

УДК 62-83

## **СИНТЕЗ КОМБИНИРОВАННОГО РЕГУЛЯТОРА ПОЛОЖЕНИЯ**

**Доц. МИХЕЕВ Н. Н., инж. РАТКЕВИЧ Е. П.**

*Белорусский национальный технический университет*

Основные требования к системам воспроизведения движения и позиционным системам как частному случаю систем воспроизведения – быстродействие и точность. Эти требования частично совпадают, так как уменьшение ошибки будет происходить тем быстрее, чем больше быстродействие системы. Однако эти требования противоречат друг другу, так как для получения максимального быстродействия требуется максимальное управление, а для получения высокой точности необходимо постепенное уменьшение управления при подходе к заданному положению с тем, чтобы исключить перерегулирование и возникновение колебаний [1, 2].

Качество работы систем воспроизведения движения можно повысить за счет рационального построения управляющего устройства. Примем за ос-

нову для синтеза системы воспроизведения движения структуру подчиненного управления с пропорциональным регулированием скорости.

При применении линейного П-регулятора положения ( $K_{\text{рп}} = k_{\text{рпп}}$ ) передаточная функция замкнутого контура положения (рис. 1)

$$W_{\text{зп}} = \frac{\rho k_{\text{рпп}} k_{\text{оп}}}{(1 + \tau_{\text{эс}} p) k_{\text{ос}} p + k_{\text{рпп}} \rho k_{\text{оп}}} \frac{1}{k_{\text{оп}}} \cong \frac{b_0}{a_0 + a_1 p + a_2 p^2} \frac{1}{k_{\text{оп}}},$$

где  $k_{\text{оп}} = \frac{U_{\text{зпmax}}}{S_{\text{max}}}$  – коэффициент обратной связи по положению;  $\tau_{\text{эс}}$  – эквивалентная постоянная времени оптимизированного контура регулирования скорости;  $k_{\text{рпп}} = \frac{1}{\rho k_{\text{н}} \tau_{\text{эс}}} \frac{k_{\text{ос}}}{k_{\text{оп}}}$  – передаточная функция линейного П-регулятора положения;  $k_{\text{н}}$  – коэффициент настройки П-регулятора положения ( $k_{\text{н}} = 2$  при оптимизации по модульному оптимуму).

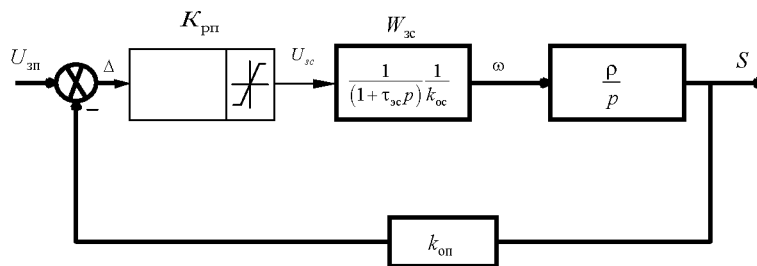


Рис. 1. Структурная схема контура регулирования положения

Обеспечить высокое быстродействие и высокую точность позиционирования можно, применяя нелинейный (параболический) регулятор положения [3–5].

При отработке больших и средних рассогласований по положению задача регулятора – определить точку начала торможения и задавать скорость  $v$  в зависимости от рассогласования с максимальным расчетным замедлением  $a$ . В этом случае тормозной путь

$$\Delta s = \frac{at_T^2}{2} = \frac{v^2}{2a}.$$

Откуда требуемая скорость

$$v = \omega \rho = \sqrt{2a\Delta s} = \sqrt{2\varepsilon_m \rho \Delta} \frac{1}{k_{\text{оп}}},$$

где  $\omega$  – угловая скорость вала двигателя;  $\varepsilon_m$  – угловое ускорение вала двигателя;  $\Delta = \Delta s k_{\text{оп}}$ .

Или задание скорости

$$U_{зс} = \sqrt{2\varepsilon_m \Delta \frac{k_{ос}^2}{\rho k_{оп}}} = \sqrt{2\varepsilon_m \frac{k_{ос}^2}{\rho k_{оп}}} \sqrt{\Delta} = k_{рпн} \sqrt{\Delta},$$

где  $k_{рпн} = \sqrt{2\varepsilon_m \frac{k_{ос}^2}{\rho k_{оп}}}$  – постоянный коэффициент нелинейного регулятора положения.

При уменьшении рассогласования по положению динамический коэффициент усиления регулятора возрастает и стремится к бесконечности

$$k_{рпндин} = \frac{dU_{зс}}{d\Delta}.$$

Поэтому при малых рассогласованиях необходимо перейти к линейному регулятору с коэффициентом  $k_{рпл}$ .

Требуемая характеристика вход-выход регулятора положения представлена на рис. 2. Так как необходимо, чтобы характеристика линейного регулятора приходила в начало координат, характеристика нелинейного регулятора должна иметь смещение по оси абсцисс  $\Delta_{см}$  в зависимости от выбранного значения  $k_{рпл}$ .

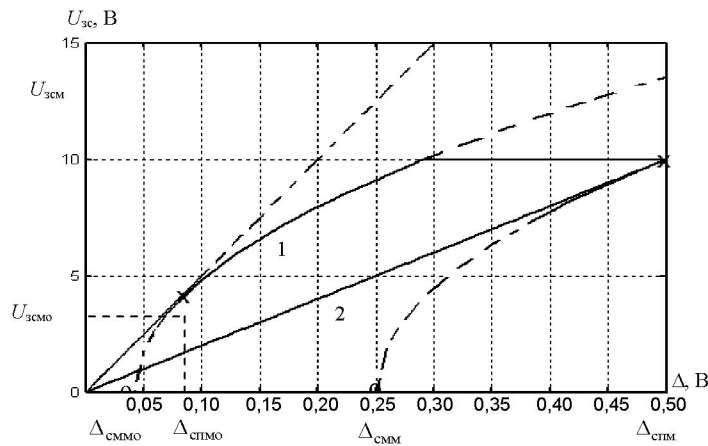


Рис. 2. Характеристики вход-выход комбинированного регулятора положения

Таким образом, характеристика вход-выход комбинированного регулятора с переменной структурой должна иметь (рис. 2) сопряжение линейной и параболической характеристик при  $\Delta_{сп}$ , т. е. в точке с координатами  $(\Delta_{сп}, U_{зсп})$ .

Тогда необходимое задание скорости

$$U_{зсн} = U_{выхрпн} = k_{рпн} \sqrt{\Delta - \Delta_{см}}.$$

Переход к линейному регулятору можно определить из условия равенства заданий скорости от нелинейного  $U_{зснсп}$  и линейного  $U_{зслсп}$  регуляторов при некотором рассогласовании  $\Delta_{сп}$

$$U_{зснсп} = U_{зслсп} \quad (1)$$

и из условия равенства коэффициента передачи линейного регулятора и динамического коэффициента передачи (усиления) нелинейного регулятора в точке сопряжения характеристик

$$k_{рпл} = k_{рпндин} \quad (2)$$

где

$$k_{рпндин} = \frac{dU_{зс}}{d\Delta} = \frac{dk_{рпн} \sqrt{\Delta - \Delta_{смзс}}}{d\Delta} = \frac{k_{рпн}}{2\sqrt{\Delta - \Delta_{см}}} \quad (3)$$

– динамический коэффициент усиления регулятора положения на нелинейном участке характеристики.

Выполнение условия (2) необходимо для исключения кратковременного броска ускорения (динамического момента) при переходе на линейный участок характеристики с нелинейного.

Из (1) с учетом (3) при  $\Delta = \Delta_{сп}$  получим

$$\Delta_{сп} = \Delta_{см} + \left( \frac{k_{рпн}}{2k_{рпл}} \right)^2 \quad (4)$$

При этом рассогласованию  $\Delta_{сп}$  будет соответствовать выходной сигнал задания скорости

$$U_{зссп} = k_{рпн} \sqrt{\Delta_{сп} - \Delta_{см}} = k_{рпн} \sqrt{\Delta_{см} + \left( \frac{k_{рпн}}{2k_{рпл}} \right)^2 - \Delta_{см}} = \frac{k_{рпн}^2}{2k_{рпл}} \quad (5)$$

Из (1) с учетом (5) получим

$$\Delta_{сп} = \frac{k_{рпн}^2}{2k_{рпл}^2} \quad (6)$$

Из (4) с учетом (6) следует:

$$\Delta_{см} = \left( \frac{k_{рпн}}{2k_{рпл}} \right)^2 = 0,5\Delta_{сп}$$

Основная трудность применения регулятора с переменной структурой заключается в трудности его настройки, т. е. качественного сопряжения

отдельных участков его характеристики вход-выход, которая описывается системой уравнений:

$$U_{зсн} = k_{рпн} \sqrt{\Delta - \Delta_{см}} \quad \text{при} \quad \Delta \geq 2\Delta_{см}; \quad (7)$$

$$U_{зсл} = k_{рпл} \Delta \quad \text{при} \quad \Delta \leq 2\Delta_{см}; \quad (8)$$

$$U_{зс} = 0 \quad \text{при} \quad \Delta \leq \delta/2; \quad (9)$$

$$k_{рпл} = \frac{1}{\rho k_n \tau_{эс}} \frac{k_{ос}}{k_{оп}}; \quad (10)$$

$$k_{рпн} = \sqrt{\frac{2\varepsilon_m k_{ос}^2}{\rho k_{оп}}}; \quad (11)$$

$$\Delta_{см} = \left( \frac{k_{рпн}}{2k_{рпл}} \right)^2, \quad (12)$$

где  $\delta$  – допустимая погрешность позиционирования.

В зависимости от конкретных задач позиционирования любой из участков характеристики комбинированного регулятора может быть исключен.

Конкретный вид характеристики вход-выход зависит от параметров, многие из которых в процессе работы могут изменяться. Поэтому целесообразно ввести устройства, обеспечивающие выполнение функций:

- автоматического определения основных параметров регулятора  $k_{рпл}$ ,  $k_{рпн}$ ,  $\Delta_{сп}$ ,  $\delta/2$  (блок автоматической настройки регулятора положения, реализующий вычисления (10)–(12));
- формирования  $U_{зс}$  (регулятор скорости, реализующий функции и проверку соотношений (7)–(9)).

При изменении настройки линейного регулятора положения с  $k_{рпл1}$  на  $k_{рпл2}$  изменение параметров происходит в соответствии с соотношением

$$\frac{k_{рпл1}}{k_{рпл2}} = \frac{U_{зсн2}}{U_{зсн1}} = \frac{k_{рпл2} \Delta_{сп2}}{k_{рпл1} \Delta_{сп1}} = \sqrt{\frac{\Delta_{сп2}}{\Delta_{сп1}}} = \frac{k_{н2}}{k_{н1}}, \quad (13)$$

так как

$$\Delta_{сп} = 2 \left( \frac{\sqrt{\frac{2\varepsilon_m k_{ос}^2}{\rho k_{оп}}}}{2 \frac{1}{\rho k_n \tau_{эс}} \frac{k_{ос}}{k_{оп}}} \right)^2 = k_n^2 \varepsilon_m \rho k_{оп} \tau_{эс}^2 = k_n^2 a_m \tau_{эс}^2 k_{оп}. \quad (14)$$

Тогда сигнал задания скорости в точке сопряжения характеристик

$$U_{зссп} = \Delta_{сп} k_{рпл} = k_n^2 \varepsilon_m \rho k_{оп} \tau_{эс}^2 \frac{1}{\rho k_n \tau_{эс}} \frac{k_{ос}}{k_{оп}} = k_n \varepsilon_m \tau_{эс} k_{ос}. \quad (15)$$

Таким образом, связь между координатами точки сопряжения характеристик может быть представлена через исходные задаваемые параметры

$$\Delta_{сп} = k_n v_{зссп} \tau_{эс} k_{оп}. \quad (16)$$

При оптимизации контура регулирования положения по модульному оптимуму ( $k_n = 2$ ) из (14)–(16) получим (характеристика 1 на рис. 2)

$$\begin{aligned} \Delta_{спмо} &= 4\varepsilon_{прт} \rho k_{оп} \tau_{эс}^2; \\ U_{зспмо} &= 2\varepsilon_{прт} \tau_{эс} k_{ос}; \\ \Delta s_{спмо} &= 2v_{зсн} \tau_{эс}. \end{aligned} \quad (17)$$

Если коэффициент передачи регулятора положения уменьшать ( $k_{рпл} < k_{рплмо}$ ), то  $v_{зсп}$  и  $\Delta s_{сп}$  увеличиваются и при некотором минимальном значении  $k_{рплм}$  задание скорости будет соответствовать максимальному значению (характеристика 2 на рис. 2)

$$U_{зснм} = k_{рпл} \sqrt{\Delta_{сп} - \Delta_{см}} = k_{рпл} \frac{k_{рпл}}{2k_{рплмин}} = U_{зсл} = k_{рпл} \Delta_{сп} = k_{рпл} \frac{v^2}{2a_m} k_{оп}. \quad (18)$$

Тогда минимальное значение коэффициента передачи регулятора положения

$$k_{рплм} = \frac{k_{рпл}^2}{2U_{зснм}} = \frac{\varepsilon_{прт} k_{ос}^2}{k_{оп} U_{зснм} \rho} = \frac{a_{прт}}{v_{зснм}} \frac{k_{ос}}{\rho k_{оп}} = \frac{1}{k_{нм} \tau_{эс}} \frac{k_{ос}}{\rho k_{оп}}, \quad (19)$$

где

$$k_{нм} = \frac{v_{зсн}}{a_{прт} \tau_{эс}}.$$

Таким образом,

$$\frac{k_{рплмо}}{k_{рплм}} = \frac{k_{нм}}{2}. \quad (20)$$

## ВЫВОД

Полученные уравнения и соотношения позволяют построить различные варианты комбинированного регулятора положения, особенно при его программной реализации.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Анхимюк, В. Л. Теория автоматического управления / В. Л. Анхимюк, О. Ф. Опейко, Н. Н. Михеев. – Минск: Дизайн ПРО, 2000. – 352 с.
2. Бай, Р. Д. Анализ процессов точного позиционирования электропривода / Р. Д. Бай, А. В. Фельдман // Электротехническая промышленность. Электропривод. – 1972. – № 7, 8. – С. 5–8.
3. Башарин, А. В. Управление электроприводами / А. В. Башарин, В. А. Новиков, Г. Г. Соколовский. – Л.: Энергоиздат, 1982. – 392 с.
4. Лурье, З. Я. Выбор оптимального закона торможения позиционной электромеханической системы / З. Я. Лурье, Б. С. Фланчик // Электричество. – 1979. – № 8. – С. 47–51.
5. Перельмутер, В. М. Системы управления тиристорными электроприводами постоянного тока / В. М. Перельмутер, В. А. Сидоренко. – М.: Энергоатомиздат, 1988.

Представлена кафедрой электропривода  
и автоматизации промышленных установок  
и технологических комплексов

Поступила 10.10.2008

УДК 004.942.519.876.5

### **ВОЗМОЖНОСТИ СИСТЕМЫ ПРОГРАММИРОВАНИЯ CoDeSys ПРИ РАЗРАБОТКЕ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ И ПРОЕКТИРОВАНИИ МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ**

**Инж. НОВИКОВ С. О.**

*Белорусский национальный технический университет*

Задачи управления системами различного типа, вероятно, потерять своей актуальности не смогут ни в настоящее время, ни в будущем. Технический прогресс, совершенствование технологических баз, бурное развитие микросхемотехники требуют от систем управления сегодняшнего дня соответствующих изменений в принципах подхода к управлению и регулированию характеристик систем управления. И если на уровнях, где в решаемых задачах нет ограничений на моменты инерций и сопротивлений на валах силовых агрегатов, представлены шаговые машины с устоявшимися алгоритмами их управления, то в вопросах контроля и управления двигателями постоянного и переменного токов с переменными нагрузками на валах эти задачи становятся все более актуальными. Как очевидный факт мы принимаем системы микропроцессорного управления такими приводами, но оставляем за собой право иметь возможность изучать и исследовать поведение таких систем.

В последние годы все более широко для управления такими системами применяются комбинированные схемы программно-аппаратного управления. В их основе лежат стандартные микропроцессорные наборы, выпускаемые отечественной и зарубежной промышленностью. Возможности мик-