

МЕТОДИ РОЗРАХУНКУ ЕЛЕКТРОННИХ ПРИСТОЇВ СИСТЕМ ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ АТЗ

доц. Бороденко Ю.М.

Зміст розділу

6.1. Загальні принципи розробки електронних пристроїв

- 6.1.1. Синтез схеми та вибір елементів
- 6.1.2. Визначення параметрів транзистора у ключових станах
- 6.1.3. Розрахунок енергетичних показників
- 6.1.4. Розробка конструкції пристрою

6.2. Розрахунок електронного реле блокування стартера

- 6.2.1. Розрахунок схеми вихідного каскаду
- 6.2.2. Розрахунок вимірювальної частини схеми
- 6.2.3. Розрахунок схеми формувача сигналу
- 6.2.4. Синтез схеми та моделювання роботи пристрою

6.3. Розрахунок транзисторного регулятора напруги

- 6.3.1. Синтез схеми електричної принципової
- 6.3.2. Розрахунок параметрів та вибір елементів схеми
- 6.3.3. Оптимізація параметрів схеми за допомогою машинного моделювання
- 6.3.4. Енергетичний розрахунок та оцінка температурної стабільності

6.4. Розрахунок транзисторного комутатора струму системи запалювання

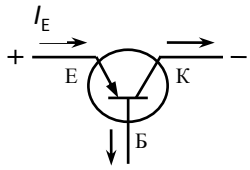
- 6.4.1. Визначення параметрів елементів схеми в статичному режимі
- 6.4.2. Оптимізація параметрів схеми в динамічному режимі за допомогою машинного моделювання
- 6.4.3. Оцінка теплового режиму виконавчого транзистора та розрахунок радіатора

Тема 6.1

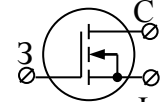
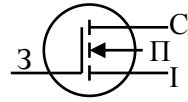
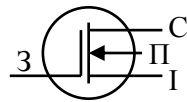
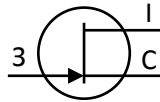
6.1.1. Синтез схеми та вибір елементів



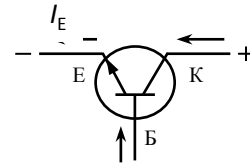
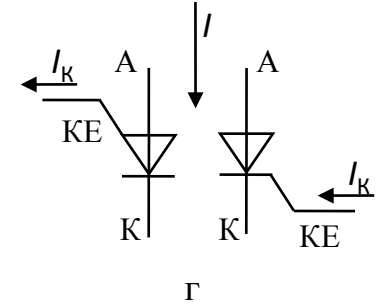
Елементна база електронних пристроїв



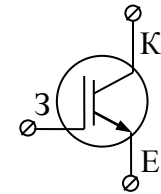
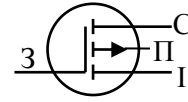
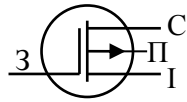
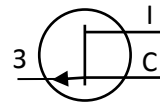
p-n-p структура



з *n*-провідним каналом



n-p-n структура

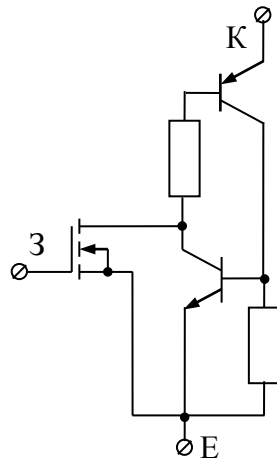
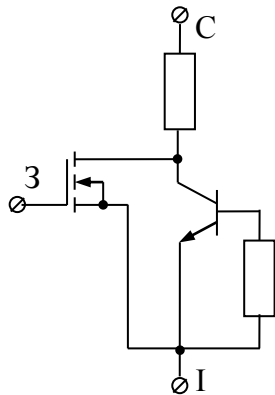


з *p*-провідним каналом

а

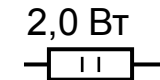
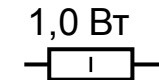
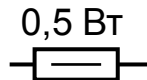
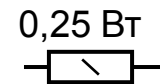
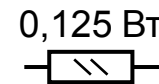
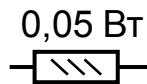
б

в

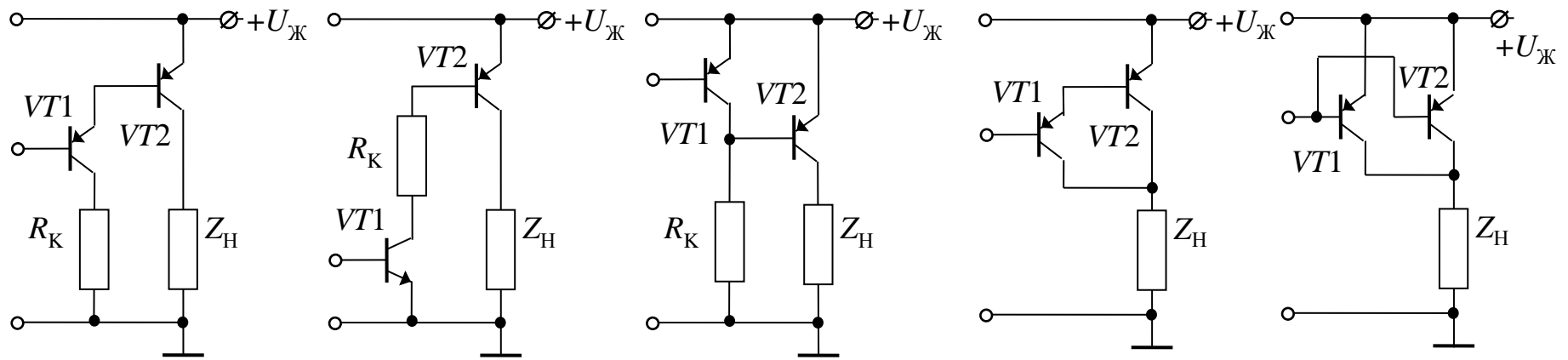
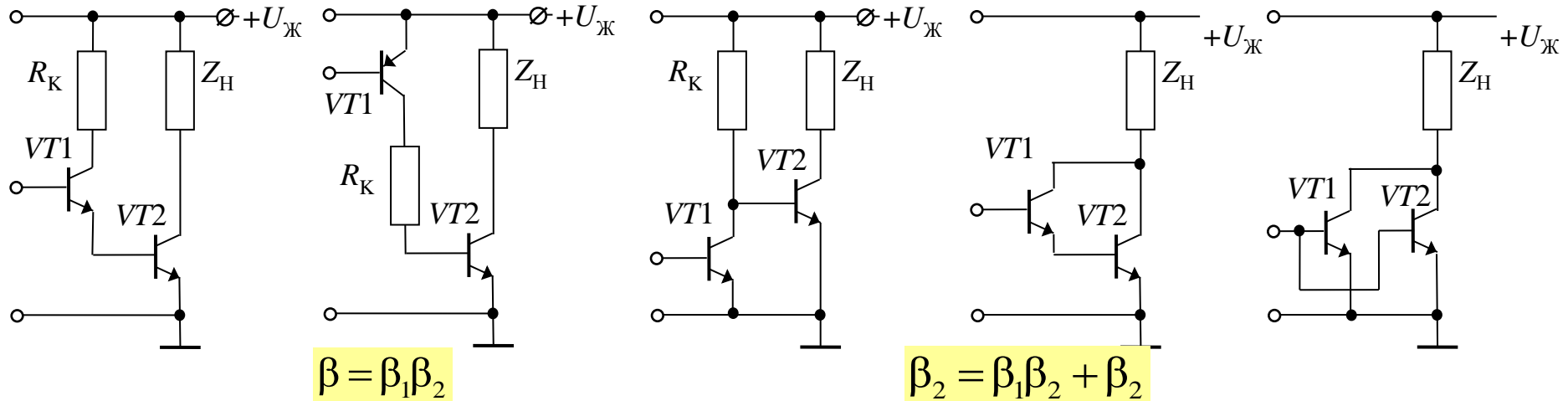


Ряди номіналів E24: 1; 1.1; 1.2; 1.3; 1.5; 1.6; 1.8; 2.0; 2.2; 2.4; 2.7; 3.0; 3.3; 3.6; 3.9; 4.3; 4.7; 5.1; 6.2; 6.8; 7.5; 8.2; 9.1 – 24 позиції, **E12** – 12, **E6** – 6 позицій

Шкала потужностей резисторів

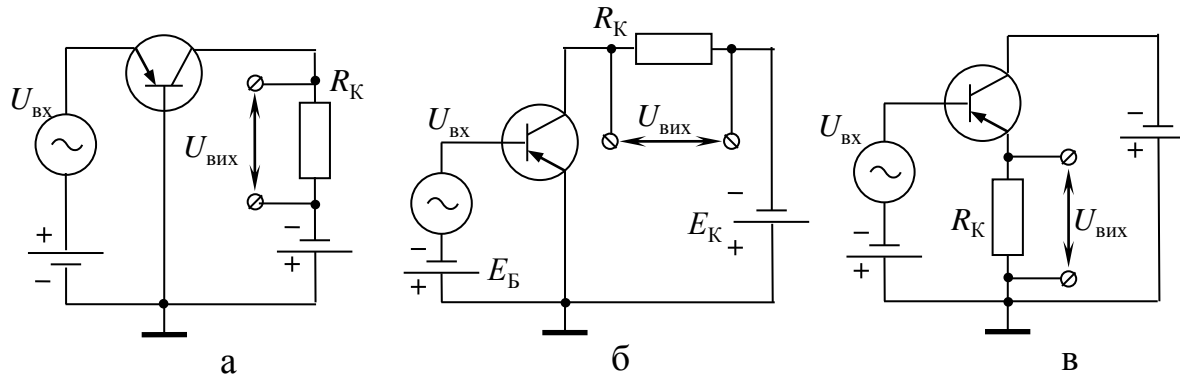


Ключові підсилювачі струму



- напрямок емітерних переходів повинен співпадати з напрямком напруги живлення;
- резистори навантаження транзисторів включаються в колекторні кола (для схем зі СЕ);
- для синфазних включень, вихідний струм попереднього транзистора (колектора або емітера) складає струм бази послідуєчого транзистора;
- для протифазних включень, вихідна напруга попереднього транзистора складає вхідну напругу послідуєчого транзистора.

Вибір схемного рішення та елементів схеми



Критерії вибору схеми

Вхідний та вихідний опір

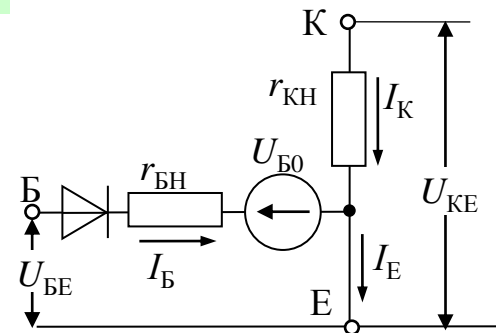
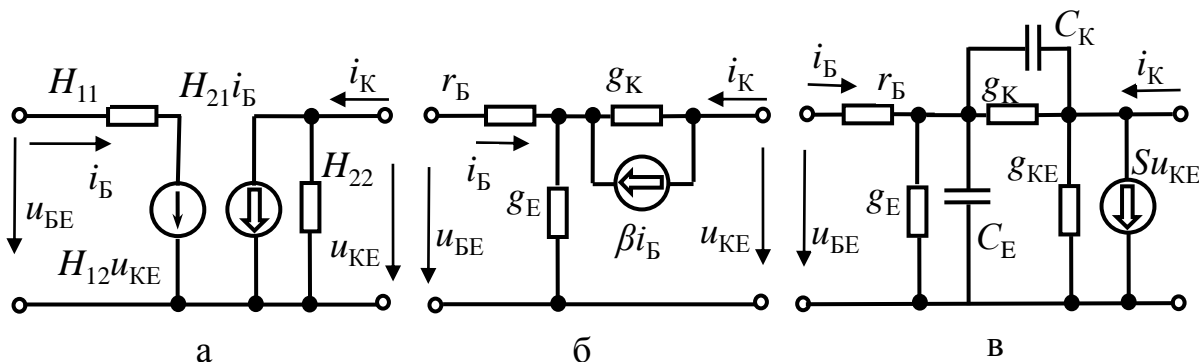
Коефіцієнт підсилення

Рівень та характер навантаження

Втрати потужності

Швидкодія

Групи параметрів транзистора



Малого сигналу

H_{11} – вхідний опір;
 H_{22} – зворотна передача напруги;
 H_{21} – коефіцієнт підсилювання струму;
 H_{12} – вихідна провідність.

Структурні

r_K, r_E, r_B – опори областей структури;
 g_K, g_E, g_{KE} – провідності відповідних областей та ділянок;

Гранично допустимі

- максимальна постійна та імпульсна напруга $U_{KE.max}$; $U_{KE.max.i}$;
- допустимий постійний або імпульсний струм колектора $I_{K.max}$; $I_{K.max.i}$;
- допустимий постійний або імпульсний струм бази $I_{B.max}$; $I_{B.max.i}$;
- максимальна потужність при постійному або імпульсному струмі $P_{K.max}$; $P_{K.max.i}$;
- гранична позитивна температура $T_{K.max}$.

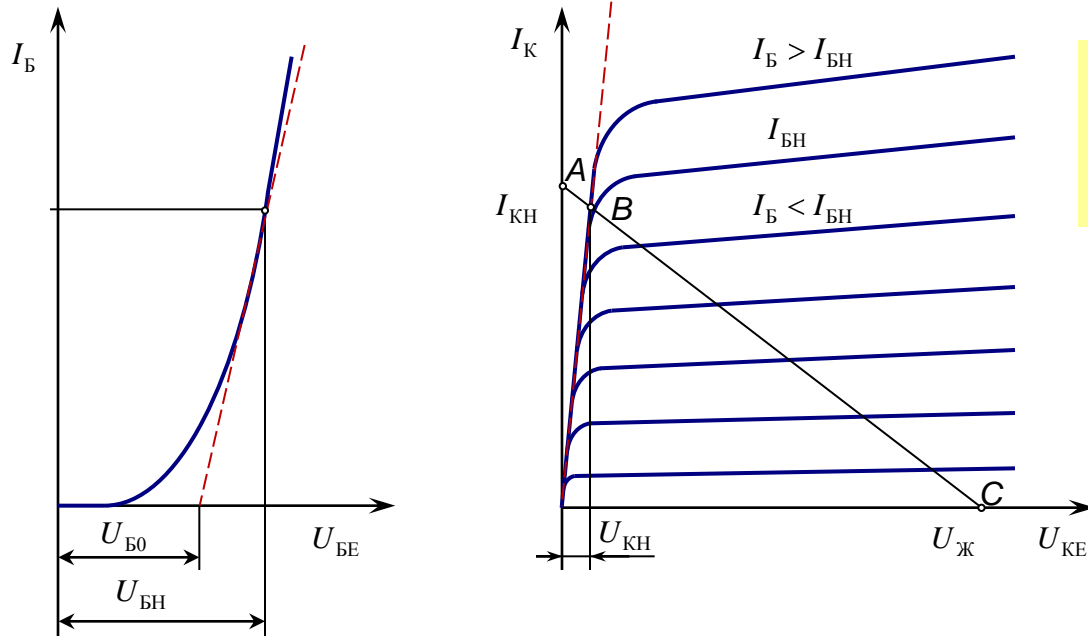
Динамічні

- C_E, C_K – бар'єрні ємності переходів;
- S – крутизна ВАХ (провідність прямої передачі)
- еквівалентна постійна часу;
- постійна часу транзистора;
- гранична частота транзистора;
- час вмикання та вимикання.

Постійного струму та великого сигналу

6.1.2. Визначення параметрів транзистору у ключових станах

Графоаналітичний спосіб



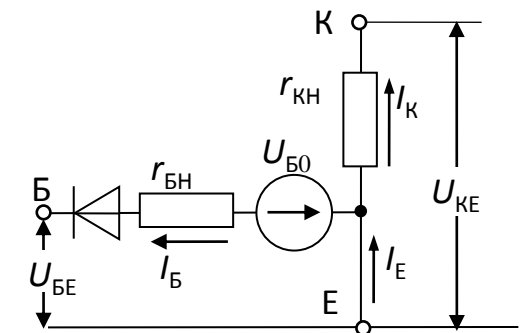
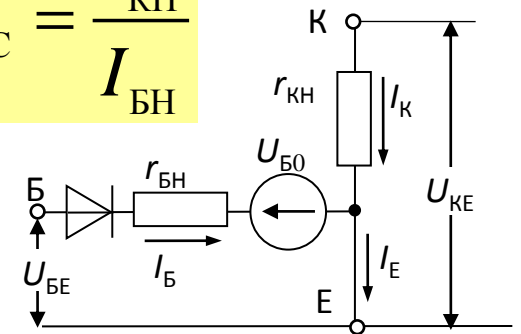
- зворотний струм колектора I_{K0} ;
- зворотний струм емітера I_{E0} ;
- струм колектора насичення I_{KH} ;
- напруга насичення на виході транзистора U_{KEH} ;
- струм бази насичення I_{BH} ;
- напруга насичення на вході транзистора U_{BEH} .

Інваріантні параметри

$$r_{BH} = \frac{U_{BEH} - U_{BO}}{I_{BH}}$$

$$r_{KH} = \frac{U_{KEH}}{I_{KH}}$$

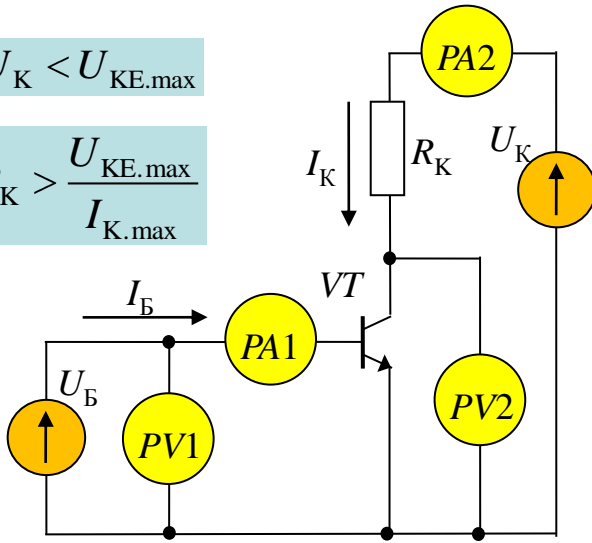
$$\beta_c = \frac{I_{KH}}{I_{BH}}$$



Експериментальний спосіб

$$U_K < U_{KE.max}$$

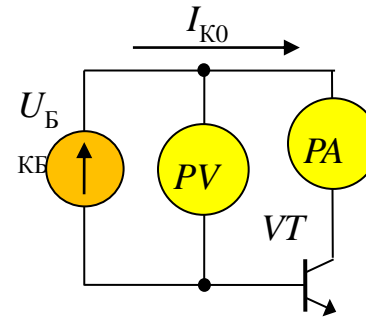
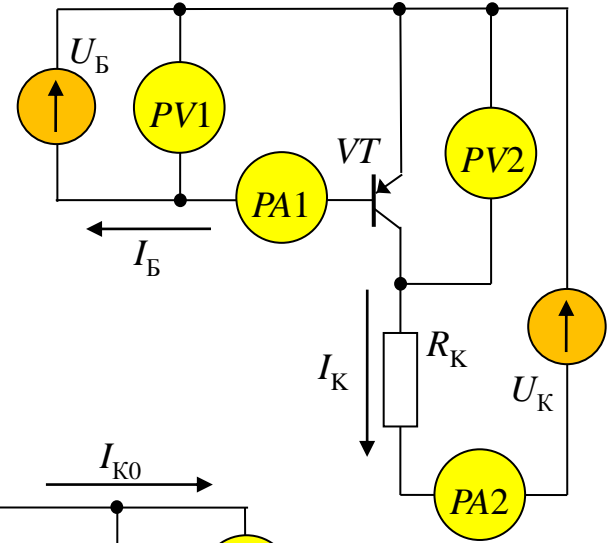
$$R_K > \frac{U_{KE.max}}{I_{K.max}}$$



$$r_{KH} = \frac{U_{KEH}}{I_{KH}}$$

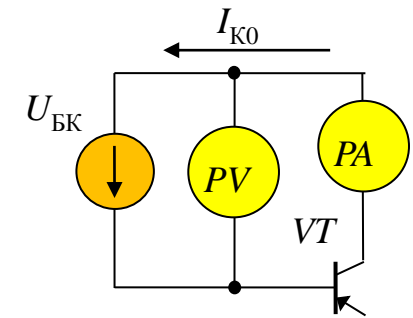
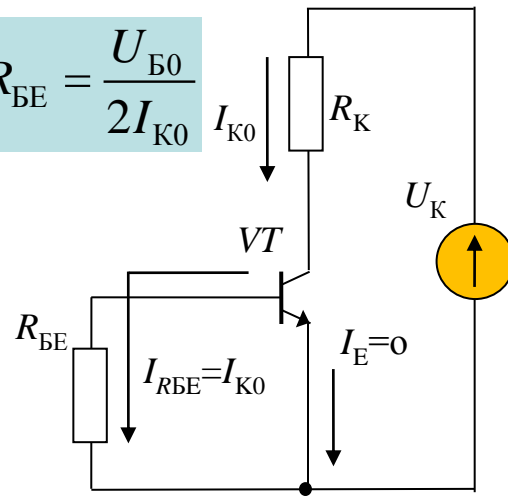
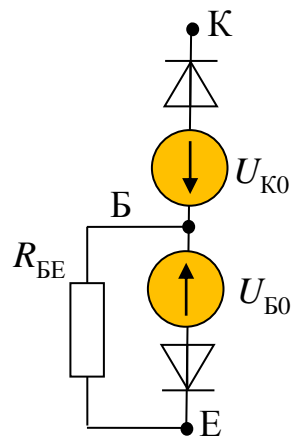
$$r_{BH} = \frac{U_{BEH} - U_{BO}}{I_{BH}}$$

$$\beta_C = \frac{I_{KH}}{I_{BH}}$$



$$I_{K0}$$

$$R_{BE} = \frac{U_{BO}}{2I_{K0}}$$



Якісна оцінка режимів ключового каскаду

Умови переключення

$$I_{K1} \cdot r_{\text{вих1}} = U_{KE1} < U_{B02}$$

$$I_{K01} \cdot r_{\text{вх2}} < U_{B02}$$

$$I_{K01} \cdot r_{\text{БН2}} < U_{B02}$$

$$I_{K01} \cdot R_{\text{БЕ2}} < U_{B02}$$

Швидкість переключення

$$s = \frac{I_{\text{Б}}}{I_{\text{БН}}}$$

$$I_{\text{Б}} > I_{\text{БН}}$$

$$t_{\text{PЗ}} = \frac{1}{2\pi f_{\text{ГР}}} \cdot \ln \frac{s+1}{2}$$

$$t_{0/1} = \frac{1}{2\pi f_{\text{ГР}}} \cdot \ln \frac{s}{s-1}$$

6.1.3. Розрахунок енергетичних показників

Втрати потужності при комутації струму переключення

$$\eta_{\text{С}} = \frac{P_{\text{Н}}}{P_{\text{Н}} + \Delta P} 100 \%$$

$$\eta_{\text{Д}} = \frac{W_{\text{ЕМ}}}{W_{\text{ЕМ}} + \Delta W} 100 \%$$

$$\begin{aligned} P_{\text{VT}} &= P_{\text{ВХ}} + P_{\text{ВИХ}} = I_{\text{ВХ}}^2 r_{\text{ВХ}} + I_{\text{ВИХ}}^2 r_{\text{ВИХ}} = \\ &= \frac{r_{\text{ВХ}}}{T} \int_0^T [i_{\text{ВХ}}(t)]^2 dt + \frac{r_{\text{ВИХ}}}{T} \int_0^T [i_{\text{ВИХ}}(t)]^2 dt = P_{\text{пр}} + P_{\text{ком}} + P_{\text{кер}} + P_0, \end{aligned}$$

6.1.4. Розробка конструкції пристрою

Конструктивні елементи

Плати печатного монтажу з радіоелектронними компонентами, органи керування і індикації, пристрої приєднання до зовнішніх кіл, елементи автономного живлення, корпусні елементи.

Вимоги до компоновки конструкції

Компоновка елементів електронного пристрою в корпусі повинна бути раціональною з позицій заповнення робочого об'єму корпусу та умов теплообміну між елементами і оточуючим середовищем.

Етапи розробки плати печатного монтажу

Обґрунтування конструктивних показників, компоновка елементів, трасування провідників, конструкторсько-технологічні розрахунки.

Механічні, теплові та струмові навантаження елементів схеми та монтажу

Тепловий розрахунок пристрою

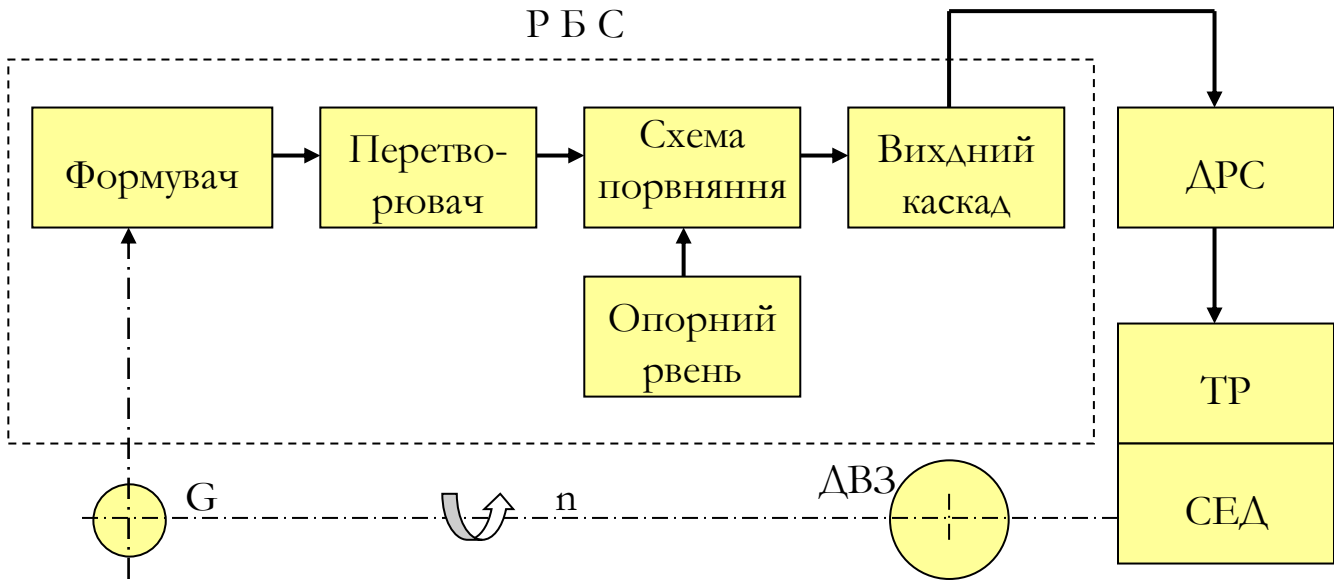
Вібраційний розрахунок печатного вузла

Електричний розрахунок монтажу друкованої плати

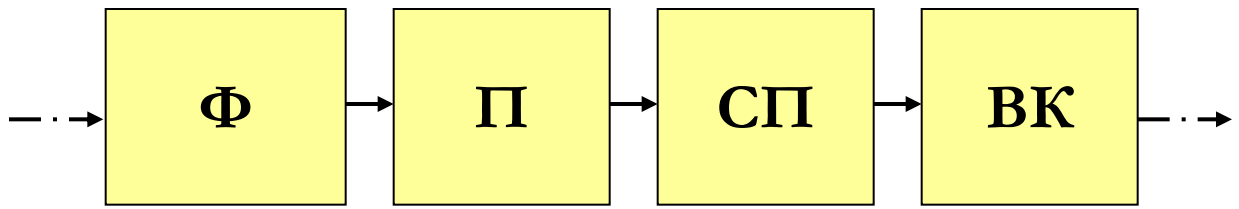
Розрахунок виводів навісних елементів на міцність

Розрахунок друкованої плати на міцність та жорсткість

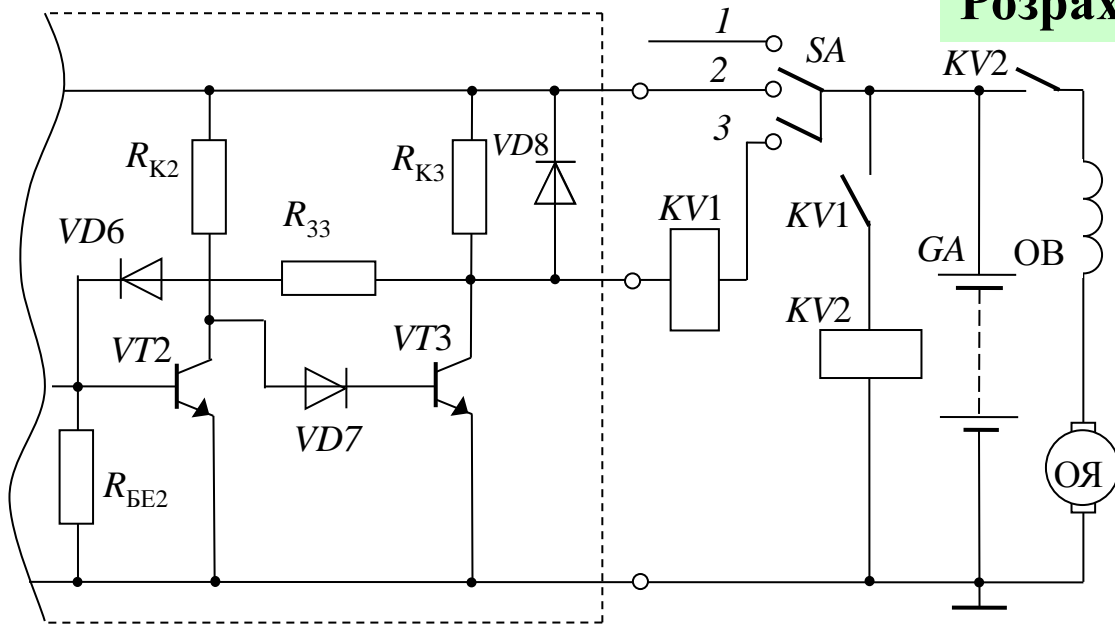
Функціональна схема системи автоматичного відключення стартера



Структурна схема РБС



Розрахунок схеми вихідного каскаду



$$U_{B0.3} > U_{KE.2}$$

$$I_{K.3} = \frac{U_{AKB} - \Delta U}{r_{KV} + r_{KH.3}} \quad I_{B.3} = S \frac{I_{K.3}}{\beta_3}$$

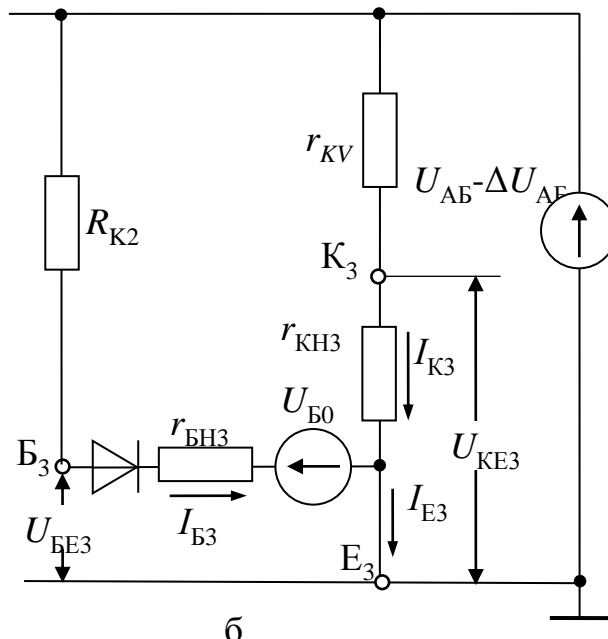
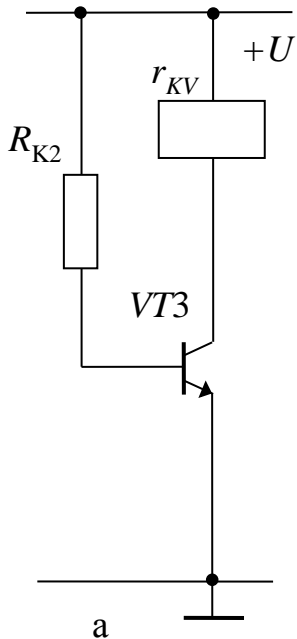
$$U_{BE.3} = U_{B0.3} + I_{B.3} r_{BH.3}$$

$$U_{KE.3} = I_{K.3} r_{KH.3}$$

$$I_{K2} = \frac{U_{AB} - \Delta U_{AB}}{R_{K2} + r_{KH2}} \quad I_{B2} = s_2 \frac{I_{K2}}{\beta_2}$$

$$U_{BE2} = U_{B02} + I_{B2} r_{BH2}$$

$$U_{KE2} = I_{K2} r_{KH2}$$



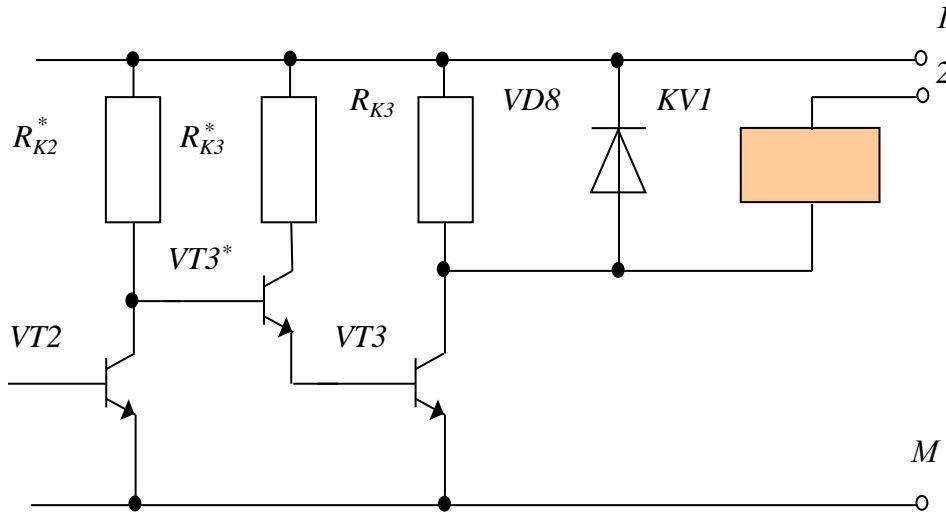
$$R_{K.2} = \frac{U_{AKB} - \Delta U - U_{BE.3}}{I_{B.3}} \quad R_{B.2} = \frac{U_{B0.2}}{I_{CT.min}}$$

$$R_{33} = \frac{U_{AKB} - \Delta U - U_{BE.2} - (R_{K.2} + I_{B.2} r_{KV})}{I_{B.2} + I_{CT.min}}$$

$$U_{B0.2} > U_{KE.3}$$

$$R_{K.3} > \frac{r_{KH.3} (U_{AKB} - U_{B0.2})}{U_{B.2}}$$

Схема синфазного підсилення



$$U_{KE2} < U_{B03}^* + U_{B03}$$

$$I_{B.3}^* = \frac{I_{B.3}}{\beta_3^* + 1}$$

$$I_{K.3}^* = I_{B.3} - I_{B.3}^*$$

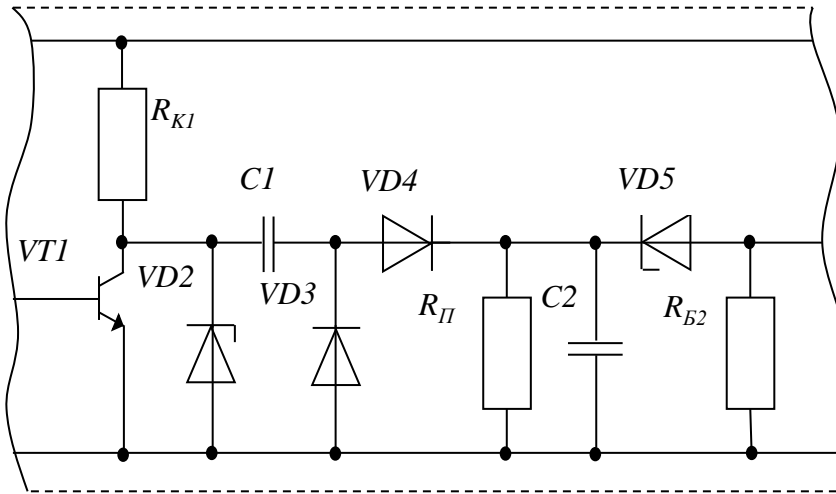
$$R_{K.3}^* = \frac{U_{AKB} - \Delta U - U_{KE.3}^* - U_{BE.3}}{I_{K.3}^*}$$

$$U_{BE.3}^* = U_{B0.3}^* + I_{B.3}^* r_{BH.3}^*$$

$$R_{K.2}^* = \frac{U_{AKB} - \Delta U - U_{BE.3}^* - U_{BE.3}}{I_{B.3}^*}$$

$$U_{KE.3}^* = I_{K.3}^* r_{KH.3}^*$$

6.2.2. Розрахунок вимірювальної частини та схеми.



$$t_{Ц} = \frac{1}{f} \ll R_{\text{поз}} C_2$$

$$t_{\text{зар}} = 0,3t_{Ц} = 3R_{\text{зар}} C_1$$

$$0,5U_{\text{АКБ}} \geq U_{\text{СТ}} > U_{\text{БЕ2}}$$

$$I_{\text{СТ. max}} \geq \left(I_{\text{Б2}} + \frac{U_{\text{БЕ2}}}{R_{\text{Б2}}} \right)$$

$$R_{\text{К1}} = \frac{U_{\text{АКБ}} - \Delta U - U_{\text{БЕ2}} - U_{\text{СТ}}}{2I_{\text{СТ. max}}}$$

$$U_{\text{П}} = f_{\text{сnp}} k \approx U_{\text{СТ}} + U_{\text{БЕ.2}}$$

$$R_{\text{П}} = \frac{U_{\text{СТ}} + U_{\text{БЕ2}}}{I_{\text{СТ. max}}}$$

$$k = \frac{U_{\text{АКБ}} - \Delta U - R_{\text{П}} C_2 \left\{ \exp(-3) - \exp\left[-\frac{3(R_{\text{К.1}} + R_{\text{П}}) C_1}{R_{\text{П}} C_2}\right] \right\}}{\frac{R_{\text{К.1}} + R_{\text{П}}}{R_{\text{П}}} - \frac{C_2}{C_1}}$$

$$C_1 = \frac{1}{10 f_{\text{сnp}} (R_{\text{К.1}} + R_{\text{П}})}$$

$$C_2 = \frac{1}{100 f_{\text{сnp}} R_{\text{П}}}$$

6.2.3. Розрахунок схеми формувача сигналу

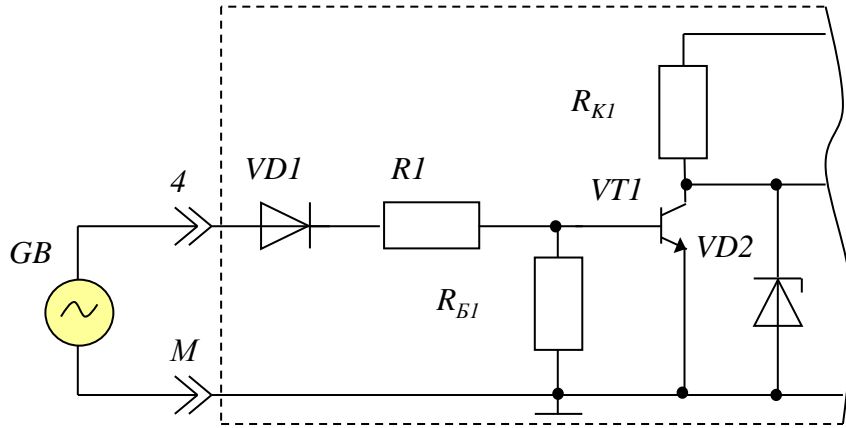
$$U_{BX}(n) = \frac{E(n)r_{BX}}{r_{BX} + Z_0(n)}$$



$$\frac{U_{BE.1.max}}{U_{B0.1}} \geq \frac{E_{Д. max}}{E_{сnp.}}$$

$$I_{K.1} = \frac{U_{AKБ} - \Delta U}{R_{K.1} + r_{KH.1}}$$

$$I_{B.1} = \frac{I_{K.1}}{\beta_1}$$

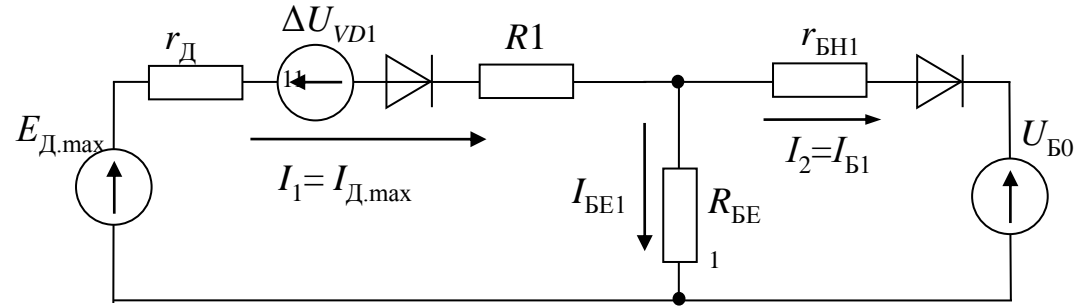


$$U_{BE.1} = U_{B0.1} + I_{B.1}r_{BH.1} \quad U_{KE.1} = I_{K.1}r_{KH.1}$$

$$R_1 = \frac{E_{сnp.} - \Delta U_{VD.1} - U_{B.1} - I_{B.1} + I_{RB.1} r_D}{I_{B.1} + I_{R.B.1}}$$

$$R_{B.1} = \frac{U_{B0.1}}{2I_{K0.1}}$$

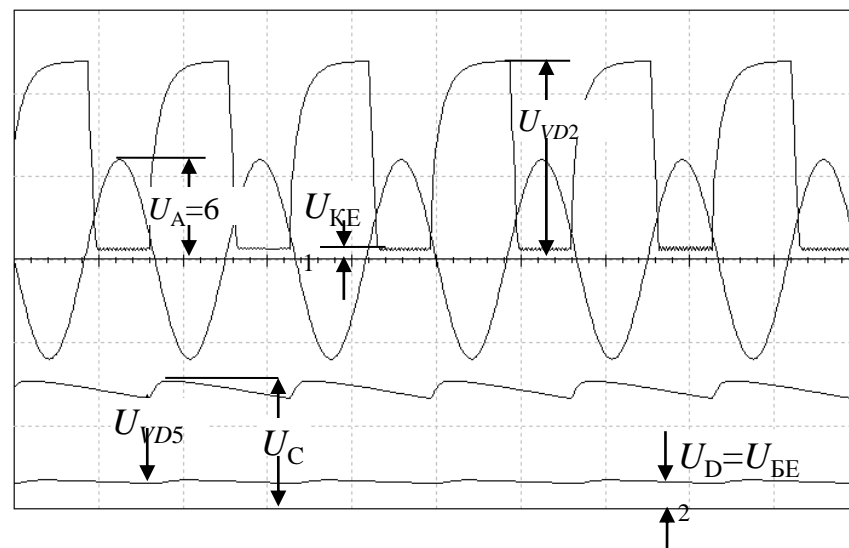
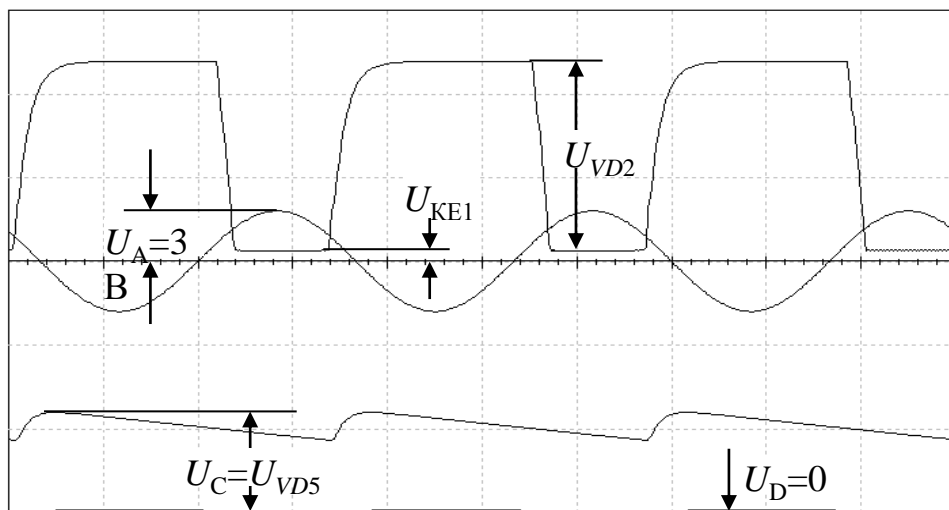
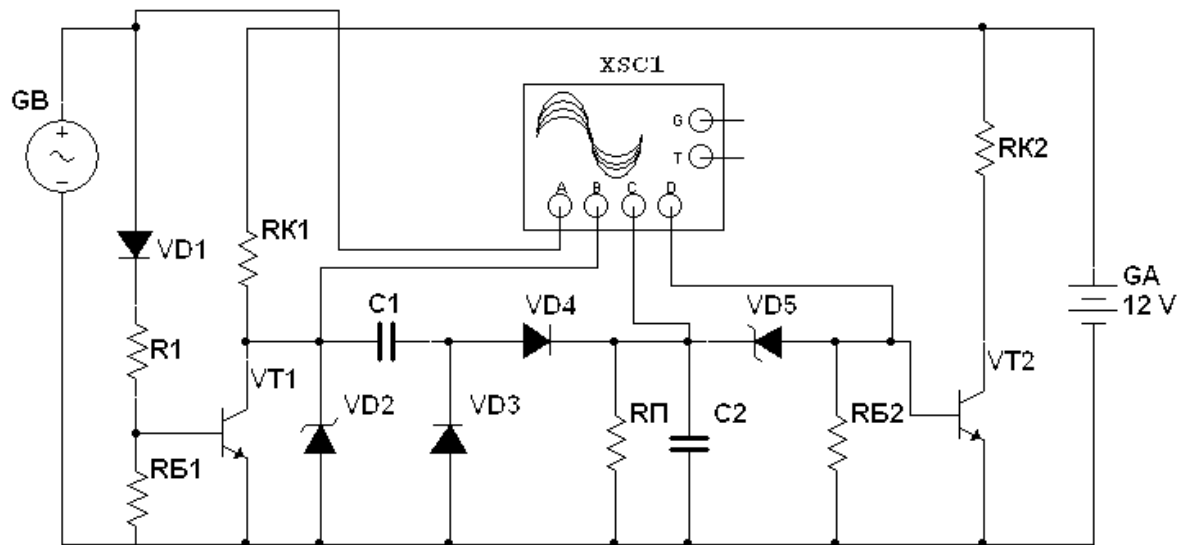
$$I_{Д. max} = I_1 \quad I_{B1. max} = I_2$$



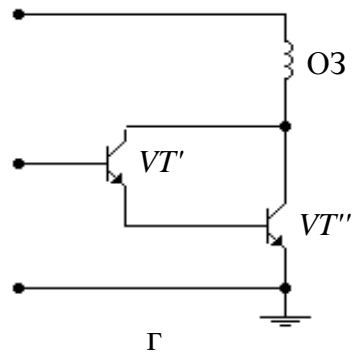
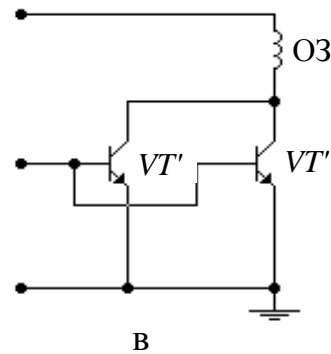
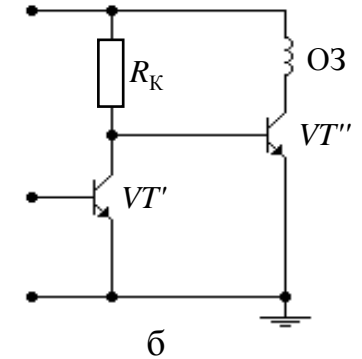
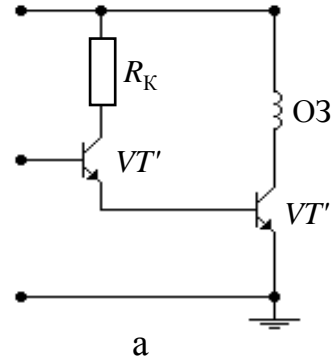
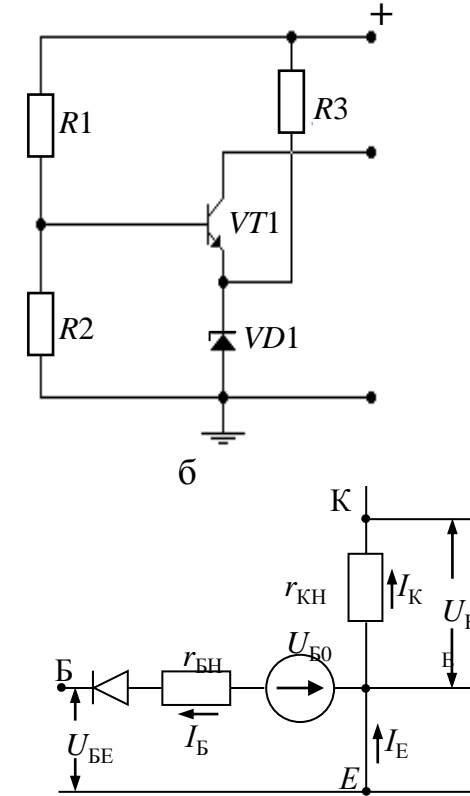
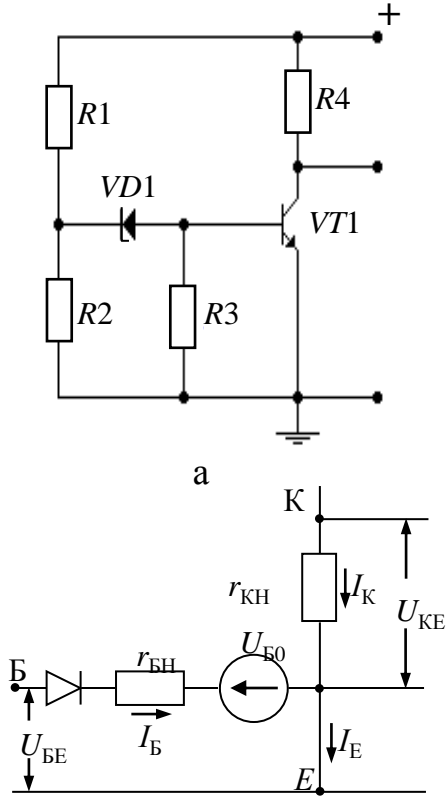
$$I_{RB1. max} = I_1 - I_2 \quad I_{RB1. max} R_{B1} \leq U_{BE1. max}$$

$$\begin{cases} E_{Д. max} - U_{VD.1} = I_1 (r_{Д. max} + R_1 + R_{B.1}) + I_2 R_{B.1} \\ -U_{B0.1} = I_2 (r_{BH.1} + R_{B.1}) - I_1 R_{B.1} \end{cases}$$

6.2.4. Синтез схеми та моделювання роботи пристрою



Синтез та розрахунок електронного РН



$$U_C = 0,5\Delta U + U_H$$

$$U_{II} = U_C - \Delta U$$

$$U_{KE.max} > 2U_H$$

$$I_{K.max} > 1,5U_H / r_{O3}$$

$$r_{BH} = \frac{U_{BEH} - U_{BO}}{I_{BH}}$$

$$r_{KH} = \frac{U_{KEH}}{I_{KH}} \quad \beta = \frac{I_{KH}}{I_{BH}}$$

$$I_K = \frac{U_C}{r_{O3} + r_{KH}}$$

$$I_B = S \frac{I_K}{\beta}$$

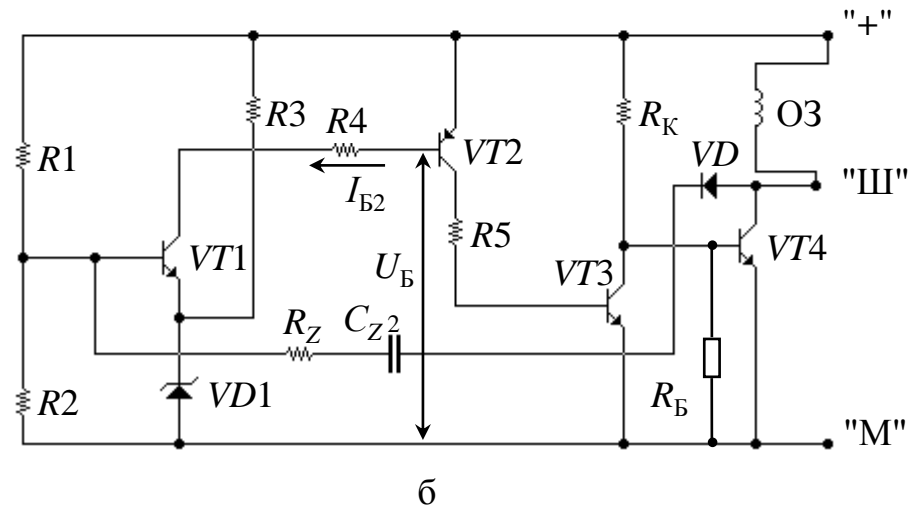
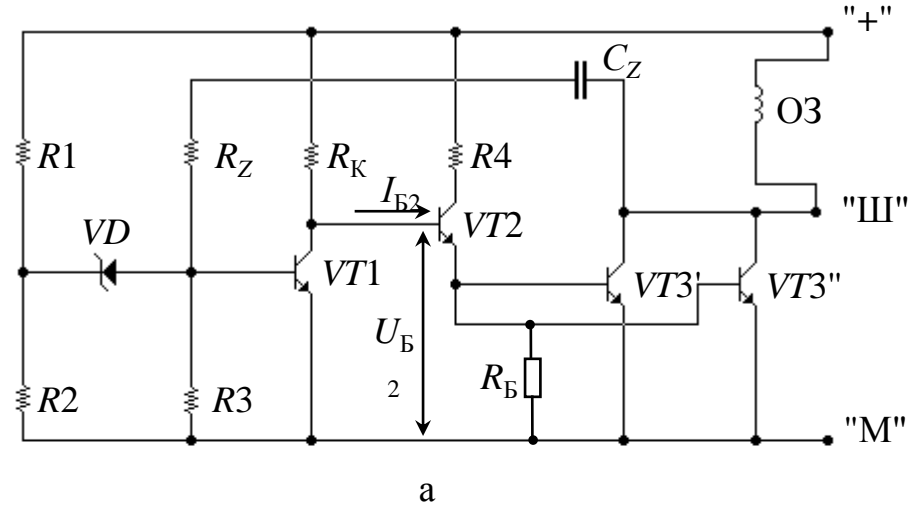
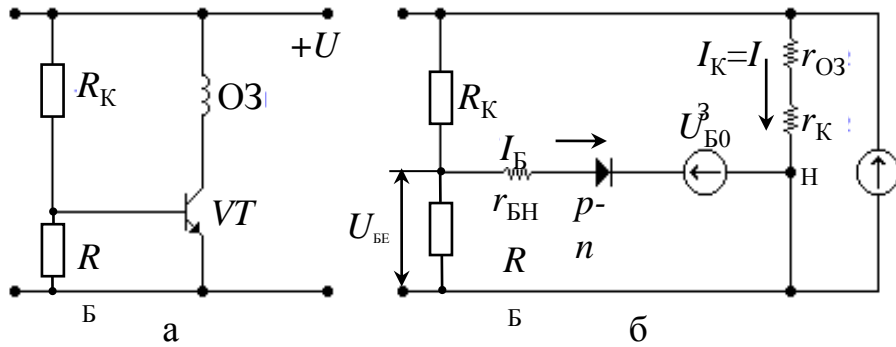
$$U_{BE} = U_{BO} + I_B r_{BH}$$

$$U_{KE} = I_K r_{KH}$$

$$I_K = \frac{U_C}{r_{O3} + 0,5r_{KH}}$$

$$U_{BE} = U_{BO} + 0,5r_{BH} I_B$$

6.3.2. Розрахунок параметрів та вибір елементів схеми



$$R_B = \frac{U_{B0}}{2I_{K0}}$$

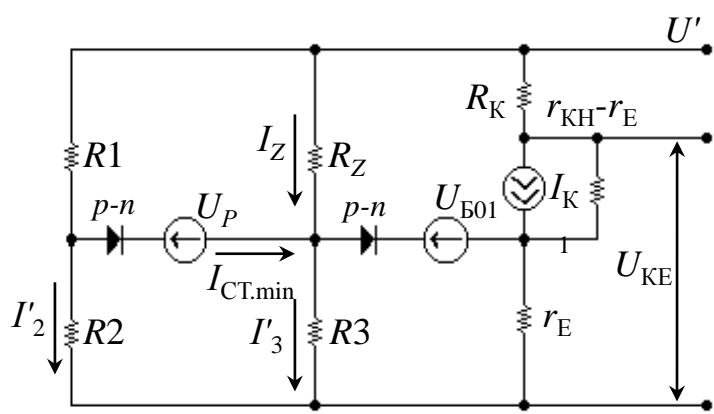
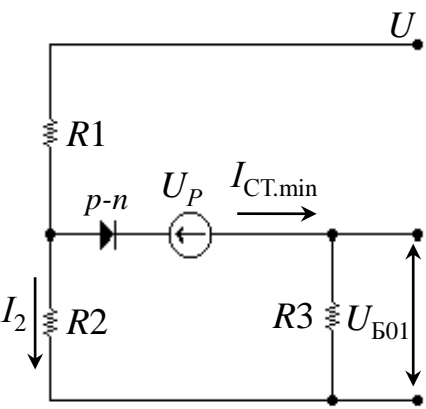
$$R_K = \frac{U_C - U_{BE}}{I_B + I_R}$$

$$U_P \approx 0,5U_H$$

$$U_{K1.max} > 2U_H$$

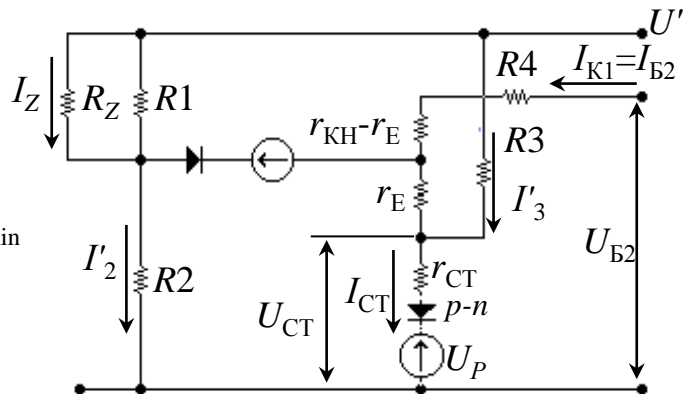
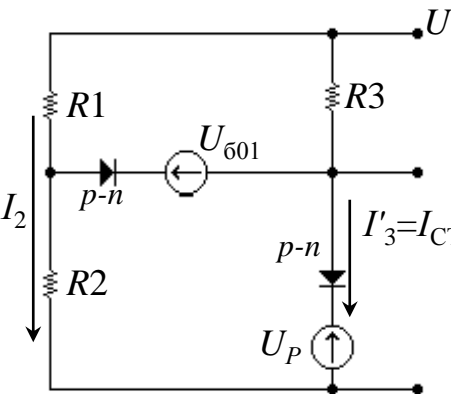
$$I_{CT.min} \geq \frac{I_{K1.max}}{\beta_1}$$

$$I_{K1.max} \geq I_{CT.max}$$



a

$$\begin{cases} U_C = I_2 R_2 + (I_{CT.min} + I_2) R_1, \\ U_C = U_p + I_{CT.min} R_3 + R_1 (I_{CT.min} + I_2), \\ U_{B01} = I_{CT.min} R_3, \\ I_1 = I_{CT.min} + I_2, \end{cases}$$



б

$$\begin{cases} U_{B01} = I'_3 R_3 - r_{em} I_{K1} \left(\frac{1}{\beta_1} + 1 \right), \\ I'_1 = I'_2 + I_{CT.min}, \\ I_Z = \frac{I_{k1}}{\beta_1} + I'_3 - I_{CT.min}, \\ U_{\Pi} = (I'_2 + I_{CT.min}) R_1 + I'_2 R_2, \\ U_{\Pi} = I_Z R_Z + I'_3 R_3, \\ U_{\Pi} = I_{K1} (R_K + r_{KH1}), \end{cases}$$

$$I'_1 = \frac{U_{\Pi} - I'_2 R_2}{R_1}$$

$$I_Z = \frac{U_{\Pi} - I'_2 R_2}{R_Z}$$

$$P_R = R I_R^2$$

$$C_z = \frac{1 - \gamma}{f_{min} R_1 + R_2}$$

$$\begin{cases} U_{B01} = I_{CT.min} (R_3 - R_1), \\ U_C = I_{CT.min} (R_1 + R_2), \\ U_C = U_p + I_{CT.min} R_3, \end{cases}$$

$$\begin{cases} U_{CT} = U_p + r_{CT} \left[I_{K1} \left(\frac{\beta_1 + 1}{\beta_1} \right) + I'_3 \right], \\ U_{\Pi} = I'_3 R_3 + U_{CT}, \\ U_{B2} = I_{K1} (R_4 + r_{KH1}) + U_{CT}, \\ U_{B01} = I'_2 R_2 - U_{CT} - r_{E1} I_{K1} \left(\frac{\beta_1 + 1}{\beta_1} \right), \\ U_{\Pi} = I'_2 R_2 + \left(I'_2 + \frac{I_{K1}}{\beta_1} \right) \left(\frac{R_Z R_1}{R_Z + R_1} \right), \end{cases}$$

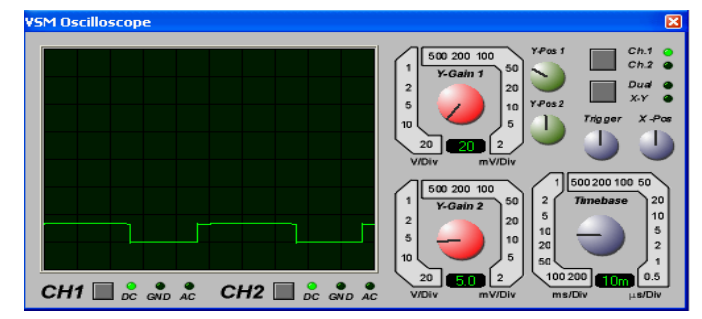
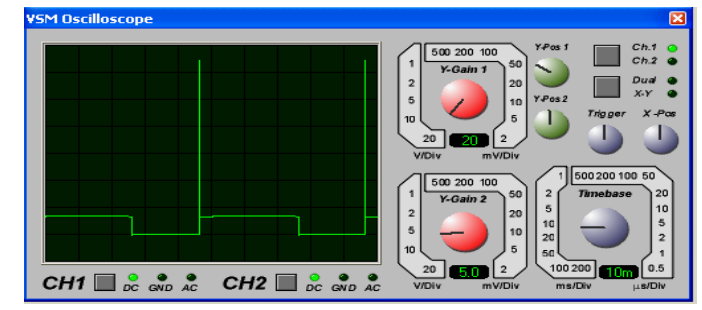
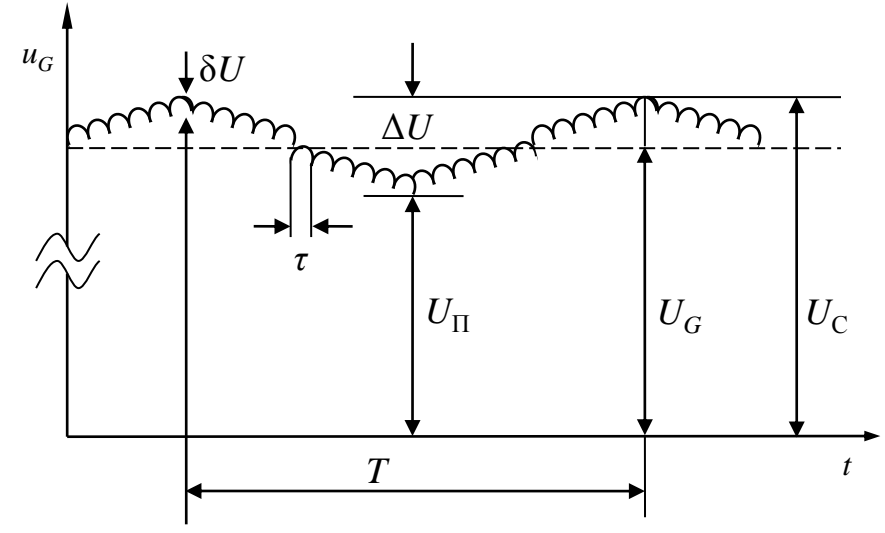
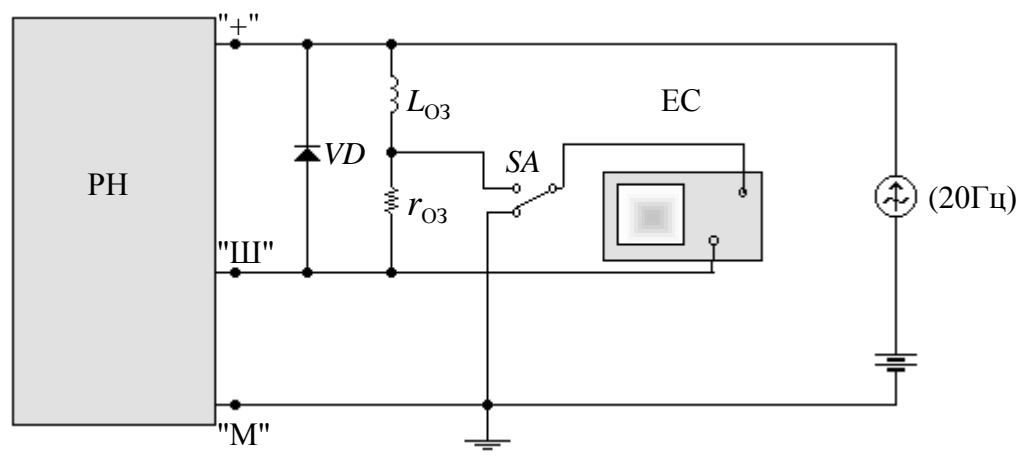
6.3.3. Оптимізація параметрів схеми за допомогою машинного моделювання

$$\delta U < \Delta U \quad L_\phi = R_1 + R_2 \cdot 10^{-3} \sqrt{k_\phi^2 - \frac{1}{f_\Pi}}$$

$$0,023mU_H < (U_C - U_\Pi) \quad C_\phi \geq \frac{1,5 \cdot 10^6 k_\phi}{R_1 m f_\Pi}$$

$$L_\phi = R_1 + R_2 \cdot 10^{-3} \sqrt{\left(\frac{0,023mU_H}{U_C - U_\Pi}\right)^2 - \frac{60}{mp \cdot n_X + n_{\max}}}$$

$$C_\phi = \frac{2,07U_H}{R_1 mp \cdot n_X + n_{\max} \cdot (U_C - U_\Pi)}$$



6.3.4. Енергетичний розрахунок та оцінка термостабільності

$$P_{\text{вих}} = \frac{U_{\text{н}} - \Delta U_{\text{п}}}{r_{\text{оз}}}$$

$$U_{\text{с}} = U_{\text{п}} + U_{\text{Б01}} + R_1 I_{\text{СТ.min}} + I_2$$

$$U_{\text{п}} = U_{\text{п}} + U_{\text{Б01}} + r_{\text{Е}} I_{\text{СТ.min}} + I_{\text{З}} - I'_3 \beta_1 + 1 + I'_1 R_1$$

$$\Delta P_{\text{п}} = \sum P_{\text{VD}} + \sum P_{\text{R}} + \sum P_{\text{VT}}$$

$$\eta_{\text{п}} = \frac{P_{\text{вих}}}{P_{\text{вих}} + \Delta P_{\text{п}}}$$

$$U_{\text{с}} = R_1 I_{\text{СТ.min}} + U_{\text{п}} + U_{\text{Б01}}$$

$$U_{\text{п}} = I'_1 R_1 + U_{\text{Б01}} + U_{\text{СТ}} + r_{\text{Е}} I_{\text{З}} + I'_1 - I'_2 \beta_1 + 1$$

$$k_t = \frac{dU_{\text{н}}}{dt^{\circ}} = 0,5 \left(\frac{dU_{\text{с}}}{dt^{\circ}} + \frac{dU_{\text{п}}}{dt^{\circ}} \right)$$

$$U_{\text{Дт}} = U_0 - \alpha_{\text{Д}} (t^{\circ} - 20) + r_{\text{Д}} I_{\text{Д}}$$

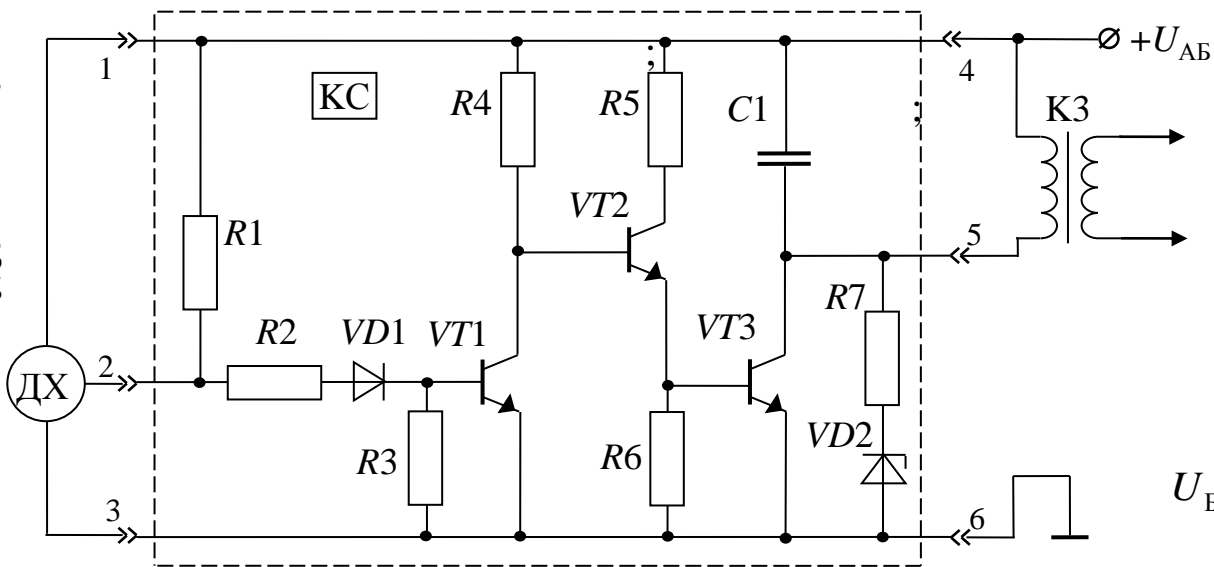
$$U_{\text{СТт}} = U_{\text{п}} + \alpha_{\text{СТ}} (t^{\circ} - 20) + r_{\text{СТ}} I_{\text{СТ}}$$

$$U_{\text{Бт}} = U_{\text{Б0}} - \alpha_{\text{Т}} (t^{\circ} - 20) + r_{\text{Б}} I_{\text{Б}}$$

$$\beta_t = \beta + \alpha_{\beta} (t^{\circ} - 20)$$

Тема 6.4

6.4.1. Визначення параметрів схеми



$$U_{KE3.max} > U_{1m} + U_{AB}$$

$$I_{K3.max} > 1,5 \frac{U_{AB}}{r_{w1}}$$

$$I_{K3} = \frac{U_{AB}}{r_{w1} + r_{KH3}}$$

$$I_{B3} = s_3 \frac{I_{K3}}{\beta_3}$$

$$U_{BE3} = U_{B03} + I_{B3} r_{BH3}$$

$$U_{KE3} = I_{K3} r_{KH3}$$

$$R_6 = \frac{U_{B03}}{2I_{K03}}$$

$$I_{R6} = \frac{U_{BE3}}{R_6} \quad I_{E2} = I_{R6} + I_{B3}$$

$$I_{B2} = \frac{I_{E2}}{\beta_2 + 1}$$

$$U_{BE2} = U_{B02} + I_{B2} r_{BH2}$$

$$U_{B2} = U_{BE2} + U_{BE3}$$

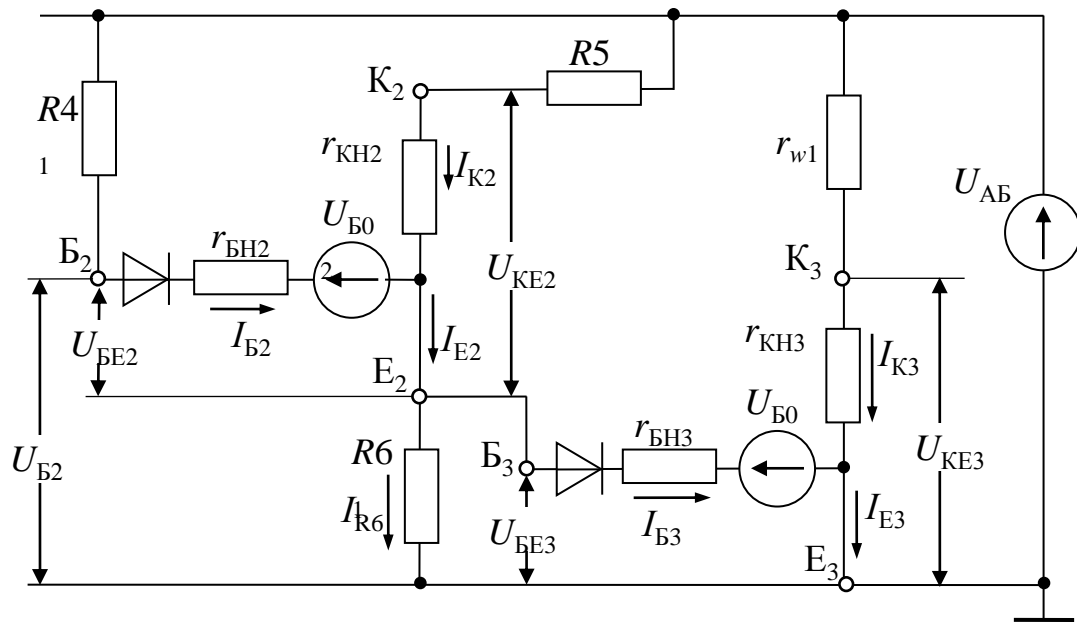
$$I_{K2} = I_{E2} - I_{B2}$$

$$U_{KE2} = I_{K2} r_{KH2}$$

$$R_5 = \frac{U_{AB} - U_{KE2} - U_{BE3}}{I_{K2}}$$

$$R_4 = \frac{U_{AB} - U_{BE2} + U_{BE3}}{I_{B2}}$$

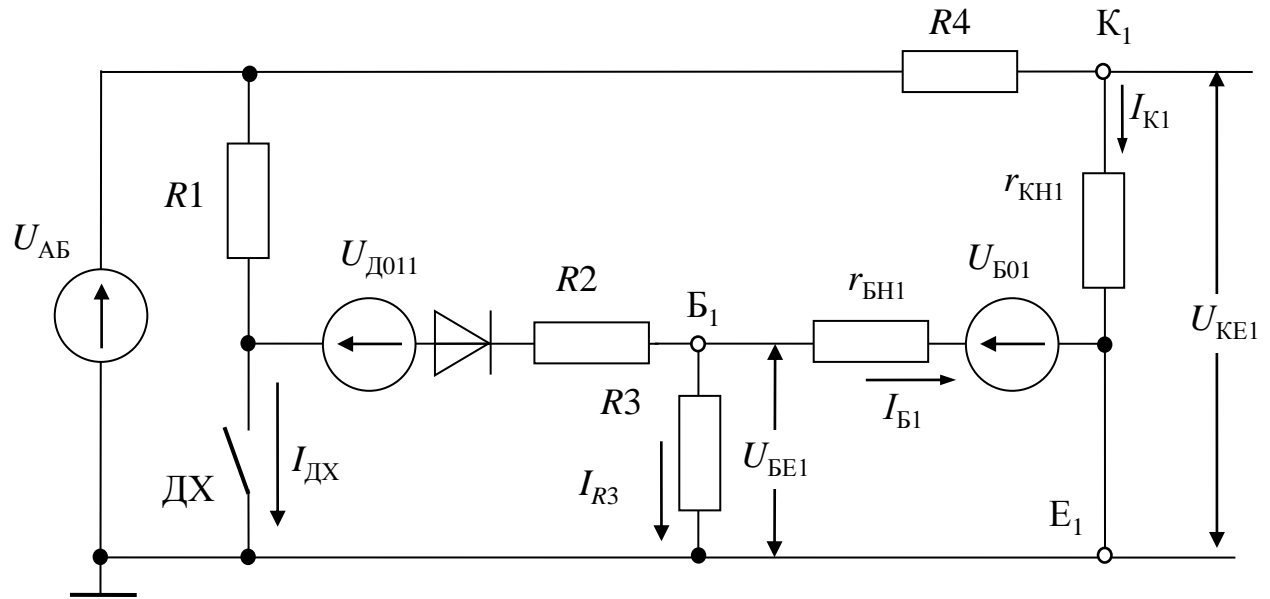
$$I_{K02} R_6 < U_{B03}$$



Розрахунок вхідного каскаду комутатора струму

$$I_{K1.max} > 1,2 \frac{U_{AB}}{R_4}$$

$$U_{KE1.max} > 2U_{AB}$$



$$I_{K1} = \frac{U_{AB}}{R_4 + r_{KH1}}$$

$$I_{B1} = s_1 \frac{I_{K1}}{\beta_1}$$

$$U_{BE1} = U_{B01} + I_{B1} r_{BH1}$$

$$R_1 = \frac{U_{AB}}{0,8I_{DХ.max}}$$

$$I_{K1} r_{KH1} = U_{KE1} < U_{B02} + U_{B03}$$

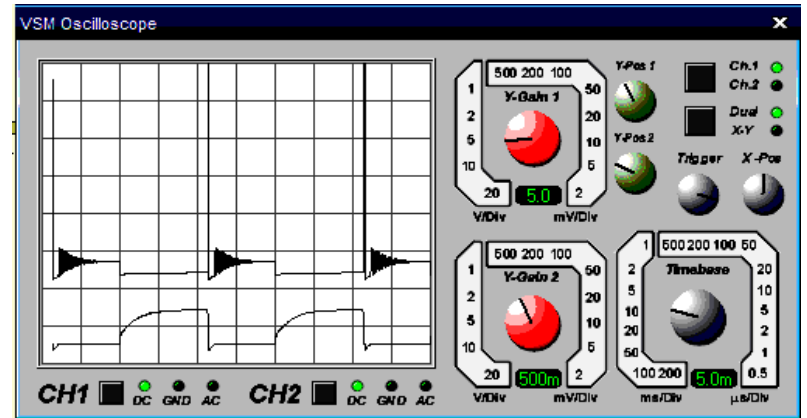
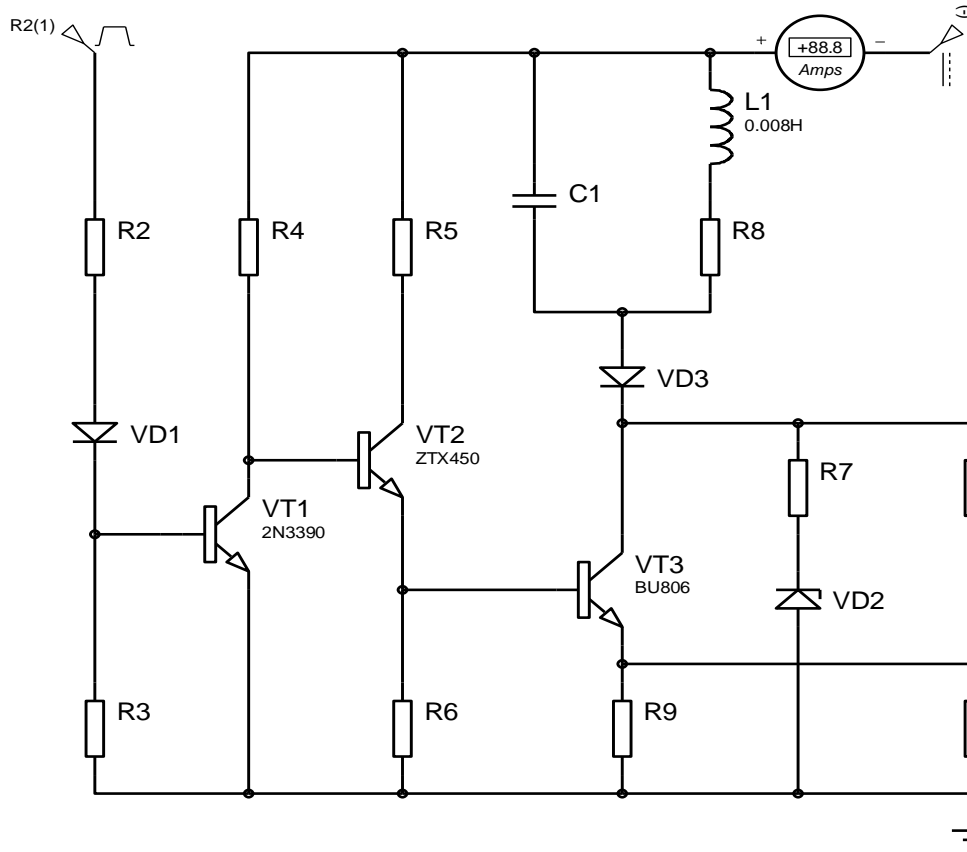
$$I_{R3} = \frac{U_{BE1}}{R_3}$$

$$R_2 = \frac{U_{AB} - U_{D01} - U_{BE1} - I_{R3} + I_{B1} R_1}{I_{R3} + I_{B1}}$$

6.4.2. Оптимізація параметрів схеми в динамічному режимі

Імітаційна модель комутатора струму

$$U_{C3} = U_{AB} - R_1 I_{B1} + I_{R3}$$



$$L1 = L_1, R8 = r_{w1}$$

$$U_P = 0,8U_{1m}$$

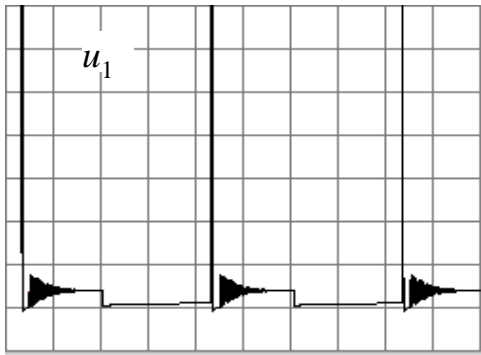
$$C_1 = \frac{I_{pt\text{ст}}}{2U_{\Pi}}$$

$$U_{VD.\text{max}} > U_{1m} \quad I_{VD.\text{max}} > 1,3I_{K3}$$

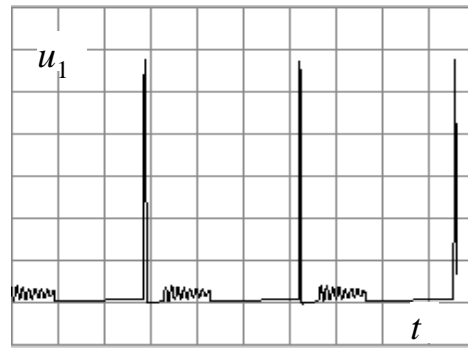
$$R_7 = 0,2U_{1m}/I_{ст.\text{max}}$$

$$R_9 = 0,1 \text{ Ом}, R_{10} = 1 \text{ МОм}, R_{11} = 200 \text{ кОм}$$

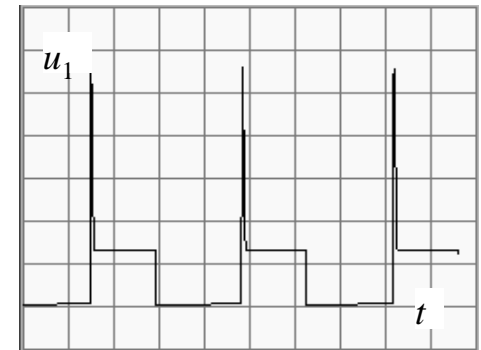
Результати моделювання КС у динамічному режимі



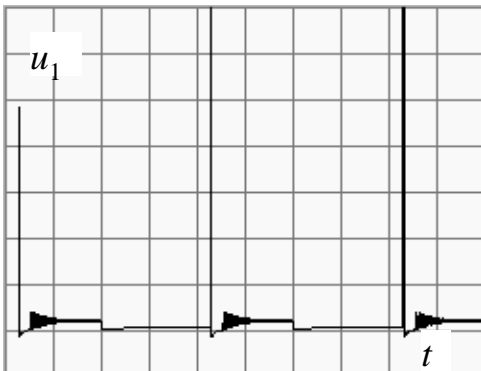
при частоті 50 Гц



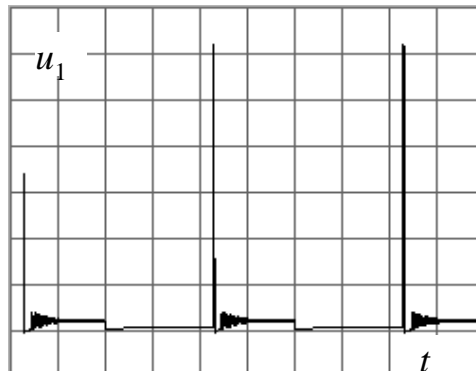
без захисного діода



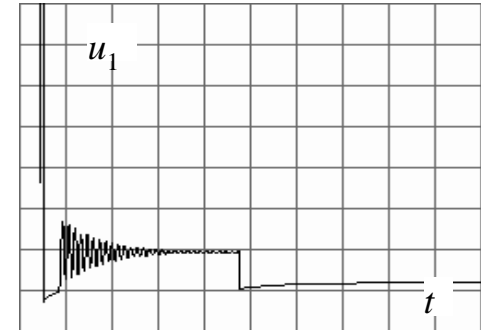
з захисним діодом



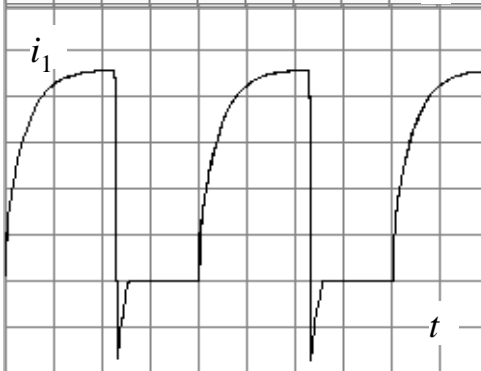
без стабілітрона



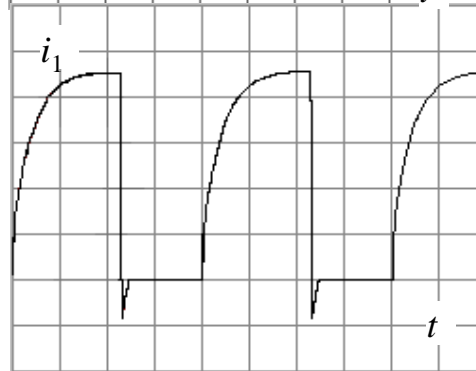
з стабілітроном



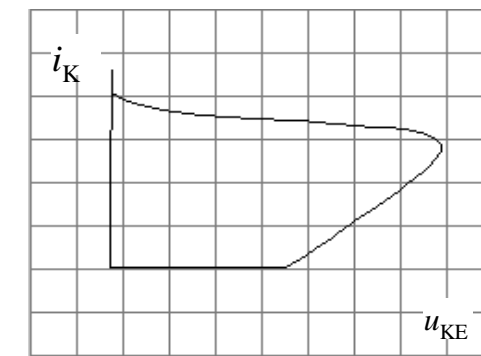
первинна напруга



без стабілітрона



з стабілітроном



кругова осцилограма $i_K(u_{KE})$

6.4.3. Оцінка теплового режиму виконавчого транзистора та розрахунок радіатора

Визначення енергії в системі та комутуючому пристрої

$$W_{EM} = \frac{L_1 U_{AB}^2}{2 r_{w1} + r_{KH}}$$

$$W_{KC} = \Delta P_{KC} t_3 + \Delta P'_{KC} t_P = \frac{120}{z_{\Pi} n_{\min}} \times \\ \times \left[\gamma \sum P_{VD} + \sum P_R + \sum P_{VT} + 1 - \gamma \sum P'_{VD} + \sum P'_R + \sum P'_{VT} \right],$$

Розрахунок потужності, що розсіює виконавчий транзистор

$$P_{np} = \frac{r_{KH} \gamma_3 U_{AB}^2}{r_{w1} + r_{KH}} \left\{ 1 - \frac{n_{\min} \left[\exp\left(-\frac{C_a}{n_{\min}}\right) - 3 \right] \cdot \left[\exp\left(-\frac{C_a}{n_{\min}}\right) - 1 \right]}{2C_a} \right\} P_{KOM} = \frac{z_{\Pi} n_{\min} I_{1m}^2}{720} \frac{3L_1 - 2r_{w1} t_{сп}}{720} \approx \frac{z_{\Pi} n_{\min} I_{1m}^2 L_1}{240}.$$

$$P_{VT} = \frac{r_{KH} \gamma_3 U_{AB}^2}{r_{w1} + r_{KH}} \left\{ 1 - \frac{n_{\min} \left[\exp\left(-\frac{C_a}{n_{\min}}\right) - 3 \right] \cdot \left[\exp\left(-\frac{C_a}{n_{\min}}\right) - 1 \right]}{2C_a} + \frac{z_{\Pi} n_{\min}}{720} \frac{3L_1 - 2r_{w1} t_{сп}}{720} + \frac{r_{BH} \gamma_3 s^2}{\beta_C^2} \right\}$$

$$I_{1m} = I_{KH} = U_{AB} / (r_{w1} + r_{KH})$$

$$\tau_{LR} = L_1 / (r_{w1} + r_{KH})$$

$$C_a = \frac{120 \gamma_3}{z_{\Pi} \tau_{LR}} = \frac{120 \gamma_3}{z_{\Pi} L_1} \frac{r_{w1} + r_{KH}}{\beta_C^2}$$

Особливості розрахунку теплового режиму виконавчого транзистора для систем запалювання різного типу

Теплові втрати при комутації струму

$$P_{VT.max} = r_{KH} \gamma_3^2 I_{1m}^2 = \frac{r_{KH} \gamma_3^2 U_{AB}^2}{r_{w1} + r_{KH}}^2$$

Для реальних СЗ з накопиченням в індуктивності:

1. До кола комутатора додають конденсатор.
2. Енергія в котушці запалювання частково витрачається на іскровий розряд та втрати у вторинному колі.
3. Сигнал керування транзистором формується попередніми каскадами та не є прямокутним.
4. В режимі пуску частота іскроутворення нижча за частоту, що відповідає обертам холостого ходу ДВЗ.

Для КС з накопиченням енергії в ємності найбільш напружений тепловий режим транзистора відбувається на максимальних обертах ДВЗ.

У КС з нормуванням часу накопичення енергії, максимальну потужність теплових втрат визначають із врахуванням режиму безіскрової відсічки.

Теплові втрати при відсутності сигналу датчика

$$P_{VT.ab} = r_{KH} I_{1m}^2 = \frac{r_{KH} U_{AB}^2}{r_{w1} + r_{KH}}^2$$

Співвідношення, щодо розрахунку теплового режиму

Температура кристала транзистора

$$T_V = T_C + R_{tV} P_{VT}$$

Тепловий опір

$$R_{tV} = R_{t(VK)} + R_{t(KP)} + R_{t(\Pi)} + R_{t(PC)}$$

Умова застосування радіатора

$$P_{VT} \geq P_{VT.доп}$$
$$T_V > T_{V.max}$$

$$R_{t(PC)\zeta} = \frac{1}{\alpha_\zeta S_P} \quad R_{t(PC)\xi} = \frac{1}{\alpha_\xi S_P} \quad R_{t(PC)} = \frac{R_{t(PC)\zeta} \cdot R_{t(PC)\xi}}{R_{t(PC)\zeta} + R_{t(PC)\xi}}$$

$$R_{t(PC)} = \frac{T_V - T_C}{P_{VT}} - R_{t(VK)} - R_{t(KP)} - R_{t(\Pi)} \quad R_{t(\Pi)} = \frac{\delta_{\Pi}}{\lambda_{МП} S_{СП}}$$

Формула Ньютона-Ріхмана

$$\Delta P_t = \alpha_{PC} S_P (T_C - T_P)$$

Коефіцієнт конвекційного теплообміну

$$\alpha_\zeta = A_1 A_2 \sqrt[4]{\frac{T_P - T_C}{D}}$$

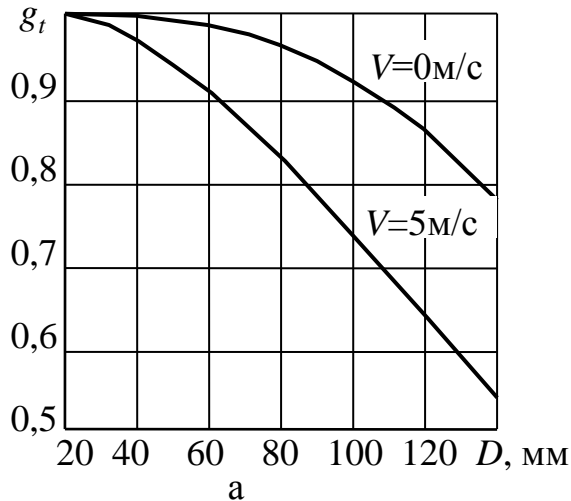
Коефіцієнт нерівномірності
прогріву радіатора

$$g = \frac{R_{t(PC)}}{R'_{t(PC)}}$$

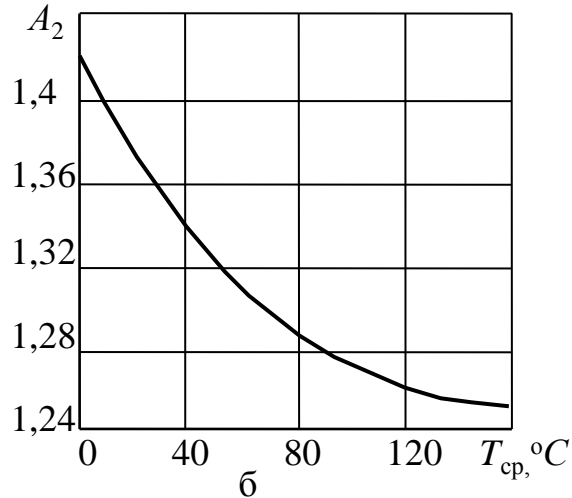
Коефіцієнт теплообміну випромінюванням

$$\alpha_\xi = 5,67 \cdot 10^{-8} \varepsilon_P \Phi_{PC} \frac{T_P + 273^4 - T_C + 273^4}{T_P - T_C}$$

Розрахунок радіатора



нерівномірність прогріву радіатора

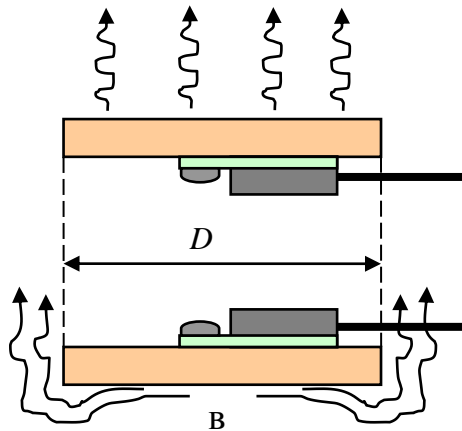
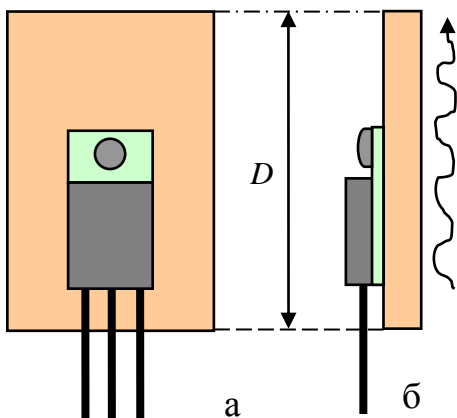


середня температура

температуру радіатора

$$T_P = T_C + \frac{R_{t(PC)} P_{VT}}{g_t}$$

$$T_{сер} = 0,5 T_C + T_P$$



площа поверхні радіатора

$$S_P = \frac{P_{VT}}{\alpha_{\varsigma} + \alpha_{\xi} T_P - T_C}$$

а – вертикального ($A_1 = 1$); б – горизонтального поверхнею у гору ($A_1 = 1,34$); в – горизонтального поверхнею у низ ($A_1 = 0,7$)