

УДК 621.373 – 187.4

СИНТЕЗ ГАРМОНІЙНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА ІНДУКТИВНОСТІ ДАВАЧА МАГНЕТИТУ НА ОСНОВІ КОМБІНОВАНОЇ ОПЕРАЦІЙНОЇ СХЕМИ

М.І. Твердоступ

кандидат технічних наук, доцент кафедри електронних обчислювальних машин, Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, м. Дніпро, Україна, e-mail: tven72@ukr.net

Анотація. На основі узагальненої моделі перетворювачів імпедансу синтезовано F-метричний перетворювач індуктивності давача магнетиту в частоту гармонійних коливань, для якого немає принципового обмеження чутливості до варіації індуктивності.

Ключові слова: синтез, індуктивний давач, магнетит, перетворювач імпедансу, операційна схема, зворотний зв'язок, F-метр.

SYNTHESIS OF HARMONY CONVERTER OF INDUCTIVITY MAGNETITE BASED ON THE COMBINED OPERATING SCHEME

Mikola Tverdostup

Ph.D., associate professor of department of electronic calculable machines, Oles Gonchar Dnipro National University, Dnipro, Ukraine, e-mail: tven72@ukr.net

Abstract. Based on the generalized model, the impedance converters are synthesized F-metric converter of inductance of the magnetite sensor to the frequency of harmonic oscillations, for which there is no fundamental limitation of the sensitivity to the variation of the inductance.

Keywords: synthesis, inductive sensor, magnet, impedance converter, operating circuit, feedback, F-meter.

Вступ. Актуальною задачею є створення надійних вимірювальних пристроїв для контролю якості залізорудної сировини за її магнітною проникністю. Для вирішення цієї задачі використовують метод F-метра, який надає можливість досить просто перетворити реактанс індуктивного давача магнетиту в частоту гармонійних коливань[1]. Метод F-метра також надзвичайно зручний для узгодження з комп'ютерними пристроями обробки інформації, проте його суттєвим недоліком є невелика чутливість до контролюваного параметру, що обмежує використання методу для контролю слабомагнітної сировини (залізорудна пульпа, "хвости"). Це викликає необхідність створення засобів для підвищення чутливості контролю методом F-метра. Перспективними для вирішення цієї задачі є перетворювачі імпе-

дансу[2], розробка яких, з урахуванням вимог конкретного завдання, істотно спрощується при наявності їх базової моделі. В [3] наведена узагальнена модель перетворювачів імпедансу, яку доцільно використати в якості базової для синтезу F -метричного перетворювача індуктивного імпедансу.

Мета роботи. Метою роботи є визначення можливостей використання узагальненої моделі перетворювачів імпедансу для синтезу гармонійного перетворювача індуктивності давача для контролю вмісту магнетиту.

Матеріали і результати дослідження. Синтез гармонійного перетворювача індуктивного імпедансу проведемо на основі узагальненої моделі перетворювачів імпедансу [3], яка надана у вигляді операційного підсилювача з комбінованим зворотним зв'язком (рис.1). Така лінійна комбінована операційна схема (ЛКОС) має функціонально повний набір вхідних імпедансів у вигляді

$$Z_{\text{вх1}} = (Z_1 \llbracket - Z \rrbracket_2 Z_3 / Z_4) / (1 - n), \quad (1)$$

$$(Z)_{\text{вх2}} = (Z_3 \llbracket - Z \rrbracket_1 Z_4 / Z_2) / (1 - l), \quad (2)$$

$$Z_{\text{вх3}} = (Z_2 \llbracket - Z \rrbracket_1 Z_4 / Z_3) / (1 - k), \quad (3)$$

$$Z_{\text{вх4}} = (Z_4 \llbracket - Z \rrbracket_2 Z_3 / Z_1) / (1 - p), \quad (4)$$

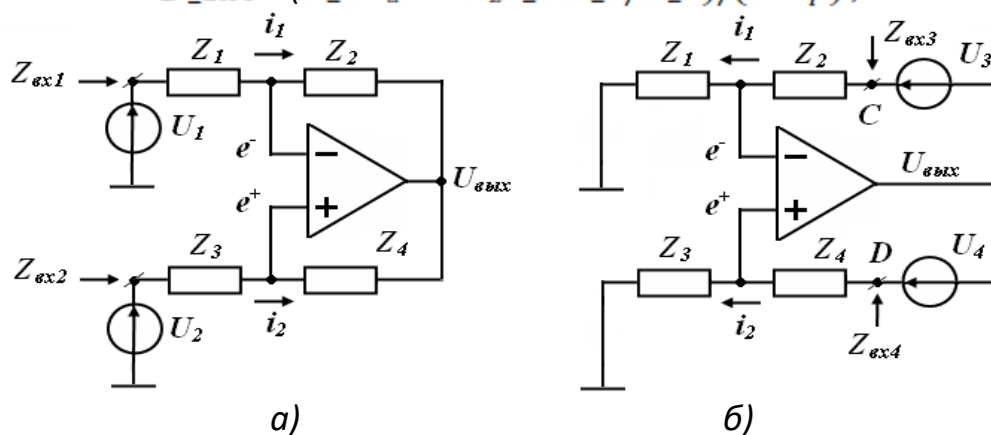


Рисунок 1 – Лінійна комбінована операційна схема (ЛКОС) з заземленими (а) і зваженими (б) джерелами напруги збудження

де Z_1, Z_2, Z_3, Z_4 – лінійні імпеданси довільного характеру, U_1, U_2, U_3, U_4 – джерела напруги збудження, $n = U_2/U_1$, $l = U_1/U_2$, $k = U_4/U_3$, $p = U_3/U_4$. Величини і знаки складових вхідного імпедансу визначаються амплітудними і фазовими співвідношеннями між напругами джерел збудження.

Для імпедансу $Z_{\text{вх1}}$ при синфазних напругах U_1 і U_2 $n > 0$. Вибравши $Z_1 = 0$ і $0 < n < 1$ отримуємо, що $Z_{\text{вх1}} = \llbracket - Z \rrbracket_2 Z_3 / Z_4 / (1 - n)$. Звідси випливає, що ЛКОС перетворює імпеданси Z_2 і Z_3 змінюючи їх величини і знаки, тобто виконує функцію конвертора негативного імпедансу (КНІ). Імпеданс Z_4 схема перетворює змінюючи його величину, знак і характер, отже, відносно Z_4 ЛКОС є інвертором негативного імпедансу (ІНІ). Якщо $Z_1 = 0$ і $n >$

1 вхідний імпеданс ЛКОС позитивний $Z_{ex1} > 0$, в цьому випадку схема перетворює імпеданси Z_2, Z_3 із зміною їх величин і збереженням знаків, тобто виконує функцію конвертора позитивного імпедансу (КПІ). Імпеданс Z_4 перетворюється із зміною характеру величини і збереженням знаку, тобто відносно Z_4 ЛКОС є інвертором позитивного імпедансу (ІПІ).

При $Z_1 \neq 0, Z_4 = \infty$ (або $Z_2 = Z_3 = 0$) і $0 < n < 1$ вхідний імпеданс дорівнює $Z_{vx1} = Z_1 / (1 - n)$, отже, щодо Z_1 ЛКОС є КПІ з коефіцієнтом передачі, що залежить від значення n . У разі $n > 1$ вхідний імпеданс стає негативним

$Z_{ex1} < 0$ і схема перетворюється в КНІ.

Подібний аналіз вхідних імпедансів $Z_{vx2}, Z_{vx3}, Z_{vx4}$ дає результати, аналогічні попереднім, що вказує на можливість синтезу різноманітних перетворювачів імпедансу, заснованих на узагальненій моделі у вигляді ЛКОС.

Розглянемо синтез на основі ЛКОС F -метричного перетворювача індуктивності давача, який використовують для контролю вмісту магнетиту в залізорудній сировині при визначенні її якості.

Вимірювальний генератор F -метричного перетворювача (рис. 2) створюємо на основі ЛКОС, у якої вхідний імпеданс згідно (1) дорівнює

$$Z'_{vx} = (Z'_1 [-R]_2 R_3 / Z'_4) / (1 - n), \quad (5)$$

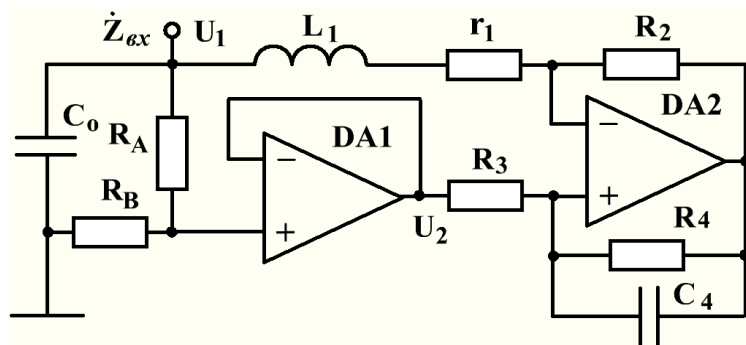


Рисунок 2 – Вимірювальний генератор F -метричного перетворювача індуктивності давача L_1

де $Z_1 = r_1 + j\omega L_1$ – комплексний імпеданс давача з індуктивністю L_1 і активним опором r_1 ; R_2, R_3 – активні опори кола комбінованого оберненого зв'язку підсилювача DA2; $Z_4 = R_4 / (1 + j\omega C_4 R_4)$ – комплексний імпеданс паралельно з'єднаних опору R_4 і ємності C_4 . Повторювач на підсилювачі DA1 з резистивним дільником R_A, R_B є джерелом напруги збудження U_2 , синфазного джерела напруги U_1 на вході ЛКОС. Відношення n для цього

випадку має вигляд $n = R_B / ((R_A + R_B).)$ При таких умовах вхідний імпеданс ЛКОС дорівнює

$$Z_{ВХ} = (1 + R_B/R_A)(r_1 + j\omega L_1 - R_2 R_3/R_4 - j\omega C_4 R_2 R_3). \quad (6)$$

Із (6) випливають вирази активної $r_{ВХ}$ та індуктивної $L_{ВХ}$ складових вхідного імпедансу $Z_{ВХ}$

$$r_{ВХ} = (1 + R_B/R_A)(r_1 - R_2 R_3/R_4), \quad (7)$$

$$L_{ВХ} = (1 + R_B/R_A)(L_1 - C_4 R_2 R_3), \quad (8)$$

які вказують, що індуктивність L_1 і активний опір r_1 давача магнетиту перетворюються у вхідну індуктивність $L_{ВХ}$ і опір $r_{ВХ}$ з коефіцієнтом помноження $m = (1 + R_B/R_A)$. Із (7) випливає, що множення опору r_1 супроводжується його компенсацією від'ємною активною складовою вхідного імпедансу ЛКОС, яка дорівнює $R_{(-)} = -R_2 R_3/R_4$, причому при $R_{(-)} \rightarrow r_1$ вхідний опір $r_{ВХ} \rightarrow 0$, що вказує на можливість істотного підвищення добротності вхідної індуктивності. Із (8) випливає, що множення індуктивності L_1 на коефіцієнт m відбувається одночасно із зменшенням її значення на величину $C_4 R_2 R_3$, яку надалі будемо називати компенсуючою індуктивністю L_K .

Припустимо, що під впливом магнітної проникності руди з певним вмістом магнетиту індуктивність давача L_1 змінюється на величину ΔL_1 , тоді вхідна індуктивність ЛКОС стає рівною

$$L_{ВХ} + \Delta L_{ВХ} = m(L_1 + \Delta L_1 - L_K). \quad (9)$$

Із (8) і (9) випливає, що абсолютне та відносне збільшення вхідної індуктивності складають $\Delta L_{ВХ} = m\Delta L_1$ та $\Delta L_{ВХ}/L_{ВХ} = \Delta L_1/(L_1 - L_K)$, причому, при $L_K \rightarrow L_1$ $\Delta L_{ВХ}/L_{ВХ} \rightarrow \infty$. Видно, що абсолютне збільшення $\Delta L_{ВХ}$ визначається коефіцієнтом помноження m , а відносне $\Delta L_{ВХ}/L_{ВХ}$ – величиною компенсуючої індуктивності L_K . Це показує, що в ЛКОС реалізуються масштабування індуктивності давача і управління величиною чутливості до вимірюваного параметру.

До входу ЛКОС підключена ємність C_0 , яка сумісно із вхідною індуктивністю $L_{ВХ}$ утворюють коливальний контур. Із (7) виходить, що при виконанні умови $r_1 < R_2 R_3/R_4$ в контурі присутня негативна активна складова вхідного опору ЛКОС, яка компенсує активні втрати в контурі і забезпечує стаціонарні гармонійні коливання на резонансній частоті

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{m(L_1 - L_K)C_0}}. \quad (10)$$

При зміні величини індуктивності L_1 давача в залежності від вмісту магнетиту приріст частоти складає

$$\Delta f = \frac{df}{dL_{BX}} \Delta L_{BX} = - \frac{1}{4\pi\sqrt{m(L_1 - L_K)C_0}} \cdot \frac{\Delta L_1}{(L_1 - L_K)}. \quad (11)$$

Із (11) видно, що приріст частоти істотно збільшується при $L_K \rightarrow L_1$. Це обґрунтовує можливість суттєвого підвищення чутливості F -метра на основі ЛКОС до зміни індуктивності L_1 давача вмісту магнетиту.

Експериментальна перевірка виразу (11) проведена на вимірювальному генераторі (рис. 2), який було зібрано на операційних підсилювачах ICL7650 з індуктивністю $L_1 = 21$ мГн, ємністю $C_0 = 1,106$ мкФ і початковою частотою коливань 460 Гц. На рис. 3 показані експериментальні залежності модуля збільшення частоти Δf генератора від збільшення індуктивності ΔL_1

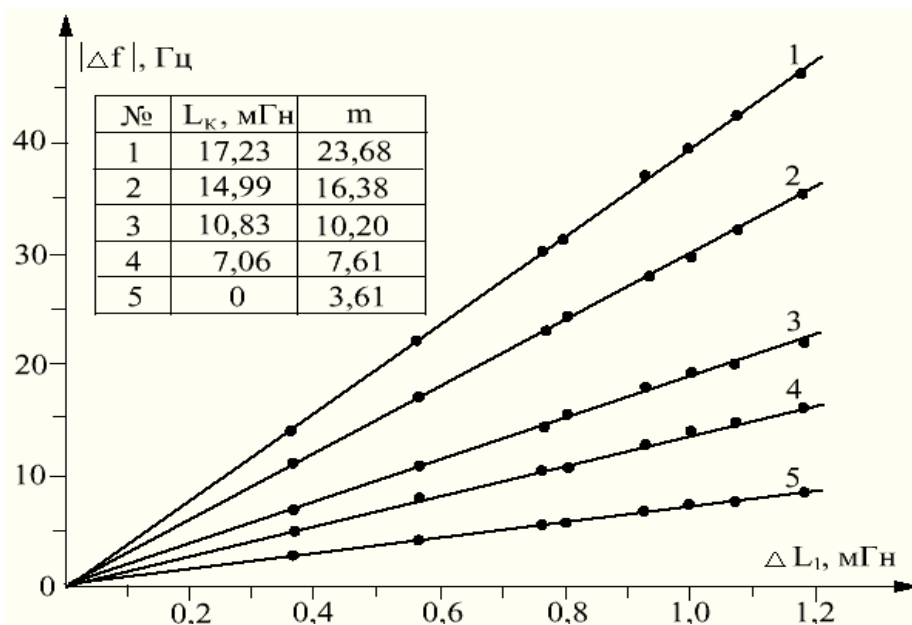


Рисунок 3 – Збільшення частоти Δf генератора як функція збільшення індуктивності ΔL_1 давача вмісту магнетиту

давача вмісту магнетиту при варіації значень компенсуючої індуктивності L_K від 0 до 17,23 мГн. Видно, що при значенні $L_K = 0$ (залежність 5) чутливість до ΔL_1 мінімальна і становить 7,5 Гц/мГн, при збільшенні зна-

чення L_k чутливість зростає, причому при $L_k=17,23$ мГн (залежність 1) чутливість збільшується в п'ять разів до 39,2 Гц/мГн. Це підтверджує, що величиною компенсуючої індуктивності L_k можна управляти чутливістю вимірювального генератора в межах виконання умови $L_1 - L_k > 0$. Розрахункова залежність (11) досить добре узгоджується з експериментальними даними, відмінність не перевищує 5%.

Висновки. В результаті проведеного дослідження встановлене наступне:

- синтез на основі лінійної комбінованої операційної схеми дозволив створити вимірювальний пристрій у вигляді F -метра, у якого, на відміну від традиційного методу, немає принципового обмеження чутливості до вимірюваного параметру, причому, чутливістю можна керувати шляхом зміни коефіцієнта помноження та величини компенсуючої індуктивності;
- узагальнена модель перетворювачів імпедансу у вигляді ЛКОС може використовуватися в якості базової схеми для синтезу гармонійних перетворювачів індуктивного імпедансу;
- синтезована на основі перетворювачів імпедансу схема F -метра завдяки високій чутливості є перспективною для побудови пристроїв контролю якості залізорудної сировини, особливо з малим вмістом магнетиту.

ЛІТЕРАТУРА

1. Марюта, А.Н. Контроль качества железорудного сырья [Текст] / А.Н. Марюта, И.К. Младецкий, П.А. Новицкий. – К.: Техніка, 1976. – 220 с.
2. Филановский, И.М. Схемы с преобразователями сопротивления [Текст] / И.М. Филановский, А. Ю. Персианов, В.К. Рыбин – Л.: Энергия, 1973. – 192 с.
3. Твердоступ, Н.И. Обобщенная модель преобразователей импеданса [Текст] / Н.И. Твердоступ // Вісник Дніпропетр. ун-ту. Фізика. Радіоелектроніка. – 2010. – Вип. 17, №2. – С. 103 - 108.

UDC 539.3 / 6

ELABORATION OF A METHODOLOGY OF POWER CALCULATIONS OF FLAT FRAMES UNDER CONDITIONS OF FORCED OSCILLATIONS

Yu.S. Kholodniak¹, S.V. Kaporovych², Ye.D. Korotenko³

¹ Ph.D., Associate Professor of Technical Mechanics Department, Head of Technical Mechanics Department, e-mail: texmex@dgma.donetsk.ua, holodhjak.yuri@gmail.com

² Ph.D., Senior Lecturer of Technical Mechanics Department, e-mail: kaporovych@gmail.com

³ Ph.D., Head of Language Training Department, e-mail: yevgendk@gmail.com

^{1, 2, 3} Donbass State Engineering Academy, Kramatorsk, Ukraine

