

ВЫСОКОЧУВСТВИТЕЛЬНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ СИГНАЛОВ ЕМКОСТНЫХ ДАТЧИКОВ

Рыжков Г. П.

В современной технике и научных исследованиях широко используются емкостные первичные преобразователи, от которых требуется высокая чувствительность при малых габаритах, весе, стоимости и энергопотреблении. Целью настоящей работы является разработка преобразователя малых изменений емкости в информативный сигнал, отвечающего указанным условиям.

Поскольку в подавляющем большинстве случаев емкостные первичные преобразователи работают при питающем напряжении повышенной частоты (не ниже нескольких килогерц), то поставленная задача может быть решена использованием в качестве основы преобразователя пассивных электрических цепей, работающих в резонансном режиме.

Рассмотрим один из вариантов построения такого преобразователя на примере последовательного RLC резонансного контура.

При последовательном соединении R , L и C , где C - емкость первичного преобразователя, угол φ сдвига фаз между напряжением, приложенным к цепи и током, протекающим по ней, будет равен $\varphi = \arctg x/R$. Полагая $x = \omega L - 1/\omega C$, после ряда преобразований получим

$$\frac{x}{R} = \frac{\omega L}{R} \left(1 - \frac{1}{\omega^2 CL} \right).$$

Если предположить, что исследуемый преобразователь работает на частоте ω близкой к резонансной ω_0 , то, полагая

$$\frac{\omega L}{R} \approx \frac{\omega_0 L}{R} = Q; \quad \frac{1}{\omega_0^2 L} = C_0,$$

выражение x/R представим в виде

$$\frac{x}{R} = Q \left(1 - \frac{C_0}{C} \right),$$

где Q - добротность цепи;

C_0 - резонансное значение емкости первичного преобразователя.

В этом случае угол φ сдвига фаз будет равен

$$\varphi = \arctg x/R = \arctg Q \left(1 - C_0/C \right).$$

Задавая различные отклонения емкости C первичного преобразователя от резонансного значения C_0 , получим, что при отклонении C от C_0 на $\pm 10\%$ угол сдвига фаз φ изменяется в пределах $\pm 84^\circ$, а при отклонении C от C_0 на $\pm 1\%$ изменение φ составит $\pm 45^\circ$, что свидетельствует о высокой чувствительности рассматриваемого способа преобразования емкости в информативный сигнал, которым в данном случае, является угол сдвига фаз φ тока и напряжения.

Дополнительным исследованием установлено, что при преобразовании малых емкостей $C = (0,99 \dots 1,1)C_0$ зависимость $\varphi = f(C)$ достаточно линейна, а чувствительность к сопутствующему изменению добротности цепи практически равна нулю

$$S_Q = \frac{d\varphi}{dQ} = \frac{1 - C_0/C}{1 + Q^2(1 - C_0/C)^2}$$

При практической реализации подобных преобразователей и изменении емкости C в широких пределах для снижения чувствительности S_Q следует последовательно первичному преобразователю включить дополнительный резистор, сопротивление которого больше R . Указанные особенности предлагаемого для измерения малых емкостей резонансно-фазового способа позволяют рекомендовать его к использованию в случаях, когда требуется повышенная чувствительность преобразования, например, в установках автоматического контроля неоднородности пряжи, при измерении параметров фасонной пряжи и влажности текстильных материалов.

При реализации предлагаемого способа возможны различные построения вторичных преобразователей, по существу являющихся измерителями разности фаз двух напряжений. Напряжение, эквивалентное току резонансно-фазового преобразователя, может быть получено с образцового резистора с малым сопротивлением, включенного последовательно с первичным преобразователем.

С целью снижения габаритов, веса и стоимости всего измерительного устройства целесообразно и схему вторичного преобразователя выполнить в виде пассивной электрической цепи, соответствующим образом подобрав ее конфигурацию. Классическим вариантом решения этой задачи является дифференциально-диодная фазочувствительная схема. Входное напряжение от высокочастотного генератора подадим на первичную обмотку трансформатора, две вторичные обмотки которого имеют равное число витков и соединены согласно. Свободные выводы этих обмоток подключим к диодам дифференциально-диодной фазочувствительной схемы, а между точкой соединения этих обмоток и общей точкой включим катушку связи, магнитосвязанную с катушкой рассмотренного выше преобразователя емкости в разность фаз. Свободные выводы преобразователя емкости в разность фаз (последовательного колебательного контура) подключим параллельно первичной обмотке указанного трансформатора к выходу высокочастотного генератора.

Основное выражение, описывающее работу дифференциально-диодной фазочувствительной схемы запишем в виде

$$U_{\text{вых}} = k \left[\sqrt{U_{m1}^2 + U_{m2}^2 + 2U_{m1}U_{m2} \cos \varphi_x} - \sqrt{U_{m1}^2 + U_{m2}^2 - 2U_{m1}U_{m2} \cos \varphi_x} \right],$$

где U_{m1} - амплитуда напряжения на вторичных обмотках трансформатора;

U_{m2} - амплитуда напряжения на обмотке связи;

φ_x - разность начальных фаз напряжений U_1 и U_2 ;

k - масштабный коэффициент.

Поскольку $\varphi_x = \varphi - \pi/2$, где $-\pi/2$ - дополнительный сдвиг начальных фаз напряжений U_1 и U_2 , обусловленный влиянием магнитной связи катушки индуктивности преобразователя емкости в разность фаз и катушки связи, то, полагая

$$U_{m1} = U_{m2} = U_m; \quad \varphi_x = \varphi - \pi/2 = \arctg Q(1 - C_0/C) - \pi/2,$$

после ряда очевидных упрощений запишем выражение характеристики преобразования в виде

$$U_{\text{вых}} = k\sqrt{2}U_m \left[\sqrt{1 + \cos(\arctg Q(1 - C_0/C) - \pi/2)} - \sqrt{1 - \cos(\arctg Q(1 - C_0/C) - \pi/2)} \right]$$

При использовании первичного преобразователя емкостью $C=100...150$ пкф и активном сопротивлении контура $R=1$ Ом рассмотренное устройство имело чувствительность $S_c=8...10$ В/пкф при хорошей линейности рабочей части характеристики преобразования. Следует отметить и такое достоинство рассмотренного преоб-

разователя, как соответствие знака выходного напряжения направлению отклонения емкости первичного преобразователя от его среднего значения, при котором выходное напряжение равно нулю.

SUMMARY:

It is dealt with the results of investigating the method of constructing a highsensitive transducer of the capacitive pick-ups signals suggested by the author and the device for realizing this method which is characterized by small dimensions, weight, low price and little power consumption.

Витебский государственный технологический университет

$$U_{out} = k \left[U_{in} \left(\frac{C_1}{C_1 + C_2} \right) - U_{in} \left(\frac{C_2}{C_1 + C_2} \right) \right]$$

$$U_{out} = k \left[U_{in} \left(\frac{C_1}{C_1 + C_2} \right) - U_{in} \left(\frac{C_2}{C_1 + C_2} \right) \right]$$