

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

**Український державний університет
науки і технологій**

Кафедра «Локомотиви»

В авторській редакції

**ОСНОВИ ЕЛЕКТРОНІКИ ТА
АВТОМАТИКИ РУХОМОГО СКЛАДУ**

Навчально-методичні рекомендації
до виконання розрахунково-графічної (контрольної) роботи

Електронне видання

ДНІПРО
2024

Упорядники:
О. Б. Очкасов, А. Є. Десяк

Електронне видання

Схвалено Групою забезпечення якості освітньої програми
273 «Залізничний транспорт»

Протокол № 8 від 30.05.2024

О 75 Основи електроніки та автоматики рухомого складу : навчально-методичні рекомендації до виконання розрахунково-графічної (контрольної) роботи / упоряд. О. Б. Очкасов, А. Є. Десяк ; Укр. держ. ун-т науки і технологій. – Електрон. вид. – Дніпро : УДУНТ, 2024. – 18 с.

Навчально-методичні рекомендації призначені для використання студентами денної та безвідривної форм навчання спеціальності 273 «Залізничний транспорт» під час виконання контрольної роботи з дисципліни «Основи електроніки та автоматики рухомого складу».

Навчально-методичні рекомендації містять основні теоретичні положення для засвоєння матеріалу, інструкції до виконання розрахунково-графічної роботи, вимоги до аналізу результатів та оформлення роботи.

Табл. 6. Бібліогр.: 6 назв.

ЗМІСТ

ВСТУП	4
1 Розрахунок локомотивної випрямної установки	6
1.1 Розрахунок кількості вентилів у випрямній установці	6
1.2 Розрахунок ККД випрямної установки	10
1.3 Розрахунок ефективної еквівалентної температури переходу	12
Бібліографічний список	14
Додаток А. Вихідні дані для вибору параметрів випрямної установки	15
Додаток Б. Параметри рекомендованих діодів та охолоджувачів	16

ПЕРЕДМОВА

Дисципліна «Основи електроніки та автоматики рухомого складу» відноситься до вибіркової компоненти циклу професійної підготовки освітньо-професійної програми (ОП) «Локомотиви та локомотивне господарство» першого (бакалаврського) рівня вищої освіти.

В курсі навчальної дисципліни «Основи електроніки та автоматики рухомого складу» системно розглядаються основи теорії напівпровідникової техніки, мікроелектроніки і автоматики. Вивчаються принципи дії, вибір та розрахунки параметрів і характеристик напівпровідникових перетворювачів, побудови автоматичних систем управління рухомого складу.

Метою дисципліни є досягнення компетентностей, які основані на зазначених в освітньо-професійній програмі (ОП), а саме:

- ЗК 5. Здатність розробляти та управляти проектами;
- ЗК 10. Здатність зберігати та примножувати моральні, культурні, наукові цінності і досягнення суспільства на основі розуміння історії та закономірностей розвитку предметної області, її місця у загальній системі знань про природу і суспільство та у розвитку суспільства, техніки і технологій, використовувати різні види та форми рухової активності для активного відпочинку та ведення здорового способу життя;
- СК 2. Здатність розрізняти типи та серії локомотивів, їх системи, агрегати та вузли з визначенням вимог до їхньої конструкції, параметрів та характеристик;
- СК 3. Здатність проведення вимірних експериментів з визначення параметрів та характеристик локомотивів, їх агрегатів, систем та елементів;
- СК 4. Здатність розробляти та впроваджувати технологічні процеси, технологічне устаткування і технологічне оснащення, засоби автоматизації та механізації при виробництві, експлуатації, ремонті та обслуговуванні локомотивів, їх систем, агрегатів та вузлів;
- СК 5. Здатність розробляти, оформлювати та впроваджувати у виробництво документацію щодо технологічних процесів будівництва, експлуатації, ремонту та обслуговування локомотивів, їх систем, агрегатів і вузлів та інших інструктивних вказівок, правил та методик;
- СК 6. Здатність розробляти з урахуванням безпечних умов використання, міцнісних, естетичних і економічних параметрів технічні завдання і технічні умови на проектування локомотивів, їх систем, агрегатів і вузлів; складати плани розміщення устаткування, технічного оснащення та організації робочих

місце; розраховувати завантаження устаткування та показники якості продукції;

- СК 7. Здатність аналізувати технологічні процеси виробництва й ремонту локомотивів як об'єкта управління, застосовувати експертні оцінки для вироблення управлінських рішень щодо подальшого функціонування підприємства з оцінкою якості його продукції;
- СК 8. Здатність організувати експлуатацію локомотивів, їх систем, агрегатів і вузлів, з обґрунтуванням структури управління експлуатацією, технічного обслуговування та ремонту;
- СК 10. Здатність застосовувати методи та засоби технічних вимірювань, технічні регламенти, стандарти та інші нормативні документи при технічному діагностуванні локомотивів, їх систем, агрегатів і вузлів.

Розрахунково-графічну (контрольну) роботу включені до змісту дисципліни «Основи електроніки та автоматики рухомого складу» з метою забезпечення практичного, теретичного, творчого та інженерного розвитку студентів у галузі електроніки та автоматики, а також формування необхідних компетентностей для подальшої професійної діяльності у сфері локомотивного господарства.

Виконання розрахунково-графічної роботи сприяє досягненню таких результатів навчання:

- пояснювати призначення напівпровідникових елементів в електричних перетворювачах;
- складати електричні схеми найпростіших перетворювачів електричного сигналу;
- формувати вимоги до випрямних установок локомотивів та інших перетворювачів електричної енергії побудованих на базі напівпровідникових елементів;
- виконувати розрахунки параметрів випрямних установок локомотивів;
- виконувати аналіз документації щодо експлуатації, ремонту та обслуговування напівпровідникових перетворювачів локомотивів.

1 РОЗРАХУНОК ЛОКОМОТИВНОЇ ВИПРЯМНОЇ УСТАНОВКИ

Вихідні дані для розрахунку вибираються відповідно навчальному шифру студента. Таблиця вибору вихідних даних наведена в Додатку А.

Вихідними даними для розрахунку є:

- прототип випрямної установки локомотива.
- номінальне значення випрямленої напруги, $U_d, В$;
- номінальне значення випрямленого струму, $I_d, А$;
- тип та клас вентиля.

При виконанні розрахунку необхідно визначити:

- кількість вентилів в одному плечі випрямної установки;
- кількість вентилів у випрямній установці;
- ККД випрямної установки;
- ефективну еквівалентну температуру напівпровідникового переходу.

В контрольній роботі перед початком розрахунків необхідно привести технічні характеристики вентилів відповідно завдання, схему випрямної установки локомотива прототипу та її технічні характеристики. Параметри вентилів приведено в Додатку Б, крім того студент може використовувати рекомендовану літературу, довідникові матеріали, каталоги підприємств розробників напівпровідникових приладів.

На основі проведених розрахунків студент приводить схему одного плеча розрахованої випрямної установки, технічні характеристики обраного охолоджувача.

1.1 Розрахунок кількості вентилів у випрямній установці

Тип вентиля і його параметри суттєво впливають на енергетичні й техніко-економічні показники силової випрямної установки. При проектуванні випрямних установок необхідно застосовувати вентиля з найбільш високими показниками по струму й зворотній напрузі для того, щоб загальне число вентилів було по можливості менше.

Кількість послідовно з'єднаних вентилів у плечі випрямляча визначається:

$$n_{\text{нос}} = \frac{k_n \cdot k_n \cdot U_{\text{зв.мах}}}{k_B \cdot U_n}, \quad (1)$$

де $U_{\text{зв.мах}}$ – максимальне значення зворотної напруги яка прикладається до плеча випрямної установки;

U_n – номінальна зворотна напруга вентиля, приймається як клас вентиля помножений на 100;

k_i – коефіцієнт нерівномірності розподілу напруги по послідовно включених вентилях;

k_n – коефіцієнт можливих перенапруг;

k_e – коефіцієнт зворотної напруги, що короткочасно допускається, на вентилі.

Максимальна зворотна напруга прикладена до плеча випрямної установки:

$$U_{зв.мах} = k_{зв} U_d, \quad (2)$$

де $k_{зв}$ – коефіцієнт що залежить від типу випрямляча (див табл. 1.)

U_d – номінальна випрямлена напруга на виході перетворювача.

Таблиця 1

Основні співвідношення в схемах випрямних перетворювачів

Схема	$U_d/U_{2\phi}$ (K_U)	$U_{зв.мах}/U_d$ ($k_{зв}$)	Частота пульсацій f , Гц	Коефіцієнт пульсацій, Кп
Однофазна мостова	0,9	1,57	100	0,67
Трифазна мостова	2,34	1,05	300	0,057

Номінальна зворотна напруга вентиля приймається відповідно типу вентиля вказаного у вихідних даних. Основні параметри вентилів приведені у рекомендованій літературі [2].

Коефіцієнт можливих перенапруг k_n визначається дослідним шляхом. При роботі електропередачі в області відсічення по нарузі до вентилів силового випрямляча буде прикладена підвищена напруга. Величина його звичайно не перевищує 10 %. В розрахунку рекомендується приймати k_n в межах 1,05...1,1.

Коефіцієнт нерівномірності розподілу напруги k_n при послідовнім з'єднанні вентилів визначається розбіжністю їх вольт-амперних характеристик і різницею в часі відновлення замикаючої здатності вентилів. Він визначається по формулі:

$$k_n = 0,75 + \frac{0,25}{n}, \quad (3)$$

де n – число послідовно включених вентилів. Для лавинних вентилів $k_i = 1$.

Коефіцієнт короткочасного підвищення зворотної напруги що допускається на вентилі k_e залежить від типу кремнієвих вентилів що використовуються. В ро-

зрахунках величина приймається $k_g = 1$. Застосуванню схеми включення венти-лів силової випрямної установки без послідовного з'єднання венти-лів і без запо-біжників в умовах тяги перешкоджає та обставина, що при пробіі одного венти-ля виникає внутрішнє коротке замикання в силовому ланцюзі електропередачі локомотива. При цьому випрямна установка виходить із ладу й для відновлення її необхідно відшукати пробитий вентиль, що при глухому з'єднанні венти-лів зробити складно. Таким чином, або при розрахунках необхідно додавати один послідовно включений вентиль, або при проектуванні випрямної устано-вки передбачати обладнання індикації й відключення пробитого венти-ля. Що стосуєть-ся вибору типу венти-ля, те тут перевага віддається лавинним вентилям, які допу-скають роботу без шунтувальних резисторів і RC-ланцюжків.

Струмові навантаження в силовій схемі електропередачі локомотива при-водять до необхідності паралельного включення венти-лів у кожному плечі ви-прямної установки. Розрахунки кількості паралельних венти-лів в одному плечі випрямляча ведеться за заданим значенням максимального випрямле-ного струму випрямної установки $I_{d \max}$ (додаток А.1).

Тепловозні випрямні установки складаються з двох трифазних мостів які працюють паралельно, тобто на кожний міст припадає $I_{d \max} / 2$. Електрово-зні перетворювачі з'єднуються по схемі декількох однофазних мостів, кожен випрямний міст живить групу тягових електродвигунів. При розрахунку еле-ктровозних перетворювачів значенням максимального струму $I_{d \max}$ прий-мається рівним номінальному вихідному струму.

Середній струм у плечі моста I_{cp} визначається залежно від типу випрям-ної установки на основі аналізу роботи перетворювача, а саме:

– два паралельно з'єднані трифазні мости (здебільшого застосовується на тепловозах з електричною передаючою змінно-постійного струму):

$$I_{cp} = \frac{I_{d \max}}{2} \cdot 0,33; \quad (4)$$

– однофазна мостова схема (здебільшого застосовується на електровозах з випрямною установкою):

$$I_{cp} = I_{d \max} \cdot 0,5. \quad (5)$$

При температурі навколишнього повітря понад 40 °С для кремнієвих вен-ти-лів величина прямого струму повинна бути знижена. Для $t = 50$ °С вона становить $0,9I_{в.ном}$.

Через розбіжність вольт-амперних характеристик венти-лів навантаження між паралельними вентилями може розподілятися нерівномірно, що викликає

необхідність додаткового зниження припустимого струму через вентиль. Враховуючи цю обставину тривале припустиме середнє значення струму через вентиль визначають по формулі:

$$I_{\text{в}} = I_{\text{в.ном}} \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \quad (6)$$

де $I_{\text{в.ном}}$ – максимальний допустимий середній прямий струм через вентиль.

$I_{\text{в.ном}}$ приймається відповідно довідниковим даним. В довідниках $I_{\text{в.ном}}$ позначається як $IF(AV)$;

k_1 – коефіцієнт, що враховує нерівномірність розподілу струму по паралельно з'єднаних вентилях, k_1 приймається в межах 0,8...0,9;

k_2 – коефіцієнт, що враховує температуру охолоджувального повітря, $k_2 = 0,9$;

k_3 – коефіцієнт, що враховує швидкість охолоджувального повітря k_3 приймається в межах 0,98...1.

Кількість паралельних ланок у плечі випрямної установки:

$$n_{\text{нар}} = \frac{I_{\text{ср}}}{I_{\text{в}}} \quad (7)$$

де $I_{\text{ср}}$ – струм через одне плече випрямної установки.

Тривале припустиме середнє значення струму через вентиль $I_{\text{в}}$ для подальших розрахунків слід уточнити для конкретної обраної кількості паралельних ланок у плечі випрямної установки:

$$I_{\text{в}} = \frac{I_{\text{ср}}}{n_{\text{нар}}} \quad (8)$$

Загальна кількість вентилів випрямної установки:

$$N = n_{\text{мост}} \cdot n_{\text{плеч}} \cdot n_{\text{нос}} \cdot n_{\text{нар}} \quad (9)$$

де $n_{\text{мост}}$ – кількість паралельно включених випрямних мостів;

$n_{\text{плеч}}$ – кількість плечей у випрямній установці локомотива.

Кількість паралельно включених випрямних мостів та кількість плечей у випрямній установці локомотива обирається згідно схеми з'єднання плеч ВУ.

1.2 Розрахунок ККД випрямної установки

Одним з основних показників електропередачі локомотива є її коефіцієнт корисної дії, який залежить від ККД випрямляча, а також інших елементів електричної передачі.

Коефіцієнт корисної дії випрямної установки:

$$\eta = \frac{P_d}{P_d + \sum \Delta P + \Delta P_{охл}}, \quad (10)$$

де P_d – потужність на виході випрямної установки.

$$P_d = U_d \cdot I_d. \quad (11)$$

де $\Delta P_{охл}$ – потужність втрат на вентиляцію визначається дослідним шляхом.

В розрахунках приймається $\Delta P_{охл} = 0,005 \div 0,01 P_d$;

$\sum \Delta P$ – втрати потужності в N - вентилях

$$\sum \Delta P = \Delta P \cdot N, \quad (12)$$

де ΔP – втрати потужності в одному вентилі:

$$\Delta P = \Delta P_1 + \Delta P_2, \quad (13)$$

де ΔP_1 – втрати потужності при проходженні прямого струму навантаження;

ΔP_2 – додаткові втрати потужності при комутації вентилів протягом не-
провідної частини періоду.

Основні втрати в одному вентилі:

$$\Delta P_1 = U_{T0} \cdot I_{\epsilon} + r_T \cdot k_{\phi}^2 \cdot I_{\epsilon}^2, \quad (14)$$

де U_{T0} – гранична напруга вентиля;

I_{ϵ} – середнє значення анодного струму, що проходить через вентиль;

r_T – усереднений динамічний опір прямої гілки вольт-амперної характеристики;

k_{ϕ} – коефіцієнт форми струму, приймаємо $k_{\phi} = 1$.

Додаткові втрати у вентилі:

$$\Delta P_2 = \Delta P_{21} + \Delta P_{22}, \quad (15)$$

де ΔP_{21} – втрати у вентилі при протіканні зворотного струму;

ΔP_{22} – втрати, пов'язані з комутацією вентилів.

Втрати потужності у вентилі при протіканні зворотного струму можуть бути обчислені в такий спосіб:

$$\Delta P_{21} = I_{RRM} \cdot U_{RRM}, \quad (16)$$

де I_{RRM} – початковий зворотний струм через вентиль;

U_{RRM} – значення імпульсної зворотної напруги на вентилі, приймається

$$U_{RRM} = U_{зв.мах}.$$

Комутаційні втрати враховують значення потужності, що виділяється у вентилі в процесі його включення. Комутаційні втрати необхідно враховувати тільки у випадку роботи вентилів при високих частотах. При використанні вентилів на частоті до 400 Гц величина комутаційних втрат незначна й у розрахунку звичайно до уваги не приймається. Тому в розрахунку випрямної установки ΔP_{22} приймаємо різаним нулю.

Сума втрат ΔP_{21} і ΔP_{22} для локомотивних випрямних установок становить 2÷3 % основних втрат.

1.3 Розрахунок ефективної еквівалентної температури переходу

Електричні параметри силових напівпровідникових приладів, як правило, залежать від температури переходу. Якщо температура перевищує відповідне значення, то зменшується клас приладу, збільшується струм витоку, час включення. Контроль температури переходу дає точне уявлення про можливість роботи напівпровідникового приладу в тому чи іншому режимі. В наслідок того, що неможливо виконати безпосереднє вимірювання температури напівпровідника в процесі експлуатації використовуються непрямі методи, які базуються, як правило, на температурній залежності зміни одного з параметрів. Такі методи як правило не дають можливості визначити температуру в найбільш нагрітих частинах переходу, тому визначена непрямыми методами температура напівпровідникової структури називається усередненою (ефективною) температурою переходу.

Розрізняють два граничні значення температури переходу: максимально допустиме і мінімально допустиме.

Максимально допустима температура переходу – це температура, яка не повинна перевищуватись в тривалих сталих режимах експлуатації.

Мінімально допустима температура переходу визначає межу температури, менше якої не допускається не тільки робота приладу, а і його зберігання. Матеріали, які використовуються в конструкції напівпровідникових приладів, неоднорідні, і мають різні температурні коефіцієнти лінійного розширення. При низьких температурах можуть виникати значні вигинаючі зусилля, які призведуть до руйнування кремнію.

При теплових розрахунках напівпровідникових приладів використовується поняття теплового опору, яке дорівнює відношенню перепаду температур до переданої потужності, розмірність теплового опору – $^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$.

Теплові втрати, які виникають при протіканні струму через напівпровідниковий прилад, виділяються в невеликому об'ємі напівпровідникової структури. Звідси тепловий потік проходить через ряд шарів різних матеріалів, з яких виготовляються термокомпенсатори (вольфрам, молібден), прокладки (срібло, олово), основа, охолоджувач, після чого тепловий потік розсіюється в зовнішню середу. Кожен з перелічених шарів створює опір розповсюдженню теплового потоку, внаслідок чого утворюється перепад температури між напівпровідником і кожним з шарів.

Таким чином, для тиристора або діода, змонтованого на охолоджувачі (радіаторі), загальний тепловий опір передачі тепла від напівпровідникового переходу в зовнішнє середовище є сума теплових опорів з'єднань:

- перехід – корпус приладу R_{thic} ,
- корпус приладу – контактна поверхня охолоджувача R_{thch} ,
- контактна поверхня охолоджувача – охолоджуюче середовище R_{thha} ,

– перехід – охолоджуюче середовище R_{thja} .

Сумарний тепловий опір передачі тепла від напівпровідникової структури визначається за формулою:

$$R_{thja} = R_{thic} + R_{thch} + R_{thha}. \quad (17)$$

Значення відповідних теплових опорів необхідних для розрахунку приведені в Додатку Б в рекомендованій літературі [8, 11]. Величина теплового опору перехід корпус R_{thic} приводиться в якості характеристики напівпровідникового приладу.

В рекомендованій літературі та інших довідниках для кожного з напівпровідникових приладів вказується рекомендований тип охолоджувача та відповідне значення теплового опору корпус приладу – контактна поверхня охолоджувача R_{thih} . Значення теплового опору контактна поверхня охолоджувача – охолоджуюче середовище R_{thha} приводиться в рекомендованій літературі [8, 11] як характеристика для відповідного типу охолоджувача.

При виборі значення теплового опору контактна поверхня охолоджувача – охолоджуюче середовище необхідно враховувати що на локомотивах перетворювачі обладнанні системами примусової вентиляції. Швидкість охолоджуючого повітря приймаємо 6 м/с.

Температура переходу напівпровідникового кристалу T_j визначається за формулою

$$T_j = T_a + \Delta P \cdot R_{thja}, \quad (18)$$

де T_a – температура охолоджуючого середовища, приймаємо $T_a = 40$ °С.

Розраховане значення ефективної температури переходу напівпровідникового кристалу T_j порівнюється з максимально допустимою температурою переходу T_{jm} . Якщо розрахункове значення температури переходу менше максимально допустимого значення температури, то напівпровідниковий прилад та відповідний йому охолоджувач обрані вірно. У разі перевищення максимально допустимого значення температури кристалу необхідно змінити тип охолоджувача, в разі якщо цього виявиться не достатньо, за погодженням з викладачем, змінити тип напівпровідникового приладу чи збільшити кількість вентилів для зменшення навантаження по струму.

По завершенню розрахунків в контрольній роботі необхідно зробити висновки. У висновку порівняти ККД та кількість вентилів випрямної установки прототипу і розрахованої випрямної установки. Пояснити причини які впливають величину ККД. На основі проведених розрахунків студент при-

водить схему одного плеча розрахованої випрямної установки та технічні характеристики обраного охолоджувача.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Колонатєвський Ю. П., Сосков А. Г. Електроніка і мікросхемотехніка : підручник / за ред. А. Г. Соскова. Київ : Каравела, 2007. 384 с.
2. Стахів П. Г., Коруд В. І., Гамола О. Є. Основи електроніки: функціональні елементи та їх застосування : підручник. Львів : «Новий Світ–2000», «Магнолія плюс», 2003. 208 с.
3. Основи електроніки : навч. посіб. / Васюра А. С., Дорощенко Г. Д., Кожем'яко В. П., Лисенко Г. Л. Вінниця : ВНТУ, 2018. 197 с.
4. Болюх В. Ф., Данько В. Г. Основи електроніки і мікропроцесорної техніки : навч. посіб. Харків : НТУ «ХПІ», 2011. 257 с.
5. Основи електроніки та автоматики рухомого складу : методичні вказівки до виконання лабораторних робіт / уклад.: О. Б. Очкасов, Р. О. Коренюк, Д. В. Черняєв ; Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. Дніпропетровськ : Вид-во ДНУЗТ ім. акад. В. Лазаряна, 2012. Ч. 2. 26 с.
6. Основи електроніки і автоматики артилерійського озброєння : підручник / Дерев'янчук А. Й., Кобяков О. М., Ляпа М. М., Красюк О. П. Суми : Сумський державний університет, 2014. 338 с.

ДОДАТОК А

Вихідні дані для вибору параметрів випрямної установки

Таблиця А.1

Вихідні дані для вибору параметрів випрямної установки

Вихідні дані	Остання цифра навчального шифру студента									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Локомотив прототип	2ТЭ116	ТЭМ7	2ТЭ121	2ТЭ136	ТЭ127	ТЕП 150	ВЛ82	ВЛ80к	ВЛ80Р	ОПЭ1
Прототип випрямної установки (ВУ)	УВКТ5	УВКТ8	УВКТ9А	УВКТ11	УВКТ12	ВУТГ 5400/810	ВУК-6700М	ВУК4000Л	ВИП	ВУК-7000
Схема з'єднання плеч ВУ	два паралельно з'єднані трифазні мости						однофазна мостова схема			
Номінальний випрямлений струм $I_{d \max}$, А	5700	6800	5400	8000	4400	5400	1870	3200	1760	3000
Номінальна випрямлена напруга U_d , В	750	800	750	1000	780	810	1200	1350	1250	4000

Таблиця А.2

Вихідні дані для вибору типу вентиля

Вихідні дані	Остання цифра навчального шифру студента										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Передостання цифра навчального шифру студента	1	ВЛ200	ДЛ 161-200	ДЛ173-4000	ДЛ161-200	ДЛ153-1600	ДЛ161-200	ДЛ153-1600	ВЛ320	ТЛ371-250	ВЛ200
	2	ДЛ161-200	ДЛ123-320	ДЛ 161-200	ДЛ171-320	ДЛ153-2000	ДЛ171-320	ДЛ153-2000	ДЛ153-2000	ТЛ371-320	д143-630
	3	ДЛ133-500	ДЛ153-1600	ДЛ123-320	ДЛ123-320	ДЛ173-4000	ДЛ123-320	ДЛ173-4000	д133-500	Т3-320	д143-800
	4	д133-400	ВЛ200	ДЛ153-1600	ДЛ133-500	ВЛ320	ДЛ133-500	ВЛ320	ДЛ 171-320-12	Т9-250	ДЧ143-800
	5	ДЛ 171-320	ВЛ320	ВЛ200	ДЛ153-1250	ВЛ200	ДЛ153-1250	ВЛ200	ДЛ153-1250	Т2-320	ДЛ173-4000
	6	ДЛ173-4000	ДЛ153-2000	ДЛ133-500	ДЛ153-1600	ДЛ161-200	ДЛ153-1600	ДЛ161-200	ВЛ320	ТЛ4-250	д133-400
	7	ДЛ153-1250	ДЧ143-800	ДЛ153-1250	ДЛ153-2000	ДЛ171-320	ДЛ153-2000	ДЛ171-320	ДЛ123-320	ТЛ2-200	ДЛ 161-200-10
	8	ВЛ320	ДЛ 171-320	ВЛ320	ДЛ173-4000	ДЛ123-320	ДЛ173-4000	ДЛ123-320	ДЛ153-1600	ТЛ2-160	ДЛ 171-320-12
	9	ДЛ123-320	ДЛ153-1250	ДЛ153-2000	ВЛ320	ДЛ133-500	ВЛ320	ДЛ133-500	ДЛ161-200	ТЛ171-250	ДЛ171-320
	0	ДЛ153-1600	ДЛ173-4000	ДЛ171-320	ВЛ200	ДЛ153-1250	ВЛ200	ДЛ153-1250	ВЛ200	ТЛ171-320	ДЛ133-500

Примітка: Клас вентиля приймається як сума двох останніх цифр навчального шифру.

Приклад: Шифр студента 083956. Клас вентиля прийняти 5+6=11.

Якщо сума двох останніх цифр шифру менше 8, клас вентиля прийняти 8.

ДОДАТОК Б

Параметри рекомендованих діодів та охолоджувачів

Таблиця Б.1

Параметри рекомендованих діодів

Тип	U_{RRM}	I_{RRM}	IF (AV)	U_{T0}	r_T	T_{jm}	R_{thic}	R_{thjh}	Тип рекомендо- ваного охо- лоджувача
	В	mA	A	В	МОм	°C	°C/Вт	°C/Вт	
ДЛ161- 200	400- 1800	25	200	0,92	0,68	150	0,13	0,10	О171, О271, О371 ОМ101
ДЛ171- 320	400- 1800	25	320	1	0,5	150	0,085	0,03	О181,О281 , ОМ105
ДЛ123- 320	400- 1600	25	320	0,9	0,83	150	0,075	0,01	О123
ДЛ133- 500	400- 1600	25	500	0,85	0,41	150	0,04	0,01	О232,О242 , О143
ДЛ153- 1250	2200- 3200	50	1250	1,1	0,35	175	0,02	0,01	О153,О253
ДЛ153- 1600	2200- 3200	50	1600	1	0,3	175	0,02	0,01	О153,О253
ДЛ153- 2000	1600- 2000	50	2000	0,9	0,185	175	0,02	0,01	О153,О253
ДЛ173- 4000	1600- 2400	100	3860	1	0,08	175	0,011	0,006	ДЖИЦ.432 281.011-01
ВЛ200	600- 1200	12	200	0,92	0,684	140	0,13	0,02	О171-80
ВЛ320	600- 1200	20	320	1,08	0,5	140	0,09	0,01	ОА-16
ДЧ143 800	600 - 1800	40	800	1,4	0,71	175	0,035	0,02	О343-150
Д133 400	1000- 4000	50	400	1,0	0,95	150	0,045	0,015	О143-150
Д143 630	1000- 4000	50	630	1,0	0,65	150	0,034	0,01	О143-150
Д143 800	1000- 4000	50	800	1,0	0,27	190	0,034	0,01	О143-150

Таблиця Б.2

Тепловий опір контактна поверхня охолоджувача – охолоджуюче середовище

Тепловий опір	Тип охолоджувача														
	О143-150	О343-150	ОА-16	ОА-20	ОА-26	О171-80	О153	О253	О232	О242	О143	О271	О181	ДЖИЦ432281	О123
R_{thja} , °C/Вт	0,125	0,097	0,26	0,23	0,17	0,35	0,075	0,01	0,355	0,236	0,12	0,23	0,23	0,05	0,21

Примітка: Тепловий опір приведено для швидкості охолоджуючого повітря 6 м/с, для охолоджувачів з повітряним охолодженням, та витрати води 3 л/хв для охолоджувачів водяного охолодження.

Таблиця Б.3

Параметри рекомендованих тиристорів

Тип	U_{RRM}	I_{RRM}	IT (AV)	U_{T0}	r_T	T_{jm}	R_{thic}	R_{thnh}	Тип рекомен- дованого охоло- джувача
	В	мА	А	В	мОм	°C	°C/Вт	°C/Вт	
ТЛ371-250	600-1200	35	250	1	0,95	140	0,1	0,05	О-181
ТЛ371-320	600-1200	35	320	1,05	0,53	140	0,085	0,05	О-181
Т9-250	400 - 1600	15	250	0,96	1,2	125	0,07	0,01	ОА-20
Т2-320	100 - 1400	20	320	1,36	0,9	110	0,05	0,01	ОА-26
ТЛ4-250	400 - 1100	40	250	1,35	0,38	140	0,13	0,04	ОА-16
ТЛ2-200	400 - 1100	20	200	0,9	0,9	140	0,18	0,07	О171-80
ТЛ2-160	400 - 1100	20	160	1,15	1,05	140	0,18	0,07	О171-80
ТЛ171-250	700 - 1100	35	250	1,0	1,43	140	0,085	0,05	О181-110
ТЛ171-320	700 - 1100	35	320	0,9	0,72	140	0,085	0,05	О181-110
Т3-320	1600-2400	40	320	1,08	1,22	110	0,06	0,01	ОА-26

Навчально-методичне видання

Очкасов Олександр Борисович,
Десяк Андрій Євгенійович

ОСНОВИ ЕЛЕКТРОНІКИ ТА АВТОМАТИКИ РУХОМОГО СКЛАДУ

Навчально-методичні рекомендації до виконання
розрахунково-графічної (контрольної) роботи

Електронне видання

Експертний висновок склав канд. техн. наук, проф. Дмитро Бобирь

Зареєстровано НМВ УДУНТ (№ 751 від 10.09.2024)

В авторській редакції
О. Б. Очкасов
А. Є. Десяк
Комп'ютерна верстка А. Є. Десяк

Формат 60x84 $\frac{1}{16}$. Ум. друк. арк. 1,79. Обл.-вид. арк. 1,81.
Зам. № 73

Видавець: Український державний університет науки і технологій
вул. Лазаряна, 2, ауд. 2216, м. Дніпро, 49010.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 7709 від 14.12.2022

Адреса видавця та дільниці оперативної поліграфії:
вул. Лазаряна, 2, Дніпро, 49010