

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №4

Тема роботи. Розрахунок стабілізаторів постійної напруги

4.1 Розрахунок параметричного стабілізатора постійної напруги

Для того, щоб забезпечити підтримання напруги на навантаженні на незмінному рівні при змінах напруги мережі або змінах опору навантаження у зазначених межах, а також при дії інших дестабілізуючих факторів, використовують спеціальні пристрої - стабілізатори напруги.

Стабілізатори безперервної дії поділяються на параметричні та компенсаційні.

Параметричні стабілізатори працюють за рахунок зміни власних параметрів електронних нелінійних приладів і можуть виконуватися на основі напівпровідникових приладів, вихідна напруга яких мало залежить від струму, що протікає через прилад, наприклад, на стабілітронах.

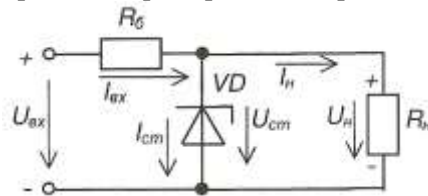


Рис. 4.1 - Параметричний стабілізатор

Схема найпростішого параметричного стабілізатора зображена на рис. 4.1. Стабілізатор складається із баластного опору $R_{\text{б}}$, стабілітрона VD (найширшого використання набули кремнієві стабілітрони) та навантаження R_H . Напруга стабілізації стабілітрона $U_{\text{ст}}$ вибирається рівною номінальній робочій напрузі навантаження U_H .

Для характеристики якості стабілізованих джерел живлення використовують такі показники:

1) відносний коефіцієнт стабілізації при $R_H = \text{const}$:

$$K_{\text{ст}} = \frac{\Delta U_{\text{вх}}}{U_{\text{вх}}} \frac{U_{\text{вих}}}{\Delta U_{\text{вих}}} \quad (4.1)$$

абсолютний коефіцієнт стабілізації:

$$K_{\text{ст1}} = \frac{\Delta U_{\text{вих}}}{U_{\text{вих}}} \quad (4.2)$$

він рівносильний коефіцієнту згладжування фільтрів.

2) вихідний опір. Він характеризує зміни вихідної напруги при коливаннях струму навантаження, за умов $U_{\text{вх}} = \text{const}$:

$$r_{\text{вих}} = \frac{\Delta U_{\text{вих}}}{\Delta I_H} \quad (4.3)$$

3) температурний коефіцієнт напруги стабілізації /ТКН/ α_H , $\%^\circ\text{C}$:

$$\alpha_H = \frac{\Delta U_{\text{ст}}}{U_{\text{ст}} \Delta T} 100\% \quad (4.4)$$

4) коефіцієнт корисної дії /ККД/, дорівнює відношенню потужності, яка виділяється на навантаженні (в номінальному режимі), до потужності, яка споживається від джерела живлення стабілізатора:

$$\eta_m = \frac{P_{\text{вих}}}{P_{\text{вх}}} \quad (4.5)$$

5) Діапазон допустимої зміни вхідних та вихідних напруг, а також струмів навантаження, в межах яких зберігається заданий показник стабілізації вихідної напруги

$$U_{\text{вх max}} \div U_{\text{вх min}}; \quad U_{\text{вих max}} \div U_{\text{вих min}}; \quad I_H \text{ max} \div I_H \text{ min} .$$

Схема параметричного стабілізатора напруги зображена на рис. 4.1.

Якщо $R_H = \infty$, то схема називається джерелом опорної напруги. Такі джерела обов'язково використовуються в схемах будь-яких стабілізаторів напруги.

Визначимо відносний коефіцієнт стабілізації для даної схеми:

$$U_{ex} = U_H + (I_{cm} + I_H) R_{\delta} \quad (4.6)$$

$$U_{ex} = U_H \left(1 + \frac{R_{\delta}}{R_{cm}} + \frac{R_{\delta}}{R_H} \right), \quad (4.7)$$

де $R_{cm} = \frac{U_{cm}}{I_{cm}}$ - опір стабілітрона на постійному струмі в робочій точці.

Якщо вхідна напруга U_{ex} змінилась на ΔU_{ex} , то справедливе співвідношення:

$$\Delta U_{ex} = \Delta U_{cm} \left(1 + \frac{R_{\delta}}{r_{диф}} + \frac{R_{\delta}}{R_H} \right) \quad (4.8)$$

де $r_{диф}$ - диференціальний опір стабілітрона.

Таким чином отримуємо:

$$K_{cm} = \frac{\frac{1}{R_{\delta}} + \frac{1}{r_{диф}} + \frac{1}{R_H}}{\frac{1}{R_{\delta}} + \frac{1}{R_{cm}} + \frac{1}{R_H}} \quad (4.9)$$

Для джерела опорної напруги $R_H = \infty$, тому

$$K_{cm} = \frac{1 + \frac{R_{\delta}}{r_{cm}}}{1 + \frac{R_{\delta}}{R_{cm}}} \quad (4.10)$$

Як правило $R_{cm} \gg r_{cm}$, тоді

$$K_{cm} \approx 1 + \frac{R_{cm}}{r_{cm}} \quad (4.11)$$

4.2. Розрахунок інтегральних стабілізаторів напруги

Сучасні електронні пристрої для забезпечення високої точності своєї роботи висувають високі вимоги до стабільності напруги живлення. Задовільнити їх при високих інших показниках (габарити, маса, вартість та ін.) дозволяє широке застосування стабілізаторів у інтегральному виконанні, як з фіксованою вихідною напругою, так і універсальних (з регульованою вихідною напругою).

Стабілізатори з фіксованою вихідною напругою мають внутрішній дільник, що забезпечує задання необхідного значення вихідної напруги. Налаштовуються вони на величини стандартного ряду напруг живлення у процесі виробництва.

Задання необхідного значення вихідної напруги в універсальних стабілізаторах забезпечується зовнішнім резистивним дільником.

Такі стабілізатори часто називають трьохвивідними, бо монтуються у стандартному корпусі потужних транзисторів.

Окрім якісного виконання основної функції - стабілізації вихідної напруги, вони за рахунок додатково введених внутрішніх вузлів (ІМС побудована на 26 транзисторах) забезпечують також захист від перевищення допустимого значення вихідного струму і розсіюваної корпусом ІМС потужності. При короткому замиканні у навантаженні величина вихідного струму обмежується на рівні,

приблизно удвічі більшому за номінальне значення для критичного режиму, а при досягненні температурою корпусу заданої допустимої величини - величина вихідного струму обмежується до такого значення, за якого температура більше не підвищується. Оскільки у вказаних випадках стабілізатор працює у режимі обмеження (стабілізації) струму або обмеження потужності, напруга на його виході при цьому відповідно зменшується.

ІМС розраховані на роботу з тепловідводом, до якого вони кріпляться за фланець гвинтом з гайкою (при конструюванні пристроїв слід мати на увазі, що у таких ІМС фланець має електричний зв'язок з середнім виводом).

Величини ємностей електролітичних конденсаторів у схемах вмикання ІМС стабілізаторів повинні бути не меншими за 10 мкФ.

Універсальний три вивідний стабілізатор КР142ЕН12А, хоча й вимагає застосування зовнішнього дільника з двох резисторів, має кращі параметри вихідної напруги.

Крім того, при його застосуванні отримуємо додаткові можливості.

Зрозуміло, якщо у якості резистора R_2 , застосувати резистор змінного опору, отримаємо стабілізатор з регульованою вихідною напругою.

Забезпечивши за допомогою транзисторних ключів підмикання резисторів R_2 , різної величини, отримаємо стабілізатор з величиною вихідної напруги, програмованою зовнішнім пристроєм керування.

За великих значень вихідної напруги цей стабілізатор можна виконати з електронним вимиканням, якщо паралельно до резистора R_2 , підімкнути транзисторний ключ. Коли ключ знаходиться у розімкненому стані (транзистор, підімкнений паралельно до резистора - у режимі відтинання), на виході стабілізатора буде напруга заданої дільником величини. Якщо перевести ключ у замкнений стан (перевести транзистор сигналом від зовнішнього пристрою в режим насичення), на виході отримаємо мінімальне значення напруги (див. табл. Д.20):

$$U_{\text{ex min}} = 1,3 \text{ В.} \quad (4.1)$$

1)

При вмиканні навантаження між виводом керування ІМС і від'ємним полюсом джерела U_{ex} (на місце R_2), отримаємо стабілізатор струму. Величина струму навантаження буде визначатися величиною опору резистора R_1 :

$$I_H = \frac{U_{\text{ex min}}}{R_1}.$$

Величини опорів резисторів дільника R_1 , R_2 зв'язані формулою:

$$U_{\text{ex}} = U_{\text{ex min}} \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) + R_2 I_p. \quad (4.1)$$

2)

де I_p - струм виводу регулювання ІМС, який необхідно задавати не меншим за 55 мкА.

Конденсатор C_2 , встановлюється за значеннями вихідних напруг, близьких до мінімальної.

За вихідної напруги, що перевищує 25В, необхідно встановлювати захисні діоди VD1 і VD2 (рекомендується тип КД521А), які забезпечують розряд конденсаторів C_2 (VD1, VD2) та C_3 (VD1) при замиканні у вхідному колі випрямляча (до стабілізатора), а також конденсатора C_2 (VD2) при замиканні у вихідному колі (у навантаженні).

Якщо довжина провідників, що з'єднують ІМС з фільтром випрямляча, не перевищує 70мм, конденсатор C_1 можна не встановлювати.

Для забезпечення максимальної якості роботи стабілізатора елементи: C_3 , R_1 , R_2 , та навантаження слід підмикати якомога ближче до виводів ІМС.

Необхідно також у процесі роботи забезпечувати неперевикнення допустимої розсіюваної потужності ІМС.

Щоб за наших вихідних даних отримати величину розсіюваної потужності, необхідно визначити величину струму навантаження:

$$I_H = P_H / U_{\text{ex}}. \quad (4.13)$$

Тоді, знаючи максимальне падіння напруги на ІМС:

$$\Delta U = U_{\text{ex max}} - U_{\text{ex}} \quad (4.14)$$

можна знайти величину розсіюваної ІМС потужності:

$$P_{\text{IMC}} = \Delta U \cdot I_H < P_{\text{IMC доп}} \quad (4.15)$$

де $P_{IMC, доп}$ - допустима потужність, розсіювана ІМС (без тепловідводу або з ним).

Зазначимо, що величини $U_{вх\ max}$ та $U_{вх\ min}$ обумовлюються з одного боку зниженням напруги на виході випрямляча під навантаженням, а з іншого - допустимими значеннями відхилення напруги мережі від номінальної величини. При цьому напруга $U_{вх\ min}$ обов'язково повинна перевищувати значення:

$$U_{вх\ min} = U_{вих} + U_{IMC\ доп} \quad (4.16)$$

де $U_{вх\ min}$ - мінімально допустиме падіння напруги на ІМС (див. табл. 5.1).

Практична частина

Задача 4.1. Розрахуйте параметричний стабілізатор напруги, якщо відомі такі вихідні дані: напруга стабілізації $U_{ст}$, струм навантаження стабілізатора I_n , коефіцієнт стабілізації $K_{ст}$. Наведіть схему стабілізатора.

Таблиця 4.1 – Вихідні дані до розв'язку задачі 4.1

№ варіанту	Параметри стабілізатора		
	$U_{ст}, B$	I_n, mA	$K_{ст}$
1	2	3	4
1	3	30	10
2	4	25	11
3	5	20	13
4	6	18	15
5	7	15	18
6	8	15	19
7	9	14	20
8	10	13	14
9	11	12	15
10	12	100	16
11	13	10	17
12	15	11	18
13	20	9	19
14	3,5	40	20
15	4,5	22	11
16	5,5	26	12
17	6,5	20	13
18	7,5	22	14
19	24	8	15
0	31	6	16

Методичні рекомендації до розв'язування задачі 4.1

Задача 4.1. Для проведення розрахунків відомі (табл. 4.1):

1. номінальна напруга на виході стабілітрона $U_{ст}$;
2. відносний коефіцієнт стабілізації $K_{ст}$;
3. номінальний струм навантаження I_n .

Розв'язування. 1. Розрахунок стабілізатора слід починати з вибору типу стабілітрона з табл. Д7 який відповідає вихідним даним.

2. Визначаємо опір баластного резистора R_0 :

$$R_0 = \frac{K_{ст} - 1}{\frac{1}{r_{оуф}} + \frac{1}{R_H} - K_{ст} \left(\frac{1}{R_{ст}} + \frac{1}{R_H} \right)},$$

де $R_{ст} = \frac{U_{ст}}{I_{ст.н}}$ - опір стабілітрона на постійному струмі в робочій точці;

де $I_{ст.н} = (I_{ст.маx} + I_{ст.мін}) / 2$ - номінальний струм стабілітрона.

За табл.Д1 приймаємо стандартний опір баластного резистора за умови $R_{\delta} \text{ ст} \geq R_{\delta}$, який і використовуємо для подальших розрахунків: $R_{\delta} \text{ ст} = R_{\delta}$.

3. Визначаємо необхідне значення напруги на вході стабілізатора за номінального струму стабілітрона:

$$U_{\text{ex}} = (I_{\text{cm.H}} + I_H) R_{\delta} + U_{\text{cm}},$$

Розсіювана потужність на баластному резисторі: $P_{R_{\delta}} = I_{\text{ex}}^2 R_{\delta} = (I_{\text{cm.H}} + I_H)^2 R_{\delta}$.

Приймаємо стандартну потужність баластного резистора за умови $P_{R_{\delta} \text{ ст}} \geq P_{R_{\delta}}$, і вибираємо тип баластного резистора за табл.Д3.

4. Визначаємо ККД стабілізатора:

$$\eta = \left(1 + \frac{I_{\text{cm}}}{I_H} + \frac{(I_{\text{cm}} + I_H)^2 R_{\delta}}{I_H U_{\text{cm}}} \right)^{-1} \cdot 100\%$$

5. Розрахуємо абсолютну зміну напруги стабілізатора при зміні струму стабілітрона від $I_{\text{cm.H}}$ до $I_{\text{cm.min}}$:

$$\Delta U_{\text{cm1}} = (I_{\text{cm.H}} - I_{\text{cm.min}}) r_{\text{ouф}}$$

6. Розрахуємо абсолютну зміну напруги стабілізатора при зміні струму стабілітрона від $I_{\text{cm.H}}$ до $I_{\text{cm.max}}$:

$$\Delta U_{\text{cm2}} = (I_{\text{cm.max}} - I_{\text{cm.H}}) r_{\text{cm}}$$

7. Розрахуємо допустиму абсолютну зміну вхідної напруги, що може призвести до зміни струму стабілітрона від $I_{\text{cm.H}}$ до $I_{\text{cm.min}}$:

$$\Delta U_{\text{ex1}} = (I_{\text{cm.H}} - I_{\text{cm.min}}) \left[\left(1 + \frac{r_{\text{ouф}}}{R_H} \right) R_{\delta} + r_{\text{ouф}} \right],$$

де $R_H = U_{\text{cm}} / I_H$ - опір навантаження.

8. Розрахуємо допустиму абсолютну зміну вхідної напруги, що може привести до зміни струму стабілітрона від $I_{\text{cm.H}}$ до $I_{\text{cm.max}}$:

$$\Delta U_{\text{ex1}} = (I_{\text{cm.max}} - I_{\text{cm.H}}) \left[\left(1 + \frac{r_{\text{ouф}}}{R_H} \right) R_{\delta} + r_{\text{ouф}} \right]$$

Примітка. Як правило параметричний стабілізатор знаходить застосування при $I_H \leq I_{\text{ст.ном}}$.

Задача 4.2. Розрахуйте інтегральний стабілізатор напруги КР142ЕН8А з фіксованою напругою стабілізації, та універсальний регульований стабілізатор КР142ЕН12А. Наведіть розраховану схему.

Вихідними даними для вибору інтегрального стабілізатора є:

- 1) $U_{\text{вих}}, B$ - напруга на виході стабілізатора (напруга живлення електронного або іншого пристрою, для якого використовується стабілізатор);
- 2) $U_{\text{ex min}}, B$ — мінімальна вхідна напруга стабілізатора (надходить з фільтра випрямляча);
- 3) $U_{\text{ex max}}, B$ - максимальна вхідна напруга стабілізатора;
- 4) P_n, Bm - потужність навантаження;
- 5) тип ІМС стабілізаторів напруги - пропонуються ІМС серії 142, параметри яких наведено в табл. Д18, а типові схеми вмикання на рис. 4.2.

Варіанти вихідних даних наведені в табл. 4.2.

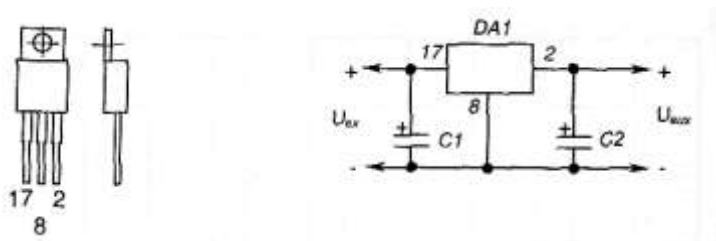
У якості ІМС стабілізаторів використовувати:

- 1) для варіантів завдань з індексами 1 - стабілізатори КР142ЕН8А з фіксованою напругою стабілізації;
- 2) для варіантів завдань з індексами 2 - універсальний регульований стабілізатор КР142ЕН12А.

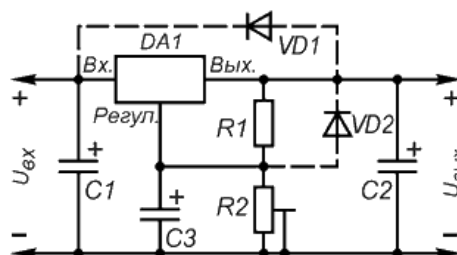
Таблиця 4.2 - Вихідні дані до задачі 4.2

Цифри номера залікової книжки		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
десятки	одиниці										
	$U_{вих1}, B$	5	6	9	12	15	20	24	27	12	15
	$U_{вх min1}, B$	9	10	14	18	22	28	30	34	16	19
	$U_{вх max1}, B$	14	15	20	24	28	36	40	44	30	32
$P_{н1}, Bm$		1	0,9	1,2	1,8	2,0	3	3,6	5,4	2,4	1,5
	$U_{вих2}, B$	2	4	6	8	10	12	14	18	20	24
	$U_{вх min2}, B$	6	7	9	12	14	19	20	24	28	30
	$U_{вх max2}, B$	10	12	14	16	20	26	28	32	35	42
$P_{н2}, Bm$		0,8	0,6	0,9	1,5	1,2	2,8	2,4	3,4	2,7	3,5

Приклад вибору варіанта для номера залікової книжки 135:
 для стабілізатора з фіксованою напругою маємо – $U_{вих1} = 20\text{ В}$,
 $U_{вх min1} = 28\text{ В}$, $U_{вх max1} = 36\text{ В}$, $P_{н1} = 1,8\text{ Вт}$;
 для універсального регульованого стабілізатора – $U_{вих2} = 12\text{ В}$,
 $U_{вх min2} = 19\text{ В}$, $U_{вх max2} = 26\text{ В}$, $P_{н2} = 1,5\text{ Вт}$.



а) ІМС стабілізаторів серії 142 з фіксованою напругою стабілізації



б) ІМС універсального стабілізатора напруги KP142EN12A

Рис. 4.2 - ІМС серії 142 у пластмасовому корпусі та типові схеми їх вмикання.

Методичні рекомендації до розв'язування задачі 4.2, 4.3

Задача 4.2. Провести вибір типу інтегрального стабілізатора напруги з фіксованою напругою стабілізації і його розрахунок. Вихідні дані при застосуванні стабілізатора з фіксованою напругою стабілізації:

- напруга на виході $U_{вих} = 9\text{ В}$;
- мінімальна вхідна напруга $U_{вх min} = 14\text{ В}$;
- максимальна вхідна напруга $U_{вх max} = 20\text{ В}$;
- потужність навантаження $P_n = 0,5\text{ Вт}$.

Розв'язування. При побудові стабілізатора напруги на основі ІМС стабілізатора з фіксованим значенням вихідної напруги, необхідно вибрати відповідну ІМС (для даного варіанту завдання - за табл. Д22 це KP142ЕН8А з $U_{вих} = 9\text{ В}$) і перевірити її на можливість застосування за напругою та на неперевищення допустимого значення розсіюваної потужності в заданих умовах.

За напругою необхідно забезпечувати виконання умов:

$$U_{вх\ max} < U_{вх\ max\ доп},$$

де $U_{вх\ max\ доп}$ - максимально допустима вхідна напруга ІМС;

$$U_{вх\ min} - U_{вих} > U_{ІМС\ min}$$

Оскільки:

$$U_{вх\ max} = 20\ В < 35\ В = U_{вх\ max\ доп},$$

$$14 - 9 = 5\ В > 2,5\ В = U_{ІМС\ min},$$

то за напругою дана ІМС відповідає умовам завдання.

Перевіримо можливість застосування ІМС КР142ЕН8А за потужністю, якщо її струм навантаження становить:

$$I_n = P_n / U_{вих} = 0,5 / 9 = 0,056\ А,$$

а максимальне падіння напруги на ній за (4.5) дорівнює:

$$\Delta U = 20 - 9 = 11\ В$$

Тоді : $P_{ІМС} = \Delta U \cdot I_n = 11 \cdot 0,056 = 0,616\ Вт.$

Оскільки: $P_{ІМС} = 0,616\ Вт < 1\ Вт,$

то ІМС у даному разі можна використовувати без тепловідводу.

Електричну принципову схему отриманого стабілізатора з фіксованою вихідною напругою наведено на рис. 4.3.

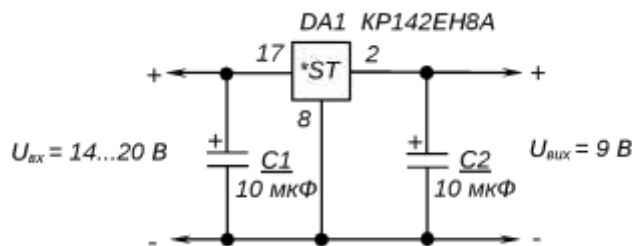


Рис. 4.3 - Стабілізатор напруги на ІМС КР142ЕН8А.
Схема електрична принципова

Задача 4.3. Розрахувати інтегральний універсальний стабілізатор напруги КР142ЕН12А. Вихідні дані при застосуванні універсального стабілізатора напруги:

- напруга на виході $U_{вих} = 8\ В$;
- мінімальна вхідна напруга $U_{вх\ min} = 13\ В$;
- максимальна вхідна напруга $U_{вх\ max} = 19\ В$;
- потужність навантаження $P_n = 2\ Вт$.

Розв'язування. Перевіримо можливість застосування ІМС КР142ЕН12А за напругою та потужністю. Оскільки:

$$U_{вх\ max} = 19\ В < 45\ В = U_{вх\ max\ доп},$$

$$U_{вх\ min} - U_{вих} = 13 - 8 = 5\ В > 3,5\ В = U_{ІМС\ min},$$

то за напругою дана ІМС відповідає умовам завдання.

$$I_n = P_n / U_{вих} = 2 / 8 = 0,25\ А,$$

$$\Delta U = U_{вх\ max} - U_{вих} = 19 - 8 = 11\ В.$$

$$P_{ІМС} = \Delta U \cdot I_n = 11 \cdot 0,25 = 2,75\ Вт.$$

Оскільки: $I_{Bm} < P_{IMC} = 2,75 Bm < 10 Bm$,

то за потужністю ІМС також відповідає умовам завдання. Використовувати її при цьому необхідно з тепловідводом.

Визначимо величини опорів резисторів дільника R_1 , R_2 , що ним задається значення вихідної напруги стабілізатора. Задамо значення струму виводу регулювання ІМС $I_p = 0,1 \text{ mA}$.

При роботі ІМС КР142ЕН12А у режимі стабілізатора напруги зазвичай задають: $R_1 = 240 \text{ Ом}$, а опір R_2 :

$$R_2 = \frac{(U_{\text{вих}} - U_{\text{вихmin}}) R_1}{U_{\text{вихmin}} + I_p R_1}.$$

$$R_2 = \frac{(8 - 1,3) \cdot 240}{1,3 + 0,1 \cdot 10^{-3} \cdot 240} = 1215 \text{ Ом}$$

Потужності резисторів знаходимо за формулою: $P_R = I^2 R_{cm}$.

За табл. Д3 вибираємо резистори С2-33 з опором 240 Ом та 1,2кОм відповідно та потужністю 0,125 Вт.

Оскільки вихідна напруга стабілізатора значно перевищує за величиною мінімальне значення напруги стабілізації, а $U_{\text{ex max}} < 25 \text{ В}$, то ІМС можна використовувати без елементів C_2 , $VD1$ та $VD2$.

За табл. Д5 вибираємо тип конденсаторів К50-35 на напругу 25В (C_1) і 10В (C_3).

Електричну принципову схему отриманого стабілізатора наведено на рис. 4.4.

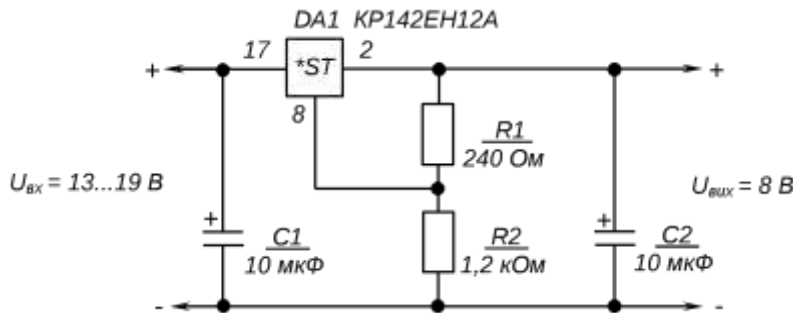


Рис. 4.4 - Стабілізатор напруги на ІМС КР142ЕН12А.
Схема електрична принципова