

Н.И. Твердоступ

ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ИНДУКТИВНОГО ИМПЕДАНСА НА ОСНОВЕ ОПЕРАЦИОННОЙ СХЕМЫ С КОМБИНИРОВАННОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ

Аннотация. Используя обобщенную модель преобразователей импеданса разработаны преобразователи заземленной и взвешенной индуктивностей в заземленную индуктивность, в которых реализовано раздельное управление величинами составляющих синтезированного индуктивного импеданса.

Ключевые слова: синтез, индуктивность, импеданс, преобразователь, операционный усилитель, обратная связь, множитель.

Вступление. Создание функциональных устройств для получения и первичной обработки информации от пассивных измерительных датчиков является актуальной задачей. В ряде случаев для решения этой задачи целесообразно использование преобразователей импеданса [1]. Разработка преобразователей импеданса может быть существенно упрощена при наличии их базовой модели. В [2] представлена обобщенная модель преобразователей импеданса, которая перспективна для использования в качестве базовой при создании соответствующих преобразователей параметров пассивных измерительных датчиков.

Постановка задачи. Целью работы является определение возможностей использования обобщенной модели преобразователей импеданса для синтеза умножителей заземленной и взвешенной (незаземленной) индуктивности.

Основная часть. Обобщенная модель преобразователей импеданса. В [2] показано, что операционный усилитель с комбинированной обратной связью (рис. 1) имеет функционально полный набор входных импедансов в виде

$$Z_{in1} = (Z_1 - Z_2 Z_3 / Z_4) / (1 - n), \quad (1)$$

$$Z_{in2} = (Z_3 - Z_1 Z_4 / Z_2) / (1 - l), \quad (2)$$

$$Z_{in3} = (Z_2 - Z_1 Z_4 / Z_3) / (1 - k), \quad (3)$$

$$Z_{in4} = (Z_4 - Z_2 Z_3 / Z_1) / (1 - p), \quad (4)$$

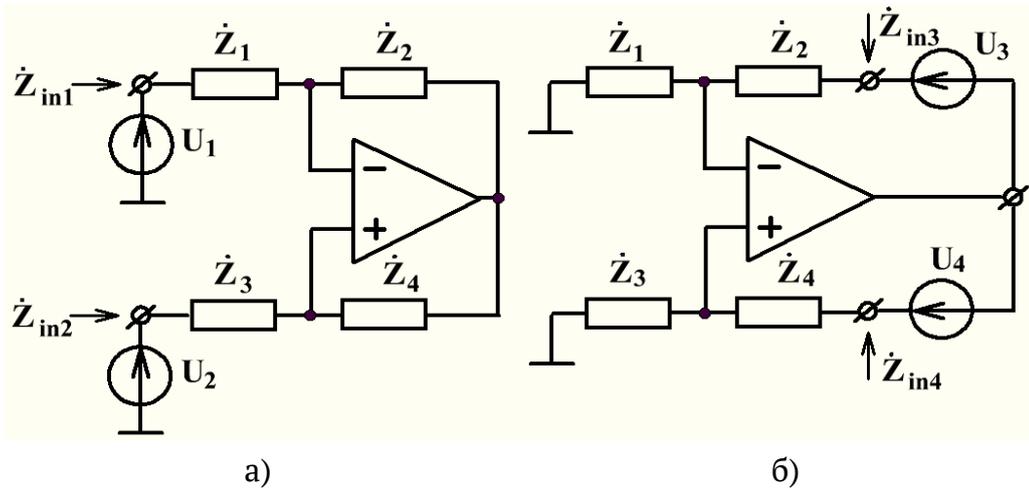


Рисунок 1 – Обобщенная модель преобразователей импеданса с заземленными (а) и взвешенными (б) источниками возбуждения

где $\dot{Z}_1, \dot{Z}_2, \dot{Z}_3, \dot{Z}_4$ – линейные импедансы произвольного характера; U_1, U_2, U_3, U_4 – напряжения источников возбуждения; $n = U_2/U_1, l = U_1/U_2, k = U_4/U_3, p = U_3/U_4$. Величины и знаки составляющих четырех возможных входных импедансов $\dot{Z}_{in1} - \dot{Z}_{in4}$ определяются амплитудными и фазовыми соотношениями между напряжениями источников возбуждения.

Преобразователь заземленного индуктивного импеданса. Синтез заземленного индуктивного импеданса проведем на основе обобщенной модели с заземленными источниками напряжения возбуждения (рис. 1а) выбрав $\dot{Z}_1 = 0$ и $U_2 = 0$. Тогда из (1) следует, что $n = 0$, а входной импеданс \dot{Z}_{in1} имеет вид:

$$\dot{Z}_{in1} = -\dot{Z}_2\dot{Z}_3/\dot{Z}_4. \quad (5)$$

В этом случае относительно \dot{Z}_2 и \dot{Z}_3 обобщенная модель является конвертором отрицательного импеданса, на основе которого можно реализовать умножение индуктивного импеданса путем его двойного конвертирования.

Для реализации двойного конвертирования выбираем (рис. 2) два последовательно соединенных конвертора отрицательного импеданса на DA1 и DA2, у которых в качестве линейных импедансов используются активные сопротивления $R_2, R_3, R_4, R'_2, R'_4$. Подлежащую умножению заземленную индуктивность L_0 с активным сопротивлением r_0 включаем на место заземленного импеданса \dot{Z}_3 . При таких условиях входной импеданс конвертора на DA2 согласно (5) равен

$$\dot{Z}'_{in} = -R'_2(r_0 + j\omega L_0)/R'_4, \quad (6)$$

он преобразуется с изменением знака конвертором DA1 в

$$Z_{in} = -R_2(R_3 + Z'_{in})/R_4.$$

С учетом (6) входной импеданс конвертора DA1 становится равным

$$Z'_{in} = -R_2R_3/R_4 + R_2R'_2r_0/R_4R'_4 + j\omega L_0R_2R'_2/R_4R'_4 \quad (7)$$

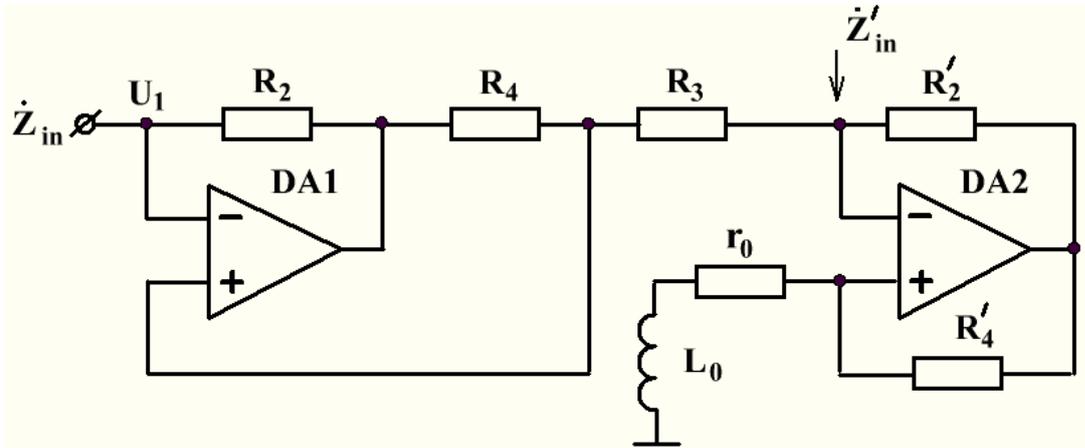


Рисунок 2 – Умножитель заземленной индуктивности L_0 на двух конверторах отрицательного импеданса

Полученный входной импеданс $Z_{in} = \eta_{in} + j\omega L_{in}$ имеет индуктивный характер, представляет собой заземленную индуктивность L_{in} с последовательно включенным активным сопротивлением η_{in} , величины которых согласно (7) равны

$$\eta_{in} = R_2(R'_2r_0/R'_4 - R_3)/R_4, \quad (8)$$

$$L_{in} = L_0R_2R'_2/R_4R'_4. \quad (9)$$

Из последних выражений следует, что в настоящей схеме синтезируется заземленная управляемая индуктивность L_{in} , величина которой определяется как результат умножения индуктивности L_0 на коэффициент преобразования, равный $R_2R'_2/R_4R'_4$. Синтезированное активное сопротивление η_{in} может принимать как положительные, так и отрицательные значения в зависимости от величины сопротивления R_3 в сравнении с R'_2r_0/R'_4 . При выполнении равенства $R_3 = R'_2r_0/R'_4$ входное сопротивление $\eta_{in} = 0$, что обеспечивает минимизацию активных потерь синтезированной индуктивности и существенное повышение ее добротности.

Преобразователь взвешенного индуктивного импеданса. Для построения умножителя незаземленного импеданса выбираем уравнение (1) при синфазных напряжениях возбуждения и $U_2 \ll U_1$. Тогда из обобщенной модели

(рис. 1а) следует вариант умножителя на рис. 3, в котором $\dot{Z}_1 = r_0 + j\omega L_0$ – комплексный импеданс умножаемой индуктивности L_0 с активным сопротивлением r_0 ; R_2, R_3, R_4 – активные сопротивления цепи комбинированной обратной связи усилителя DA2. Повторитель на усилителе DA1 с делителем R_A, R_B является вспомогательным устройством для реализации источника напряжения возбуждения U_2 , синфазного напряжению U_1 . Отношение напряжений источников возбуждения, в этом случае, имеет вид $n = R_B / (R_A + R_B)$. При таких условиях из (1) следует, что входной импеданс схемы на рис. 3 равен

$$\dot{Z}_{in} = (1 + R_B/R_A)(r_0 + j\omega L_0 - R_2R_3/R_4). \quad (10)$$

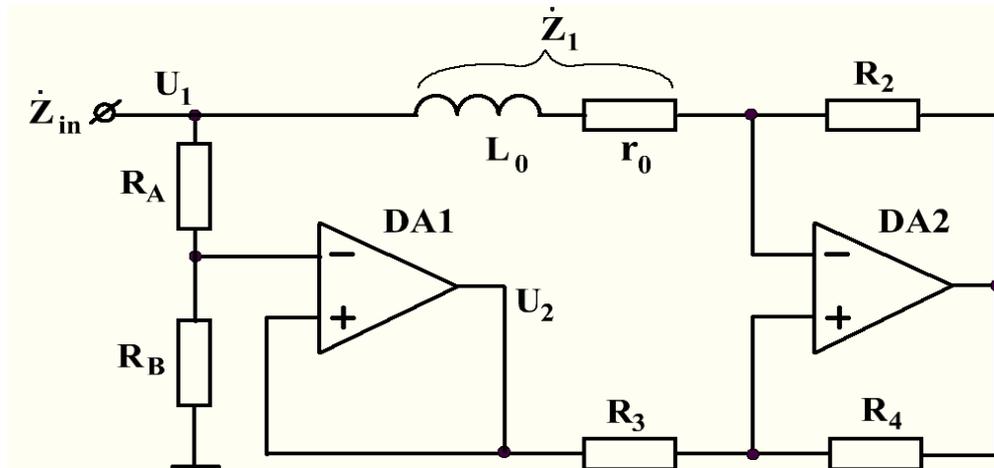


Рисунок 3 – Умножитель взвешенной индуктивности L_0 с активным сопротивлением r_0

В (10) выделяем действительную и мнимую части и получаем, соответственно, выражения для входного активного сопротивления r_{in} и входной индуктивности L_{in} как составляющих синтезированного входного импеданса \dot{Z}_{in}

$$r_{in} = (1 + R_B/R_A)(r_0 - R_2R_3/R_4), \quad (11)$$

$$L_{in} = (1 + R_B/R_A)L_0. \quad (12)$$

Из (11) и (12) следует, что индуктивность L_0 и активное сопротивление r_0 преобразуются во входную индуктивность L_{in} и сопротивление r_{in} с коэффициентом преобразования $(1 + R_B/R_A)$, величиной которого можно управлять в широких пределах сопротивлениями R_A, R_B делителя. Из (11) также следует, что умножение сопротивления r_0 сопровождается его компенсацией отрицательной активной составляющей входного импеданса $R_{(-)} = -R_2R_3/R_4$, при этом, если $R_{(-)} \rightarrow r_0$, то входное сопротивление $r_{in} \rightarrow 0$. Это указывает на возможность существенного повышения добротности синтезированной индуктивности.

Выводы. В результате проведенного анализа установлено:

- синтезированные умножители заземленного и взвешенного индуктивного импедансов являются преобразователями только в заземленный импеданс;
- разработанные умножители импеданса позволяют отдельно управлять величинами синтезированной индуктивности и ее активного сопротивления, которое может принимать положительные и отрицательные значения заданной величины;
- обобщенная модель преобразователей импеданса может использоваться в качестве базовой схемы для построения умножителей индуктивности.

ЛІТЕРАТУРА / LITERATURE

1. Филановский И.М., Персианов А. Ю., Рыбин В.К. Схемы с преобразователями сопротивления. Л.: Энергия, 1973. 192 с.
2. Твердоступ Н.И. Обобщенная модель преобразователей импеданса. Вісник Дніпропетр. ун-ту. Фізика. Радіоелектроніка. 2010. Вип. 17, №2. С. 103 - 108.

REFERENCES

1. Filanovsky I.M., Persianov A. Yu., Rybin V.K. Circuits with resistance converters. L.: Energiya, 1973. 192 s.
2. Hardstup N.I. Generalized model of impedance converters. Visnik Dnipropetr. un-tu. Physics. Radioelectronika. 2010. Vip. 17, no. 2. S. 103 - 108.

Received 27.01.2021.
Accepted 29.01.2021.

Перетворювачі індуктивного імпедансу

на основі операційної схеми з комбінованим зворотним зв'язком

На основі операційної схеми з комбінованим зворотним зв'язком розроблені перетворювачі заземленої і зваженої індуктивностей в заземлену індуктивність, в яких реалізоване роздільне управління величинами складових синтезованого імпедансу.

Inductive impedance converters based on a combined feedback operating circuit

An operating scheme with combined feedback is characterized by a functionally complete set of input impedances, the values of which are determined by the amplitude and phase relationships between the voltages of the excitation sources, as well as the impedances in the positive and negative feedback circuits. Such an operating scheme is a generalized model of impedance converters, on the basis of which it is possible to significantly simplify the synthesis of converters and inverters of positive and negative impedances, taking into account the peculiarities of their inclusion in the electrical circuit.

For the synthesis of a converter of a grounded inductive impedance into a positive grounded inductance, a variant of the generalized model with one grounded excitation source in the form of a negative impedance converter is chosen. By serial double conversion of the initial inductive impedance at the output of the second converter, an inductive impedance is obtained,

which is a grounded inductance with an active resistance, the values of which depend on the feedback resistance of the converters. The latter makes it possible to independently control the values of the components of the synthesized inductive impedance.

The synthesis of the converter of ungrounded inductive impedance into positive grounded inductance is realized on the basis of a generalized model with two in-phase excitation sources. In the converter, the effect of separate multiplication of the inductive and active components of the initial impedance is achieved, and with the possibility of obtaining an active resistance of a given value with both positive and negative signs. The latter makes it possible to build a harmonic generator on the basis of the synthesized inductance, as well as to realize the inductance of a given value with a high quality factor.

Твердоступ Микола Іванович – доцент, к. т. н., доцент кафедри електронних обчислювальних машин Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара.

Твердоступ Николай Иванович – доцент, к. т. н., доцент кафедри електронних вычислительных машин Днепропетровского национального университета имени Олеся Гончара.

Tverdostup Mukola Ivanovich - Associate Professor of Computer Systems Engineering Department of the Oles Honchar Dnipro National University.