

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**Інженерно-технологічний факультет
Кафедра енергетики та електротехнічних систем**



ЕЛЕКТРОННІ ПРИСТРОЇ В СИСТЕМАХ КЕРУВАННЯ

Методичні вказівки по виконанню самостійної роботи

СУМИ – 2025

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**Інженерно-технологічний факультет
Кафедра енергетики та електротехнічних систем**

ЕЛЕКТРОННІ ПРИСТРОЇ В СИСТЕМАХ КЕРУВАННЯ

Методичні вказівки по виконанню самостійної роботи

**для здобувачів 3 та 1 с.т. курсу
освітньої програми
«Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
денної та заочної форм здобуття освіти
ступеню вищої освіти «Бакалавр»**

СУМИ – 2025

УДК 621.382(073)

Укладачі:

Рясна О.В., ст. викладач кафедри енергетики та електротехнічних систем.

Н Електронні пристрої в системах керування: методичні вказівки по виконанню самостійної роботи / укл.: Рясна О.В. - Суми, 2025. – 33 с.

Методичні вказівки спрямовані на надання методичної допомоги здобувачам під час виконання самостійних робіт.

Методичні рекомендації містять лекційний матеріал для самостійного опрацювання. У методичних вказівках представлено матеріал, який допоможе студентам самостійно засвоїти основні принципи побудови, функціонування та застосування силових перетворювальних пристроїв. Зокрема, увага зосереджена на випрямлячах, стабілізаторах, інверторах, регуляторах та імпульсних перетворювачах, що широко використовуються в електроприводі, електроживленні та автоматизованих системах керування.

Рецензенти:

Козін В.М., к.т.н., доцент кафедри енергетики та електротехнічних систем СНАУ;

Лобода В. Б., к.ф.-м.н., професор кафедри охорони праці та фізики СНАУ.

Відповідальний за випуск:

Чепіжний А.В., к.т.н., доцент, завідувач кафедрою енергетики та електротехнічних систем СНАУ.

Рекомендовано до видання Радою із забезпечення якості освітньої діяльності та якості вищої освіти інженерно-технологічного факультету СНАУ. Протокол №6_ від «_20_» травня 2025 року

© Сумський національний аграрний університет, 2025

ЗМІСТ

	ВСТУП.....	5
1	ПЕРЕЛІК МАТЕРІАЛУ ЩОДО САМОСТІЙНОГОВИВЧЕННЯ..	6
	ТЕМА 1 БІПОЛЯРНІ ТРАНЗИСТОРИ ПОЛЬОВІ	6
	ТРАНЗИСТОРИ.....	
	ТЕМА 2 СИЛОВІ НАПІВПРОВІДНИКОВІ МОДУЛІ ПОРІВНЯЛЬНА	13
	ХАРАКТЕРИСТИКА СИЛОВИХ НАПІВПРОВІДНИКОВИХ	
	ПРИЛАДІВ.....	
	ТЕМА 3 ТИРИСТОРНІ ЕЛЕКТРОННІ КЛЮЧІ.....	16
	ТЕМА 4 ОДНОФАЗНИЙ ДВОПІВПЕРІОДНИЙ ВИПРЯМЛЯЧ	18
	З НУЛЬОВИМ ВИВОДОМ.....	
	ЛЕКЦІЯ 5 ІНВЕРТОРИ, ВЕДЕНІ МЕРЕЖЕЮ.....	21
	ЛЕКЦІЯ 6 ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ І КЛАСИФІКАЦІЯ СИСТЕМ	25
	КЕРУВАННЯ. ЛІНІЙНІ І НЕЛІНІЙНІ ЕЛЕМЕНТИ СИСТЕМ	
	КЕРУВАННЯ.....	
	ЛЕКЦІЯ 7 СТАБІЛІЗАТОРИ СТРУМУ.....	26
	ЛЕКЦІЯ 8 СТРУКТУРА МІКРОПРОЦЕСОРІВ.....	30
	ДОДАТОК А КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ, КОМПЛЕКТИ ТЕСТІВ ДЛЯ	31
	ВИЗНАЧЕННЯ РІВНЯ ЗАСВОЄННЯ ЗНАЇ	
	ЗДОБУВАЧАМИ.....	
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ	32
	ДЖЕРЕЛ.....	

ВСТУП

Сучасна силова електроніка є ключовою галуззю електротехніки, яка забезпечує ефективне перетворення, регулювання та керування електричною енергією між джерелом і споживачем. Завдяки використанню напівпровідникових пристроїв нового покоління, ця сфера набуває особливого значення в умовах зростаючих вимог до енергозбереження, надійності та автоматизації електросистем.

У методичних вказівках представлено матеріал, який допоможе студентам самостійно засвоїти основні принципи побудови, функціонування та застосування силових перетворювальних пристроїв. Зокрема, увага зосереджена на випрямлячах, стабілізаторах, інверторах, регуляторах та імпульсних перетворювачах, що широко використовуються в електроприводі, електроживленні та автоматизованих системах керування.

Методичка орієнтована на формування в студентів практичних навичок аналізу електронних схем, розрахунку їх параметрів та розуміння принципів роботи сучасних силових напівпровідникових компонентів. Вона спрямована на підготовку до виконання індивідуальних завдань, лабораторних і контрольних робіт, а також до поглиблення теоретичних знань у межах дисципліни.

Матеріал розрахований на здобувачів вищої освіти, які навчаються за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка».

1. ПЕРЕЛІК МАТЕРІАЛУ ЩОДО САМОСТІЙНОГО ВИВЧЕННЯ

ТЕМА 1 БІПОЛЯРНІ ТРАНЗИСТОРИ ПОЛЬОВІ ТРАНЗИСТОРИ

1.1 Біполярні транзистори

Біполярні транзистори — це напівпровідникові елементи, що мають три зони провідності (рис. 1), які утворюють два р-п-переходи. Ці зони називають: емітерна (виділяє носії заряду), база (має властивість керувати цими зарядами) і колекторна (збирає носії заряду). Відповідно, кожна з зон має свій вивід, який маркується: К - колектор; Б - база; Е - емітер. Залежно від типу вільних носіїв заряду в цих зонах, транзистори поділяються за типом на р-п-р чи п-р-п.

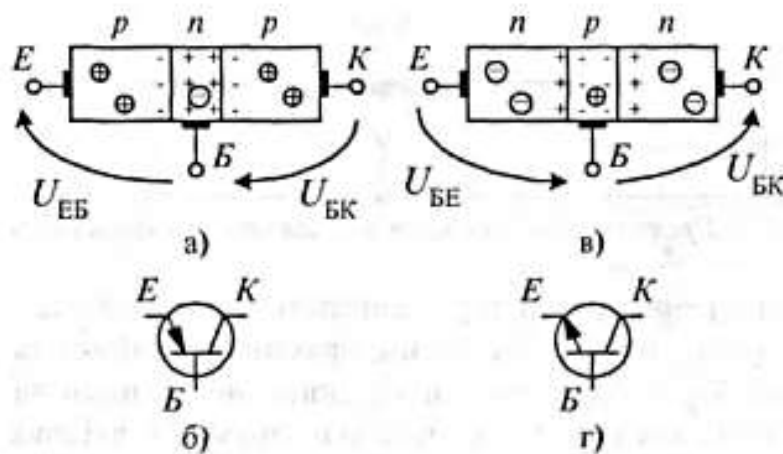


Рис. 1. Біполярний транзистор: р-п-р - типу - структура (а), схемне зображення (б);
п-р-п - типу - структура (в), схемне зображення (г)

Наявність р-п-переходів визначає два стани транзистора: відкритий і закритий. У відкритому транзисторі струм проходить від емітера до колектора. Для цього в транзисторі типу р-п-р (рис. 6, а) до кожного р-п-переходу потрібно прикласти напругу певної полярності, а саме: між емітером і базою - в прямому напрямку, тобто до емітера «+», а до бази «-»; між колектором і базою - в зворотному напрямку - до колектора «-», до бази «+». Для транзисторів п-р-п типу полярність прикладених напруг протилежна (рис. 6, в). За наявності прикладених напруг вільні заряди із зони емітера переходять у зону бази, де частина з них рекомбінує. За рахунок того, що зона бази є невеликою (декілька мікронів), то більшість цих зарядів потрапляють під

дію напруги УБК і переходять в зону колектора. Таким чином, утворюються струми емітера ІЕ, бази ІБ та колектора ІК (рис. 2), які підпорядковані першому закону Кірхгофа $I_E = I_K + I_B$, а зв'язок між вихідним і вхідним струмами визначається коефіцієнтом пересилання за струмом

$$K_i = \alpha \cong \frac{\Delta I_K}{\Delta I_E} \big| U_{БК} = \text{const}$$

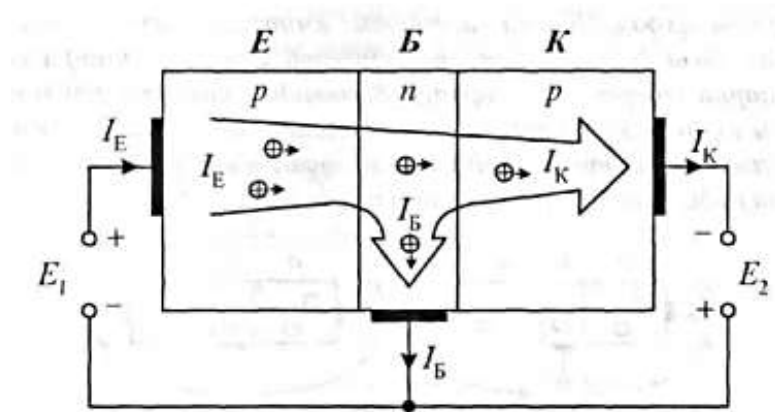


Рис. 2. Проходження струмів транзистора у відкритому стані

Таке увімкнення транзистора називають із спільною базою (рис. 3, а). Але враховуючи, що ІБ є незначним, практично приймають $I_E = I_K$, то в такій схемі $K_i \leq 1$, тому транзистор доцільно вмикати за схемою зі спільним емітером (рис. 3, б). Оскільки струм ІБ є вхідним струмом і незначним за величиною, то така схема забезпечує значне підсилення приросту струму в порівнянні зі схемою зі спільною базою

$$K_i \cong \frac{\Delta I_K}{\Delta I_E} | U_{EK} = const$$

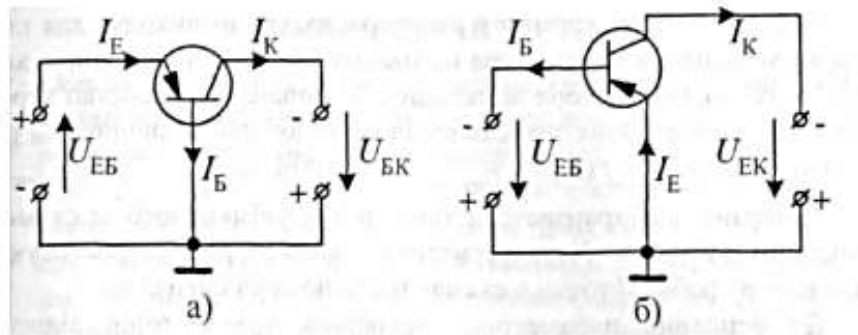


Рис.3. Схеми вмикання транзистора: із спільною базою (а); із спільним емітером (б)

Для транзисторів, увімкнених за схемою із спільним емітером, цей коефіцієнт позначають β . Але в паспортних даних подається величина одного із h-параметрів, який для схеми із спільним емітером дорівнює коефіцієнту β

$$h_{12E} = \beta \cong \frac{\Delta I_K}{\Delta I_E} | U_{EK} = const$$

Для такої схеми ввімкнення цей коефіцієнт складає $\beta \approx 50$, а враховуючи, що $KU \geq 100$, отримуємо значний коефіцієнт підсилення за потужністю $KP = KU K_I$. Завдяки цій підсилювальній властивості транзистори знайшли широке застосування в схемах підсилення електричних сигналів.

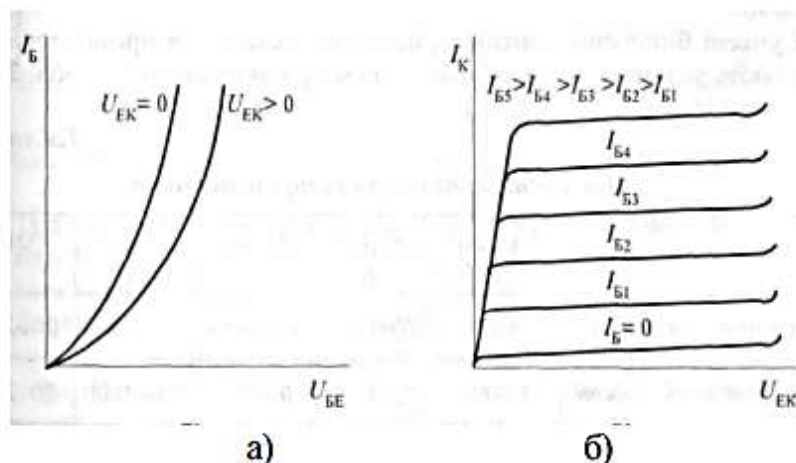


Рис.4. Вхідні (а) та вихідні (б) характеристики р-п-р транзистора, увімкненого за

схемою зі спільним емітером

Залежність між струмом і напругою входу чи виходу для певної схеми ввімкнення транзистора називають вхідною чи вихідною характеристиками транзистора відповідно. Зазвичай, це сімейство характеристик для фіксованих значень вихідної чи вхідної величини. На рис. 9 подано вхідні $I_B = f(U_{BE})|U_{EK}=\text{const}$ і вихідні $I_K = f(U_{EK})|I_B=\text{const}$ характеристики для транзистора типу р-п-р, увімкненого за схемою зі спільним емітером. Характеристики транзистора використовуються для вибору робочої точки в схемах підсилювачів сигналів. До основних параметрів біполярних транзисторів відносять: U_{EK} - напругу між емітером і колектором, величина якої може призвести до пробію колекторного р-п-переходу; I_K - величину струму колектора, яка визначає нагрівання емітерного р-п-переходу; P_K - потужність розсіювання колекторного р-п-переходу, що впливає на його нагрівання. Тому, під час вибору транзисторів, ці розрахункові величини порівнюють з допустимими значеннями, поданими в паспортних даних для кожного з типів транзисторів:

$$U_{EK} \leq U_{EK, \text{доп}}; \quad I_K \leq I_{K, \text{доп}}; \quad P_K \leq P_{K, \text{макс}}$$

До параметрів транзисторів відносять також граничну частоту $f_{гр}$, на якій передатний коефіцієнт за струмом h_{21E} дорівнює одиниці. Сучасні біполярні транзистори, що випускаються промисловістю, поділяють за потужністю, основні параметри яких подано в табл. 2. Таблиця 2 Параметри біполярних транзисторів

	$U_{EK, \text{доп}}, В$	$I_{K, \text{доп}}, А$	$P_{K, \text{доп}}, Вт$	$f_{гр}, Гц$	h_{21E}
<i>Малої потужності</i>	5÷25	0,01÷0,1	0,01÷0,1	1,0÷8000	20÷200
<i>Середньої потужності</i>	25÷100	0,05÷0,5	0,3÷3,0	1,0÷1000	20÷200
<i>Великої потужності</i>	50÷1000	0,5÷10	3÷300	0,5÷300	20÷200

1.2. Польові транзистори Останнім часом широко використовуються *

польові (уніполярні) транзистори, в яких для утворення струму транзистора використовуються носії заряду тільки одного типу (дірки або електрони). Основною їх ознакою є відсутність на шляху проходження струму р-п-переходів (рис. 5), а зона, по якій проходить струм називається * каналом. Канал має два виводи: * витік (В) — звідки рухаються вільні носії зарядів і * стік (С) — куди ці заряди стікаються. Третій вивід, який виходить із зони напівпровідника протилежного до каналу типу провідності, називають * затвором (З), що використовується для регулювання площі перетину каналу. Залежно від типу провідності каналу вони поділяються на транзистори з р-каналом або n-каналом, чим визначається полярність прикладеної напруги (рис. 5).

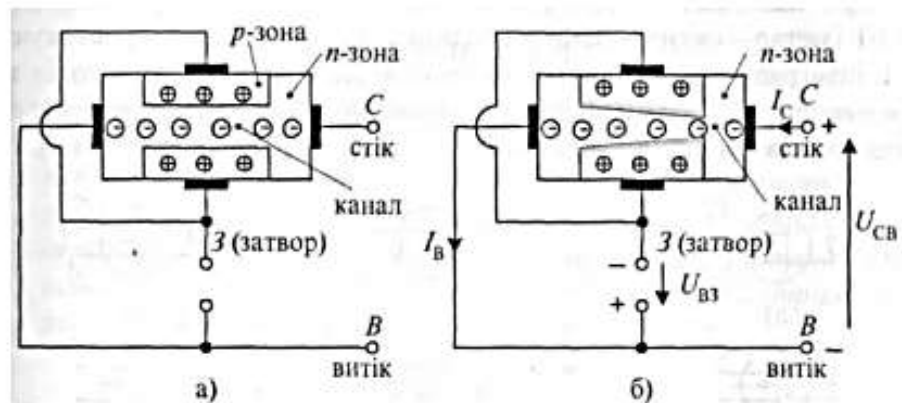


Рис. 5. Польовий транзистор з n-каналом: а) структура; б) робочий режим

Під дією напруги $U_{СВ}$ вільні носії заряду утворюють в каналі (центральній частині транзистора) струм, величину якого можна регулювати напругою при сталій напрузі $U_{СВ}$. Залежність між струмом і напругою виходу для певної схеми ввімкнення транзистора називають вихідною характеристикою транзистора. Переважно це сімейство характеристик для фіксованих значень вхідної величини. На рис. 11 подано вихідні характеристики $I_C = f(U_{СВ}) | U_{ВЗ} = \text{const}$ для польового транзистора з n-каналом (рис. 12, а), увімкненого за схемою зі спільним витоком.

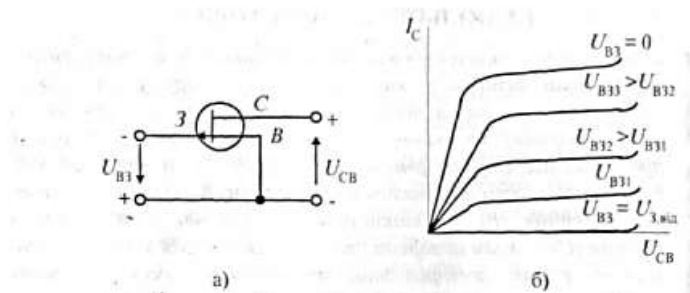


Рис. 6. Польовий транзистор з п-каналом : а) — схема увімкнення із спільним витоком; б) — вихідна характеристика

Сучасні польові транзистори виконуються з ізолюваним від каналу затвором. Введення шару діелектрика зменшує струм спливу. Такі транзистори називають МДН (метал-діелектрик-напівпровідник) або МОН (метал-оксид напівпровідник), які широко використовуються в інтегральних схемах. Схемні позначення таких транзисторів зображено на рис. 7. Використання ізоляційного прошарку забезпечило розширення діапазону основних параметрів транзисторів (табл. 3).

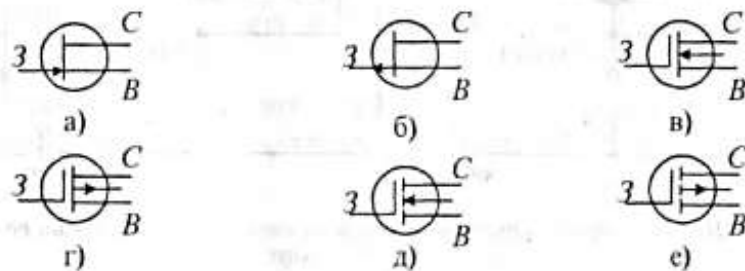


Рис. 7. Схемні позначення польових транзисторів: з р-каналом (а); з п-каналом (б); з ізолюваним затвором з вбудованими п-каналом (в) та р-каналом (г); з ізолюваним затвором з індуктованими п-каналом (д) та р-каналом (е) Вибір польових транзисторів здійснюється за такими величинами: напругою стік — витік ($U_{CB} \leq U_{CB.доп}$); потужністю стоку ($P_C \leq P_{C.доп}$); струмом стоку ($I_C \leq I_{C.доп}$). Допустимі значення цих величин подано в табл.3.

Таблиця 3 Параметри польових транзисторів

<i>Тип транзистора</i>	<i>$U_{CB, доп}, В$</i>	<i>$P_{C, доп}, Вт$</i>	<i>$I_{C, доп}, мА$</i>
<i>З n-p-переходом</i>	<i>5÷100</i>	<i>0,1÷10</i>	<i>10÷1000</i>
<i>З ізолюваним затвором</i>	<i>5÷1000</i>	<i>0,01÷50</i>	<i>0,1÷5000</i>

Маркування транзисторів складається з чотирьох елементів: перший (літера або цифра) - матеріал напівпровідника (Г(1) - германій; К(2) - кремній; А(3) - арсенід галію); другий (літера) - Т (біполярні), П (польові); третій (тризначне число) - класифікаційна ознака за потужністю і частотою; четвертий (літера) - різновид транзистора цього типу (А, Б, В тощо). Наприклад, ГТ905А - германієвий біполярний потужний високочастотний транзистор, різновид типу А.

ТЕМА 2 СИЛОВІ НАПІВПРОВІДНИКОВІ МОДУЛІ ПОРІВНЯЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА СИЛОВИХ НАПІВПРОВІДНИКОВИХ ПРИЛАДІВ

1 Силові напівпровідникові модулі

У наш час найбільшого поширення набули так звані силові напівпровідникові модулі, що являють собою сполучення поєднаних в одному корпусі декількох силових напівпровідникових приладів. Металева пластина — основа модулю, ізолювана від струмопровідних частин і призначена для тепловідведення на зовнішній охолоджувач. Останній може бути спільним для декількох модулів, що значно спрощує конструкцію пристрою. Сам модуль герметизований у пластмасовому корпусі, що виконаний на металевій пластині і має виводи для підключення до зовнішніх електричних кіл. Виготовляються модулі з різним сполученням діодів, тиристорів і транзисторів.

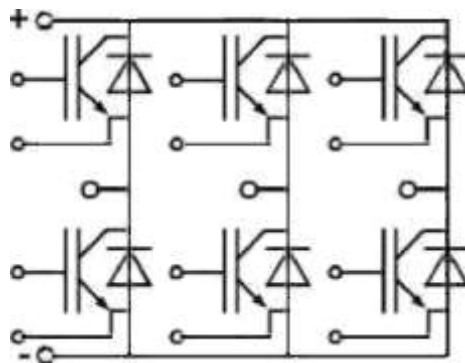


Рисунок 1.15 Схема силового модулю

Останнім часом перспективним напрямком є використання силових інтелектуальних модулів (Smart Power Integrated Circuit / Intelligent Power Modules - ФМ). Вони поряд з силовою схемою мають влаштований захист від перевантажень за струмом і температурою, забезпечують функцію захисту від перенапруги, мають властивість продовж тривалого часу стежити за процесами перемикання в схемі, обмежувати темп зростання температури і напруги. Вхідні кола, як правило, ізолювані від силових. Їх технологія будується на монолітній інтеграції силових та слабкострумових структурах. Функціонально інтегральні

модулі є зв'язувальною ланкою між схемою зовнішнього керування та споживачем. Інтелектуальні модулі з ідеальними для забезпечення вимогами щодо об'єднання функцій керування та захисту в одному приладі.

2 Порівняльна характеристика силових напівпровідникових приладів

Перерахуємо керовані силові напівпровідникові прилади (дискретні або такі, що використовуються в модулях і силових інтегральних схемах), які найбільш широко застосовуються в даний час: IGBT, МДН- транзистор, біполярний транзистор, SIT, тиристор, симістор, запираємий тиристор.

Окремі типи всіх перерахованих вище транзисторів і тиристорів, що випускаються промисловістю, мають високі значення максимально допустимої напруги (сотні вольт) і максимально допустимих струмів (сотні ампер).

Існують конкретні типи тиристорів, запираємих тиристорів і IGBT, для яких максимально допустима напруга істотно більше 1000 В, а максимально допустимий струм істотно більше 1000 А. Рекордні значення максимально допустимої напруги і максимально допустимого струму по кожному силовому напівпровідниковому приладу постійно зростають.

Вибір напівпровідникового приладу, як основи пристрою силової електроніки, з відповідальним етапом. Від цього вибору сильно залежать техніко-економічні показники пристрою, що розробляються.

При виборі приладу часто доводиться враховувати велике число чинників. З технічних чинників зазвичай найбільш важливими є значення:

- комутованих струмів;
- комутованої напруги;
- вихідної потужності пристрою;
- частоти комутації (перемикання).

Характерні особливості силових напівпровідникових приладів необхідно враховувати при виборі приладу.

МДН- транзистор має найкращі динамічні властивості. Він має незаперечні

переваги при підвищеній (більше 100 кГц) частоті комутації (оскільки інші прилади практично не можуть працювати на такій частоті). Іншими характерними перевагами МДН- транзистора є висока теплостійкість і простота формування сигналів керування.

IGBT відрізняються хорошими динамічними властивостями (частота комутації до 100 кГц). Високовольтний IGBT має меншу напругу у відкритому стані порівняно з відповідним МДН- транзистором. IGBT має високу теплостійкість. Для нього нескладно сформувати сигнали керування.

Біполярний транзистор характеризується малою напругою у відкритому стані. Проте його динамічні властивості невисокі (частота комутації до 10 кГц).

SIT в деяких випадках має меншу напругу у відкритому стані в порівнянні навіть з біполярним транзистором.

Тиристор здатний комутувати дуже великі струми і напругу, проте він може використовуватися при достатньо низькій частоті комутації (десятки, сотні та, іноді, тисячі герц). В даний час найбільш перспективними силовими приладами є IGBT і МДН- транзистор.

ТЕМА 3 ТИРИСТОРНІ ЕЛЕКТРОННІ КЛЮЧІ

3.1 Тиристорні електронні ключі

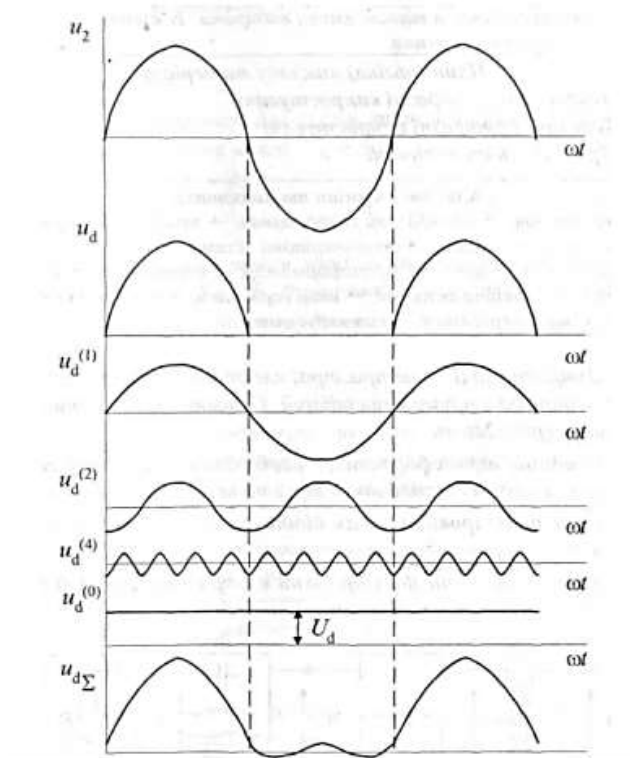


Рис. 22. До пояснення перетворення змінної напруги в постійну (на основі розкладу в ряд Фур'є)

Середнє значення випростаної напруги

$$U_d = \frac{1}{T} \int_0^T u_d dt$$

фактично визначається величиною постійної складової. Робота випростувачів характеризується такими показниками:

- коефіцієнтом пульсацій випростаної напруги $K_0 = \frac{U_{dm}}{U_d}$ де U_{dm} - максимальне значення основної гармоніки ряду Фур'є випростаної напруги; U_d - середнє значення випростаної напруги;
- відносною зміною випростаної напруги при переході від неробочого режиму до номінального режиму навантаження: $\Delta U = (U_{d0} - U_{dn}) / U_{dn}$ де U_{d0} та U_{dn} - значення випростаної напруги в неробочому і

номінальному режимам відповідно;

- коефіцієнтом корисної дії (ККД) η , $\eta = \frac{U_2 I_2}{U_1 I_1}$ де U_2 , I_2 діючі значення напруги та струму вторинної обвитки трансформатора. В цілому ККД випростувача визначається як $\eta = \eta_T \eta_B$ де η_T - ККД анодного трансформатора. До таких показників відноситься і зовнішня характеристика. Зовнішня характеристика випростувача $U_d = f(I_d)$ - це залежність вихідної напруги від струму навантаження. У реальних випростувачах напруга на виході випростувача змінюється зі зміною струму навантаження внаслідок наявності явища комутації вентилів, а також визначається спадом напруги в обвитках трансформатора та на опорах відкритих вентилів. Ця залежність розраховується за таким виразом:

$$U_d = U_{d0} - I_d \left(\frac{2X'_k}{\pi} + R'_k \right) - \Delta U_a,$$

де ΔU_a - спад напруги у відкритому вентилі, який у випростувачах малої та середньої потужності становить $(1 \div 2)$ В на один ventиль; U_{d0} - середнє значення випростаної напруги в неробочому режимі, яка для однофазних некерованих випростувачів дорівнює

$$U_{d0} = U_{du} + \frac{2I_{du}X'_k}{\pi}.$$

Значення опорів короткого замикання трансформатора R_k , X_k переважно розраховані або подані в паспортних даних відповідно до напруги первинної обвитки. Тому, при побудові зовнішньої характеристики, ці величини потрібно привести через коефіцієнт трансформації до напруги вторинної обвитки.

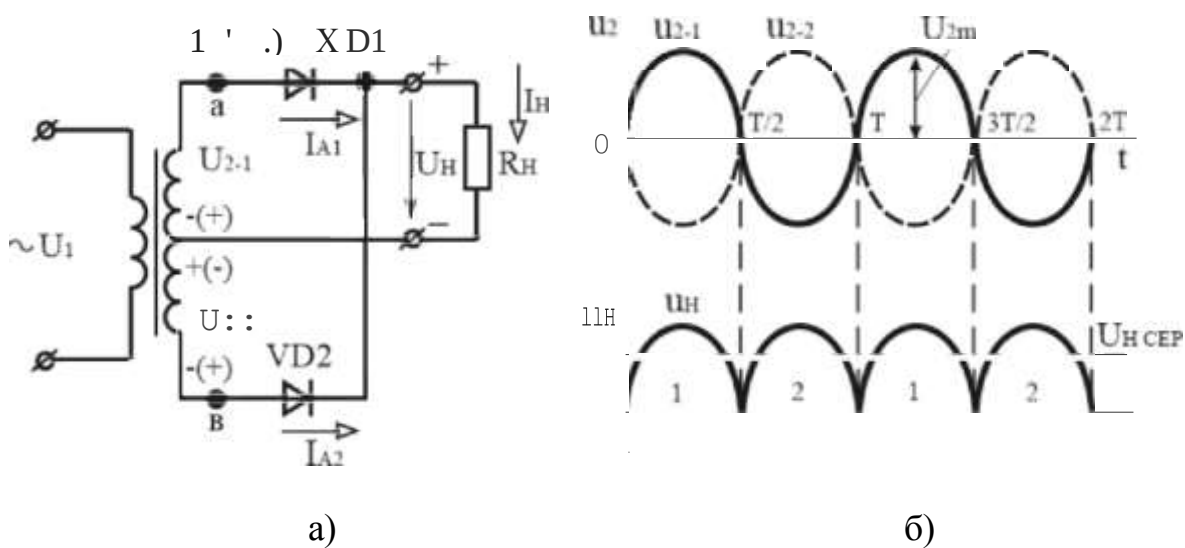
ТЕМА 4 ОДНОФАЗНИЙ ДВОПІВПЕРІОДНИЙ ВИПРЯМЛЯЧ З НУЛЬОВИМ ВИВОДОМ

4.1 Однофазний двопівперіодний випрямляч з нульовим виводом

Однофазний двопівперіодний випрямляч з нульовим виводом (рисунк 2.4, а) складається з трансформатора TV, діодів VD1, VD2 та резистора навантаження R_H .

При прикладенні півхвилі напруги u_i позитивної полярності на вторинних обмотках трансформатора діють напруги u_{2-1} та u_{2-2} полярністю відносно Н - нульової точки вказаною без дужок (інтервал $0-T/2$ на рисунку 2.4, б). До анода діода VD1 відносно нульової точки прикладається напруга позитивної полярності, а до анода діода VD2 — негативної.

При вказаній полярності напруги на анодах діод VD1 на інтервалі $0-T/2$ відкритий, а діод VD2 закритий. Практично вся напруга u_{2-1} прикладається до навантаження R_H (оскільки падіння напруги на діоді у відкритому стані мале), створюючи на ньому напругу U_H . На даному інтервалі анодний струм діода рівний струму навантаження $I_A \approx I_H \approx U_{2-1}/R_H$.



а — схема; б — часові діаграми напруги

Рисунок 2.4 — Однофазний двопівперіодний випрямляч

з нульовим виводом

При прикладенні напруги ці негативної полярності полярність напруги на вторинних обмотках стає зворотною (інтервал $T/2-T$). У відкритому стані знаходиться діод VD2, а діод VD1 закритий. До навантаження $R_L >$ прикладається напруга $u_{2-2'}$, що визначає напругу u_H тієї ж полярності, що і на попередньому інтервалі. Тепер струми в схемі визначаються півхвилею напруги позитивної полярності $u_{2-2'}$. $I_{A2} \quad I_H \quad I_{32-2'} \quad I_H$

У подальшому процеси в схемі повторюються.

Основні співвідношення для однофазного двопівперіодного випрямляча з нульовим виводом :

$$U_{HCEP} = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} U_2 \approx 0,9U_2 \quad (2.6)$$

або

$$U_2 = \frac{\pi}{2\sqrt{2}} U_{HCEP} \approx 1,11 U_{HCEP}. \quad (2.7)$$

Коефіцієнт пульсацій

$$K_H = 0,67. \quad (2.8)$$

Середній струм через діод

$$I_A = \frac{I_{HCEP}}{2}. \quad (2.9)$$

Зворотна напруга, що прикладається до закритого діода

$$U_{зв\max} = 2\sqrt{2}U_2 \quad (2.10)$$

або

$$U_{зв\max} = \pi U_{HCEP}. \quad (2.11)$$

Струм

$$I_2 = \frac{\pi}{4} I_{HCEP}. \quad (2.12)$$

ЛЕКЦІЯ 5 ІНВЕРТОРИ, ВЕДЕНІ МЕРЕЖЕЮ

5.1 Інвертори, ведені мережею — це перетворювальні пристрої, які забезпечують передачу енергії від джерела постійної напруги у мережу змінної напруги, напруга та частота якої обумовлюються стороннім потужним джерелом напруги.

Ці пристрої виконуються на основі керованих випрямлячів.

На рисунку 4.10 наведена схема однофазного інвертора, на якій зображено керований випрямляч, до вихідного кола якого підключено джерело U_d із вказаною полярністю.

При цьому пристрій може виконувати дві функції:

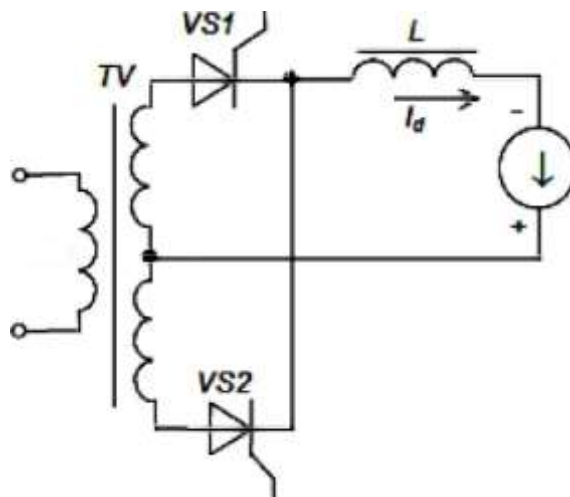
- 1) керованого випрямляча, якщо кут керування задавати у межах

$$0 \leq \alpha \leq \pi/2;$$

- 2) інвертора, веденого мережею, якщо кут керування задавати у

$$\pi/2 \leq \alpha \leq \pi.$$

Рисунок 4.10 — Однофазний інвертор, ведений мережею



На рисунку 4.11 зображені залежності напруги U_d від кута керування α та кута випередження: $\Delta = \tau - \alpha$.

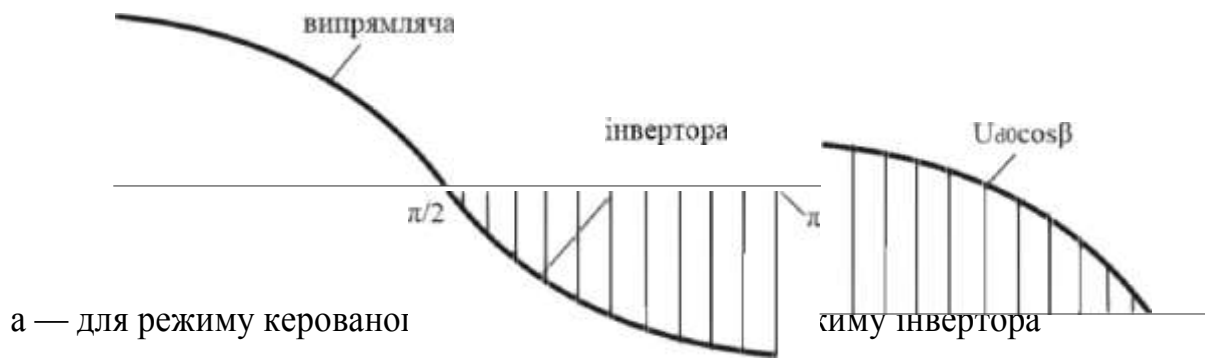


Рисунок 4.11 Регулювальні характеристики інвертора, веденого мережею

Характеристика $U_{dr}(\alpha)$ свідчить, що при різних α напруга U_{dr} повинна бути меншою або дорівнювати за величиною U_{d0}

$$U_{dr} \leq U_{d0} \quad (4.10)$$

Інвертори, ведені мережею, використовуються у таких випадках:

- для плавного регулювання швидкості обертання двигунів (режим випрямляча);
- для регульованого гальмування двигунів (режим інвертора).

На рисунку 4.12 зображена схема реверсивного перетворювача напруги, призначеного для регулювання швидкості обертання і реверсу (змін напрямку

обертання) двигуна постійного струму.

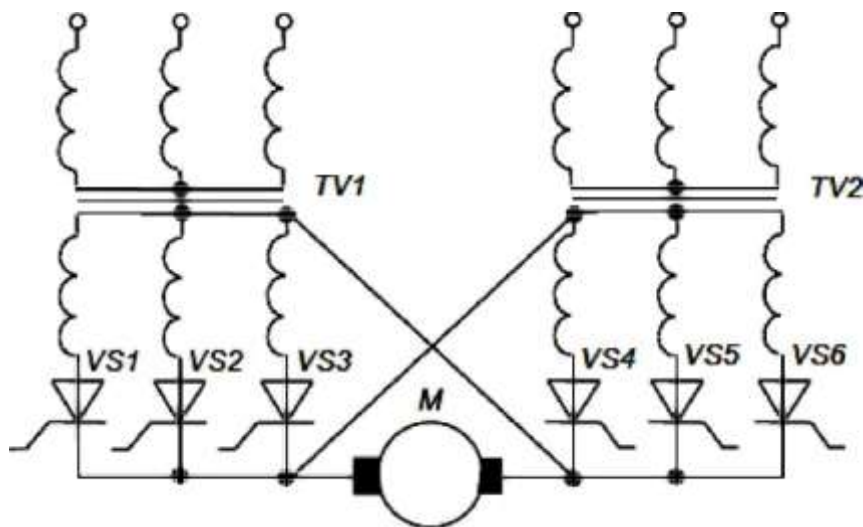


Рисунок 4.12 — Реверсивний перетворювач напруги

І ліва, і права частини перетворювача можуть працювати, як у режимі керованого випрямляча, так і у режимі інвертора, веденого мережею.

Розглянемо один із можливих алгоритмів роботи такого перетворювача, що називається режимом з роздільним керуванням.

При вмиканні тиристорів VS1 - VS3 лівої частини схеми перетворювача з кутом керування $\alpha = \pi/2$ він працює як керований випрямляч, забезпечуючи керування швидкістю обертання електродвигуна M у одному напрямку. Тиристи VS4 - VS6 правої частини схеми при цьому вимкнені. Для зміни напрямку обертання, спочатку припиняють подачу імпульсів керування на тиристи VS1 - VS3 і очікують зниження до нуля струму електродвигуна M. Це повинно забезпечити відновлення запірних властивостей тиристорів VS1 - VS3 і, тим самим, виключити можливість виникнення короткозамкненого контуру після вмикання тиристорів VS4 - VS6 правої частини перетворювача. Зниження струму фіксують автоматично за сигналом датчика величини струму

Далі подають імпульси керування на тиристи VS4 - VS6 правої частини перетворювача з кутом керування $\alpha = \pi/2$.

Оскільки механічна система електродвигун-навантаження досить інерційна, то за час паузи у керуванні тиристорами частота обертання двигуна

і напруга на його якорі істотно не змінюються.

При куті керування $\alpha = \pi/2$ права частина перетворювача працює як інвертор, а електродвигун при цьому діє як джерело енергії працює у генераторному режимі. В двигуні виникає гальмівний момент, що призводить до швидкого зниження швидкості його обертання та е.р.с. якоря.

Механічна енергія, що була накопичена в масивних частинах електродвигуна та його навантаження (тих, що обертаються), перетворюється у електричну і повертається до мережі живлення, а не гаситься, як звичайно, в спеціальних потужних резисторах. Гальмування електродвигуна з поверненням енергії до мережі називають рекуперацією.

Отже, якщо перетворювач працює у режимі інвертора, джерелом енергії є електродвигун, а споживачем (навантаженням) мережа змінного струму.

При зменшенні кута керування до значення $\alpha = \pi/2$, електродвигун зупиняється. Подальше зменшення кута α призводить до розгону двигуна з обертанням у протилежному напрямку. При $\alpha = 0$ швидкість обертання досягає номінального значення. Тепер права частина перетворювача працює як випрямляч, а зліва вимкнена.

При необхідності наступного реверсу (гальмування електродвигуна і зміни напрямку його обертання), імпульси керування знімають з тиристорів VS4 - VS6 правої частини перетворювача, очікують зниження струму до нуля і вмикають тиристори VS1 - VS3 лівої частини перетворювача.

ЛЕКЦІЯ 6 ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ І КЛАСИФІКАЦІЯ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ. ЛІНІЙНІ І НЕЛІНІЙНІ ЕЛЕМЕНТИ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ

6 1 Принципи побудови і класифікація систем керування

Принцип побудови систем керування полягає в тому, що вони задаються з метою керування об'єктом для досягнення певних цілей. Системи керування можна класифікувати за такими критеріями, як тип об'єкта, спосіб зв'язку між об'єктом та системою керування, тип керуючого сигналу тощо.

6 2 Лінійні і нелінійні елементи систем керування

Лінійні елементи систем керування характеризуються лінійним відношенням між вхідним та вихідним сигналами, що означає, що їхні характеристики не змінюються залежно від амплітуди вхідного сигналу. Нелінійні елементи ж не піддаються подібним обмеженням та можуть мати неоднакову відповідь на різні вхідні сигнали.

ЛЕКЦІЯ 7 СТАБІЛІЗАТОРИ СТРУМУ

7.1 Стабілізатори струму

На відміну від стабілізаторів напруги стабілізатори струму призначені для автоматичного підтримування величини струму на виході незалежно від величини вхідної напруги або опору навантаження.

Схема стабілізатора струму на біполярному транзисторі наведена на рисунку 2.20

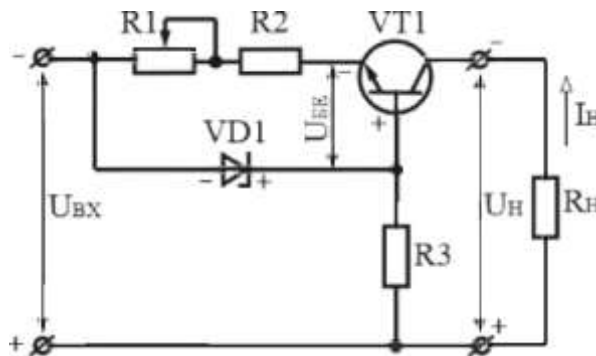


Рисунок 2.20 — Схема стабілізатора струму на біполярному транзисторі

Розглянемо роботу стабілізатора струму для двох випадків: 1) $R_{\text{н}} = \text{const}$, $U_{\text{вх}} = \text{var}$; 2) $R_{\text{н}} = \text{var}$, $U_{\text{вх}} = \text{const}$

Припустимо, що опір навантаження $R_{\text{н}}$ залишається незмінним, а збільшується вхідна напруга $U_{\text{вх}}$. Якби ніяких змін не відбувалося з транзистором, то струм через $R_{\text{н}}$ також збільшився б. Внаслідок чого збільшиться струм, що протікає через резистори R_1 , R_2 , а, відповідно, і напруга на цих резисторах. Напруга на стабілітроні VD_1 дорівнює сумі напруг на резисторах R_1 , R_2 і на переході база-емітер транзистора VT_1 (перехід база-емітер транзистора ввімкнений в прямому напрямі). Напруга на стабілітроні VD_1 при зміні вхідної напруги залишається практично незмінною. Таким чином, напруга U_{BE} на переході база-емітер транзистора VT_1 зменшиться і збільшиться опір між виводами емітер-колектор транзистора. Струм, що протікає через колектор-емітер транзистора VT_1 і резистор навантаження $R_{\text{н}}$ буде зменшуватись, змінюючись до свого початкового значення. Таким чином, буде забезпечуватись стабілізація I_{OUT}

Нехай тепер вхідна напруга $U_{вх}$ залишиться незмінною, а збільшиться опір навантаження $R_{н}$ Лкбї в цьому випадку з транзистором не відбулось ніяких змін, то струм навантаження $I_{н}$ зменшився б. При зменшенні струму навантаження $I_{н}$ зменшиться струм через резистори R_1, R_2 і падіння напруги на них також зменшиться. В результаті збільшиться напруга між базою та емітером транзистора U_{BE} , що приведе до зростання його колекторного струму $I_{к}$, а також струму навантаження $I_{н}$. Таким чином, струм навантаження $I_{н}$ буде змінюватись до свого початкового значення. Для збільшення стабільності струму в якості транзистора VT1 використовують складений транзистор.

Основні параметри стабілізаторів:

- номінальна напруга джерела живлення $U_{в}$;
- номінальна вихідна напруга, яка дорівнює напрузі на навантаженні

$$U_{нн} = U_{н} ;$$

- номінальний вихідний струм $I_{н}$;
- коефіцієнт стабілізації напруги, який характеризує стабільність вихідної

$$S_U = \frac{\Delta U_{вх} / U_{вх}}{\Delta U_{вих} / U_{вих}} ;$$

- коефіцієнт стабілізації струму, який характеризує стабільність вихідного

$$S_I = \frac{\Delta I_{вх} / I_{вх}}{\Delta I_{вих} / I_{вих}} ;$$

$$\text{вихідний опір } r_{в} = \frac{U_{н}}{I_{н}}$$

$$\text{коефіцієнт корисної дії } \eta = \frac{P_{н}}{P_{вх}} = \frac{U_{н} I_{н}}{U_{вх} I_{вх}} .$$

ЛЕКЦІЯ 8 СТРУКТУРА МІКРОПРОЦЕСОРІВ

8.1 Структура мікропроцесорів

Формувачі керуючих сигналів для тиристорних ЕК. Схема ФСК для силових тиристорних ЕК зображена на рис. 103. Використання цифрових логічних мікросхем необхідне для формування керуючих сигналів основного тиристора VS1 і закриваючого VS2 тиристорного ЕК. Керуючі напруги UKer1 і UKer2 короткої тривалості, достатньої для відкривання тиристорів, у часі повинні своїми фронтами збігатися з фронтом і зрізом вихідного сигналу компаратора схеми порівняння.

Формування часу тривалості керуючих імпульсів здійснюється цифровим одновібратором (DD1.1, DD1.2), а амплітуда та потужність забезпечується цифровими елементами «НЕ» з відкритими колекторами вхідних транзисторів. Використання таких цифрових елементів необхідне для керування транзисторними ключами VT1 і VT2, що комутують струм у первинних обмотках формуючих трансформаторів Т1 і Т2. Для розрахунку вихідних каскадів визначають потужність керуючих сигналів ($P_{кер}$), кер кер кер т.кер пр. VD т.кер $P = U I = U_{т.кер} I$ де $U_{т.кер}$ — відкриваюча напруга керуючого електрода тиристора; $U_{пр.VD}$ — прямий спад напруги на імпульсному діоді, під'єднаному до керуючого електрода. Тип цього діода вибирається за струмом керування тиристорів $I_{т.кер}$ тиристорному ЕК.

Імпульсний струм колектора транзисторів VT1 і VT2 визначається за виразом . 1 ж кер Кім $P I = \frac{U_{кер} I_{кер}}{K_{ім}}$ За значеннями $I_{КІМП}$ та $U_{КЕмакс} > 2U_{ж}$ вибирають тип транзисторів VT1 і VT2. Опір резисторів R7 і R8, що визначають струм відкривання транзисторів, розраховують за виразом . 1,2 () 21 Кім ж $B E_{нас} E B I U U h R = \frac{U_{кер} I_{кер}}{K_{ім}}$ Опори резисторів R1, R2, R5 і R6 вибирають в межах (1 ÷ 3) кОм. Вказані межі опорів забезпечують подання з шини живлення рівня напруги логічної «1» з одночасним захистом входів і виходів від перевантаження.

Параметри елементів часозадавальних ланок R3—C1 і R4— C2 одно-вібраторів DD1.1, DD1.2 розраховують за необхідним часом увімкнення

тиристора. Задаючись рекомендованими значеннями опорів резисторів R3 і R4 в межах (10 ÷ 20) кОм, розраховують ємності конденсаторів C1 і C2 за виразом.

$$C = \frac{t_{y\pi}}{R_4}.$$

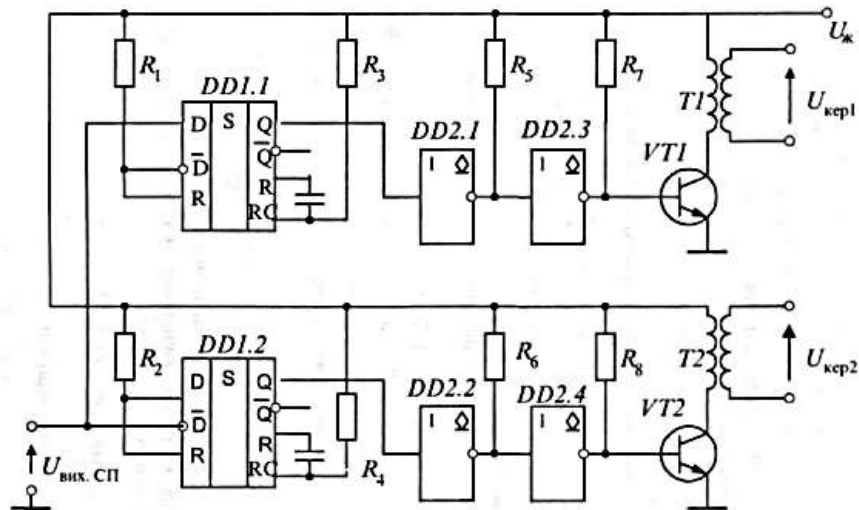


Рис. 10. Схема формувача керуючих сигналів для тиристорного електронного ключа

**КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ, КОМПЛЕКТИ ТЕСТІВ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ
РІВНЯ ЗАСВОЄННЯ ЗНАНЬ ЗДОБУВАЧАМИ**

1. Є два випрямних діоди, середній випрямний струм яких дорівнює 1 А, максимальна допустима напруга - 150 В. Додатково відомо, що прямий опір діодів дорівнює 0,5 Ом (першого) та 0,8 Ом (другого), а зворотній опір відповідно дорівнює 3 МОм та 3,5 МОм.

Визначити номінали резисторів, які потрібно включити послідовно чи паралельно з діодами, щоб їх, включивши паралельно, можна було використати в колі, в якому проходить струм 2 А.

2. Є два випрямних діоди, середній випрямний струм яких дорівнює 1 А, максимальна допустима напруга - 150 В. Додатково відомо, що прямий опір діодів дорівнює 0,5 Ом (першого) та 0,8 Ом (другого), а зворотній опір відповідно дорівнює 3 МОм та 3,5 МОм.

Визначити номінали резисторів, які потрібно включити послідовно чи паралельно з діодами, щоб їх, включивши послідовно, можна було використати в колі, в якому зворотна напруга дорівнює 300 В.

3. Двохнапівперіодний випрямляч із середньою точкою розраховано на середній вихідний струм 5 А та на середню напругу 48 В.

Визначити мінімальні параметри діодів, які застосовують при цьому.

4. Двохнапівперіодний випрямляч із мостовою схемою розраховано на середній вихідний струм 5 А та на середню напругу 48 В.

Визначити мінімальні параметри діодів, які застосовують при цьому.

5. Потужність понижувального трансформатора дорівнює 50 В·А.

Користуючись спрощеною схемою розрахунку, знайти поперечний переріз осердя цього трансформатора.

6. Поперечний переріз осердя трансформатора 220/36 В дорівнює 1125 мм².

Користуючись спрощеною схемою розрахунку, визначити число витків первинної обмотки.

7. Поперечний переріз осердя трансформатора 220/36 В дорівнює 1125 мм².

Користуючись спрощеною схемою розрахунку, визначити число витків вторинної обмотки.

8. Струм вторинної обмотки трансформатора дорівнює 1 А. **Користуючись спрощеною схемою розрахунку трансформатора, визначити діаметр проводу обмотки.**

9. Випрямляч з мостовою схемою дає на виході напругу 10 В. **Визначити значення середньої напруги випрямляча.**

10. Випрямляч з мостовою схемою дає на виході напругу 10 В. **Визначити амплітуду напруги першої гармоніки на виході випрямляча.**

11. Випрямляч з мостовою схемою дає на виході напругу 10 В.

Визначити коефіцієнт пульсації напруги випрямляча.

12. Значення середньої напруги на вході і виході фільтра дорівнює 24 В.

Амплітуди напруг перших гармонік на вході та виході фільтра дорівнюють 16 та

0,4 В. **Визначити коефіцієнт пульсації на вході фільтра.**

13.Значення середньої напруги на вході і виході фільтра дорівнює 24 В.

Амплітуди напруг перших гармонік на вході та виході фільтра дорівнюють 16 та

0,4 В. **Визначити коефіцієнт пульсації на виході фільтра.**

14.Значення середньої напруги на вході і виході фільтра дорівнює 24 В.

Амплітуди напруг перших гармонік на вході та виході фільтра дорівнюють 16 та

0,4 В. **Визначити коефіцієнт згладжування фільтра.**

15.Коефіцієнт згладжування LC-фільтра дорівнює 100. **Визначити потрібну величину LC при частоті 50 Гц.**

16. Багато ланковий Г-подібний LC-фільтр складається з трьох ланок, коефіцієнт згладжування кожної з яких дорівнює 40. **Визначити коефіцієнт згладжування фільтра.**

17.Випрямляч з вихідною діючою напругою 12 В підключено до LC-фільтра.

Чому буде дорівнювати напруга на клеммах випрямляча при холостому ході.

18.На вхід параметричного стабілізатора подано напругу (16 ± 3) В.

Чому буде дорівнювати потужність баластного резистора, якщо напруга стабілізації дорівнює 12 В, а опір резистора -12 Ом.

19.На вхід параметричного стабілізатора подано напругу (16 ± 3) В, напруга стабілізації дорівнює 12 В, а струм навантаження - $(0,15 \pm 0,05)$ А. **Чому буде дорівнювати опір баластного резистора, якщо мінімальний струм стабілітрона дорівнює 25 мА.**

20. В параметричному стабілізаторі напруга стабілізації дорівнює 12 В, максимальний струм стабілізації - 0,42 А. **Перевірити на термічну стійкість стабілітрон, для якого максимальна потужність розсіювання дорівнює 8 Вт.**

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

Основна

1. Квітка С.О., Яковлєв В.Ф., Нікітіна О.В. Електроніка та мікросхемотехніка.- Суми: Сумський національний аграрний університет, 2012.
2. Стахів П.Г., Коруд В.І., Гамола О.Є., Чернівчан В.Я., Мусихіна Н.П. Основи електроніки з елементами мікроелектроніки: Навчальний посібник. – 2-ге вид., стереотип. – Львів: "Магнолія плюс", видавець СПД ФО В.М. Піча, 2006. – 225с.
3. Колонтаєвський Ю. П., Сосков А. Г. Електроніка і мікросхемотехніка: підручник/ за ред. А. Г. Соскова.- К.: Каравела, 2006.- 384 с.
4. Левитський С.М. Напівпровідникові прилади. Київ, ВПЦ "Київський університет", 2000 р.
5. Сосков, А. Г. Промислова електроніка : підручник / А. Г. Сосков, Ю. П. Колонтаєвський. – Київ : Каравела, 2017. – 536 с.
6. Васильєва, Л. Д. Напівпровідникові прилади : підручник для вузів / Л. Д. Васильєва, Б. І. Медведенко, Ю. І. Якименко. - К. : ІВЦ «Вид-во «Політехніка», 2012. – 554 с.
7. Електроніка і мікросхемотехніка : підручник для студ. вищ. навч. закладів : у 4-х т. – Київ : Каравела. Т. 3 Цифрові пристрої / В. І. Сенько [та ін.]. – 2017. – 399 с.
8. Електроніка і мікросхемотехніка / В. І. Сенько [та ін.]. – К.: Каравела. Т. 4, Кн. 1: Силова електроніка / за ред. В. І. Сенька. – 2013. – 640 с.
9. Електроніка і мікросхемотехніка / В. І. Сенько [та ін.]. – К.: Каравела. Т. 4, Кн. 2 / за ред. В. І. Сенька. – 2013. – 316 с.
10. Електроніка і мікросхемотехніка: Підручник для студентів вищих навчальних закладів, що навчаються за напрямками «Електромеханіка та Електротехніка»: У 4-х т. /Сенько В.І., Панасенко М.В., Сенько Є.В. та ін. Т2. Аналогові та імпульсні пристрої. -Харків: Фоліо, 2002.

Інформаційні ресурси

1. <http://www.kmu.gov.ua> - Кабінет Міністрів України.
2. <http://www.portal.rada.gov.ua> - Верховна Рада України.
4. <http://nubip.edu.ua/> - головна сторінка НУБіП України.
5. <http://nubip.edu.ua/node/1376> - кафедра автоматики та робототехнічних систем ім. акад. І.І. Мартиненка.
6. <http://elibrary.nubip.edu.ua> - електронна наукова бібліотека НУБіП України.
7. <http://energ.nauu.kiev.ua/> - навчально-інформаційний портал ННІ енергетики і автоматики
8. <http://www.nbuv.gov.ua/> - національна бібліотека України імені В.І. Вернадського, Київ.

Рясна Ольга Василівна

ЕЛЕКТРОННІ ПРИСТРОЇ В СИСТЕМАХ КЕРУВАННЯ

Методичні вказівки по виконанню самостійної роботи

Суми, РВВ, Сумський національний аграрний університет, вул. Г. Кондратьєва, 160

Підписано до друку: січень 2025 р.

Формат А5:

Гарнітура Times New Roman

Тираж: ____ примірників

Замовлення _____ Ум. друк. арк. 1,4
