

В.Ф.Гамалий, С.И.Осадчий, М.В.Якорева

Исследование макета автоматизированной лазерной системы контроля малых концентраций примесей в газовых средах

Проведено исследование достоверности результатов измерения малых концентраций примесей в газах.

V.Gamaliy, S.Osadchiy, M.Yakoreva

The research prototype automated laser control system of small concentrations of impurities in the gas

A study of the reliability of the results of measurement of low concentrations of impurities in gases.

Одержано 20.03.12

УДК 622.788: 622.7.09.002

В.О. Кондратець, проф., канд. техн. наук, А.М. Мацуй, канд. техн. наук, В.О. Шалімов, доц., канд. техн. наук, О.А. Лисенко, магістр
Кіровоградський національний технічний університет

Розробка та дослідження САК струмовим режимом при вимірюванні вмісту магнітного заліза в пробах

У статті обґрунтована принципова схема і вимоги до якості системи автоматичного керування струмовим режимом приладу для вимірювання вмісту магнітного заліза у сипких здрібнених матеріалах. Показано, що її доцільно реалізувати як систему змінного струму, яка може бути побудованою з уніфікованих елементів. Визначено тип і параметри коректуючого пристрою змінного струму, який забезпечує необхідні показники якості керування.

струмовий режим, вміст магнітного заліза, коректуючий пристрій, перехідні процеси, якість керування

Зважаючи на те, що більш багата на залізо металургійна сировина ефективніше переробляється, а вміст корисного компонента в рудах все більше зменшується, виникає необхідність в збагаченні руд, які добувають як відкритим, так і підземним способом. При цьому виникає необхідність у визначенні вмісту магнітного заліза в рудах, що направляються на збагачення з кар'єрів і шахт. Така ж задача стоїть при відлагодженні та контролі за ходом технологічного процесу на магнітозбагачувальних фабриках. Відсутність ефективних засобів вимірювання вмісту магнітного заліза приводить до значного перевитрачання на транспортування, подрібнення та збагачення руд, що не відповідає вимогам законодавства України про ресурсозберігаючі технології в промисловості та основним положенням Державної науково-технічної програми "Ресурсозберігаючі технології нового покоління в гірничо-металургійному комплексі". Тема даної статті є актуальною, оскільки вона спрямована на розв'язання задачі ресурсозбереження в металургійній галузі. Матеріали даної публікації отримані в результаті виконання науково-дослідної роботи "Система комп'ютерної ідентифікації співвідношення тверде/рідке при подрібненні пісків класифікатора" (державний реєстраційний номер 0107U005470).

© В.О. Кондратець, А.М. Мацуй, В.О. Шалімов, О.А. Лисенко, 2012

Розв'язанням задачі вимірювання вмісту магнітного заліза тривалий час займаються і вітчизняні, і зарубіжні вчені. В різні роки дану задачу розв'язують А.І. Батанов, В.О. Бунько, М.А. Васютинський, А.К. Вейнберг, А.Я. Власов, С.А. Волотковський, С.К. Гребнєв, Т.І. Гуленко, А.С. Давидкович, Б.І. Кауль, Г.В. Коваленко, В.О. Кондратець, В.Г. Лисов, О.М. Марюта, І.П. Мильніков, Т. Нагата, Г.С. Нестеров, Н.А. Нестерова, В.І. Новохатько, М.А. Рочняк, А.Е. Сафонов та інші. Аналіз стану розв'язання даної задачі показав, що найбільше розповсюдження отримав прилад ВМФ – вимірювач магнітної фракції, який широко застосовують у лабораторіях гірничозбагачувальних підприємств для експрес-аналізу хвостів магнітної сепарації [1]. Однак в ньому використовують порівняно невелику масу дози матеріалу і він не забезпечує необхідної точності при зростанні вмісту магнітного заліза. Кращі результати забезпечує пристрій для визначення вмісту феромагнітного матеріалу відповідно авторському свідоцтву [2]. Він достатньо ефективно визначає вміст магнітної фракції, але в умовах тривалої роботи і коливань напруги в мережі живлення допускає значну додаткову похибку. Авторами цієї публікації запропоновано підхід ліквідації додаткової похибки, однак такі задачі у згаданих процесах ніхто не розв'язував.

Метою даної роботи є розробка та дослідження системи автоматичного керування струмовим режимом електромагнітної обмотки, що створює у пристрої для вимірювання вмісту магнітного заліза магнітне поле значної напруженості з незмінним градієнтом напруженості.

Пристрій для вимірювання вмісту магнітного заліза в пробі сипкого матеріалу [2] містить обмотку з магнітопроводом, по якій протікає постійний електричний струм, що створює в її порожнині магнітне поле значної напруженості з незмінним градієнтом. Якщо в порожнину обмотки помістити кювету з пробою, де міститься феромагнітний матеріал, то на неї буде діяти сила

$$F = k\chi PHgradH, \quad (1)$$

де k – незмінний коефіцієнт;

χ – питома магнітна сприйнятливості суміші в пробі, яка залежить від вмісту магнітного матеріалу;

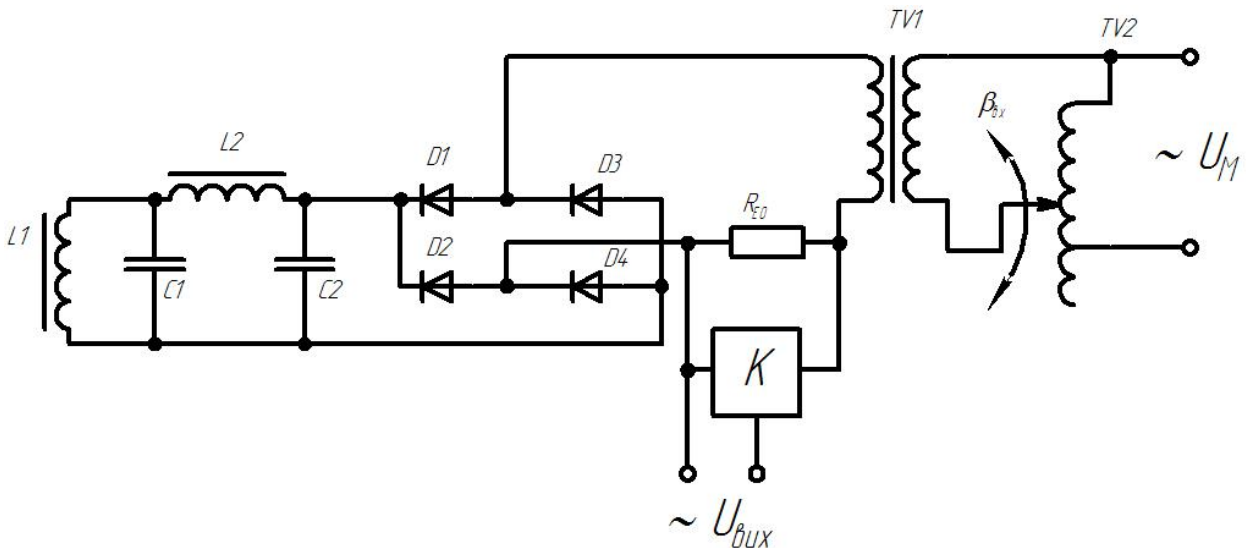
P – вага матеріалу в пробі;

H – напруженість магнітного поля в порожнині обмотки;

$gradH$ – градієнт магнітного поля, що являє собою вектор напруженості магнітного поля H , який направлений вздовж осі порожнини обмотки X і чисельно дорівнює швидкості зміни напруженості поля за цим напрямком dH/dX .

При постійній вазі проби сила, що на неї діє, буде пропорційна χ , тобто вмісту магнітного заліза. Оскільки напруженість магнітного поля H пропорційна ампер-виткам, то при відхиленні сили струму в обмотці від приписаного значення напруженість магнітного поля в її порожнині не буде залишатись незмінною, що стане результатом додаткової похибки вимірювань. Сила струму не залишається заданою в наслідок значного зростання активного опору обмотки при нагріванні та коливань напруги в мережі живлення. Використання ферорезонансного стабілізатора напруги змінного струму не дає позитивних результатів навіть при спробі зменшення впливу другого фактора, оскільки, в наслідок спотворення форми кривої при регулюванні, струм не залишається незмінним [3, 4]. Стала часу нагріву складає 55 хв., а активний опір обмотки може змінюватись в межах 0...33%. За таких умов можуть виникати значні неконтрольовані додаткові похибки вимірювання.

Позбавитись від додаткової похибки вимірювання, зменшити витрати електричної енергії, досягти миттєвої готовності пристрою до роботи можливо



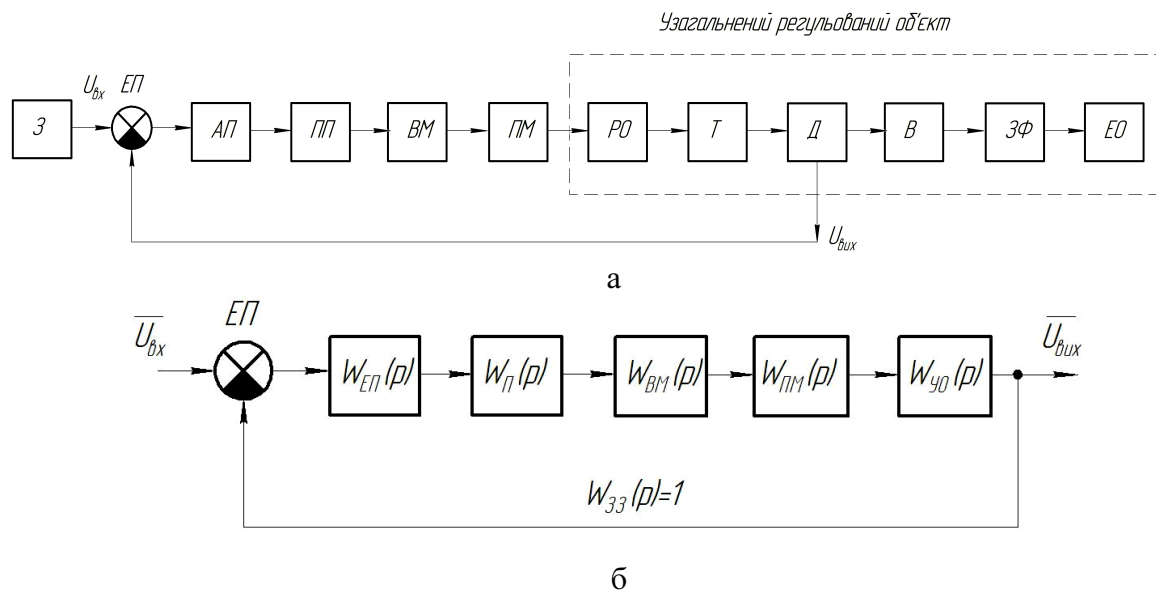
β_{ex} – вхідна величина – кут повороту рухомого контакту автотрансформатора; $U_{вих}$ – вихідна величина – змінна напруга, що відповідає силі змінного струму; R_{EO} – еталонний опір; K – підсилювач змінного струму з передаточним коефіцієнтом k

Рисунок 1 - Принципова схема узагальненого регульованого об'єкта застосування системи автоматичного керування силою струму в електромагнітній обмотці.

Аналіз показав, що узагальнений регульований об'єкт можливо подати у вигляді схеми, що зображена на рис.1. Тут $L1$ являє собою обмотку, в порожнині якої розміщують кювету з матеріалом при вимірюванні й у якій стабілізують силу постійного струму. Вихідною величиною тут є напруга змінного струму $U_{вих}$, яка створюється падінням напруги на R_{EO} з наступним її підсиленням з коефіцієнтом k при протіканні змінного струму. Змінний струм випрямляється випрямлячем $D1...D4$, фільтрується Π – подібним LC -фільтром і обтікає обмотку $L1$. Вхідною величиною є кут β_{ex} повороту рухомого контакту автотрансформатора $TV2$. Зміною положення рухомого контакту автотрансформатора можливо компенсувати будь-які відхилення сили струму в обмотці $L1$.

Особливістю даного регульованого об'єкта є те, що в ньому навантаження на об'єкт – сила струму і фізична регульована величина співпадають. Сила струму залежить від активного опору електромагнітної обмотки, який в процесі нагрівання змінюється повільно, і стрімких кидків напруги живлення. Поступова зміна активного опору електромагнітної обмотки вимагає високої статичної точності системи автоматичного керування (статична похибка повинна дорівнювати нулю), а компенсація швидкої зміни напруги живлення – високої швидкодії САК. Аналіз показує, що час регулювання системи повинен не перевищувати 0,04 с. При такій швидкодії системи в електромагнітній обмотці при коливаннях напруги живлення струм змінюватися практично не буде і не будуть виникати додаткові похибки визначення магнітної фракції в пробі. Запаси стійкості даної САК можуть знаходитися в межах вимог до систем, що працюють в промисловості.

Прийнявши принцип автоматичного регулювання за відхиленням, зобразимо функціональну схему системи автоматичного регулювання (рис.2,а), в якій узагальнений регульований об'єкт представлено регульовальним органом РО (автотрансформатор), трансформатором Т, випрямлячем В, згладжувальним фільтром Ф, електромагнітною обмоткою ЕО і датчиком вихідної величини Д (еталонний опір з підсилювачем). Автоматичний регулятор включає задавач сили струму З, елемент порівняння ЕП, амплітудний підсилювач АП, підсилювач потужності ПП, виконавчий



З – задавач; АП – амплітудний підсилювач; ПП – підсилювач потужності; ВМ – виконавчий механізм; ПМ – перетворювальний механізм; РО – регулювальний орган; Т – трансформатор; Д – датчик; В – випрямляч; ЗФ – згладжувальний фільтр; ЕО – електромагнітна обмотка; $W(p)$ – передавальні функції

Рисунок 2 - Функціональна (а) та структурна (б) схеми системи автоматичного керування струмовим режимом електромагнітної обмотки

механізм ВМ, перетворювальний механізм ПМ. Як видно з рис.2,а, зворотний зв'язок не охоплює випрямляч, згладжувальний фільтр і електромагнітну обмотку, однак у даних елементах відхилень від приписаного режиму відбуватись не може.

Розглядаючи функціональну схему САК, помічаємо, що до складу узагальненого регульованого об'єкта системи в даному його варіанті інерційні елементи не входять і він являє собою безінерційну ланку з передавальним коефіцієнтом k_0 . Тому його передавальна функція дорівнює $W_{YO}(p)=k_0$. Вихідною величиною узагальненого об'єкта є напруга змінного струму $U_{вих}$, а вхідною – кут повороту рухомого контакту автотрансформатора $\beta_{вх}$ (рис.1). У зв'язку з цим перетворювальний механізм ПМ необхідно вибрати обертового типу, а виконавчий механізм ВМ – у вигляді електродвигуна. Оскільки САК є швидкодіючою, вихідний сигнал узагальненого регульованого об'єкта $U_{вих}$ не можливо перетворювати у сигнал постійного струму. Тому САК необхідно реалізувати як систему змінного струму. В якості виконавчого механізму доцільно прийняти типовий реверсивний асинхронний електродвигун РД-09, оскільки момент на переставлення рухомого контакту автотрансформатора незначний. Функції перетворювального механізму може виконати його редуктор, у якому можливо встановити коефіцієнт редукції 15,62; 39,06; 75,56; 137. Передавальна функція перетворювального механізму $W_{PM}(p)=k_{PM}$. Реверсивний асинхронний двофазний двигун наближено можна розглядати як дві послідовно з'єднані динамічні ланки – інтегруючу та аперіодичну, якщо вихідною величиною є кут повороту ротора [5]. Його передавальна функція буде дорівнювати

$$W_{BM}(p) = \frac{k_{BM}}{p(T_{BM}p + 1)}, \quad (2)$$

де k_{BM} , T_{BM} – відповідно передавальний коефіцієнт та стала часу виконавчого механізму;

p – оператор Лапласа.

Так подають сталу часу реверсивного асинхронного двофазного електродвигуна тому, що електромагнітна стала часу (залежить від колової частоти, активного та

індуктивного опору обмотки управління) значно менша електромеханічної сталої часу T_{BM} , яка визначається моментом інерції ротора, коловою частотою обертання вала при холостому ході і номінальній напрузі управління та пусковим моментом двигуна при номінальній напрузі на обмотці управління. Електромеханічна стала часу електродвигуна РД-09 складає $T_{BM}=0,02$ с. Стала часу інтегруючої ланки в (2) $T_i=1$ с.

Виконавчий механізм приводиться в дію від підсилювача, який живить керуючі обмотки електродвигуна. Підсилювач складається з п'яти каскадів підсилення. Перші три є каскадами попереднього підсилення, четвертий – кінцевий. П'ятий каскад є вихідним, його виконано за двотактною схемою. Перші три каскади (амплітудний підсилювач) виконано на транзисторах з загальним емітером, оскільки таке ввімкнення транзистора може забезпечувати значні коефіцієнти підсилення не лише по напрузі, але і по струму. Четвертий каскад є кінцевим. Він також виконаний на транзисторі, навантаженням якого є первинна обмотка трансформатора, вторинні обмотки якого організують вхід вихідного каскаду, що містить два транзистори, ввімкнені за двотактною схемою. Регулювання коефіцієнта підсилення здійснюється змінним опором, який ввімкнено у навантаженні третього каскаду. Напряга з нього подається на вхід четвертого каскаду.

Для отримання найбільшої чутливості підсилювача необхідно, щоб фаза вихідної напруги сигналу співпадала з фазою напруги живлення. Регулювання фази вихідної напруги здійснюється підбором ємності конденсатора, що шунтує первинну обмотку трансформатора, яка є навантаженням четвертого каскаду. Підключення обмотки управління електродвигуна до підсилювача здійснюється через вихідний трансформатор, первинні обмотки якого є навантаженням вихідного каскаду. У динамічному відношенні напівпровідникові підсилювачі на частоті 50 Гц розглядаються як пропорційні динамічні ланки, тому $W_{II}(p)=k_{II}$ [6].

На вході підсилювача встановлено трансформатор, на одну з первинних обмоток якого подається змінна напруга задаючого діяння, а на іншу у протифазі – змінна напруга вихідного сигналу регульованого об'єкта. Вторинна обмотка з'єднана з входом підсилювача. Даний трансформатор реалізує функцію елемента порівняння. Задавач разом з елементом порівняння також складають підсилювальну динамічну ланку з передавальною функцією $W_{EII}(p)=k_{EII}$. У відповідності з сказаним, структурна схема САК прийме вигляд, що показано на рис. 2,б.

Передавальна функція розімкнутої системи буде дорівнювати

$$W_p(p) = W_{EII}(p) \cdot W_{II}(p) \cdot W_{BM}(p) \cdot W_{II}(p) \cdot W_{VO}(p). \quad (3)$$

З врахуванням значень передавальних функцій динамічних елементів вона прийме вигляд

$$W_p(p) = \frac{k_{EII} \cdot k_{II} \cdot k_{BM} \cdot k_{II} \cdot k_{VO}}{T_i p (T_{BM} p + 1)} = \frac{\bar{U}_{вих}}{\bar{U}_{вх}} \quad (4)$$

або

$$W_p(p) = \frac{k_p}{T_i p (T_{BM} p + 1)} = \frac{\bar{U}_{вих}}{\bar{U}_{вх}}, \quad (5)$$

де $k_p = k_{EII} \cdot k_{II} \cdot k_{BM} \cdot k_{II} \cdot k_{VO}$ - коефіцієнт підсилення розімкнутої системи.

Передавальна функція замкненої системи дорівнює

$$W_3(p) = \frac{\bar{U}_{вих}}{\bar{U}_{вх}} = \frac{k_p}{T_i p (T_{BM} p + 1) + k_p} = \frac{k_p}{T_i T_{BM} p^2 + T_i p + k_p}, \quad (6)$$

звідки рівняння динаміки замкненої системи у лапласівській формі

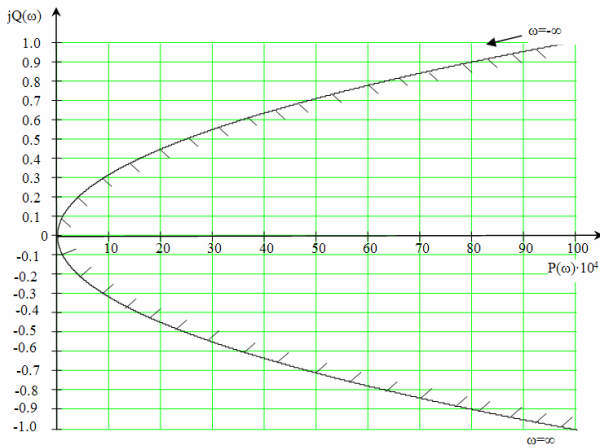
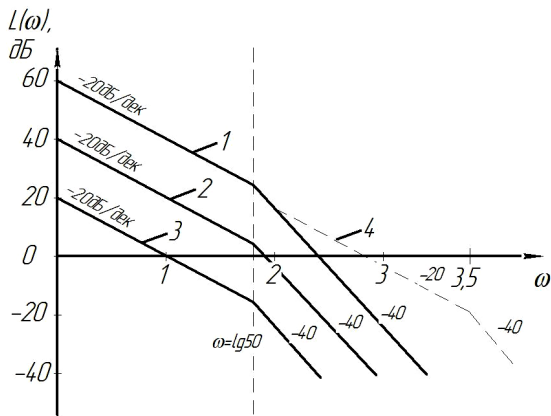
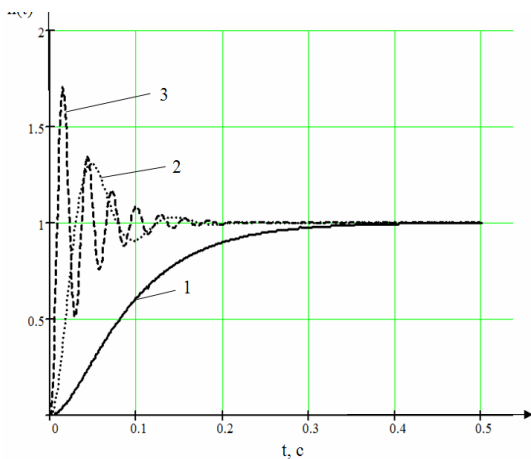


Рисунок 3 - Виділення області стійкості за коефіцієнтом підсилення розімкнутої системи



1 - $k_p=1000$; 2 - $k_p=100$; 3 - $k_p=10$; 4 - $k_p=1000$ з корекцією

Рисунок 4 - Асимптотичні логарифмічні амплітудні частотні характеристики розімкнутої системи з різними коефіцієнтами підсилення



1 - $k_p=10$; 2 - $k_p=100$; 3 - $k_p=1000$

Рисунок 5 - Перехідні характеристики САК при різних значеннях коефіцієнта підсилення розімкнутої системи регулювання, що наближено дорівнює 0,4с. З підвищенням коефіцієнта підсилення розімкнутої системи до $k_p = 100$ перехідний процес стає коливальним і скорочується

$$[T_i T_{BM} p^2 + T_i p + k_p] \bar{U}_{вих} = k_p \bar{U}_{вх}$$

САК містить інтегруючу ланку, що гарантує високу статичну точність і підтримання заданої сили струму в умовах зміни активного опору обмотки при її нагріванні. Відповідно залежностям (6) і (7) запишемо характеристичне рівняння замкнутої системи

$$T_i T_{BM} p^2 + T_i p + k_p = 0$$

Прирівнявши у (8) $p=j\omega$, отримаємо

$$k_p = T_i T_{BM} \omega^2 - j T_i \omega$$

$$\text{де } P(\omega) = T_i T_{BM} \omega^2, \quad Q(\omega) = -T_i \omega$$

- відповідно дійсна і уявна частини виразу.

Відповідно залежності (9) визначимо область стійкості за коефіцієнтом підсилення розімкнутої системи (рис.3), змінюючи ω від $-\infty$ до ∞ . З рис.3 видно, що САК буде стійкою при будь-яких значеннях коефіцієнта підсилення розімкнутої системи.

Відповідно структурній схемі САК (рис.2,б) і виразу (5) побудуємо асимптотичні логарифмічні частотні характеристики розімкнутої системи при $k_p = 10$, $k_p = 100$, $k_p = 1000$ (рис.4). З графіків рис.4 видно, що при малих коефіцієнтах підсилення розімкнутої системи середньочастотна асимптота має нахил -20дБ/дек , що відповідає оптимальній швидкодії системи [7]. При k_p більших 100, середньочастотні асимптоти мають нахил -40дБ/дек . Такі системи не відповідають оптимальній швидкодії і мають значні пере регулювання [7].

Перехідні характеристики $h(t)$, побудовані для даної САК при різних значеннях коефіцієнта підсилення k_p , показані на рис.5. З графіків рис.5 видно, що при малих коефіцієнтах підсилення розімкнутої системи k_p перехідні процеси будуть монотонними (крива 1). Вони характеризуються значним часом регулювання, що наближено дорівнює 0,4с. З підвищенням коефіцієнта підсилення розімкнутої системи до $k_p = 100$ перехідний процес стає коливальним і скорочується

час регулювання до 0,22с (крива 2). Подальше підвищення коефіцієнта підсилення до $k_p = 1000$ коливальність перехідного процесу зберігає, зростає частота коливань (крива 3), однак час регулювання не зменшується. Отже, зміною коефіцієнта підсилення в основному від 10 до 100 можливо впливати на тривалість перехідного процесу системи, змінюючи її в певних межах, однак показник якості (час регулювання) залишається значним і не відповідає пред'явленим вимогам.

Враховуючи, що в даній системі не можуть виникати високочастотні перешкоди і вони не пройдуть через електромагнітну обмотку, яка має великий індуктивний опір, та залежність часу регулювання від частоти зрізу ω_3 при коливальних перехідних процесах відповідно співвідношенню $t_p \cong (1...2) \frac{2\pi}{\omega_3}$ [7], час регулювання можливо

зменшити збільшенням частоти зрізу ω_3 . Частоту зрізу можливо збільшити корекцією системи. При цьому необхідно розмістити середньочастотну асимптоту логарифмічної амплітудної частотної характеристики праворуч (ломана 1, рис.4), одночасно надавши їй нахил -20дБ/дек для забезпечення оптимальної швидкодії системи. Тобто, необхідно отримати лому 4 на рис.4. Це можливо здійснити зміною нахилу асимптоти, наприклад при спрягаючій частоті $\omega=100\text{с}^{-1}$ в додатному напрямі. Дана операція потребує введення до чисельника передавальної функції розімкнутої системи множника (T_1p+1) при $T_1=0,01\text{с}$. Високочастотну асимптоту логарифмічної амплітудної частотної характеристики можливо провести з відносним нахилом -40дБ/дек, здійснивши спряження при частоті $\omega=3160\text{с}^{-1}$, що відповідає введенню множника (T_2p+1) до знаменника передатної функції розімкнутої системи при $T_2=0,00032\text{с}$. Таку корекцію слід здійснювати без зміни коефіцієнта підсилення розімкнутої системи. Коректуючий пристрій повинен бути змінного струму. Серед коректуючих пристроїв змінного струму [6], які не відрізняються різноманітністю, такий пристрій є. Його передавальна функція має вигляд

$$W_K(p) = k \frac{(T_1p+1)}{(T_2p+1)}, \quad (10)$$

а принципова схема зображена на рис.6 [6].

Для реалізації коректуючого пристрою за відомими для нього аналітичними залежностями і сталими часу T_1 і T_2 необхідно визначити номінальні значення – C , R , R_1 і R_2 . З залежності

$$T_2 = \frac{RC}{2} \quad (11)$$

знаходимо $RC=0,000633\text{с}$. Задаючись значенням $C=10000\text{мкФ}$, знаходимо $R=63\text{кОм}$.

З залежності

$$T_1 = T_2 \frac{R_1 + R_2}{R_2} \quad (12)$$

отримуємо співвідношення

$$R_2 = \frac{T_2}{T_1 - T_2} R_1 \quad (13)$$

або з врахуванням конкретних значень сталих часу $R_2=0,033R_1$. Задаючись значенням $R_1=100\text{кОм}$, знаходимо $R_2=3,3\text{кОм}$.

Передаточний коефіцієнт коректуючого пристрою

$$k = \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 0,032. \quad (14)$$

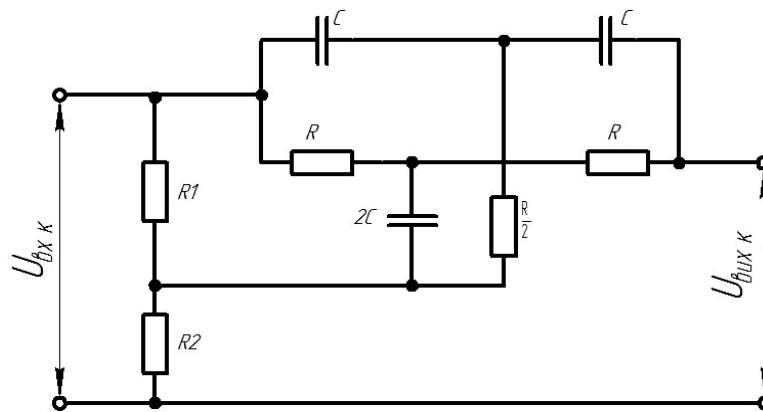
Коректуючий пристрій сильно ослаблює сигнал і має значний вихідний опір, тому перед ним необхідно встановити попередній підсилювач з коефіцієнтом передачі близько 30, а після нього – емітерний повторювач. При цьому буде вводитися корегування, а коефіцієнт підсилення розімкнутої системи змінюватися не буде.

З врахуванням коректуючого пристрою передатна функція замкнутої системи буде описуватися рівнянням

$$W_3(p) = \frac{\bar{X}_{\text{вих}}}{\bar{X}_{\text{вх}}} = \frac{k_p(T_1 p + 1)}{T_i T_{\text{БМ}} T_2 p^3 + T_i(T_2 + T_{\text{БМ}})p^2 + (T_i + k_p T_1)p + k_p}. \quad (15)$$

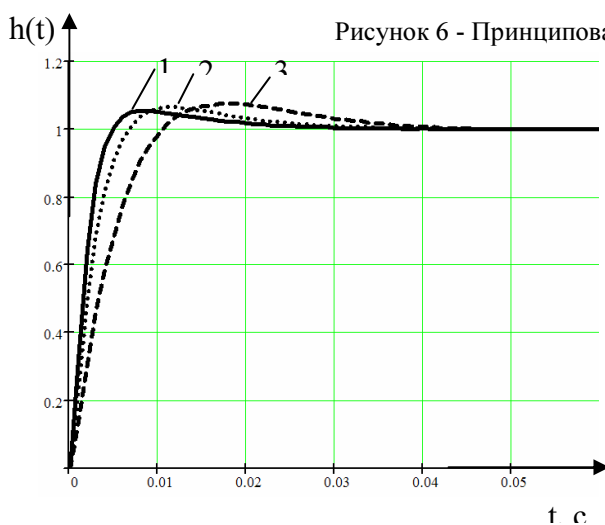
Перехідні процеси, що відповідають передатній функції (15) при різних значеннях коефіцієнта підсилення розімкнутої системи, приведені на рис.7.

З рис.7 видно, що час регулювання скоректованої системи значно зменшився і відповідає пред'явленим вимогам. Система може працювати при різних заданих значеннях коефіцієнта підсилення розімкнутої системи в межах від 400 до 1000. У скоректованої системи (рис.7) перехідні процеси аперіодичні і мають незначне перерегулювання, що не перевищує 10%. Чим більше значення коефіцієнта підсилення розімкнутої системи, тим менше перерегулювання.



$R, C, R1, R2$ – номінальні позначення опорів і ємностей

Рисунок 6 - Принципова схема коректуючого пристрою



1 – $k_p=1000$; 2 – $k_p=700$; 3 – $k_p=400$

Рисунок 7 - Перехідні характеристики скоректованої системи при різних значеннях коефіцієнта підсилення розімкнутої

Аналіз логарифмічних частотних характеристик розімкнутої скоректованої системи показує, що її запаси стійкості складають в розглянутому діапазоні зміни коефіцієнта підсилення не менше 100° і 100дБ, що дозволяє її надійно експлуатувати в промислових умовах.

Отже, дослідження розробленої системи автоматичного керування струмовим режимом електромагнітної обмотки при вимірюванні вмісту магнітного заліза в пробах сипкого матеріалу довели можливість створення такої САК. Вона має високу статичну точність, аперіодичний перехідний процес, час регулювання, що не перевищує 0,04с, максимальне відносне

перерегулювання до 10% і запаси стійкості за модулем більше 100дБ та фазою більше 100°. Це дозволяє надійно використовувати її в промислових умовах і значно підвищити точність вимірювання вмісту магнітного заліза в сипких подрібнених матеріалах.

На підставі проведених досліджень відкривається перспектива розробки такої системи автоматичного керування і значного підвищення точності вимірювання магнетиту в здрібнених матеріалах збагачувальних і дробильних фабрик, кар'єрів і шахт. Дану САК можливо виготовляти в умовах підприємств, що спрощує використання удосконалених пристроїв для вимірювання вмісту магнетиту в рудах і проміжних продуктах збагачувальних фабрик.

Список літератури

1. Прибор для экспресс-анализа хвостов обогатительных фабрик / М.Т. Азаренко, Б.И. Кауль, А.Ф. Лепеха [и др.] // Автоматика и приборостроение.- 1965.- №3.- С.12-15.
2. А.с. 327398 СССР, МКИ G 01 n 15/00. Устройство для определения содержания ферромагнитного материала / В.И. Новохатько, Т.И. Гуленко, В.А. Кондратец, В.Г. Лысов (СССР). – №1338190/26-25; заявл. 10.06.69; опубл. 26.01.72, Бюл. № 5.
3. Основы электроизмерительной техники / [Левин М.И., Прытков В.Т., Демидова-Панферова Р.М., Кутяшова Е.М.]; под ред. М.И. Левина.- М.: Энергия, 1972.- 544с.
4. Бриндли К. Электронные контрольно-измерительные приборы / Бриндли К.; пер. с англ. Ю.Ф. Архипцева; под ред. А.П. Фомина.- М.: Энергоатомиздат, 1989.- 128с.
5. Автоматика и автоматизация мобильных сельскохозяйственных машин / [Носов Г.Р., Кондратец В.А., Сакало Л.Г., Серeda Л.И.]- К.: Вища школа, 1984.- 248с.
6. Танатар А.И. Элементы промышленной автоматики и их динамические свойства / Танатар А.И.- К.: Техніка, 1975.- 232с.
7. Попович М.Г. Теорія автоматичного керування: [підруч. [для студ. вищ. техн. закл. освіти] /М.Г. Попович, О.В. Ковальчук.- К.: Либідь, 1997.- 544с.

В. Кондратец, А. Мацуї, В. Шалимов, О. Лысенко

Разработка и исследование САУ токовым режимом при измерении содержания магнитного железа в пробах

В статье обоснована принципиальная схема и требования к качеству системы автоматического управления токовым режимом прибора для измерения содержания магнитного железа в сыпучих дробленых материалах. Показано, что её целесообразно реализовать как систему переменного тока, которая может быть построена на унифицированных элементах. Определен тип и параметры корректирующего устройства переменного тока, которое обеспечивает необходимые показатели качества управления.

V. Kondratets, A. Macuy, V. Shalimov, O. Lysenko

Development and research of SAC by the current mode at measuring of maintenance of magnetic iron in tests

In the article an of principle chart is grounded and requirement to quality of the system of automatic control the current mode of device for measuring of maintenance of magnetic iron in the friable shredded materials. It is rotined that it is expedient to realize it as a system of alternating current, which can be built from compatible elements. A type and parameters of correcting device of alternating current, which provides the necessary indexes of management quality, is certain.

Одержано 20.01.12