

## Л и т е р а т у р а

1. Мирский Г.Я. Радиоэлектронные измерения. М.Л., ГЭИ, 1963.
2. Компанец В.К. и др. Многоканальная время-импульсная система измерения с параметрическими датчиками индуктивного, емкостного и резисторного типа. В сб.: Автоматизация экспериментальных исследований. Вып. 8, Куйбышев, КуАИ, 1975.
3. Болтянский А.А. и др. Устройство для измерения температуры. Авт. св. № 410267. БИИ, 1974.

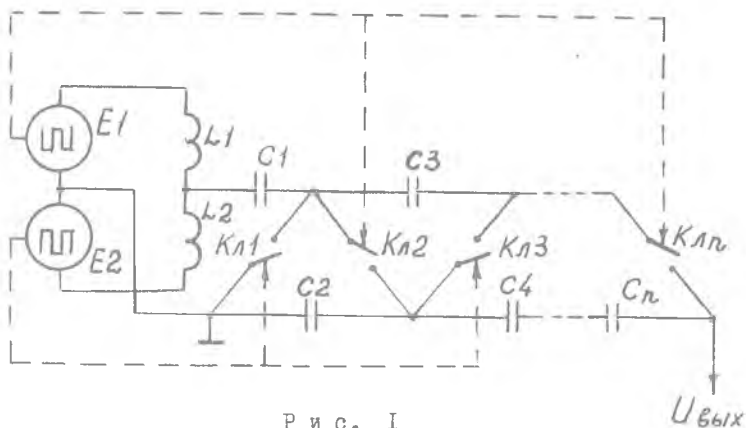
А.А. Бурова, А.А. Кондров

### ОБ ОДНОЙ ВОЗМОЖНОСТИ ПОВЫШЕНИЯ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СХЕМ С ИНДУКТИВНЫМИ ДАТЧИКАМИ

Относительная чувствительность  $S_0$  большинства измерительных схем, используемых с индуктивными датчиками, не превышает единицы. Исключение составляют схемы с кольцевым диодным коммутатором [1] и резонансные мосты [2], в которых  $S_0 \gg 1$  получается при высокой добротности измерительной цели. Это затрудняет использование подобных измерительных схем с малогабаритными индуктивными датчиками, катушки которых имеют пониженную добротность.

В настоящей статье рассматривается возможность повышения чувствительности измерительных схем с низкодобротными индуктивными датчиками за счет использования емкостного накопителя, в конденсаторах которого при их периодической коммутации происходит накопление заряда.

Измерительная схема с емкостным накопителем представлена на рис. 1. Катушки  $L_1$ ,  $L_2$  дифференциального индуктивного датчика соединены последовательно и питаются прямоугольным напряжением от двух источников  $E_1$  и  $E_2$ . К средней точке катушек подключается емкостный накопитель, конденсаторы  $C_1 \div C_n$  которого периодически переключаются с помощью ключей  $K_{д 1} \div K_{д n}$ , управляемых синхронно с изменением полярности источников  $E_1, E_2$ .



Р и с . I

Четные и нечетные ключи объединены по цепям управления в две группы и коммутируются в противофазах. В схеме обеспечивается фазочувствительное выпрямление с одновременным  $n$ -кратным умножением выходного сигнала датчика. Число накопительных конденсаторов и ключей определяется требуемым коэффициентом умножения.

В качестве коммутирующих элементов в измерительных схемах с емкостным накопителем могут быть использованы интегральные прерыватели и полевые транзисторы. Такие ключи обеспечивают высокую линейность амплитудной характеристики и в случае высокоомной нагрузки позволяют получить температурную стабильность  $0,1\%$  на  $10^{\circ}\text{C}$  при коэффициентах умножения  $n = 8 - 12$ . Хорошие результаты дает также применение МОП-транзисторов, обеспечивающих гальваническую развязку отдельных ключей по цепям управления.

Статические, нагрузочные характеристики и погрешности измерительной схемы могут быть определены из расчета квазиустановившегося режима [3], в основу которого положено условие равенства нулю постоянной составляющей тока в цепи накопительных конденсаторов. С целью повышения наглядности расчет выполнен для схемы с удвоением напряжения (рис. 2).

Условие равенства нулю тока в цепи накопительного конденсатора можно привести к условию баланса зарядов:

$$q_{C1} = q_{C1}' = q_H, \quad (1)$$

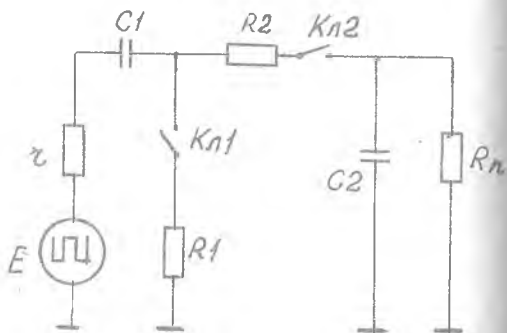
где  $q_{C1} = \int_0^{\frac{T}{2}} i_{C1}(t) dt$  - заряд, получаемый конденсатором  $C1$  в первый полупериод (при замкнутом  $K_{л1}$  1);

$q_{C1}' = \int_{\frac{T}{2}}^T i_{C1}(t) dt$  - заряд, получаемый конденсатором  $C1$  во второй полупериод (при замкнутом  $K_{л2}$  2);

$q_H = \int_0^T i_{LH}(t) dt$  - заряд, протекающий через сопротивление нагрузки за период коммутации ключей;

$T$  - период коммутации ключей.

При расчете параметров измерительной схемы полагаем, что емкость накопительных конденсаторов выбрана достаточно большой, и напряжения на накопительных конденсаторах не изменяются за период коммутации. В этом случае при прямоугольном входном напряжении, равном  $E$ , условие (1) может быть записано в виде следующей системы алгебраических уравнений:



Р и с. 2.

$$\begin{cases} \frac{E - U_{C1}}{z + R_1} \frac{T}{2} = \frac{U_{C2}}{R_H} T; \\ \frac{E + U_{C1} - U_{C2}}{z + R_2} \frac{T}{2} = \frac{U_{C2}}{R_H} T, \end{cases} \quad (2)$$

где  $U_{C1}$  - постоянное напряжение на конденсаторе  $C1$ ;

$U_{C2}$  - постоянное напряжение на конденсаторе  $C2$ ;

$z$  - сопротивление источника сигнала;

$R_1$  - динамическое сопротивление насыщенного ключа  $K_{л1}$ ;

$R_2$  - динамическое сопротивление насыщенного ключа  $K_{л2}$ .

Решение системы (2) относительно выходного напряжения изме-

ительной схемы позволяет определить статическую, нагрузочную ха-  
 рактеристики:

$$U_{c2} = \frac{2R_H}{2(z+R_1) + 2(z+R_2) + R_H} E ; \quad (3)$$

$$U_{c2} = 2E - J_H [2(z+R_1) + 2(z+R_2)]$$

и рассчитать погрешности, связанные с изменением сопротивления  
 нагрузки ( $\sigma_{R_H}$ ) сопротивления источника сигнала ( $\sigma_z$ )  
 и динамического сопротивления насыщенного ключа ( $\sigma_R$ ). При вы-  
 полнении условий  $R_1 = R_2 = R$  и  $z + R \ll R_H$

$$\sigma_{R_H} = 4 \frac{(z+R)}{R_H} \frac{\Delta R_H}{R_H} 100\% ;$$

$$\sigma_z = \frac{4z}{R_H} \frac{\Delta z}{z} 100\% ; \quad (4)$$

$$\sigma_R = -\frac{4R}{R_H} \frac{\Delta R}{R} 100\% .$$

Анализ выражений (3) и (4) позволяет сделать следующие выво-  
 ды. Статическая и нагрузочная характеристики измерительной  
 схемы при линейной схеме замещения коммутирующих элементов линейны. Вы-  
 ходное сопротивление и коэффициент передачи (чувствительность по  
 напряжению) практически в два раза превышает соответствующие па-  
 раметры однотактных схем. Погрешности схемы зависят от соотношения  
 сопротивлений  $z$ ,  $R$  и  $R_H$  и уменьшаются с увеличением  $R_H$ .

При использовании в качестве коммутирующих элементов МОП-клю-  
 чей КТ682Б сопротивление  $R = 50 \text{ Ом}$  и увеличивается примерно  
 на 20% в диапазоне температур  $20 - 70^\circ \text{C}$ . При сопротивлении источ-  
 ника сигнала  $z = 100 \text{ Ом}$  и сопротивлении нагрузки  $R_H = 100 \text{ кОм}$   
 изменение сопротивления коммутирующего элемента приводит к погреш-  
 ности  $\sigma_R = -0,04\%$ . В свою очередь, двукратное изменение сопро-  
 тивления нагрузки вызывает погрешность  $\sigma_{R_H} = +0,8\%$ .

Погрешность от изменения сопротивления нагрузки ограничивает  
 возможности использования схем с умножением напряжения непосредст-  
 венно на сопротивление нагрузки, без буферного УПТ. В реализованных  
 устройствах эти схемы нагружены на входное сопротивление неинвер-  
 тирующего УПТ, равное входному сопротивлению операционного усили-  
 теля для синфазного сигнала ( $R_{сф} = 10-15 \text{ МОм}$  для ЛТ531). При  
 этом температурная погрешность схемы с удвоением напряжения не

превышает 0,1% на 100 С.

Рассмотренная измерительная схема с удвоением напряжения использована в шестиканальном преобразователе, работающим с серийными индуктивными датчиками давления типа ДД-Ю. Результаты испытаний преобразователя показали хорошее совпадение экспериментальных и расчетных данных.

Измерительные схемы с умножением напряжения позволяют в несколько раз увеличить чувствительность канала преобразования с низкооборотным датчиком при сохранении на высоком уровне его метрологических характеристик. Возможность более значительного повышения чувствительности, однако, ограничена возрастающей пропорционально  $n^2$  величиной погрешности от нестабильности параметров коммутирующих элементов, изменения сопротивления нагрузки и ухудшением динамических характеристик схемы.

#### Л и т е р а т у р а

1. Болтянский А.А., Толстоногова М.Г., Кондроров А.А. Интегрирующие коммутативные преобразователи. "Измерительная техника", 1975, №7, с. 37-38.
2. Карандеев К.Б. Специальные методы электрических измерений. М., Госэнергоиздат, 1963, с. 302.
3. Болтянский А.А., Толстоногова М.Г., Кондроров А.А. Интегрирующий измерительный преобразователь с кольцевым диодным коммутатором. В сб.: Автоматические измерительные и регулирующие устройства. Научные труды вузов Поволжья. Вып. 7, Куйбышев, КуАИ, 1974. с. 65-73.