

УДК 62 – 52: 621.317

Н.И. Твердоступ

УПРАВЛЯЕМЫЕ РЕАКТАНСЫ НА ОСНОВЕ КОНВЕРТОРОВ ОТРИЦАТЕЛЬНОГО ИМПЕДАНСА

Аннотация. Определены условия реализации на основе конверторов отрицательного импеданса управляемых индуктивностей и емкостей с возможностью минимизации активных потерь.

Ключевые слова: конвертор отрицательного импеданса, реактанс, индуктивность, емкость, датчик, активные потери, операционная схема.

Актуальность. Использование индуктивных и емкостных датчиков в резонансных измерительных устройствах на низких частотах ограничивается малыми значениями их собственной индуктивности (емкости). Поэтому актуальным является разработка устройств, позволяющих управлять собственными параметрами датчиков без изменения их конструкции.

Анализ исследований. Общие вопросы синтеза преобразователей реактанса рассмотрены в ряде работ [1, 2, 3], частные схемотехнические решения умножителей индуктивности и емкости показаны в [4, 5, 6]. Результаты работы [7] указывают на целесообразность использования комбинированной операционной схемы для создания управляемых реактансов.

Постановка задачи. Целью работы является определение условий реализации управляемых реактансов на основе линейной комбинированной операционной схемы.

Основная часть. В линейной комбинированной операционной схеме (рис.1) входные импедансы $\dot{Z}_{\text{вх}_1}$ и $\dot{Z}_{\text{вх}_2}$ относительно источников возбуждения

\dot{U}_1, \dot{U}_2 равны:

$$\dot{Z}_{\text{вх}_1} = \frac{1}{1-n} (\dot{Z}_1 - \dot{Z}_2 \dot{Z}_3 / \dot{Z}_4), \quad (1)$$

$$\dot{Z}_{\text{вх}_2} = \frac{1}{1-m} (\dot{Z}_3 - \dot{Z}_1 \dot{Z}_4 / \dot{Z}_2), \quad (2)$$

© Твердоступ Н.И., 2009

где \dot{Z}_3 и \dot{Z}_4 — линейные импедансы, $n = \dot{U}_2 / \dot{U}_1$, $m = \dot{U}_1 / \dot{U}_2$.

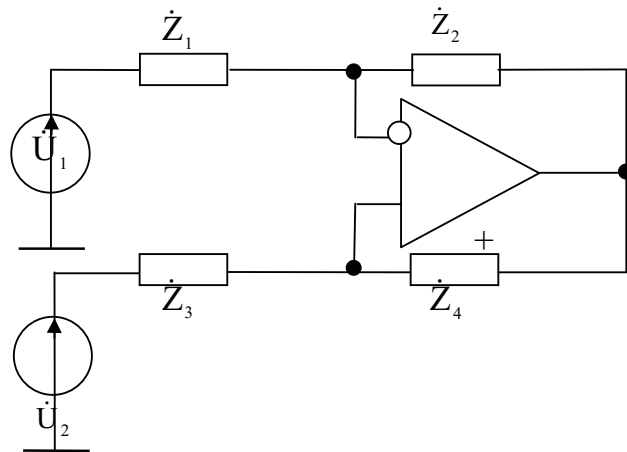


Рисунок 1- Комбинированная операционная схема

Такая схема является базовой для синтеза линейных импедансов с заданными характеристиками [7].

Для реализации индуктивного реактанса используем вариант комбинированной операционной схемы при $\dot{Z}_1 = 0$, $\dot{U}_2 = 0$. Тогда из (1) входной импеданс $Z_{вх1}$ будет иметь вид:

$$\dot{Z}_{вх2} = -\dot{Z}_2 \dot{Z}_3 / \dot{Z}_4. \quad (3)$$

В этом случае схема является конвертором отрицательного импеданса относительно \dot{Z}_2 и \dot{Z}_3 .

На рис.2 показана схема двух последовательно соединенных конверторов, у которых в качестве линейных импедансов используются активные сопротивления R_2 , R_3 , R_4 , R'_2 , R'_4 и индуктивность L'_3 с активным сопротивлением r'_3 . Входной импеданс $\dot{Z}'_{вх}$ правого по схеме конвертора согласно (3) равен

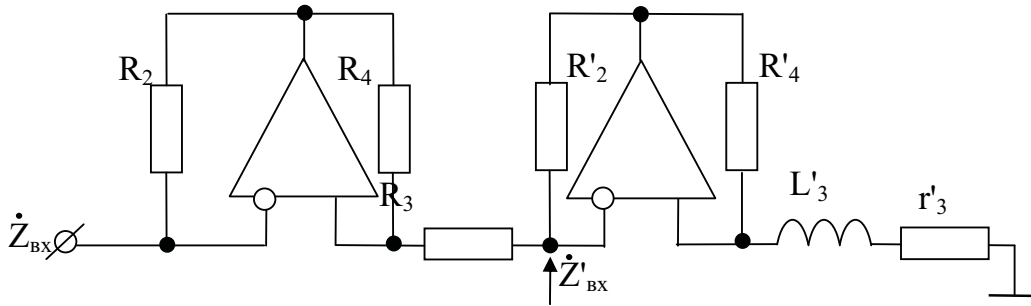
$$\dot{Z}'_{вх} = -R'_2 (r'_3 + j\omega L'_3) / R'_4, \quad (4)$$

он преобразуется с изменением знака левым конвертором в

$$\dot{Z}_{вх} = -R_2 (R_3 + \dot{Z}'_{вх1}) / R_4.$$

Тогда с учетом (4) входной импеданс левого конвертора $\dot{Z}_{вх}$ будет равен

$$\dot{Z}_{вх} = -R_2 R_3 / R_4 + R_2 R'_2 r'_3 / R_4 R'_4 + j\omega L'_3 R_2 R'_2 / R_4 R'_4. \quad (5)$$

Рисунок 2 - Устройство масштабирования индуктивности L'_3

Входной импеданс $\dot{Z}_{\text{BX}} = r_{\text{BX}} + j\omega L_{\text{BX}}$ имеет индуктивный характер, представляет собой заземленную индуктивность L_{BX} с последовательно включенным активным сопротивлением r_{BX} , величины которого согласно (5)

$$L_{\text{BX}} = L'_3 R_2 R'_2 / R_4 R'_4, \quad (6)$$

$$Z_{\text{BX}} = R_2 (R'_2 r'_3 / R'_4 - R_3) / R_4. \quad (7)$$

В настоящей схеме синтезируется индуктивность L_{BX} как результат масштабирования L'_3 с коэффициентом равным $R_2 R'_2 / R_4 R'_4$. Активное сопротивление r_{BX} принимает как положительные, так и отрицательные значения в зависимости от величины сопротивления R_3 по отношению к величине $R'_2 r'_3 / R'_4$, при $R_3 = R'_2 r'_3 / R'_4$ $r_{\text{BX}} = 0$, что позволяет минимизировать активные потери синтезированной индуктивности и повысить ее добротность.

Емкостной реактанс можно реализовать выбором варианта комбинированной операционной схемы при $Z_3 = 0$, $\dot{U}_1 = 0$. Тогда из (2) входной импеданс \dot{Z}_{BX_2} будет иметь вид

$$\dot{Z}_{\text{BX}_2} = \dot{Z}_1 \dot{Z}_4 / \dot{Z}_2 \quad (8)$$

На рис.3 приведена схема масштабирования емкости C_1 путем ее преобразования конверторами отрицательного импеданса с характеристиками согласно выражению (8).

Входная проводимость левого по схеме конвертора определяется как

$$\dot{Y}_{\text{BX}} = -\dot{Y}_1 R_2 / R_4, \quad (9)$$

где $\dot{Y}_1 = 1/R_1 + j\omega C_1$ - проводимость параллельно соединенных емкости C_1 и сопротивления R_1 , характеризующего активные потери. Проводимость $\dot{Y}_{\text{вх}}$ с параллельно подключенной проводимостью $1/R'_1$ преобразуется правым конвертором согласно (8) в $\dot{Y}'_{\text{вх}}$, которая имеет вид

$$\dot{Y}'_{\text{вх}} = -(\dot{Y}_{\text{вх}} + 1/R'_1)R'_2/R'_4 \quad (10)$$

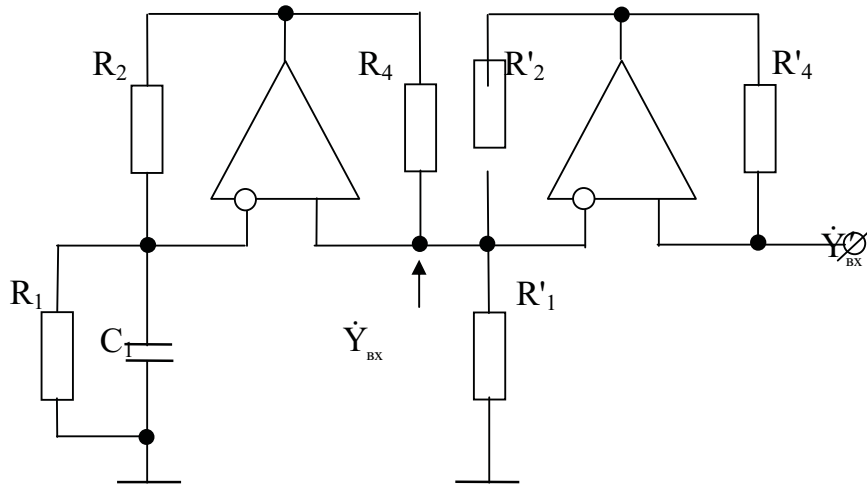


Рисунок 3 - Устройство масштабирования емкости C_1

С учетом (9) входная проводимость правого конвертора

$$\dot{Y}'_{\text{вх}} = R'_2(R_2/R_1R_4 - 1/R'_1)/R'_4 + j\omega C_1R_2R'_2/R_4R'_4. \quad (11)$$

Из (10) видно, что входная проводимость $\dot{Y}'_{\text{вх}} = G_{\text{вх}} + j\omega C_{\text{вх}}$ имеет емкостной характер, представляет собой заземленную емкость $C_{\text{вх}}$ с параллельно подключенным активным сопротивлением $R_{\text{вх}} = 1/G_{\text{вх}}$, величины которых определяются из (11) в виде

$$C_{\text{вх}} = C_1R_2R'_2/R_4R'_4 \quad (12)$$

$$G_{\text{вх}} = R'_2(R_2/R_1R_4 - 1/R'_1)/R'_4. \quad (13)$$

Схема (рис.3) позволяет масштабировать емкость C_1 с коэффициентом $R_2R'_2/R_4R'_4$ до значений $C_{\text{вх}}$, которые определяются выражением (12). Проводимость активных потерь синтезируемой емкости определяется выражением (13), она принимает как положительные, так и отрицательные значения, также может равняться нулю при $R'_1 = R_1R_4/R_2$; последнее есть условие повышения добротности синтезируемой емкости $C_{\text{вх}}$.

Проведенный анализ активных цепей в виде двух последовательно соединенных конверторов отрицательного импеданса показывает, что они позволяют производить преобразование величины реактанса с сохранением знака, т.е. выполняют функции конвертора положительного импеданса. Однако, в отличие от последнего, в рассмотренных схемах присутствует активная составляющая сопротивления (проводимости), которая при определенных условиях позволяет компенсировать активные потери и повысить добротность синтезируемых реактансов, что невозможно в схемах с конверторами положительного импеданса [6].

Вывод. Проведенный анализ показывает возможность синтеза на основе комбинированной операционной схемы умножителей индуктивности и емкости с заданным коэффициентом умножения и минимизацией активных потерь.

ЛИТЕРАТУРА

1. Карпов Е.А., Марунчак Л.В., Рядинских А.С. Синтез нелинейных преобразователей. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 136 с.
2. Кустов О.В., Лундин В.З. Операционные усилители в линейных цепях. – М.: Связь, 1978. – 144 с.
3. Марше Ж. Операционные усилители и их применение. Л.: Энергия, 1974. – 216 с.
4. А.с. 813696 СССР Индуктивный двухполюсник/ А.Ф. Гришков, А.Н. Гуляев, И.Г. Дорух, А.В. Маргелов. Бюл. №10, 1981.
5. А.с. 836784 СССР. Преобразователь сопротивления/ С.А.Новосельцева, М.З. Чаповский. Бюл. №21, 1981.
6. Твердоступ Н.И. Умножитель индуктивности. // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 1(60). – Дніпропетровськ, 2009. – с.82 – 87.
7. Твердоступ Н.И. О функционально полном наборе входных импедансов комбинированной операционной схемы // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 6(41). – Дніпропетровськ, 2005. – с.47 – 53.

Получено 26.11.2009г.