

Міністерство освіти і науки України

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АВТОМОБІЛЬНО-ДОРОЖНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ

Ю.М. Бороденко

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до контрольної роботи з дисципліни
“Проектування електрообладнання АТЗ”
для студентів заочної форми навчання за спеціальністю 141

Харків
ХНАДУ
2018

Навчальна дисципліна “Проектування електрообладнання АТЗ” відноситься до циклу вибіркових професійно – орієнтованих дисциплін. Галузь знань 14 «Електрична інженерія». Напрямок підготовки 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» за освітньо-кваліфікаційним рівнем «бакалавр», професійне спрямування «Електричні системи і комплекси ТЗ».

Предметом навчальної дисципліни є педагогічно адаптована система понять про методи проектування та розрахунку електрообладнання АТЗ, принципи побудування електричних систем та розробки електронних пристроїв.

Основними задачами вивчення дисципліни є формування у студентів сукупності знань, вмінь та уявлень про методи проектування і основи розрахунку автотракторного електрообладнання при створенні сучасних систем автоматичного керування агрегатами автомобіля. Студент повинен знати: фізичні процеси, що мають місце в елементах, пристроях і системах електрообладнання автомобілів і тракторів; методи синтезу, розрахунку та моделювання електромагнітних та електронних пристроїв; залежності між електричними та конструктивними параметрами електромеханічних пристроїв; структурні параметри та вихідні характеристики елементів електричних систем АТЗ; критерії та методи оптимізації електромеханічних систем. Повинен вміти: аналізувати технічні характеристики виробів і систем електрообладнання з метою вибору проектного рішення за обраними критеріями; синтезувати електромеханічні та електронні пристрої і системи АТЗ; розраховувати електромеханічні і електронні пристрої на етапах попереднього та ескізного проектування; моделювати електромеханічні та електронні пристрої у пакетах прикладних програм з метою оптимізації їх параметрів на етапі перевірного розрахунку; використовувати автоматизовані системи проектування при розробці електрообладнання; користуватися довідковою літературою та складати проектно-конструкторську документацію.

Перелік тем дисципліни подано в першому розділі методичних вказівок. Для студентів заочної форми навчання з даної дисципліни передбачено контрольну роботу.

Мета контрольної роботи – набуття студентами практичних навичок у вирішенні задач пов’язаних з розробкою електрооблад-

нання автомобілів та перевірки засвоєння студентами матеріалів з дисципліни “Проектування електрообладнання АТЗ” в обсязі складеної робочої програми.

Контрольна робота полягає у виконанні практичного завдання по розробці електронного пристрою та відповідей на чотири контрольні запитання, за основними розділами курсу, відповідно до варіанту завдання. Приступати до виконання контрольної роботи слід після вивчення необхідного матеріалу та засвоєння методів розрахунку електронних схем на практичних заняттях.

Контрольна робота виконується у звичайному зошиті або на аркушах формату А4. При оформленні роботи необхідно навести короткий зміст завдання та вихідні данні для синтезу та розрахунку схеми пристрою згідно свого варіанту. В ході вирішення поставлених задач треба давати текстові пояснення, вказувати розмірність розрахованих параметрів та наводити необхідні для розрахунку схеми. У кінці розрахунків надаються висновки про працездатність пристрою, що розробляється. При оформленні відповідей на контрольні запитання обов’язково наводиться увесь необхідний графічний матеріал (графіки, схеми, характеристики, рисунки) та необхідні аналітичні вирази. Креслення графічного матеріалу слід виконувати охайно з позначенням позицій на які є посилання у тексті відповіді. Складні рисунки та схеми дозволяється надавати у вигляді ксерокопій. Загальний обсяг контрольної роботи складає 15...20 аркушів рукописного тексту. На титульному листі контрольної роботи вказується назва дисципліни, номер групи, прізвище, ініціали та шифр залікової книжки студента. У кінці роботи наводиться список використаної літератури, дата завершення роботи і особистий підпис.

Контрольні роботи з курсу розроблені для 51 – варіанту. Варіант до виконання визначається двома останніми цифрами шифру (номера залікової книжки студента). Якщо останні дві цифри більш за 50, то для визначення варіанту треба відняти 50 (наприклад, номер залікової книжки 003556: дві останні цифри 56; віднімаємо $56 - 50 = 6$ відповідно варіант завдання 06).

РОБОЧА ПРОГРАМА ДИСЦИПЛІНИ

РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ ПРЕДМЕТУ

Тема 1.1. Основні положення та методи проектування

Основні визначення та терміни. Види творчої діяльності в процесі проектування. Формулювання та вирішення технічного завдання на розробку. Обмеження при проектуванні та вимоги до пристроїв, що проектуються. Алгоритм та етапи процесу проектування. Зразки продукції, технічна документація. Програмно-апаратні засоби, що використовуються на різних етапах проектування. Види та зміст проектів.

Тема 1.2. Теоретичні основи розрахунку електричних пристроїв та систем

Методи розрахунку електричних кіл постійного та змінного струмів. Співвідношення електричних величин в трьохфазних колах. Аналіз періодичних не синусоїдальних процесів. Перехідні процеси в електричних колах. Резонансні явища. Індуктивно пов'язані кола. Методи розрахунку магнітних кіл та пристроїв електромагнітних пристроїв. Електромеханічні співвідношення та характеристики двигуна постійного струму. Векторна діаграма синхронного генератора. Робочі характеристики вентильного генератора. Моделі та параметри діодів, стабілітронів, транзисторів та тиристорів. Граничні режими функціонування напівпровідникових пристроїв.

РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ ТА СИНТЕЗ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОСТАРТЕРНОГО ПУСКУ ДВЗ

Тема 2.1. Аналіз технічних рішень систем пуску

Вимоги до систем пуску. Класифікація систем пуску за принципом дії та їх порівняльний аналіз. Особливості влаштування функціональних вузлів електростартерів. Конструкції колектору елект-

родвигунів та підключення обмоток, варіанти тягових реле, механізми приводу з попереднім та одночасним зачепленням вінця маховика. Аналіз технічних рішень систем керування стартером. Переваги дистанційного керування, автоматичне керування на борту з генераторами постійної та змінної напруги.

Тема 2.2. Аналіз характеристик та критерії вибору елементів системи пуску

Аналіз пускових характеристик ДВЗ та характеристик АКБ у режимі пуску. Критерії вибору типу збудження та числа полюсів стартерного електродвигуна. Аналіз робочих характеристик стартера. Електромагнітна потужність, що підведена до стартерного двигуна, механічна потужність на валу стартера, коефіцієнт корисної дії. Вплив нерівномірності обертання на характеристики стартерного електродвигуна.

Тема 2.3. Підбір елементів системи пуску та оптимізація її параметрів

Умова мінімізації маси елементів системи пуску. Підбір елементів системи пуску за номінальною потужністю та опором стартера. Оптимізація передаточного числа приводу стартера за умовами мінімальної маси системи та мінімальної температури пуску. Визначення відносного опору й номінальної ємності АКБ для системи пуску з мінімальною масою. Оптимізація параметрів стартерного проводу.

РОЗДІЛ 3. АНАЛІЗ ТА СИНТЕЗ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ АТЗ

Тема 3.1. Аналіз технічних рішень бортових систем електропостачання

Вимоги до систем електропостачання та вихідні дані для їх синтезу. Автомобільні генератори з дзобоподібним ротором та індукторного типу. Структурний аналіз та критерії вибору автотрактор-

них генераторів. Порівняльний аналіз регуляторів напруги контактно-вібраційного, транзисторного та інтегрального улаштування. Аналіз схемних рішень генераторних установок з колами сигналізації заряду АКБ та використанням ефекту самозбудження.

Тема 3.2. Аналіз режимів системи електропостачання та оптимізація параметрів її елементів

Розподіл потужності по колах живлення споживачів та аналіз режимів системи електропостачання. Параметри та фактори, що змінюються під час експлуатації автомобіля. Статистичний аналіз транспортного циклу. Критерії вибору джерел бортового живлення та оцінка придатності системи до борту автомобіля. Методика розрахунку балансу енергії борта та зарядного балансу АКБ.

Тема 3.3. Методи регулювання напруги бортової мережі

Порівняльний аналіз методів регулювання стуму в колі збудження генератора. Види та структура дискретного регулювання. Аналіз математичної моделі генераторної установки та визначення структурних параметрів кола збудження. Визначення діючих значень струму збудження та величини додаткового резистору при дискретному регулюванні. Побудування робочих характеристик генераторної установки, що проектується. Способи підвищення комутуючої здібності та термостабільності контактно-вібраційних та безконтактних регуляторів напруги.

РОЗДІЛ 4. АНАЛІЗ ТА СИНТЕЗ СИСТЕМ ЗАПАЛЮВАННЯ

Тема 4.1. Аналіз технічних рішень систем запалювання

Вимоги до систем запалювання та параметри, що їх характеризують. Загальна характеристика систем запалювання, що класифіковані за принципом дії і характером електричного розряду, способом накопичення енергії та її нормування, елементами формування керуючого сигналу та комутації струму в первинному колі, алгоритмом керування моментом іскроутворення, розподілом вторинної

напруги по циліндрах. Формулювання технічного завдання та вихідні данні на розробку системи запалювання. Структурний наліз автомобільних систем запалювання. Склад систем та критерії вибору елементів. Порівняльний аналіз робочих характеристик.

Тема 4.2. Моделювання фізичних процесів в колах системи запалювання

Аналіз процесів робочого циклу ідеалізованої системи з накопиченням енергії в котушці запалювання. Схеми заміщення кіл системи на кожному етапі робочого циклу. Баланс енергії в колах системи. Вольт-амперна характеристика та структура електричного розряду, аналіз енергетичних параметрів індуктивної і ємнісної фази. Електромагнітні втрати, шунтуюча дія нагару на свічці запалювання та втрати на контактах переривника і іскровому розподільнику. Вплив експлуатаційних факторів, електричних та конструктивних параметрів кіл системи на величину вторинної напруги та енергію розряду. Аналіз процесів у колах транзисторної системи. Особливості робочого циклу в системах запалювання з ємнісним накопичувачем енергії.

Тема 4.3. Синтез транзисторних систем запалювання

Критерії вибору типу виконавчого транзистору. Урахування параметрів транзисторного ключа та способи підвищення його швидкодії. Енергетичний аналіз режимів виконавчого транзистора під реактивним навантаженням. Засоби захисту транзистору від пробою та перевантаження. Аналіз характеристик датчиків безконтактних систем запалювання. Застосування зворотних зв'язків та формуючих каскадів в комутаторах струму котушки запалювання.

Тема 4.4. Способи поліпшення робочих характеристик електронних систем запалювання

Програмно-апаратні засоби підвищення якісних параметрів і експлуатаційних характеристик систем запалювання. Застосування тиристорної комутації струму в системах з накопиченням енергії в

індуктивності та ємності. Електронне керування моментом запалювання та нормування часу накопичення енергії на апаратному рівні. Оптимізація параметрів на програмному рівні в мікропроцесорних системах запалювання. Реалізація систем запалювання з багатоіскровим розрядом. Застосування статичного розподілу вторинної напруги в системах з «холостою іскрою», багато вивідними та автономними котушками запалювання.

РОЗДІЛ 5. МЕТОДИ РОЗРАХУНКУ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ПРИБОРІВ СИСТЕМ ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ

Тема 5.1. Розрахунок тягових реле стартера

Етапи проектування та структура розрахунку. Аналіз вихідних даних та вибір типу магнітної системи. Визначення головних розмірів електромагнітного приводу. Розрахунок магнітного кола та обмотки реле. Побудування тягової характеристики та оцінка працездатності тягового реле. Методика розрахунку та обирання довідкових даних.

Тема 5.2. Розрахунок стартерних електродвигунів

Етапи проектування та структура розрахунку. Аналіз вихідних даних. Визначення головних розмірів та електромагнітних навантажень. Розрахунок обмотки й пазів якоря, магнітної системи, обмотки збудження. Методика розрахунку та обирання довідкових даних.

Тема 5.3. Розрахунок вентильних генераторів з дзьобоподібним ротором

Етапи проектування, структура розрахунку та вихідні дані. Особливості побудови та розрахунку в порівнянні з генераторами загального застосування. Попередній розрахунок головних розмірів та параметрів обмоток. Розрахунок магнітного кола та побудування характеристики холостого ходу. Методика побудування струмошвидкісної характеристики.

Тема 5.4. Розрахунок вентильних генераторів індукторного типу

Особливості побудови та розрахунку в порівнянні з генераторами контактного типу. Основні залежності між електромагнітними й конструктивними параметрами індукторної машини. Методи визначення магнітної провідності робочого зазору. Методики розрахунку магнітної системи та побудування характеристики холостого ходу і ступо-швидкісної характеристики генератора.

Тема 5.5. Розрахунок котушок запалювання

Передумови до розрахунку котушки запалювання та аналіз вихідних даних. Побудування робочої характеристики системи запалювання, що проектується. Визначення розподілених параметрів вторинного кола. Врахування дуги на контактах переривача струму. Оптимізація параметрів котушки запалювання. Особливості розрахунку котушок запалювання, які використовуються без додаткового резистора та котушок з транзисторною комутацією струму. Методика розрахунку магнітної системи та обмоткових даних котушки запалювання.

РОЗДІЛ 6. МЕТОДИ РОЗРАХУНКУ ЕЛЕКТРОННИХ ПРИБОРІВ СИСТЕМ ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ

Тема 6.1. Загальні принципи розробки електронних пристроїв

Синтез електричних схем (функціональної, структурної, електричної принципової). Вибір елементної бази електронних пристроїв за критеріями функціональності, режимами функціонування, умовами експлуатації, вартості. Визначення параметрів транзистора у ключових станах на підставі ВАХ та результатів експерименту. Використання інваріантних параметрів насиченого ключа при розрахунках схем у статичних режимах. Розрахунок енергетичних показників електронних пристроїв. Розрахунок ККД електронних пристроїв, які функціонують у режимі періодичного переключення.

Тема 6.2. Розрахунок електронного реле блокування стартера

Загальні принципи розробки схем електронних пристроїв. Синтез електричних схем та вибір елементної бази. Визначення параметрів транзистору у ключових станах. Розрахунок схем вихідного каскаду, вимірювальної частини, формувача сигналу. Синтез схеми та моделювання роботи пристрою в пакеті прикладних програм.

Тема 6.3. Розрахунок транзисторного регулятора напруги

Синтез схеми за критеріями вибору окремих каскадів (вимірювальної частини, вихідного та підсилюючого каскадів). Розрахунок параметрів схеми у ключових станах і підбір елементів. Перевірочний розрахунок електричної схеми в статичних режимах. Розрахунок фільтрів, що згладжують. Оптимізація параметрів схеми в динамічному режимі за допомогою машинного моделювання. Енергетичний розрахунок та визначення ККД регулятора. Оцінка температурної стабільності регулятора напруги.

Тема 6.4. Розрахунок транзисторного комутатора струму системи запалювання

Аналіз вихідних даних. Синтез схеми електричної принципової. Розрахунок режимів схеми у ключових станах та вибір елементів. Оптимізація параметрів схеми в динамічному режимі за допомогою машинного моделювання та аналіз параметрів вихідного каскаду на перехідних режимах. Розрахунок кіл захисту виконавчого транзистора. Оцінка теплового режиму виконавчого транзистора та розрахунок радіатора.

КОНТРОЛЬНА РОБОТА

1. Завдання на контрольну роботу

1. Синтезувати схему електричну принципову ключового підсилювача струму згідно даних, що наведені в табл. 1.

Таблиця 1 - Вихідні дані для синтезування схеми

Варіант	Тип VT1	Підключ.	Тип VT2	Підключ.	Тип VT3	Керуван- НЯ	Варіант	Тип VT1	Підключ.	Тип VT2	Підключ.	Тип VT3	Керуван- НЯ
00	<i>n-p-n</i>	-	<i>n-p-n</i>	-	<i>n-p-n</i>	С	26	<i>p-n-p</i>	+	<i>n-p-n</i>	+	<i>n-p-n</i>	П
01	<i>n-p-n</i>	+	<i>n-p-n</i>	-	<i>n-p-n</i>	С	27	<i>n-p-n</i>	+	<i>p-n-p</i>	+	<i>n-p-n</i>	П
02	<i>n-p-n</i>	+	<i>n-p-n</i>	+	<i>n-p-n</i>	С	28	<i>p-n-p</i>	+	<i>n-p-n</i>	-	<i>n-p-n</i>	П
03	<i>n-p-n</i>	-	<i>n-p-n</i>	+	<i>n-p-n</i>	С	29	<i>n-p-n</i>	+	<i>p-n-p</i>	-	<i>p-n-p</i>	П
04	<i>p-n-p</i>	-	<i>p-n-p</i>	-	<i>p-n-p</i>	С	30	<i>p-n-p</i>	-	<i>p-n-p</i>	+	<i>n-p-n</i>	П
05	<i>p-n-p</i>	+	<i>p-n-p</i>	-	<i>p-n-p</i>	С	31	<i>n-p-n</i>	-	<i>n-p-n</i>	+	<i>p-n-p</i>	П
06	<i>p-n-p</i>	+	<i>p-n-p</i>	+	<i>p-n-p</i>	С	32	<i>n-p-n</i>	-	<i>n-p-n</i>	-	<i>n-p-n</i>	С
07	<i>p-n-p</i>	-	<i>p-n-p</i>	+	<i>p-n-p</i>	С	33	<i>n-p-n</i>	+	<i>n-p-n</i>	-	<i>n-p-n</i>	С
08	<i>p-n-p</i>	+	<i>n-p-n</i>	+	<i>p-n-p</i>	С	34	<i>n-p-n</i>	+	<i>n-p-n</i>	+	<i>n-p-n</i>	С
09	<i>n-p-n</i>	+	<i>p-n-p</i>	+	<i>p-n-p</i>	С	35	<i>n-p-n</i>	-	<i>n-p-n</i>	-	<i>n-p-n</i>	П
10	<i>p-n-p</i>	+	<i>n-p-n</i>	+	<i>n-p-n</i>	С	36	<i>p-n-p</i>	-	<i>p-n-p</i>	-	<i>p-n-p</i>	С
11	<i>n-p-n</i>	+	<i>p-n-p</i>	+	<i>n-p-n</i>	С	37	<i>p-n-p</i>	+	<i>p-n-p</i>	-	<i>p-n-p</i>	С
12	<i>p-n-p</i>	+	<i>n-p-n</i>	-	<i>n-p-n</i>	С	38	<i>p-n-p</i>	+	<i>p-n-p</i>	+	<i>p-n-p</i>	С
13	<i>n-p-n</i>	+	<i>p-n-p</i>	-	<i>p-n-p</i>	С	39	<i>p-n-p</i>	-	<i>p-n-p</i>	+	<i>p-n-p</i>	С
14	<i>p-n-p</i>	-	<i>p-n-p</i>	+	<i>n-p-n</i>	С	40	<i>p-n-p</i>	+	<i>n-p-n</i>	+	<i>p-n-p</i>	С
15	<i>n-p-n</i>	-	<i>n-p-n</i>	+	<i>p-n-p</i>	С	41	<i>n-p-n</i>	+	<i>p-n-p</i>	+	<i>p-n-p</i>	С
16	<i>n-p-n</i>	-	<i>n-p-n</i>	-	<i>n-p-n</i>	П	42	<i>p-n-p</i>	+	<i>n-p-n</i>	+	<i>n-p-n</i>	С
17	<i>n-p-n</i>	+	<i>n-p-n</i>	-	<i>n-p-n</i>	П	43	<i>n-p-n</i>	+	<i>p-n-p</i>	+	<i>n-p-n</i>	П
18	<i>n-p-n</i>	+	<i>n-p-n</i>	+	<i>n-p-n</i>	П	44	<i>p-n-p</i>	+	<i>n-p-n</i>	-	<i>n-p-n</i>	С
19	<i>n-p-n</i>	-	<i>n-p-n</i>	+	<i>n-p-n</i>	П	45	<i>n-p-n</i>	+	<i>p-n-p</i>	-	<i>p-n-p</i>	С
20	<i>p-n-p</i>	-	<i>p-n-p</i>	-	<i>p-n-p</i>	П	46	<i>p-n-p</i>	-	<i>p-n-p</i>	+	<i>n-p-n</i>	С
21	<i>p-n-p</i>	+	<i>p-n-p</i>	-	<i>p-n-p</i>	П	47	<i>n-p-n</i>	-	<i>n-p-n</i>	+	<i>p-n-p</i>	С
22	<i>p-n-p</i>	+	<i>p-n-p</i>	+	<i>p-n-p</i>	П	48	<i>p-n-p</i>	-	<i>p-n-p</i>	+	<i>n-p-n</i>	П
23	<i>p-n-p</i>	-	<i>p-n-p</i>	+	<i>p-n-p</i>	П	49	<i>p-n-p</i>	-	<i>p-n-p</i>	+	<i>p-n-p</i>	П
24	<i>p-n-p</i>	+	<i>n-p-n</i>	+	<i>p-n-p</i>	П	50	<i>n-p-n</i>	-	<i>n-p-n</i>	+	<i>p-n-p</i>	П
25	<i>n-p-n</i>	+	<i>p-n-p</i>	+	<i>p-n-p</i>	П							

В таблиці прийняті позначення: «*n-p-n*», «*p-n-p*» – транзистори прямої або зворотної провідності; «+», «-» – синфазне або протифазне підключення транзисторів; «С», «П» - синфазне або протифазне керування струмом навантаження.

2. Розрахувати інваріантні параметри транзисторів в режимі насичення через задані параметри великого сигналу (табл. 2).

Таблиця 2 - Вихідні дані для розрахунку схеми

Параметри великого сигналу транзисторів	Значення параметрів					
	<i>n-p-n</i> структура			<i>p-n-p</i> структура		
	<i>VT1</i>	<i>VT2</i>	<i>VT3</i>	<i>VT1</i>	<i>VT2</i>	<i>VT3</i>
Вихідний струм $I_{кн}$, А	0,08	1,0	3,6	0,1	1,2	5,0
Вихідна напруга $U_{кн}$, В	2,6	1,8	1,6	2,4	2,2	1,8
Вхідний струм $I_{бн}$, А	0,003	0,04	0,3	0,004	0,06	0,5
Вхідна напруга $U_{бсн}$, В	2,4	2,6	2,5	2,8	2,2	2,6
Потенційний бар'єр емітерного переходу $U_{б0}$, В	0,74	0,64	0,52	0,54	0,72	0,68
Зворотний струм колектора $I_{к0}$, мкА	2	20	80	1	10	100

3. Для синтезованої схеми розрахувати опори резисторів, що забезпечують роботу транзисторів у ключових станах, якщо задані напруга живлення пристрою $U=14$ В та опір навантаження пристрою $R_H = 5$ Ом.

4. Визначити параметри вхідного сигналу підсилювача.
5. Визначити ключову здатність станів транзисторів.
6. Визначити коефіцієнт передачі струму синтезованою схемою підсилювача.
7. Визначити коефіцієнт корисної дії підсилюючого пристрою.
8. Підібрати номінальні параметри резисторів схеми за шкалами номінальних опорів і потужностей.
9. Визначити струм, що споживає пристрій у ключових станах.
10. Навести на схемі, яка синтезована, значення струмів у колах для двох ключових станів та обрані номінали опорів і потужностей резисторів.
11. Зробити висновки щодо застосування пристрою.

2. Вказівки до виконання завдання

1. Під час синтезування електричної принципової схеми пристрою, підключення транзисторів слід виконувати за схемою зі спільним емітером (навантаження транзистора у колі колектора). Приклади побудування каскадів наведено на рис. 1.

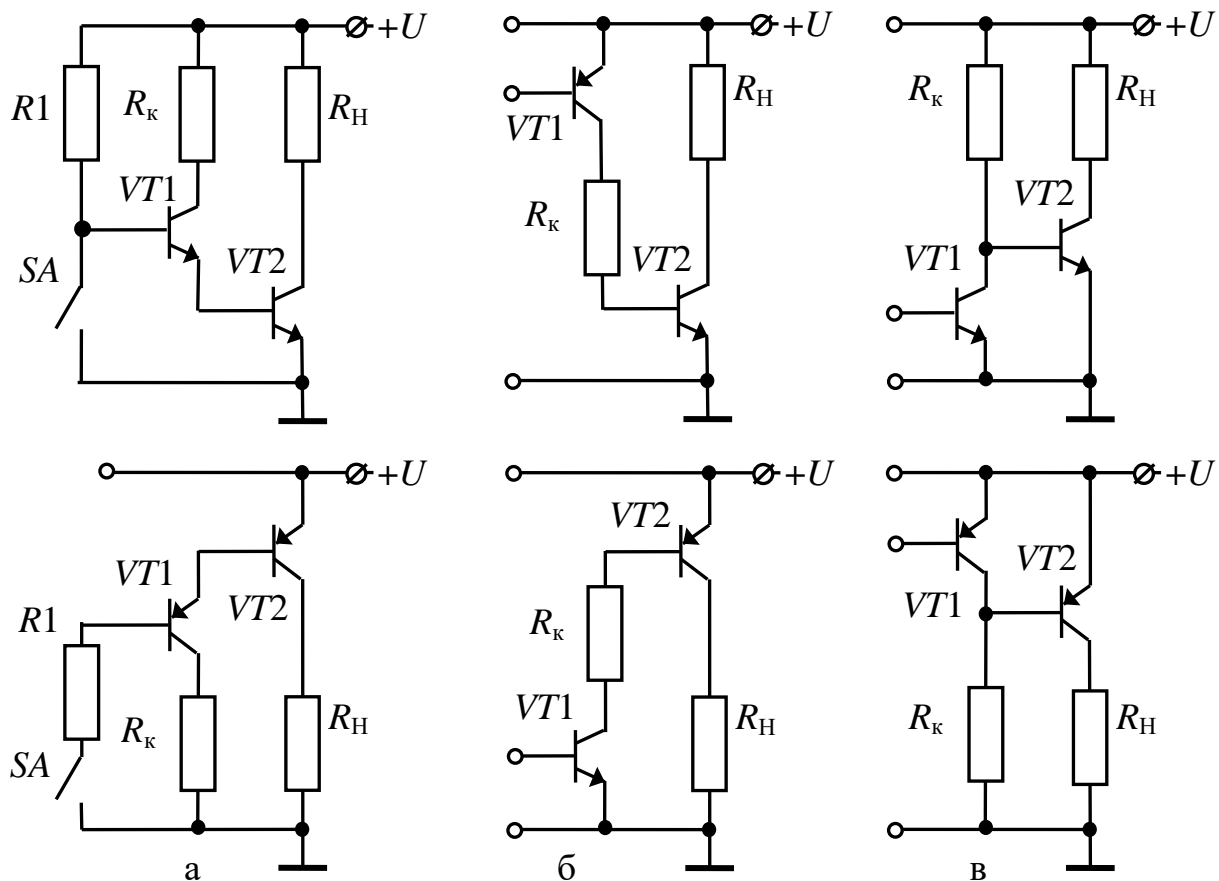


Рисунок 1 – Схеми каскадного підсилювання:

а – синфазне включення транзисторів однакової структури;

б – синфазне включення транзисторів різної структури;

в – протифазне включення транзисторів

Щоб реалізувати синфазне «С» або протифазне «П» керування струмом в навантаженні, необхідно забезпечити комутацію струму бази вхідного транзистора VT_1 або шунтувати його база-емітер перехід (обнулити вхідну напругу) контактами датчика SA (рис.1, а).

2. Інваріантні параметри (вхідний $r_{\text{вн}}$, вихідний $r_{\text{вн}}$ опори насиченого транзистору та статичний коефіцієнт підсилення β) визначаються через параметри великого сигналу за формулами

$$r_{\text{бн}} = \frac{U_{\text{бсн}} - U_{\text{б0}}}{I_{\text{бн}}}, \quad r_{\text{кн}} = \frac{U_{\text{ксн}}}{I_{\text{кн}}}, \quad \beta = \frac{I_{\text{кн}}}{I_{\text{бн}}}.$$

Відповідно до цих параметрів, при розрахунках режимів схеми, слід користуватися спрощеною схемою заміщення насиченого транзистора (рис. 2).

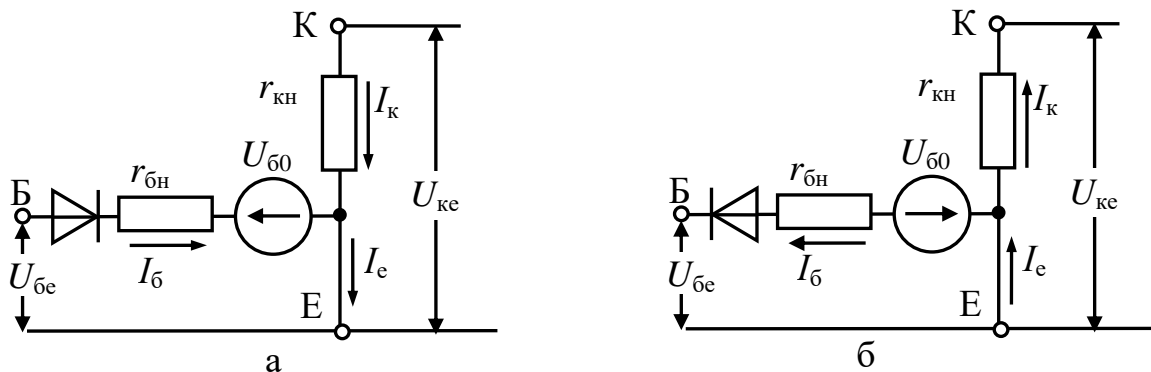


Рисунок 2 – Схеми заміщення транзисторів у стані насичення:
а – *n-p-n* структури; б – *p-n-p* структури

3. Для розрахунку схеми (режимів кіл та опорів навантаження транзисторів) використовуються формули на підставі законів Ома та Кірхгофа для кіл постійної напруги і співвідношення вхідного та вихідного струму для транзистора. Розрахунок структурних параметрів схеми починається з визначення струму через навантаження $R_{\text{Н}}$, а закінчується визначенням струму комутації через контактний датчик SA.

4. Параметри вхідного сигналу підсилювача I_{SA} , U_{SA} визначають за результатами розрахунку режимів на вході першого транзистора. Величина цих параметрів визначає вимоги до вибору датчика.

5. В зачиненому стані (стан відсічки) при розрахунках каскадів слід вважати, що опір кіл колектора та бази транзистора дорівнює нескінченності. Зворотній струм колектору $I_{\text{к0}}$ враховується тільки при оцінці ключової здатності каскадів, які побудовані за синфазною схемою підключення.

Ключова здатність каскадів визначається за умовами переключення. Для синфазних схем (рис. 1, а, б) перевіряється умова зачиненого стану попереднього транзистора VT1

$$I_{к01} r_{бн2} < U_{602}.$$

Для протифазних схем (рис. 1, в) перевіряється умова зачиненого стану послідуєчого транзистора $VT2$ в разі відчиненого стану попереднього транзистора $VT1$

$$I_{к1} r_{кн1} = U_{кел} < U_{602}.$$

Незалежно від виконання цих умов підраховується потужність, що розсіюється резисторами схеми P_R та транзисторами P_{VT} у ключових станах

$$P_R = I_R^2 R, \quad P_{VT} = r_{бн} I_б^2 + r_{кн} I_к^2.$$

Слід вважати, що на зачинених транзисторах розсіювання потужності не виникає.

6. Коефіцієнт передачі струму схемою підсилювача визначають як відношення струму в навантаженні до струму через контакти датчика, не залежно від алгоритму керування струмом в навантаженні.

7. Розрахунок коефіцієнта корисної дії підсилюючого пристрою визначають через корисну потужність, яка забезпечується в навантаженні P_H та втрати потужності на резистивних елементах схеми ΔP у стані, коли навантаження підключено

$$\eta = \frac{P_H}{P_H + \Delta P} = \frac{I_H^2 R_H}{I_H^2 R_H + \sum P_R + \sum P_{VT}} \cdot 100\%.$$

8. Номінальні значення опорів резисторів обирають найближчими меншими до розрахункових значень за рядом номіналів E24: 1; 1.1; 1.2; 1.3; 1.5; 1.6; 1.8; 2.0; 2.2; 2.4; 2.7; 3.0; 3.3; 3.6; 3.9; 4.3; 4.7; 5.1; 6.2; 6.8; 7.5; 8.2; 9.1. Після вибору номінальних значень опорів резисторів перерахунок режимів транзисторів не виконувати.

Номінальні значення потужностей резисторів обирають найближчими більшими до розрахункових значень, отриманих для режиму найбільшого струмового навантаження кожного резистора за шкалою потужностей. Схемні позначення резисторів номінальної потужності на ведені на рис. 3.

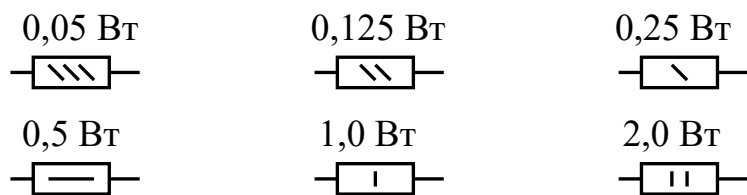


Рисунок 3 – Схемні позначення резисторів за шкалою потужностей

Якщо розрахункова потужність резистора перевищує 2 Вт слід використовувати паралельне або послідовне підключення декількох резисторів для отримання необхідної еквівалентної потужності та опору резисторної зборки.

9. Струм, що споживає пристрій у ключових станах (покою при $I_H=0$ та активного споживання $I_H=I_{к3}$) визначають за результатами розрахунку режимів, як суму значень струмів в колах схеми.

10. На синтезованій схемі електричній принциповій наводять позиційні позначення елементів та струмові режими транзисторів для двох станів контактного датчика SA. Струми, що споживаються пристроєм визначають в обох станах схеми на підставі позначених режимів.

11. Після розрахунків режимів схеми у висновках зазначають ключову здатність каскадів та параметри датчика, які забезпечують ключове керування синтезованої схеми підсилювача струму.

3. Приклад виконання контрольної роботи

1. Синтезуємо схему електричну принципову ключового протифазного підсилювача струму на транзисторах $p-n-p$ структури (див. рис. 1, в). При синтезуванні електричної принципової схеми пристрою, підключення транзисторів виконуємо за схемою зі спільним емітером. Протифазне керування струмом навантаження «П» (при вмиканні датчика, відключається навантаження) забезпечуємо комутацією струму бази (рис. 4, а).

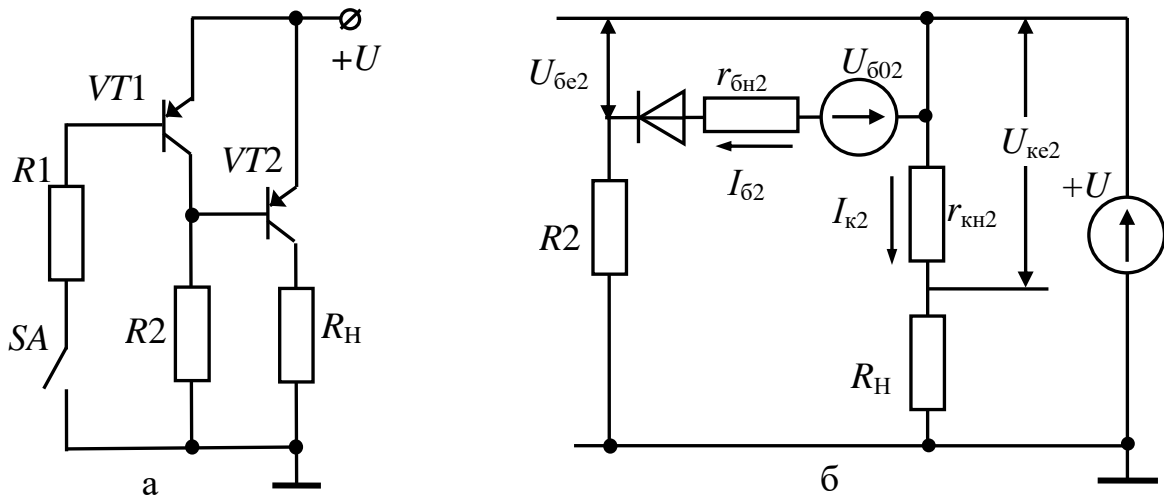


Рисунок 4 – Ключовий протифазний підсилювач струму:
 а – схема електрична принципова;
 б – розрахункова схема вихідного каскаду

2. Розраховуємо інваріантні параметри транзисторів в режимі насичення через задані параметри великого сигналу. Параметри великого сигналу транзисторів $VT1$ ($VT2$) становлять:

$$I_{кн} = 1(5) \text{ А}, \quad U_{кєн} = 1(2,3) \text{ В}, \quad I_{бн} = 0,1(0,5) \text{ А},$$

$$U_{бєн} = 2,6(2,5) \text{ В}, \quad U_{б0} = 0,6(0,5) \text{ В}, \quad I_{к0} = 10(20) \text{ мкА}.$$

Інваріантні параметри транзисторів в стані насичення:

$$r_{бн1} = \frac{U_{бєн1} - U_{б01}}{I_{бн1}} = \frac{2,6 - 0,6}{0,1} = 20 \text{ Ом}, \quad r_{кн1} = \frac{U_{кєн1}}{I_{кн1}} = \frac{1}{1} = 1 \text{ Ом},$$

$$r_{\text{бн}2} = \frac{U_{\text{бсн}2} - U_{\text{б0}2}}{I_{\text{бн}2}} = \frac{2,5 - 0,5}{0,5} = 4 \text{ Ом}, \quad r_{\text{кн}2} = \frac{U_{\text{ксн}2}}{I_{\text{кн}2}} = \frac{2,3}{5} = 0,46 \text{ Ом},$$

$$\beta_1 = \frac{I_{\text{кн}1}}{I_{\text{бн}1}} = \frac{1}{0,1} = 10, \quad \beta_2 = \frac{I_{\text{кн}2}}{I_{\text{бн}2}} = \frac{5}{0,5} = 10.$$

3. Для синтезованої схеми розраховуємо опори резисторів, що забезпечують роботу транзисторів у ключових станах. Напруга живлення пристрою складає $U = 14 \text{ В}$, опір навантаження підсилювача $R_{\text{Н}} = 5 \text{ Ом}$.

Припускаємо, що транзистор $VT1$ повністю зачинений (SA – розімкнuto), $VT2$ – повністю відчинений. Згідно розрахунковій схемі (див. рис. 4, б) визначаємо струм навантаження, який дорівнює струму колектора вихідного транзистора.

$$I_{\text{Н}} = I_{\text{к}2} = \frac{U}{R_{\text{Н}} + r_{\text{кн}2}} = \frac{14}{5 + 0,46} = 2,56 \text{ А}.$$

Напруга, що розподіляється між навантаженням та відчиненим транзистором, складе

$$U_{\text{Н}} = I_{\text{к}2} \cdot R_{\text{Н}} = 2,56 \cdot 5 = 12,8 \text{ В},$$

$$U_{\text{кс}2} = I_{\text{к}2} \cdot r_{\text{кн}2} = 2,56 \cdot 0,46 = 1,2 \text{ В}.$$

Струм бази вихідного транзистора, необхідний для його насичення під навантаженням $R_{\text{Н}}$

$$I_{\text{б}2} = \frac{I_{\text{к}2}}{\beta_2} = \frac{2,56}{10} = 0,256 \text{ А}.$$

Напруга на вході транзистора $VT2$, яка забезпечить необхідний струм бази

$$U_{\text{бс}2} = U_{\text{б0}2} + I_{\text{б}2} \cdot r_{\text{бн}2} = 0,5 + 0,256 \cdot 4 = 1,524 \text{ В}.$$

Опір обмежуючого резистора $R2$ для заданого режиму транзистора визначаємо на підставі другого закону Кірхгофа та закону Ома

$$R_2 = \frac{U - U_{\text{бe2}}}{I_{\text{б2}}} = \frac{14 - 1,524}{0,256} = 48,73 \text{ Ом.}$$

Тепер вважаємо, що транзистор $VT1$ відчинений (SA – замкнений), а $VT2$ – повністю зачинений (режим відсічки). Тоді можна визначити струм колектора транзистора $VT1$

$$I_{\text{к1}} = \frac{U}{R_2 + r_{\text{кн1}}} = \frac{14}{48,73 + 1} = 0,28 \text{ А.}$$

Струм бази, напруга на вході $VT1$ та опір резистора $R1$ визначаємо аналогічно

$$I_{\text{б1}} = \frac{I_{\text{к1}}}{\beta_1} = \frac{0,28}{10} = 0,028 \text{ А,}$$

$$U_{\text{бe1}} = U_{\text{б01}} + I_{\text{б1}} r_{\text{бн1}} = 0,6 + 0,028 \cdot 20 = 1,16 \text{ В,}$$

$$R_1 = \frac{U - U_{\text{бe1}}}{I_{\text{б1}}} = \frac{14 - 1,16}{0,028} = 458 \text{ Ом.}$$

4. Струм комутації через контакти SA дорівнює струму бази вхідного транзистора $I_{\text{б1}} = 0,028 \text{ А}$. Напруга на вході схеми відносно маси

$$U_{\text{б1}} = U - U_{\text{бe1}} = 14 - 1,16 = 12,84 \text{ В.}$$

5. Перевіряємо ключову здатність пристрою за умовою переключення для протифазного каскаду

$$U_{\text{ке1}} = I_{\text{к1}} \cdot r_{\text{кн1}} < U_{\text{б02}},$$

$$U_{\text{ке1}} = 0,28 \cdot 1 < U_{\text{б02}} = 0,5 \text{ В.}$$

Умова переключення виконується.

6. Загальний коефіцієнт передачі струму визначаємо через струм комутації на вході пристрою та струм в навантаженні

$$K_I = \frac{I_H}{I_{\text{б1}}} = \frac{2,56}{0,028} = 91,4.$$

7. Щоб визначити коефіцієнт корисної дії підсилюючого пристрою, розраховуємо корисну потужність в навантаженні та потужність, що розсіюється в елементах схеми пристрою коли навантаження підключено (вимикач SA розімкнений)

$$P_H = I_H^2 \cdot R_H = 2,56^2 \cdot 5 = 32,77 \text{ Вт},$$

$$P_{R2} = I_{\text{б2}}^2 \cdot R_2 = (0,256)^2 \cdot 48,73 = 3,2 \text{ Вт},$$

$$P_{VT2} = I_{\text{б2}}^2 \cdot r_{\text{бн2}} + I_{\text{к2}}^2 \cdot r_{\text{кн2}} = (0,256)^2 \cdot 4 + (2,56)^2 \cdot 0,46 = 3,262 \text{ Вт}.$$

Коефіцієнт корисної дії для побудованої схеми складе

$$\eta = \frac{P_H}{P_H + P_{R2} + P_{VT2}} \cdot 100\% = \frac{32,77}{32,77 + 3,2 + 3,262} \cdot 100 = 83,5\%.$$

8. Щоб підібрати номінальні параметри резисторів схеми визначаємо максимальну потужність, що розсіюється резисторами

$$P_{R1} = I_{\text{а1}}^2 \cdot R_1 = (0,028)^2 \cdot 462 = 0,362 \text{ Вт},$$

$$P_{R2} = I_{\text{б1}}^2 \cdot R_2 = (0,28)^2 \cdot 48,73 = 3,82 \text{ Вт}.$$

Обираємо номінальну потужність резистора $R1$ як найближчу більшу за шкалою $P_{R1} = 0,5$ Вт (див. рис. 3). Номінальне значення опору резистора обираємо кратним меншим за шкалою ряду E24, $R_1 = 430$ Ом.

Щоб забезпечити потужність P_{R2} більшу за розрахункову застосовуємо послідовне включення двох резисторів по два вати кожен (загальна допустима потужність 4 Вт) з номінальними опороми $R_{2,1} = 24$ Ом, $R_{2,2} = 24$ Ом (еквівалентний опір $R_2 = 48$ Ом).

9. Для визначення струму, що споживається пристроєм, позначаємо режими схеми у двох станах (рис. 5).

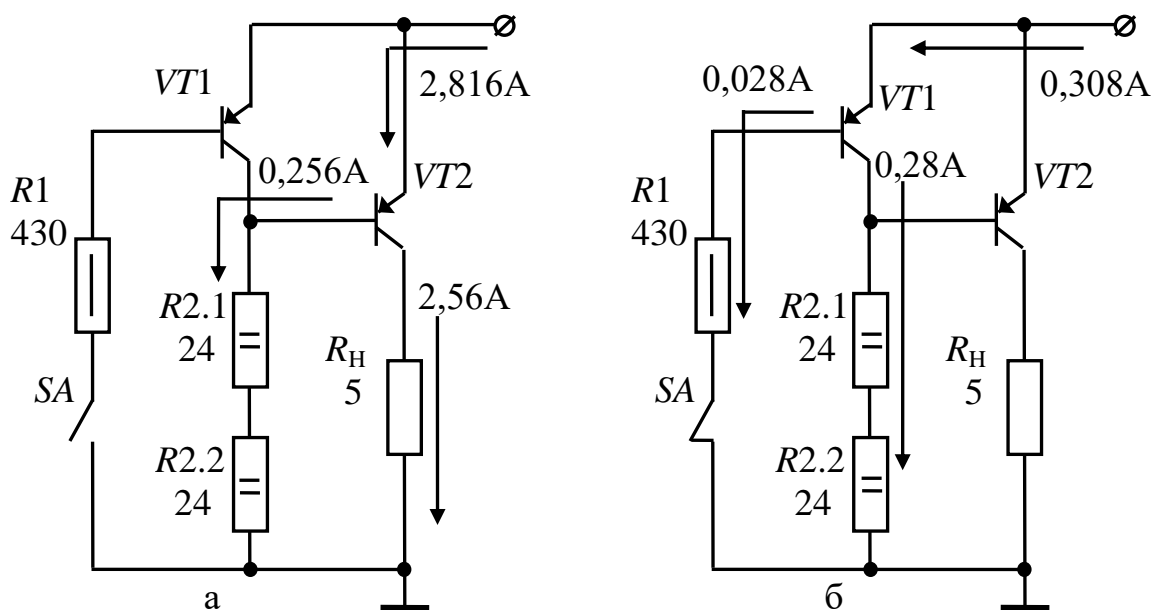


Рисунок 5 – Режими схеми:

а – при розімкненому датчику; б – при замкненому датчику

10. Струм, що споживається пристроєм при розімкненому I_1 та замкненому I_2 стані датчика, складе

$$I_1 = I_{e2} = I_{k2} + I_{62} = 2,56 + 0,256 = 2,816 \text{ А,}$$

$$I_2 = I_{e1} = I_{k1} + I_{61} = 0,28 + 0,028 = 0,308 \text{ А.}$$

11. Результати розрахунку показують, що обрані транзистори забезпечують ключову здатність каскаду без забезпечення ступеню насичення вихідного транзистора. У якості керуючого пристрою може бути обраний контактний датчик з струмом комутації не менше за 0,03А, або активний датчик з вихідною напругою не менше 12,84 В та внутрішнім опором не більше 430 Ом.

4. Відповіді на контрольні запитання

В табл. 3 наведено номери контрольних запитань на які треба дати письмові відповіді. Нижче наведено зміст цих запитань.

Таблиця 3 – Варіанти робіт і номери контрольних запитань

№ вар.	Номери запитань	№ вар.	Номери запитань	№ вар.	Номери запитань	№ вар.	Номери запитань
00	1,17,33,53	13	2,26,46,72	26	6,28,41,51	39	4,32,46,78
01	6,21,36,56	14	13,32,47,66	27	10,30,43,69	40	7,17,38,76
02	2,19,34,48	15	12,18,49,73	28	1,18,42,59	41	8,18,44,51
03	5,18,45,63	16	14, 19,48,54	29	8,22,46,77	42	9,19,39,49
04	3,12,35,58	17	15,27,50,70	30	2,19,45,48	43	11,20,41,59
05	4,15,40,60	18	11,16,30,63	31	11,23,44,64	44	12,26,45,65
06	5,14,41,77	19	7,28,38,55	32	12,20,47,52	45	13,24,40,73
07	7,16,43,68	20	9,30,35,67	33	13,29,48,70	46	5,21,33,54
08	8,25,38,62	21	5,29,37,74	34	14,21,49,50	47	10,22,36,69
09	9,24,42,55	22	1,21,36,75	35	1,27,50,60	48	8,31,42,50
10	10,20,44,71	23	2,17,40,57	36	10,26,36,47	49	14,25,34,67
11	11,22,39,65	24	3,31,39,78	37	16,25,37,75	50	15,23,43,47
12	1,23,37,49	25	4,32,34,61	38	3,24,35,49		

Контрольні запитання

1. Види творчої діяльності при проектуванні.
2. Завдання та задачі проектування.
3. Задачі попереднього та перевірного розрахунків.
4. Обмеження при проектуванні.
5. Вимоги, що висуваються до проєктованих пристроїв.
6. Загальний алгоритм процесу проектування.
7. Етапи проектування та звітна документація.
8. Різновиди базових виробів.
9. Види зразків продукції.
10. Переваги та можливості машинного моделювання.

11. Програмне забезпечення для проектування електронних пристроїв.
12. Порівняльний аналіз систем пуску різного принципу дії.
13. Порівняльний аналіз електростартерів різного улаштування.
14. Способи дистанційного керування стартером.
15. Способи автоматичного відключення стартеру.
16. Склад системи пуску та критерії вибору АКБ.
17. Пускові характеристик ДВЗ.
18. Характеристики АКБ в режимі пуску.
19. Критерії вибору типу збудження для СЕД.
20. Аналіз діаграми балансу напруги стартерної мережі.
21. Мінімізація маси елементів СЕП.
22. Загальна методика підбору елементів СЕП за номінальною потужністю.
23. Загальна методика підбору елементів СЕП за опром стартеру.
24. Загальна методика оптимізації передаточного числа приводу стартера.
25. Оптимізація параметрів АКБ.
26. Оптимізація параметрів стартерного проводу.
27. Вимоги до бортових систем електропостачання та вихідні дані синтезу.
28. Структурний аналіз технічних рішень автотракторних генераторів.
29. Порівняльний аналіз регуляторів напруги різного улаштування.
30. Схемні рішення генераторних установок.
31. Математична модель системи електропостачання.
32. Методи статистичного аналізу транспортного циклу.
33. Перевірка придатності генератора для борта з визначеним складом споживачів.
34. Методика визначення балансу енергії борта.
35. Методика визначення зарядного балансу АКБ.
36. Методи регулювання напруги генератору бортової мережі живлення.
37. Способи дискретного регулювання струму у колі збудження генератору.
38. Визначення структурних параметрів моделі генераторної установки.

39. Визначення середнього значення струму збудження генератору при дискретному регулюванні.
40. Оцінка якості напруги генераторної установки.
41. Побудування робочих характеристик генераторної установки.
42. Побудування частотно швидкісних характеристик генераторної установки.
43. Способи поліпшення комутуючої здатності контактних-вібраційних РН.
44. Способи термостабілізації режиму контактних-вібраційних РН.
45. Способи поліпшення комутуючої здатності безконтактних РН.
46. Способи термостабілізації режиму безконтактних РН.
47. Порівняльний аналіз СЗ різного принципу дії.
48. Вимоги до систем запалювання, що проектуються.
49. Вихідні дані та формулювання завдання на розробку СЗ.
50. Структурний аналіз автомобільних СЗ.
51. Структурна класифікація котушок запалювання.
52. Класифікація свічок запалювання.
53. Різновиди свічок запалювання за конструкційною ознакою.
54. Вибір параметрів свічок запалювання за експлуатаційними умовами.
55. Порівняльний аналіз робочих характеристик СЗ.
56. Моделювання процесу накопичення енергії в котушці ідеалізованої СЗ.
57. Моделювання процесу утворення ЕРС високої напруги на виході ідеалізованої СЗ.
58. Моделювання процесу ємнісної фази іскрового пробою в СЗ.
59. Моделювання процесу індуктивної фази іскрового пробою в СЗ.
60. Врахування втрат енергії на вихрові струми й гістерезис у сталі магнітопроводу котушки запалювання СЗ.
61. Врахування втрат енергії на дугу в переривнику СЗ.
62. Врахування втрат енергії у іскровому розподільнику СЗ.
63. Вплив параметрів реальної СЗ на величину амплітуди імпульсів вторинної напруги.
64. Розрахунок режимів схеми контактних-транзисторної СЗ під час накопичення енергії.
65. Способи запирання виконавчого транзистора комутатора струму під реактивним навантаженням.

66. Особливості робочого процесу в СЗ з ємнісними накопичувачами енергії.
67. Критерії вибору виконавчого транзистору комутатора струму СЗ.
68. Способи активного запирання виконавчого транзистора в СЗ.
69. Недоліки характеристик датчиків сигналу запалювання генераторного типу та способи їх усунення.
70. Способи захисту виконавчого транзистора в комутаторах СЗ.
71. Обґрунтування величини ємності конденсатору первинного кола в транзисторних комутаторах СЗ.
72. Способи стабілізації струму розриву в електронних комутаторах струму СЗ.
73. Застосування тиристорної комутації струму в СЗ.
74. Використання електронних автоматів випередження запалювання.
75. Побудування систем запалювання з нормуванням часу накопичення енергії.
76. Оптимізація параметрів СЗ на мікропроцесорному рівні.
77. Технічні рішення багато іскрових СЗ.
78. Способи статичного розподілу запалювання по циліндрах.

Позначення в тексті запитань: СЕД – стартерний електродвигун; СЕП – система електростартерного пуску; РН – регулятор напруги; СЗ – система запалювання.

При оформленні відповідей на контрольні запитання в контрольній роботі, спочатку надаються основні визначення, поняття та проблеми, потім наводиться графічний матеріал (схеми, діаграми, креслення) та коментується аналітичний апарат (формули), який стосується поставлених питань.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Бороденко Ю.М. Проектування та розрахунок електрообладнання АТЗ. Навчальний посібник./ Ю.М. Бороденко, С.А. Серіков. Харків: ХНАДУ, 2010. - 444 с.

2. Бороденко Ю.М. Проектування та розрахунок систем електростартерного пуску ДВЗ. Навч.-метод. посібник. / Ю.М. Бороденко, С.А. Серіков, О.А. Дзюбенко. Харків: ХНАДУ, 2008. - 152 с.

3. Бороденко Ю.М. Проектування та розрахунок систем електропостачання АТЗ. Навч.-метод. посібник. / Ю.М. Бороденко, С.А. Серіков, О.А. Дзюбенко. Харків: ХНАДУ, 2009. - 150 с.