

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ АКТИВНЫХ RC-ГЕНЕРАТОРОВ ПРИ ПОСТРОЕНИИ СХЕМ ВТОРИЧНОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

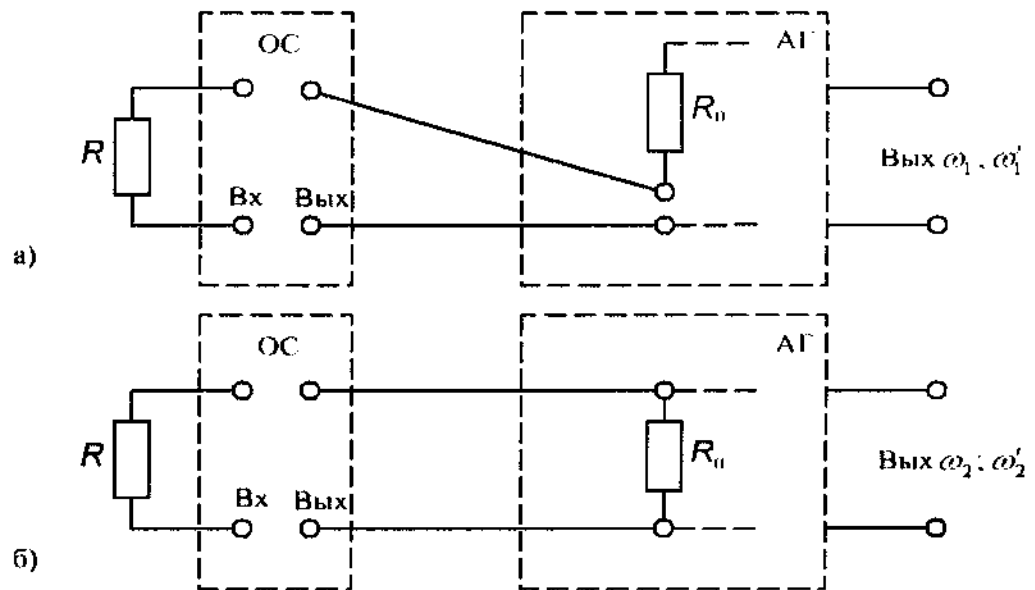
**В.С. Ляпидов**

Самарский государственный технический университет,  
443100, Самара, ул. Молодогвардейская, 244

*Рассмотрены перспективы применения активных RC-генераторов с одним управляемым элементом при построении высокочувствительных схем вторичного преобразования информационно-измерительных систем.*

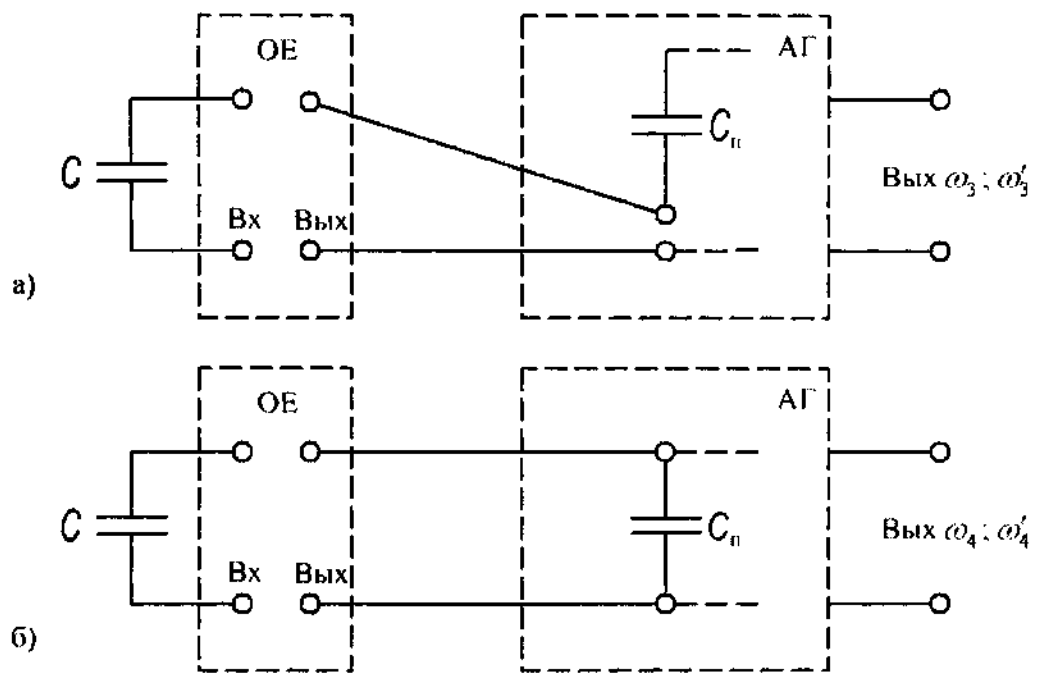
**Ключевые слова:** активный измерительный генератор, управляемый конвертор отрицательного импеданса

Известны схемы активных RC-генераторов синусоидальных колебаний с одним управляемым резистором или конденсатором [1]. Частота колебаний, генерируемых активным генератором, пропорциональна или обратно пропорциональна корню квадратному от величины управляемого резистора  $R_{\Pi}$  или конденсатора  $C_{\Pi}$ . Интерес представляет возможность построения на базе таких активных генераторов (АГ) высокочувствительных измерительных схем за счет включения в состав частотно-задающей цепи АГ схем имитации отрицательного сопротивления (ОС) и отрицательной емкости (ОЕ) [2, 3]. Упрощенные структуры подобных схем вторичного преобразования информационно-измерительных систем приведены на рис. 1, 2.



Р и с. 1. Структурные схемы преобразования малых изменений сопротивления  $R_{\Pi}$  в частоту

*Ляпидов Валерий Сергеевич – доцент кафедры «Автоматика и управление в технических системах», к.т.н., доцент.*



Р и с. 2. Структурные схемы преобразования малых изменений ёмкости  $C_p$  в частоту

На рис. 1 а показан вариант структурной схемы преобразования малых приращений сопротивления в частоту. Выход ОС включен последовательно с измеряемым сопротивлением  $R_p$  первичного преобразователя, а вход ОС подключен к некоторому добавочному сопротивлению  $R$ , т.е. «отрицательное сопротивление» на выходе ОС ( $-\kappa R$ ) включено последовательно измеряемому сопротивлению  $R_p$ . Тогда эквивалентная величина сопротивления  $R_3$  в частотно-задающей цепи АГ с одним управляемым сопротивлением составляет величину

$$R_3 = R_p - \kappa R,$$

где  $\kappa$  – коэффициент преобразования схемы ОС (ОЕ).

Если активный измерительный генератор построен так, что частота генерируемых им колебаний  $\omega_1$  пропорциональна корню квадратному от управляемого сопротивления [1], т.е.

$$\omega_1 = \sqrt{\alpha R_3} = \sqrt{\alpha(R_p - \kappa R)}, \forall R_p > \kappa R,$$

где  $\alpha$  – коэффициент пропорциональности, то  $\omega_1 < \omega_{01}$  при  $\kappa R > 0$ ;  $\omega_{01}$  – частота АГ без схемы имитации отрицательного сопротивления ОС.

$$\omega_{01} = \sqrt{\alpha R_p}.$$

Если же активный измерительный генератор построен так, что частота генерируемых им колебаний  $\omega'_1$  обратно пропорциональна корню квадратному от величины управляемого сопротивления [1], т.е.

$$\omega_1' = \frac{1}{\sqrt{\alpha R_3}} = \frac{1}{\sqrt{\alpha(R_n - \kappa R)}}, \forall R_n > \kappa R,$$

то  $\omega_1' > \omega_{01}'$  при  $\kappa R > 0$ ;  $\omega_{01}'$  – частота АГ без схемы имитации отрицательного сопротивления ОС.

$$\omega_{01}' = \frac{1}{\sqrt{\alpha R_n}}.$$

Выражения для относительных чувствительностей частот  $\omega_1$  и  $\omega_1'$  к изменению коэффициента  $\alpha$  и сопротивлений  $R_n$  и  $R$  соответственно запишутся в следующем виде:

$$\begin{aligned} S_1 &= \frac{\partial \ln \omega_1}{\partial \ln \alpha} = 0,5; \\ S_2 &= \frac{\partial \ln \omega_1}{\partial \ln R_n} = 0,5 \frac{R_n}{R_n - \kappa R}; \\ S_3 &= \frac{\partial \ln \omega_1}{\partial \ln R} = 0,5 \frac{\kappa R}{\kappa R - R_n}. \\ S_1' &= \frac{\partial \ln \omega_1'}{\partial \ln \alpha} = -0,5; \\ S_2' &= \frac{\partial \ln \omega_1'}{\partial \ln R_n} = -0,5 \frac{R_n}{R_n - \kappa R}; \\ S_3' &= \frac{\partial \ln \omega_1'}{\partial \ln R} = -0,5 \frac{\kappa R}{\kappa R - R_n}. \end{aligned}$$

На рис. 1 б показан другой вариант структурной схемы преобразования малых приращений сопротивления в частоту. Выход ОС включен параллельно с измеряемым сопротивлением  $R_n$  первичного преобразователя, т.е. «отрицательное сопротивление» на выходе ОС ( $-\kappa R$ ) включено теперь параллельно измеряемому сопротивлению  $R_n$ . Тогда эквивалентная величина сопротивления  $R_3$  в частотно-задающей цепи АГ

$$R_3 = \frac{\kappa R R_n}{\kappa R - R_n}.$$

Если активный измерительный генератор построен так, что частота генерируемых им колебаний  $\omega_2$  пропорциональна корню квадратному от управляемого сопротивления, т.е.

$$\omega_2 = \sqrt{\alpha R_3} = \left[ \frac{1}{\alpha} \left( \frac{1}{R_n} - \frac{1}{\kappa R} \right) \right]^{-0,5}, \forall R_n < \kappa R,$$

то  $\omega_2 > \omega_{01}$  при  $\kappa R > 0$ .

Если же активный измерительный генератор построен так, что частота генерируемых им колебаний  $\omega_2'$  обратно пропорциональна корню квадратному от величины управляемого сопротивления [1], т.е.

$$\omega'_2 = \frac{1}{\sqrt{\alpha R_3}} = \left[ \frac{1}{\alpha} \left( \frac{1}{R_n} - \frac{1}{\kappa R} \right) \right]^{0,5}, \forall R_n < \kappa R,$$

то  $\omega'_2 < \omega'_{01}$  при  $\kappa R > 0$ .

Выражения для относительных чувствительностей частот  $\omega_2$  и  $\omega'_2$  к изменению коэффициента  $\alpha$  и сопротивлений  $R_n$  и  $R$ , соответственно, примут вид:

$$\begin{aligned} S_4 &= \frac{\partial \ln \omega_2}{\partial \ln \alpha} = 0,5 = S_1; \\ S_5 &= \frac{\partial \ln \omega_2}{\partial \ln R_n} = 0,5 \frac{\kappa R}{\kappa R - R_n} = S_3; \\ S_6 &= \frac{\partial \ln \omega_2}{\partial \ln R} = 0,5 \frac{R_n}{R_n - \kappa R} = S_2; \\ S'_4 &= \frac{\partial \ln \omega'_2}{\partial \ln \alpha} = -0,5 = S'_1; \\ S'_5 &= \frac{\partial \ln \omega'_2}{\partial \ln R_n} = -0,5 \frac{\kappa R}{\kappa R - R_n} = S'_3; \\ S'_6 &= \frac{\partial \ln \omega'_2}{\partial \ln R} = -0,5 \frac{R_n}{R_n - \kappa R} = S'_2. \end{aligned}$$

Аналогичные рассуждения можно провести и для вариантов структурных схем преобразования малых приращений ёмкости в частоту, полученных путём подключения выхода схемы имитации отрицательной ёмкости (ОЕ) последовательно (рис. 2 а) и параллельно (рис. 2 б) к измеряемой ёмкости  $C_n$  в частотно-задающей цепи активного генератора АГ с одной управляемой ёмкостью [1]. При этом частота АГ может быть как пропорциональна ( $\omega_3, \omega_4$ ), так и обратно пропорциональна ( $\omega'_3, \omega'_4$ ) корню квадратному из управляемой ёмкости АГ.

$$\omega_3 = \sqrt{\alpha C_3} = \left[ \frac{1}{\alpha} \left( \frac{1}{C_n} - \frac{1}{\kappa C} \right) \right]^{-0,5}, \forall C_n < \kappa C,$$

то  $\omega_3 > \omega_{02}$  при  $\kappa C > 0$ ;  $\omega_{02}$  – частота АГ без схемы имитации отрицательной ёмкости.

$$\begin{aligned} \omega_{02} &= \sqrt{\alpha C_n}; \\ \omega'_3 &= \frac{1}{\sqrt{\alpha C_3}} = \left[ \frac{1}{\alpha} \left( \frac{1}{C_n} - \frac{1}{\kappa C} \right) \right]^{0,5}, \forall C_n < \kappa C, \end{aligned}$$

тогда  $\omega'_3 < \omega_{02}$  при  $\kappa C > 0$ .

Выражения для относительных чувствительностей частот  $\omega_3$  и  $\omega'_3$  к изменению  $\alpha$ ,  $C_n$ ,  $C$ :

$$S_7 = \frac{\partial \ln \omega_3}{\partial \ln \alpha} = 0,5 = S_4 = S_1;$$

$$S_8 = \frac{\partial \ln \omega_3}{\partial \ln C_{II}} = 0,5 \frac{\kappa C}{\kappa C - C_{II}};$$

$$S_9 = \frac{\partial \ln \omega_3}{\partial \ln C} = 0,5 \frac{C_{II}}{C_{II} - \kappa C}.$$

$$S'_7 = \frac{\partial \ln \omega'_3}{\partial \ln \alpha} = -0,5 = S'_4 = S'_1;$$

$$S'_8 = \frac{\partial \ln \omega'_3}{\partial \ln C_{II}} = -0,5 \frac{\kappa C}{\kappa C - C_{II}};$$

$$S'_9 = \frac{\partial \ln \omega'_3}{\partial \ln C} = -0,5 \frac{C_{II}}{C_{II} - \kappa C}.$$

$$\omega_4 = \sqrt{\alpha C_3} = \sqrt{\alpha(C_{II} - \kappa C)}, \forall C_{II} > \kappa C.$$

$\omega_4 < \omega_{02}$  при  $\kappa C > 0$ .

$$\omega'_4 = \frac{1}{\sqrt{\alpha C_3}} = \frac{1}{\sqrt{\alpha(C_{II} - \kappa C)}}, \forall C_{II} > \kappa C.$$

тогда  $\omega'_4 > \omega_{02}$  при  $\kappa C > 0$ .

Выражения для относительных чувствительностей частот  $\omega_4$  и  $\omega'_4$  к изменению  $\alpha$ ,  $C_{II}$ ,  $C$  имеют вид:

$$S_{10} = \frac{\partial \ln \omega_4}{\partial \ln \alpha} = 0,5 = S_7 = S_4 = S_1;$$

$$S_{11} = \frac{\partial \ln \omega_4}{\partial \ln C_{II}} = 0,5 \frac{C_{II}}{C_{II} - \kappa C} = S_9;$$

$$S_{12} = \frac{\partial \ln \omega_4}{\partial \ln C} = 0,5 \frac{\kappa C}{\kappa C - C_{II}} = S_8.$$

$$S'_{10} = \frac{\partial \ln \omega'_4}{\partial \ln \alpha} = -0,5 = S'_7 = S'_4 = S'_1;$$

$$S'_{11} = \frac{\partial \ln \omega'_4}{\partial \ln C_{II}} = -0,5 \frac{C_{II}}{C_{II} - \kappa C} = S'_9;$$

$$S'_{12} = \frac{\partial \ln \omega'_4}{\partial \ln C} = -0,5 \frac{\kappa C}{\kappa C - C_{II}} = S'_8.$$

Из соотношений для частот  $\omega_1$  и  $\omega'_1$  следует, что теоретически возможно уменьшение разности  $(R_{II} - \kappa R)$  до величины, близкой к нулю. Значит, наименьшее достижимое значение частоты  $\omega_1$  может быть достаточно малым, поскольку  $\omega_1 \rightarrow 0$  при  $(R_{II} - \kappa R) \rightarrow 0$ , а частоты  $\omega'_1$  — достаточно большим, так как  $\omega'_1 \rightarrow \infty$  при  $(R_{II} - \kappa R) \rightarrow 0$ .

Из соотношений для частот  $\omega_2$  и  $\omega'_2$  следует, что теоретически возможно уменьшение разности  $[R_{II}^{-1} - (\kappa R)^{-1}]$  до величины, близкой к нулю. Значит, наи-

большее достижимое значение частоты  $\omega_2$  может быть большим, поскольку  $\omega_2 \rightarrow \infty$  при  $[R_n^{-1} - (\kappa R)^{-1}] \rightarrow 0$ , а частоты  $\omega'_2$  – малым, так как  $\omega'_2 \rightarrow 0$  при  $[R_n^{-1} - (\kappa R)^{-1}] \rightarrow 0$ .

Наибольшее значение чувствительностей  $S_2, S'_2, S_3, S'_3, S_5, S'_5, S_6, S'_6$  может быть велико, поскольку  $S_2, S'_2, S_6, S'_6 \rightarrow \infty$  при  $(R_n - \kappa R) \rightarrow 0$ , а  $S_3, S'_3, S_5, S'_5 \rightarrow \infty$  при  $(\kappa R - R_n) \rightarrow 0$ .

Аналогичные рассуждения справедливы и для частот  $\omega_4, \omega'_4, \omega_3, \omega'_3$ , т.е.  $\omega_4 \rightarrow 0$  при  $(C_n - \kappa C) \rightarrow 0$ ;  $\omega'_4 \rightarrow \infty$  при  $(C_n - \kappa C) \rightarrow 0$ , а  $\omega_3 \rightarrow \infty$  при  $[C_n^{-1} - (\kappa C)^{-1}] \rightarrow 0$  и  $\omega'_3 \rightarrow 0$  при  $[C_n^{-1} - (\kappa C)^{-1}] \rightarrow 0$ .

Значения чувствительности  $S_8, S'_8, S_9, S'_9, S_{11}, S'_{11}, S_{12}, S'_{12}$  может быть велико, так как  $S_9, S'_9, S_{11}, S'_{11} \rightarrow \infty$  при  $(C_n - \kappa C) \rightarrow 0$ , а  $S_8, S'_8, S_{12}, S'_{12} \rightarrow \infty$  при  $(\kappa C - C_n) \rightarrow 0$ .

Таким образом, рассмотренные модели высокочувствительных измерительных схем на основе активных RC-генераторов (единственным управляемым элементом которых является измеряемый параметр  $R_n$  или  $C_n$ ) позволяют не только повысить чувствительность к измеряемому параметру, но и расширить диапазон частот активного генератора за счет изменения частоты как «вверх», так и «вниз» от частоты АГ, не оснащенного схемами имитации отрицательного сопротивления (отрицательной емкости).

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Senari R. A class of single-element-controlled sinusoidal oscillators // AEO. – 1982. – 36. – №10.
2. Bening F. Negative Impedanzen, Realisierung und Anwendung zur Verbesserung des Frequenzganges elektrischer Wandler. Diss. Technisch Facultät Rostok, 1964.
3. Ляпидов В.С. Перспективы применения схем имитации отрицательной ёмкости (индуктивности) при построении схем вторичного преобразования информационно-измерительных и управляющих систем // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2008. – №6. – С. 46-49.

*Статья поступила в редакцию 5 марта 2009 г.*

UDC 621.373.42

### PROSPECTS OF APPLICATION OF ACTIVE RC-GENERATORS AT CONSTRUCTION OF SCHEMES OF SECONDARY TRANSFORMATION IN INFORMATION-MEASURING AND CONTROL SYSTEMS

*V.S. Lyapidov*

Samara State Technical University,  
244, Molodogvardeyskaya str., Samara, 443100

*Prospects of active RC-generators with one operated element application at high-sensitivity schemes of secondary transformation in information-measuring and control systems construction are considered in this article.*

**Keywords:** active measuring generator, the operated converter of a negative impedance.