

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРИНЦИПОВ УПРАВЛЕНИЯ СПН С ИНТЕГРАЛЬНОЙ ШИМ

Андреев А.И.

Одесская национальная академия связи им. А.С. Попова

aia2003@ukr.net

The principles of control of stabilized converters voltage (SCV) with integral pulse width modulation (PWM): by perturbation, by deviation and combined control are examined. The closed system of SCV have astatism of first order. With object of order astatism to second proposed SCV with combined control.

Статическая ошибка и коэффициент стабилизации выходного напряжения стабилизированных преобразователей напряжения (СПН) являются основными параметрами, характеризующими их точностные и стабилизирующие свойства в статических режимах работы. Эти свойства СПН зависят от многих факторов, из которых к основному следует отнести принцип управления.

В зависимости от способов формирования управляющего воздействия различают следующие принципы управления СПН: по возмущению, по отклонению управляемой величины (выходного напряжения) от требуемого значения; принцип комбинированного управления [1-3].

В параметрических СПН, использующих принцип управления по возмущению, изменение входного напряжения вызывает такое изменение относительной длительности включенного состояния транзисторов, что выходное напряжение остается в заданных пределах. Информация о выходном напряжении в таких СПН не используется, т.е. они представляют разомкнутые системы автоматического управления по основному возмущению – изменению входного напряжения. Эти преобразователи достаточно просты, их применяют в тех случаях, когда нагрузка меняется незначительно и к качеству выходного напряжения не предъявляют высоких требований.

Более совершенными являются СПН, в которых изменение относительной длительности включенного состояния транзисторов происходит в соответствии со значением отклонения выходного напряжения от заданного значения. В результате обеспечивается стабильность выходного напряжения при возмущениях как со стороны входа, так и со стороны нагрузки. Это основное достоинство СПН, из-за которого они получили преимущественное распространение.

В компенсационных СПН повышение стабильности выходного напряжения связано с необходимостью увеличения коэффициента усиления в контуре обратной связи, что вызывает усложнение схемы и ведет к снижению устойчивости. Для повышения устойчивости в контур регулирования можно ввести корректирующие звенья; однако это снижает быстродействие СПН, что также нежелательно.

Повышение статической и динамической точности компенсационных СПН без снижения устойчивости можно обеспечить при использовании методов теории инвариантности. Построение инвариантных СПН основано на принципе двухканальности: управлению по возмущению и управлению по отклонению. Основное возмущение СПН в большинстве случаев – нестабильность входного напряжения, поэтому компенсация этой нестабильности – первоочередная задача на пути повышения качества стабилизации. Применение методов теории инвариантности при этом особенно эффективно, поскольку о характере изменения входного напряжения, как правило, мало известно.

Исследования в области статических свойств СПН ведутся в двух направлениях:

- СПН рассматривается как дискретная (импульсная) система автоматического управления;
- СПН рассматривается как непрерывная система.

Представление преобразователей напряжения в виде непрерывной модели позволяет не только сократить время исследований на физических моделях, но и увидеть их свойства до создания физического макета, внести изменения в электрическую схему и в целом ускорить проектирование. В пользу этого подхода говорит и простота, позволяющая проводить анализ СПН с заданными свойствами.

Целью работы является сравнительный анализ замкнутых и комбинированных СПН с интегральной широтно-импульсной модуляцией (ИШИМ), обладающей высокой помехоустойчивостью, обеспечивающей высокие коэффициенты стабилизации и сглаживания пульсаций, а также разработка мер по уменьшению статических ошибок с использованием метода повышения порядка астатизма.

Структурная непрерывная замкнутая схема СПН с ИШИМ приведена на рис. 1, где $K_y(p)$, $K_i(p)$, $K_m(p)$, $K_{рз}(p)$, $K_t(p)$, $K_v(p)$, $K_\phi(p)$, $K_d(p)$ – передаточные функции усилителя, интегратора, широтно-импульсного модулятора, регулирующего элемента, трансформатора, выпрямителя, фильтра, делителя напряжения соответственно; Σ – схема сравнения; $\Sigma 1$ – сумматор; $\alpha(p)$ – задающее воздействие; $L(p)$ – возмущающее воздействие; $\beta(p)$ – управляемая величина; $\theta(p)$ – отклонение управляемой величины от требуемого значения.

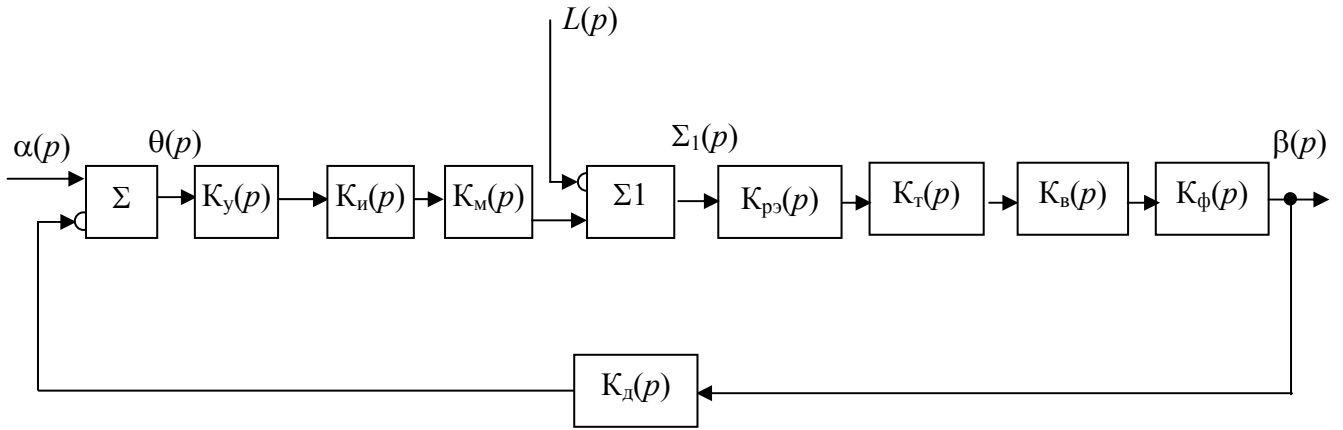


Рисунок 1 - Структурная схема СПН с принципом управления по отклонению

Согласно рис. 1 уравнения элементов системы имеют вид

$$\begin{cases} \theta(p) = \alpha(p) - K_{\hat{a}}(\delta)\beta(p); \\ \Sigma 1(p) = K_{\hat{o}}(p)K_{\hat{e}}(p)K_{\hat{i}}(p)\theta(p) - L(\delta); \\ \beta(\delta) = K_{\hat{o}y}(p)\hat{E}_{\hat{o}}(\delta)K_{\hat{a}}(p)K_{\hat{o}}(p)\Sigma 1(\delta). \end{cases} \quad (1)$$

Исключив промежуточные переменные находим передаточную функцию замкнутой системы СПН по ошибке, вызванной возмущающим воздействием

$$K_{\hat{i}o}(p) = \frac{\theta(p)}{L(p)} = \frac{\hat{E}_{\hat{a}}(\delta)\hat{E}_{\hat{o}y}(p)K_{\hat{o}}(p)K_{\hat{a}}(p)K_{\hat{o}}(\delta)}{1 + \hat{E}_{\hat{a}}(\delta)\hat{E}_{\hat{o}}(\delta)\hat{E}_{\hat{e}}(\delta)\hat{E}_{\hat{i}}(\delta)\hat{E}_{\hat{o}y}(\delta)\hat{E}_{\hat{o}}(\delta)\hat{E}_{\hat{a}}(\delta)\hat{E}_{\hat{o}}(\delta)}. \quad (2)$$

Передаточные функции звеньев, согласно [4], определяются выражениями $K_{\hat{d}}(p) = k_{\hat{d}}$; $K_{\hat{y}}(p) = k_{\hat{y}}$;

$$K_{\hat{i}}(p) = \frac{k_{\hat{e}}}{p}, \quad K_{\hat{m}}(p) = k_{\hat{m}}; \quad K_{\hat{p}s}(p) = \gamma; \quad K_{\hat{t}}(p) = k_{\hat{t}}; \quad K_{\hat{v}}(p) = k_{\hat{v}}; \quad \hat{E}_{\hat{o}}(p) = \frac{k_{\hat{o}}}{T_{\hat{o}}^2 p^2 + 2\xi T_{\hat{o}} \delta + 1},$$

где $k_{\hat{d}}$, $k_{\hat{y}}$, $k_{\hat{i}}$, $k_{\hat{m}}$, $k_{\hat{t}}$, $k_{\hat{v}}$, $k_{\hat{f}}$ – коэффициенты передачи соответствующих звеньев; γ – относительная длительность включенного состояния транзисторов; $T_{\hat{f}}$ – постоянная времени фильтра; ξ – коэффициент демпфирования.

Подставив значения передаточных функций звеньев получаем

$$\hat{E}_{\hat{i}o}(\delta) = \frac{\theta(p)}{L(p)} = \frac{k_{\hat{a}}\gamma k_{\hat{o}}k_{\hat{a}}k_{\hat{o}}p^{v=1}}{T_{\hat{o}}^2 p^3 + 2\xi T_{\hat{o}} p^2 + p + k_{\hat{a}}k_{\hat{o}}k_{\hat{e}}k_{\hat{i}}\gamma k_{\hat{o}}k_{\hat{a}}k_{\hat{o}}}. \quad (3)$$

Выражение (3) показывает, что замкнутая система СПН является астатической с астатизмом первого порядка и в ней статическая ошибка равна нулю при ступенчатом изменении возмущающего воздействия, возникает постоянная ошибка при линейном изменении и растет до бесконечности при квадратичном изменении возмущающего воздействия.

Лучшими точностными и стабилизирующими показателями обладают СПН с комбинированным управлением, в которых отсутствует противоречие между условиями инвариантности и устойчивости [5].

Структурная непрерывная комбинированная схема СПН с ИШИМ изображена на рис. 2, где $K_{\hat{k}}(p)$ – передаточная функция компенсационной связи по возмущению.

В соответствии с рис. 2 уравнения элементов системы определяются следующими соотношениями

$$\begin{cases} \theta(p) = \alpha(p) - K_{\hat{a}}(p)\beta(p); \\ \Sigma 1(p) = K_{\hat{o}}(p)K_{\hat{e}}(p)\theta(p) + K_{\hat{e}}(\delta)L(p); \\ \Sigma 2(\delta) = K_{\hat{i}}(p)\Sigma 1(\delta) - L(\delta) \\ \beta(\delta) = K_{\hat{o}y}(p)\hat{E}_{\hat{o}}(\delta)K_{\hat{a}}(p)K_{\hat{o}}(p)\Sigma 2(p). \end{cases} \quad (4)$$

Из системы уравнений (4) получим передаточную функцию по ошибке комбинированной СПН с ИШИМ

$$K_{\hat{i}o}(p) = \frac{\theta(p)}{L(p)} = \frac{\hat{E}_{\hat{a}}(\delta)\hat{E}_{\hat{o}y}(p)K_{\hat{o}}(p)K_{\hat{a}}(p)K_{\hat{o}}(\delta)[1 - \hat{E}_{\hat{e}}(\delta)\hat{E}_{\hat{i}}(\delta)]}{1 + \hat{E}_{\hat{a}}(\delta)\hat{E}_{\hat{o}}(\delta)K_{\hat{e}}(p)\hat{E}_{\hat{i}}(\delta)\hat{E}_{\hat{o}y}(\delta)\hat{E}_{\hat{o}}(\delta)\hat{E}_{\hat{a}}(\delta)\hat{E}_{\hat{o}}(\delta)}. \quad (5)$$

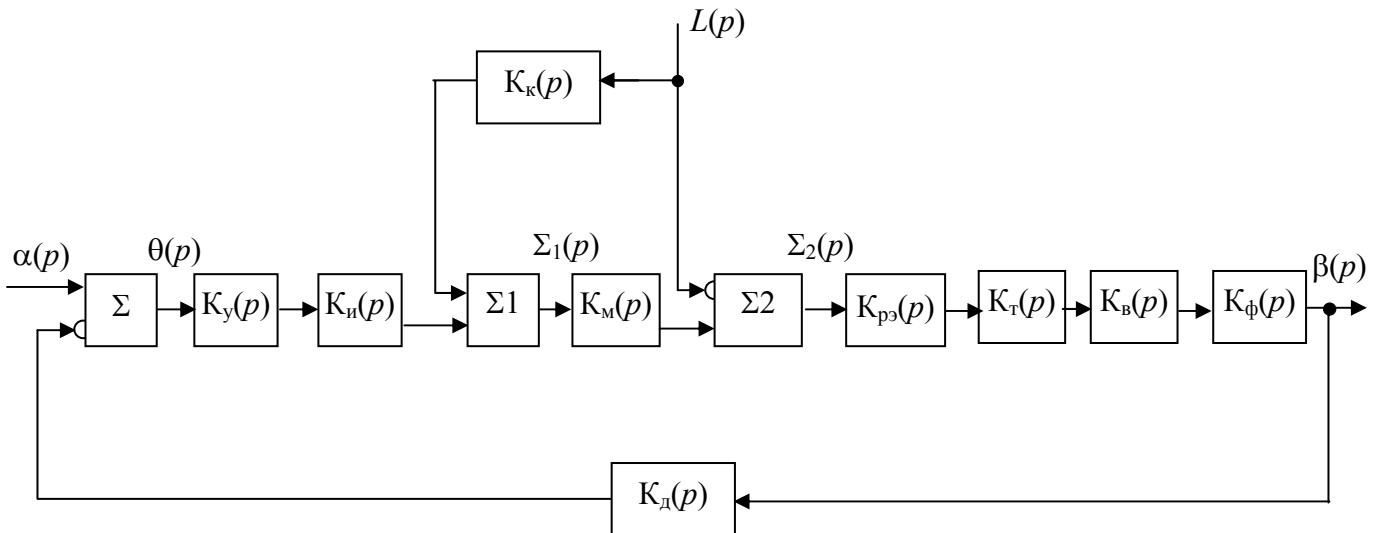


Рисунок 2 - Структурная схема СПН с комбинированным управлением

После подстановки значений передаточных функций звеньев и с учетом того, что передаточная функция компенсационной связи представляет собой параллельное соединение усилительного звена с коэффициентом передачи k_k и дифференцирующего звена $\tau_1 p$, получим

$$\hat{E}_{i\sigma}(\delta) = \frac{\theta(p)}{L(p)} = \frac{k_{\bar{a}} \gamma k_{\delta} k_{\hat{a}} k_{\delta} p^{v=1} [1 - (k_{\bar{e}} - \tau_1 \delta) k_i]}{T_{\delta}^2 p^3 + 2\xi T_{\delta} p^2 + \delta + k_{\bar{a}} k_{\delta} k_{\bar{e}} k_i \gamma k_{\delta} k_{\hat{a}} k_{\delta}} \quad (6)$$

Из выражения (6) видно, что при $k_k k_m = 1$ передаточная функция по ошибке становится астатической с астатизмом второго порядка

$$\hat{E}_{i\sigma}(\delta) = \frac{\theta(p)}{L(p)} = \frac{k_{\bar{a}} \gamma k_{\delta} k_{\hat{a}} k_{\delta} k_i \tau_1 \delta^{v=2}}{T_{\delta}^2 p^3 + 2\xi T_{\delta} p^2 + p + k_{\bar{a}} k_y k_{\bar{e}} k_i \gamma k_{\delta} k_{\hat{a}} k_{\delta}} \quad (7)$$

Выражение (7) показывает, что в СПН с ИШИМ и комбинированным управлением при ступенчатом и линейном изменениях возмущающего воздействия ошибки в установившемся режиме равны нулю, а при квадратичном – постоянной величине.

Выводы. Разработаны непрерывные структурные схемы СПН с управлением по отклонению и комбинированным управлением, позволяющие определить передаточные функции СПН по ошибке.

Внедрение ИШИМ в замкнутую систему СПН позволяет поднять порядок астатизма до первого, т.е. избавиться от ошибки при ступенчатом изменении возмущающего воздействия.

Получено, что СПН с ИШИМ и комбинированным управлением позволяет поднять порядок астатизма до второго, таким образом установившиеся ошибки равны нулю при ступенчатом и линейном изменениях возмущающего воздействия.

Важным практическим преимуществом СПН с комбинированным управлением является то, что реализация связи по возмущению не представляет технических сложностей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мелешин В.И. Транзисторная преобразовательная техника. – М.: Техносфера, 2005. – 632 с.
 2. Зайцев Г.Ф., Стеглов В.К., Брицкий О.И. Теория автоматического управления. – К.: Техніка, 2002. – 688 с.
 3. Андреев А.И. Уменьшение статической ошибки импульсных стабилизаторов напряжения в классе комбинированных систем // Технічна електродинаміка. Тем. Випуск «Силова електроніка та енергоефективність». – 2007. – Ч. 5. – С. 57-58.
 4. Гейтенко Е.Н. Источники вторичного электропитания. Схемотехника и расчет. – М.: Солон-пресс, 2008. – 448 с.
- Андреев А.И. Повышение статической точности транзисторных преобразователей напряжения класса E // Зб. наук. праць ІПМЕ ім. Г.С. Пухова НАНУ. – 2007. – Вип. 42. – С. 20-25.

Рекомендовано д.т.н. Коцегубом П.Х.