

## ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ГЕНЕРАТОРА СИНУСОИДАЛЬНОГО НАПРЯЖЕНИЯ В ЭКВИВАЛЕНТНЫЙ ГЕНЕРАТОР ТОКА

В. П. ШЕРСТОБИТОВ

(Представлена научным семинаром факультета автоматики и вычислительной техники)

В практике иногда возникает потребность в генераторах тока, источниках с большим внутренним сопротивлением и достаточно большой эдс. С этой целью прибегают к преобразованию генераторов напряжения в генераторы тока, так как естественных генераторов тока почти не имеется.

Существует способ преобразования источника напряжения в источник тока, сущность которого заключается в применении обратной связи. Однако подобное преобразование требует суммирующих усилителей. Ниже рассматривается простой резонансный четырехполюсник, который в ограниченных пределах изменения нагрузки обеспечивает преобразование генератора синусоидального напряжения в эквивалентный генератор тока.

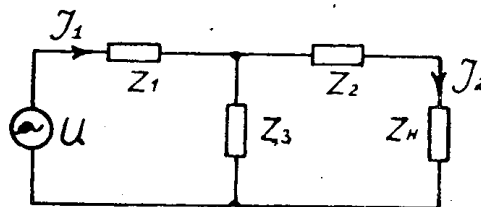


Рис. 1

Пусть имеется Т-образный четырехполюсник, показанный на рис. 1. Здесь  $Z_1, Z_2, Z_3$  — элементы четырехполюсника,  $U$  — генератор синусоидального напряжения, а  $Z_n$  — полное сопротивление нагрузки.

Для генератора тока необходимо, чтобы ток  $I_2$  не зависел от величины нагрузки. Известными методами анализа легко найти ток в нагрузке для данной схемы, который будет иметь выражение:

$$I_2 = \frac{U \cdot Z_3}{Z_n(Z_1 + Z_3) + Z_1 \cdot Z_2 + Z_1 \cdot Z_3 + Z_2 \cdot Z_3} \quad (1)$$

Для выполнения идеального преобразования достаточно, чтобы соблюдалось условие:

$$Z_1 + Z_3 = 0. \quad (1a)$$

Входной ток четырехполюсника определяется:

$$I_1 = \frac{U(Z_2 + Z_3 + Z_n)}{Z_n(Z_1 + Z_3) + Z_1 \cdot Z_2 + Z_1 \cdot Z_3 + Z_2 \cdot Z_3} \quad (2)$$

При активной нагрузке  $Z_H = R_H$  для обеспечения активного входного сопротивления четырехполюсника необходимо выполнение условия:

$$Z_2 + Z_3 = 0. \quad (2a)$$

Условия 1а и 2а могут быть выполнены, если  $Z_1, Z_2, Z_3$  — реактивные сопротивления, при этом  $Z_3$  должно иметь противоположную по характеру к  $Z_1$  и  $Z_2$  реактивность. Указанные реактивности на

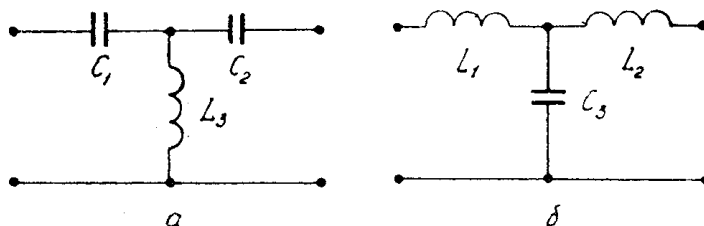


Рис. 2

частоте генератора должны иметь одинаковые по модулю сопротивления. Таким образом, четырехполюсник превращается в резонансный вида а или б (рис. 2).

Общие выражения 1 и 2 для данных схем упрощаются:

$$I_2 = \frac{U}{Z_{1,2}}, \quad (3)$$

$$I_1 = \frac{U \cdot Z_H}{Z_{1,2} \cdot Z_3}. \quad (4)$$

Для схемы рис. 2а:

$$Z_{1,2} = -j\rho, \quad I_2 = j \frac{U}{\rho}, \quad I_1 = \frac{U \cdot R_H}{\rho^2}.$$

Для схемы рис. 2б:

$$Z_{1,2} = j\rho, \quad I_2 = -j \frac{U}{\rho}, \quad I_1 = \frac{U \cdot R_H}{\rho^2}.$$

Здесь  $\rho$  — модуль реактивных сопротивлений четырехполюсника на частоте  $f$  питающего генератора  $U$ .

Как видно, преобразование источника  $U$  в генератор тока осуществляется с соответствующим сдвигом по фазе на  $\pm 90^\circ$ . Проанализируем точность преобразования данными четырехполюсниками генератора синусоидального напряжения в эквивалентный генератор тока.

Для анализа введем в  $Z_1, Z_2, Z_3$  погрешности элементов.

Принимаем  $Z_H = R_H$ .

Рассмотрим сначала схему рис. 2б. Для данной схемы имеем:

$$\left. \begin{aligned} Z_1 &= j\rho \left[ 1 - \frac{j}{Q_1} + \frac{\Delta L_1}{L} + \frac{\Delta f}{f} \right], \\ Z_2 &= j\rho \left[ 1 - \frac{j}{Q_2} + \frac{\Delta L_2}{L} + \frac{\Delta f}{f} \right], \\ Z_3 &= -j\rho \left[ 1 + \frac{j}{Q_3} - \frac{\Delta C_3}{C} - \frac{\Delta f}{f} \right]. \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

$Q_1, Q_2, Q_3$  — соответственно добротности реактивных элементов четырехполюсника,

$\Delta L_1, \Delta L_2, \Delta C_3$  — абсолютные погрешности установки реактивных элементов относительно  $L$  и  $C$ ,

$\Delta f$  — отклонение частоты генератора  $U$  от номинальной величины  $f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ .

В добротность  $Q_1$  введено внутреннее активное сопротивление генератора напряжения. В выражениях 5 отброшены величины малого порядка, что справедливо при малых отклонениях параметров.

Значения  $Z_1, Z_2, Z_3$  и  $Z_H$  подставим в формулу (1) и проведем необходимые алгебраические преобразования. Здесь также пренебрегаем величинами малого порядка, определяемыми произведением малых величин.

Введем коэффициент нагрузки  $\alpha$ , определяемый выражением:

$$\alpha = \frac{R_H}{\rho} \quad (6)$$

С учетом вышеназванных замечаний получим:

$$I_2 = I_{2m} \cdot e^{j\varphi}.$$

$$I_{2m} = -j \frac{U}{\rho} \left[ 1 - \frac{\alpha}{2Q_1} - \frac{\alpha}{2Q_3} - \frac{\alpha^2}{2} \left( \frac{\Delta L_1}{L} + \frac{\Delta C_3}{C} + \frac{2\Delta f}{f} + \frac{2}{\alpha Q_3} \right)^2 \right] \quad (7)$$

$$\varphi \approx -\alpha \left( \frac{\Delta L_1}{L} + \frac{\Delta C_3}{C} + \frac{2\Delta f}{f} + \frac{2}{\alpha Q_3} \right). \quad (8)$$

Определим коэффициент  $K$ , равный отношению тока реального к току идеального четырехполюсника:

$$K = 1 - \frac{\alpha}{2Q_1} - \frac{\alpha}{2Q_3} - \frac{\alpha^2}{2} \left( \frac{\Delta L_1}{L} + \frac{\Delta C_3}{C} + \frac{2\Delta f}{f} + \frac{2}{\alpha Q_3} \right)^2 \quad (7a)$$

При  $\alpha = 1, Q_1 = 100, Q_3 = \infty$  (конденсаторы имеют весьма высокую добротность),  $\frac{\Delta L_1}{L} = \frac{\Delta C_3}{C} = \frac{\Delta f}{f} = 10^{-2}$   $K = 1 - 5,8 \cdot 10^{-3}$ , т. е. ошибка не превышает 0,58%.

Сдвиг фаз  $\varphi$  по формуле (8):

$$\varphi = -2^\circ 18'.$$

Для схемы рис. 2а аналогично имеем:

$$K = 1 - \frac{\alpha}{2Q_1} - \frac{\alpha}{2Q_3} - \frac{\alpha^2}{2} \left( \frac{\Delta L_3}{L} + \frac{\Delta C_1}{C} + \frac{2\Delta f}{f} - \frac{2}{\alpha Q_3} \right)^2, \quad (9)$$

$$\varphi = -\alpha \left( \frac{\Delta L_3}{L} + \frac{\Delta C_1}{C} + \frac{2\Delta f}{f} - \frac{2}{\alpha Q_3} \right). \quad (10)$$

При  $Q_1 = 100; Q_3 = 100; \alpha = 1, \frac{\Delta L_3}{L} = \frac{\Delta C_1}{C} = \frac{\Delta f}{f} = 10^{-2}$

$$K = 1 - 10^{-2} \quad \varphi = -0,02 = -1^\circ 9',$$

т. е. ошибка не превышает 1% при изменении нагрузки от 0 до  $\rho$ .

Таким образом, схемы рис. 2 обеспечивают достаточно точное преобразование генераторов синусоидального напряжения в эквивалентные генераторы тока с соответствующим сдвигом фаз близким к  $\pm 90^\circ$  в зависимости от характера реактивных элементов  $Z_1, Z_2, Z_3$ .