

## 6.2. Розрахунок електронного реле блокування стартера

### 6.2.1. Розрахунок схеми вихідного каскаду

Синтез та розрахунок РБС (див. рис. 2.1.5) при визначених параметрах датчика виконується за загальними правилами у такій послідовності. Спочатку розраховують вихідний каскад на задану напругу борта та опір обмотки додаткового реле стартера (ДРС). Кінцевим результатом розрахунку є визначення напруги на вході вихідного каскаду, достатньої для його спрацьовування. Потім розраховують вимірну частину схеми, яка при заданій частоті спрацьовування повинна забезпечити необхідний рівень напруги на вході вихідного каскаду. При розрахунках на цьому етапі вважають, що імпульси керуючого сигналу мають прямокутну форму фіксованої амплітуди. За результатами розрахунку при цьому визначають опір навантаження формувача. Останнім розраховують формувач сигналу, який узгоджує параметри сигналу датчика з навантаженням формувача. Основним завданням на цьому етапі синтезу є вибір типу транзистора, який задовольнить умовам на його вході і виході.

У РБС вихідний каскад зазвичай синтезується на двох транзисторах у протифазному підключенні з використанням жорсткого позитивного зворотного зв'язку для забезпечення тригерної здатності [1, 20] (рис. 6.2.1).

Схема функціонує так. При вмиканні стартерного режиму перемикач  $SA$  спочатку переводиться з положення «Викл.» в положення  $1+2$  «Готовність». Під дією напруги АКБ ( $GA$ ) виникає струм у колі бази транзистора  $VT3$  через резистор  $R_{K2}$  і транзистор відчиняється, утворюючи струм через навантаження  $R_{K3}$ . Потенціали колектора  $VT3$  та бази  $VT2$  (завдяки зворотному зв'язку  $R_{33}$ ) при цьому знижуються практично до нуля. Схема перебуває в статичному (тригерному) режимі очікування коли  $VT3$  знаходиться в стані насичення, а  $VT2$  в стані відсічки. Потім  $SA$  переводиться в положення  $2+3$  «Пуск», подаючи напругу на обмотку  $KV1$  додаткового реле стартера (ДРС). При цьому вимірну частину схеми та схему вихідного каскаду також залишаються під напругою живлення.



$$U_{\text{КЕЗ.маx}} > 2U_{\text{АБ}}, \quad I_{\text{КЗ.маx}} > 1,5 \frac{U_{\text{АБ}}}{r_{\text{КV}}}, \quad (6.2.1)$$

де  $U_{\text{КЕЗ.маx}}$ ,  $I_{\text{КЗ.маx}}$  – допустимі значення напруги та струму.

2. Визначають інваріантні параметри насиченого транзистора  $VT_3$  ( $r_{\text{БНЗ}}$ ,  $r_{\text{КНЗ}}$ ,  $U_{\text{Б0З}}$ ,  $\beta_3$ ) по формулах (1.124).

3. Режим кінцевого транзистора визначають згідно зі схемою заміщення вихідного каскаду (рис. 6.2.2, б)

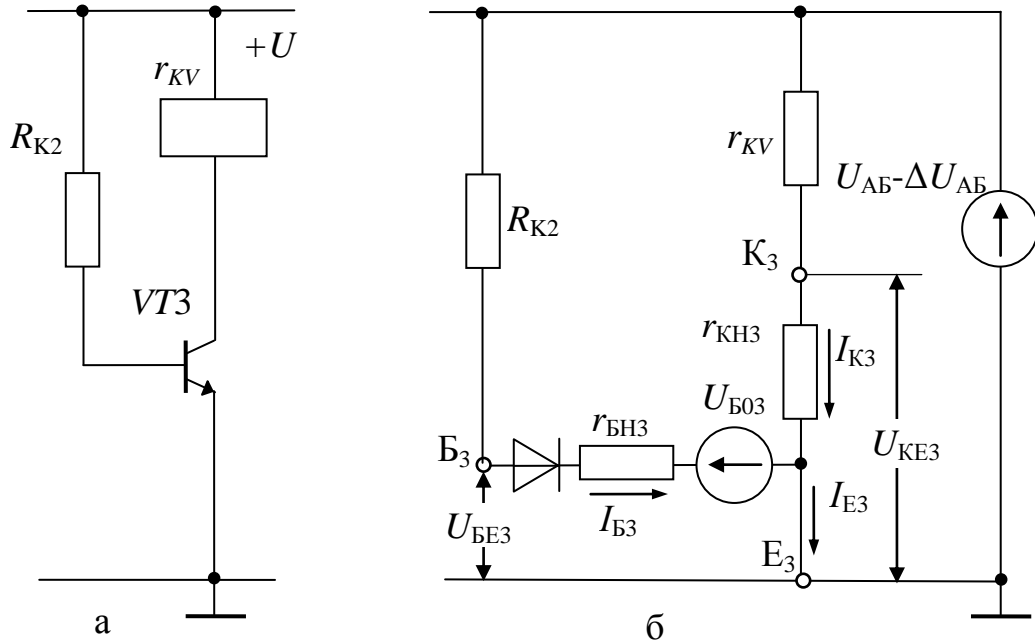


Рис. 6.2.2. Вихідний каскад РБС: а – схема електрична принципова; б – схема заміщення в режимі насичення транзистора

$$I_{\text{КЗ}} = \frac{U_{\text{АБ}} - \Delta U_{\text{АБ}}}{r_{\text{КВ}} + r_{\text{КНЗ}}}, \quad I_{\text{БЗ}} = s_3 \frac{I_{\text{КЗ}}}{\beta_3}, \quad (6.2.2)$$

$$U_{\text{БЕЗ}} = U_{\text{Б0З}} + I_{\text{БЗ}} r_{\text{БНЗ}}, \quad U_{\text{КЕЗ}} = I_{\text{КЗ}} r_{\text{КНЗ}},$$

де  $s_3 = 1,5$  – рекомендована ступінь насичення.

4. Для забезпечення насиченого стану транзистора визначають величину опору обмежувачого резистора, який є одночасно і колекторним навантаженням попереднього транзистора  $VT_2$

$$R_{\text{К2}} = \frac{U_{\text{АБ}} - \Delta U_{\text{АБ}} - U_{\text{БЕЗ}}}{I_{\text{БЗ}}}. \quad (6.2.3)$$

5. Обирають транзистор  $VT2$  за умовами

$$U_{KE2.max} > 2U_{AB}, \quad I_{K2.max} > 1,5 \frac{U_{AB}}{R_{K2}}. \quad (6.2.4)$$

6. Визначають інваріантні параметри насиченого транзистора  $VT2$  ( $r_{BH2}$ ,  $r_{KH2}$ ,  $U_{B02}$ ,  $\beta_2$ ) по формулах (1.124).

7. Розраховують режим  $VT2$

$$I_{K2} = \frac{U_{AB} - \Delta U_{AB}}{R_{K2} + r_{KH2}}, \quad I_{B2} = s_2 \frac{I_{K2}}{\beta_2}, \quad (6.2.5)$$

$$U_{BE2} = U_{B02} + I_{B2}r_{BH2}, \quad U_{KE2} = I_{K2}r_{KH2},$$

де  $s_3 = 1,3$  – рекомендована ступінь насичення.

8. Перевіряють умову переключення протифазного каскаду

$$U_{KE2} < U_{B03}. \quad (6.2.6)$$

Якщо умова не виконується, в коло бази  $VT3$  додають діод  $VD7$  з характеристикою близькою до вхідної характеристики  $VT3$  подвоюючи потенційний бар'єр на вході транзистора.

9. Перевіряють умову тригерного стану коли  $VT3$  відчинений, а  $VT2$  зачинений (при третьому положенні  $SA$ )

$$U_{KE3} < U_{B02}. \quad (6.2.7)$$

Якщо умова не виконується до кола зворотного зв'язку додають потенційний бар'єр (діод  $VD6$ ).

Далі розглядають схему при поверненні її в початковий стан (перемикач  $SA$  в положенні  $1$ ). При цьому навантаженням  $VT3$  є опір  $R_{K3}$ .

10. Розраховують опір  $R_{BE2}$ , виходячи з граничних умов відчинення  $VT2$

$$R_{BE2} = \frac{U_{B02}}{I_{ст.min}}, \quad (6.2.8)$$

де  $I_{\text{ст. min}}$  – мінімальний струм робочої ділянки ВАХ стабілітронів (приймають рівним 2 – 3 мА).

11. Розраховують опір зворотного зв'язку, виходячи з умови утримання  $VT2$  в стані насичення, коли  $VT3$  зачинений (при спрацьовуванні РБС)

$$R_{33} = \frac{U_{\text{АБ}} - \Delta U_{\text{АБ}} - U_{\text{BE2}} - I_{\text{К2}} + I_{\text{Б2}} r_{\text{KV}}}{I_{\text{Б2}} + I_{\text{ст. min}}} . \quad (6.2.9)$$

12. Визначають навантаження транзистора  $VT3$  в стартовому стані схеми (перемикач  $SA$  в положенні 2) за умовою не перевищення напруги ( $U_{\text{КЕ3}} < U_{\text{Б02}}$ )

$$R_{\text{К3}} > \frac{r_{\text{КН3}} U_{\text{АБ}} - U_{\text{Б02}}}{U_{\text{Б02}}} . \quad (6.2.10)$$

Після розрахунку опору кожного резистора, визначають їх номінальні значення (за рядом номіналів Е24), підраховують потужність, що розсіюється, згідно (6.1.1) та обирають найближчу більшу номінальну потужність резистора (див. рис. 6.1.1).

### 6.2.2. Розрахунок вимірювальної частини схеми

Вимірювальна частина РБС складається з перетворювача частота/напруга та схеми порівняння (рис. 6.2.3).

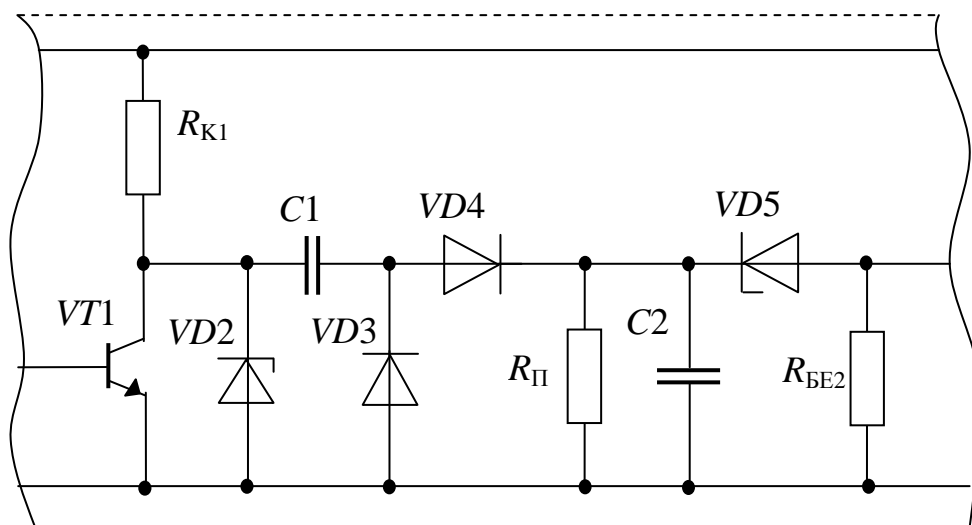


Рис. 6.2.3. Схема електрична принципова вимірювальної частини РБС

Пасивний перетворювач являє послідовно підключені диференційне ( $R_{\Pi}$ ,  $C1$ ) та інтегруюче ( $R_{\Pi}$ ,  $C2$ ) кола. Перетворювач функціонує так. При зачиненому транзисторі  $VT1$  ємність  $C1$  заряджається по колу  $R_{K1}$ ,  $VD4$ ,  $R_{\Pi}$ . Коли транзистор відчиняється,  $C1$  розряджається через відчинений  $VT1$  та діод  $VD3$ . На опорі  $R_{\Pi}$  виділяються імпульси тільки позитивної полярності, які заряджують ємність фільтра  $C2$ . В проміжках часу між дією імпульсів ємність  $C2$  розряджається через опір  $R_{\Pi}$ .

Таким чином рівень напруги, яка підтримується на вході схеми порівняння (стабілітрона  $VD5$ ) визначається співвідношенням параметрів кіл заряду – розряду і частотою процесу перезарядження (обертами датчика).

При виборі параметрів елементів, які визначають час перехідних процесів в колах перетворювача слід дотримуватися певних співвідношень:

$$t_{\text{зар}} = 3R_{\text{зар}}C_1, \quad t_{\text{роз}} = \frac{1}{f} \ll R_{\text{роз}}C_2 \quad (6.2.11)$$

Згідно зі схемою опір заряду  $C1$  визначається резисторами  $R_{\Pi}$  та  $R_{K1}$ , а опір розряду  $C2$  – резистором  $R_{\Pi}$ .

Схему вимірjuвальної частини розраховують у статичному режимі на порозі пробuю стабілітрона (на обертах спрацьовування), вважаючи, що коефіцієнт передачі напруги перетворювача дорівнює одиниці. Розрахунок та добір елементів схеми вимірjuвальної частини виконують так, як описано нижче.

1. Обирають тип стабілітрона за умовами

$$0,5U_{\text{АВ}} \geq U_{\text{ст}} > U_{\text{BE2}}, \quad I_{\text{ст.маx}} \geq \left( I_{\text{Б2}} + \frac{U_{\text{BE2}}}{R_{\text{BE2}}} \right). \quad (6.2.12)$$

2. Визначають опір навантаження вхідного транзистора (схеми формувача) вважаючи, що струм, споживаний перетворювачем, дорівнює максимальному струму стабілізації

$$R_{K1} = \frac{U_{\text{АВ}} - \Delta U_{\text{АВ}} - U_{\text{BE2}} - U_{\text{ст}}}{2I_{\text{ст.маx}}}. \quad (6.2.13)$$

3. Розраховують опір навантаження перетворювача

$$R_{\Pi} = \frac{U_{\text{ст}} + U_{\text{БЕ2}}}{I_{\text{ст. max}}}. \quad (6.2.14)$$

Після розрахунку опору кожного резистора, визначають їхні номінальні значення (за рядом номіналів E24), підраховують потужність, що розсіюється, згідно (6.1.1) та обирають номінальну потужність резистора.

4. Визначають ємності конденсаторів схеми перетворювача за заданими опорами резисторів для обраної частоти спрацьовування

$$C_1 = \frac{1}{10f_{\text{спр}}(R_{\text{К1}} + R_{\Pi})}, \quad C_2 = \frac{1}{100f_{\text{спр}}R_{\Pi}}. \quad (6.2.15)$$

Після розрахунку ємностей обирають конденсатори з ближчими номінальними значеннями ємності та допустимою напругою (більшою за напругу живлення).

5. Визначають коефіцієнт передачі схеми перетворювача, враховуючи співвідношення (6.2.11) [7]

$$k_{\text{пп}} = \frac{U_{\text{АБ}} - \Delta U_{\text{АБ}} R_{\Pi} C_2 \left\{ \exp -3 - \exp \left[ -\frac{3 R_{\text{К1}} + R_{\Pi} C_1}{R_{\Pi} C_2} \right] \right\}}{\frac{R_{\text{К1}} + R_{\Pi}}{R_{\Pi}} - \frac{C_2}{C_1}}}. \quad (6.2.16)$$

6. Перевіряють значення напруги, необхідне для пробою стабілітрона на заданій частоті спрацьовування

$$U_{\text{пп}} = f_{\text{спр}} k_{\text{пп}} \approx U_{\text{ст}} + U_{\text{БЕ2}}. \quad (6.2.17)$$

Якщо розрахована напруга не дорівнює заданому значенню здійснюють корекцію параметрів елементів  $R_{\Pi}$ ,  $C_1$ ,  $C_2$ . В реальному пристрої резистор  $R_{\Pi}$  припускає налаштування перетворювача на задану частоту (обирається резистор змінного опору). На етапі проектування виконують корегування параметрів елементів  $R_{\Pi}$ ,  $C_1$ ,  $C_2$  при моделюванні повної схеми РБС.

### 6.2.3. Розрахунок схеми формувача сигналу

Синтезована схема формувача сигналу наведена на рис. 6.2.4.

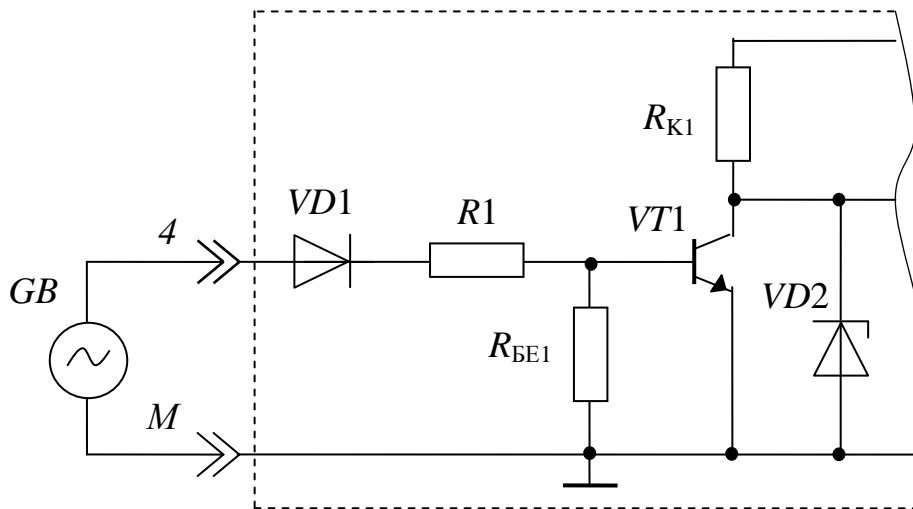


Рис. 6.2.4. Схема електрична принципова формувача сигналу РБС

Сигнал синусоїдальної форми з датчика  $GB$  надходить на вхід реле блокування 4. Формувач дозволяє отримати імпульси однакової амплітуди позитивної полярності у всьому діапазоні частот обертання датчика (ДВЗ). Сформований сигнал поступає на перетворювач частота - напруга.

Датчик  $GB$  виробляє сигнал, потужність якого достатня для керування вхідним транзистором формувача на обертах нижче  $n_{спр.}$ . Величина напруги на вході формувача залежить від величини електрорушійної сили, що виробляє датчик  $E$ , та співвідношення між внутрішнім опором датчика  $Z_0$  та вхідним опором електронного пристрою  $r_{вх}$  (формувача). Параметри датчика  $E$ ,  $Z_0$  у свою чергу визначаються через частоту його обертання  $n$  та струм навантаження  $i_{вх}$ .

$$U_{вх}(n, i_{вх}) = \frac{E(n)r_{вх}}{r_{вх} + Z_0(n, i_{вх})} \quad (6.2.18)$$

Транзистор  $VT1$  вибирають за вхідними параметрами, виходячи з кратності зміни величини  $U_{вх}$  в діапазоні робочих частот обертання стартера (датчика). При попередньому розрахунку вважаємо, що еквівалентний опір обраного датчика має постійну величину  $r_{д}$ .

Стабілітрон  $VD2$  на виході транзистора дозволяє стабілізувати



амплітуду імпульсів на вході перетворювача при коливаннях напруги живлення (АКБ) у режимі старту.

Вихідними даними для розрахунку формувача є: напруга живлення  $U_{AB}$ ; допустима знижка напруги в стартерному режимі  $\Delta U_{AB}$ ; швидкісна характеристика датчика частоти обертання колінчастого вала  $E_D = f(n)$ ; внутрішній опір датчика  $r_D$ , що характеризує його потужність; оберти спрацьовування  $n_{спр}$  та максимальні оберти датчика  $n_{max}$ . Схему розраховують у статичному режимі при амплітудних значеннях сигналу датчика. Розрахунок та добір елементів схеми формувача виконують так, як описано нижче.

1. За швидкісною характеристикою датчика  $E_D = f(n)$  визначають ЕРС на максимальних обертах  $E_{D,max}$  та обертах спрацьовування  $E_{D,спр}$ .

2. Обирають тип вхідного транзистора VT1, виходячи з умов

$$U_{KE1,max} > 2U_{AB}, \quad I_{K1,max} > 2I_{B2}, \quad \frac{U_{BE1,max}}{U_{B01}} \geq \frac{E_{D,max}}{E_{D,спр}}. \quad (6.2.19)$$

де  $U_{BE1,max}$  – допустимі значення напруги на вході транзистора VT1.

3. Визначають інваріантні параметри насиченого транзистора VT1 ( $r_{BH1}$ ,  $r_{KH1}$ ,  $U_{B01}$ ,  $\beta_1$ ) по формулах (1.124).

4. Розраховують режим вхідного транзистора

$$I_{K1} = \frac{U_{AB} - \Delta U_{AB}}{R_{K1} + r_{KH1}}, \quad I_{B1} = \frac{I_{K1}}{\beta_1}, \quad (6.2.20)$$

$$U_{BE1} = U_{B01} + I_{B1}r_{BH1}, \quad U_{KE1} = I_{K1}r_{KH1}.$$

5. Обирають опір шунтуючого резистора  $R_{BE1}$  через власні параметри транзистора VT1 за умовою (4.3.1) та визначають струм через нього при насиченому VT1

$$I_{BE1} = U_{BE1} / R_{BE1}. \quad (6.2.21)$$

6. Обирають діод, що випрямляє сигнал датчика, за умовами

$$U_{VD1} \geq 2E_{D.\max}, \quad I_{VD1} \geq 1,5 \frac{I_{K1.\max}}{\beta_1}. \quad (6.2.22)$$

7. Розраховують необхідний опір обмежуючого резистора  $R_1$  при обертах спрацьовування

$$R_1 = \frac{E_{D.\text{спр}} - \Delta U_{VD1} - U_{BE1} - I_{B1} + I_{BE1} r_D}{I_{B1} + I_{BE1}}, \quad (6.2.23)$$

де  $\Delta U_{VD1}$  – падіння напруги на діоді з урахуванням потенційного бар'єра (обирають 1 В).

8. Визначають струми у колах вимірювальної частини при максимальних обертах згідно зі схемою заміщення (рис. 6. 2.5)

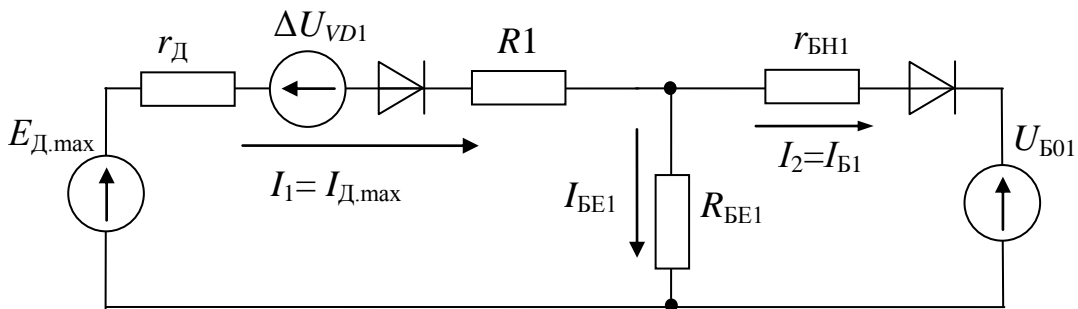


Рис. 6.2.5. Розрахункова схема заміщення вхідного каскаду РБС

Для наведеної схеми складають систему рівнянь для контурних струмів

$$\begin{cases} E_{D.\max} - \Delta U_{VD1} = I_1 r_D + R_1 + R_{B1} - I_2 R_{B1} \\ -U_{B0} = I_2 r_{BH1} + R_{B1} - I_1 R_{B1}. \end{cases} \quad (6.2.24)$$

У результаті розв'язування рівнянь (6.2.24) отримують значення струмів у гілках схеми та перевіряють умову придатності транзистора

$$I_{D.\max} = I_1, \quad I_{B1.\max} = I_2, \quad I_{BE1} = I_1 - I_2, \quad I_{BE1} R_{B1} \leq U_{BE1.\max}. \quad (6.2.25)$$

Якщо умова не виконується, обирають транзистор з більшим допустимим значенням вхідної напруги.

#### 6.2.4. Синтез схеми та моделювання роботи пристрою

Перевірочний (динамічний) розрахунок та уточнення параметрів елементів схеми РБС отриманих за результатами попереднього розрахунку доцільно виконувати за допомогою прикладних програм. Розглянемо методику оптимізації параметрів елементів схеми РБС в пакеті прикладних програм Multisim.

1. У програмі моделюють схему електричну принципову вимірювальної частини РБС навантаженням якої є вхідний транзистор VT2 вихідного каскаду (рис. 6.2.6).

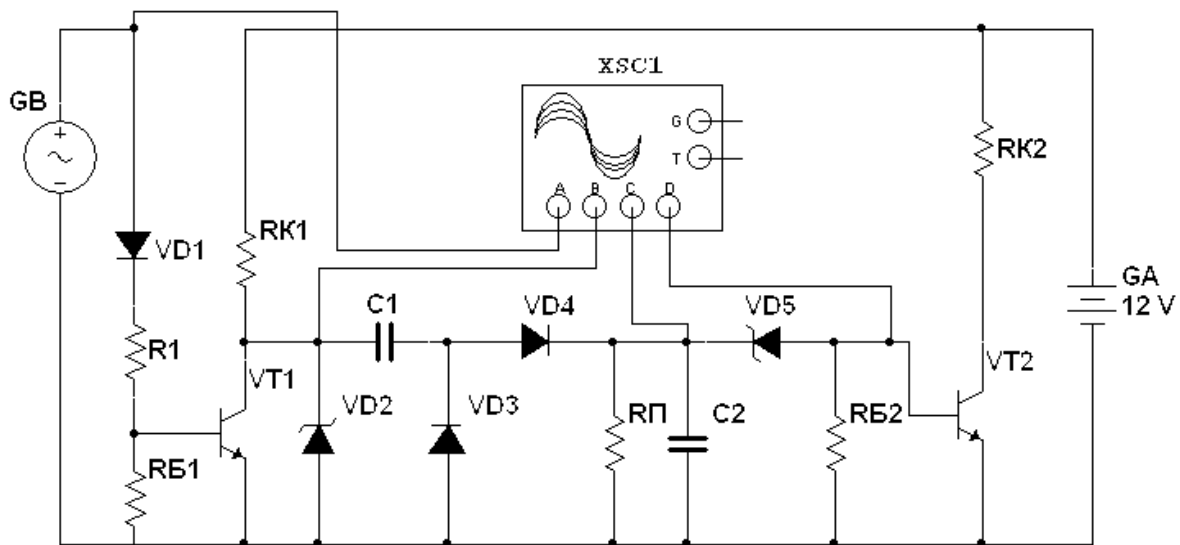


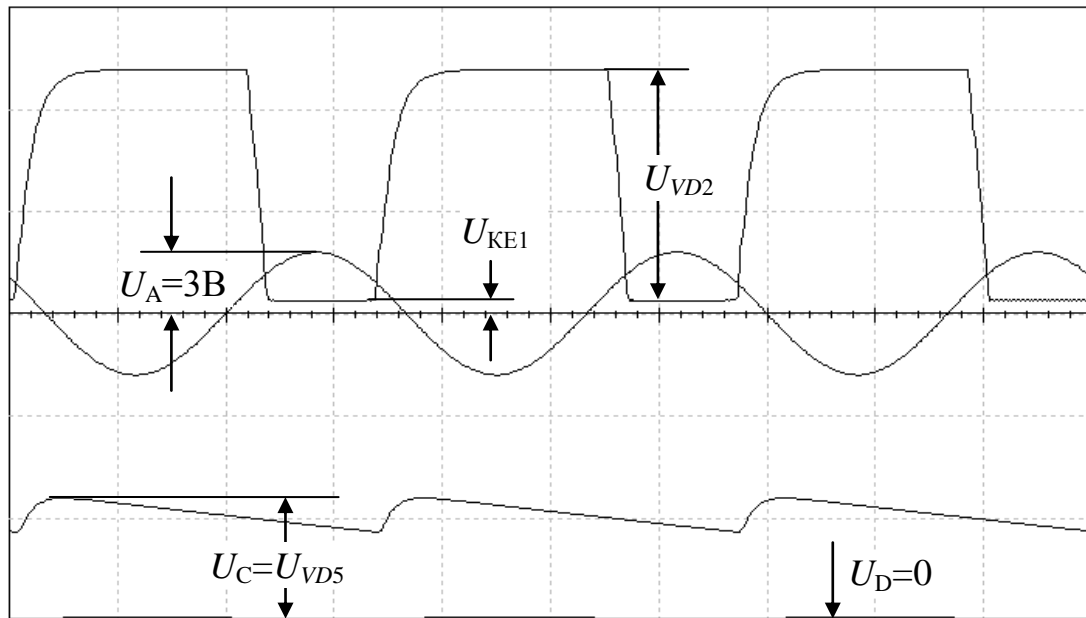
Рис. 6.2.6. Схема електрична принципова вимірювальної частини РБС синтезована в програмі Multisim

Активні елементи схеми обирають з каталогу програми. Пасивним елементам надають значення параметрів відповідно до обраних номіналів за шкалами стандартизованих рядів.

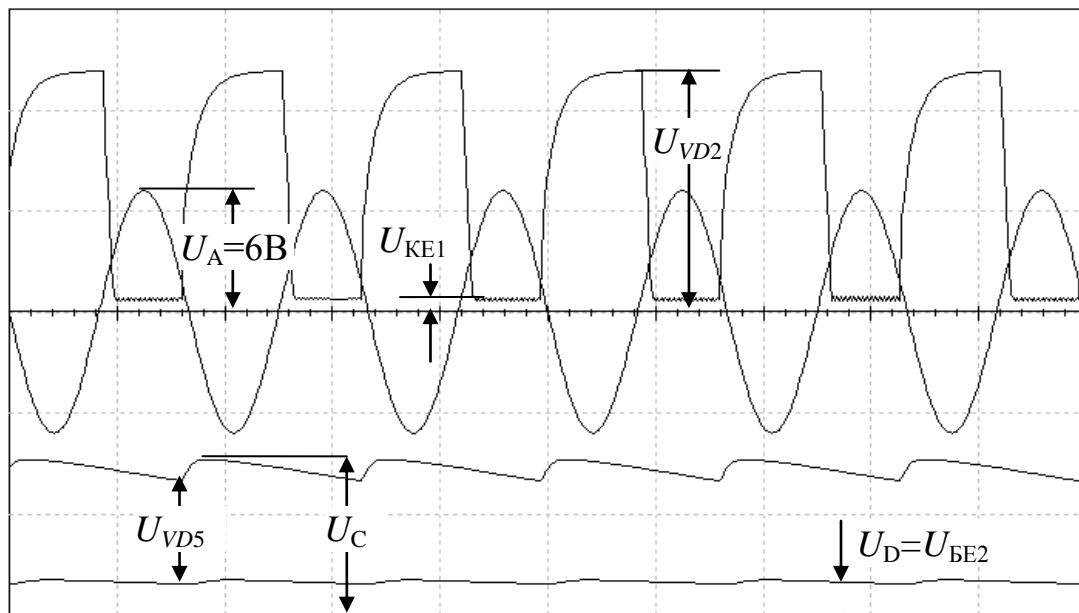
2. Підводять до схеми напругу живлення бортової мережі 12 В.  
3. Підключають входи чотирьох-канального осцилографа XSC1 відповідно до: датчика частоти обертання GB (вхід А); виходу формувача (вхід В); виходу перетворювача частота/напруга (вхід С); виходу вихідного каскаду (вхід осцилографа D).

4. Забезпечують частоту і амплітуду сигналу на вході схеми нижче частоти спрацьовування  $n_{ДВЗ} < n_{ср}$  (рис. 6.2.7, а) і поступово підвищують ці параметри сигналу датчика GB, спостерігаючи на

екрані осцилографа за величиною напруги  $U_{BE2}$  ( $U_D$ ) на вході вихідного каскаду. На час досягнення заданої частоти спрацьовування  $f_{спр}$  ( $n_{ДВЗ}=n_{спр}$ ), напруга  $U_{BE2}$  повинна досягти розрахункового значення при якому спрацьовує вихідний каскад (рис. 6.2.7, б).



а



б

Рис. 6.2.7. Результати моделювання роботи схеми РБС:  
а - сигнал датчика; б – сигнал на виході формувача; в – напруга на виході перетворювача

Якщо напруга спрацьовування відрізняється від розрахованого значення, корегують параметри елементів схеми перетворювача  $C1$ ,  $C2$ ,  $R_{П}$ , або підбирають стабілітрон  $VD5$  з задовільною напругою пробою.

5. Додають до схеми моделі (рис. 6.2.6) елементи вихідного каскаду та периферійні пристрої (рис. 6.2.1). В кола колектора вихідного транзистора  $VT3$  та обмотки ДРС вводять контрольні амперметри  $PA1$ ,  $PA2$  для реєстрації станів схеми.

6. Встановлюють перемикач  $SA$  в положення  $1+2$ , підводячи напругу АКБ 12В до схеми (режим «Готовність»). При цьому повинен з'явитися струм колектора транзистора  $VT3$  обмежений опором  $R_{КЗ}$  (показання амперметра  $PA1$ ). Якщо це не так, відокремлено перевіряють схему вихідного каскаду РБС, налагоджують її та повторюють експеримент.

7. Переводять перемикач  $SA$  в положення  $2+3$ , що відповідає режиму «Пуск», а потім знижують напругу живлення на величину підсадки  $\Delta U_{AB}=4В$ . Обмотка ДРС  $KV1$  при цьому перебуває під струмом (показання амперметра  $PA2$ ).

8. Активізують схему змінюючи частоту та напругу сигналу датчика  $GB$  аналогічно п. 4. На час досягнення заданої частоти спрацьовування обмотка реле  $KV1$  повинна знеструмитись (показання амперметра  $PA2$ ). Якщо частота спрацьовування відрізняється від заданої, повторюють налаштування схеми, корегуючи опір резистора схеми перетворювача  $R_{П}$ .

Після віртуального налаштування схеми складають перелік її елементів.