

АНАЛИЗ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ КОМПЕНСАЦИОННОГО СТАБИЛИЗАТОРА НАПРЯЖЕНИЯ

Зайцев Г.Ф., Булгач В.Л., Каргаполов Ю.В.

Государственный университет
информационно-коммуникационных технологий
03110, Киев, ул. Соломенская, 7

В данной второй статье (см.[6]) выполнен анализ математической модели компенсационного стабилизатора напряжения, определены коэффициенты передачи, связывающие напряжения рассогласования с возмущающими воздействиями - отклонениями входного напряжения $\Delta U_{ВХ}$ и сопротивлением нагрузки $\Delta R_{Н}$. Определены напряжения рассогласования при ступенчатом, линейном и квадратичном законах изменения возмущающих воздействий.

1. Определение коэффициентов передачи стабилизатора, связывающих напряжения рассогласования с возмущающими воздействиями

Согласно математической модели стабилизатора рис.1 [6] составим

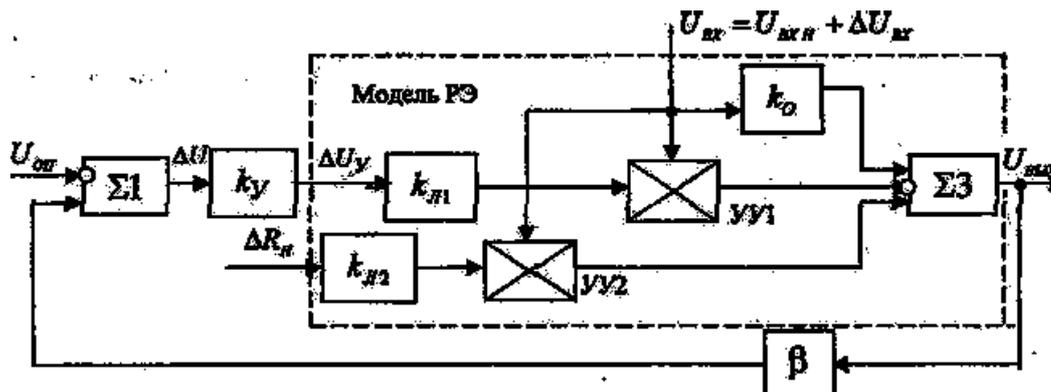


Рис. 1. Линеаризованная математическая модель (в отклонениях) компенсационного стабилизатора напряжения с принципом управления по отклонению

систему уравнений: $\Delta U = U_{OC} - U_{оп};$

$$\Delta U_y = k_y \Delta U;$$

$$U_{ВЫХ} = [k_0 - k_{Л1} \Delta U_y + k_{Л2} \Delta R_H] U_{ВХ};$$

$$U_{OC} = \beta U_{ВЫХ}.$$

Исключая промежуточные переменные, получаем

$$\Delta U = \beta U_{ВЫХ} - U_{оп} = \beta [k_0 - k_{Л1} \Delta U_y + k_{Л2} \Delta R_H] U_{ВХ} - U_{оп};$$

$$\Delta U = \beta k_0 U_{ВХ} - \beta k_{Л1} k_y \Delta U U_{ВХ} + \beta k_{Л2} \Delta R_H U_{ВХ} - U_{оп};$$

$$[1 + \beta k_{Л1} k_y U_{ВХ}] \Delta U = \beta k_0 U_{ВХ} + \beta k_{Л2} \Delta R_H U_{ВХ} - U_{оп};$$

откуда

$$\Delta U = \frac{\beta k_o U_{BX}}{1 + \beta k_{Л1} k_y U_{BX}} + \frac{\beta k_{Л2} \Delta R_H U_{BX}}{1 + \beta k_{Л1} k_y U_{BX}} - \frac{U_{оп}}{1 + \beta k_{Л1} k_y U_{BX}} \quad (1)$$

Принимая во внимание, что

$$U_{оп} = \beta U_{ВЫХН}; \quad U_{ВЫХН} = k_o U_{ВХН}, \quad U_{ВХ} = U_{ВХН} + \Delta U_{ВХ},$$

получим

$$\Delta U = \frac{\beta k_o U_{ВХН}}{1 + \beta k_{Л1} k_y U_{ВХ}} + \frac{\beta k_o \Delta U_{ВХ}}{1 + \beta k_{Л1} k_y U_{ВХ}} + \frac{\beta k_{Л2} \Delta R_H U_{ВХ}}{1 + \beta k_{Л1} k_y U_{ВХ}} - \frac{\beta k_o U_{ВХН}}{1 + \beta k_{Л1} k_y U_{ВХ}}$$

или

$$\Delta U = \frac{\beta k_o \Delta U_{ВХ}}{1 + \beta k_{Л1} k_y U_{ВХ}} + \frac{\beta k_{Л2} U_{ВХ} \Delta R_H}{1 + \beta k_{Л1} k_y U_{ВХ}} = \Delta U_U + \Delta U_R,$$

где

$$\Delta U_U = \frac{\beta k_o}{1 + \beta k_{Л1} k_y U_{ВХ}} \Delta U_{ВХ} \quad (2)$$

- составляющая напряжения рассогласования, вызываемая отклонением $\Delta U_{ВХ}$ входного напряжения;

$$\Delta U_R = \frac{\beta k_{Л2} U_{ВХ}}{1 + \beta k_{Л1} k_y U_{ВХ}} \Delta R_H \quad (3)$$

ΔR_H

- составляющая напряжение рассогласования, вызываемая отклонением сопротивления нагрузки от номинального значения.

Согласно (2) коэффициент передачи, связывающий составляющую напряжения рассогласования ΔU_U с отклонением $\Delta U_{ВХ}$ входного напряжения от номинального значения, имеет вид

$$K_{\Delta U, U} = \frac{\Delta U_U}{\Delta U_{ВХ}} = \frac{\beta k_o}{1 + \beta k_{Л1} k_y U_{ВХ}}, \quad (4)$$

а в соответствии с (3) коэффициент передачи, связывающий составляющую отклонения ΔU_R выходного напряжения с отклонением сопротивления нагрузки ΔR_H от номинального значения, равен

$$K_{\Delta U, R} = \frac{\Delta U_R}{\Delta R_H} = \frac{\beta k_{Л2} U_{ВХ}}{1 + \beta k_{Л1} k_y U_{ВХ}}. \quad (5)$$

Из выражений (4) и (5) видно, что в коэффициенты передачи $K_{\Delta U, U}$ и $K_{\Delta U, R}$ входит изменяющееся во времени входное напряжение, т.е. стабилизатор является нестационарной системой, анализ которой представляет сложную задачу. Для практических расчетов можно в выражении (4) и (5) подставить вместо $U_{ВХ}$ его

номинальное значение $U_{ВХН} = const.$

$$K_{\Delta U, U} = \frac{\Delta U_U}{\Delta U_{ВХ}} = \frac{\beta k_o}{1 + \beta k_{Л1} k_y U_{ВХН}}; \quad (6)$$

$$K_{\Delta U, R} = \frac{\Delta U_R}{\Delta R_H} = \frac{\beta k_{Л2} U_{ВХН}}{1 + \beta k_{Л1} k_y U_{ВХН}}. \quad (7)$$

Такое допущение возможно, т.к. $U_{ВХ}$ изменяется около $U_{ВХН}$ в незначительных пределах.

Согласно выражениям (6) и (7) стабилизатор является статической системой автоматического управления как по отношению к ΔU_{BX} , так и по отношению к ΔR_H [4, 5].

2. Расчет напряжений рассогласования стабилизатора с принципом управления по отклонению

2.1. Расчет напряжений рассогласования, вызываемых ΔU_{BX} .

Определим напряжения рассогласования (ошибки) стабилизатора при различных законах изменения возмущающего воздействия ΔU_{BX} - отклонения входного напряжения.

При ступенчатом изменении отклонения входного напряжения $\Delta U_{BX} = \Delta U_{BX0}$ напряжение рассогласования согласно [6] равно

$$\Delta U_U = \frac{\beta k_0}{1 + \beta k_{Л1} k_y U_{BXH}} \Delta U_{BX0}, \quad (8)$$

т.е. при ступенчатом изменении ΔU_{BX} возникает постоянная ошибка, пропорциональная ΔU_{BX0} .

Например, если

$$k_0 = 0,7; \quad \beta = 0,5; \quad k_{Л1} = 0,6 \text{ 1/B}; \quad U_{BXH} = 13 \text{ B}; \quad k_y = 5; \quad \Delta U_{BX} = 2 \text{ B, то}$$

$$\Delta U_U = \frac{0,7 \cdot 0,5 \cdot 2}{1 + 0,5 \cdot 0,6 \cdot 5 \cdot 13} = 0,028 \text{ B.}$$

Отклонение $\Delta U_{ВЫХ}$ выходного напряжения $U_{ВЫХ}$ от своего номинального значения U_{BXH} равно

$$\Delta U_{ВЫХ} = \frac{\Delta U_U}{\beta} = \frac{0,028}{0,5} = 0,056 \text{ B.}$$

При линейном изменении отклонения входного напряжения $\Delta U_{BXH} = \alpha_1 t$, напряжение рассогласования

$$\Delta U_U = \frac{\beta k_0}{1 + \beta k_{Л1} k_y U_{BXH}} \alpha_1 t \rightarrow \infty, \quad (9)$$

т.е. при линейном изменении отклонения входного напряжения напряжение рассогласования стремится к бесконечности.

Если отклонение входного напряжения изменяется по закону квадратичной функции $\Delta U_{BXH} = \alpha_2 t^2$, то

$$\Delta U_U = \frac{\beta k_0}{1 + \beta k_{Л1} k_y U_{BXH}} \alpha_2 t^2 \rightarrow \infty, \quad (10)$$

т.е. при изменении отклонений входного напряжения с постоянным ускорением напряжения рассогласования также стремятся к бесконечности.

2.2. Расчет напряжений рассогласования стабилизатора, вызываемых ΔR_H .

При ступенчатом изменении $\Delta R_H = \Delta R_{H0}$ напряжение рассогласования согласно (7) равно

$$\Delta U_R = \frac{\beta k_{Л2} U_{ВХН}}{1 + \beta k_{Л1} k_y U_{ВХН}} \Delta R_{H0}, \quad (11)$$

т.е. при ступенчатом изменении ΔR_H возникает постоянное напряжение рассогласования, пропорциональное ΔR_{H0} .

Если

$k_0 = 0,7; \beta = 0,5; k_{Л1} = 0,6 \text{ 1/B}; U_{ВХН} = 13 \text{ В}; k_{Л2} = 0,4; k_y = 5; \Delta R_{H0} = 2,0 \text{ Ом}$, то

$$\Delta U_R = \frac{0,5 \cdot 0,4 \cdot 13 \cdot 2}{1 + 0,5 \cdot 0,6 \cdot 5 \cdot 13} = 0,176 \text{ В}, \quad \Delta U_{ВЫХ} = \frac{\Delta U_R}{\beta} = \frac{0,176}{0,5} = 0,352 \text{ В}.$$

При линейном изменении отклонения сопротивления нагрузки $\Delta R_H = \alpha_2 t$ напряжение рассогласования возрастает во времени также по линейному закону:

$$\Delta U_R = \frac{\beta k_{Л2} U_{ВХН}}{1 + \beta k_{Л1} k_y U_{ВХН}} \alpha_1 t \rightarrow \infty. \quad (12)$$

При изменении ΔR_H по квадратичному закону $\Delta R_H = \alpha_2 t^2$ напряжение рассогласования увеличивается во времени также по квадратичному закону, стремясь к бесконечности

$$\Delta U_R = \frac{\beta k_{Л2} U_{ВХН}}{1 + \beta k_{Л1} k_y U_{ВХН}} \alpha_2 t^2. \quad (13)$$

Выводы

В результате анализа математической модели получены коэффициенты передачи, связывающие напряжение рассогласования с возмущающими (дестабилизирующими) воздействиями.

Показано что существующий стабилизатор напряжения является статической системой автоматического управления со свойственной статической системе динамическими ошибками: при ступенчатых изменениях отклонений входного напряжения и сопротивления нагрузки возникают постоянные по величине напряжения рассогласования, пропорциональные этим отклонениям; при изменении $\Delta U_{ВХ}$ и ΔR_H по линейному или квадратичному законам напряжения рассогласования растут во времени также по линейному и квадратичному законам, стремясь к бесконечности. Наличие указанных напряжений рассогласования традиционного компенсационного стабилизатора напряжения является его существенным недостатком.

Литература

1. Электропитание устройств связи: Учебник/Пол ред. В.Е.Китаева.-М. :Радио и связь, 1988.-280с.
2. Электропитание устройств связи: Учебное пособие / Под ред. Ю.Д. Коздяева. - М.Радио и связь, 1998.-328с.
3. Побудова сучасних джерел вторинного електроживлення апаратури зв'язку: Навчальний поабник / В.К.Стеклов, П.В.Афанасьев, В.Л.Булгач, Р.В.Уваров К.,КУ1КТ, 2000,- с.
4. Зайцев Г.Ф. Синтез влдящих систем высокой точности .-К.: Техника, 1971.204с.
5. Радиоавтоматика. Т.1./ Г.Ф.Зайцев, Г.Н.Арсеньев, В.Г. Кривуца, В.Л. Булгач. –

ООО «Д.В.К.». 2004.-504с.

6. Зайцев Г.Ф., Булгач В.Л., Каргаполов Ю.В. Математическая модель компенсационного стабилизатора напряжения. /Вісник Державного університету Інформаційно-комунікаційних технологій -2008. -