



УКРАЇНА

(19) UA (11) 51692 (13) U
(51) МПК (2009)
G05B 13/00МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІОПИС
ДО ПАТЕНТУ
НА КОРИСНУ МОДЕЛЬвидається під
відповідальність
власника
патенту

(54) СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМ ОБ'ЄКТОМ

1

2

(21) u201001535

(22) 15.02.2010

(24) 26.07.2010

(46) 26.07.2010, Бюл.№ 14, 2010 р.

(72) ЄСАУЛОВ СЕРГІЙ МИХАЙЛОВИЧ, ЛУКАШОВА НАТАЛІЯ ПАВЛІВНА, БАБІЧЕВА ОЛЬГА ФЕДОРІВНА, ХРАМЦОВ АНАТОЛІЙ ДМИТРОВИЧ, БРАСЛАВЕЦЬ ОКСАНА СЕРГІЇВНА

(73) ХАРКІВСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА

(57) Система керування технологічним об'єктом, що містить послідовно з'єднані вимірник розузгодження, перший регулятор, суматор, об'єкт керування, вихід якого підключений до першого входу вимірника розузгодження, до другого входу якого підключено задатчик, до виходу вимірника розузгодження підключені також послідовно з'єднані

перший блок порівняння і другий регулятор, вихід якого з'єднаний з другим входом суматора, до виходу якого підключені також послідовно з'єднані модель чистого запізнювання об'єкта керування, другий блок порівняння, модель об'єкта без запізнювання, вихід якої підключений до другого входу першого блока порівняння, а до другого входу другого блока порівняння підключений вихід першого регулятора, яка **відрізняється** тим, що до неї додатково введено послідовно з'єднані блок контролю керуючої величини, блок коректування часу запізнювання, вихід якого підключений до другого входу моделі чистого запізнювання, а вхід блока контролю керуючої величини з'єднаний з другим виходом об'єкта керування

Корисна модель належить до систем керування і може бути використана при синтезі систем автоматизації технологічними об'єктами, що відрізняються змінним транспортним запізнюванням, нестационарними динамічними параметрами, обумовленими впливом неконтрольованих збурень. До таких об'єктів належать камери змішання мийних машин для приготування водного розчину, вживаного при обслуговуванні й ремонті рухомого транспорту в депо, установки для очищення води в системах оборотного водопостачання в мийно-прибиральних корпусах депо та інше устаткування, динамічні властивості якого обумовлені зміною витрат рідин і якості компонентів, вживаних в технологічному процесі.

Проблема автоматизації технологічних об'єктів з нестационарними динамічними властивостями є важливою і актуальною, відноситься до всіх технологічних об'єктів з підтримкою в них нормованих технологічних параметрів або умов експлуатації шляхом регулювання витрати рідин, наприклад, що містять змішувачі компоненти, використовувачі при реалізації технологічного процесу. Значні динамічні помилки, що виникають ігри керуванні такими об'єктами, негативно позначаються на якості роботи технологічного об'єкта,

призводять до необґрунтованого зростання матеріальних і експлуатаційних витрат.

Відома система керування об'єктом з транспортним запізнюванням, що містить послідовно з'єднані перший суматор, другий суматор, регулятор, виконавчий пристрій і об'єкт керування із запізнюванням, вихід якого з'єднаний з другим входом першого суматора, а також послідовно з'єднані модель об'єкта без запізнювання, модель транспортного запізнювання, третій суматор, вихід регулятора з'єднаний з входом моделі об'єкта керування без запізнювання, вихід якої з'єднаний з другим входом третього суматора, а вихід третього суматора з'єднаний з другим входом другого суматора, вихід першого суматора з'єднаний з послідовно з'єднаними блоком обчислення помилки компенсації і блоком перебудови моделі транспортного запізнювання, вихід якої підключений до другого входу моделі транспортного запізнювання, а вихід блока обчислення помилки компенсації підключений до формувача тестового сигналу, вихід якого з'єднаний з другим входом першого суматора [RU №94031451. Система управління об'єктом с транспортным запаздыванием, МКИ G 05 B 13/02, 1996].

(19) UA (11) 51692 (13) U

Недоліком даної системи є те, що вона не враховує зміни динамічних властивостей об'єкта і в певних умовах не повністю компенсує транспортне запізнювання, у зв'язку з чим регульована величина характеризується значною динамічною помилкою, а за певних умов система стає нестійкою.

Відома система керування, що містить послідовно з'єднані перший суматор, вимірник розузгодження, регулятор, виконавчий механізм і об'єкт керування, а також послідовно з'єднані модель об'єкта керування без запізнювання, модель чистого запізнювання, блок ділення, другий суматор, вихід якого з'єднаний з входом першого суматора, а другий вхід - з виходом моделі об'єкта керування без запізнювання, вихід виконавчого механізму з'єднаний з входом моделі об'єкта керування без запізнювання, а вихід об'єкта керування підключений до другого входу блока ділення [SU № 1112342. Система управління для об'єкта с запаздыванием, МКИ G 05 B 11/01, 1984].

До недоліків такої системи можна віднести те, що при значних змінах динамічних властивостей об'єкта і транспортного запізнювання модель об'єкта керування стає неадекватною, у зв'язку з чим якість процесу регулювання супроводжується істотним зростанням динамічної помилки.

Найбільш близькою за технічною суттю до пропонованої системи є система керування технологічним об'єктом, що містить послідовно з'єднані вимірник розузгодження, перший регулятор, суматор, об'єкт керування, вихід якого підключений до першого входу вимірника розузгодження, до другого входу якого підключено датчик, до виходу вимірника розузгодження підключені також послідовно з'єднані перший блок порівняння і другий регулятор, вихід якого з'єднаний з другим входом суматора, до виходу якого підключені також послідовно з'єднані модель чистого запізнювання об'єкта керування, другий блок порівняння, модель об'єкта без запізнювання, вихід якої підключений до другого входу першого блока порівняння, а до другого входу другого блока порівняння підключений вихід першого регулятора [SU № 1674060. Система управления, МКИ G 05 B 13/00, 1991].

До недоліків такої системи можна віднести те, що система повністю компенсує запізнювання тільки за умови відповідності часу транспортного запізнювання реального об'єкта керування нормованому чистому запізнюванню, формованого моделлю об'єкта. При варіюванні транспортного запізнювання об'єкта система керування функціонує з істотною динамічною помилкою і за певних умов стає нестійкою.

В основу корисної моделі поставлено завдання удосконалення системи керування технологічним об'єктом, в якій за рахунок введення нових конструктивних елементів враховуватимуться динамічні властивості об'єкта, що змінюються, і компенсуватиметься змінне транспортне запізнювання, що забезпечить допустиму динамічну помилку системи керування і її стійкість при варіюванні параметрів об'єкта в широких межах і дозволить на 15-20 % скоротити час регулю-

вання та на 5-10 % зменшити величину перерегулювання, підвищити точність ведення процесу регулювання при отриманні мінючого розчину із заданою якістю.

Поставлене завдання досягається тим, що в систему керування технологічним об'єктом, що містить послідовно з'єднані вимірник розузгодження, перший регулятор, суматор, об'єкт керування, вихід якого підключений до першого входу вимірника розузгодження, до другого входу якого підключено датчик, до виходу вимірника розузгодження підключені також послідовно з'єднані перший блок порівняння і другий регулятор, вихід якого з'єднаний з другим входом суматора, до виходу якого підключені також послідовно з'єднані модель чистого запізнювання об'єкта керування, другий блок порівняння, модель об'єкта без запізнювання, вихід якої підключений до другого входу першого блока порівняння, а до другого входу другого блока порівняння підключений вихід першого регулятора, згідно з корисною моделлю, додатково введено послідовно з'єднані блок контролю керуючої величини, блок коректування часу запізнювання, вихід якого підключений до другого входу моделі чистого запізнювання, а вхід блока контролю керуючої величини з'єднаний з другим виходом об'єкта керування.

Система забезпечує керування технологічним об'єктом із змінюваними неконтрольованими збурюючими чинниками і транспортним запізнюванням τ .

Динамічні властивості технологічного об'єкта (ТО) описуються передаточною функцією

$$W_{об}(p) = W_0(p)W_{\tau}(p), \quad (1)$$

де $W_0(p)$ - компонента, що відображає інерційні властивості ТО;

$$W_{\tau}(p) = \exp(-p\tau) - \text{транспортне запізнювання ТО.}$$

Для досягнення умови інваріантності вихідної ординати $Y(t)$ по відношенню до збурюючих чинників об'єкт оснащений засобами контролю величини $Y(t)$, яку у вимірнику розузгодження порівнюють із заданим її значенням.

Величина $\varepsilon(t)$, залежна від різниці вихідної ординати $Y(t)$ і її заданого значення $Y_3(t)$, визначається у вигляді

$$\varepsilon(t) = Y(t) - Y_3(t). \quad (2)$$

Використовуючи сигнал помилки $\varepsilon(t)$, в системі можна сформулювати керуючий сигнал

$$U_1(t) = \varepsilon(t) \cdot W_{об}(p) \quad (3)$$

для дії на реальний ТО з транспортним запізнюванням з метою усунення помилки, що виникла.

Якщо сигнал помилки $\varepsilon(t)$ аналогічним чином використовувати для формування керуючої величини, що подається на модель об'єкта без транспортного запізнювання, то на виході такої схеми буде отриманий сигнал у вигляді

$$U_2(t) = \varepsilon(t) \cdot W_0(p). \quad (4)$$

Обчислюючи різницю отриманих сигналів $U_1(t)$ і $U_2(t)$, можна одержати величину $\Delta U_{\tau}(t)$, що характеризує вплив транспортного запізнювання на формування керуючої дії:

$$\Delta U_{\tau}(t) = U_1(t) - U_2(t); \quad (5)$$

$$\Delta U_{\tau}(t) = f[\varepsilon(t) \cdot W_0(p) \cdot W_{\tau}(p) - \varepsilon(t) \cdot W_0(p)] = f[\varepsilon(t) \cdot W_{\tau}(p)]. \quad (6)$$

Якщо керуючий сигнал $U_1(t)$ подати на модель транспортного запізнювання, то вихідний сигнал такого пристрою

$$U_{\tau}(t) = U_1(t) \cdot W_{\tau}(p) \quad (7)$$

корелюватиме з величиною $\Delta U_{\tau}(t)$ і може використовуватися у схемі для компенсації транспортного запізнювання

$$\Delta U_{\tau}(t) = \frac{\varepsilon(t) \cdot W_{\tau}(p)}{U_1(t) \cdot W_{\tau}(p)} = \frac{\varepsilon(t)}{U_1(t)}; \quad (8)$$

$$\Delta U_{\tau}(t) = K, \quad (9)$$

де K - постійна величина компенсації транспортного запізнювання.

Для реалізації умови (8) при варіюванні транспортного запізнювання реального ТО необхідно коректувати параметри моделі транспортного запізнювання.

На ТО із змінюваною витратою рідини $G(t)$, що транспортується по трубопроводу довжиною L і перерізом S , прийнявши гідродинамічну модель витиснення, час транспортування рідини τ_T визначиться залежністю

$$\tau_T = \frac{SL}{G}, \quad (10)$$

що змінюється в часі.

При формуванні сигналу $\Delta U_H(t)$

$$\Delta U_H(t) = f(\tau_T) \quad (11)$$

можливе коректування транспортного запізнювання моделі об'єкта, що можна подати залежністю

$$\Delta U_{\tau}(t) = \frac{\varepsilon(t) \cdot W_{\tau}(p)}{U_1(t) \cdot \Delta U_H(t) \cdot W_{\tau}(p)} = K_k; \quad (12)$$

$$\Delta U_{\tau}(t) = f[K_k(t)], \quad (13)$$

де K_k - величина компенсації змінного транспортного запізнювання.

Передаточна функція коректованої моделі транспортного запізнювання $W_{\tau_k}(p)$ запишеться у вигляді

$$W_{\tau_k}(p) = \exp\left(-p \cdot \frac{\tau_0 - SL}{G}\right), \quad (14)$$

де τ_0 - нормоване транспортне запізнювання.

Коли прийняти, що для формування керуючих сигналів $U_1(t)$, $U_2(t)$ у схемі використовують регулятори з передавальними функціями $W_{p1}(p)$ і $W_{p2}(p)$ відповідно, можна записати передаточну функцію регулятора системи $W_c(p)$ для запропонованої схеми автоматичного керування у вигляді

$$W_c(p) = \frac{W_{o6}(p) \cdot W_{p2}(p) \cdot W_{p1}(p) \cdot W_{p2}(p) \cdot W_{o6}(p)}{1 + W_{p1}(p) \cdot W_{o6}(p) \cdot (-W_{\tau_k}(p))}, \quad (15)$$

яка отримана з умови забезпечення інваріантності вихідної ординати ТО $Y(t)$ по відношенню до збурюючих чинників.

На фіг. 1 ілюструється взаємозв'язок, змінюваної в часі витрати рідини $G=f(t)$ з процесом формування дискретних величин транспортного запізнювання $\tau=f(\tau)$ технологічного об'єкта і безпе-

первно змінної величини $\tau_T=f(t)$, використовуваної для корекції моделі транспортного запізнювання.

Результат роботи коректованої моделі транспортного запізнювання, сигнали з якої використовують в системі керування для компенсації транспортного запізнювання ТО, наведені залежністю $\Delta U_{\tau}=f(t)$ (крива 1), що відображає її взаємозв'язок з параметром $G=f(t)$ (крива 2).

Як впливає з фіг. 1, нормоване значення транспортного запізнювання τ_0 вибирається максимально можливим, виходячи з усіх допустимих режимів роботи ТО згідно з умовою:

$$\tau_0 = \frac{SL}{G_0}, \quad (16)$$

де G_0 - найменша допустима витрата рідини при реалізації технологічного процесу. Очевидно, що при вибраному τ_0 завжди дотримуватиметься умова

$$\tau_0 \geq \tau, \quad (17)$$

де τ - реальний час запізнювання об'єкта, що, в свою чергу, при настройці системи керування дозволяє виключити небажаний вплив транспортного запізнювання на стійкість об'єкта.

На фіг. 2 наведено варіант пристрою для формування дискретних сигналів часової затримки. У формувачі часової затримки сигнал $U=f(G)$ таймером t_i періодично підключається до аперіодичної ланки, реалізованої елементами $R1$, C , внаслідок чого конденсатор C заряджається. Після відключення таймера конденсатор C підключається до дільника напруги $R2$, $R3$, через який відбувається його розряд. При струмі розряду через дільник напруги на резисторі $R3$ виникає падіння напруги, відповідне високому рівню на входах логічного елемента DD . При цьому на виході елемента DD формується логічна «1». У результаті спрацювання елемента DD через загороджувальний діод VD і дільника напруги $R4$, $R5$ в керуючому пристрої формується сигнал часової затримки ΔU_{τ} . Тривалість часової затримки залежить від рівня заряду конденсатора C , який визначається часовою характеристикою аперіодичної ланки

$$U_c(t) = U_0 - \exp\left(-\frac{t}{RC}\right), \quad (18)$$

в якому величина $U_0=f(U)$ є настроювальним параметром, що визначається величиною τ_0 .

Періодичне включення формувача дискретних сигналів часової затримки реалізує величину $\Delta U_{\tau}(t)=f[G(t)]$, наведену на фіг. 1.

Даний варіант пристрою при його використанні в блоці коректування часу запізнювання моделі запізнювання технологічного об'єкта дозволяє усунути помилку вихідної ординати об'єкта $Y(t)$, пов'язаної з неадекватністю моделі транспортного запізнювання реальному технологічному об'єкту.

Відмітні ознаки є суттєвими, оскільки нова сукупність введених блоків, сигналів і зв'язків дозволяє усунути динамічну помилку, обумовлену транспортним запізнюванням, що досягається коректуванням моделі об'єкта, ідентифікована перехідна характеристика якої $h(t)$ може бути записана у вигляді

$$h(t) = k_m - \exp\left[-\frac{t - t_0 - SL/G}{T_m}\right], \quad (19)$$

де k_m , T_m - динамічні параметри моделі об'єкта,

і буде адекватна реальному об'єкту керування при змінних витратах рідини.

На фіг. 3 ілюструються залежності, що відображають формування напруги заряду конденсатора U_c при різних значеннях керуючої ординати $G(t)$; зміни рівня вхідного сигналу U_d на логічному елементі DD при розряді конденсатора C, при відповідних рівнях логічних «1» і «0»; формування сигналів $\Delta U_c(t)$ із змінними часовими затримками t_i .

На фіг. 4 зображена функціональна схема системи керування, де $Y_3(t)$ - сигнал завдання; $\varepsilon(t)$ - помилка, обумовлена відхиленням ординати $Y(t)$ від її заданого значення $Y_3(t)$; $U_1(t)$, $U_2(t)$ - керуючі сигнали регуляторів; $\Delta U_c(t)$ - коректований сигнал часової затримки.

Система керування технологічним об'єктом складається з послідовно з'єднаних вимірника розузгодження 7, першого регулятора 2, суматора 3, об'єкта керування 4, вихід якого підключений до першого входу вимірника розузгодження 1, на другий вхід якого подається сигнал завдання. До виходу вимірника розузгодження 1 підключені також послідовно з'єднані перший блок порівняння 5 і другий регулятор 6, вихід якого з'єднаний з другим входом суматора 3. До виходу суматора 3 підключені також послідовно з'єднані модель чистого запізнювання 7 об'єкта керування, другий блок порівняння 8, модель об'єкта без запізнювання 9, вихід якої підключений до другого входу першого блока порівняння 5. До другого входу другого блока порівняння 8 підключений вихід першого регулятора 2. До другого виходу об'єкта керування 4 підключені послідовно з'єднані блок контролю керуючої величини 10, блок коректування часу запізнювання 11, вихід якого підключений до другого входу моделі чистого запізнювання 7.

Система керування технологічним об'єктом працює таким чином.

У вимірнику розузгодження 1 порівнюються вихідна ордината з технологічного об'єкта $Y(t)$ з її заданим значенням $Y_3(t)$. Якщо в результаті порівняння $Y(t)$ і $Y_3(t)$ має місце різниця між ними, то формується сигнал помилки $\varepsilon(t)$, який поступає на перший регулятор 2. З виходу першого регулятора 2 керуючий сигнал $U_1(t)$ через суматор 3 подається на об'єкт керування 4 і на модель технологічного об'єкта, що складається з моделі чистого запізнювання 7 і моделі об'єкта без запізнювання 9.

Після перетворення величини $U_1(t)$ в моделі чистого запізнювання 7 вихідний сигнал з моделі чистого запізнювання в другому блоці порівняння 8 порівнюється з початковою величиною $U_1(t)$ і далі поступає на вхід моделі об'єкта без запізнювання 9. Вихідний сигнал з моделі об'єкта без запізнювання 9 подається на перший блок порівняння 5, де порівнюється з сигналом помилки $\varepsilon(t)$. Якщо чисте запізнювання і динамічні парамет-

ри моделі об'єкта не адекватні динамічним параметрам реального об'єкта керування 4, на виході першого блока порівняння 5 формується сигнал, який обробляється другим регулятором 6 і подається на другий вхід суматора 3 для коректування керуючої величини, що поступає на вхід об'єкта керування 4. Якщо як керуюча величина на ТО використовується витрата рідини, то, очевидно, що час запізнювання часто відрізнятиметься від параметра моделі чистого запізнювання 7, а компенсація транспортного запізнювання системою керування не виконуватиметься. Для коректування параметра моделі чистого запізнювання 7 в системі використовується блок контролю керуючої величини 10, вихідний сигнал з якого залежить від величини витрати рідини, використовуваної як керуючий параметр технологічного процесу в об'єкті 4. Вихідний сигнал з блока контролю керуючої величини 10 поступає на вхід блока коректування часу запізнювання 11, вихідний сигнал з якого подається на другий вхід моделі чистого запізнювання 7 для зміни параметра чистого запізнювання, забезпечуючи тим самим умову адекватності моделі чистого запізнювання 7 реальному транспортному запізнюванню об'єкта керування 4.

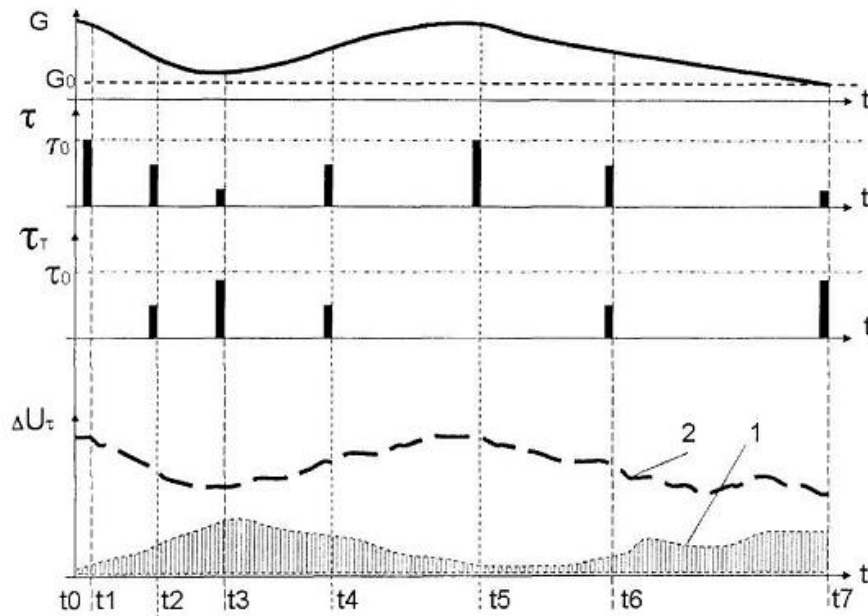
Коректування моделі чистого запізнювання дозволяє достатньо точно визначати величину компенсації транспортного запізнювання, ефективно усувати розузгодження між динамічними властивостями компонента моделі об'єкта і реальним об'єктом керування, що сприяє підвищенню якості регулювання технологічного процесу. Таким чином, в результаті досягнення адекватності компонентів моделі об'єкта керування забезпечується точніша компенсація відхилення $\varepsilon(t)$ вихідної ординати $Y(t)$ від її заданого значення $Y_3(t)$, а система залишається стійкою в широкому інтервалі зміни транспортного запізнювання і динамічних властивостей об'єкта керування.

Як об'єкт дослідження при перевірці працездатності системи керування використовувався змішувач для приготування мийного розчину, вживаний при обслуговуванні й ремонті транспорту. При регулюванні витрати технічної води транспортне запізнювання змішувача змінювалося в широких межах. Запропонована система керування в порівнянні з прототипом має переваги, що полягають в підвищенні точності ведення процесу регулювання при отриманні мийного розчину із заданою якістю. У результаті коректування чистого запізнювання моделі об'єкта, використовуваної в системі керування, досить швидко досягався нормований перебіг технологічного процесу без прояву коливань вихідної ординати технологічного об'єкта. Запропоновану систему керування можна застосовувати не тільки при автоматизації змішувачів різного призначення, але і для керування промисловими технологічними процесами із змінними динамічними властивостями і транспортним запізнюванням, варіювання яких відбувається в широких межах, а також при реалізації систем діагностування різного технологічного устаткування з поволі змінними параметрами. Система керування може бути

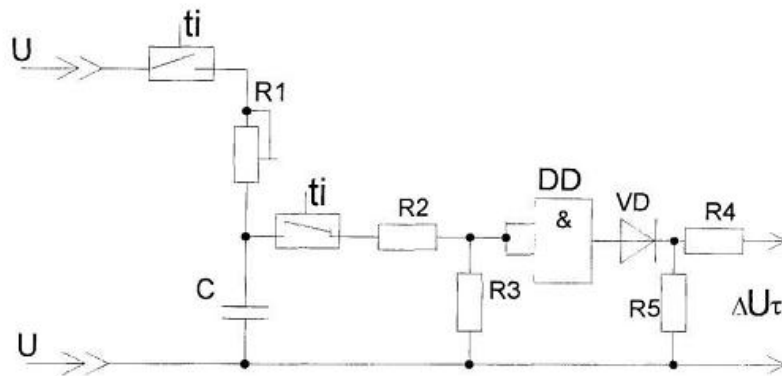
реалізована на базі серійних елементів цифрової техніки і за допомогою програмованих мікроконтролерів.

Використання запропонованої системи керування технологічним, об'єктом, в порівнянні з про-

тотипом, дозволяє при варіюванні транспортного запізнювання в широких межах на 15-20 % скоротити час регулювання і на 5-10 % зменшити величину перерегулювання.



Фиг. 1



Фиг. 2

