

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №1

Тема: Розрахунок параметрів резисторів, напівпровідникових діодів, стабілітронів.

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

Теоретичні відомості

Резистор або опір (від лат. *resisto* — опираюся) — елемент електричного кола, призначений для використання його електричного опору [1]. Загальні теоретичні відомості про резистори наведені в [8, с.17-20].

Резистори характеризують номінальним значенням електричного опору, прийнятним відхиленням від нього, максимальною потужністю розсіювання, граничною електричною напругою та температурним коефіцієнтом електричного опору. Для випадку лінійної характеристики значення електричного струму через резистор у залежності від електричної напруги описується законом Ома.





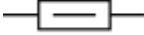


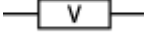
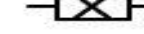
Умовні графічні позначення резисторів на принципових електричних схемах регламентуються ГОСТ 2.728-74 [3]. Згідно з ним постійні резистори у залежності від виду і потужності позначаються згідно табл.1.1.

За ГОСТ 2.710-81 буквенний код сталого (постійного) резистора, змінного резистора, потенціометра, варистора, терморезистора на електричних схемах позначається *R*.

Промислові резистори одного і того ж номіналу мають розкид опорів. Значення можливого розкиду визначається точністю резистора. Випускають резистори з точністю 20%, 10%, 5%, і т. д. аж до 0,01%. Номінали резисторів не довільні: їх значення вибираються зі спеціальних номінальних рядів за ГОСТ 28884-90 (IEC 63-63), найчастіше з номінальних рядів E6 ($\pm 20\%$), E12 ($\pm 10\%$) або E24 (для резисторів з точністю до $\pm 5\%$), для точніших резисторів використовуються точніші ряди (наприклад, E48), (див. додаток Д.1).

Резистори, що випускаються промисловістю характеризуються також певним значенням максимальної розсіюваної потужності (випускаються резистори потужністю 0,01Вт; 0,025Вт; 0,05Вт; 0,125Вт; 0,25Вт; 0,5Вт; 1Вт; 2Вт; 5Вт; 8Вт; 10Вт; 16Вт; 25Вт; 50Вт; 75Вт; 100Вт; 150Вт; 200Вт; 500Вт), (див. додаток Д.1).

Таблиця 1.1 - Умовні графічні позначення резисторів на принципових електричних схемах, що регламентуються ГОСТ 2.728-74

Позначення за ГОСТ 2.728-74	Опис
	Постійний резистор без вказання номінальної потужності, що розсіюється.
	Постійний резистор з номінальною потужністю, що розсіюється 0,05Вт.
	Постійний резистор з номінальною потужністю, що розсіюється 0,125Вт.
	Постійний резистор з номінальною потужністю, що розсіюється 0,25Вт.
	Постійний резистор з номінальною потужністю, що розсіюється 0,5Вт.
	Постійний резистор з номінальною потужністю, що розсіюється 1Вт.
	Постійний резистор з номінальною потужністю, що розсіюється 2Вт.
	Постійний резистор з номінальною потужністю, що розсіюється 5Вт.
	Постійний резистор з номінальною потужністю, що розсіюється 10Вт.

Система позначень резисторів, що відповідає Дерстандарту:

- перший елемент позначення – буква (або дві букви), що означають тип резистора:

С – постійні;

СП – змінні.

- другий елемент – цифра, що означає різновид провідного елемента:

1 – непровідникові тонкошарові вуглецеві і боровуглецеві;

2 – непровідникові тонкошарові металоплівкові, металооксидні;

3 – непровідникові композиційні плівкові;

4 – непровідникові об'ємні;

5 – непровідникові;

6 – непровідникові тонкошарові металізовані.

- третій елемент – цифра, що вказує на конструктивний різновид резисторів.

Позначенні номіналу, номінальної потужності і допустимого відхилення від номіналу звичайних резисторів наносять на корпус резистора.

Приклад позначень резисторів: С2-33 – резистор постійний, непровідниковий, металоплівковий, номер конструктивного різновиду (модифікації) 33; МЛТ – металоплівковий резистор.

Промисловість випускає такі типи провідникових резисторів:

- з одношаровим намотуванням:

ПЕ – дротові (провідникові) емальовані;

ПЕВ – дротові емальовані вологостійкі;

ПЕВТ – дротові емальовані і волого- і термостійкі;

ПЕВР – дротові емальовані вологостійкі регульовані, що мають латунний рухливий з затискаючим гвинтом хомут, який має можливість переміщуватися вздовж корпусу резистора по витках дроту, вільних від ізоляції;

- регульовані з багатшаровим намотуванням:

ПТ – дротові (провідникові) точні;

ПТН, ПТМ, ПТК – дротові точні, відповідно з ніхромового, магнанинового чи константанового дроту;

ПТМН, ПТММ, ПТМК – дротові точні малогабаритні, відповідно з ніхрому, манганину чи константану.

Резистори з одношаровим намотуванням мають допустимі відхилення від номіналу $\pm 5\%$; $\pm 10\%$, а резистори з багатшаровим намотуванням – $\pm 0,25\%$; $\pm 0,5\%$; $\pm 1\%$.

Для визначення допустимого відхилення від номіналу резистора вводять додатково у кінці позначення букву. Допустимі відхилення від номіналу наведені у табл. 1.1

Таблиця 1.1 – Допустимі відхилення від номіналу резисторів.

Доп. відх. %	$\pm 0,1$	$\pm 0,2$	$\pm 0,5$	± 1	± 2	± 5	± 10	± 20	± 30
Умовн. позн.	Ж	У	Д	Р	Л	И	С	В	Ф

Відповідно до ДСТ175-72 і вимог Публікації 62 ІЕС (Міжнародної Електротехнічної Комісії) опір резистора може бути вказаний трьома, чотирма, п'ятьма чи шістьма кольоровими смугами. Як правило, перша смуга розташована ближче до одного з виводів резистора, іноді вона ширша за інші (треба помітити, що на практиці спостерігається не завжди).

Якщо на корпус резистора нанесено чотири смуги, то колір перших двох смуг відповідає першим цифрам опору. Третя смуга позначає ступінь десяти, тобто множник, на який треба помножити число, позначене першими двома смугами, щоб одержати опір резистора в Омах, чи інакше кажучи число нулів після перших двох цифр. У випадку п'ятисмугового позначення три перші смуги відповідають опору, четверта - множник, а п'ята - допуск. Коли на резисторі лише три смуги, його допуск - 20%, а всі смуги означають тільки опір. Шоста смужка, якщо вона є, вказує температурний коефіцієнт опору (ТКС).

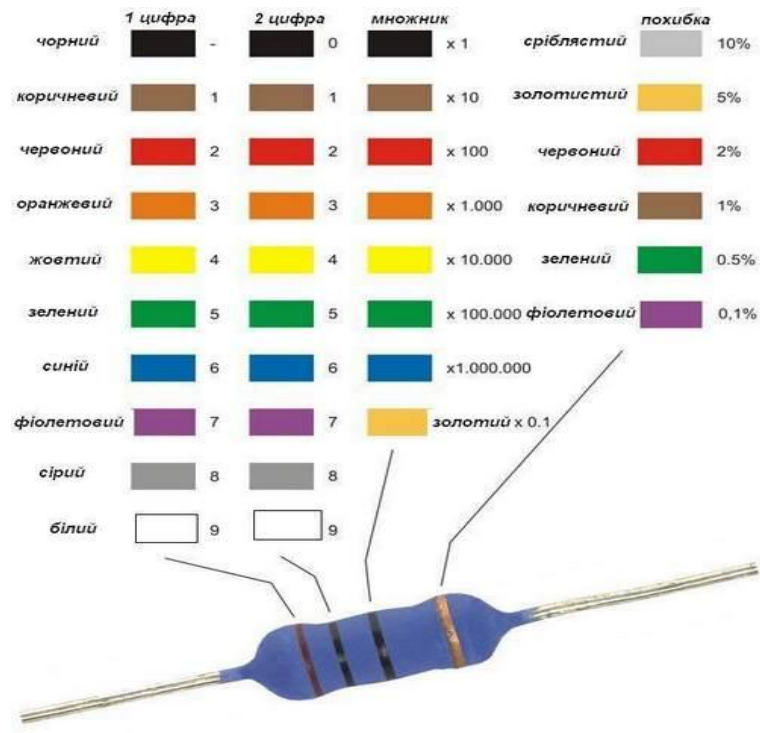


Рис. 1.1 – Визначення опору резистора за кольором смуг

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. 1.2. Такі діоди призначені для випрямлення змінного струму низької частоти.

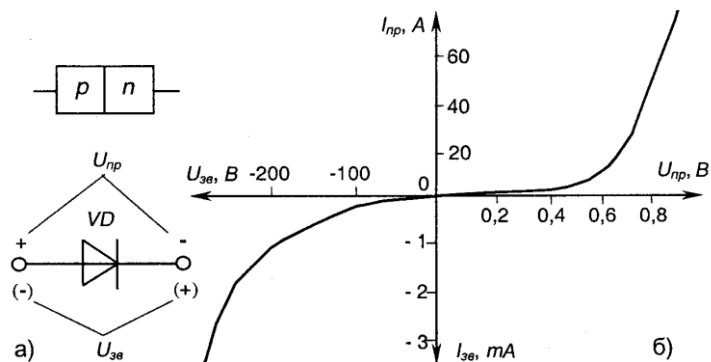


Рис. 1.2 - Структура та умове позначення (а) і ВАХ (б) випрямного діода

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 $(0,6 \div 0,8) V$;
- 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, $U_{зв\ max} = (50 \div 3000) V$.

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:

$$N_{пар.} = \frac{I_p}{I_{np}} + \Delta N \quad (1.1)$$

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

де ΔN - доданок до ближнього цілого числа.

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

$$R_{ш} \leq \frac{N \cdot U_{зв.мах} - 1,1 \cdot U_{зв.мах.p}}{(N-1) \cdot I_{зв.мах}} \quad (1.2)$$

Найпростішу схему випрямлення напруги змінного струму із застосуванням випрямного діода наведено на рис. 1.3.

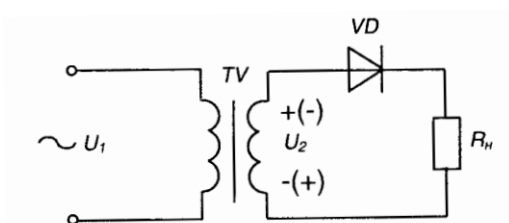


Рис. 1.3 – Схема випрямлення

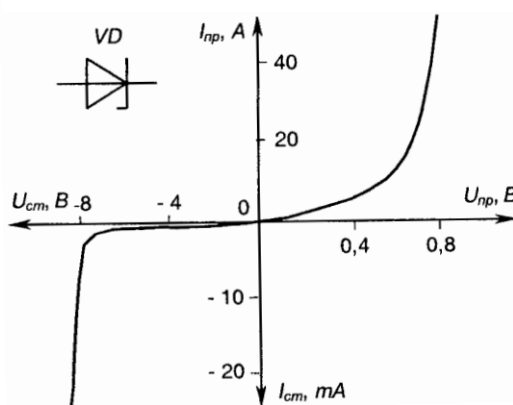


Рис. 1.4 - Умовне позначення та ВАХ стабілітрона

Напівпровідниковий діод, на якому напруга в зоні електричного пробою майже не залежить від струму, називається стабілітроном. Як видно з ВАХ, наведеної на рис. 1.4, у зоні пробою напруга на стабілітроні майже не залежить від струму через нього I_{cm} .

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

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):

$$R_o = \frac{dU_{cm}}{dI_{cm}}, \quad (1.3)$$

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 (1.1)

Паралельне підключення стабілітронів не допускається.

Умовні позначення n/n діодів

У даний час використовується система позначень, відповідна 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
- магніодіоди 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 – десяти 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 = 120В.

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

Основні формули та рівняння

Опір резистора за постійним струмом:

$$R = \frac{U}{I} \quad (1.4)$$

Потужність резистора:

$$P = I U = I^2 R \quad (1.5)$$

Опір діода за постійним струмом:

$$R_a = \frac{U_a}{I_a} \quad (1.6)$$

Опір діода за змінним струмом:

$$R_i = \frac{\Delta U_a}{\Delta I_a} \quad (1.7)$$

Крутизна вольт-амперної характеристики діода:

$$S = \frac{\Delta I_a}{\Delta U_a} \quad (1.8)$$

Потужність втрат на аноді діода:

$$P_a = I_a U_a \quad (1.9)$$

Практичні завдання

Задача 1.1.

Розрахувати і вибрати стандартні значення параметрів електричної схеми дільника напруги (рис.1.5) для живлення електричної схеми напругою живлення $U_H = (10 + \text{№ за списком})$ В та струмом навантаження $I_H = (10 + \text{ост. цифра № з. к.})$ мА.

Вхідна напруга дільника $U_1 = (100 + 2 \cdot \text{№ за списком})$ В.

Приклад. Дано: $U_H = 10\text{В}$; $I_H = 10\text{мА}$;
 $U_1 = 100\text{В}$.

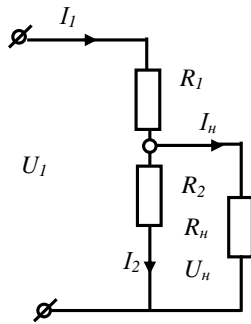


Рис.1.5

Розрахунок

Приймаємо, що струм дільника $I_{1,2} = I_1 = I_2$ дорівнює заданому значенню струму $I_{1,2} = I_H = 10\text{мА}$, тоді опори дільника $R_1 + R_2$ дорівнюють:

$$R_1 + R_2 = \frac{U_1}{I_{1,2}} = \frac{100}{10 \cdot 10^{-3}} = 10 \cdot 10^3 \text{ Ом.}$$

Для забезпечення напруги $U_2 = U_H = 10\text{В}$ опір дільника приймається:

$$R_2 = \frac{U_2}{I_{1,2}} = \frac{10}{10 \cdot 10^{-3}} = 1 \cdot 10^3 \text{ Ом,}$$

а опір $R_1 = \frac{U_1 - U_2}{I_{1,2}} = \frac{100 - 10}{10 \cdot 10^{-3}} = 9 \cdot 10^3 \text{ Ом.}$

Користуючись рядом номінальних значень резисторів з допустимими відхиленнями від номінальної величини $\Delta = 5\%$, вибираємо резистори ряду E24 за табл. Д1: $R_1 = 9,1\text{кОм}$ і $R_2 = 1\text{кОм}$, які і використовуємо для подальших обчислень.

Визначимо опори дільника з урахуванням струму навантаження $I_H = 10\text{мА}$.

Струм при підключенні навантаження буде рівний:

$$I'_1 = I_H + I_2 = (10 + 10) \cdot 10^{-3} = 20\text{мА.}$$

$$R'_1 = \frac{U_1 - U_2}{I'_1} = \frac{90}{20 \cdot 10^{-3}} = 4,5\text{кОм.}$$

Тобто, для забезпечення стабільної напруги на навантаженні при зростанні струму за включеного навантаження опір R_1 треба зменшити до значення R'_1 . За табл. Д1 визначаємо стандартне значення опору: $R'_1 = 4,7\text{кОм}$.

За напруги $U_H = 10\text{В}$ і струму $I_H = 10\text{мА}$ опір навантаження

$$R_H = \frac{U_H}{I_H} = \frac{10}{10 \cdot 10^{-3}} = 1 \cdot 10^3 \text{ Ом} = 1\text{кОм.}$$

Опір паралельно включених резисторів R_2 і R_H буде рівний:

$$R_{2,H} = \frac{R_2 \cdot R_H}{R_2 + R_H} = \frac{1 \cdot 10^3 \cdot 1 \cdot 10^3}{1 \cdot 10^3 + 1 \cdot 10^3} = 0,5 \cdot 10^3 \text{ Ом.}$$

Спад напруги на навантаженні визначається за формулою:

$$U_H = I'_1 \cdot R_{2,H} = 20 \cdot 10^{-3} \cdot 0,5 \cdot 10^3 = 10 \text{ В.}$$

Визначимо потужності, що виділяються у вигляді тепла на опорах дільника

$$P_{R_1} = I_1'^2 \cdot R_1 = (20 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 4,7 \cdot 10^3 = 1,8\text{Вт.}$$

$$P_{R_2} = I_2^2 \cdot R_2 = (10 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 10 \cdot 10^3 = 1\text{Вт.}$$

За значенням $R_1 = 4,7\text{кОм}$ за табл. Д4., вибираємо резистор R_1 типу С2-23, потужністю 2Вт; аналогічно вибираємо резистор R_2 типу С2-23, потужністю 1Вт.

Задача 1.2. Для заданої схеми випрямлення (табл.1.2) 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: $R_H = (10 \cdot \text{№ за списком})$ Ом;

$$U_{2\phi} = (10 + 4 \cdot \text{№ за списком}) \text{ В.}$$

Таблиця 1.2 – Параметрів схем випростувачів при роботі на активне навантаження для ідеальних вентилів

№ схеми	Схема випрямлення	Параметри для вибору діода			
		$Ku = \frac{U_{do}}{U_{2\phi}}$	$K_I = \frac{I_{np}}{I_H}$	$K_{Io} = \frac{I_{np,max}}{I_H}$	$Ku = \frac{U_{зв,max}}{U_{do}}$
1	1-фазна однопівперіодна	0,45	1	1,14	3,14
2	1-фазна з середньою точкою тр-ра	0,9	0,5	0,707	3,14
3	1-фазна мостова	0,9	0,5	0,707	1,57
4	Трифазна нульова	1,17	1/3	0,577	2,01
5	Трифазна мостова	2,34	1/3	0,577	1,045

Приклад. Дано: $R_H = 8\text{ Ом}$; $U_{2\phi} = 12\text{ В}$; схема випрямлення - 1-фазна однопівперіодна (рис. 1.3).

Розрахунок

Для заданої схеми випрямлення за табл. 1.2 визначаємо розрахункові коефіцієнти для вибору випрямних діодів.

Схема випрямлення	Параметри для вибору діода			
	$Ku = \frac{U_{do}}{U_{2\phi}}$	$K_I = \frac{I_{np}}{I_H}$	$K_{Io} = \frac{I_{np,max}}{I_H}$	$Ku = \frac{U_{зв,max}}{U_{do}}$
1-фазна однопівперіодна	0,45	1	1,14	3,14

Середнє значення напруги на навантаженні визначаємо із співвідношення:

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

Визначаємо струм навантаження:

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

Визначаємо граничний прямиий струм діода I_{np} :

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

Аналогічно визначаємо максимально допустимий прямиий струм діода:

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

Максимально допустима зворотна напруга діода рівна:

$$U_{зв,max} = K_U \cdot U_{do} = 3,14 \cdot 5,4 = 17 \text{ В.}$$

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

$$U_{зв,max, доп.} > U_{зв,max}; \quad (1.9)$$

$$I_{np, доп.} > I_{np}; \quad (1.10)$$

$$I_{np,max, доп.} = \pi I_{np, доп.} > I_{np,max} \quad (1.11)$$

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

$$U_{зв,max, доп.} = 50\text{ В} > 17\text{ В};$$

$$I_{np, доп.} = 1\text{ А} > 0,68\text{ А};$$

$$I_{a,max} = \pi I_{np, доп.} = \pi \cdot 1 = 3,14\text{ А} > 0,78\text{ А};$$

$$U_{np} = 1\text{ В.}$$

Задача 1.3. Розрахувати параметри і вибрати тип елементів у схемі, див. рисунок 1.6, що забезпечує напругу стабілізації $U_{вих}$, при зміні струму навантаження від $I_{вих,min}$ до $I_{вих,max}$. Напруга джерела живлення $U_{дж}$ задана.

Прийняти: $U_{вих} \approx (2 + \text{№ за списком}) \text{ В}$; $U_{дж} = 1,5U_{вих} \pm 10\%$, В;

$I_{вих,min} = 5\text{ мА}$, $I_{вих,max} = (20 + 2 \cdot \text{№ ост. цифра за списком}) \text{ мА}$.

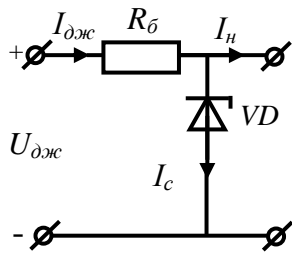


Рис. 1.6

Приклад. Дано: $U_{вих} = 12\text{В}$,

$I_{вих\ min} = 25\text{мА}$,

$I_{вих\ max} = 100\text{мА}$,

$U_{дж} = 17\text{В} \pm 20\%$.

Розв'язок

Струм через стабілітрон повинен змінюватись у межах:

$$I_{c\ max} > I_{c\ ном} > I_{c\ min}.$$

Попередньо за табл. Д9 вибираємо стабілітрон Д815Д,

$U_{ст} = 12\text{В}$, $I_{ст.\ max} = 300\text{мА}$.

Номинальний струм через стабілітрон:

$$I_{c\ ном} = I_{c\ max} \cdot \frac{U_{дж.\ н} - U_{вих}}{U_{дж.\ max} - U_{вих}} = 300 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{17 - 12}{20,4 - 12} = 178,6\text{мА}.$$

Перевіримо умову виконання нерівності:

$$I'_{c\ min} = I_{c\ max} \cdot \frac{U_{дж.\ min} - U_{вих}}{U_{дж.\ max} - U_{вих}} > I_{c\ min},$$

$$300 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{13,6 - 12}{20,4 - 12} = 57,1\text{мА} > 25\text{мА}.$$

Резистор R_{δ} розраховуємо за формулою:

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

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

Потужність, що виділяється на опорі R_{δ} :

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

За значенням $R_{\delta} = 30\text{Ом}$ за табл. Д4 вибираємо резистор R_{δ} типу С2-23, потужністю 1Вт.

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

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

що більше $I_{вих.\ max} = 100\text{мА}$.

Максимальна потужність на виході схеми:

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

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

За розрахунковим величинам 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_{δ} типу С2-33, 30Ом $P_{н} = 1\text{Вт}$.