

Г. С. ВЕКСЛЕР, В. В. ПІЛІНСЬКИЙ

## ПРО ТЕРМОКОМПЕНСАЦІЮ ТРАНЗИСТОРНИХ СТАБІЛІЗАТОРІВ НАПРУГИ

1. Дія навколишньої температури на транзисторні стабілізатори напруги — важливий дестабілізуючий фактор. Коливання температури більш за все позначаються через зміну напруги опорного стабілітрона  $U_{ст}$  і напруги емітер—база керуючого транзистора  $TK$ .

Велике поширення за нашого часу мають балансні схеми підсилювачів зворотного зв'язку (ПЗЗ) (рис. 1), в яких вплив темпера-

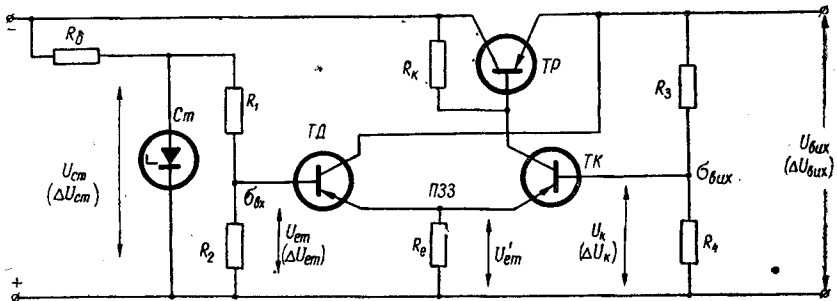


Рис. 1. Транзисторний стабілізатор напруги з балансним ПЗЗ.

тури на  $TK$  значно послаблений [1, 2]. Але застосування балансної схеми не усуває дестабілізацію, що її спричиняє зміна опорної напруги.

В літературі [2—5] розглянуто найбільш поширений метод термокомпенсації за допомогою термозалежних резисторів. Однак у зазначених роботах не проаналізовані можливості використання цього методу і параметри термокомпенсуючого кола не пов'язані з елементами основної схеми стабілізатора. Це утруднює розрахунок термокомпенсованого стабілізатора і ускладнює його налагодження. В даній роботі зроблено спробу заповнити цю прогалину.

2. У статті розглядається метод термокомпенсації за допомогою терморезисторів, які мають відносний температурний коефіцієнт опору ( $TKO$ )  $\alpha$ , що не залежить від температури. Такий терморе-

зистор вмикають до нижнього плеча вихідного подільника  $R_3$  і  $R_4$ , тому що його  $TKO$  і температурний коефіцієнт напруги ( $TKH$ ) стабілітрона  $\beta$  мають один і той же знак.  $R_4$  складається з терморезистора, що дозволяє його більш повно використати для термокомпенсації.

Напруга на виході стабілізатора з балансним  $PЗЗ$  при коливаннях температури змінюється внаслідок зміни напруги еталонного джерела, тобто на емітері  $TK$ . Тому для термокомпенсації потрібно змінити напругу на базі  $TK$  на таку ж саму величину. Інаше кажучи, згідно з рис. 1 треба дотримати

$$\Delta U'_{ет} = \Delta U_{к}. \quad (1)$$

Умову (1) можна задовольнити, якщо в колі бази  $TK$  застосувати подільник, коефіцієнт передачі якого  $\sigma_{вих}$  залежить від зміни температури. Цього досягають за допомогою терморезистора  $R_4$ .

Приймемо, що термокомпенсація повинна бути при максимальній температурі  $T_{макс}$ , тоді приріст керуючої напруги при  $T_{макс}$  відносно тієї ж напруги при мінімальній температурі  $T_{мін}$

$$\Delta U_{к} = U_{вих.ном} (\sigma'_{вих} - \sigma_{вих}), \quad (2)$$

де  $\sigma'_{вих}$  — коефіцієнт передачі подільника при  $T_{макс}$ ;  
 $\sigma_{вих}$  — коефіцієнт передачі подільника при  $T_{мін}$ ;  
 $U_{вих.ном}$  — номінальне значення вихідної напруги.

Якщо виразити  $\sigma_{вих}$  і  $\sigma'_{вих}$  через значення резисторів подільника, то (2) матиме вигляд

$$\Delta U_{к} = U_{вих.ном} \left[ \frac{R_4 (1 + \alpha \Delta T)}{R_3 + R_4 (1 + \alpha \Delta T)} - \frac{R_4}{R_3 + R_4} \right], \quad (3)$$

де  $\alpha$  — відносний  $TKO$  резистора ;

$$\Delta T = T_{макс} - T_{мін}. \quad (4)$$

Беручи до уваги (1) і скориставшись відношенням

$$\delta = \frac{R_3}{R_4}, \quad (5)$$

перетворимо (3)

$$\delta^2 + \left( 2 + \alpha \Delta T - \frac{U_{вих.ном} \alpha \Delta T}{\Delta U'_{ет}} \right) \delta + 1 + \alpha \Delta T = 0. \quad (6)$$

Пов'яжемо  $U'_{ет}$  (рис. 1) з параметрами стабілітрона, нехтуючи напругою емітер—база  $U_{еб}$  на  $TK$ , що порівняно з  $U_{ет}$  дуже мала,

$$\Delta U'_{ет} = \Delta U_{ет} = \beta \Delta T U_{ст.ном} \sigma_{вих}, \quad (7)$$

де  $\beta$  — відносний  $TKH$  стабілітрона;  
 $U_{ст.ном}$  — номінальне значення напруги стабілітрона;  
 $\sigma_{вих}$  — коефіцієнт передачі вхідного подільника

$$\sigma_{вих} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} = \frac{U_{ет.ном}}{U_{ст.ном}}. \quad (8)$$

Позначимо

$$\sigma_{\text{НОМ}} = \frac{U_{\text{СТ.НОМ}}}{U_{\text{ВИХ.НОМ}}}. \quad (9)$$

Нехтуючи напругами  $U_{\text{еб}}$  на транзисторах ТК і ТД (рис. 1), одержимо з (8) і (9)

$$\sigma_{\text{ВХ}} = \frac{\sigma_{\text{ВИХ}}}{\sigma_{\text{НОМ}}}, \quad (10)$$

де

$$\sigma_{\text{ВИХ}} = \frac{R_4}{R_3 + R_4} = \frac{U_{\text{К.НОМ}}}{U_{\text{ВИХ.НОМ}}} \approx \frac{U'_{\text{ЕТ}}}{U_{\text{ВИХ.НОМ}}}. \quad (11)$$

З (5) і (11) одержимо

$$\sigma_{\text{ВХ}} = \frac{1}{1 + \delta}. \quad (12)$$

Беручи до уваги (7), (9), (10) і (12), запишемо (6) у вигляді

$$\delta^2 + \left( \frac{2 + \alpha\Delta T - \frac{\alpha}{\beta}}{1 - \frac{\alpha}{\beta}} \right) \delta + \frac{1 + \alpha\Delta T}{1 - \frac{\alpha}{\beta}} = 0. \quad (13)$$

З (13) одержимо

$$\delta = - \frac{2 + \alpha\Delta T - \frac{\alpha}{\beta}}{2 \left( 1 - \frac{\alpha}{\beta} \right)} \pm \sqrt{\left[ \frac{2 + \alpha\Delta T - \frac{\alpha}{\beta}}{2 \left( 1 - \frac{\alpha}{\beta} \right)} \right]^2 - \frac{1 + \alpha\Delta T}{1 - \frac{\alpha}{\beta}}}. \quad (14)$$

Додатні значення  $\delta$  згідно з (14) для  $R_4$ , виконаного з мідного дроту,  $\alpha = 3,9 \cdot 10^{-1} \% / ^\circ \text{С}$  наведені на рис. 2 при:  $\Delta T = 20^\circ \text{С}$  (крива 1),  $\Delta T = 60^\circ \text{С}$  (крива 2) і  $\Delta T = 100^\circ \text{С}$  (крива 3).

Аналіз (3) і (7) приводить до висновку, що при певному значенні  $\delta$  залежності  $\Delta U_{\text{К}} = \varphi(\Delta T)$  має нелінійний характер, тоді як  $\Delta U'_{\text{ЕТ}}$  прямо пропорційна  $\Delta T$ . Виходячи з цього, знаходимо, що термокомпенсація буде повною лише в крайній точці температурного інтервалу  $T_{\text{макс}}$ , тому що для неї було обчислено  $\delta$ . При  $T_{\text{мін}} < T < T_{\text{макс}}$  напруга  $U_{\text{ВИХ}}$  дещо відрізнятиметься від  $U_{\text{ВИХ.НОМ}}$ . Для кращого уявлення цієї різниці на рис. 3 побудовано відносні прирости напруг  $\frac{\Delta U_{\text{К}}}{U_{\text{ВИХ.НОМ}}}$  і  $\frac{\Delta U'_{\text{ЕТ}}}{U_{\text{ВИХ.НОМ}}}$  як функції від  $\Delta T$ . Повну термокомпенсацію було обчислено для  $\Delta T = 100^\circ \text{С}$ . Потрібні значення були взяті з (3) і (5)

$$\frac{\Delta U_{\text{К}}}{U_{\text{ВИХ.НОМ}}} = \frac{1 + \alpha\Delta T}{1 + \alpha\Delta T + \delta} - \frac{1}{1 + \delta} \quad (15)$$

та з (7), (9), (10) і (12)

$$\frac{\Delta U'_{\text{ЕТ}}}{U_{\text{ВИХ.НОМ}}} = \frac{\beta\Delta T}{1 + \delta}. \quad (16)$$

З рис. 3 видно, що при  $T_{\min} < T < T_{\max}$  відбувається перекомпенсація ( $\Delta U_{\text{к}} > \Delta U'_{\text{ет}}$ ), що приводить до незначного зменшення  $U_{\text{вих}}$  при збільшенні температури. Знайдемо величину

$$\gamma = (\Delta U_{\text{к}} - \Delta U'_{\text{ет}}) \frac{1}{\sigma_{\text{вих}} U_{\text{вих.ном}}} \quad (17)$$

Згідно з (15) і (16) вона дорівнює

$$\gamma = \left( \frac{1 + \alpha \Delta T}{1 + \alpha \Delta T + \delta} - \frac{1 + \beta \Delta T}{1 + \delta} \right) \frac{1}{\sigma_{\text{вих}}} \quad (18)$$

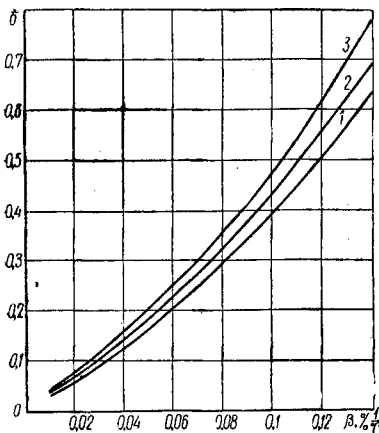


Рис. 2. Криві залежності  $\delta = f(\beta)$ :  
1 —  $\Delta T = 20^\circ \text{C}$ ; 2 —  $\Delta T = 60^\circ \text{C}$ ;  
3 —  $\Delta T = 100^\circ \text{C}$ .

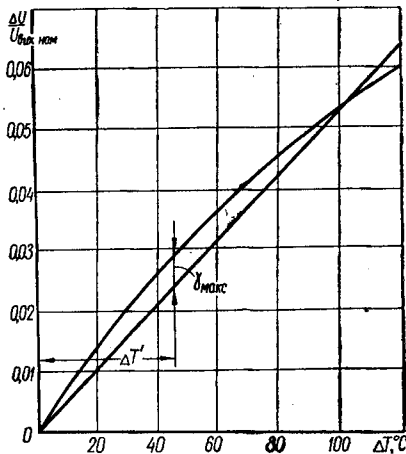


Рис. 3. Відносні прирости напруг:

$$1 - \frac{\Delta U_{\text{к}}}{U_{\text{вих.ном}}}; \quad 2 - \frac{\Delta U'_{\text{ет}}}{U_{\text{вих.ном}}}$$

Знайдемо температуру  $\Delta T'$  в інтервалі  $\Delta T$ , для якої перекомпенсація буде найбільша —  $\gamma_{\max}$ . З (18) випливає, що максимум  $\gamma$  буде при

$$\Delta T' = \frac{-\beta \pm \sqrt{\alpha \beta \frac{\delta}{1 + \delta}}}{\alpha \beta \frac{1}{1 + \delta}}; \quad (19)$$

(19) має зміст лише при додатному знаку перед коренем.

Підставляючи значення  $\Delta T'$  з (19) до (18), одержимо

$$\gamma_{\max} = \left( \frac{1 + \alpha \Delta T'}{1 + \alpha \Delta T' + \delta} - \frac{1 + \beta \Delta T'}{1 + \delta} \right) \frac{1}{\sigma_{\text{вих}}} \quad (20)$$

3. Користуючись формулами (9), (10), (12), (19), (20), а також рис. 2 або формулою (14), можна обчислити схему термокомпенсації стабілізатора.

Якщо  $\sigma_{\text{вих}} > \sigma_{\text{ном}}$ , то обраний опорний стабілітрон слід замінити іншим типом з більшим  $U_{\text{ст.ном}}$ . Для розрахунку опорів вхідного і

вихідного подільників треба вибрати струми через них, виходячи з відомих міркувань.

У таблиці наведені результати термокомпенсації згідно з наведеними формулами для  $U_{\text{вих.ном}} = 8 \text{ в}$ ;  $U_{\text{ст.ном}} = 8 \text{ в}$ ;  $\beta = 0,0625\%/^{\circ}\text{C}$  (для стабілітрона Д808) і  $\Delta T = 20^{\circ}\text{C}$  (від  $25$  до  $45^{\circ}\text{C}$ ). Без термокомпенсації  $\Delta U_{\text{вих}} = 100 \text{ мв}$ . Таким чином, термокомпенсація зменшила  $\Delta U_{\text{вих}}$  більш як у 20 разів.

$R_1$	$R_2$	$R_3$	$R_4$	$\Delta U_{\text{вих}}$	ТКН стабілізатора	$\Delta T'$	Примітки
ом				мв	%/ $^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	
274	1300	103	490	4,3	0,0027	13,3	$R_1, R_2, R_3$ — з манганіну $R_4$ — з міді

### Висновки

1. Показано, що повної компенсації за допомогою терморезистора з  $\alpha = \text{const}$  можна досягти лише для однієї температури.
2. Доведено, що при такому методі термокомпенсації на робочому інтервалі температур буде незначна перекомпенсація.
3. Наведено вирази для визначення температури, при якій значення перекомпенсації найбільше.

### ЛІТЕРАТУРА

1. Карпов В. И., Полупроводниковые стабилизаторы напряжения. Госэнергоиздат, 1963.
2. Додик С. Д., Полупроводниковые стабилизаторы постоянного напряжения и тока. «Советское радио», 1962.
3. Додик С. Д., Температурная компенсация транзисторных стабилизаторов. Измерительная техника, 1961, № 2.
4. Школьников В. А., Температурная стабилизация выходного напряжения стабилизаторов, выполненных на транзисторах. Сб. «Автоматический контроль и измерительная техника», вып. 7, 1963.
5. Подаков А. С., Ференц Н. К., Транзисторні стабілізатори напруги, Держтехвидав УРСР, 1963.

G. S. VEKSLER, V.V. PILINSKY

### ABOUT THERMAL COMPENSATION OF THE TRANSISTOR REGULATOR VOLTAGE

Summary

The theory and calculation of the thermal compensation circuit of the transistor stabilizer are considered. The wire resistors were applied. Parameters of this circuit with the elements of the stabilizer were coordinated. The example of the calculation and results of the tests are given. The error of the method was calculated.