

## МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ДОСТИЖИМЫХ ПАРАМЕТРОВ ВЫСОКОЧУВСТВИТЕЛЬНОГО ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО АВТОГЕНЕРАТОРА С КОНВЕРТОРОМ ОТРИЦАТЕЛЬНОЙ ЕМКОСТИ

**В.С. Ляпидов**

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

*Изложена методика оценки достижимых параметров широкодиапазонного высокочувствительного измерительного автогенератора с конвертором отрицательной емкости.*

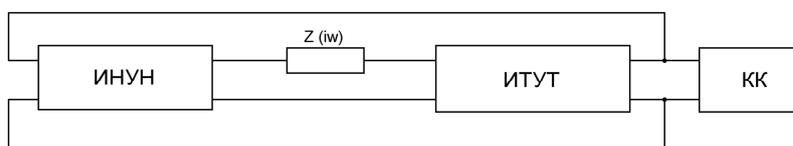
**Ключевые слова:** активный измерительный генератор, управляемый конвертор отрицательного импеданса.

В работах [1, 2] исследованы модели и способы построения широкодиапазонных высокочувствительных измерительных автогенераторов (ИГ), построенных на основе конверторов отрицательного импеданса и реализованных на основе источника тока, управляемого током (ИТУТ), и источника напряжения, управляемого напряжением (ИНУН) (см. рисунок).

Подобные автогенераторы могут быть использованы при построении схем вторичного преобразования информационно-измерительных и управляющих систем [3], получающих информацию от емкостных (или индуктивных) первичных преобразователей.

В связи с этим актуальной является задача оценки следующих показателей работы ИГ:

- величина частоты на выходе ИГ (в том числе величина максимально достижимой частоты);
- величина максимального диапазона перестройки частоты ИГ;
- величина максимальной чувствительности частоты ИГ к изменению емкости в цепи КК, а также соотношения между «конвертируемой» емкостью и емкостью колебательного контура в момент достижения максимальных величин чувствительности и частоты.



Структурная схема ИГ с конвертором отрицательного импеданса: КК – колебательный контур ИГ;  $Z(j\omega) = R^* + (j\omega C_3^*)^{-1}$  – конвертируемый в цепь колебательного контура импеданс

Результаты исследований [1] положены в основу данной методики.

1. Исходные данные для расчета ИГ:

$L_1$  – индуктивность в цепи КК ИГ;

$k$  – коэффициент «конвертирования» емкости  $C_3^*$  в цепь КК ИГ;

$C_2'$  – выходная емкость первичного (емкостного) преобразователя в цепи КК;  
 $C_2''$  – емкость кабеля, соединяющего первичный преобразователь с КК ИГ.

2. Оценка максимально возможной частоты на выходе ИГ:

$$\omega_m \geq \frac{k}{2C_2 R^*}; \quad (1)$$

$$C_2 = C_2' + C_2''; \quad (2)$$

$$R^* = R_{вн1} + R_{вх2}, \quad (3)$$

где  $R^*$  – сумма внутреннего и входного сопротивлений ИНУН и ИТУТ.

Для схем ИГ, реализованных, например, на биполярных транзисторах,  $R^* \cong 60 \text{ Ом}$ ;  $k \cong 0,8 - 0,9$ .

3. Определение частоты  $\omega$  на выходе ИГ:

$$\omega = [L_1(C_2 - kC_3)]^{-0.5}; \quad (4)$$

$$C_3 = \frac{C_3^*}{1 + \omega^2 (C_3^*)^2 (R^*)^2}, \quad (5)$$

где  $C_3^*$  – величина «конвертируемой» в цепь КК емкости.

При частотах  $\omega \leq 0,1\omega_m$  можно для определения частоты использовать формулу (4), положив  $C_3 = C_3^*$ .

4. Оценка максимально возможного диапазона перестройки частоты ИГ путем изменения величины конвертируемой емкости  $C_3^*$ :

$$D_m = \frac{\omega_m}{\omega_0} \geq \frac{k\rho}{2R^*}; \quad (6)$$

$$\omega_0 = (L_1 C_2)^{-0.5}; \quad \rho = (L_1 / C_2)^{0.5},$$

где  $\omega_0$ ;  $\rho$  – собственная частота и характеристическое сопротивление колебательного контура ИГ.

5. Определение величины «конвертируемой» емкости  $C_3^*$ , при которой достигается максимальная частота на выходе ИГ:

$$C_{3|\omega=\omega_m}^* = \frac{2C_2}{k}. \quad (7)$$

6. Определение максимальной величины относительной чувствительности частоты  $\omega$  на выходе ИГ к изменению емкости  $C_2$  (или к изменению величины «конвертируемой» емкости  $C_3^*$ ):

$$S_{C_2|\max}^\omega = S_{C_3^*|\max}^\omega = -\frac{k\rho}{4R^*}. \quad (8)$$

7. Определение величины «конвертируемой» емкости  $C_3^*$ , при которой достигается максимальная величина относительной чувствительности  $S_{C_2}^\omega$  и  $S_{C_3^*}^\omega$ :

$$C_3^* = \frac{C_2}{k}. \quad (9)$$

8. Определение относительной чувствительности частоты ИГ к изменению емкостей  $C_3^*$  и  $C_2$  :

$$S_{C_3^*}^{\omega} = -0.5 \frac{kC_3^*}{kC_3^* - C_2}; \quad (10)$$

$$S_{C_2}^{\omega} = -0.5 \frac{C_2}{C_2 - kC_3^*}. \quad (11)$$

Формулы (10) и (11) справедливы для случая  $\omega \leq 0.1\omega_m$

В качестве примера рассмотрим расчет основных параметров, характеризующих возможности ИГ с конвертором отрицательной емкости при следующих исходных данных:  $L_1 = 25,5 \text{ мГН}$ ;  $C_2' = 1000 \text{ нФ}$ ;  $C_2'' = 30 \text{ нФ}$ ;  $k = 0,9$  (использованы данные из проекта построения реального ИГ, в колебательный контур которого включен емкостный первичный преобразователь, расположенный в энергетическом объекте).

Величина максимально возможной частоты ИГ ( $\omega_m$ ) будет в этом случае не менее

$$\frac{k}{2C_2R^*} = \frac{0,9}{2(1000 + 30)60} = 7281,5 \cdot 10^3 \frac{1}{\text{с}}$$

(т. е.  $f_m$  не менее  $\omega_m / 2\pi = 1159,482 \text{ кГц}$ ).

Величина конвертируемой емкости  $C_3^*$ , при которой будет достигнута  $\omega_m$ , составит

$$C_3^*|_{\omega_m} = \frac{2C_2}{k} = \frac{2(1000 + 30)}{0,9} = 2288 \text{ нФ}.$$

Частота на выходе ИГ при  $C_3^* = 1000 \text{ нФ}$  будет равна

$$\omega \cong [L_1(C_2 - kC_3)]^{-0,5} = [25,5 \cdot 10^{-3} (1030 - 900)]^{-0,5} = 549,2 \frac{1}{\text{с}}$$

(поскольку  $C_3 < \frac{2C_2}{k}$ , то  $\omega < \omega_m$  и можно воспользоваться для расчета формулой (4) данной методики).

Величина  $D_m$  будет не менее

$$D_m \geq \frac{k\rho}{2R^*} = \frac{0,9 \sqrt{\frac{25,5 \cdot 10^{-3}}{1030 \cdot 10^{-12}}}}{2 \cdot 60} = 37,3.$$

Максимальная величина относительной чувствительности  $\omega$  к изменению емкости  $C_2$  (или емкости  $C_3^*$ )

$$S_{C_2|_{\max}}^{\omega} = S_{C_3^*|_{\max}}^{\omega} = -\frac{k \sqrt{\frac{L_1}{C_2}}}{4R^*} = \frac{0,9 \sqrt{\frac{25,5 \cdot 10^{-3}}{1030 \cdot 10^{-12}}}}{4 \cdot 60} = -18,6.$$

Величина емкости  $C_3^*$ , при которой достигается максимум относительной чувствительности  $S_{C_2}^{\omega}$  и  $S_{C_3^*}^{\omega}$  :

$$C_3^* = \frac{C_2}{k} = \frac{1000 + 30}{0,9} = 1144,4 \text{ нФ.}$$

Из анализа ИГ с конвертором отрицательной емкости и данной методики следует:

- а) частота на выходе ИГ выше частоты собственных колебаний контура;
- б) максимальное значение частоты ИГ обратно пропорционально величине суммы внутреннего сопротивления ИНУН и входного сопротивления ИТУТ конвертора, а также величине емкости колебательного контура;
- в) величина «конвертируемой» емкости, при которой достигается максимум частоты ИГ, равна (при  $k=1$ ) удвоенной величине емкости колебательного контура;
- г) величина «конвертируемой» емкости, при которой достигается максимум абсолютной величины относительной чувствительности частоты ИГ к изменению измеряемой емкости, равна (при  $k=1$ ) величине измеряемой емкости;
- д) установлено, что для достижения максимальных величин относительных чувствительностей частоты ИГ к изменению измеряемой емкости (как и для достижения максимального диапазона перестройки частоты ИГ) внутреннее сопротивление ИНУН и входное сопротивление ИТУТ конвертора должны иметь минимальную величину.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Ляпидов В.С.* Активные цепи в измерительных автогенераторах // Вестник СамГТУ, вып. 20. Сер. Технические науки. – 2004. – С. 135-144.
2. *Ляпидов В.С.* Перспективы применения схем имитации отрицательной емкости (индуктивности) при построении схем вторичного преобразования ИИУС // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2008. – №6. – С. 46-49.
3. *Ляпидов В.С., Привалов В.Д.* Высокочувствительные схемы вторичного преобразования информационно-измерительных и управляющих систем с автогенераторами на базе управляемых конверторов отрицательного импеданса // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2009. – №9. – С. 38-40.

*Статья поступила в редакцию 29 июня 2010 г.*

UDC 621.373.42

### **METHOD OF EVALUATION PARAMETERS ATTAINABLE HIGHLY SENSITIVE MEASURING OSCILLATORS CONVERTER NEGATIVE CAPACITANCE**

***V.S. Lyapidov***

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

*The method of achievable parameters evaluation of a high sensitivity measurement oscillator with negative capacity converter is presented.*

*evaluation of a wide-range of achievable parameters of a highly sensitive measurement of the oscillator with the negative capacitance converter.*

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

---

*V.S. Lyapidov – Candidate of Technical Sciences, Associate professor.*