

3. Зорев Н.Н. Вопросы механики процесса резания металлов. – М., Машгиз. - 1956. – 367 с.
4. Грановский Г.И., Грановский В.Г. Резание металлов. Высшая школа. – 1985. – 304 с.
5. НПАОП 0.00-1.01-07. Правила будови і безпечної експлуатації вантажопідійомних кранів. Державний комітет України з промислової безпеки, охорони праці та гірничого нагляду. – Держгірпром нагляд. – 2007. - №132. – 191 с.

УДК 621.373 – 187.4

## О ПОВЫШЕНИИ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ F-МЕТРА ДЛЯ УСТРОЙСТВ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ЖЕЛЕЗОРУДНОГО СЫРЬЯ

**Н.И. Твердоступ**

кандидат технических наук, доцент кафедры электронных вычислительных машин, Днепропетровский национальный университет имени Олеся Гончара, г. Днепропетровск, Украина, e-mail: [tnik72@mail.ru](mailto:tnik72@mail.ru)

**Аннотация.** Определены условия повышения чувствительности к изменению индуктивности параметрического датчика магнетита, включенного в резонансный контур измерительного генератора F-метра на основе линейной комбинированной операционной схемы.

**Ключевые слова:** индуктивность, сопротивление, импеданс, датчик, генератор, комбинированная операционная схема, приращение частоты, компенсация, чувствительность, F-метр, магнетит.

## ABOUT SENSITISATION F-METER FOR DEVICES OF CONTROL OF QUALITY OF IRON-ORE RAW MATERIAL

**Nikolay Tverdostup**

Ph.D., associate professor of department of electronic calculable machines, the Dnepropetrovsk national university of the name Olesya Gonchara, Dnepropetrovsk, Ukraine, e-mail: [tnik72@mail.ru](mailto:tnik72@mail.ru)

**Abstract.** The terms of sensitization are certain to the change of inductance of self-reactance sensor of the magnetite plugged in the resonant contour of measuring generator of F-meter on the basis of the linear combined operating chart.

**Keywords:** inductance, resistance, impedance, sensor, generator, combined operating chart, increase of frequency, indemnification, sensitiveness, F-meter, magnetite.

**Введение.** В устройствах экспрессного контроля качества железорудного сырья широко используют метод F-метра, позволяющий до-

вольно просто преобразовывать реактанс датчика магнетита в частоту гармонических колебаний [1]. Недостатком метода является его ограниченная чувствительность к контролируемому параметру. Это ограничивает использование метода для контроля слабомагнитного сырья (железорудная пульпа, "хвосты"). Поэтому актуальным является создание средств, позволяющих увеличить чувствительность контроля методом F-метра.

В работах [2, 3] заложены основы синтеза преобразователей импеданса на операционных усилителях. Выводы из [4] указывают на целесообразность использования операционных схем с комбинированной обратной связью для создания измерительного генератора F-метра с управляемой чувствительностью.

**Цель работы.** Целью работы является разработка F-метра с повышенной чувствительностью к изменению индуктивности параметрического датчика магнетита.

**Материалы и результаты исследований.** Измерительный генератор на основе линейной комбинированной операционной схемы (ЛКОС) показан на рис. 1. В линейной комбинированной операционной схеме с индуктивным импедансом в цепи отрицательной обратной связи характерным является наличие комбинированной обратной связи, а также то, что внешние сигналы возбуждения  $U_1$  и  $U_2$  поступают синфазно на оба входа операционного усилителя DA2. Из [4] следует, что входной импеданс ЛКОС равен

$$\dot{Z}_{\text{вх}} = (\dot{Z}_1 - R_2 R_3 / \dot{Z}_4) / (1 - n), \quad (1)$$

где  $\dot{Z}_1 = r_1 + j\omega L_1$  – комплексный импеданс индуктивности  $L_1$  с активным сопротивлением  $r_1$ ;  $R_2, R_3$  – активные сопротивления цепи комбинированной обратной связи усилителя DA2;  $\dot{Z}_4 = R_4 / (1 + j\omega C_4 R_4)$  – комплексный

импеданс параллельно соединенных сопротивления  $R_4$  и емкости  $C_4$ ;

$n = U_2 / U_1$ ,  $U_1$  и  $U_2$  – напряжения сигналов возбуждения. Повторитель на усилителе DA1 с резистивным делителем  $R_A, R_B$  представляет собой источник напряжения возбуждения  $U_2$ , синфазного входному напряжению  $U_1$ .  
Отношение

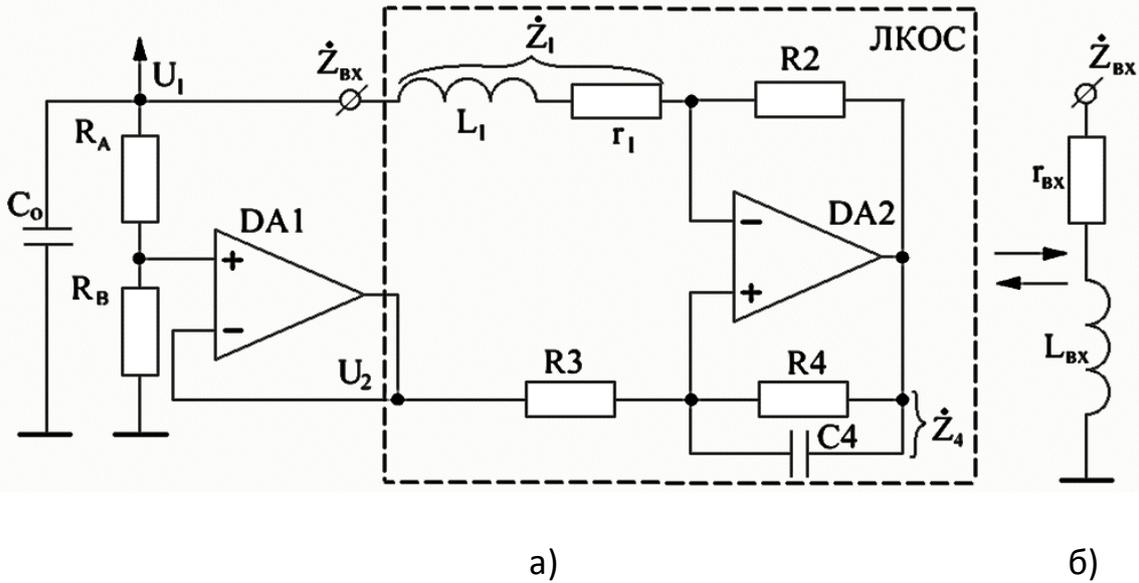


Рисунок 1 – Измерительный генератор на основе ЛКОС (а); эквивалентное представление ЛКОС (б)

$n$  напряжений возбуждения можно представить через отношение сопротивлений делителя в виде

$$n = R_B / (R_A + R_B), \quad (2)$$

тогда входной импеданс  $\dot{Z}_{BX}$ , выраженный через параметры схемы, будет

$$\dot{Z}_{BX} = (1 + R_B/R_A)(r_1 + j\omega L_1 - R_2 R_3 / R_4 - j\omega C_4 R_2 R_3). \quad (3)$$

Справедливо также, что  $\dot{Z}_{BX}$ , представленный через входные параметры, равен

$$\dot{Z}_{BX} = r_{BX} + j\omega L_{BX} \quad (4)$$

где  $r_{BX}, L_{BX}$  – входные активное сопротивление и индуктивность. Тогда из (3) и (4) следуют выражения активной и индуктивной составляющих входного импеданса

$$r_{BX} = (1 + R_B/R_A)(r_1 - R_2 R_3 / R_4), \quad (5)$$

$$L_{BX} = (1 + R_B/R_A)(L_1 - C_4 R_2 R_3), \quad (6)$$

показывающие, что в настоящей схеме индуктивность  $L_1$  с активным сопротивлением  $r_1$  преобразуются во входные индуктивность  $L_{BX}$  и сопротивление  $r_{BX}$  с коэффициентом умножения равным

$$m = (1 + R_B/R_A), \quad (7)$$

который, при  $R_B \gg R_A$ , может принимать большие значения. Из (5) следует, что умножение активного сопротивления  $r_1$  сопровождается его компенсацией отрицательной активной составляющей входного импеданса ЛКОС равной

$$R_{(-)} = -R_2 R_3 / R_4, \quad (8)$$

при  $|R_{(-)}| \rightarrow r_1$  входное сопротивление  $r_{\text{вх}} \rightarrow 0$ , что указывает на возможность существенного повышения добротности индуктивности.

Из (6) следует, что умножение индуктивности  $L_1$  на коэффициент  $m$  происходит одновременно с уменьшением ее начального значения на величину  $C_4 R_2 R_3$ , которую будем называть компенсирующей индуктивностью  $L_K$ . Выражение (6) представим в виде

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

Допустим, что под воздействием контролируемого параметра индуктивность датчика  $L_1$  изменится на величину  $\Delta L_1$ , тогда входная индуктивность ЛКОС становится

$$L_{\text{ВХ}} + \Delta L_{\text{ВХ}} = m(L_1 + \Delta L_1 - L_K). \quad (10)$$

Из (9), (10) следует, что абсолютное и относительное приращения входной индуктивности составляют

$$\Delta L_{\text{ВХ}} = m \Delta L_1, \quad (11)$$

$$\Delta L_{\text{ВХ}} / L_{\text{ВХ}} = \Delta L_1 / (L_1 - L_K), \quad (12)$$

причем, при  $L_K \rightarrow L_1$   $\Delta L_{\text{ВХ}} / L_{\text{ВХ}} \rightarrow \infty$ . Видно, что абсолютное приращение входной индуктивности определяется коэффициентом умножения  $m$ , а относительное приращение – величиной компенсирующей индуктивности  $L_K$ . Это показывает, что в ЛКОС возможно масштабирование индуктивности датчика с управлением величины чувствительности к контролируемому параметру.

К входу ЛКОС подключена емкость  $C_0$ , которая с входной индуктивностью  $L_{\text{ВХ}}$  образует колебательный контур с резонансной частотой

$$f = \frac{1}{2\pi \sqrt{L_{\text{ВХ}} C_0}}. \quad (13)$$

Из (5) следует, что при выполнении условия  $r_1 < R_2 R_3 / R_4$  в контуре присутствует отрицательная активная составляющая входного сопротивления

ЛКОС, компенсирующая активные потери в контуре и обеспечивающая стационарные гармонические колебания на резонансной частоте (13), которая с учетом (9) имеет вид

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{m(L_1 - L_K)C_0}}. \quad (14)$$

При изменении индуктивности датчика  $L_1$  приращение частоты  $\Delta f$  можно определить в виде

$$\Delta f = \frac{df}{dL_{\text{BX}}} \Delta L_{\text{BX}} = - \frac{\Delta L_{\text{BX}}}{4\pi\sqrt{L_{\text{BX}}^3 C_0}} = - \frac{1}{4\pi\sqrt{m(L_1 - L_K)C_0}} \cdot \frac{\Delta L_1}{(L_1 - L_K)}. \quad (15)$$

Из (15) видно, что приращение частоты существенно увеличивается при  $L_K \rightarrow L_1$ . Последнее обосновывает возможность повышения чувствительности  $F$ -метра на основе ЛКОС к изменению индуктивности  $L_1$  параметрического датчика.

Экспериментальная проверка выражения (15) была проведена на измерительном генераторе (рис.1), собранном на операционных усилителях ICL7650 с индуктивностью  $L_1 = 21$  мГн, емкостью  $C_0 = 1,106$  мкФ и начальной частотой колебаний 460 Гц. На рис. 2 показаны экспериментальные зависимости модуля приращения частоты  $\Delta f$  измерительного генератора от приращения индуктивности  $\Delta L_1$  параметрического датчика магнетита при вариации значений компенсирующей индуктивности  $L_K$  от 0 до 17,23 мГн.

Экспериментальные данные показывают, что зависимости  $\Delta f(\Delta L_1)$  линейны; без компенсирующей индуктивности  $L_K = 0$  (зависимость 5) чувствительность к  $\Delta L_1$  минимальная и составляет 7,5 Гц/мГн, при увеличении значения компенсирующей индуктивности чувствительность возрастает (зависимости 1 – 4), так при  $L_K = 17,23$  мГн (зависимость 1) чувствительность увеличивается в пять раз до 39,2 Гц/мГн. Это подтверждает, что величиной компенсирующей индуктивности  $L_K$ , относительно начальной индуктивности датчика  $L_1$ , можно управлять чувствительностью измерительного генератора в пределах, при которых выполняется условие  $L_1 - L_K > 0$ . Экспериментальные данные достаточно хорошо согласуются с расчетными (15), отличие не превышает 5%.

**Выводы.** Проведенные исследования измерительного генератора на основе линейной комбинированной операционной схемы показали следующее:

- компенсация начальной индуктивности датчика с одновременным умножением ее приращения позволяют изменять приращение частоты колебаний генератора;
- чувствительность изменения частоты генератора существенно определяется величиной компенсирующей индуктивности;
- использование измерительного генератора на основе линейной комбинированной операционной схемы позволяет повысить чувствительность  $F$ -метра к изменению индуктивности параметрического датчика магнетита.

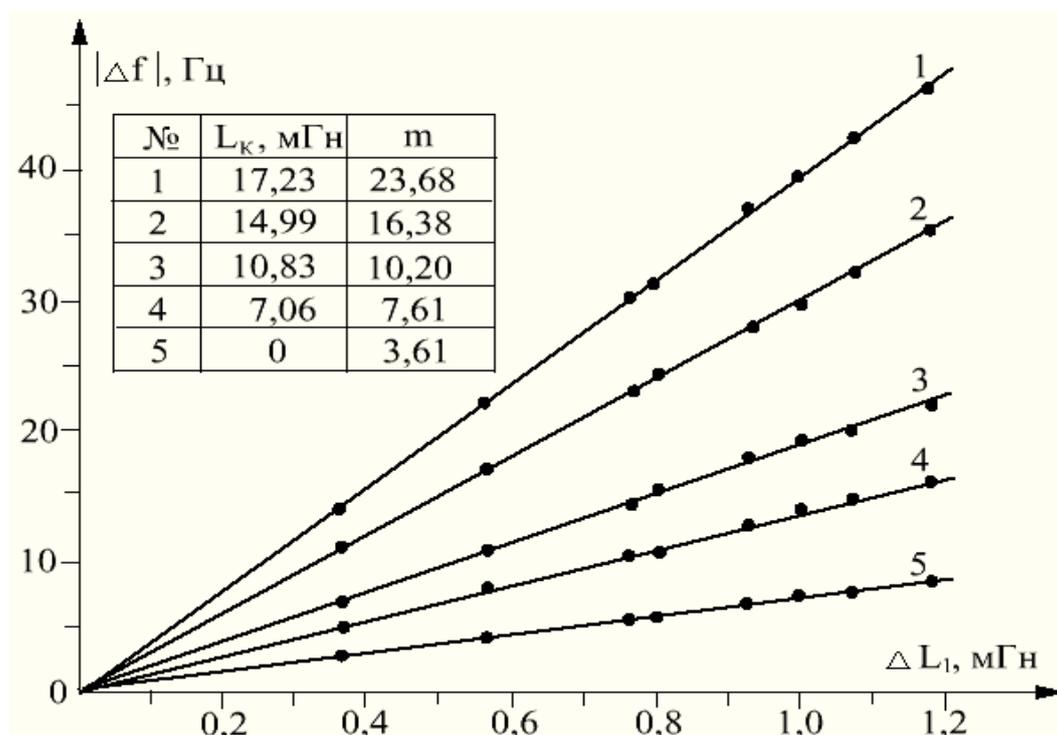


Рисунок 2 – Приращение частоты  $\Delta f$  генератора как функция индуктивности датчика  $L_1$  для разных значений компенсирующей индуктивности  $L_k$

## ЛИТЕРАТУРА

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. Марше, Ж. Операционные усилители и их применение [Текст] / Ж. Марше. – Л. : Энергия, 1974. – 216 с.
4. Твердоступ, Н.И. Обобщенная модель преобразователей импеданса [Текст] / Н.И. Твердоступ // Вісник Дніпропетр. ун-ту. Фізика. Радіоелектроніка. – 2010. – Вип. 17, №2. – С. 103 - 108.