

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №2

Тема: Розрахунок основних параметрів напівпровідникових діодів та їх вибір

Мета роботи: ознайомлення з елементами параметрів напівпровідникових діодів і стабілітронів, методикою розрахунку та вибору цих елементів.

Теоретичні відомості

Напівпровідникові (НП) діоди - це НП прилади, виготовлені на основі двошарових НП структур і які використовують властивості $p-n$ переходу. Загальні теоретичні відомості про діоди наведені в [8, с.20-29].

Умове позначення діодів на схемах - VD.

Широко розповсюджені випрямні діоди, дія яких базується на використанні вентильних властивостей $p-n$ переходу.

Структура та умове позначення діода, а також ВАХ потужного випрямного діода наведені на рис. 2.1. Такі діоди призначені для випрямлення змінного струму низької частоти.

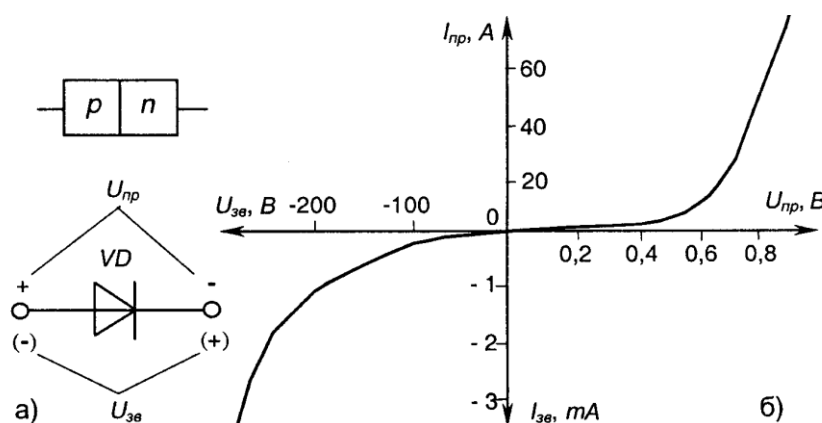


Рис. 2.1 - Структура та умове позначення (а) і ВАХ (б) випрямного діода

Основними параметрами випрямних діодів є:

- граничний прямий струм діода $I_{пр}$ - максимально допустиме середнє значення струму через діод у прямому напрямку за визначених умов охолодження, для сучасних діодів $I_{пр} = (0,1 \div 2200) A$;

- максимально допустимий прямий струм діода (імпульсний) $I_{пр max}$, становить $(10 \div 50) I_{пр}$;

- прямий спад напруги $U_{пр}$, тобто середнє значення напруги на діоді при граничному прямому струмі $I_{пр}$, для діодів з кремнію становить $(0,6 \div 0,8) B$;

- максимально допустима зворотна напруга $U_{зв.max}$, що дорівнює максимально допустимому амплітудному значенню зворотної напруги, яка не призводить до виходу з ладу приладу за визначених умов охолодження, $U_{зв max} = (50 \div 3000) B$.

У випадку, коли неможливо підібрати діод за номінальними параметрами використовують паралельне (за $I_p > I_{np}$) або послідовне (за $U_{зв.мах.p} > U_{зв.мах}$) їх підключення у схемі.

Вибір необхідної кількості підключених діодів визначається відповідно за формулами:

$$N_{нар.} = \frac{I_p}{I_{np}} + \Delta N$$

$$N_{посл.} = \frac{U_{зв.мах.p}}{U_{зв.мах}} + \Delta N \quad (2.1)$$

де ΔN - доданок до ближнього цілого числа.

Через великі розкиди зворотних опорів діодів, які можуть відрізнятися в декілька разів, їх необхідно шунтувати резисторами. Значення шунтуючих опорів визначають за формулою:

$$R_{ш} \leq \frac{N \cdot U_{зв.мах} - 1,1 \cdot U_{зв.мах.p}}{(N-1) \cdot I_{зв.мах}} \quad (2.2)$$

Найпростішу схему випрямлення напруги змінного струму із застосуванням випрямного діода наведено на рис. 2.2.

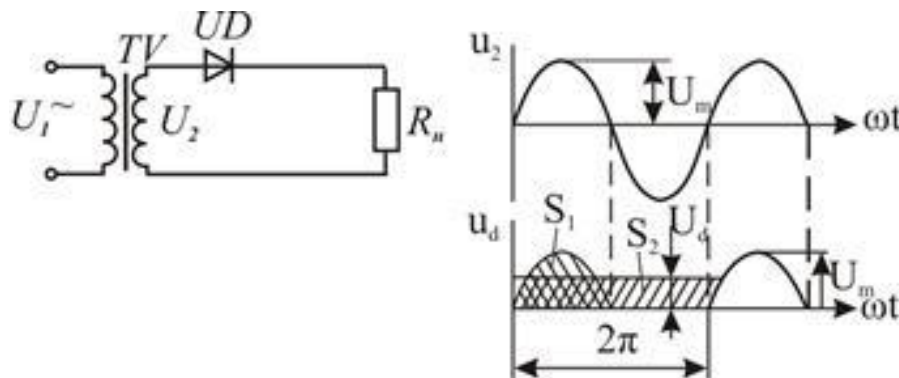


Рис. 2.2 - Схема випрямлення напруги змінного струму із застосуванням випрямного діода і часові характеристики його роботи

Напівпровідниковий діод, на якому напруга в зоні електричного пробою майже не залежить від струму, називається стабілітроном (діодом Зенера).

Як видно з ВАХ, наведеної на рис. 2.3, у зоні пробою напруга на стабілітроні майже не залежить від струму через нього $I_{см}$.

Стабілітрони використовують для стабілізації напруги. Щоб запобігти тепловому пробою, їх конструкція забезпечує ефективне відведення тепла від кристалу.

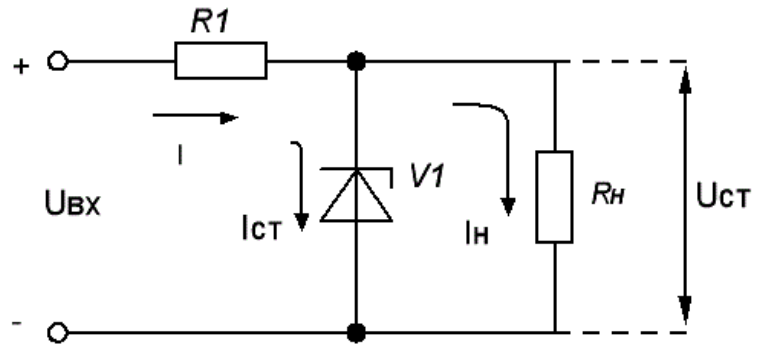
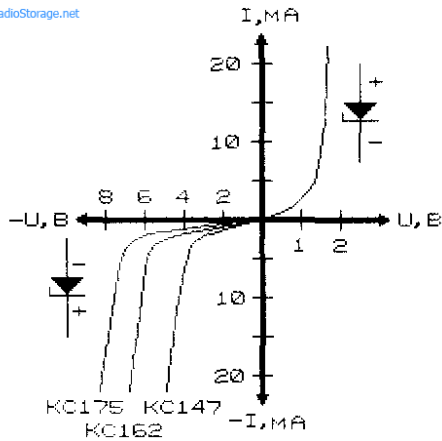


Рис. 2.3 - Умовне позначення, ВАХ та схема включення стабілітрона

Основними параметрами стабілітрона є:

- напруга стабілізації U_{cm} , що становить від 1 до 1000В;
- динамічний опір на ділянці стабілізації (характеризує зміну величини напруги на приладі зі змінами струму крізь нього):

$$R_d = \frac{dU_{cm}}{dI_{cm}}, \quad (2.3)$$

що складає від одиниць до десятків Ом;

- мінімальний струм стабілізації $I_{cm \min}$ - мінімальний струм, за якого прилад гарантовано знаходиться в режимі стабілізації - складає одиниці міліампер;
- максимальний струм стабілізації $I_{cm \max}$ - максимально допустимий струм через прилад, досягає (0,02 ÷ 1,5) А.

У випадку, коли неможливо підібрати стабілітрон за напругою стабілізації ($U_{cm.p} > U_{cm}$) використовують послідовне їх підключення у схемі. Вибір необхідної кількості послідовно підключених стабілітронів визначається за формулою (2.1)

Паралельне підключення стабілітронів не допускається.

Умовні позначення n/n діодів

У даний час використовується система позначень, відповідно до ГОСТ 10862-72. У цій системі прийнято поділ на групи за граничною частотою: на низькочастотні НЧ (до 3МГц), середньої частоти СЧ (від 3 до 30МГц), високочастотні ВЧ (понад 30МГц); за потужністю, що розсіюється – на малопотужні (до 0,3Вт), середньої (від 0,3 до 1,5Вт) і великої (понад 1,5Вт) потужності.

Діодам присвоюється позначення з чотирьох елементів:

- перший елемент – буква або цифра, що вказує вихідний матеріал (1 або Г – германій; 2 або К – кремній; 3 або А – арсенід галію; 4 або І (И) – фосфід індію).
- другий елемент – буква, що вказує підклас або групу діода:
 - А - надвисокочастотні;
 - Б - прилади з об'ємним ефектом;
 - В - варікапи;
 - Г - генератори шуму;
 - Д - випрямлювальні, універсальні, імпульсні;
 - И - тунельні та зворотні;
 - К - стабілізатори струму;
 - Л - випромінюючі;
 - С - стабілітрони, стабістори;
 - Ц - випрямлювальні стовпи та блоки.

Додаткове позначення „С” мають діодні збірки.

- третій елемент – число, перша цифра якого позначає класифікаційний номер, а наступні дві (від 1 до 99) – порядковий номер розробки (крім стабілітронів та стабісторів).

Для першої цифри третього елемента прийняті такі класифікаційні позначення:

Варікапи (В):

- підстроювальні 1
- помножувальні 2

Випрямлювальні стовпи (Ц):

- малої потужності (прямий струм до 0,3А) 1
- середньої потужності (прямий струм від 0,3А до 10А) 2

Випрямлювальні блоки (Ц):

- малої потужності (прямий струм до 0,3А) 3
- середньої потужності (прямий струм від 0,3А до 10А) 4

Діоди (Д):

- випрямлювальні малої потужності (прямий струм до 0,3А) 1
- випрямлювальні середньої потужності (прямий струм від 0,3А до 10А) 2
- магнітодіоди 3
- універсальні 4
- імпульсні з часом встановлення зворотного опору:
 - більше 150 нс 5
 - від 30 до 150 нс 6
 - від 5 до 30 нс 7
 - від 1 до 5 нс 8

менше 1 нс	9
Стабілітрони та стабістори (С):	
- потужністю не більше 0,3Вт з напругою стабілізації:	
до 10В	1
від 10 до 99В	2
від 99 до 199В	3
- потужністю від 0,3 до 5Вт з напругою стабілізації:	
до 10В	4
від 10 до 99В	5
від 99 до 199В	6
- потужністю більше 5Вт з напругою стабілізації:	
до 10В	7
від 10 до 99В	8
від 99 до 199В	9
Тунельні та зворотні (И):	
- підсилювальні	1
- генераторні	2
- перемикаючі	3
- зворотні	4
Випромінюючі (Л):	
- інфрачервоного діапазону	1
- світлодіоди з яркістю:	
не більше 500 кд/м ²	3
більше 500 кд/м ²	4
Надвисокочастотні (А):	
- зміщувальні	1
- детекторні	2
- параметричні	4
- регулюючі	5
- помножувальні	6
- генераторні	7
- <u>четвертий елемент</u> – буква, що вказує різновид приладу даного типу.	

Наприклад, діод КД202А розшифровується так: К – матеріал, кремній, Д – діод випрямний, 202 – призначення і номер розробки, А – різновид; 2С920 – кремнієвий стабілітрон великої потужності різновиди типу А; КВ102А – кремнієвий варікап, підстроювальний, номер розробки 02, група А.

Для стабілітронів та стабісторів наступні дві цифри означають: при напрузі стабілізації менше 10В – десяті долі напруги стабілізації; при напрузі стабілізації від 10 до 99В - номінальну напругу стабілізації; при напрузі від 100 до 199В –

суму номінальної напруги і 100В. Наприклад: КС620 – кремнієвий стабілітрон, середньої потужності, напруга стабілізації: $20 + 100 = 120\text{В}$.

В умовне позначення діода не завжди входять деякі технічні дані, тому їх необхідно шукати в довідниках по напівпровідниковим приладам.

Основні формули та рівняння

Опір діода за постійним струмом:

$$R_a = \frac{U_a}{I_a} \quad (2.4)$$

Опір діода за змінним струмом:

$$R_i = \frac{\Delta U_a}{\Delta I_a} \quad (2.5)$$

Крутизна вольт-амперної характеристики діода:

$$S = \frac{\Delta I_a}{\Delta U_a} \quad (2.6)$$

Потужність втрат на аноді діода:

$$P_a = I_a U_a \quad (2.7)$$

Практичні завдання

Задача 2.1. Для схеми випрямлення (рис. 2.2) розрахувати параметри напівпровідникового діода і вибрати його за довідниковими даними (табл. Д8) за відомими значеннями опору навантаження R_H та змінної фазної напруги $U_{2\phi}$.

Прийняти: $R_H = (10 \cdot \text{№ за списком}) \text{ Ом}$; $U_{2\phi} = (10 + 3 \cdot \text{№ за списком}) \text{ В}$.

Приклад. Дано: $R_H = 8 \text{ Ом}$; $U_{2\phi} = 12 \text{ В}$;

Розрахунок

Середнє значення напруги на навантаженні визначаємо із співвідношення:

$$U_{d0} = K_u U_{2\phi} = 0,45 \cdot 12 = 5,4 \text{ В}.$$

Визначаємо струм навантаження:

$$I_H = \frac{U_{d0}}{R_H} = \frac{5,4}{8} \approx 0,68 \text{ А}.$$

Визначаємо граничний прямий струм діода I_{np} :

$$I_{np} = K_I I_H = 1 \cdot 0,68 = 0,68 \text{ А}.$$

Аналогічно визначаємо максимально допустимий прямий струм діода:

$$I_{np.\text{max}} = K_{Io} I_H = 1,14 \cdot 0,68 = 0,78 \text{ А}.$$

Максимально допустима зворотна напруга діода рівна:

$$U_{зв.мах} = K_U \cdot U_{d0} = 3,14 \cdot 5,4 = 17В.$$

Вибираємо тип діодів за табл. Д8. При цьому необхідно забезпечити виконання умов:

$$U_{зв.мах.дон} > U_{зв.мах}; \quad (2.8)$$

$$I_{нр.дон} > I_{нр}; \quad (2.9)$$

$$I_{нр.мах.дон} = \pi I_{нр.дон} > I_{нр.мах} \quad (2.10)$$

За табл. Д8 вибираємо випрямний кремнієвий діод типу КД202Б, що має наступні параметри:

$$U_{зв.мах.дон} = 50В > 17В;$$

$$I_{нр.дон} = 1А > 0,68А;$$

$$I_{а\max} = \pi I_{нр.дон} = \pi \cdot 1 = 3,14А > 0,78А;$$

$$U_{нр} = 1В.$$

Отже, для наведеної схеми випрямляча остаточно вибираємо випрямний діод типу КД202Б для якого $I_{нр.дон} = 1А$, $U_{зв.мах.дон} = 50В$.

Задача 2.2. Розрахувати параметри і вибрати тип елементів у схемі, див. рис. 2.3 (схему навести з вибраними елементами у кінці практичної), що забезпечує напругу стабілізації $U_{вих} = U_n$, за зміни струму навантаження від $I_{вих.мін}$ до $I_{вих.мах}$. Напруга джерела живлення $U_{дж}$ задана.

Прийняти: $U_{вих} \approx (3 + \text{сума двох цифр } \text{№ за списком}) В$; $U_{дж} = 1,5U_{вих} \pm 10\%$, В; $I_{вих\min} = 5\text{мА}$, $I_{вих\max} = (15 + 3 \cdot \text{№ ост. цифра за списком}), \text{мА}$.

Приклад. Дано: $U_{вих} = 12В$, $I_{вих\min} = 25\text{мА}$, $I_{вих\max} = 100\text{мА}$, $U_{дж} = 17В \pm 20\%$.

Розв'язок

Попередньо за напругою стабілізації за табл. Д9 вибираємо стабілітрон Д815Д, з параметрами: $U_{ст} = U_{вих} = 12В$, $I_{ст.мах} = 300\text{мА}$, $I_{ст.мін} = 5\text{мА}$.

Струм через стабілітрон повинен змінюватись у межах: $I_{ст.мах} > I_{ст.ном} > I_{ст.мін}$.

Номинальний струм через стабілітрон:

$$I_{ст.ном} = I_{ст.мах} \cdot \frac{U_{дж.н} - U_{вих}}{U_{дж.мах} - U_{вих}} = 300 \cdot \frac{17 - 12}{1,2 \cdot 17 - 12} = 178,6\text{мА}.$$

Перевіримо умову виконання нерівності:

$$I'_{ст.мін} = I_{ст.мах} \cdot \frac{U_{дж.мін} - U_{вих}}{U_{дж.мах} - U_{вих}} > I_{ст.мін},$$

$$300 \cdot \frac{0,8 \cdot 17 - 12}{1,2 \cdot 17 - 12} = 57,1\text{мА} > 25\text{мА}.$$

Резистор R_I розраховуємо за формулою:

$$R_I = \frac{U_{дж.н} - U_{вих}}{I_{ст.ном}} = \frac{17 - 12}{178,6 \cdot 10^{-3}} = \frac{5}{178,6 \cdot 10^{-3}} = 28 \text{ Ом.}$$

За табл. Д1 приймаємо стандартне значення опору баластного резистора – 30 Ом.

Потужність, що виділяється на опорі R_I :

$$P_{R_I} = I_{ст.ном}^2 \cdot R_I = (178,6 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 30 = 0,93 \text{ Вт.}$$

За значенням $R_I = 30 \text{ Ом}$ за табл. Д3 вибираємо резистор R_b типу МЛТ-1, потужністю 1 Вт.

Максимально-допустиме значення струму навантаження, що може пройти через вибраний стабілітрон:

$$I_{н. max} = I_{ст. ном} - I'_{ст min} = 178,6 - 57,1 = 121,5 \text{ мА, що більше } I_{вих. max} = 100 \text{ мА.}$$

Максимальна потужність на виході схеми:

$$P_{вих} = U_{вих} \cdot I_{н. max} = 12 \cdot 121,5 \cdot 10^{-3} = 1,458 \text{ Вт,}$$

$$P_{ст.} = (U_{ст.} \cdot I_{ст. max}) = 12 \cdot 300 \cdot 10^{-3} = 3,6 \text{ Вт.}$$

За розрахунковим величинах остаточно вибираємо за табл. Д9 стабілітрон типу Д815Д з параметрами: $U_{ст} = 12 \text{ В}$; $I_{ст.min} = 25 \text{ мА}$; $I_{ст.max} = 300 \text{ мА}$; та опір R_I типу МЛТ-1, 30 Ом, $P_n = 1 \text{ Вт}$.

ДОДАТКИ

Таблиця Д1 - Ряди номінальних значень

Індекс ряду	Позиції ряду	Допустиме відхилення від номінальної величини, %
Е6	1,0; 1,5; 2,2; 3,3; 4,7; 6,8	±20
Е 12	1,0; 1,2; 1,5; 1,8; 2,2; 2,7; 3,3; 3,9; 4,7; 5,6; 6,8; 8,2	± 10
Е24	1,0; 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; 5,6; 6,2; 6,8; 7,5; 8,2; 9,1	± 5
Е48	1,0; 1,05; 1,1; 1,15; 1,21; 1,27; 1,33; 1,4; 1,47; 1,54; 1,62; 1,69; 1,78; 1,87; 1,96; 2,05; 2,15; 2,26; 2,37; 2,49; 2,61; 2,74; 2,87; 3,01; 3,16; 3,32; 3,48; 3,65; 3,83; 4,02; 4,22; 4,42; 4,64; 4,87; 5,11; 5,36; 5,62; 5,9; 6,19; 6,49; 6,81; 7,15; 7,5; 7,87; 8,25; 8,66; 9,09; 9,53	± 2

Числу в індексі знаменника ряду відповідає кількість позицій ряду: так, ряд Е24 має 24 номінальних значення у проміжку від 1 до 10 (більша кількість при допустимому відхиленні ± 5 % не потрібна).

Будь-яке номінальне значення ряду може бути помножене на множник 10^n . Множники та їх позначення наведені в табл. Д2 (може бути, наприклад: 6,8Ом; 680Ом; 6,8кОм; 68кОм; 6,8мкФ; 0,68нФ; 6800пФ та ін.).

Таблиця Д2 - Множники для утворення десяткових часткових та кратних одиниць

Множник 10^n	Приста- вка	Параметр елемента					
		Опір (R)		Ємність (C)			
		назва	позначення	назва	позначення		
10^9	гіга	гігаом	ГОм	фарада	Ф		
10^6	мега	мегаом	МОм				
10^3	кіло	кілоом	КОм				
1	-	-	Ом				
10^{-3}	мілі	міліом	МОм				
10^{-6}	мікро					мікрофарада	мкФ
10^{-9}	нано					нанофарада	нФ
10^{-12}	піко					пікофарада	пФ

Таблиця Д3 - Постійні резистори

Тип резистора	Діапазон опорів	Номінальна потужність, Вт
МЛТ	1 Ом ÷ 3,01 МОм	0,025; 0,05; 0,125
	1 Ом ÷ 5,1 МОм	0,25; 0,5
	1 Ом ÷ 10 МОм	1; 2
С2-33	1 Ом ÷ 3 МОм	0,125
	1 Ом ÷ 5,1 МОм	0,25
	0,1 Ом ÷ 5,1 МОм	0,5
	1 Ом ÷ 10 МОм	1
	1 Ом ÷ 22 МОм	2
ПЕВ-2,5	45 Ом ÷ 430 Ом	2,5
ПЕВ-5	5 Ом ÷ 33 кОм	5
ПЕВ-10; 25; 50	5 Ом ÷ 10 кОм	10; 25; 50

Таблиця Д8 - Основні параметри деяких випрямних діодів.

Тип діода	Граничні електричні параметри при температурі оточуючого середовища 25 ± 5 °С		
	Допустима зворотна напруга $U_{зв. д}, В$	Середнє значення випрямленого струму $I_{ан}, А$	Пряме падіння напруги $U_{пр}$ (за $I_{а max}$), В
КД105Б	400	0,3	1
КД105В	600		
КД205А	500	0,5	
КД205Б	400		
КД205В	300		
КД205Г	200		
КД205Д	100	0,5	1
КД205К		0,7	
КД205Л	200		
КД208	100	1,0	
КД209Л	400	0,7	
КД209Б	600		
КД202А	50	3,5	
КД202Б		1,0	
КД202В	100	3,5	
КД202Г		1,0	
КД202Д		3,5	
КД202Н	200	1,0	

Таблиця Д9 - Основні параметри деяких стабілітронів.

Тип стабілітрона	Напруга стабілізації $U_{ст.}$, В	ТКН, град ⁻¹	Диф. опір $R_{д}$, Ом	Максимальний струм $I_{ст. max}$, мА
КС133А	3,0 ÷ 3,6	0,11	65	81
КС139А	3,7 ÷ 4,2	0,1	60	70
КС147А	4,2 ÷ 5,2	0,1	56	58
КС156А	5,0 ÷ 6,4	0,05	46	55
КС168А	6,12 ÷ 7,5	0,06	28	45
Д814А	8	0,07	6	40
Д814Б	9	0,08	10	36
Д814В	10	0,09	12	32
Д814Г	11	0,095	15	29
Д814Д	13	0,095	18	24
Д815Д	12	0,095	10	300
КС515Г	15	0,005	25	31
КС520В	20	0,001	210	22
КС524Г	24	0,005	40	19
КС531	31	0,005	350	15
КС547В	47	0,001	490	10
КС568	68	0,001	700	10
КС596	96	0,001	980	7

Примітка. Мінімальний струм для всіх стабілітронів становить $I_{ст. min} = 3\text{ мА}$.

Контрольні запитання

1. Дайте визначення випрямного діода, наведіть умовне графічне та буквене позначення на електричних схемах
2. На основі структури поясніть принцип дії випрямного діода.
3. Параметри (умови) вибору випрямного діода.
4. Класифікація випрямних діодів за потужністю та частотою.
5. Застосування випрямних діодів в електроенергетиці.
6. Як можна застосувати діоди в електричній схемі, якщо їх не можна підібрати за номінальними параметрами відповідно до умов: $I_p > I_{пр}$ або $U_{зв. max. p} > U_{зв. max.}$. Обґрунтуйте вибір необхідної кількості діодів для такої схеми
7. Дайте визначення стабілітрона, наведіть умовне графічне та буквене позначення на електричних схемах
8. На основі структури поясніть принцип дії стабілітрона.
9. Параметри (умови) вибору стабілітрона.

10. Як можна застосувати стабілітрона в електричній схемі, якщо їх не можна підібрати за номінальними параметрами відповідно до умови: $U_{ст.р} > U_{ст.}$. Обґрунтуйте вибір необхідної кількості діодів для такої схеми

11. Системи позначень маркування діодів, характеристика елементів.

12. Розшифруйте умовне маркування діодів: 2Д202А, КС920.