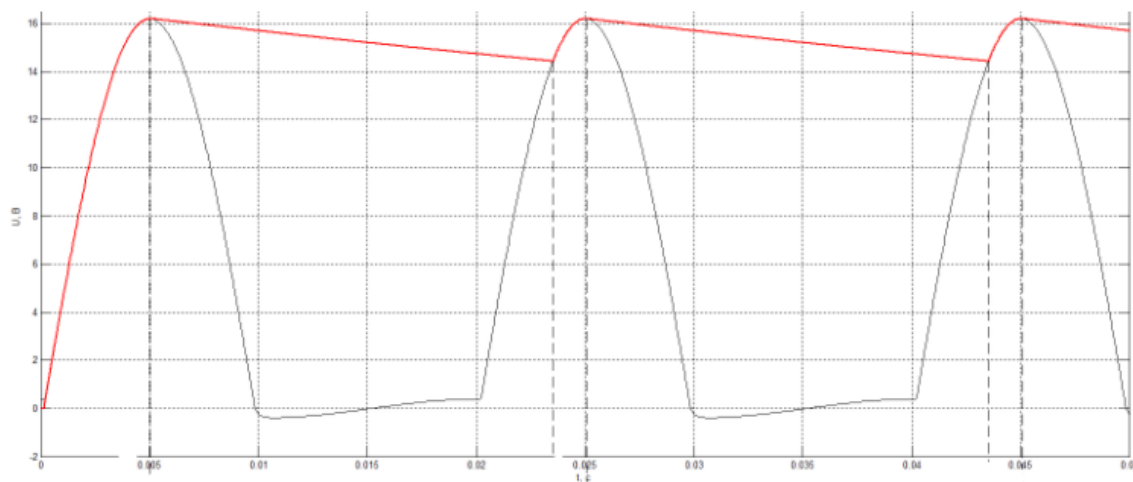


Рис. 8. Випрямлена напруга

Ємність в мікрофарадах розряджається на резистор в мегаомах, час напіврозряду - в секундах.

Конденсатор 1000 мкФ розряджається на резистор 1 кОм, приблизно час напіврозряду - 1 сек. Для фільтра мережевого випрямляча (4 діода), ефективна частота мережі - 50 гц, частота пульсацій на конденсаторі 100 гц, час - 10 мілісекунд.

Для отримання на вищеописаному конденсаторі фільтра пульсацій 50% від напруги при навантаженні 10 Ом досить конденсатора 1000 мкФ. Для отримання менших пульсацій - треба збільшити ємність (в рази). Але оскільки згладжувальна напруга 20В поступатиме на транзисторний

стабілізатор напруги, вказаної ємності буде достатньо для отримання згладжувальної напруги на вході стабілізатора.

Вихідні параметри при розрахунку випрямляча: необхідна напруга на навантаженні, яка, як правило, дорівнює напрузі на виході фільтра випрямляча, і максимальний струм, споживаний навантаженням. Від цих даних, які визначаються конкретним радіотехнічним пристроєм, залежить вибір діодів для випрямляча, потужність мережевого трансформатора і числа витків в його вторинної та первинної обмотках.

Змінна напруга на вторинній обмотці трансформатора (U_{II}) підраховують за формулою:

$$U_2 = A \cdot U_H$$

Ємність фільтруючого конденсатора C_Ф в мкФ визначають за формулою:

$$C_{\Phi} = \frac{3200 \cdot I_H \cdot K_{\Pi}}{U_H}$$

де K_Π – абсолютний коефіцієнт пульсацій випрямленої напруги, що характеризує відношення амплітудного значення змінної складової частотою 100 Гц на виході випрямляча до середнього значення випрямленої напруги.

Чим більше ємність фільтруючого конденсатора і менше струм, споживаний навантаженням, тим менше пульсація випрямленої напруги. Для більшості транзисторних конструкцій допустять коефіцієнт пульсації напруги живлення K_Π = 0,01. Номінальна напруга фільтруючого конденсатора не повинна бути менше напруги на виході випрямляча, інакше він може виявитися пробитим більш високою напругою.

Коефіцієнт пульсацій випрямленої напруги:

$$K_{\Pi} = 1 - \frac{U_{nmin}}{U_{nmax}}$$

де U_{nmin} , U_{nmax} мінімальні та максимальні значення відхилення випрямленої напруги. Значення напруги мережі змінного струму коливаються у межах +10, -15%, тобто 187В...242В, а отже і на вторинних обмотка схеми, де напруга складатиме 20В, відхилення значень відповідно 17В...22В. Тоді коефіцієнт пульсацій дорівнює 0,227.

Ємнісний опір конденсатору знаходиться за формулою:

$$x_c = \frac{1}{2\pi f C}$$

З отриманих результатів вибираємо електролітичний конденсатор на 1000 мкФ напругою 50В.

Розрахунок трансформатора. Вибір магнітопроводу

Силова частина пристрою представлена на рис. 9.

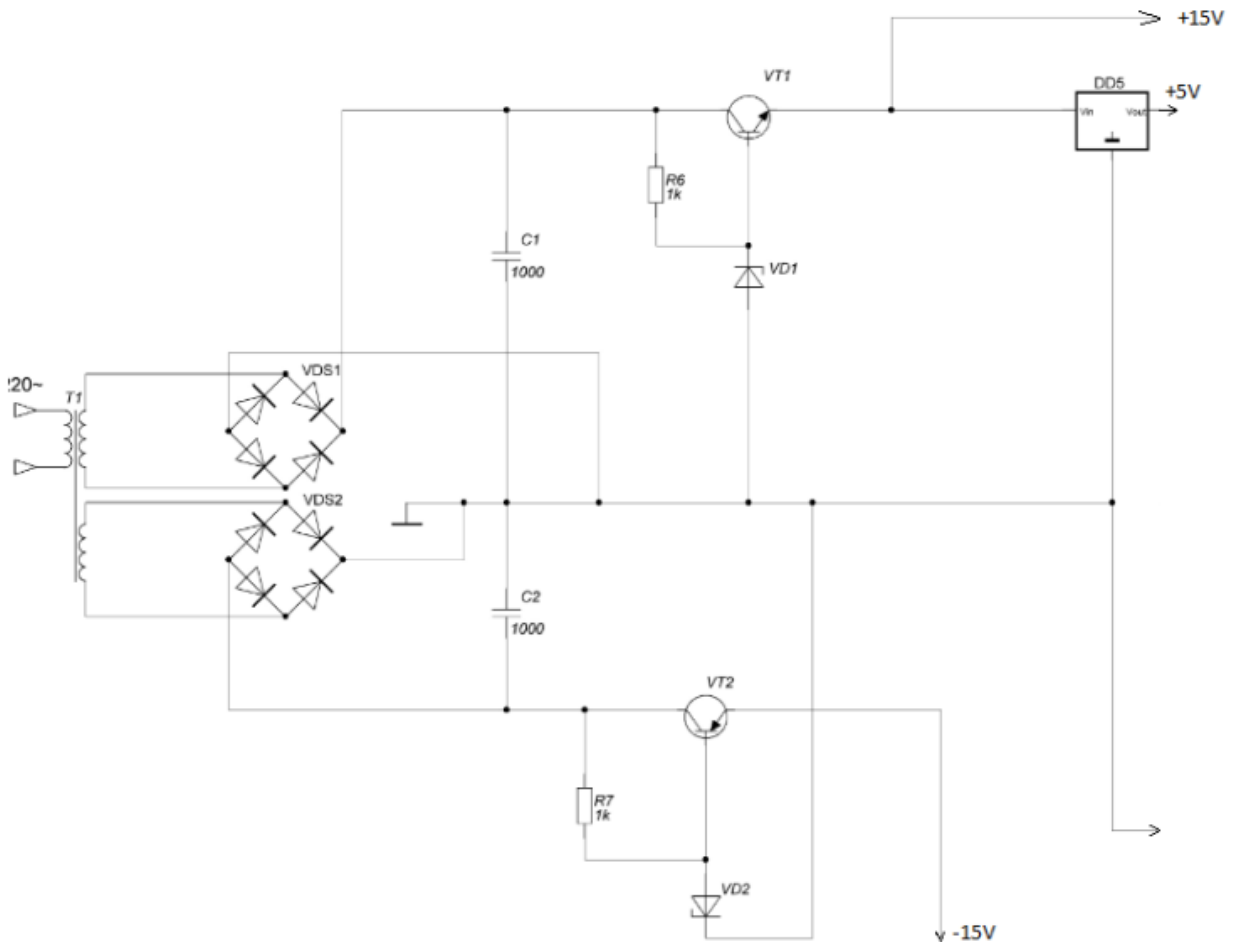


Рис. 9. Силова частина пристрою

Магнітопровід представляє собою систему трансформатора, по якій замикається основний магнітний потік. Одночасно магнітопровід служить основою для установки і кріплення обмоток, відводів, перемикачів та інших деталей активної частини трансформатора.

Магнітопровід збирають з окремих тонких пластин електротехнічної сталі, ізольованих один від одного плівкою спеціального жаростійкого покриття або лаку. Жаростійке покриття зазвичай наносять безпосередньо на металургійному заводі, виготовляючому сталь; плівку лаку - на трансформаторному заводі після різання (штампування) пластин.

Лінії по переробці виконують двох типів: стрижневого і броньового.

У магнітопроводі стрижневого типу (рис. 10, а) вертикальні стрижні 1 мають ступеневе січення, які вписується в коло. На них розташовані обмотки 2 циліндричної форми. Частини магнітопроводу, що не мають обмоток і що використовуються для утворення замкнутого кола, називають ярмами.

Трансформатор реалізований у вигляді однієї первинної обмотки та двох вторинних для додатної та від'ємної складових напруг.

Для узгодження параметрів, вибору магнітопроводу визначимо сумарну потужність, яка споживається всіма компонентами схеми.

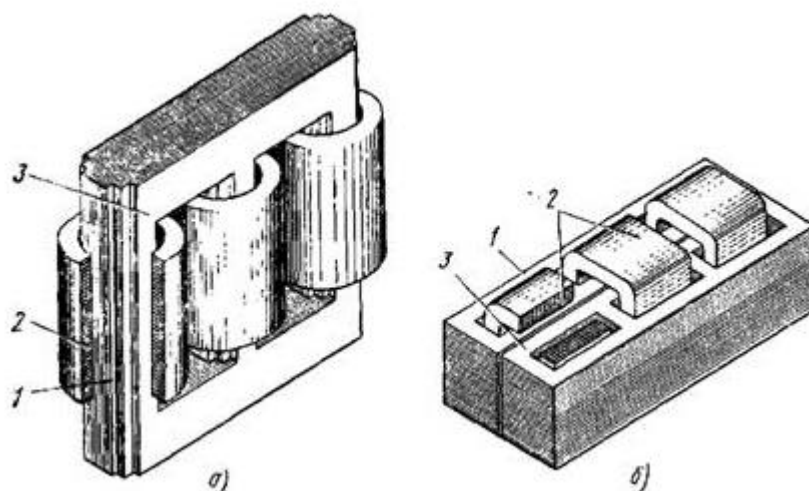


Рис. 10. Основні типи конструкцій магнітопроводів

а – стрижневий; б – броньовий; 1 – стрижень; 2 – обмотки; 3 – ярмо

На принциповій схемі передбачені такі компоненти як: мікроконтролер ATmega8, мікросхема буфер 74273, які під'єднані до живлення +5В, тригер Шмідта, представлений у вигляді операційного підсилювача AD8057, який під'єднаний до мережі +15В та -15В, навантаження, представлене у вигляді акумулятора, підсилення лінією +5В індикатора 7Seg-mpx4-са. Також слід передбачити втрати енергії на стабілізації вихідної напруги та інших елементах схеми.

На вторинних обмотках трансформатора повинна бути напруга 20В та струм 5А. Знаючи напругу і максимальний струм, який має давати вторинна обмотка (U_2 і I_2), знаходимо потужність вторинного ланцюга: При наявності декількох вторинних обмоток потужність підраховують шляхом складання потужностей окремих обмоток. В даному випадку маємо 2 вторинні обмотки, отже потужності додаємо.

Потужність передається з первинної обмотки у вторинну через магнітний потік в осерді

$$S = a \cdot b.$$

На рис. 11 позначені змінні a , b .

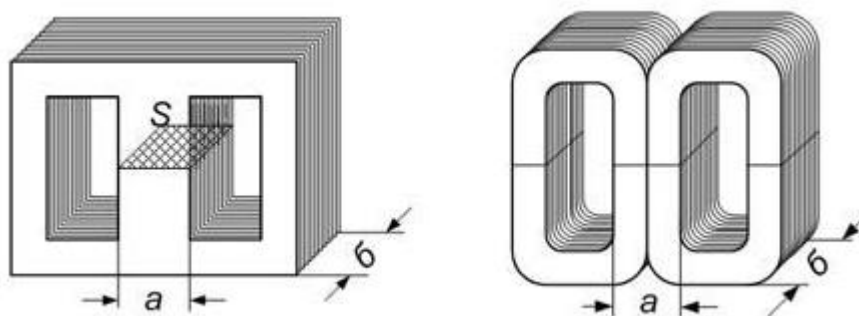


Рис. 11. Площа перетину середньої частини осердя

Тому від значення потужності P_1 залежить площа поперечного перерізу сердечника S , яка зростає при збільшенні потужності. Для осердя з нормальної трансформаторної сталі можна розрахувати за наближеною рекурентною формулою S :

$$S = \sqrt{P_1}$$

У якості матеріалу осердя вибрана електростатична сталь.

За значенням S визначається число витків на один вольт [4]. При використанні трансформаторної сталі:

$$w^1 = \frac{50}{S} = 3.16.$$

Діаметри дротів обмоток визначаються за значеннями струмів і виходячи з допустимої щільності струму, яка для трансформаторів приймається в середньому $2 \text{ A} / \text{мм}^2$ при потужності до 150Вт. При такій щільності струму діаметр проводу без ізоляції будь-якої обмотки обчислюється за наближеною рекурентною формулою:

$$d = 0.8 \cdot \sqrt{I}$$

Розрахунок стабілізатора напруги

Виходячи з вказаних умов поставленої задачі, використання високоточних елементів обробки інформації потребує живлення випрямленої напруги з найменшими відхиленнями по номіналу, тому встановлення схеми стабілізації напруги, яка включає стабілітрон, не буде задовольняти умовам через невелику площину охоплення стабілізації на ВАХ. Була вибрана транзисторна схема стабілізації напруги, описана вище. В даній схемі у якості схемотехнічного рішення реалізовані дві схеми транзисторного стабілізатора напруги для стабілізації додатної та від'ємної вихідної напруги випрямляча. Одна з таких схем наведена на рис. 12 нижче.

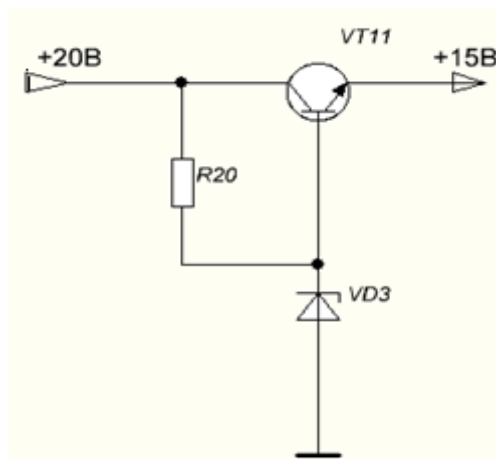


Рис. 12. Транзисторний стабілізатор напруги

У такому пристрої працюють стабілітрон V5 і регулюючий транзистор V6. Розрахунок дозволить вибрати всі елементи стабілізатора, виходячи із заданої вихідної напруги U_H і максимального струму навантаження I_H . Однак обидва ці параметра не повинні перевищувати параметри вже розрахованого випрямляча. Розрахунок стабілізатора ведуть в наступному порядку.

Визначаємо необхідну для роботи стабілізатора вхідну напругу

$$U_{\text{вип}} = U_H + 3 = 18\text{В.}$$

Розраховуємо максимально розсіювальну транзистором потужність:

$$P_{\text{трmax}} = 1,3 \cdot (U_{\text{вип}} - U_H) \cdot I_H$$

Вибираємо регулюючий транзистор. Його гранично допустима розсіювальна потужність повинна бути більше значення P_{max} , гранично допустима напруга між емітером і колектором - більше $U_{\text{вип}}$, а максимально допустимий струм колектора - більше I_H . Був вибраний кремнієвий транзистор TIP2955, для стабілізатора від'ємного живлення, та кремнієвий транзистор bc847b для позитивного.

Підбираємо необхідний стабілітрон. Його напруга стабілізації має дорівнювати вихідній напрузі стабілізатора, а значення максимального струму стабілізації перевищувати максимальний струм бази $I_{\text{б max}}$. В данному випадку підійде стабілітрон 1n4729a.

$$R_{\text{нег}} = \frac{U_{\text{вип}} - U_{\text{ст}}}{I_{\text{бmax}} - I_{\text{б}}}$$

$$R_{\text{поз}} = \frac{U_{\text{вип}} - U_{\text{ст}}}{I_{\text{бmax}} - I_{\text{б}}}$$

Розрахунок тригера Шмідта на ОП

На рис. 13 зображена система керування з вихідним каскадом

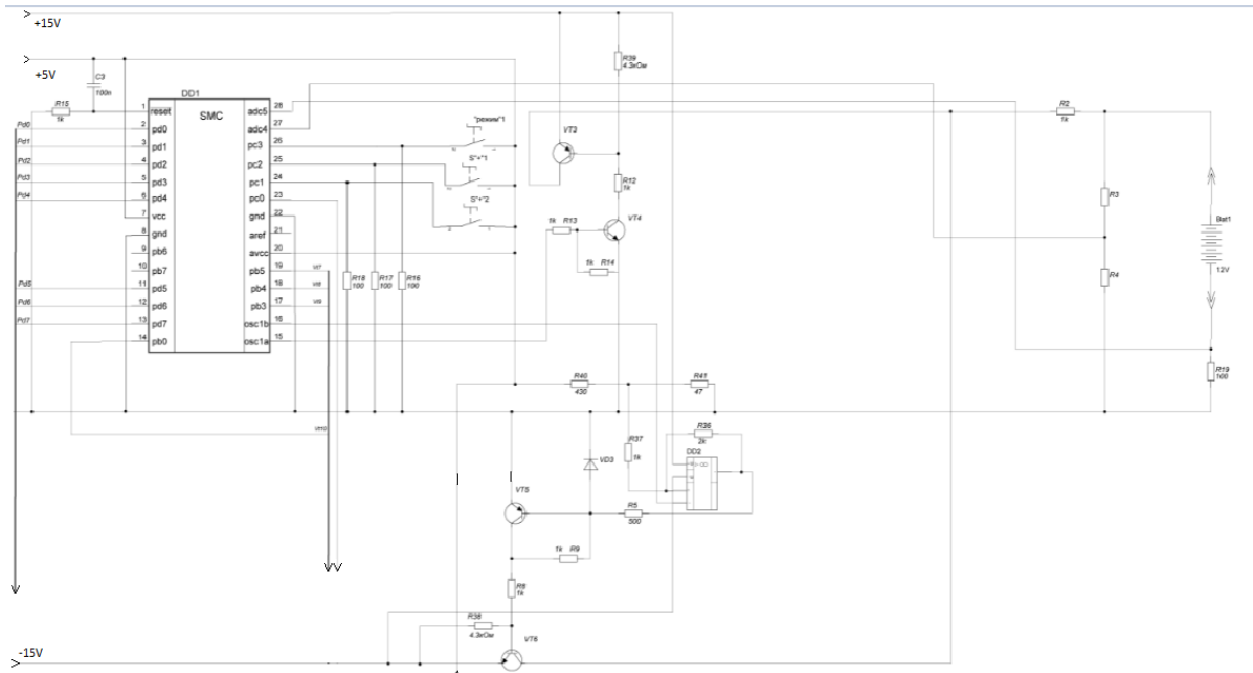


Рис. 13. Система керування з вихідним каскадом

Оскільки мікроконтролер ATmega8 не здатний керувати від'ємною складовою напруги, стає проблема реалізації негативної ШІМ для режиму заряджання АКБ. Для вирішення даної проблеми потрібно встановити інвертуючий пристрій, який буде перетворювати вихідну напругу мікроконтролера з ШІМ виходу. Тому був вибраний тригер Шмітта, реалізований на операційному підсилювачі. Живлення реалізоване від стабілізованої напруги +15В, -15В. Задача полягає у виборі операційного підсилювача при роботі з високою напругою живлення та розрахунку резисторів на колі зворотного зв'язку та неінвертованому вході.

Нижче на рис. 14 представлена схема включення тригера Шмітта, яка використана в принциповій схемі.

Сигнал номіналом 3.3В подається на інвертований вхід операційного підсилювача. Операційний підсилювач повинен працювати за напруги живлення +15В, -15В, у якості ОП був вибраний AD8057. AD8057 є підсилювачем напруги зворотного зв'язку. Він є підсилювачем низької потужності, який споживає низький струм та має широкий діапазон живлення від 3 В до 15 В.

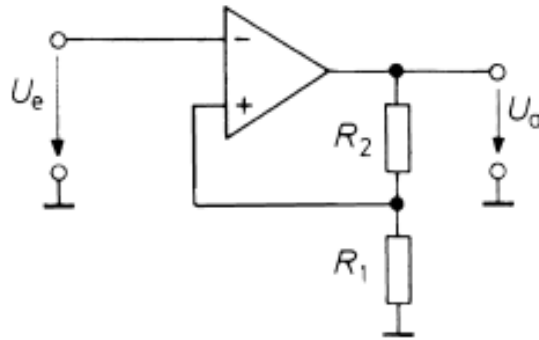


Рис. 14. Тригер Шмітта

У тригері Шмітта (рис. 14) гістерезис спрацьовування утворюється завдяки позитивного зворотного зв'язку, що охоплює компаратор через дільник напруги R_1 , R_2 . Якщо докладено велика негативна напруга U_e , має місце $U_a = U_{amax}$. Тому на неінвертуючому вході виникає потенціал

$$V_{Pmax} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} U_{amax}$$

$$V_{Pmin} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} U_{amin}$$

Відповідна передавальна характеристика приведена на рис. 15.

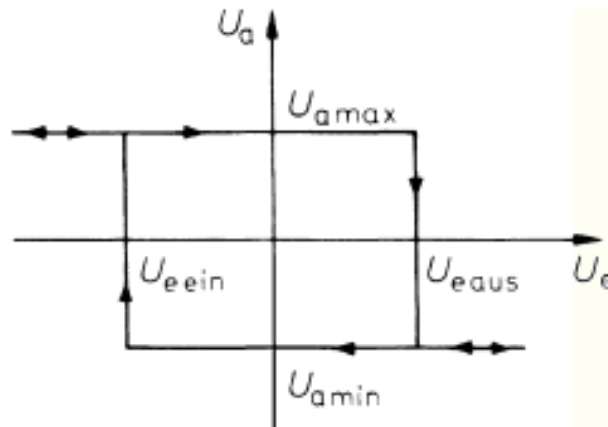


Рис. 15. Передавальна характеристика тригера Шмітта

$$U_{\text{ВВИМК}} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} U_{amax}$$

Розрахунок ключового транзистора

В даній схемі роль ключа виконує біполярний транзистор, його зображено на рис. 16.

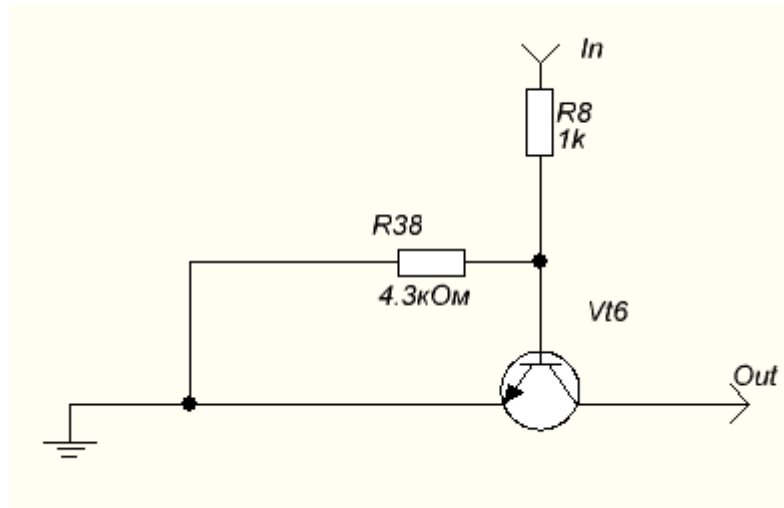


Рис. 16. Схема включення ключового транзистора

Для визначення схеми потрібно розрахувати резистори R38, R8, струми та напруги в транзисторі [6].

Формула розрахунку струму колектора наведена нижче:

$$I_k = \frac{U_{cc} - U_{кенаc}}{R_H}$$

де: $U_{кенаc}$ – напруга насичення біполярного транзистора (типово від 0.2 до 0.8В) у нашому випадку приймемо ; U_{cc} – напруга живлення; 0.5В; R_H – опір навантаження, в даному випадку це опір первинної обмотки трансформатора.

Струм колектора пов'язаний зі струмом бази співвідношенням:

$$I_k = I_b \cdot h_{21B}$$

де: h_{21B} – статичний коефіцієнт передачі струму, який для даного транзистора при 18мА в режимі насичення має величину 4.

Виведемо струм бази із формули:

$$I_b = \frac{I_k}{h_{21e}}$$

Для розрахунку базового резистора R38 використовується формула:

$$R_{38} = \frac{U_{cc} - U_{\text{бенас}}}{I_{\text{б}}}$$

де: $U_{\text{бенас}}$ – напруга насичення база-емітер, яка для величини струму колектора 29мА складає 0.6В.

Призначення резистора R19 – надійно закрити транзистор в той момент, коли він не підключений. Справа в тому, що якщо база буде «висіти в повітрі», вплив усіляких перешкод на неї просто гарантовано. Щоб надійно закрити транзистор, необхідно ввести його в режим відсічки, щоб потенціали емітера і бази були рівні. Тому значення цього резистора приймається, як 5-10 R_{38} . Виходячи з цих даних приймемо, що $R_8 = 50$ кОм.

Втрати потужності на транзисторі:

$$P = I_{\text{к}} \cdot U_{\text{кенас}}$$

Для живлення мікросхеми-буферу DD3, семи-сегментного індикатора DD4, мікроконтролера ATmega8, реалізований послідовно лінії 15В мікросхема-стабілізатор DD5 (LM7805), який понижує вхідну напругу 15В та на виході видає 5В для живлення вищевказаних елементів схеми.

Транзистори VT3 та VT6, які під'єднані після стабілізатора напруги, є ключовими елементами та реалізують широтно-імпульсну модуляцію. Відповідно VT3, виконаний як ррп, відкривається подачею сигналу на базу і замикаючим елементом якого слугує резистор R39 номіналом 4.3кОм, під'єднаний до лінії +15В, іншим виводом до бази. Оскільки реалізація управління комутацією ррп транзистора є неможливою через від'ємну базу, на її вхід встановлений ще один транзистор ррп типу VT4, такий самий як ключовий тр-р на лінії -15В, запираючим елементом якого слугує резистор R14. База транзистора VT4 сполучена з виходом мікроконтролера osc1a через обмежувальний резистор R13.

ШІМ реалізована транзистором VT6 є більш складною. Оскільки маємо справу з від'ємною лінією живлення, транзистор VT6 ррп-типу.

Тоді комутація повинна проводитися подачею позитивного рівня сигналу на базу транзистора, тому до бази через резистор R8 підключений рпр транзистор VT5, замикаючим елементом якого є резистор R9. Оскільки вихід мікроконтролера не може подати від'ємний сигнал, який потрібний для комутації транзистора VT5, встановлена схема тригера Шмітта, яка складається з операційного підсилювача DD2, резисторів R36, R37. Подача ШІМ сигналу реалізована з порту osc1b на інвертований вхід ОП. ОП в свою чергу живиться від напруги +15В та -15В.

До входів pc1, pc2, pc3 під'єднані кнопки, живлення 5В, резистори R16, R17, R18 заземлені, мають номінал 100Ом.

Індикатор реалізований у вигляді мікросхеми DD4 та відображає до 4-х розрядів одночасно. Оскільки він реалізований як 7-ми сегментний з точкою на кожному розряді, у нього є 8 логічних входів та 4 лінії живлення розрядів. Для нормальної роботи індикатора з мікроконтролером потрібна мікросхема-буфер DD3, яка підсилює вхідний сигнал. Живлення мікросхеми-буфер – 5В. Вхідні порти DD3 сполучені з входами мікроконтролера pd0-pd7. Лінії живлення розрядів, які включаються загальним анодом або катодо, підключені через транзистори VT7, VT8, VT9, VT10 до входів МК pb5, pb4, pb3, pb0 відповідно.

Резистори R3 та R4 представляють собою дільники напруги, між якими встановлений шунт для знаття показників напруги на навантаженні. Оскільки сигнал є аналоговим, він поступає на вхід аналого-цифрового перетворювача, який реалізований на вході adc4. АЦП з входом adc5 підключений до шунта, який відстежує струм навантаження, для знаття показників послідовно під'єднаний резистор R19.

Навантаження представлено у вигляді зовнішнього елемента, яким слугує 12В батарея.

Отже, у даній роботі було проведено огляд сучасних акумуляторних батарей, а саме літій-іонних та літій-полімерних акумуляторів, їх

характеристики, принцип роботи хімічних процесів в них, переvegli та недоліки, правила експлуатації. Запропоновано використання спеціальної схеми, яка реалізує асиметричне заряджання акумуляторів для забезпечення відновлюваних процесів в структурі кристалів літію, збільшенню кількості зарядів-розрядів, збільшення часу життя з плином часу. Схема була реалізована для 2-х режимів заряджання: режим тренування (заряджання асиметричним струмом з негативною складовою), режим заряджання постійним струмом. Для реалізації поставленої задачі було запропоновано використання в схемі мікроконтролера АТмега8 з подальшим обґрунтуванням рішення. Була розроблена схема-алгоритм, яка є основою для побудови прошивки мікроконтролера, реалізованої в середовищі CodeVision.

Результатом виконаного дипломного проекту є сконструйований зарядний пристрій, який при заряджанні в спеціальному режимі літій-іонної та літій-полімерної акумуляторної батареї впливає на відновлення процесів в електроліті, що спонукає працювати АКБ з більшим циклом зарядів-розрядів та більш довгою службою.

Література

1. Основи будови та експлуатації акумуляторних батарей : навч. посіб. / М. Б. Шелест, П. І. Гайда ; М-во освіти і науки України, Сум. держ. ун-т. – Суми : Сум. держ. ун-т, 2014. – 210 с. : іл. – Бібліогр.: с. 183 (5 назв).
2. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://monitor.net.ru/forum/info-448850.html> – «Зарядка АКБ асиметричным током».
3. Титце У., Шенк К. Полупроводниковая схемотехника. 12-е изд. Том I: Пер. с нем. – М.: ДМК Пресс, 2008. – 832 с.: ил.

4. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://oldoctober.com/ru/transformer_3 «Определение количества витков вторичной обмотки трансформатора»;
5. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://electricalschool.info/raschet-silovukh.html> – «Расчет силовых трансформаторов».
6. Кудрявцев И.А. Фалкин В.Д. Электронные ключи: Учеб. пособие. Самар. гос. аэрокосм. ун-т. Самара, 2002. 24с.