

УДК.621.316.722.1

Зайцев Г. Ф., д.т.н.; Лысенко Д. А.; Булгач Т. В.; Градобоева Н. В., к.т.н.
(Государственный университет информационно-коммуникационных технологий)

КОМБИНИРОВАННЫЙ АНАЛОГОВЫЙ СТАБИЛИЗАТОР НАПРЯЖЕНИЯ С АСТАТИЗМОМ ВТОРОГО ПОРЯДКА. ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ, ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ СХЕМЫ СТАБИЛИЗАТОРА

Зайцев Г. Ф., Лысенко Д. А., Булгач Т. В., Градобоева Н. В. Комбінований аналоговий стабілізатор напруги з астатизмом другого порядку. Функціональна, принципова схеми стабілізатора. Для підвищення динамічної точності стабілізатора, зокрема, для усунення напруг неузгодженості при лінійній зміні збурюючих впливів та обмеженні їх значень при квадратичному законі зміни необхідно збільшити порядок астатизму стабілізатора. Для підвищення порядку астатизма з першого до другого пропонується введення розімкненого зв'язку по збурюючому впливу – відхиленню вхідної напруги від номінального значення, тобто побудова комбінованого стабілізатора.

Ключові слова: СТАБІЛІЗАТОР НАПРУГИ, АСТАТИЗМ, ПЕРЕДАТНЯ ФУНКЦІЯ, ДИНАМІЧНА ТОЧНІСТЬ, ЗБУРЮЮЧИЙ ВПЛИВ

Зайцев Г. Ф., Лысенко Д. А., Булгач Т. В., Градобоева Н. В. Комбинированный аналоговый стабилизатор напряжения с астатизмом второго порядка. Функциональная, принципиальная схемы стабилизатора. Для повышения динамической точности стабилизатора, в частности, для устранения напряжений рассогласования при линейном изменении возмущающих воздействий и ограничении их значений при квадратичном законе изменения необходимо повысить порядок астатизма стабилизатора. Для повышения порядка астатизма с первого до второго предлагается введение разомкнутой связи по возмущающему воздействию – отклонению входного напряжения от номинального значения, т.е. построение комбинированного стабилизатора.

Ключевые слова: СТАБИЛИЗАТОР НАПРЯЖЕНИЯ, АСТАТИЗМ, ПЕРЕДАТОЧНАЯ ФУНКЦИЯ, ДИНАМИЧЕСКАЯ ТОЧНОСТЬ, ВОЗМУЩАЮЩЕЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ.

Zaitsev G. F., Lysenko D. O., Bulgach T. V., Gradoboyeva N. V. Combining analogue voltage stabilizer with with an astatism of the second order. The functional and principal schemes of stabilizer. To improve the dynamic accuracy of the stabilizers, in particular, to eliminate the stressmismatch of the linear change of disturbances and limitation of their values with a quadratic law changes necessary to increase the order astatism stabilizer. To increase astatism order from first to second proposed introduction of an open connection to the perturbing influence of – the input voltage deviation from the nominal value is construction of a combined stabilizer.

Key words: VOLTAGE STABILIZER, ASTATISM, TRANSFER FUNCTIONS, DYNAMIC ACCURACY, DISTURBANCES

Как отмечалось в работе [1], повышения динамической точности стабилизатора можно добиться, если традиционный статический стабилизатор напряжения (порядок астатизма $\nu = 0$) [2, 3] преобразить в астатический с астатизмом первого порядка ($\nu = 1$). Такое преобразование, как показано [1], возможно в результате включения в замкнутый контур стабилизатора интегрирующего элемента. Благодаря повышению порядка астатизма с нулевого до первого, устраняются напряжения рассогласования при изменении по ступенчатым законам возмущающих воздействий – отклонений входного напряжения и сопротивления нагрузки, а возрастающие напряжения рассогласования при линейном законе изменения возмущающих воздействий ограничиваются конечными значениями. При изменении возмущающих воздействий по квадратичному закону напряжения рассогласования растут во времени, стремясь к бесконечности. Возникновение указанных напряжений рассогласования является недостатком стабилизатора с астатизмом первого порядка и во многих случаях не удовлетворяет требованиям, предъявляемым к системам стабилизации напряжения.

Для повышения динамической точности стабилизатора, в частности, для устранения напряжений рассогласования при линейном изменении возмущающих воздействий и ограничении их значений при квадратичном законе изменения возмущающих воздействий необходимо повысить порядок астатизма стабилизатора с первого до второго. Такое повышение возможно при включении в стабилизатор второго интегрирующего элемента. Однако при этом запаздывание колебаний, вносимое только интегрирующими элементами, равно 180° , т.е., стабилизатор при этом становится неустойчивым и для его стабилизации требуются сложные корректирующие устройства. Повышение порядка астатизма в стабилизаторе с первого до второго предлагается введением разомкнутых связей по возмущающим воздействиям, т.е., путем построения комбинированного стабилизатора. Поскольку основным из возмущающих воздействий, как правило, является изменение входного напряжения, то с целью упрощения схемы стабилизатора во многих случаях достаточно ограничиться только введением связи по отклонению входного напряжения.

В данной статье рассматривается функциональная и возможный вариант принципиальной схемы комбинированного аналогового стабилизатора напряжения с астатизмом второго порядка.

Функциональная схема комбинированного аналогового стабилизатора напряжения с астатизмом второго порядка. Замкнутый контур стабилизатора напряжения с астатизмом второго порядка (рис. 1), как и стабилизатор с принципом управления по отклонению, имеющий астатизм первого порядка [1], состоит из регулирующего элемента РЭ, включенного последовательно с нагрузкой Н, измерительного элемента ИЭ1, источника опорного напряжения ИОН, элемента сравнения ЭС1, усилителя У1, интегрирующего элемента И, сумматора С1. Разомкнутая связь по возмущающему воздействию - отклонению входного напряжения $\Delta U_{ВХ}$ от номинального значения $U_{ВХ,Н}$ состоит из измерительного элемента ИЭ2, источника опорного напряжения ИОН, входящего также в замкнутый контур стабилизатора, элемента сравнения ЭС2, дифференциатора Д, усилителя У2 и сумматора С2.

Элементы, входящие в замкнутый контур стабилизатора, выполняют те же функции, что и в стабилизаторе с принципом управления по отклонению [1].

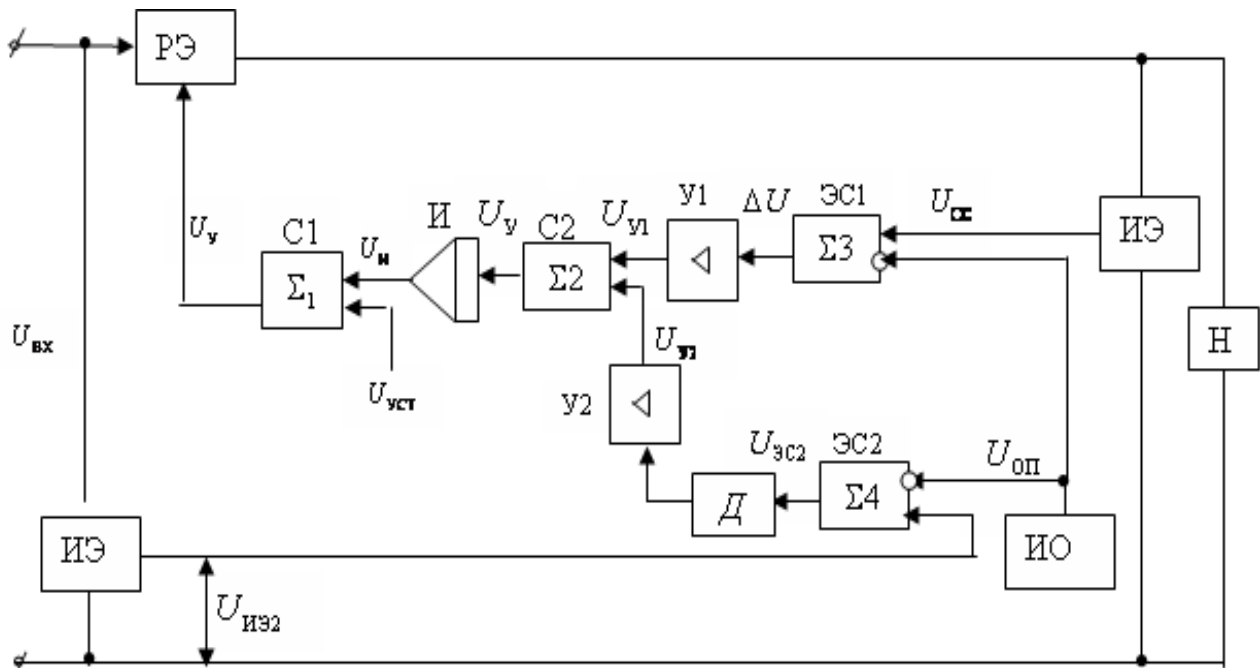


Рис. 1. Функциональная схема комбинированного аналогового стабилизатора напряжения с астатизмом второго порядка

С помощью измерительного элемента ИЭ2 измеряется входное напряжение U_{BX} :

$$U_{ИЭ2} = \beta_1 U_{BX} \quad (1)$$

Подставив в формулу (1) значение $U_{BX} = U_{BX.H} \pm \Delta U_{BX}$, где $U_{BX.H}$ – номинальное значение входного напряжения, ΔU_{BX} – отклонение входного напряжения от номинального значения, получим:

$$U_{ИЭ2} = \beta_1 (U_{BX.H} \pm \Delta U_{BX}) = U_{BX.H.II} \pm \Delta U_{BX.H}, \quad (2)$$

где $U_{BX.H.II} = \beta_1 U_{BX.H}$ – номинальное значение измерительного напряжения,

$\Delta U_{BX.H} = \beta_1 \Delta U_{BX}$ – измеренное напряжение, пропорциональное отклонению входного напряжения ΔU_{BX} от номинального значения $U_{BX.H}$.

Измеренное напряжение $U_{ИЭ2}$ с выхода ИЭ2 поступает на элемент сравнения ЭС2, на инвертирующий вход которого поступает опорное напряжение $U_{ОП}$. На выходе ЭС2 возникает разностное напряжение

$$U_{ЭС2} = U_{ИЭ2} - U_{ОП} \quad (3)$$

Путем выбора коэффициента β_1 ИЭ2, равного $\beta_1 = U_{ОП} / U_{BX.H}$, обеспечивается равенство номинальной составляющей измеренного входного напряжения и опорного напряжений:

$$U_{BX.H.II} = \beta_1 U_{BX.H} = U_{ОП} \quad (4)$$

Подставив в (3) значение $U_{ИЭ2}$ из (2) и учитывая (4) получим:

$$U_{ЭС2} = U_{BX.H.II} \pm \Delta U_{BX.H} - U_{ОП} = \Delta U_{BX.H} \quad (5)$$

Таким образом, на выходе элемента сравнения ЭС2 возникает напряжение $U_{BX.H}$ пропорциональное ΔU_{BX} :

$$\Delta U_{BX.H} = \beta_1 \Delta U_{BX}.$$

Напряжение $U_{ЭС2}$ подается на дифференцирующее устройство D .

Для повышения порядка астатизма системы автоматического управления (в данном случае стабилизатора напряжения с астатизмом первого порядка) необходимо [4] с помощью связи по возмущающему воздействию подать в систему напряжение, пропорциональное первой производной этого воздействия

$$U_D = \tau \frac{dU_{ЭС2}}{dt} = \beta_1 \tau \frac{d\Delta U_{BX}}{dt} \quad (6)$$

Напряжение U_D с выхода дифференцирующего устройства D через усилитель $У2$ с коэффициентом усиления $k_{У2}$ в виде напряжения $U_{У2}$ поступает на сумматор $С2$, где складывается с напряжением $U_{У1}$ (усиленным напряжением рассогласования ΔU замкнутой части стабилизатора).

Стабилизатор работает следующим образом. При ступенчатом изменении входного напряжения $U_{BX} = U_{BX.O} = const$ первая производная в установившемся режиме $U_D = \beta_1 \tau \frac{d\Delta U_{BX.O}}{dt} = 0$, т. е., напряжение на выходе дифференциатора D равно нулю. В этом случае, как показано в [2, 3], сам замкнутый контур стабилизатора устраняет напряжение рассогласования.

При изменении ΔU_{BX} по линейному закону

$$\Delta U_{BX} = \alpha t \quad (7)$$

в замкнутом контуре стабилизатора возникает постоянное напряжение рассогласования, которое через усилитель $У1$ в виде напряжения $U_{У1}$ поступает на сумматор $С2$. При линейном изменении ΔU_{BX} (7) на выходе дифференциатора D возникает постоянное напряжение, пропорциональное скорости α изменения ΔU_{BX} :

$$U_{\Delta} = \beta_1 \tau \frac{d(\alpha t)}{dt} = \beta_1 \tau \alpha. \quad (8)$$

Напряжение U_{Δ} усиливается и в виде напряжения U_{Y2} подается на сумматор С2, где складывается с напряжением U_{Y1} замкнутой части стабилизатора.

Напряжение на выходе сумматора С2 равно:

$$U_Y = U_{Y1} + U_{Y2}, \quad (9)$$

т.е. напряжение U_{Y1} на входе интегратора И в комбинированном стабилизаторе формируется из напряжения рассогласования ΔU (напряжения U_{Y1}) замкнутой части стабилизатора, так и первой производной отклонения ΔU_{BX} входного напряжения (напряжения U_{Y2}) разомкнутой связи по входному напряжению. Благодаря этому напряжение рассогласования ΔU уменьшается. Увеличивая напряжение U_{Y2} за счет повышения коэффициента усиления k_{Y2} усилителя У2 можно добиться полного устранения напряжения рассогласования при изменении ΔU_{BX} по линейному закону.

Таким образом, в отличие от стабилизатора с астатизмом первого порядка [1], в котором при изменении ΔU_{BX} по линейному закону возникает напряжение рассогласования ΔU , пропорциональное скорости α_1 изменения ΔU_{BX} в рассматриваемом комбинированном стабилизаторе напряжение рассогласования равно нулю, что свойственно системам с астатизмом второго порядка [4].

2. Принципиальная схема комбинированного аналогового стабилизатора напряжения с астатизмом второго порядка. Вариант принципиальной схемы стабилизатора напряжения, соответствующий ее функциональной схеме (рис. 1), изображен на рис. 2.

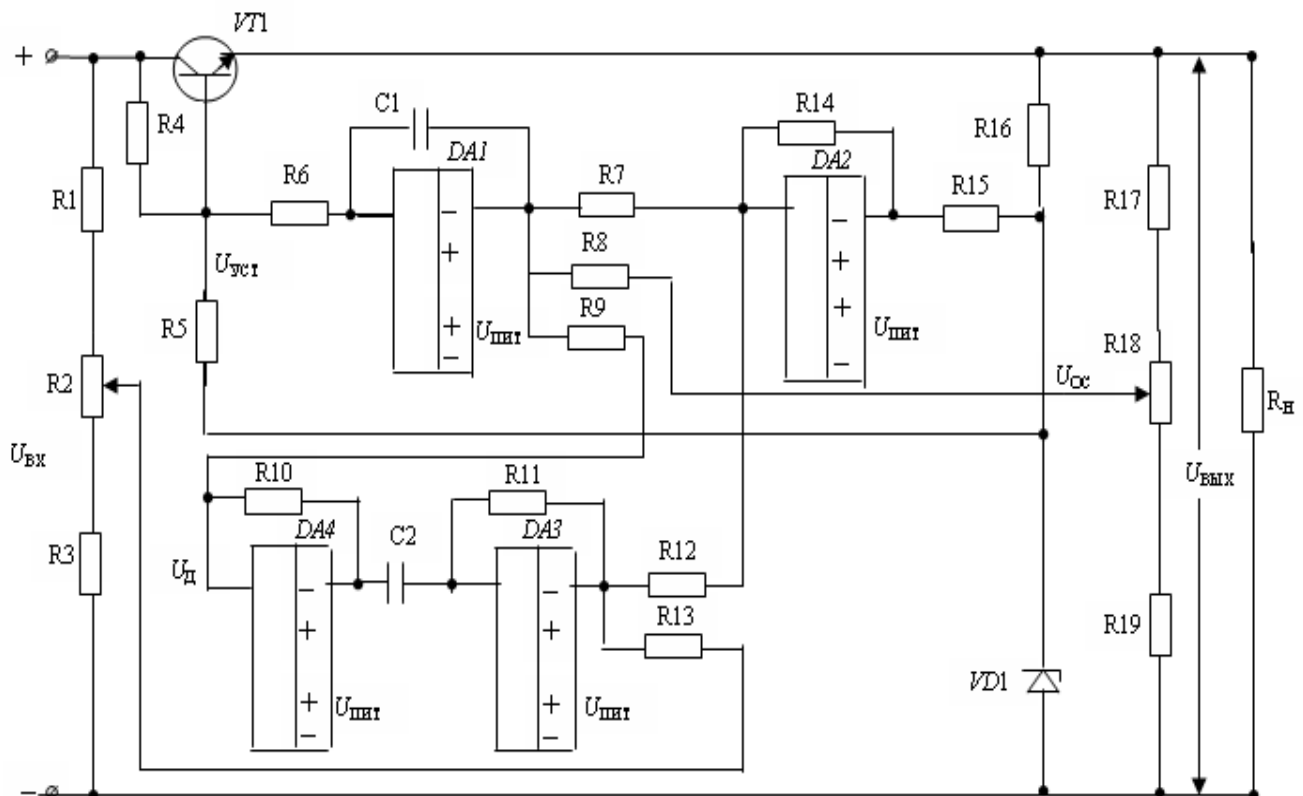


Рис. 2. Принципиальная схема (вариант) комбинированного аналогового стабилизатора напряжения с астатизмом второго порядка

Регулирующим элементом РЭ является мощный транзистор $VT1$, включенный последовательно с нагрузкой R_H . Измерительным элементом ИЭ1 выходного напряжения является делитель напряжения, состоящий из резисторов $R17$, $R18$, $R19$. Напряжение обратной связи $U_{ЭС}$ снимается с резистора $R19$ и части резистора $R18$. Источником опорного напряжения ИОН служит параметрический стабилизатор напряжения, собранный на стабилитроне $VD1$ и резисторе $R16$. Опорное напряжение $U_{ОП}$ снимается со стабилитрона $VD1$ и подается на инвертирующий вход операционного усилителя $DA2$, обеспечивающего инвертирование напряжения. Напряжение обратной связи $U_{ОС}$ положительной полярности и опорное напряжение $U_{ОП}$ отрицательной полярности подаются через резисторы $R8$ и $R7$ на инвертирующий вход суммирующего интегратора, собранного на операционном усилителе $DA1$, в обратную связь которого включен конденсатор $C1$. Операционный усилитель $DA1$ выполняет функции элемента сравнения ЭС1, усилителя $У1$ и интегратора И. Выходное напряжение $U_{И}$ суммирующего интегратора $DA1$ и напряжение уставки $U_{УСТ}$, в качестве которого используется снимаемое с со стабилитрона $VD1$ опорное напряжение $U_{ОП}$, суммируются с помощью схемы, состоящей из резисторов $R4$, $R5$ и $R6$. Суммарное напряжение $U_{У} = U_{И} + U_{УСТ}$ прикладывается к базе регулирующего транзистора $VT1$.

Измерительный элемент ИЭ2 разомкнутой связи по отклонению $\Delta U_{ВХ}$ входного напряжения собран на делителе напряжения, состоящем из резисторов $R1$, $R2$ и $R3$. Напряжение $U_{ИЭ2}$, пропорциональное $U_{ВХ}$, снимается с резистора $R3$ и части резистора $R2$ и через резистор $R13$ подается на вход суммирующего операционного усилителя $DA3$, куда также через резистор $R12$ подается отрицательное опорное напряжение $U_{ОП}$ с выхода операционного усилителя $DA2$. Таким образом операционный усилитель $DA3$ выполняет функцию элемента сравнения ЭС2. Напряжение $U_{ЭС2}$ с выхода $DA3$ поступает на дифференцирующий операционный усилитель, состоящий из конденсатора $C2$ и операционного усилителя $DA4$ и выполняющий функции дифференцирующего устройства $Д$. Напряжение $U_{Д}$ с выхода $DA4$ через резистор $R9$ поступает на инвертирующий вход суммирующего операционного интегратора $DA1$.

Литература

1. Зайцев Г. Ф. Астатический компенсационный стабилизатор напряжения непрерывного действия / Г. Ф. Зайцев, Т. В. Булгач, Н. В. Градобоева // Вісник Державного університету інформаційно-комунікаційних технологій. – 2010. – Том 8, №4. – С. 318-324.
2. Зайцев Г. Ф. Математическая модель компенсационного стабилизатора напряжения с принципом управления по отклонению / Г. Ф. Зайцев, В. Л. Булгач, Ю. В. Каргаполов // Вісник Державного університету інформаційно-комунікаційних технологій. – 2009. – Т. 7, №2. – С.136-144.
3. Зайцев Г. Ф. Анализ математической модели компенсационного стабилизатора напряжения / Г. Ф. Зайцев, В. Л. Булгач, Ю. В. Каргаполов // Вісник Державного університету інформаційно-комунікаційних технологій. – 2009. – Т. 7, №1. – С.50-54.
4. Зайцев Г. Ф. Синтез следящих систем высокой точности / Г. Ф. Зайцев. – К.: Техніка. 1971. – 204с.