

## УМНОЖИТЕЛЬ ИНДУКТИВНОСТИ

**Актуальность.** Использование индуктивных датчиков в резонансных измерительных устройствах на низких частотах ограничивается малыми значениями их собственной индуктивности. Поэтому актуальным является создание устройств, позволяющих увеличивать индуктивность датчика до необходимого значения.

**Анализ последних исследований.** Общие вопросы синтеза преобразователей реактанса рассмотрены в ряде работ [1-3], частные схемотехнические решения умножителей индуктивности показаны в [4, 5]. Анализ результатов, полученных в [6] делает целесообразным использование комбинированной операционной схемы для проектирования умножителя индуктивности.

**Постановка задачи.** Целью работы является обоснование методики синтеза умножителя индуктивности как частного случая комбинированной операционной схемы.

**Основная часть.** Для линейной комбинированной операционной схемы (рис.1) характерным является наличие положительной и отрицательной обратных связей, а также то, что сигнал возбуждения поступает на оба входа операционного усилителя.

В [6] показано, что входной импеданс такой схемы со стороны  $Z_1$  равен

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

где  $n = U_2 / U_1$ ;  $Z_1, Z_2, Z_3, Z_4$  — линейные импедансы.

В схеме на рис.1 неинвертирующий усилитель DA2 обеспечивает синфазность напряжений  $U_1$  и  $U_2$ . Поскольку коэффициент передачи неинвертирующего усилителя равен  $A = 1 + R_2 / R_1$ , то здесь

$$n = \frac{R_4}{R_3 + R_4} \left( 1 + \frac{R_2}{R_1} \right). \quad (2)$$

С учетом (2) входной импеданс  $Z_{\text{вх}}$  рамен

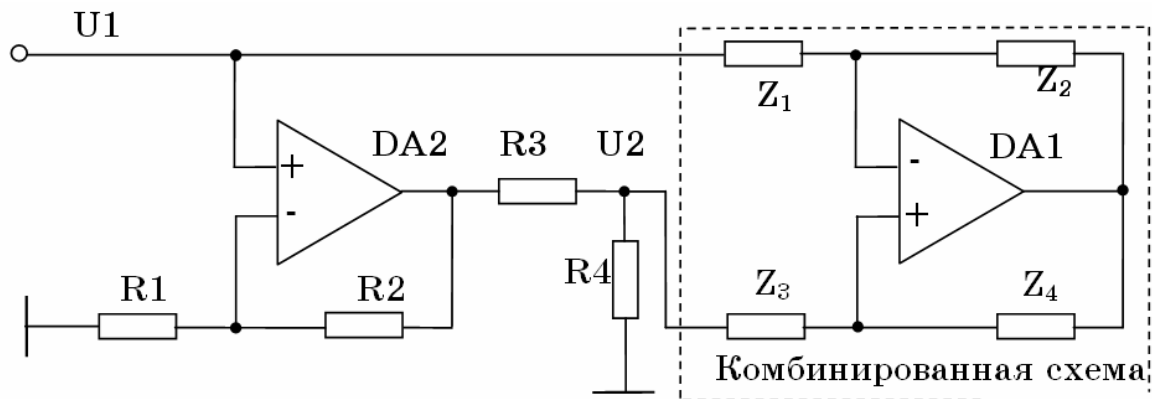


Рисунок 1- Комбинированная операционная схема согласно уравнению (1)

$$Z_{\text{вх}} = \frac{R1(R3+R4)}{R1R3-R2R4} \left( Z_1 - \frac{Z_2Z_3}{Z_4} \right). \quad (3)$$

Из (3) следует, что относительно  $Z_1, Z_2, Z_3$  схема является множителем импеданса на постоянный коэффициент, относительно  $Z_4$  — гиратором. Умножение с положительным знаком возможно при выполнении одного из условий:  $R1R3 > R2R4$  и  $Z_1 > Z_2Z_3/Z_4$ ;  $R1R3 < R2R4$  и  $Z_1 < Z_2Z_3/Z_4$ ;

$$R1R3 < R2R4 \text{ и } Z_1 < Z_2Z_3/Z_4; \quad (5)$$

а умножение с отрицательным знаком при

$$R1R3 < R2R4 \text{ и } Z_1 > Z_2Z_3/Z_4; \quad (6)$$

$$R1R3 > R2R4 \text{ и } Z_1 < Z_2Z_3/Z_4; \quad (7)$$

Очевидно, что выбор требуемого условия при заданном знаке умножения определяется тем, какой из импедансов  $Z_1 \div Z_3$  подлежит умножению. Условия (4), (6) целесообразно использовать для умножения  $Z_1$ , так как в этом случае удобно выбрать  $Z_2 = Z_3 = 0$ ,  $Z_4 = \infty$ . Условия (5), (7) целесообразно использовать для умножения  $Z_2, Z_3$ , при этом  $Z_1 = 0$ . Такой подход к выбору условий упрощает схемотехнику умножителя импедансов. Анализ выражения (3) показывает также, что условие (4) гарантирует умножение  $Z_1$  на постоянный коэффициент больше 1. По условиям (5), (6), (7) постоянный коэффициент, на который умножаются  $Z_1 \div Z_3$ , может быть как больше, так и меньше 1.

Для экспериментальной проверки условия (4) в качестве  $Z_1$  была использована индуктивность  $L_1 = 0,33 \text{ мГн}$  с активным сопротивлением  $r = 1,4 \text{ Ом}$ . Расчетное значение входной индуктивности умножителя определено из (3) в виде

$$L_{ex,расч.} = L_1 R_1 (R_3 + R_4) / (R_1 R_3 - R_2 R_4). \quad (8)$$

На рис.2 приведены расчетная  $L_{ex,расч.}(n)$  и экспериментальные зависимости реактивной  $L_{ex}(n)$  и активной  $r_{ex}(n)$  составляющих входного импеданса от коэффициента  $n$ .

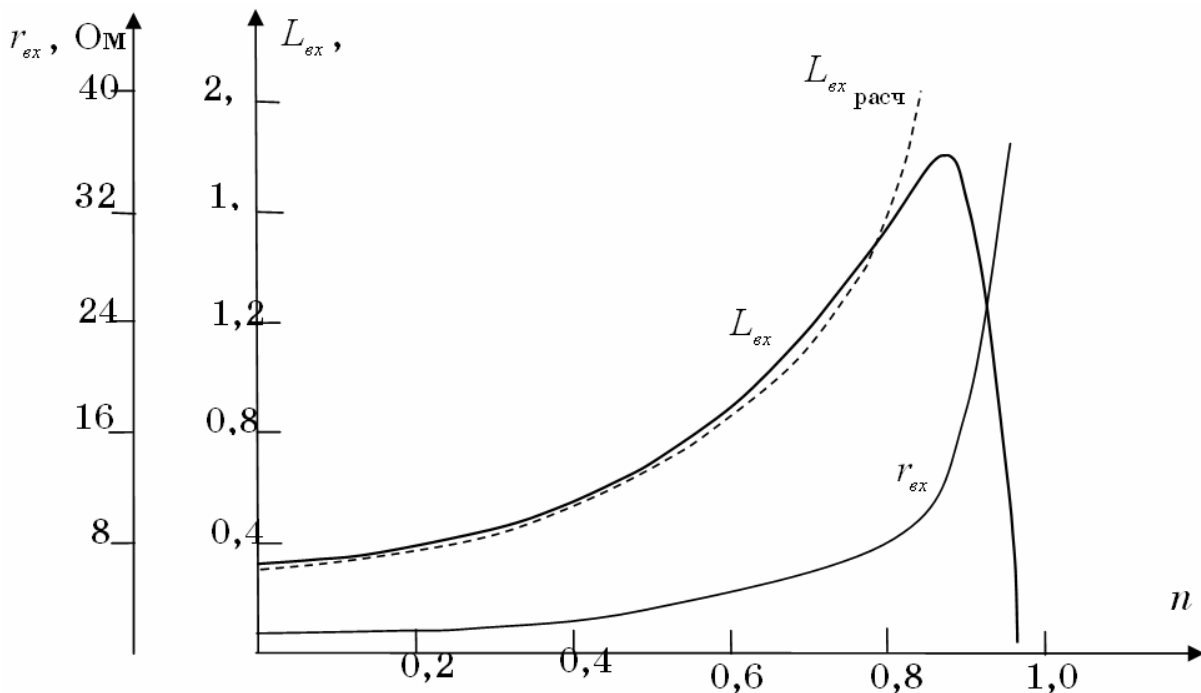


Рисунок 2 - Входные индуктивность  $L_{ex}$  и активное сопротивление  $r_{ex}$  как функции коэффициента  $n$  (для схемы на рис. 1)

Из рисунка видно, что зависимость  $L_{ex,расч.}(n)$  и  $L_{ex}(n)$  при  $0 \leq n \leq 0,8$  отличаются незначительно. Коэффициент умножения импеданса  $Z_1$  достигает 5,5. При  $n > 0,88$   $L_{ex}$  резко уменьшает свое значение, что объясняется насыщением усилителя DA1.

По условию (4) можно реализовать схему умножителя индуктивностей на одном операционном усилителе (рис.3,а).

Такая схема эквивалентна схеме на рис.1. в которой  $R_1 = \infty, R_2 = 0$ . Напряжение  $U_2$  снимается с резистивного делителя  $R_3, R_4$ , который питается напряжением  $U_1$ . Коэффициент  $n$  определяется как

$$n = R4/(R3 + R4) \quad (9)$$

и может изменяться от 0 до 1. Из (1) с учетом (4) и (9) получим, что входная индуктивность умножителя

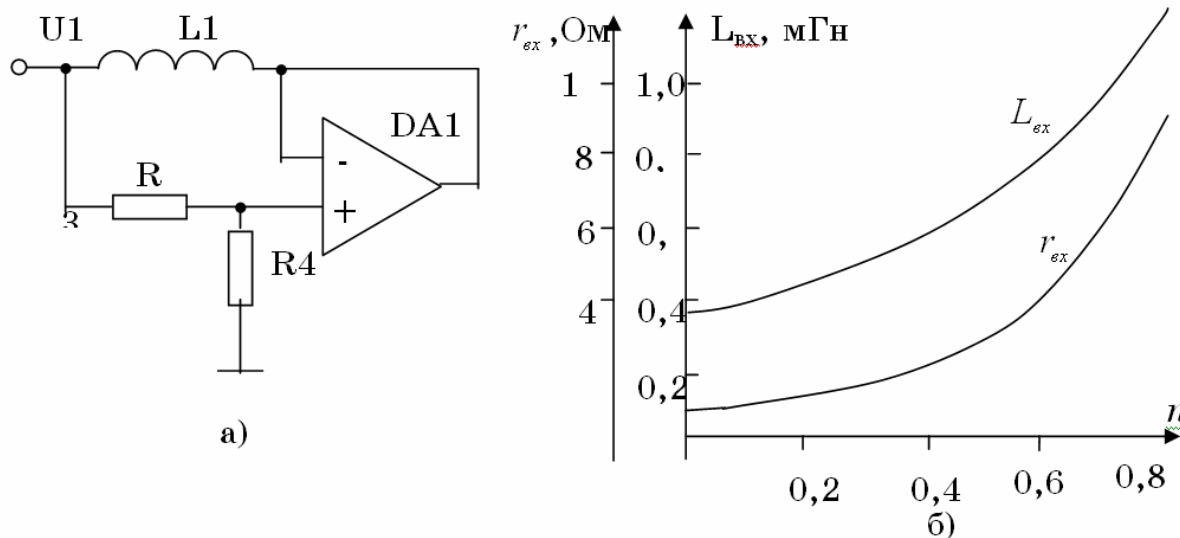


Рисунок 3 - Умножитель индуктивности (а) и его входные характеристики (б)

$$L_{ex} = L1(1 + R4/R3). \quad (10)$$

Как видно из экспериментальных зависимостей  $L_{ex}(n)$  и  $r_{ex}(n)$ , приведенных на рис.3,б, при  $0 \leq n \leq 0,8$  наблюдается эффект умножения индуктивности  $L1$  с максимальным коэффициентом умножения 3,7. Возможность значительного увеличения  $L_{ex}$  по сравнению с  $L1$  сдерживается ограничениями по динамическому диапазону, так как напряжение на  $L_{ex}$  меньше напряжения насыщения усилителя DA1 в  $(1 + R4/R3)$  раз.

Рассмотренный умножитель имитирует на входных клеммах заземленную индуктивность, величина которой определяется значением индуктивности  $L1$  и коэффициентом умножения.

**Вывод.** Проведенные исследования показывают возможность схемотехнического проектирования умножителей индуктивности с заданными характеристиками на основе комбинированной операционной схемы.

**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. О функционально полном наборе входных импедансов комбинированной операционной схемы // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных трудов. – Выпуск 6(41). – Днепропетровск, 2005. – с.47 – 53.

Получено 28.11.2008г.