

Д. т. н. Н. А. ФИЛИНЮК, д. т. н. Л. Б. ЛИЩИНСКАЯ, Р. Ю. ЧЕХМЕСТРУК

Украина, Винницкий национальный технический университет  
E-mail: chehroma@yandex.ru

## ПАССИВНЫЕ ОГРАНИЧИТЕЛИ ИММИТАНСА

*Предложены R-, L-, C-ограничители иммитанса в виде четырехполюсника, выходной иммитанс которого до определенного значения зависит от величины входного. Приведена классификация ограничителей иммитанса. Обоснованы основные параметры. Разработаны пассивные R-, L-, C-ограничители с возможностью ограничения иммитанса сверху и снизу. Проведена оценка влияния входных паразитных составляющих иммитанса на передаточную характеристику ограничителей.*

*Ключевые слова:* ограничитель иммитанса, передаточная характеристика, уровень ограничения.

Существует ряд электронных схем, предназначенных для ограничения тока [1–3] и напряжения [4–6]. При разработке некоторых электронных устройств, например иммитансных логических схем [7], согласующих [8] и компенсирующих [9] цепей, возникает необходимость ограничения их сопротивления. При работе на переменном токе в качестве характеристик электрической цепи кроме активной составляющей сопротивления используются также реактивные — емкостная и индуктивная, поэтому в ряде случаев возникает задача ограничения этих величин. В известных авторам литературных источниках отсутствуют сведения о параметрах и схемотехнической реализации устройств, выполняющих такую функцию ограничения, что определяет актуальность рассматриваемых в работе вопросов.

В настоящей статье представлены результаты разработки основ построения пассивных ограничителей активного ( $R$ ), емкостного ( $X_C$ ) и индуктивного ( $X_L$ ) сопротивления.

### Определение и классификация ограничителей иммитанса

Электрическую цепь характеризует полное сопротивление (импеданс) или полная проводимость (адмитанс), и когда не указывается их конкретное значение, используется обобщающее понятие «иммитанс», которое не связано с единицами измерения [10, 11].

Ограничителем иммитанса назовем четырехполюсник (рис. 1), выходной иммитанс которого  $W_{\text{ВЫХ}}$  до значения  $W_{\text{ВЫХ.0}}$  зависит от вход-

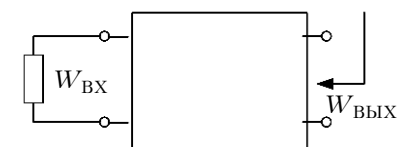


Рис. 1. Обобщенная схема ограничителя иммитанса

ного иммитанса  $W_{\text{ВХ}}$ . Величину  $W_{\text{ВЫХ.0}}$  назовем уровнем ограничения выходного иммитанса.

В общем случае иммитанс — комплексная величина:  $W = \text{Re}W + j\text{Im}W$ , поэтому в частном случае следует рассматривать ограничение или его вещественной ( $\text{Re}W$ ), или мнимой ( $\text{Im}W$ ) составляющей. Ограничитель по  $\text{Re}W$  назовем «R-ограничитель». Учитывая, что мнимая составляющая иммитанса может иметь емкостной или индуктивный характер, в первом случае будем рассматривать емкостной ограничитель (C-ограничитель), а во втором — индуктивный (L-ограничитель). Кроме того, в качестве частного случая можно рассматривать ограничитель иммитанса по модулю  $|W| = \sqrt{\text{Re}W^2 + \text{Im}W^2}$ . Возможная классификация ограничителей иммитанса представлена на рис. 2.

Каждый из перечисленных ограничителей будем характеризовать видом ограничения, определяемым передаточной иммитансной характеристикой ограничителя  $W_{\text{ВЫХ}} = T(W_{\text{ВХ}})$ . Как показано на графиках рис. 3, это может быть ограничение «сверху», «снизу» или двухстороннее ограничение.

Кроме того, R-ограничители могут быть поделены на устройства для постоянного и для переменного тока. Иммитансные ограничители, которые могут быть реализованы только на R-, L- или C-компонентах, без использования источника питания, назовем «пассивными», а на комбинации R-, L- или C-компонентов и полупроводниковых приборов с использованием источников питания — «активными».

Как показано на рис. 3, а, вне диапазона ограничения зависимость  $W_{\text{ВЫХ}} = T(W_{\text{ВХ}})$  может быть как линейной (линия 1), так и нелинейной (линия 2). В первом случае ограничитель иммитанса назовем «линейными», а во втором случае — «нелинейными».

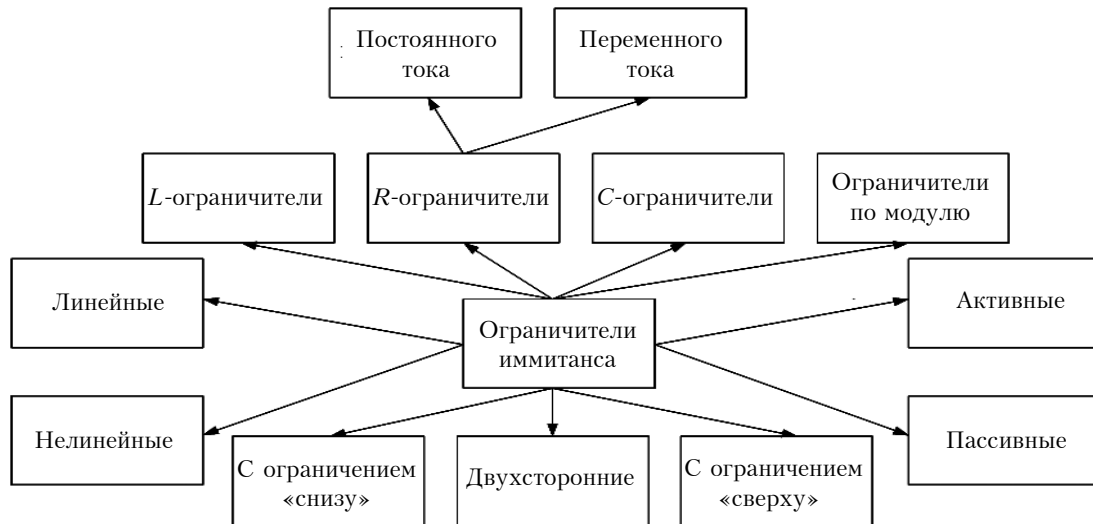


Рис. 2. Классификация ограничителей иммитанса

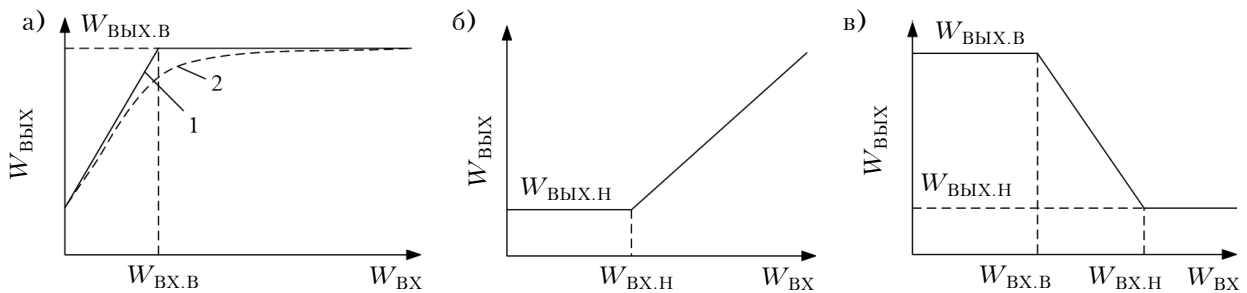


Рис. 3. Передаточные иммитансные характеристики ограничителей иммитанса с ограничением «сверху» (а), «снизу» (б) и с двухсторонним ограничением (в)

Предлагаемая классификация ограничителей иммитанса по мере развития таких устройств может быть дополнена.

**Обоснование выбора основных параметров ограничителя иммитанса**

Из анализа передаточных иммитансных характеристик (рис. 3) рассматриваемых ограничителей, а также системы параметров ограничителя напряжения [3], предлагается следующая система основных параметров ограничителя иммитанса:

- нижний и верхний уровни ограничения выходного иммитанса  $W_{ВЫХ.Н}$ ,  $W_{ВЫХ.В}$ ;
- нижние ( $W_{ВХ.Н}$ ) и верхние ( $W_{ВХ.В}$ ) значения входного иммитанса, соответствующие нижнему и верхнему уровням ограничения;
- диапазон возможных значений выходного иммитанса  $\Delta W_{ВЫХ} = |W_{ВЫХ.В} - W_{ВЫХ.Н}|$ ;
- крутизна ограничителя иммитанса  $S = \Delta W_{ВЫХ} / (W_{ВХ.В} - W_{ВХ.Н})$ ;
- время срабатывания  $\tau$  (или задержка);
- верхняя и нижняя граничные частоты  $f_H$ ,  $f_B$ ;
- центральная рабочая частота  $f_0 = (f_H + f_B) / 2$ ;
- абсолютная рабочая полоса частот  $\Delta f = (f_B - f_H)$ ;
- относительный диапазон рабочих частот  $\xi = \Delta f / f_0$ .

На рис. 3 показаны идеальные передаточные характеристики ограничителей иммитанса. Для реальных же ограничителей эти зависимости нелинейные, например пунктирная линия 2 на рис. 3, а. Для оценки степени нелинейности предлагается использовать коэффициент нелинейности вида

$$K_{н.л} = \left[ \frac{dW_{ВЫХ.Н}}{dW_{ВХ}} - \frac{dW_{ВЫХ.В}}{dW_{ВХ}} \right] / \frac{dW_{ВЫХ.Н}}{dW_{ВХ}}$$

Для случая использования ограничителя иммитанса в измерительной аппаратуре важно знать, с какой точностью устанавливается граничное значение выходного иммитанса. Для ее оценки используем значение относительной погрешности установки уровня ограничения:

$\delta_H = \Delta W_{ВЫХ.Н} / W_{ВЫХ.Н}$ ;  $\delta_B = \Delta W_{ВЫХ.В} / W_{ВЫХ.В}$ , где  $\Delta W_{ВЫХ.Н}$ ,  $\Delta W_{ВЫХ.В}$  – абсолютное отклонение значения выходного иммитанса от заданного уровня  $W_{ВЫХ.Н}$  или  $W_{ВЫХ.В}$  при достижении входным иммитансом значений  $W_{ВХ.Н}$  и  $W_{ВХ.В}$  соответственно.

Все перечисленные параметры не являются уникальными и могут быть измерены с помощью стандартной аппаратуры известными методами, и поэтому в дальнейшем эти вопросы мы обсуждать не будем.

**Разработка ограничителей иммитанса**

В качестве примера рассмотрим четырехполюсники, образованные последовательным и параллельным включением компонентов с иммитансом, соответственно,  $W_1$  и  $W_2$  (рис. 4). Ко входу таких четырехполюсников подключается цепь с иммитансом  $W_{BX1}$  и  $W_{BX2}$  соответственно. Выходной иммитанс первого четырехполюсника (рис. 4, а) равен

$$W_{ВЫХ1} = W_{BX1} + W_1, \quad (1)$$

второго четырехполюсника (рис. 4, б) равен

$$W_{ВЫХ2} = W_{BX2} W_2 / (W_{BX2} + W_2). \quad (2)$$

Рассмотрим три варианта схемы четырехполюсника, представленной на рис. 4, а.

В первом варианте (рис. 5, а), когда  $W_{BX1} = R_{BX1}$ , а  $W_1 = R_1$ , имеем:  
 $W_{ВЫХ1} = R_{ВЫХ1} = R_{BX1} + R_1$ .

Если  $R_{BX1} \neq 0$ , тогда  $R_{ВЫХ1} > R_1$ . Если  $R_{BX1} = 0$ , тогда  $R_{ВЫХ1} = R_1$ . Таким образом, выходное активное сопротивление схемы при любых изменениях значения  $R_{BX1} > 0$  не может быть меньше значения  $R_1$ , которое является уровнем ограничения снизу, а рассматриваемый четырехполюсник, согласно данному выше определению, является R-ограничителем иммитанса снизу.

Во втором варианте (рис. 5, б), когда  $W_{BX1} = X_{BX1L} = \omega L_{BX1}$ , а  $W_1 = X_{1L} = \omega L_1$ , имеем:  
 $W_{ВЫХ1L} = X_{ВЫХ1L} = X_{BX1L} + X_{1L} = \omega(L_{BX1} + L_1)$ .

Если  $X_{BX1L} \neq 0$ , тогда  $X_{ВЫХ1L} > X_{1L}$ . Если  $X_{BX1L} = 0$ , тогда  $X_{ВЫХ1L} = X_{1L}$ . Таким образом, выходное индуктивное сопротивление схемы  $X_{ВЫХ1L}$  при любых изменениях значения  $X_{BX1L} \geq 0$  не может быть меньше значения  $X_{1L}$ , которое является уровнем ограничения снизу, а рассматриваемый четырехполюсник является L-ограничителем иммитанса.

В третьем варианте (рис. 5, в), когда  $W_{BX1} = X_{BX1C} = 1/(\omega C_{BX1})$ , а  $W_1 = X_{1C} = 1/(\omega C_1)$ , имеем:

$$W_{ВЫХ1C} = X_{ВЫХ1C} = X_{BX1C} + X_{1C} = (C_{BX1} + C_1) / (\omega C_1 C_{BX1}).$$

Если  $X_{BX1C} \neq 0$ , тогда  $X_{ВЫХ1C} > X_{1C}$ . Если  $X_{BX1C} = 0$ , тогда  $X_{ВЫХ1C} = X_{1C}$ . Таким образом, выходное емкостное сопротивление схемы  $X_{ВЫХ1C}$  при любых изменениях значения  $X_{BX1C} \neq 0$  не может быть меньше значения  $X_{1C}$ , которое является уровнем ограничения снизу, а рассматриваемый четырехполюсник является C-ограничителем иммитанса.

Рассмотрим три варианта схемы четырехполюсника, представленной на рис. 4, б.

В первом варианте (рис. 5, г), когда  $W_{BX2} = W_{BX2}$ , а  $W_2 = R_2$ , имеем:

$$W_{ВЫХ2} = R_{ВЫХ2} = (R_{BX2} + R_2) / (R_{BX2} + R_2).$$

Если  $R_{BX2} \neq 0$ , тогда  $R_{ВЫХ2} < R_2$ . Если  $R_{BX2} \gg R_2$ , тогда  $R_{ВЫХ2} \approx R_2$ . Таким образом, выходное активное сопротивление схемы при любых изменениях значения  $R_{BX2}$  не может быть больше значения  $R_2$ , которое определяет уровень ограничения сверху, а рассматриваемый четырехполюсник согласно данному выше определению является R-ограничителем иммитанса сверху.

Во втором варианте (рис. 5, д), когда  $W_{BX2} = X_{BX2L} = \omega L_{BX2}$ , а  $W_2 = X_{2L} = \omega L_2$ , имеем:  
 $W_{ВЫХ2L} = X_{ВЫХ2L} = (X_{BX2L} X_{2L}) / (X_{BX2L} + X_{2L}) = \omega(L_{BX2} L_2) / (L_{BX2} + L_2)$ .

Если  $X_{BX2L} \neq 0$ , тогда  $X_{ВЫХ2L} < X_{2L}$ . Если  $X_{BX2L} \gg X_{2L}$ , тогда  $X_{ВЫХ2L} \approx X_{2L}$ . Таким образом, выходное индуктивное сопротивление схемы при любых изменениях значения  $X_{BX2L} > 0$  не может быть больше значения  $X_{2L}$ , которое определяет уровень ограничения сверху, а рассматриваемый

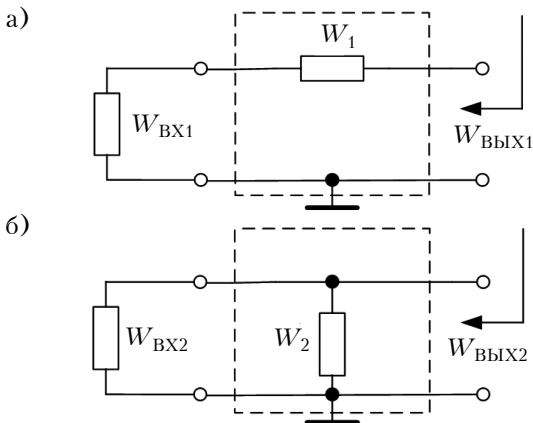


Рис. 4. Обобщенные схемы пассивных ограничителей иммитанса по нижнему (а) и верхнему (б) уровням

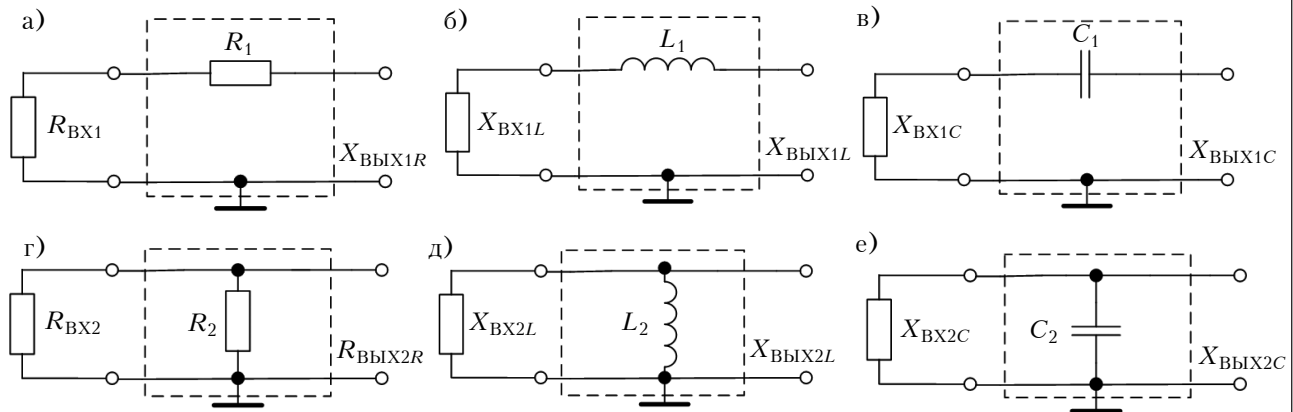


Рис. 5. Реальные схемы пассивных ограничителей иммитанса с ограничением «снизу» (а–в) и «сверху» (г–е)

четырёхполюсник является  $L$ -ограничителем иммитанса сверху.

В третьем варианте (рис. 5,  $e$ ), когда  $W_{BX2} = X_{BX2C} = 1/(\omega C_{BX2})$ , а  $W_2 = X_{2C} = 1/(\omega C_2)$ , имеем:

$$W_{ВЫХ2C} = X_{ВЫХ2C} = (X_{BX2C} X_{2C}) / (X_{BX2C} + X_{2C}) = 1/(\omega(C_{BX2C} + C_2)).$$

Если  $X_{BX2C} \neq 0$ , тогда  $X_{ВЫХ2C} < X_{2C}$ . Если  $X_{BX2C} \gg X_{2C}$ , тогда  $X_{ВЫХ2C} \approx X_{2C}$ . Таким образом, выходное индуктивное сопротивление схемы при любых изменениях значения  $X_{BX2C} > 0$  не может быть больше значения  $X_{2C}$ , которое определяет уровень ограничения сверху, а рассматриваемый четырёхполюсник является  $C$ -ограничителем иммитанса сверху.

Следует отметить, что необходимым условием работоспособности рассмотренных схем является совпадение характеров входных иммитансов  $W_{BX1}$ ,  $W_{BX2}$  и иммитансов  $W_1$ ,  $W_2$ , задающих уровень ограничения. Кроме того, полученные результаты соответствуют случаю использования идеальных  $RLC$ -компонентов.

Двухстороннее ограничение иммитанса возможно при каскадировании односторонних ограничителей. В случае когда необходимо осуществить ограничение по уровню проводимости, соответствующая схема ограничения по верхнему уровню сопротивления будет работать как ограничитель проводимости по нижнему уровню.

Реальные  $RLC$ -компоненты обладают паразитными активным сопротивлением, индуктивностью выводов и межэлектродными емкостями. Кроме того, входной иммитанс  $W_{BX}$  не может быть чисто активным или реактивным, что влияет на характер представленных иммитансных характеристик рассматриваемых ограничителей и требует проведения исследования для оценки этого влияния.

**Влияние паразитных иммитансов на передаточную характеристику ограничителя иммитанса**

Рассмотрим влияние паразитных составляющих входного иммитанса, который должен быть ограничен. Для  $R$ -ограничителей это индуктивная составляющая ( $\text{Im}Z_{BX}$ ), а для  $L$ - и  $C$ -ограничителей – активная ( $\text{Re}Z_{BX}$ ). С целью упрощения анализа на данном этапе исследований будем считать, что иммитансы  $Z_1(R_1, L_1, C_1)$  и  $Z_2(R_2, L_2, C_2)$  являются «идеальными», т. е. не имеют паразитных составляющих. С учетом этих допущений и в соответствии с формулами (1) и (2), функции иммитансных передаточных

характеристик при неидеальности входного иммитанса  $W_{BX1}$  и  $W_{BX2}$  можно представить в следующем виде:

–  $R$ -ограничитель снизу:

$$\text{Re}[Z_{ВЫХ}(R_{BX1})] = R_1 + R_{BX1}; \quad (3)$$

–  $R$ -ограничитель сверху:

$$\text{Re}[Z_{ВЫХ}(R_{BX2})] = \frac{R_2(R_{BX2}^2 + R_2 R_{BX2} + X_{L.BX.п}^2)}{R_{BX1}^2 + 2R_2 R_{BX2} + X_{L.BX.п}^2 + R_2^2},$$

где  $X_{L.BX.п}$  – входное паразитное индуктивное сопротивление выводов;

–  $L$ -ограничитель снизу:

$$\text{Im}[Z_{ВЫХ}(X_{L.BX})] = X_{L.BX} + X_{L1}; \quad (5)$$

–  $L$ -ограничитель сверху:

$$\text{Im}[Z_{ВЫХ}(L_{BX2})] = \frac{X_{L2} R_{BX.п}^2 + X_{L.BX2} X_{L2} (X_{L.BX2} + X_{L2})}{R_{BX.п}^2 + X_{L.BX2}^2 + 2X_{L.BX2} X_{L2} + X_{L2}^2},$$

где  $R_{BX.п}$  – входное паразитное активное сопротивление выводов;

–  $C$ -ограничитель снизу:

$$\text{Im}[Z_{ВЫХ}(C_{BX1})] = X_{C1} + \frac{R_{BX.п}^2 X_{C.BX1}}{R_{BX.п}^2 + X_{C.BX1}^2}; \quad (7)$$

–  $C$ -ограничитель сверху: см. формулу (8) внизу страницы;

При неидеальности ограничительных элементов  $W_1$  и  $W_2$  формулы (1) и (2) примут следующий вид:

–  $R$ -ограничитель снизу:

$$\text{Re}[Z_{ВЫХ}(R_{BX1})] = R_2 + R_{BX2}; \quad (9)$$

–  $R$ -ограничитель сверху:

$$\text{Re}[Z_{ВЫХ}(R_{BX1})] = \frac{R_2(R_{BX2}^2 + R_2 R_{BX2} + X_{L.п.о}^2)}{R_{BX2}^2 + 2R_2 R_{BX2} + X_{L.п.о}^2 + R_2^2}, \quad (10)$$

где  $X_{L.п.о}$  – паразитное индуктивное сопротивление выводов ограничительного элемента  $W_2$ ;

–  $L$ -ограничитель снизу:

$$\text{Im}[Z_{ВЫХ}(X_{L.BX})] = X_{L.BX} + X_{L2}; \quad (11)$$

–  $L$ -ограничитель сверху:

$$\text{Im}[Z_{ВЫХ}(L_{BX2})] = \frac{X_{L2} R_{п.о}^2 + X_{L.BX2} X_{L2} (X_{L.BX2} + X_{L2})}{R_{п.о}^2 + X_{L.BX2}^2 + 2X_{L.BX2} X_{L2} + X_{L2}^2},$$

где  $R_{п.о}$  – паразитное активное сопротивление выводов ограничительного элемента  $W_2$ ;

–  $C$ -ограничитель снизу:

$$\text{Im}[Z_{ВЫХ}(C_{BX1})] = \text{Im} \left( X_{C.BX1} + \frac{R_{п.о}^2 X_{C1}}{R_{п.о}^2 + X_{C1}^2} \right); \quad (13)$$

–  $C$ -ограничитель сверху: см. формулу (14) внизу страницы.

$$\text{Im}[Z_{ВЫХ}(C_{BX2})] = \frac{R_{BX.п.C} X_{C.BX2} X_{C2} (R_{BX.п.C} X_{C.BX2} + R_{BX.п.C} X_{C2})}{R_{BX.п.C}^2 X_{C.BX2}^2 + 2R_{BX.п.C} X_{C.BX2} X_{C2} + R_{BX.п.C}^2 X_{C2}^2 + X_{C.BX2}^2 X_{C2}^2}, \quad (8)$$

где  $R_{BX.п.C}$  – входное паразитное активное сопротивление емкостной утечки.

$$\text{Im}[Z_{ВЫХ}(C_{BX2})] = \frac{R_{п.о.C} X_{C.BX2} X_{C2} (R_{п.о.C} X_{C.BX2} + R_{п.о.C} X_{C2})}{R_{п.о.C}^2 X_{C.BX2}^2 + 2R_{п.о.C} X_{C.BX2} X_{C2} + R_{п.о.C}^2 X_{C2}^2 + X_{C.BX2}^2 X_{C2}^2}, \quad (14)$$

где  $R_{п.о.C}$  – паразитное активное сопротивление емкостной утечки ограничительного элемента  $W_2$ .

Из анализа формул (3), (5), (9) и (11) видно, что паразитные составляющие  $R_{ВХ.П}$ ,  $X_{L.ВХ.П}$ ,  $R_{П.О}$ ,  $X_{L.П.О}$  не влияют на передаточную характеристику  $R$ - и  $L$ -ограничителей «снизу».

Влияние паразитных составляющих входного иммитанса (через добротность) на передаточные характеристики ограничителей показаны на рис. 6–9.

Как видно из рис. 6, паразитная индуктивность входного сопротивления  $L_{ВХ.П}$  и паразитное сопротивление  $R_{ВХ.П}$  не влияют на уровень ограничения. Иммитансная передаточная характеристика  $R$ -ограничителя (рис. 6, а) при добротности входного сопротивления близка к идеальной, а  $L$ -ограничителя (рис. 6, б) приближается к идеальной с увеличением  $Q_L(R_{ВХ.П})$ .

Как следует из рис. 7, паразитное сопротивление  $R_{ВХ.П.С}$  не влияет на уровень ограничения  $C$ -ограничителя «снизу» и влияет

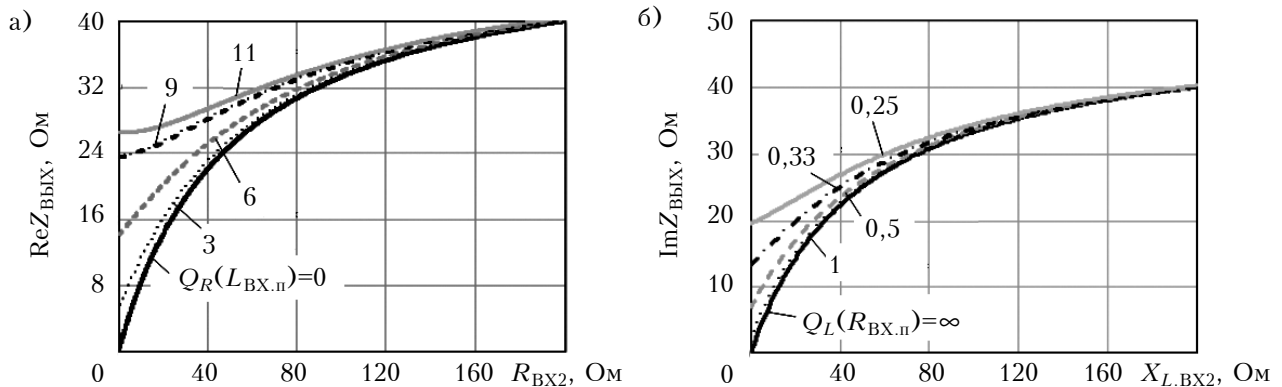


Рис. 6. Влияние на иммитансные передаточные характеристики ограничителей «сверху» входных паразитных составляющих при различных значениях добротности: а –  $L_{ВХ.П}$  в  $R$ -ограничителе; б –  $R_{ВХ.П}$  в  $L$ -ограничителе

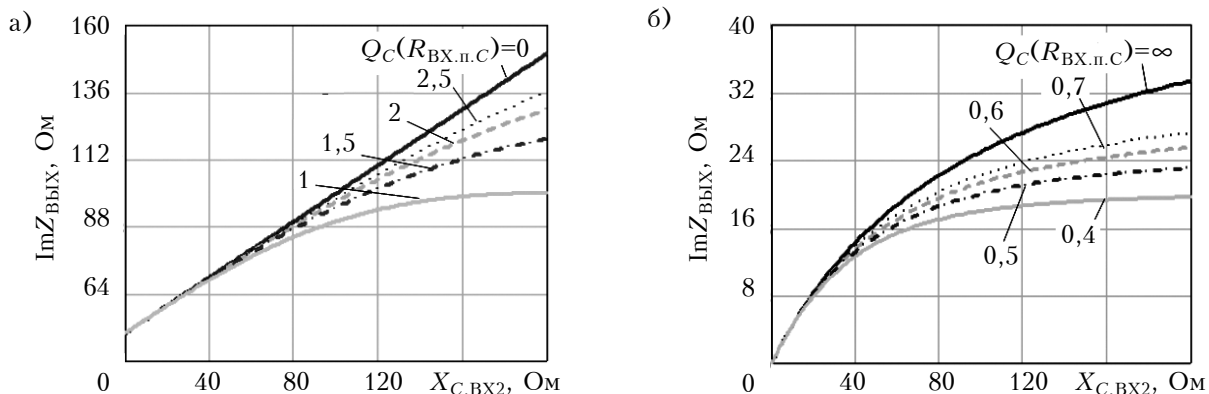


Рис. 7. Влияние входного паразитного сопротивления  $R_{ВХ.П.С}$  на иммитансные передаточные характеристики  $C$ -ограничителя «снизу» (а) и «сверху» (б) при различных значениях добротности

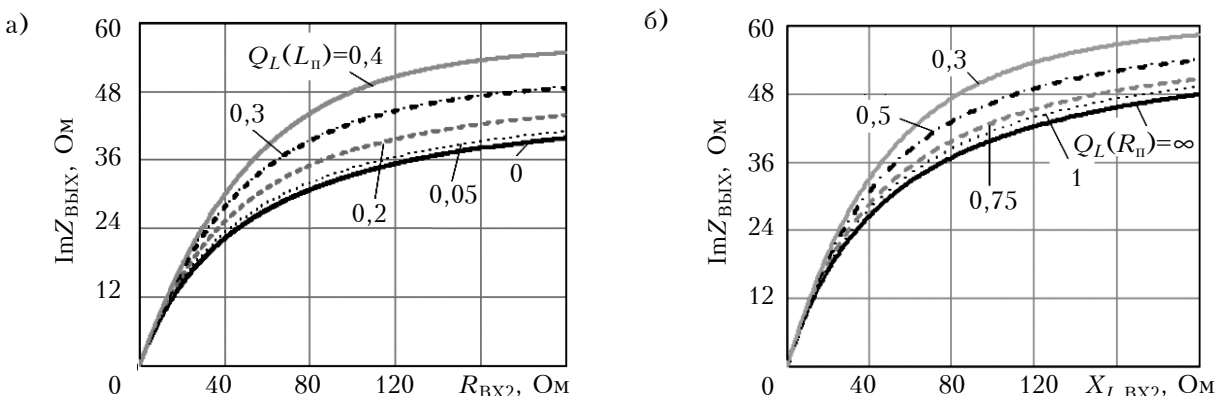


Рис. 8. Влияние на иммитансные передаточные характеристики ограничителей «сверху» паразитных составляющих ограничительного элемента при различных значениях добротности: а –  $L_П$  в  $R$ -ограничителе; б –  $R_П$  в  $L$ -ограничителе

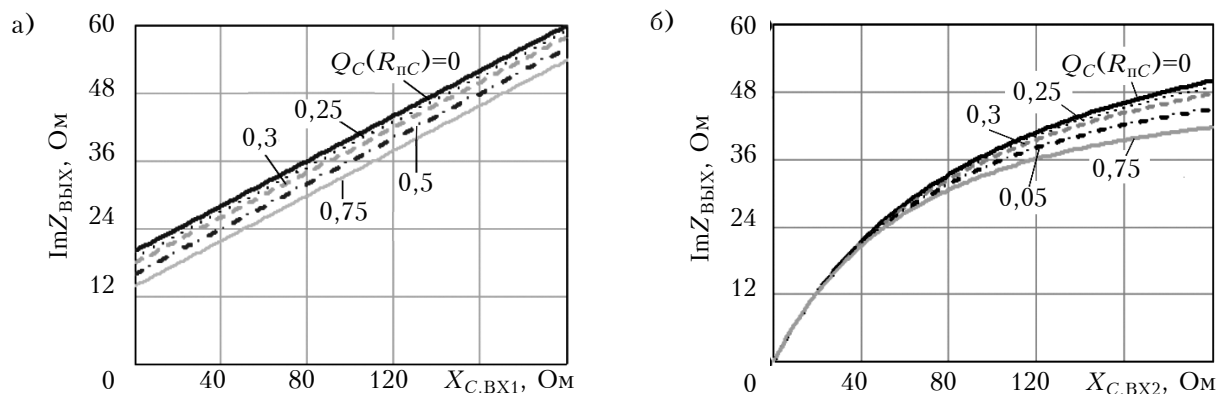


Рис. 9. Влияние паразитного сопротивления ограничительного элемента  $R_{п.с}$  на иммитансные передаточные характеристики  $S$ -ограничителя «снизу» (а) и «сверху» (б) при различных значениях добротности

на  $S$ -ограничитель «сверху». В первом случае (рис. 7, а) при добротности  $Q_C(R_{ВХ.п.с}) = 1/(\omega C_{ВХ1} R_{ВХ1}) > 5$  иммитансная передаточная характеристика совпадает с идеальной. Во втором случае (рис. 7, б) при уменьшении добротности снижается уровень ограничения и при  $Q_C(R_{ВХ.п.с}) > 2$  отклонение уровня ограничения от идеальной кривой составляет не более 2%.

Влияние паразитных иммитансов на  $R$ - и  $L$ -ограничители «сверху» можно увидеть из графиков рис. 8. При росте добротности ограничительного элемента  $Q_R(L_{п}) = \omega L_{п} / R_2$  уровень ограничения  $R$ -ограничителя увеличивается,  $L$ -ограничителя уменьшается. В первом случае (рис. 8, а) иммитансная передаточная характеристика при  $Q_R(L_{п}) = 0,1 - 0,3$  отличается от идеальной не более чем на 1%, во втором (рис. 8, б) — близка к идеальной при  $Q_L(R_{п}) = \omega L_2 / R_{п} \approx \infty$ .

Из приведенных на рис. 9 иммитансных передаточных характеристик  $S$ -ограничителей «снизу» и «сверху» видно влияние активного сопротивления емкостной утечки  $R_{п.с}$  на уровень ограничения — он уменьшается с ростом добротности  $Q_C(R_{п.с}) = 1/(\omega C_2 R_{п.с})$ . При  $Q_C(R_{п.с}) = 0,2 - 0,3$  отклонения уровня ограничения от идеальной кривой составляют не более 3%.

### Выводы

Таким образом, проведенные исследования показали, что предложенные пассивные  $R$ -,  $L$ - и  $S$ -ограничители способны ограничивать иммитанс сверху и снизу. Проведенная оценка влияния входных паразитных составляющих на иммитансную передаточную характеристику ограничителей показала, что в большинстве случаев они не влияют на рассмотренные устройства, в том числе на  $R$ -ограничители «сверху» при входной добротности элемента  $Q_R(L_{ВХ.п}) = 0,1 - 0,2$  и на  $L$ -ограничители «сверху» при высокодобротных входных контурах с  $Q_L(R_{ВХ.п}) > 2$ . Анализ также показал, что для  $S$ -ограничителей при входном паразитном иммитансе следует стремиться к высокодобротным контурам с  $Q_C(R_{ВХ.п}) > 3$ , а при паразитном иммитансе ограничительного элемента сле-

дует подбирать низкодобротные контуры с добротностью  $Q_C(R_{п.с}) > 0,2$ .

Активные преобразователи иммитанса и сравнительную оценку их параметров авторы планируют представить в следующих публикациях.

### ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Meyer C., Schroder S., De Doncker R. W. Solid-state circuit breakers and current limiters for medium-voltage systems having distributed power systems // IEEE Transactions on Power Electronics. — 2004. — Vol. 19, N 5. — P. 1333–1340.
2. Noe M., Steurer M. High-temperature superconductor fault current limiters: concepts, applications, and development status // Superconductor Science and Technology. — 2007. — Vol. 20, N 3. — P. 15.
3. Кашкаров А. Радиоэлектронные конструкции на любой вкус. — Москва: Эксмо, 2008.
4. Fernandez E., Beriain A., Solar H. et al. Low power voltage limiter design for a full passive UHF RFID sensor // Proceed. of IEEE 54th Midwest Symposium "Circuit and Systems" (MWSCAS). — Korea, Seoul. — 2011. — 4 p. — DOI: 10.1109/MWSCAS.2011.6026504.
5. Shoucheng Li, Jingpeng Shen, Shan Liu, Ke Lin. A novel voltage limiter circuit for passive RFID tag // Proceed. of IET International Conference "Information Science and Control Engineering 2012" (ICISCE 2012). — China, Shenzhen. — 2012. — 4 p. — DOI:10.1049/cp.2012.2400
6. Takeshima T., Takada M., Shimizu T. et al. Voltage limiters for DRAM's with substrate-plate-electrode memory cells // IEEE Journal of Solid-State Circuits. — 1988. — Vol. 23, N 1. — P. 48–52. — DOI: 10.1109/4.255
7. Ліщинська Л. Б., Філінюк М. А. Імітансна логіка // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. — 2010. — №. 2. — С. 25–31.
8. Маттей Д. Л., Янг Л., Джонс Е. М. Т. Фильтры СВЧ, согласующие цепи и цепи связи / Перевод с англ. под ред. Л. В. Алексеева и Ф. В. Кушнера. — Москва: Связь, 1971.
9. Бенинг Ф. Отрицательные сопротивления в электронных схемах. — Москва: Сов. радио, 1975.
10. Шкурин Г. П. Справочник по новым радиоизмерительным приборам. — Воениздат, 1966.
11. Middleton W., Valkenburg M. E. V. Reference data for engineers: radio, electronics, computer and communications. — USA: Newnes, 2002.

Дата поступления рукописи  
в редакцию 19.02 2015 г.

Н. А. ФІЛИНЮК, Л. Б. ЛІЩИНСЬКА, Р. Ю. ЧЕХМЕСТРУК

Україна, Вінницький національний технічний університет

E-mail: chehroma@yandex.ru

## ПАСИВНІ ОБМЕЖУВАЧІ ІМІТАНСУ

Запропоновано R-, L-, C-обмежувачі імпедансу у вигляді чотириполюсника, вихідний імпедансу якого до певного значення залежить від величини вхідного. Наведено класифікацію обмежувачів імпедансу. Обґрунтовано основні параметри. Розроблено пасивні R-, L-, C-обмежувачі з можливістю обмеження імпедансу зверху і знизу. Проведено оцінку впливу вхідних паразитних складових імпедансу на передаткову характеристику обмежувачів.

Ключові слова: обмежувач імпедансу, передаткова характеристика, рівень обмеження.

DOI: 10.15222/ТКЕА2015.2-3.03  
UDC 621.37

N. A. FILINYUK, L. B. LISCHINSKAYA,  
R. Yu. CHEKHMESTRUK

Ukraine, Vinnytsya National Technical University  
E-mail: chehroma@yandex.ru

## PASSIVE IMMITANCE LIMITERS

The paper presents quadripole R, L, C immittance limiters, in which output immittance to the certain value depends on the input immittance. A classification of immittance limiters is given. Basic parameters are considered: low and high levels of output immittance limiters; low and high values of input immittance, corresponding to low and high levels of limitation, accordingly; range of possible values of output immittance; steepness of immittance limiters; time of wearing-out (or delay); high and low cutoff frequencies; central working frequency; frequency band; relative range of working frequencies; non-linearity coefficient. The authors have designed passive R-, L-, C-limiters with possibility of limitation from above and from below. The influence of the input parasitic immittances on the immittance transfer characteristic is evaluated. In most cases parasite immittance does not influence the considered devices, including R-limiters «from above» with the input quality factor of  $Q_R(L_{imp})=0,1...0,2$  and L-limiters «from above» with high-quality input circuits with  $Q_L(R_{imp})>2$ . The analysis also shows that high-quality circuits with  $Q_C(R_{impC})>3$  should be used in C-limiters with input parasitic immittances, while at parasitic immittance of the limiting element low-quality circuits with  $Q_C(R_{nC})>0,2$  should be selected.

Keywords: immittance limiter, transfer characteristic, limitation level.

## REFERENCES

1. Meyer C., Schroder S., De Doncker R. W. Solid-state circuit breakers and current limiters for medium-voltage systems having distributed power systems. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 2004, vol. 19, no 5, pp. 1333-1340.
2. Noe M., Steurer M. High-temperature superconductor fault current limiters: concepts, applications, and development status. *Superconductor Science and Technology*, 2007, vol. 20, no 3, p. 15.
3. Kashkarov A. *Radioelektronnyye konstruksii na lyuboi vkus* [Radio-electronic design any taste]. Moscow, Eksmo, 2008, 368 p. (Rus)
4. E. Fernández, A. Beriain, H. Solar, A. García-Alonso, R. Berenguer, J. Sosa, J. M. Monzyn, S. García-Alonso, J. A. Montiel-Nelson. Low power voltage limiter design for a full passive UHF RFID sensor. *Proceed. of IEEE 54<sup>th</sup> Midwest Symposium "Circuit and Systems" (MWSCAS)*. Korea, Seoul, 2011, 4 p. DOI: 10.1109/MWSCAS.2011.6026504.
5. Shoucheng Li, Jingpeng Shen, Shan Liu, Ke Lin. A novel voltage limiter circuit for passive RFID tag. *Proceed. of IET International Conference "Information Science and*

*Control Engineering 2012" (ICISCE 2012)*, China, Shenzhen, 2012, 4 p. DOI:10.1049/cp.2012.2400

6. Takeshima T., Takada M., Shimizu T., Katoh T., Sakamoto M. Voltage limiters for DRAM's with substrate-plate-electrode memory cells. *IEEE Journal of Solid-State Circuits*, 1988, vol. 23, no 1, pp. 48-52. DOI: 10.1109/4.255

7. Lishchins'ka L. B., Filinyuk M. A. [Impedance logic]. *Information Technology and Computer Engineering*, 2010, no 2, pp. 25-31. (Ukr)

8. Matthaei G., Jones E.M.T., Young L. *Microwave Filters, Impedance-Matching Networks and Coupling Structures*. Hill, New York, 1964.

9. Bening F. *Otritsatel'nye soprotivleniya v elektronnykh skhemakh* [Negative resistance in electronic schemes]. Moscow, Sov. radio, 1975, 288 p.

10. Shkurin G. P. *Spravochnik po novym radioizmeritel'nym priboram* [Handbook on the new radio devices] Voenizdat, 1966, 358 p.

11. Middleton W., Valkenburg M. E. V. *Reference data for engineers: radio, electronics, computer and communications*. Newnes, Woburn MA, 2002, 1696 p.