УДК 621.314

А.И. Андреев, А.С. Семенов, В.В. Солодухин
Одесская национальная академия связи им. А.С Попова
кафедра информатизации и управления
E-mail: aia2003@ukr.net

СТРУКТУРНЫЙ СИНТЕЗ ИМПУЛЬСНЫХ СТАБИЛИЗАТОРОВ НАПРЯЖЕНИЯ С НЛЧ 1-ГО И 2-ГО ПОРЯДКОВ

Аннотация
Андреев А.И., Семенов А.С., Солодухин В.В. Структурный синтез импульсных стабилизаторов напряжения с НЛЧ 1-го и 2-го порядков*. Анализируются импульсные стабилизаторы напряжения с непрерывной линейной частью (НЛЧ) 1-го и 2-го порядков. Получены импульсные передаточные функции замкнутой и комбинированной систем. Внедрение комбинированного управления в импульсные стабилизаторы напряжения позволяет повысить порядок астатизма.*
Ключевые слова*: импульсный стабилизатор напряжения, непрерывная линейная часть, импульсная передаточная функция, замкнутая и комбинированная система, астатизм.*

Общая постановка проблемы.

Разработка эффективных схем стабилизаторов напряжения с импульсным управлением требует не только повышения энергетических характеристик, снижения массогабаритных показателей и генерируемых электромагнитных помех, но и улучшения качественных показателей, основным из которых является динамическая ошибка. Такой подход требует не только новых технологических решений в классе импульсных стабилизаторов напряжения с управлением по отклонению, но и внедрения относительно нового принципа комбинированного управления, в основу которого положена теория инвариантности [1]. В импульсных стабилизаторах напряжения с комбинированным управлением отсутствует противоречие между условием инвариантности и условием устойчивости. Применение управления по возмущающему воздействию в комбинированных системах позволяет резко уменьшить динамические ошибки, а при некоторых условиях они могут быть полностью компенсированы.

Постановка задачи и исследования.

Исследования статических и динамических характеристик импульсных стабилизаторов напряжения (ИСН) ведутся по двум направлениям [2]:

- стабилизатор рассматривается в виде непрерывной системы [3-5];
- импульсный стабилизатор напряжения представлен как дискретная (импульсная) система [6].

Переход к непрерывной модели импульсного стабилизатора, в целом, основывается, во-первых, на представлении силовой части в виде непрерывного звена [3] и, во-вторых, на представлении схемы управления, включая широтно-импульсный модулятор [4] в виде непрерывных звеньев. Достоинством такого подхода является простота методов исследования, недостатком – невозможность предсказания свойств системы как импульсной.

Дискретные (импульсные) модели ИСН свободны от указанного недостатка, но требует более сложного математического аппарата. В качестве основных методов анализа дискретных систем применяются методы пространства состояний (во временной области), частотные (с билинейным преобразованием), алгебраические (z-преобразование) и их различные сочетания.

В данной работе решается задача уменьшения динамических ошибок ИСН в классе дискретных систем на основе теории инвариантности, в частности, повышения порядка астатизма.

Решение задачи и результаты исследования.

Рассмотрим структурную схему ИСН с управлением по отклонению, где *α(t)* – задающее воздействие; *L(t)* – возмущающее воздействие; *β(t)* – управляемая величина; *θ(t)* – отклонение управляемой величины от требуемого значения; $K_у(p)$, $K_м(p)$, $K_{фэ}(p)$, $K_{нч}(p)$, $K_L(p)$, $K_д(p)$ – передаточные функции усилителя рассогласования, широтно-импульсного модулятора, формирующего элемента, непрерывной линейной части (сглаживающего фильтра), канала возмущения, делителя напряжения соответственно; *РЭ* – регулирующий элемент; ∑*1* – элемент сравнения, ∑*2* – сумматор.

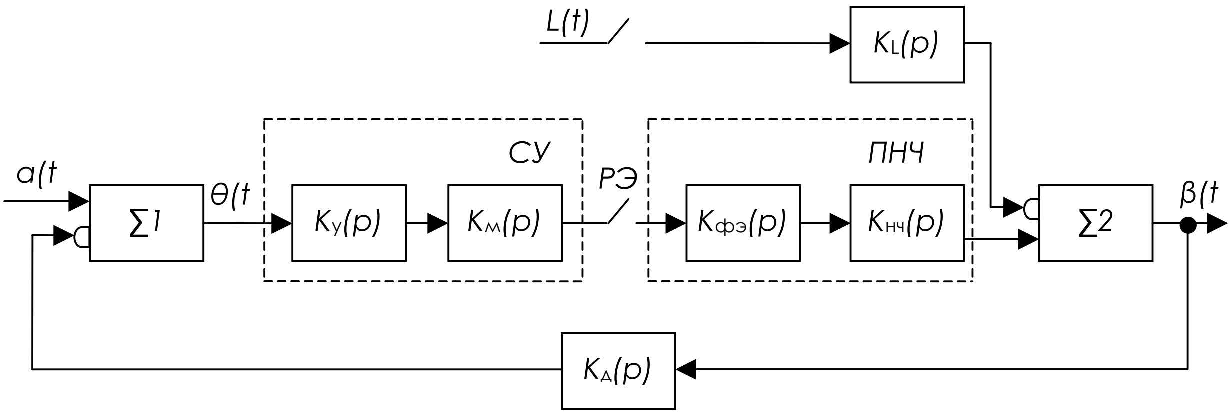

Рисунок 1 – Структурная схема ИСН с управлением по отклонению

Таким образом, силовая часть ИСН представляет собой импульсную систему, состоящую из последовательного соединения идеального регулирующего элемента РЭ, формирующего элемента ФЭ и непрерывной линейной части (НЛЧ) 1-го (RC сглаживающий фильтр) или 2-го (LC сглаживающий фильтр) порядков. Формирующий элемент и непрерывная линейная часть образуют приведенную непрерывную часть (ПНЧ).

$$K_{пнч}(p) = K_{Фэ}(p) \cdot K_{нч}(p).$$

Наиболее простым, наглядным и распространенным методом анализа импульсных систем является z-преобразование[7].

Тогда импульсная передаточная функция ПНЧ с НЛЧ 1-го порядка принимает вид

$$K_{пнч}(z,\varepsilon) = Z_\varepsilon\{K_{пнч}(p)\} = Z_\varepsilon\{K_{фэ}(p)K_{нч}(p)\} = Z_\varepsilon\left\{\frac{k_и\left(1-e^{-\gamma T_0 p}\right)}{p} \times \frac{k_ф}{\mathrm{T}_ф p+1}\right\} =$$

$$= K_{пнч1}(z,\varepsilon) - K_{пнч1\gamma}(z,\varepsilon),$$

где $K_{фэ}(p) = \dfrac{k_и\left(1-e^{-\gamma T_0 p}\right)}{p}$; $K_{нч}(p) = \dfrac{k_ф}{\mathrm{T}_ф p+1}$; T_0 – период повторения импульсов управления; $T_ф$ – постоянная времени фильтра; γ – относительная длительность; $k_и$, $k_ф$ – коэффициенты передачи формирующего элемента, фильтра соответственно; $p \equiv \dfrac{d}{dt}$;

$$K_{пнч1}(z,\varepsilon) = Z_\varepsilon\left\{\frac{k_и k_\phi}{p(T_\phi p+1)}\right\};\ K_{пнч1\gamma}(z,\varepsilon) = Z_\varepsilon\left\{\frac{k_и k_ф}{p(T_ф p+1)}e^{-\gamma T_0 p}\right\}.$$

Импульсную передаточную функцию $K_{пнч1\gamma}(z,\varepsilon)$ можно выразить через импульсную передаточную функцию $K_{пнч1}(z,\varepsilon)$, применив теорему смещения из теории z-преобразования [7]. В результате получим

$$K_{\text{пнч}1\gamma}(z,\varepsilon)=\begin{cases} z^{-1}K_{\text{пнч}}(z,1+\varepsilon-\gamma), \text{если } 0\le\varepsilon\prec\gamma;\\ K_{\text{пнч}}(z,\varepsilon-\gamma), \text{если } \gamma\le\varepsilon\prec 1.\end{cases}$$

Тогда

$$K_{\text{пнч}1}(z,\varepsilon)=k_{\text{и}}k_{\text{ф}}\left(\frac{z}{z-1}-\frac{zd^{\varepsilon}}{z-d}\right),\ \text{где } d=e^{-\frac{T_0}{T_{\text{ф}}}};$$

$$K_{\text{пнч}1\gamma}(z,\varepsilon)=k_{\text{и}}k_{\text{ф}}\left(\frac{1}{z-1}-\frac{d^{1+\varepsilon-\gamma}}{z-d}\right),\ \text{если } 0\le\varepsilon<\gamma.$$

$$K_{\text{пнч}1\gamma}(z,\varepsilon)=k_{\text{и}}k_{\text{ф}}\left(\frac{z}{z-1}-\frac{zd^{\varepsilon-\gamma}}{z-d}\right),\ \text{если } \gamma\le\varepsilon<1.$$

Вследствие невысокого порядка рассматриваемой системы вычисления не представляют принципиальных трудностей, но отличаются значительной громоздкостью. В связи с этим получим выражения для ε = 0.

$$K_{\text{пнч}1}(z)=k_{\text{и}}k_{\text{ф}}\left(\frac{z}{z-1}-\frac{z}{z-d}\right)=k_{\text{и}}k_{\text{ф}}\frac{(1-d)z}{(z-1)(z-d)};$$

$$K_{\text{пнч}1\gamma}(z)=k_{\text{и}}k_{\text{ф}}\left(\frac{1}{z-1}-\frac{d^{1-\gamma}}{z-d}\right),\ \text{если } 0\le\varepsilon<\gamma.$$

Тогда

$$K_{\text{пнч}}(z)=K_{\text{пнч}1}(z)-K_{\text{пнч}1\gamma}(z)=\frac{c_1z^{-1}}{1-d_1z^{-1}},$$

$$\text{где } c_1=k_{\text{и}}k_{\text{ф}}d\left(d^{-\gamma}-1\right);$$

$$d_1=d.$$

Импульсная передаточная функция ПНЧ с НЛЧ 2-го порядка

$$K_{\text{пнч}}(z,\varepsilon)=Z_{\varepsilon}\left\{\frac{k_{\text{и}}\left(1-e^{-\gamma T_0 p}\right)}{p}\cdot\frac{k_{\text{ф}}}{\text{T}_{\text{ф}}^2p^2+2\xi T_{\text{ф}}p+1}\right\}=Z_{\varepsilon}\left\{\frac{k_{\text{и}}\left(1-e^{-\gamma T_0 p}\right)}{p}\times\right.$$

$$\left.\times\frac{k_1}{\left[(p+\alpha)^2+\beta^2\right]}\right\}=K_{\text{пнч}1}(z,\varepsilon)-K_{\text{пнч}1\gamma}(z,\varepsilon),$$

где $\text{К}_{\text{нч}}(p)=\dfrac{k_{\Phi}}{\text{T}_{\Phi}^2p^2+2\xi T_{\Phi}p+1}=\dfrac{k_1}{\left[(p+\alpha)^2+\beta^2\right]}$, $k_{\text{и}}$, k_{Φ} – коэффициенты передачи соответствующих звеньев; $p\equiv\dfrac{d}{dt}$; $k_1=\dfrac{k_{\Phi}}{T_{\Phi}^2}$; $\alpha=\dfrac{\xi}{\text{T}_{\Phi}}$; $\beta=\sqrt{\dfrac{1-\xi^2}{T_{\Phi}^2}}$;

$$K_{\text{пнч}1}(z,\varepsilon)=Z_{\varepsilon}\left\{\frac{k_{\text{и}}k_1}{p\left[(p+\alpha)^2+\beta^2\right]}\right\};\quad \text{К}_{\text{пнч}1\gamma}(z,\varepsilon)=Z_{\varepsilon}\left\{\frac{k_{\text{и}}k_1}{p\left[(p+\alpha)^2+\beta^2\right]}e^{-\gamma T_0 p}\right\}.$$

Импульсную передаточную функцию *$K_{ПНЧ1\gamma}(z,\varepsilon)$* можно представить следующим образом

$$\text{К}_{\text{пнч}1\gamma}(z,\varepsilon)=\begin{cases} z^{-1}\text{К}_{\text{пнч}1}(z,1+\varepsilon-\gamma),\ \text{если } 0\le\varepsilon\prec\gamma;\\ \text{К}_{\text{пнч}1}(z,\varepsilon-\gamma),\ \text{если } \gamma\le\varepsilon\prec1.\end{cases}$$

Тогда

$$\text{К}_{\text{пнч}1}(z,\varepsilon)=\frac{k_{\text{и}}k_1}{\alpha^2+\beta^2}\left[\frac{z}{z-1}-zd^{\varepsilon}\frac{z\cdot\cos(\varepsilon\beta T_0)-d\cdot\cos[(1-\varepsilon)\beta T_0]}{z^2-2zd\cdot\cos\beta T_0+d^2}\right],$$

где $d = e^{-\frac{T_0}{T_ф}}$;

$$K_{пнч1\gamma}(z,\varepsilon) = \frac{k_и k_1}{\alpha^2+\beta^2} z^{-1}[\frac{z}{z-1} - zd^{1+\varepsilon-\gamma} \frac{z\cos[(1+\varepsilon-\gamma)\beta T_0] - d\cos\{[1-(1+\varepsilon-\gamma)]\beta T_0\}}{z^2-2zd\cos\beta T_0 + d^2}],$$ если $0 \le \varepsilon < \gamma$;

$$К_{пнч1\gamma}(z,\varepsilon) = \frac{k_и k_1}{\alpha^2+\beta^2}[\frac{z}{z-1} - zd^{\varepsilon-\gamma} \frac{z\cos[(\varepsilon-\gamma)\beta T_0 - d\cos[(1-\varepsilon-\gamma)\beta T_0]]}{z^2-2zd\cos\beta T_0 + d^2}],$$

если $\gamma \le \varepsilon < 1$.

Для ε = 0

$$К_{пнч1}(z) = \frac{k_и k_1}{\alpha^2+\beta^2}[\frac{z}{z-1} - z\frac{z-d\cos\beta T_0}{z^2-2zd\cos\beta T_0 + d^2}]$$

$$К_{пнч1\gamma}(z) = \frac{k_и k_1}{\alpha^2+\beta^2}[\frac{1}{z-1} - d^{1-\gamma} \frac{z\cos(1-\gamma)\beta T_0 - d\cos\gamma\beta T_0}{z^2-2zd\cos\beta T_0 + d^2}],$$ если $0 \le \varepsilon < \gamma$.

Тогда

$$К_{пнч}(z) = К_{пнч1}(z) - К_{пнч1\gamma}(z) = \frac{c_1 z^{-1} + c_2 z^{-2} + c_3 z^{-3}}{(1-z^{-1})(1+d_1 z^{-1} + d_2 z^{-2})},$$

где $c_1 = \frac{k_и k_1}{\alpha^2+\beta^2}\left(d^{1-\gamma} - d\cos\beta T_0\right)$;

$$c_2 = \frac{k_и k_1}{\alpha^2+\beta^2}\{d(d+\cos\beta T_0) - d^{1-\gamma}[d\cos\gamma\beta T_0 + \cos(1-\gamma)\beta T_0]\};$$

$$c_3 = \frac{k_и k_1}{\alpha^2+\beta^2} d(\cos\gamma\beta T_0 - d);\;\; d_1 = 2d\cos\beta T_0;\;\; d_2 = d^2.$$

Согласно математической модели ИСН с управлением по отклонению (рис. 1), используя z-преобразование, можно записать

$$\begin{cases} \theta(z) = \alpha(z) - K_д(z)\beta(z); \\ \beta(z) = K_у(z)K_м(z)K_{пнч}(z)\theta(z) - K_L(z)L(z) = K_{су}(z)K_{пнч}(z)\theta(z) - K_L(z)L(z), \end{cases}$$

где $K_{су}(z) = K_у(z)K_м(z) = k_{су}$; $K_д(z) = k_д$ [4,8].

Отсюда определим импульсную передаточную функцию по ошибке, вызываемой изменением возмущающего воздействия

$$K_{ош}(z) = \frac{\theta(z)}{L(z)} = \frac{k_д K_L(z)}{1 + k_д k_{су} K_{пнч}(z)},$$

где

$$K_{пнч}(z) = \frac{D_{пнч}(z)}{F_{пнч}(z)}.$$

В случае равенства $K_L(z)$ и $K_{пнч}(z)$, что обуславливается физической сущностью процессов, протекающих в ИСН, импульсная передаточная функция по ошибке принимает следующий вид

$$K_{ош}(z) = \frac{\theta(z)}{L(z)} = \frac{k_д D_{пнч}(z)}{F_{пнч}(z) + k_д k_{су} D_{пнч}(z)}.$$

Тогда для НЧЛ 1-го порядка

$$K_{ош}(z) = \frac{\theta(z)}{L(z)} = \left(1 - z^{-1}\right)^{\nu=0} \frac{k_д c_1 z^{-1}}{1 + (k_д k_{су} c_1 - d_1) z^{-1}},$$

и для НЛЧ 2-го порядка

$$K_{\text{ош}}(z) = \frac{\theta(z)}{L(z)} = (1-z^{-1})^{\nu=0}\,\frac{k_{\text{д}}(c_1 z^{-1} + c_2 z^{-2} + c_3 z^{-3})}{(1-z^{-1})(1+d_1 z^{-1} + d_2 z^{-2}) + k_{\text{д}} k_{\text{су}}(c_1 z^{-1} + c_2 z^{-2} + c_3 z^{-3})}.$$

Порядок астатизма импульсной системы определяется степенью ν оператора конечной разности $(1\text{-}z^{-1})$, являющегося общим множителем импульсной передаточной функции по ошибке. ИСН с управлением по отклонению является статическим с астатизмом нулевого порядка.

Определим динамическую ошибку ИСН с принципом управления по отклонению при различных законах изменения возмущающего воздействия: ступенчатом $L(t) = L_0 \cdot 1(t)$, линейном $L(t) = L_0 + L_1 t$ и квадратичном $L(t) = L_0 + L_1 t + L_2 t^2$.

Изображение ошибки замкнутого СЭУ определяется выражением

$$\theta(z) = \text{К}_{\text{ош}}(z) \cdot L(z)$$

Установившаяся динамическая ошибка СЭУ в соответствии с теоремой о конечном значении импульсной функции, описывается следующим образом

$$\theta(t) = \lim_{z\to 1}(1-z^{-1})\theta(z)$$

или

$$\theta(t) = \lim_{z\to 1}(1-z^{-1})\text{К}_{\text{ош}}(z)L(z)$$

При изменении возмущающего воздействия по закону ступенчатой функции $L(z) = Z\{L_0 \cdot 1(t)\} = \dfrac{L_0}{1-z^{-1}}$ динамическая ошибка равна постоянной величине; при воздействии, меняющемся по линейному закону $L(z) = Z\{L_0 + L_1 t\} = \dfrac{L_0}{(1-z^{-1})} + \dfrac{L_1 T_0}{(1-z^{-1})^2}$ ошибка растет до бесконечности; при воздействии, изменяющемуся по закону квадратичной функции $L(z) = Z\{L_0 + L_1 t + L_2 t^2\} = \dfrac{L_0}{(1-z^{-1})} + \dfrac{L_1 T_0}{(1-z^{-1})^2} + \dfrac{L_2(1+z^{-1})}{(1-z^{-1})^3}\cdot\dfrac{T_0^2}{2!}$ ошибка также растет до бесконечности.

Повышение порядка астатизма, т.е. уменьшение динамических ошибок, может быть достигнуто за счет внедрения комбинированного управления, которое характеризуется введением разомкнутой компенсационной связи по возмущающему воздействию [9]. На структурной схеме (рис. 2) импульсная передаточная функция компенсационной связи обозначена $K_{\text{к}}(z)$, ∑2 – сумматор.

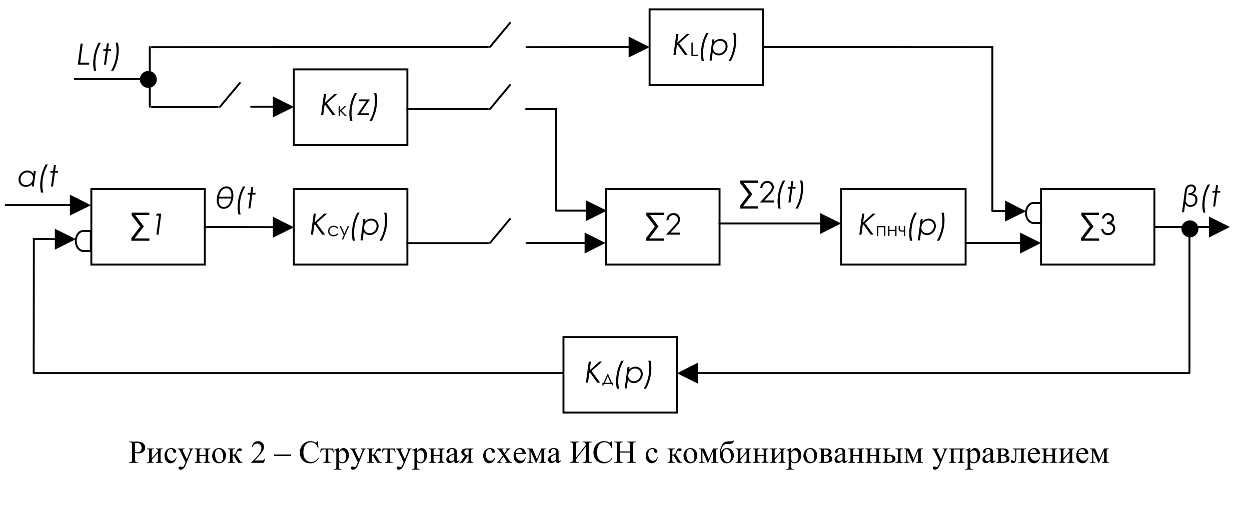

Рисунок 2 – Структурная схема ИСН с комбинированным управлением

В соответствии с рис. 2, используя z-преобразование, уравнения элементов имеют вид

$$\begin{cases} \theta(z) = \alpha(z) - K_{\text{д}}(z)\beta(z); \\ \Sigma 2(z) = K_{\text{су}}(z)\theta(z) + K_{\text{к}}(z)L(z); \\ \beta(z) = K_{\text{пнч}}(z)\Sigma 2(z) - K_{\text{L}}(z)L(z). \end{cases}$$

Исключив промежуточные переменные получим импульсную передаточную функцию ИСН с комбинированным управлением по ошибке

$$K_{\text{ошк}}(z) = \frac{\theta(z)}{L(z)} = \frac{K_{\text{д}}(z)[K_{\text{L}}(z) - K_{\text{к}}(z)K_{\text{пнч}}(z)]}{1 + K_{\text{д}}(z)K_{\text{су}}(z)K_{\text{пнч}}(z)}.$$

При $K_{\text{L}}(z) = K_{\text{пнч}}(z), \quad K_{\text{д}}(z) = k_{\text{д}}; \quad K_{\text{су}}(z) = k_{\text{су}}$

$$K_{\text{ошк}}(z) = \frac{\theta(z)}{L(z)} = \frac{k_{\text{д}} D_{\text{пнч}}(z)[1 - K_{\text{к}}(z)]}{F_{\text{пнч}}(z) + k_{\text{д}} k_{\text{су}} D_{\text{пнч}}(z)}.$$

Для повышения порядка астатизма с нулевого до первого относительно возмущающего воздействия необходимо с помощью разомкнутой связи ввести первую производную от *L(t)* и импульсная передаточная функция компенсационной связи в этом случае имеет вид $K_{\hat{e}}(z) = k_1(1 - z^{-1})$ [10].

Для ИСН импульсная передаточная функция компенсационной связи должна быть более сложной и представлять собой параллельное соединение усилительного (пропорционального) звена с коэффициентом передачи 1 и дифференцирующего звена $k_1(1 - z^{-1})$ [5].

После подстановки значений передаточных функций звеньев получаем для НЛЧ 1-го порядка

$$K_{\text{ошк}}(z) = \frac{\theta(z)}{L(z)} = (1 - z^{-1})^{\nu=1} \frac{k_{\text{д}} k_1 c_1 z^{-1}}{1 + (k_{\text{д}} k_{\text{су}} c_1 - d_1) z^{-1}},$$

для НЛЧ 2-го порядка

$$K_{\text{ошк}}(z) = \frac{\theta(z)}{L(z)} = (1 - z^{-1})^{\nu=1} \frac{k_{\text{д}} k_1 (c_1 z^{-1} + c_2 z^{-2} + c_3 z^{-3})}{(1 - z^{-1})(1 + d_1 z^{-1} + d_2 z^{-2}) + k_{\text{д}} k_{\text{су}} (c_1 z^{-1} + c_2 z^{-2} + c_3 z^{-3})}.$$

Таким образом в ИСН с комбинированным управлением введение компенсационной связи по возмущению позволяет устранить динамическую ошибку при изменении *L(t)* по ступенчатому закону.

Выводы.

В импульсном стабилизаторе напряжения с принципом управления по отклонению с НЛЧ 1-го порядка и НЛЧ 2-го порядка порядок астатизма равен нулю, т.е. система статична и динамическая ошибка при ступенчатом изменении возмущающего воздействия ограничена конечным значением, а при линейном и квадратичном – стремится к бесконечности.

Для уменьшения динамических ошибок предложен принцип комбинированного управления ИСН, т.е. совмещение управления по отклонению с управлением по возмущению.

Введение компенсационной связи в разомкнутый канал возмущения ИСН с НЛЧ 1-го порядка и НЛЧ 2-го порядка позволило поднять порядок астатизма с нулевого до первого, тем самым устранить динамическую ошибку при ступенчатом изменении возмущения и уменьшить до конечного значения при линейном изменении возмущающего воздействия.

Литература

1. Кунцевич В.М. К истории развития теории инвариантности систем управления [Текст] / В.М. Кунцевич // Труды научного семинара «70 лет теории инвариантности». – М.: Изд-во ЛКИ, 2008. – с. 54 – 60.
2. Мелешин В.И. Транзисторная преобразовательная техника [Текст] / В.И. Мелешин – М.: Техносфера, 2005. – 632 с.
3. Мелешин В.И. Получение непрерывной линейной модели силовой части импульсного преобразователя как начальный этап проектирования его динамических свойств [Текст] / В.И. Мелешин // Электричество. – 2002. - № 10. – с. 38 – 43.
4. Мелешин В.И. Широтно-импульсный модулятор в непрерывной модели преобразователя [Текст] / В.И. Мелешин // Электричество. – 2004. - № 3. – с. 46 – 52.
5. Андреев А.И. Анализ статических ошибок и синтез стабилизированных преобразователей напряжения [Текст] / А.И. Андреев // Збірник наукових праць Інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАНУ. – 2008. – вип. 49. – с. 46 – 50.
6. Андреев А.И. Уменьшение статической ошибки импульсных стабилизаторов напряжения в классе комбинированных систем [Текст] / А.И. Андреев // Технічна електродинаміка. Тем. вип. «Силова електроніка та енергоефективність». – 2007. – ч. 5. – с. 57 – 58.
7. Дёч Г. Руководство к практическому применению преобразования Лапласа и Z-преобразования [Текст] / Г. Дёч. – М.: Наука, 1971. – 228 с.
8. Гейтенко Е.Н. Источники вторичного электропитания. Схемотехника и расчет [Текст] / Е.Н. Гейтенко. – М.: Солон-пресс, 2008. – 448 с.
9. Стеклов В.К. Проектування систем автоматичного керування [Текст] / В.К. Стеклов. К.: Вища шк., 1995. – 231 с.
10. Андреев А.И. Синтез стабилизирующих преобразователей напряжения с линейной дельта-модуляцией [Текст] / А.И. Андреев // Вісник Кременчуцького державного політехн. універ. – 2008. – вип. 4(51). – ч.1. – с. 177 – 180.

Abstract
Andreev A.I., Semenov A.S., Soloduhin V.V. The structural synthesis of pulsed stabilizers of voltage with CLP of first and second order. *The pulsed stabilizers of voltage with continuous linear part (CLP) of first and second order are analysed. The discrete transfer functions of closed and combined systems are obtained. Application pulsed stabilizers of voltage with combined control allow to boost the astatism order of an.*
Keywords*: pulsed stabilizer of voltage, continuous linear part, discrete transfer function, closed, combined systems, astatism.*

Анотація
Андрєєв А.І., Семенов А.С., Солодухін В.В. Структурний синтез імпульсних стабілізаторів напруги з БЛЧ 1-го та 2-го порядків*. Аналізуються імпульсні стабілізатори напруги з безперервною лінійною частиною (БЛЧ) 1-го і 2-го порядків. Отримані імпульсні передавальні функції замкненої та комбінованої систем. Застосування комбінованих стабілізаторів дозволяє підвищити порядок астатизму.*
Ключові слова*: імпульсний стабілізатор напруги, безперервна лінійна частина, імпульсна передавальна функція, замкнена і комбінована системи, астатизм.*

Здано в редакцію: 22.03.2010р.

Рекомендовано до друку: д.т.н, проф. Скобцов Ю.О.