

Таким образом, измерительная цепь с индуктивным датчиком на импульсном питании может рассматриваться как цепь с переменными параметрами. Зависимость $L = f(t)$ дает возможность выполнить аналитический расчет таких цепей. Приведенная методика применима для получения зависимости $L = f(t)$ для датчиков экранного типа.

Л и т е р а т у р а

И. Барсуков Ю.И. и др. Методы преобразования, основанные на тестовых переходных процессах: -В сб.: Автоматизация экспериментальных исследований. Вып.8.-Куйбышев: КуАИ, 1975, с.90-97.

УДК 681.325.088

В.П.Глухов, О.П.Скобелев

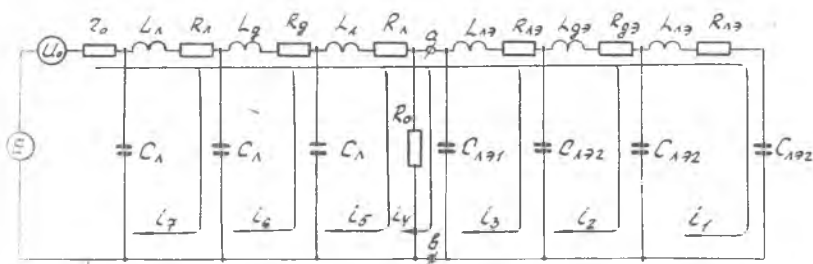
УРАВНЕНИЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ГРУППОВЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ЦЕПЕЙ ВРЕМЯ-ИМПУЛЬСНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ДЛЯ ИНДУКТИВНЫХ ДАТЧИКОВ

(г. Куйбышев)

Как известно, подсистемы сбора и преобразования измерительной информации с индуктивных датчиков, построенные на основе групповых преобразователей, реализующих метод постоянной времени, обладают рядом достоинств [1]. Разработано несколько вариантов измерительных преобразователей с индуктивными датчиками [2,3,4]. Основные метрологические характеристики этих устройств определены экспериментально, но отсутствуют какие-либо сведения о теоретическом анализе погрешностей преобразования этой группы устройств. Для того, чтобы теоретически оценить погрешности преобразования, необходимо знать уравнение преобразования.

Статья посвящена определению в аналитическом виде уравнения преобразования и чувствительности групповых время-импульсных преобразователей с индуктивными датчиками.

На рис.1 представлена эквивалентная схема групповой измерительной цепи (ИЦ) с дифференциальными датчиками, где $C_{1,2} = 2n C_1$,



Р и с. I. Эквивалентная схема групповой измерительной цепи

$C_{L_{i2}} = (2n-1)C_n$, $L_{L_{i2}} = L_n/(2n-1)$, $R_{L_{i2}} = R_n/(2n-1)$, $L_{g_{i2}} = L_g/(2n-1)$,
 $R_{g_{i2}} = R_g/(2n-1)$, n - число каналов преобразователя. Предполагается, что индуктивный датчик представлен последовательной схемой замещения с постоянными во времени параметрами L_g и R_g ; ключ - статическими параметрами в замкнутом состоянии (остаточным напряжением U_0 и сопротивлением Z_0); линия связи оставлена "П"-образной схемой замещения. Как показано в работе [5], волновые процессы в линиях с индуктивными датчиками при возмущении ступенчатым напряжением заканчиваются через $T_n = (3 \div 5) \tau_n$, где $\tau_n = 1/(\frac{G}{C} + \frac{R}{L})$; L , C и R - индуктивность, емкость и сопротивление единицы длины линии; G - проводимость изоляции на единицу длины линии. При времени преобразования $T_{np} \gg T_n$ возможна замена распределенных параметров сосредоточенными: $L_n = L\ell$, $C_n = C\ell$, $R_n = R\ell$ и $G_n = G\ell$, где ℓ - длина линии связи.

Уравнение преобразования - это функция параметров элементов ИЦ $t_{cp} = f(L_g, R_g, L_n, C_n, R_n, R_0, U_0, Z_0)$, где t_{cp} - время сравнения напряжения на сопротивлении R_0 при тестовом возмущении с заданным опорным уровнем; R_0 - сопротивление образцового резистора. Чтобы найти эту функцию, необходимо решить систему дифференциальных уравнений высокого порядка, которая описывает поведение эквивалентной схемы. Из теории дифференциальных уравнений известно, что получить аналитическое решение дифференциального уравнения выше 3-го порядка практически невозможно. Более того, даже при наличии решений дифференциальных уравнений 2-го и 3-го порядка, нет возможности найти уравнение преобразования в явном виде в связи с трудностями решения трансцендентных

уравнений. Лишь в том случае, когда модель ИЦ описывается дифференциальным уравнением первого порядка, т.е. когда существует предельно упрощенная модель ИЦ (модель в виде LR -цепи с идеальным ключом ($U_0=0$, $\tau_0=0$) и без линии связи ($L_n=0$, $C_n=0$, $R_n=0$)), возникает возможность получения уравнения преобразования в явном виде. Поэтому ставится задача нахождения приближенного уравнения преобразования.

Переходные процессы в эквивалентной схеме (см. рис. I) описываются системой дифференциальных уравнений в операторной форме:

$$\begin{aligned}
 & \tau_0 \sum_{k=1}^{k=8} i_k + (L_n P + R_n) \sum_{k=1}^{k=7} i_k + (L_g P + R_g) \sum_{k=1}^{k=6} i_k + (L_n P + R_n) \sum_{k=1}^{k=5} i_k + (L_{n2} P + R_{n2}) \sum_{k=1}^{k=3} i_k + \\
 & + (L_{g2} P + R_{g2}) \sum_{k=1}^{k=2} i_k + (L_{n3} P + \frac{1}{C_{n32} P} + R_{n3}) i_1 = E - U_0; \\
 & \tau_0 \sum_{k=1}^{k=8} i_k + (L_n P + R_n) \sum_{k=1}^{k=8} i_k + (L_g P + R_g) \sum_{k=1}^{k=6} i_k + (L_n P + R_n) \sum_{k=1}^{k=5} i_k + \\
 & + (L_{n2} P + R_{n2}) \sum_{k=1}^{k=3} i_k + (L_{g2} P + R_{g2}) \sum_{k=1}^{k=2} i_k + \frac{L_2}{C_{n22} P} = E - U_0; \\
 & \tau_0 \sum_{k=1}^{k=8} i_k + (L_n P + R_n) \sum_{k=1}^{k=7} i_k + (L_g P + R_g) \sum_{k=1}^{k=6} i_k + (L_n P + R_n) \sum_{k=1}^{k=5} i_k + \\
 & + (L_{n2} P + R_{n2}) \sum_{k=1}^{k=3} i_k + \frac{L_3}{C_{n22} P} = E - U_0; \quad (1) \\
 & \tau_0 \sum_{k=1}^{k=8} i_k + (L_n P + R_n) \sum_{k=1}^{k=7} i_k + (L_g P + R_g) \sum_{k=1}^{k=6} i_k + (L_n P + R_n) \sum_{k=1}^{k=5} i_k + \frac{L_4}{C_{n31} P} = E - U_0; \\
 & \tau_0 \sum_{k=1}^{k=8} i_k + (L_n P + R_n) \sum_{k=1}^{k=7} i_k + (L_g P + R_g) \sum_{k=1}^{k=6} i_k + (L_n P + R_n) \sum_{k=1}^{k=5} i_k + R_0 i_5 = E - U_0; \\
 & \tau_0 \sum_{k=1}^{k=8} i_k + (L_n P + R_n) \sum_{k=1}^{k=7} i_k + (L_g P + R_g) \sum_{k=1}^{k=6} i_k + \frac{L_6}{C_n P} = E - U_0; \\
 & \tau_0 \sum_{k=1}^{k=8} i_k + (L_n P + R_n) \sum_{k=1}^{k=7} i_k + \frac{L_7}{C_n P} = E - U_0; \\
 & \tau_0 \sum_{k=1}^{k=8} i_k + \frac{L_8}{C_n P} = E - U_0.
 \end{aligned}$$

Приближенное уравнение преобразования будем находить в два этапа. На первом этапе найдем аналитическое решение системы уравнений (1), снижая ее порядок до 2-го. При этом влияние членов степени выше второй сказывается только в начальной области переходной характеристики, которая нас не интересует. Выражение падения напряжения на образцовом сопротивлении R_0 имеет вид

$$U_{R_0}(P) = I_S(P)R_0 = \frac{E-U_0}{A_4} \cdot \frac{A_1 P^2 + A_2 P + A_3}{P^2 + aP + d} \quad (2)$$

где

$$A_1 \approx \frac{2C_n(L_g + 2L_n)}{2n-1}, \quad A_2 \approx \frac{2C_n(R_g + 2R_n)}{2n-1}, \quad A_3 \approx \frac{1}{2n-1},$$

$$A_4 \approx \frac{C_n(L_g + 2L_n)[(8n-3)R_0 + 2R_u]}{(2n-1)R_0},$$

$$a \approx \frac{1}{C_n[(8n-3)R_0 + 2R_u]}, \quad d \approx \frac{R_g + R_0 + 2R_n + r_0}{C_n[(8n-3)R_0 + 2R_u](L_g + 2L_n)},$$

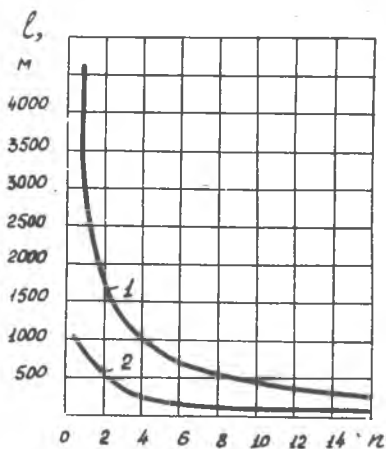
$$R_u = R_g + R_0 + 2R_n + r_0.$$

Характер переходного процесса зависит от соотношения параметров ИЦ. При $a^2/4 > d$ ток в цепи имеет аperiodический характер, при $a^2/4 < d$ - колебательный. Следует подчеркнуть, что в соответствии с определением, данным в литературе [6], метод постоянной времени реализуется только в случае аperiodического переходного процесса. На рис.2 в координатах ℓ и n представлены границы аperiodического и колебательного переходных процессов для датчиков Д1 ($L_g = 1 \cdot 10^{-3}$ Гн, $R_g = 20$ Ом) и Д2 ($L_g = 150 \cdot 10^{-3}$ Гн, $R_g = 100$ Ом) при $R_0 = R_g$, где ℓ - длина линий связи, n - число каналов преобразователя. Приближенное значение оригинала падения напряжения $U_{R_0}(t)$ определяется

$$U_{R_0}(t) = \frac{(E-U_0)R_0}{R_g + R_0 + 2R_n + r_0} \left[1 - \frac{1 + \sqrt{1 - 4\tau_n}}{2\sqrt{1 - 4\tau_n}} \exp \frac{t \sqrt{1 - 4\tau_n} - 1}{2\tau_c} \right], \quad (3)$$

где $\tau_n = \frac{\tau_c}{2n}$, $\tau_c = \frac{L_g + 2L_n}{R_g + R_0 + 2R_n + r_0}$, $\tau_c = C_n[(8n-3)R_0 + 2R_u]$.

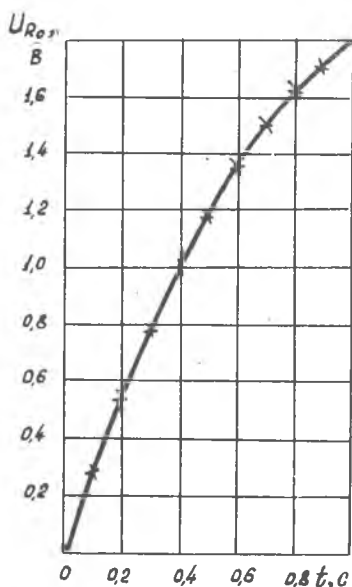
На рис.3 сплошной линией показана зависимость $U_{R_0}(t)$, вычисленная по формуле (3) для ИЦ со следующими параметрами: датчик - Д2, линия связи - $\ell = 50$ м, число каналов - $n = 16$. Звездоч-



Р и с. 2. Зависимость длины линий связи от числа каналов (при аperiodическом переходном процессе):

1 - датчик Д2,

2 - датчик Д1



Р и с. 3. Переходная характеристика измерительной цепи

ками показана зависимость, полученная численно из полной системы дифференциальных уравнений (I). Сопоставление кривых показывает, что в области значений относительного изменения напряжения $U_{R0(t)}/U_{уст} \geq 0,1$ наблюдается их хорошее совпадение (расхождение не превышает 1%). В ИЦ с датчиками Д1 влияние линии связи сказывается сильнее, однако при этих же параметрах ИЦ расхождение зависимостей не превышает 1% в области $U_{R0(t)}/U_{уст} \geq 0,5$.

Пренебрегая величиной индуктивности линии связи, получим момент достижения напряжения на сопротивлении R_0 заданного опорного уровня $U_{оп}$:

$$t_{cp} = \frac{2C_n[(18n-3)R_0 + 2R_u]}{1 - \sqrt{1 - \frac{4C_n[(18n-3)R_0 + 2R_u]R_u}{4g}}} \quad (4)$$

$$\times e_n \left[\frac{1 + \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{4C_n[(8n-3)R_0 + 2R_u]R_u}{4g}}}}{2(1 - h_e)} \right],$$

где $h_e = 4\omega_n / 4\omega_{уст}$, $4g = 4g_0(1 + \delta_b)$, $4g_0$ - начальное значение индуктивности датчика, δ_b - относительное изменение индуктивности при изменении контролируемого параметра. Поскольку $4C_n[(8n-3)R_0 + 2R_u]R_u / 4g_0(1 + \delta_b) \ll 1$, возможно существенное упрощение выражения (4). Раскладывая биномиальный член

$$\sqrt{1 - \frac{4C_n[(8n-3)R_0 + 2R_u]R_u}{4g_0(1 + \delta_b)}}$$

в степенной ряд и ограничиваясь первыми двумя его членами, получим

$$t_{cp} = \tau_n(1 + \delta_b) e_n \left[\frac{1 + \delta_b + \tau_n}{(1 - h_e)(1 + \delta_b + 2\tau_n)} \right]. \quad (5)$$

Для дифференциальной ИЦ уравнение преобразования примет вид

$$\Delta t_{cp} = \tau_n [(1 - \delta_b) e_n Q_1 - (1 + \delta_b) e_n Q_2], \quad (6)$$

где $Q_1 = (1 - h_e) \left[1 + \frac{\tau_n}{1 - \delta_b + \tau_n} \right]$, $Q_2 = (1 - h_e) \left[1 + \frac{\tau_n}{1 + \delta_b + \tau_n} \right]$.

Выражение для определения чувствительности преобразования к относительному изменению индуктивности датчика запишется как

$$S_{\delta_b} = \frac{d \Delta t_{cp}}{d \delta_b} = \tau_n \left\{ \frac{(1 + \delta_b) \tau_n}{(1 + \delta_b + \tau_n)(1 + \delta_b + 2\tau_n)} + \frac{(1 - \delta_b) \tau_n}{(1 - \delta_b + \tau_n)(1 - \delta_b + 2\tau_n)} - e_n Q_1 - e_n Q_2 \right\}. \quad (7)$$

Полученные аналитические уравнения преобразования и выражения для определения чувствительности позволяют без применения численных методов проанализировать влияние параметров линий связи и ключевых транзисторов на основные характеристики время-импульсных преобразователей, а также теоретически оценить их погрешности.

Л и т е р а т у р а

Г. Агейкин Д.И., Скобелев О.П., Костина Е.Н. Методы преобразования информации на основе тестовых переходных процессов. - В кн.: Измерения, контроль, автоматизация: Научно-технический реферативный сборник. Вып. 4(16). - М.: ЦНИИТЭИ приборостроения, 1978, с. 54-62.

2. Болтянский А.А., Райков Б.К., Скобелев О.П., Старобинский Н.М. Многоканальная измерительная система с унифицированными параметрическими первичными преобразователями. — Измерительная техника, 1970, № II, с.8—10.

3. Глухов В.П., Любимкин В.Г., Скобелев О.П. Подсистема сбора информации для индуктивных датчиков с малой постоянной времени. — Информационный листок № 123—78. Куйбышевский межотраслевой территориальный центр научно-технической информации и пропаганды, 1978.

4. Барсуков Ю.И., Болтянский А.А., Глухов В.П., Компанец В.К., Кондоров А.А., Райков Б.К., Скобелев О.П. Групповые согласующие устройства для систем централизованного контроля и управления. — В сб.: Тез. докл. Всесоюз. научно-технич. конф. по измерительным информационным системам "ИИС-73". Ивано-Франковск, 1973, с.37—41.

5. Секисов Ю.Н. Разработка и исследование амплитудно-импульсного группового согласующего устройства подсистемы сбора информации. — Дисс. на соис.учен.степ.канд.техн.наук.—Куйбышев, 1976.—157с.

6. Мирский Г.Я. Радиоэлектронные измерения. — М.—Л.: Высшая школа, 1963. — 317с.

УДК 621.383:681.3

В.Л.Белов, С.В.Жаров

МАКЕТ СИСТЕМЫ ДЛЯ КОДИРОВАНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ

ЦИКЛИЧЕСКИМ ПРЕОБРАЗОВАНИЕМ ГОГИНА

(г.Петрозаводск)

Во многих работах [1,2,3] для распознавания изображений используют преобразование Адамара, в частности, описывается устройство типа "маскон" [4]. Оно представляет собой фотоприемную матрицу, каждая из вертикальных и горизонтальных шин которой подсоединяется к ключу на два положения. Ключи присоединяют первую половину горизонтальных шин к положительному полюсу источника питания, вторую — к отрицательному, а вертикальные шины — к неинвертирующему и инвертирующему входам усилителя считывания. Положение ключей задается генераторами управляющих функций. Выходным сигналом такого устрой-