

Міністерство освіти і науки України
Чернівецький національний університет
імені Юрія Федьковича

В. В. Браїловський, В. Є. Савельєв, М. Г. Рождественська

ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ

Навчальний посібник

2-ге вид., допов. і переробл

Видавець ФОП Марченко Т.В.

Львів 2026

УДК 621.396.6(075.8)+621.391(075.8)

Б 872

*Друкується за ухвалою Вченої ради
Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича
(протокол №7 від 30 червня 2022 р.)*

Рецензенти :

Іванчук М. М., кандидат технічних наук, заступник директора з наукової роботи ПП «Артон» (м. Чернівці);

Іларіонов О. Є., кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри інтелектуальних технологій Київського національного університету імені Тараса Шевченка;

Рюхтін В. В., кандидат технічних наук, заступник директора з наукової роботи АТ «Центральне конструкторське бюро «РИТМ» (м. Чернівці);

Трифаненко Д. М., кандидат фізико-математичних наук, провідний фахівець ПП «Комп'ютера» (м. Чернівці)

Брайловський В. В., Савельєв В. Є., Рождественська М. Г.

Б 872 Електроживлення: навч. посіб. / В. В. Браїловський, В. Є. Савельєв, М. Г. Рождественська. –2-ге вид., допов. і переробл. Львів : Видавець ФОП Марченко Т.В., 2026. – 261 с.

ISBN 978-617-8682-78-1

Розглянуто основні види первинних і вторинних джерел електроживлення. Наведена порівняльна характеристика первинних джерел електроживлення. Значна увага приділена вторинним джерелам живлення. Викладено принципи роботи основних видів трансформаторів, випрямлячів, фільтрів, параметричних і компенсаційних стабілізаторів постійного та перемінного струмів.

Для студентів всіх форм навчання за спеціальністю «G5 – Електроніка, електронні комунікації, приладобудування та радіотехніка».

ISBN 978-617-8682-78-1

УДК 621.396.6(075.8) + 621.391(075.8)

© Браїловський В. В., Савельєв В. Є.,
Рождественська М. Г., 2026

© Видавець ФОП Марченко Т.В., 2026

Вступ

Функціонування майже всіх радіоелектронних пристроїв (РЕП) неможливе без джерел електроживлення. Електроживлення РЕП може здійснюватись від автономних (первинні) або мережевих (вторинні) джерел живлення. Для автономного живлення РЕП використовуються дизель-генератори, електрохімічні джерела, сонячні елементи, вітро - чи гідрогенератори.

Системи електроживлення постійного струму застосовуються, як правило, у тих випадках, коли величина споживаної потужності не перевищує 1,5 кВт. Значна перевага таких систем – простота резервування електричної енергії за допомогою акумуляторів. Недолік систем електроживлення постійного струму проявляється в тому разі, якщо електроживлення РЕП необхідно здійснювати постійною напругою, відмінною за величиною від напруги самого джерела постійного струму. Тоді виникає необхідність у подвійному перетворенні: спочатку електричну енергію джерела постійного струму необхідно перетворити на перемінну, зазвичай імпульсну, а потім знову на постійну з відповідними параметрами.

Системи електропостачання перемінного струму з частотою 50 Гц використовуються для електроживлення стаціонарних РЕП. Електроживлення РЕП морських і повітряних транспортних засобів, а також систем військового призначення, як правило, здійснюється від джерел електропостачання частотою 400 Гц. Основна перевага систем електропостачання перемінного струму – це можливість передавання електричної енергії на великі відстані. Така передача здійснюється на підвищених напругах. Підвищення напруги дає змогу суттєво зменшити втрати електричної енергії в лінях електропередач. Зменшення втрат пояснюється тим, що при заданій величині потужності знижується величина струму, а отже, зменшуються втрати енергії на опорі R лінії передачі. Недоліком систем електропостачання перемінного струму є технічна складність резервування (накопичення, акумуляування) електричної енергії.

На Новодністровській гідроакумуляуючій електростанції (ГАЕС) питання накопичення електричної енергії вирішено в оригінальний спосіб. У нічний час, коли споживання електроенергії зменшується, генерована електростанцією енергія використовується для роботи насосів, які збільшують різницю рівнів води до і після

греблі гідроелектростанції. Тому розрізняють два режими роботи ГАЕС, а саме – насосний і турбінний. Під час першого ГАЕС є «споживачем» надлишкової електроенергії, яка генерується самою гідроелектростанцією. В цей час на ГАЕС відбувається перекачування води з нижнього б'єфа у верхній б'єф, який по суті є водоймою, де акумулюється запас води. Під час другого, так званого турбінного режиму, вода з верхнього б'єфа тече в нижній, змушуючи турбіни обертатися (рис. 1).

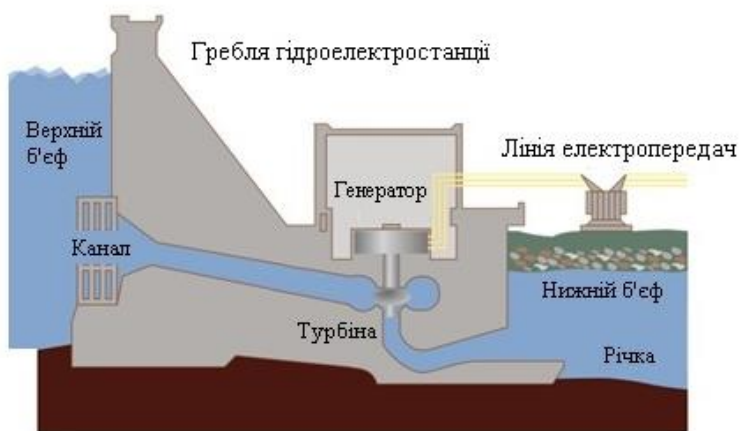


Рисунок 1 – Схематичне зображення гідроелектростанції в розрізі

Джерела електроживлення повинні відповідати принципам електромагнітної сумісності щодо РЕП, які живляться від них. Це питання особливо гостро постає у разі високочутливих РЕП. Наприклад, використання в системах зв'язку, системах IoT високочутливого і водночас стійкого до дії завад радіоканалу LoRa (на основі стандарту LoRaWAN), який використовується на не ліцензованих частотах 109, 433, 868, 915 МГц, забезпечується можливість демодуляції сигналів із рівнем на 20 дБ нижчих від рівня шуму. Отже, чим нижчий рівень шуму, тим більшою може бути відстань між передавачем і приймачем.

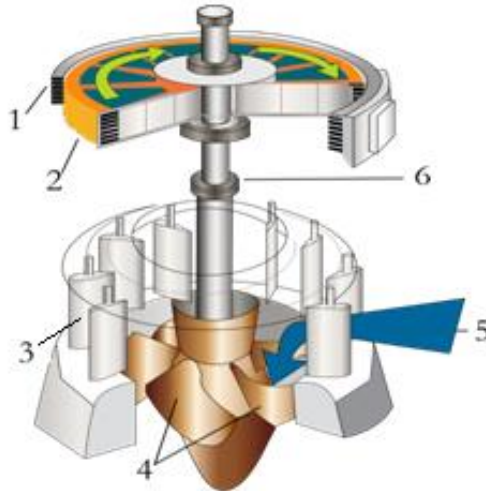


Рисунок 2 – Схематичне зображення генератора і турбіни гідроелектростанції. 1, 2 – статор та ротор генератора; 3 – жалюзі регулювання потоку води; 4 – власне турбіна; 5 – потік води; 6 – вал

Дотримання принципу електромагнітної сумісності забезпечується виконанням таких основних вимог: а) зниження рівня високочастотних електромагнітних завад, які надходять від джерела електроживлення на пристрої електроспоживання; б) поліпшення форми вихідного перемінного струму джерела електроживлення.

Вплив високочастотних електромагнітних завад джерел живлення на пристрої електроспоживання проявляється так:

- зростання струмів і напруг високочастотних електромагнітних завад, що виникають у пристроях електроспоживання внаслідок паралельного чи послідовного резонансів у них;
- прискорення процесів старіння ізоляції апаратури у пристроях електроспоживання, а отже, скорочення терміну її роботи;
- хибне спрацювання апаратури захисту у пристроях електроспоживання;
- потужні високочастотні електромагнітні завади спричиняють зростання втрат у трансформаторах і конденсаторах.

Зростання втрат у конденсаторах супроводжується зростанням їх температури, що знижує надійність роботи пристроїв електроспоживання. Як правило, параметри конденсаторів обираються з урахуванням величини допустимих перевантажень. Запас електричної міцності конденсаторів на перевантаження нормований на законодавчому рівні. У США він становить 80 %, а в Європі – 30 %.

При перехідних процесах, які можуть відбуватися у пристроях електроспоживання, можливе перевищення напруги в самій системі електроживлення. Перехідні процеси у пристроях електроспоживання, як правило, зумовлені комутацією кіл з реактивним характером опору. В мережах електроживлення напругою 220 В можливі перевищення напруги до 500 В двічі на день, а перевищення до 300 В може спостерігатися до 400 разів на день. У бортових системах електроживлення, наприклад літаків, напругою 120 В може спостерігатися короткочасне підвищення напруги до 1200 В. При постійній напрузі бортової мережі 24 В величина перевищення напруги може сягати величин порядку 700 В. Тому вхідні кола радіоелектронних пристроїв, які живляться від таких систем електроживлення, повинні бути захищені від можливих перевантажень.

Сучасні джерела живлення мають характеризуватися належною надійністю, високими технічними характеристиками та малими габаритними розмірами. У багатьох випадках обмежується рівень допустимих електромагнітних випромінювань джерела живлення. Відомо, що комп'ютерні блоки живлення – джерела досить потужних електромагнітних завад у широкому діапазоні частот. Для радіоелектронних пристроїв (РЕП) важлива величина коефіцієнта корисної дії (ККД). Цей параметр особливо важливий у випадку, якщо живлення РЕП здійснюється від автономних джерел електричної енергії.

Зростання ціни на електроенергію електричних мереж стимулювало використання РЕП з вищим ККД. Саме зростання ціни на електроенергію забезпечило активну заміну, наприклад, лампочок розжарювання на енергозберігаючі, а згодом і на світлодіодні (LED) джерела світла.

Станом на січень 2020 року електрогенеруючі підприємства України відпускали споживачам електроенергію за різними цінами. Причому різні підприємства електроенергетики мали різні ціни. Наприклад, собівартість 1 кВт/год електроенергії, генерованої на атомних станціях, становила 51 коп., водночас собівартість такої ж кількості електроенергії, генерованої гідроелектростанціями, – 36 коп. Собівартість електроенергії, генерованої ТЕС, становить 2,36 грн. Слід відзначити, що гідроелектростанції характеризуються високим, на рівні $90 \div 92$ %, ККД.

Собівартість електроенергії, генерованої відновлюваними джерелами енергії, значно вища. Наприклад, 1 кВт/год електроенергії, генерованої сонячними електростанціями, на ринку оцінюється не менше як в 5,07 грн (при собівартості 0,7 грн). Достатньо висока ціна такої електроенергії зумовлена відносно низьким коефіцієнтом корисної дії сонячних панелей та прагненням держави підтримати розвиток відновлюваних джерел енергії. Поки що величина коефіцієнта корисної дії сонячних панелей не перевищує $14 \div 20$ %. Зауважимо, що сонячного дня на 1 м² поверхні землі (територія України) припадає близько 1 кВт енергії Сонця.

Теоретично при використанні багатошарових сонячних панелей можна отримати ККД 50 %. У таких панелях передбачено використання чотирьох різних матеріалів. Кожен з них здійснює найбільш ефективне перетворення сонячної енергії в електричну у своєму діапазоні довжин хвиль випромінювання Сонця. Використані в багатошарових сонячних панелях напівпровідникові матеріали відрізняються шириною забороненої зони: GaInP – 1,88 eV; GaInAs – 1,41 eV; Si – 1,1 eV; Ge – 0,67 eV. Експериментальні зразки сонячних панелей, виготовлені за чотиришаровим принципом, характеризувалися ККД порядку 34 %. Один із недоліків сонячної енергетики – те, що вона не може працювати в маневрових режимах. Саме тому в енергетичному балансі вона конкурує з базовою, а саме атомною енергетикою, яка фактично постачає 85 % від загальної електроенергії. Тому низькі ціни для населення, по суті, компенсувалися за рахунок бюджету енергетичної компанії, формуючи значний дефіцит коштів на її рахунках. Розв'язати цю проблему можна, застосувавши такі заходи:

1. Оголошення тендерних пропозицій із найменшою собівартістю сонячної електроенергії. Ці угоди – не випадковість. Наприклад, в Чилі та Мексиці були укладені державні контракти з електрогенеруючими підприємствами, які продавали кіловат-годину за ціною, нижчою за 0,84 грн.

2. Обмеження потужності. Досвід експлуатації потужніших проєктів показав, що одна 100-мегаватна електростанція поступається за ефективністю десятці 10-мегаватним, розташованим на відстані одна від одної. Причина в тому, що атмосферний фронт, який проходить над 100-мегаватним полем сонячних панелей, вплине на все це поле одночасно, і генерація від такої електростанції впаде на десятки відсотків. Водночас розподілені станції значно стійкіші до подібних факторів природи.

3. Необхідно завершити будівництво гідроакумуючих електростанцій – Новодністровської, Канівської та Ташлицької. ГАЕС – один із важливих компонентів балансування енергосистеми. Особливо в умовах, коли вводяться щораз нові ВДЕ, для яких властива нерівномірність виробітку. Саме ГАЕС здатні накопичувати енергію у вигляді потенціальної енергії води перед греблею.

Для забезпечення стандартизованої величини мережевої напруги в умовах, наприклад, добового циклу її споживання електрогенеруючі підприємства об'єднуються в одну енергетичну систему. Загалом під терміном «об'єднана енергетична система» розуміють сукупність електростанцій, електричних і теплових мереж, інших об'єктів електроенергетики, об'єднаних спільним режимом виробництва, передавання та розподілу електричної енергії за умови їх централізованого управління.

Загальна тенденція до подорожчання електроенергії загострює питання підвищення ефективності її використання, що зумовлює необхідність підвищення коефіцієнта корисної дії тих чи інших радіоелектронних пристроїв і систем.

Частка джерел живлення, реалізованих за класичним лінійним принципом, у масо-габаритних параметрах радіоелектронних пристроїв становить до 30÷50 %. Тому об'єктивно постає проблема зменшення цього відсотка. На рис. 3, а, б зображено двосторонню електронну плату кінцевого давача системи

«розумний будинок». Давач реалізовано за принципом «все в одному». В реальному часі він формує і надсилає на шлюз інформацію про вологість, температуру, освітлення, прискорення, характерні для місця свого розташування.

На рис. 3, а видно сірий прямокутник (на ньому наліпка з написом T0004901C1) – це не що інше, як комірка гальванічного елемента CR2450. Гальванічний елемент характеризується ємністю 620 мА×год при напрузі 3 В. Незавжди помітити, що площа, зайнята акумулятором, становить не менше 50 % загальної площі самої плати.

Сучасні джерела живлення характеризуються високою об'ємною потужністю. Наприклад, японська компанія Rohm у рамках виставки SEATEC 2012 представила прототип модуля живлення на основі елементів із карбіду кремнію, вихідна об'ємна густина потужності якого становить 145 кВт/літр.

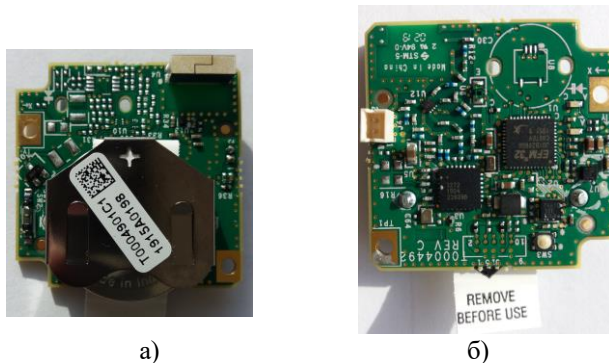


Рисунок 3 – Зовнішній вигляд електронної плати (з двох сторін) кінцевого давача вологості, температури й освітлення системи «розумний будинок». Фірма TEKTELIC, м. Калгарі (Calgary, Canada)

Пристрій здатний живити 60-кіловатний трифазний двигун перемінного струму. При цьому максимально допустима напруга пристрою досягає 600 В, а максимальний вихідний струм – 600 А. Джерело може використовуватись в автомобільній промисловості і зберігає свої характеристики навіть при температурах до 200 °С. В джерелі використано шість елементів, реалізованих на SiC MOSFET-транзисторах. Компанія використала конденсатори власної

розробки. При підвищенні температури до 225°C ємність розроблених конденсаторів знижується лише на 10 %. Традиційні керамічні конденсатори в таких умовах втрачають понад 50 % своєї ємності.

Матеріал даного курсу базується на окремих розділах математики, фізики (розділ «Електрика і магнетизм»), теорії електричних кіл та на знанні компонентної бази електронних пристроїв.

Проведення занять із дисципліни «Електроживлення» можливе в одному потоці для студентів різних освітніх програмами технічного спрямування. Є освітні програми в рамках яких не передбачено вивчення компонентної бази РЕА. В першу чергу, саме для цих студентів в навчальний посібник уведено розділ 6.

Автори виражають щиру вдячність рецензентам за час, витрачений ними на ознайомлення з рецензованим навчальним посібником, а також за висловлені побажання та зауваження, які враховано в процесі підготовки посібника і, без сумніву, поліпшили його зміст.

Список використаних абревіатур

AC – alternating current;
DC – direct current;
LED – light-emitting diode або світлодіод;
SMD – Surface Mounted Device;
АКБ – акумуляторна батарея;
ВАХ – вольт-амперна характеристика;
ВДЕ – відновлювані джерела енергії;
ВЧ – високі частоти;
ГАЕС – гідроакумуляююча електростанція;
ГЕС – гідрелектростанція;
ДОН – джерело опорної напруги;
ЕРС – електрорушійна сила;
ККД – коефіцієнт корисної дії;
ЛАТР – лабораторний автотрансформатор регульований,
НЗ – нікель- залізний (акумулятор);
НК – нікель-кадмієвий (акумулятор);
НЧ – низькі частоти;
ОП – операційний підсилювач;
РЕА – радіоелектронна апаратура;
РЕ – регулювальний елемент;
РЕП –пристрої;
РНО – регулятор напруги однофазний;
РНТ – регулятор напруги трифазний;
СК – схема керування;
СП – система порівняння;
СЧ – середні частоти;
ТЕС – теплова електростанція;
ТКІ – температурний коефіцієнт індуктивності;
ТКН – температурний коефіцієнт напруги;
ХДС – хімічні джерела струму.

Зміст

Вступ	3
1. Джерела електроживлення	12
1.1. Загальні відомості	12
Контрольні запитання та завдання	19
2. Випрямлячі	24
2.1. Однотактні та двотактні випрямлячі мережевої напруги.	24
2.2. Випрямлячі із множенням випрямленої напруги.....	40
2.3. Регулювання випрямленої напруги.....	46
2.4. Практична реалізація випрямлячів	55
Контрольні запитання та завдання	58
3. Згладжувальні фільтри.	67
3.1. LC-фільтри.	67
3.2. Резонансні та транзисторні фільтри.	80
3.3. Багатокаскадні згладжувальні фільтри.	86
Контрольні запитання та завдання.	89
4. Стабілізатори напруги (струму).	94
4.1. Параметричні стабілізатори постійної напруги	96
Контрольні запитання та завдання.	120
4.2. Компенсаційні стабілізатори	123
4.3. Захист стабілізатора від струмового перевантаження.	131
Контрольні запитання та завдання.	134
4.4. Імпульсні стабілізатори	137
4.5. Стабілізатор постійної напруги з регулюванням у колі перемінного струму.	147
4.6. Стабілізатори перемінної напруги	153
Контрольні запитання та завдання.	160
5. Первинні джерела електричної енергії	162
5.1. Гальванічні елементи.	162
5.2. Акумулятори лужні та кислотні.....	166
5.3. Заряджання свинцево-кислотного акумулятора	169
5.4. Основні характеристики свинцево-кислотного акумулятора.	170
Контрольні запитання та завдання.....	173
6. Компоненти та вузли джерел електроживлення	176
6.1. Транзистори в джерелах живлення	176

Контрольні запитання та завдання.	188
6.2. Діоди. Діодні мости. Тиристори.....	189
Контрольні запитання та завдання.	203
6.3. Трансформатори струму, напруги. Дроселі	205
Контрольні запитання та завдання.	234
Додатки	237
Додаток А. Метод перетину характеристик.	237
Додаток Б. Динамічний опір та методики його	
визначення	240
Додаток В. Джерело живлення з безтрансформаторним	
входом.	243
Додаток Г. Зарядний пристрій мобільного телефону	252
Література.	256

Навчальне видання

Автори:

Брайловський Володимир Васильович – кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри радіотехніки та інформаційної безпеки Чернівецького національного університету ім. Ю.Федьковича;
Савельєв Володимир Євгенович – начальник відділу Управління Державної служби спеціального зв'язку та захисту інформації України у Чернівецькій області;

Рождественська Маргарита Григорівна – кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри радіотехніки та інформаційної безпеки Чернівецького національного університету ім. Ю.Федьковича.

ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ

Навчальний посібник

2-ге вид., допов. і переробл.

Формат 60x84/16. Папір офсетний. Друк цифровий.

Гарнітура Times New Roman.

Умовн. друк. арк. 15,17.

Видавець Марченко Т. В.

м. Львів, 79053, Україна, Перфецького 11 А, тел.+380503701957

e-mail: magnol06@ukr.net

<https://magnolia.lviv.ua>

Видавець Марченко Т. В.

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до Державного реєстру видавців, виготовлювачів і розповсюджувачів видавничої продукції: серія ДК № 6784 від 30.05.2019 року, видане Державним комітетом інформаційної політики, телебачення та радіомовлення України

Надруковано у друкарні видавця ФОП Марченко Т.В.