

УДК 62-52:621.317

ОСОБЕННОСТИ СОГЛАСОВАНИЯ ГИРАТОРА ДЛЯ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ИНДУКТИВНОСТИ ДАТЧИКА МАГНЕТИТА

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

Аннотация. Для гиратора на конверторах отрицательного сопротивления определены условия согласования параметров элементов, обеспечивающих устойчивое инвертирование импеданса нагрузки. Условием согласования является равенство входных сопротивлений конверторов.

Ключевые слова: гиратор, конвертор, импеданс, согласование параметров, инвертирование, нагрузка, входное сопротивление, датчик магнетита.

FEATURES GYRATOR AGREEMENT FOR TRANSFORMATION INDUCTIVE SENSORS MAGNETITE

Nikolay Tverdostup

Ph.D., associate professor of electronic calculable machines department, the Dnepropetrovsk National University of the name Olesya Gonchara, Dnepropetrovsk, Ukraine, e-mail: tnik72@mail.ru

Abstract. For a gyrator on the converters of negative resistance the terms of concordance of parameters of elements providing the steady inverting of impedance of loading are certain. The condition of concordance is equality of entrance resistance of converters.

Keywords: gyrator, converter, impedance, concordance of parameters, inverting, loading, entrance resistance, sensors magnetite.

Введение. Использование гиратора [1] в устройствах магнитного контроля качества железорудного сырья является перспективным для повышения чувствительности определения массовой доли магнетита. Однако применение гиратора ограничивается сложностью и низкой эффективностью согласования параметров его элементов. Так в схеме гиратора на конверторах отрицательного сопротивления условие согласования требует обязательного равенства всех сопротивлений комбинированной обратной связи [2], что делает процесс настройки гиратора технологически сложным из-за наличия существующего разброса номинальных значений сопротивлений.

Цель работы. Целью работы является уточнение условий согласования параметров элементов гиратора для повышения эффективности его настройки и обеспечения устойчивого инвертирования индуктивности датчика магнетита с заданным коэффициентом преобразования.

Материалы и результаты исследований. Гиратором является всякий четырехполюсник, у которого импеданс на одной паре зажимов дуален импедансу, подключенному к другой паре зажимов [1]. Гиратор на конверторах отрицательного сопротивления (рис.1) содержит два операционных усилителя DA1 и DA2 с элементами комбинированной обратной связи R'_2, R'_3, R'_4 и R_1, R_2, R_4 а также резистор связи R'_1 .

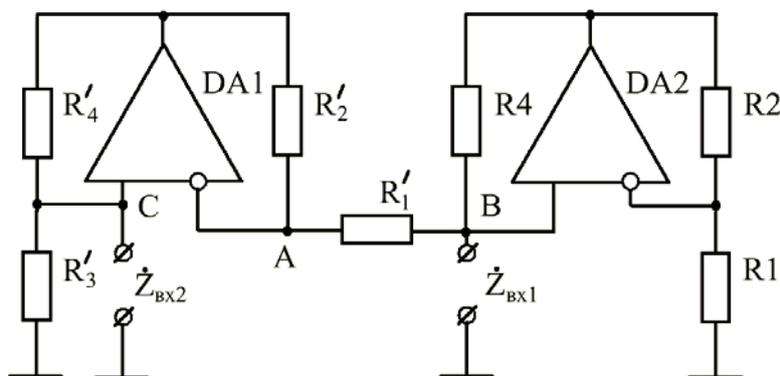


Рисунок 1 – Гиратор на конверторах отрицательного сопротивления

Гиратор обладает свойством взаимности [1], поэтому произвольный импеданс нагрузки \dot{Z}_H можно подключать к любой паре зажимов \dot{Z}_{BX1} или \dot{Z}_{BX2} . Рассмотрим, каким будет импеданс соответствующей пары зажимов при подключении нагрузки к противоположной паре.

При подключении \dot{Z}_H к зажимам \dot{Z}_{BX2} входные импедансы конверторов отрицательного сопротивления в точках A и B будут соответственно равны [3]

$$\dot{Z}_A = - \frac{\dot{Z}_H R'_2 R'_3}{R'_4 (R'_3 + \dot{Z}_H)}, \quad (1)$$

$$R_B = - \frac{R_1 R_4}{R_2} \quad (2)$$

а входное сопротивление со стороны зажимов \dot{Z}_{BX1}

$$\dot{Z}_{BX1} = \frac{R_B (\dot{Z}_A + R'_1)}{R_B + \dot{Z}_A + R'_1}. \quad (3)$$

Выражение (3) с учетом (1) и (2) можно представить в виде

$$\dot{Z}_{\text{BX1}} = \frac{R_B [\dot{Z}_H (R'_1 R'_4 - R'_2 R'_3) + R'_1 R'_3 R'_4]}{R_B R'_3 R'_4 + R_B \dot{Z}_H R'_4 + R'_1 R'_3 R'_4 + \dot{Z}_H (R'_1 R'_4 - R'_2 R'_3)}. \quad (4)$$

Выражение (4) при выполнении условия

$$R'_1 R'_4 = R'_2 R'_3 \quad (5)$$

и с учетом (2) преобразуется к виду

$$\dot{Z}_{\text{BX1}} = \frac{R_1 R_4 R'_1 R'_3 R'_4}{R'_3 R'_4 (R_1 R_4 - R'_1 R_2) + R_1 R_4 R'_4 \dot{Z}_H}. \quad (6)$$

Очевидно, что при выполнении следующего условия

$$R_1 R_4 = R'_1 R_2 \quad (7)$$

выражение (6) принимает окончательный вид уравнения преобразования гиратора, который, как известно, изменяет характер импеданса нагрузки \dot{Z}_H на дуальный

$$\dot{Z}_{\text{BX1}} = \frac{R'_1 R'_3}{\dot{Z}_H}. \quad (8)$$

Действительно, если в качестве нагрузки \dot{Z}_H используется, например, индуктивность L_H датчика магнетита, то из (8) следует емкостной характер входного импеданса

$$\dot{Z}_{\text{BX1}} = \frac{R'_1 R'_3}{j\omega L_H} = \frac{1}{j\omega C_{\text{BX1}}},$$

при этом входная емкость равна $C_{\text{BX1}} = L_H / R'_1 R'_3$, что указывает на дуальный характер импеданса на зажимах \dot{Z}_{BX1} , обратный индуктивному характеру импеданса на зажимах \dot{Z}_{BX2} .

Важно отметить, что только одновременное выполнение условий (5) и (7) обеспечивает справедливость уравнения преобразования гиратора (8).

Рассмотрим входной импеданс гиратора на зажимах \dot{Z}_{BX2} при подключении произвольной нагрузки \dot{Z}_H к зажимам \dot{Z}_{BX1} . В этом случае входной импеданс конвертора DA2 в точке B с учетом параллельно подключенной нагрузки \dot{Z}_H равен [3]

$$\dot{Z}_B = - \frac{R_1 R_4 \dot{Z}_H}{R_2 \left(\dot{Z}_H - \frac{R_1 R_4}{R_2} \right)}$$

а в точке A соответственно

$$\dot{Z}_A = R'_1 - \frac{R_1 R_4 \dot{Z}_H}{R_2 \dot{Z}_H - R_1 R_4}.$$

Конвертор отрицательного сопротивления на усилителе DA1 преобразует \dot{Z}_A в импеданс \dot{Z}_C , который в точке C имеет вид

$$\dot{Z}_C = -\frac{R_4'}{R_2'} \left(R_1' - \frac{R_1 R_4 \dot{Z}_H}{R_2 \dot{Z}_H - R_1 R_4} \right).$$

Так как сопротивление R_3' подключено параллельно \dot{Z}_C , то входная проводимость гиратора со стороны зажимов \dot{Z}_{BX2} равна

$$\frac{1}{\dot{Z}_{BX2}} = \frac{R_2' (R_2 \dot{Z}_H - R_1 R_4)}{R_4' [\dot{Z}_H (R_1 R_4 - R_1' R_2) + R_1 R_4 R_1']} + \frac{1}{R_3'}.$$
 (9)

Тогда из (9) следует, что при одновременном выполнении условий (5) и (7) входной импеданс гиратора со стороны зажимов \dot{Z}_{BX2} равен

$$\dot{Z}_{BX2} = \frac{R_1' R_3'}{\dot{Z}_H}.$$
 (10)

Выражение (10) полностью совпадает с (8). Это подтверждает симметричность гиратора на конверторах отрицательного сопротивления, возможность равноценного подключения нагрузки к любой паре зажимов.

Уравнения преобразования гиратора (8) и (9) могут существовать только при выполнении условий (5), (7). Эти условия, на практике сводящиеся к тщательному подбору сопротивлений указанных резисторов, обеспечивают устойчивую работу гиратора, эффективное инвертирование импеданса нагрузки. При несоблюдении этих условий в гираторе возможно возникновение паразитных колебаний из-за самовозбуждения, ибо, как следует из (4), (6) и (9), в составе входного импеданса при этом одновременно появляются отрицательная активная, индуктивная и емкостная составляющие.

Физический смысл условий согласования (5), (7) можно уточнить, исключив сопротивление связи R_1' . В этом случае получим условие согласования в виде

$$\frac{R_1 R_4}{R_2} = \frac{R_2' R_3'}{R_4'},$$
 (11)

из последнего следует, что суть согласования заключается в достижении равенства входных сопротивлений конверторов DA1 и DA2 в точках A и B.

Выражение (11) можно представить в виде

$$R_3' = \frac{R_1 R_4 R_4'}{R_2 R_2'},$$
 (12)

из которого следует, что для согласования параметров гиратора вовсе не обязательно взаимное равенство сопротивлений всех резисторов. Для согласования достаточно тщательно подбирать сопротивление только одно-

го резистора, для настоящего случая R'_3 согласно (12), остальные резисторы могут быть с произвольным разбросом номинальных значений. Это позволяет существенно упростить процесс настройки гиратора.

В уравнениях преобразования (8) и (10) произведение сопротивлений $R'_1 R'_3$ является пропорциональным коэффициенту преобразования, величиной которого можно управлять всего лишь одним параметром - сопротивлением связи R'_1 , не нарушая, при этом, условие согласования (12).

Для экспериментальной проверки условия согласования по схеме на рис. 1 был собран гиратор на операционных усилителях ICL7650. Сопротивления резисторов выбраны согласно условию (11): $R_1 = 2$ кОм, $R_2 = 5,1$ кОм, $R_4 = 2,4$ кОм, $R'_2 = 3,9$ кОм, $R'_3 = 8,2$ кОм, $R'_4 = 33,99$ кОм. Сопротивление R'_1 варьировалось в пределах от 0,51 до 3,3 кОм для изменения коэффициента преобразования. В качестве нагрузки L_H ко входу $\dot{Z}_{ВХ2}$ подключались катушки из набора образцовых мер индуктивности типа L-0170 III разряда класса 0,2. Измерения входной емкости $C_{ВХ}$ на входе $\dot{Z}_{ВХ1}$ проводились мостовым измерителем Е7-8 на частоте 1 кГц.

На рис. 2 представлены экспериментальные зависимости входной емкости $C_{ВХ}$ как функции индуктивности нагрузки L_H . Анализ зависимостей подтверждает устойчивое инвертирование нагрузки согласно уравнению (8) а также возможность управления коэффициентом преобразования величиной только одного параметра - сопротивления связи R'_1 . В целом эксперимент подтвердил эффективность согласования параметров гиратора. Отклонения экспериментальных данных от расчетных не превысили 10%.

Выводы. Анализ результатов исследования позволяет сделать следующие выводы о согласовании параметров гиратора на конверторах отрицательного сопротивления:

- параметры являются согласованными при достижении равенства входных сопротивлений конверторов отрицательного сопротивления, входящих в состав гиратора;
- согласование по равенству входных сопротивлений конверторов упрощает процесс настройки гиратора и обеспечивает устойчивое инвертирование импеданса нагрузки;
- коэффициент преобразования гиратора управляется величиной сопротивления связи, как независимым параметром, без нарушения условия согласования.

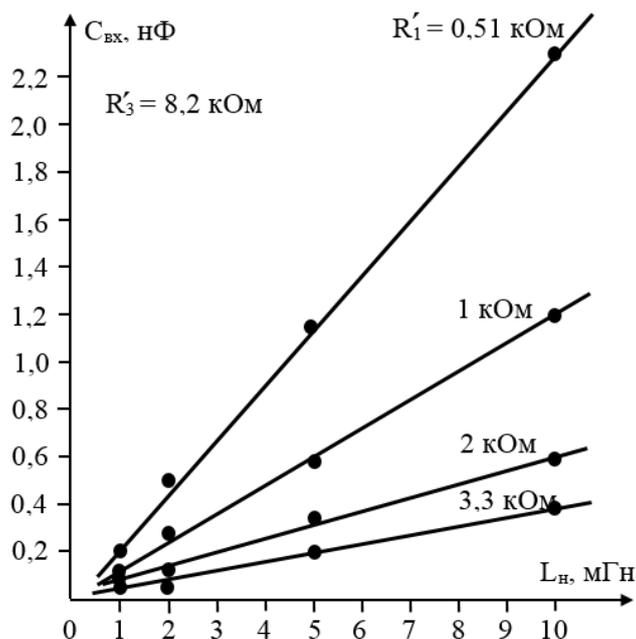


Рисунок 2 – Зависимости входной емкости $C_{вх}$ гиратора от индуктивности нагрузки L_n при различных значениях сопротивления связи R_1' .

ЛИТЕРАТУРА

1. Титце, У. Полупроводниковая схемотехника [Текст]. В 2 т. Т.2. : Пер с нем. / У. Титце, К. Шенк. - М.: Додэка - XXI, 2008. – 942 с. – ISBN 978-5-94120-200-3 (рус.).
2. Волович, Г.И. Схемотехника аналоговых и аналого-цифровых электронных устройств [Текст] / Г.И. Волович. – М.: Додэка - XXI, 2005. – 528 с. – ISBN 5-94120-074-9.
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.

УДК 622.02

СПОСОБЫ ПОДГОТОВКИ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД К ВЫЕМКЕ КАРЬЕРНЫМИ КОМБАЙНАМИ

К.В. Федосеева

аспирант лаборатории освоения рудных и нерудных месторождений открытым способом, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт горного дела Дальневосточного отделения Российской академии наук, г. Хабаровск, Россия, e-mail: fedosya_nikol@mail.ru

Аннотация. В работе проводится анализ способов разупрочнения горных пород с целью их последующей выемки карьерными комбайнами. Предлагается способ механического разупрочнения прочных пропластков с помощью ударного оборудования,