

ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

И. И. ПАШЕНЦЕВ, А. А. ОГАНЕСЯН

ОБОБЩЕННЫЙ АНАЛИЗ И РАСЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ
ЦЕПИ КОНТУРНОГО ИНДУКТИВНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ
ПРИ РАБОТЕ НА ПОВЫШЕННЫХ ЧАСТОТАХ

При автоматических измерениях, осуществляемых средствами информационно-измерительной техники, наиболее широко используются индуктивные преобразователи, у которых входная величина задана в виде перемещения.

Требования, предъявляемые к преобразователям перемещений информационно-измерительными системами, весьма многообразны и зависят от того, в какой отрасли науки или техники эти системы используются. Необходимость получения надежных преобразователей, имеющих простую конструкцию и высокую линейность выходного сигнала, привела к тому, что поиск и создание более совершенных индуктивных преобразователей все еще продолжается.

Авторами разработан ряд контурных индуктивных преобразователей (КИП), основное достоинство которых по сравнению с известными индуктивными преобразователями [1, 2] заключается в том, что они не содержат в своей магнитной цепи ферромагнитных материалов [3]. Это позволяет практически полностью избавиться от гистерезиса и вихревых токов и получить выходной сигнал требуемой линейности. Кроме того, КИП отличаются от известных устройств подобного типа простотой конструкции, малым весом и высокой надежностью.

Специфической особенностью работы КИП является питание их от источников повышенной частоты. Это необходимо в целях повышения чувствительности по напряжению и, благодаря отсутствию в магнитной цепи ферромагнитных материалов, практически легко осуществимо.

На рис. 1 представлена принципиальная электрическая схема прецизионного преобразователя [3], обмотка возбуждения которого питается от генератора синусоидальных колебаний с частотой порядка 100—200 кГц, а измерительная обмотка замкнута на некоторую нагрузку, которой могут служить, например, усилитель, преобразователь переменного напряжения в постоянный ток и т. д. Такая совокупность источника, преобразователя и нагрузки представляет собой преобразовательный каскад. Схема рис. 1 составлена с учетом распределенных паразитных емкостей, существующих как между слоями витков каж-

дой из обмоток преобразователя, так и между самими обмотками. Внутренние сопротивления источника и нагрузки в общем случае носят комплексный характер:

$$Z_0 = R_0 + j\omega L_0 - j \frac{1}{\omega C_0}; \quad Z_L = R_L + j\omega L_L - j \frac{1}{\omega C_L}$$

— емкости источника и нагрузки, под каждой из которых понимается сумма емкостей монтажа и емкостей внешней цепи.

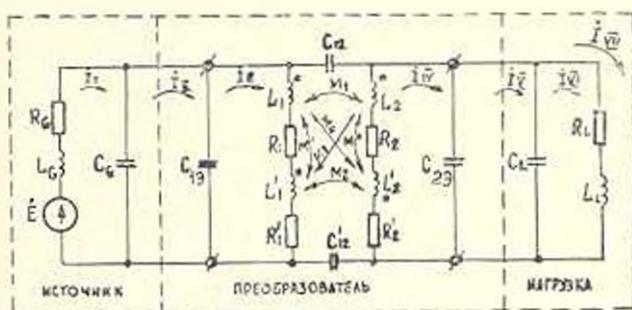


Рис. 1.

Поскольку паразитные межслоевые емкости C_{13} и C_{23} , входящие в схему прецизионного преобразователя, включены параллельно емкостям источника и нагрузки, то их целесообразно с последними объединить. Тогда схема рис. 1 преобразуется в более удобную для анализа схему рис. 2. Согласно схеме рис. 2 имеем:

$$C'_{13} = C_{13} + C_0; \quad C'_{23} = C_{23} + C_L$$

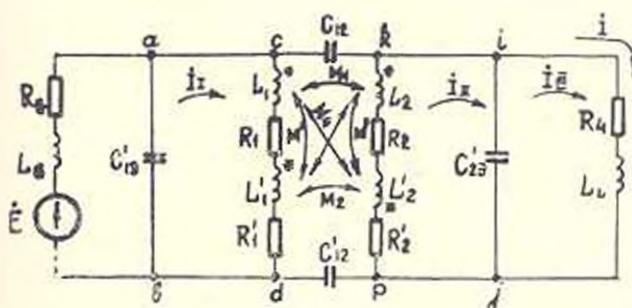


Рис. 2.

Для определения токов, указанных на схеме рис. 2, необходимо решить систему контурных уравнений, которую в матричной форме можно записать так:

$$\|E_n\| = \|Z_n\| \cdot \|I_n\| \quad (1)$$

Матрицу контурных сопротивлений $\|Z_n\|$ выражения (1) целесообразнее получить с помощью матрицы сопротивления ветвей и

матрицы инцидентий [4], не прибегая тем самым к трудоемкому процессу составления самих уравнений, т. е.

$$\|Z_k\| = \|C_7\| \cdot \|Z_n\| \cdot \|C\|, \quad (2)$$

где $\|Z_n\|$ — матрица сопротивления ветвей;

$\|C_7\|$ — матрица, транспонированная относительно матрицы инцидентий.

Записав матрицы $\|C\|$, $\|Z_n\|$, $\|C_7\|$ в развернутом виде и перемножив их, получим:

$$\|Z_k\| = \begin{pmatrix} Z_1 & 0 & 0 & Z_5 \\ 0 & Z_2 & -Z_4 & 0 \\ 0 & -Z_4 & Z_3 & Z_6 \\ Z_5 & 0 & Z_6 & Z_7 \end{pmatrix}, \quad (3)$$

$$\text{где } Z_1 = R_a + R_L + j\omega(L_a + L_L - \frac{1}{\omega^2 C_{12}} - \frac{1}{\omega^2 C'_{12}});$$

$$Z_2 = R_3 + R'_1 + j\omega(L_1 - L'_1) + 2M' - \frac{1}{\omega^2 C'_{13}};$$

$$Z_3 = R_2 + R'_2 + j\omega(L_2 + L'_2 - 2M'' - \frac{1}{\omega^2 C'_{23}});$$

$$Z_4 = -j\omega(M_1 - M_2 + M_3 - M_4);$$

$$Z_5 = R_L + j\omega L_L; \quad Z_6 = j \frac{1}{\omega C_{23}};$$

$$Z_7 = R_L + j\omega L_L - j \frac{1}{\omega C_{23}}.$$

Определив обратную матрицу $\|Z_k\|^{-1}$ и умножив её на матрицу контурных э. д. с. $\|E_k\|$, получаем выражения для контурных токов.

$$\begin{aligned} i &= \dot{E} \frac{Z_1(Z_1 Z_7 - Z_6^2) - Z_5^2 Z_7}{Z_1(Z_2 Z_3 Z_7 - Z_2 Z_6^2 - Z_4^2 Z_7) - Z_5^2(Z_2 Z_3 - Z_4^2)}; \\ i_I &= \dot{E} \frac{Z_4 Z_2 Z_3}{Z_1(Z_2 Z_3 Z_7 - Z_2 Z_6^2 - Z_4^2 Z_7) - Z_5^2(Z_2 Z_3 - Z_4^2)}; \\ i_{II} &= \dot{E} \frac{Z_4 Z_2 Z_3}{Z_1(Z_2 Z_3 Z_7 - Z_2 Z_6^2 - Z_4^2 Z_7) - Z_5^2(Z_2 Z_3 - Z_4^2)}; \\ i_{III} &= -\dot{E} \frac{Z_3(Z_2 Z_3 - Z_4^2)}{Z_1(Z_2 Z_3 Z_7 - Z_2 Z_6^2 - Z_4^2 Z_7) - Z_5^2(Z_2 Z_3 - Z_4^2)}. \end{aligned} \quad (4)$$

Пользуясь системой уравнений (4), найдем токи, напряжения и мощности преобразовательного каскада.

Напряжение \dot{U}_1 , приложенное к обмотке возбуждения, определя-

ется выражением:

$$\dot{U}_1 = \dot{E} \frac{Z_4 Z_5 Z_6 [R_1 + R_1' + j\omega(L_1 + L_1' + 2M')]}{Z_1(Z_2 Z_3 Z_7 - Z_2 Z_4^2 - Z_3^2 Z_7) - Z_5^2(Z_2 Z_3 - Z_1^2)} \quad (5)$$

Полная мощность, подводимая к первичной обмотке,

$$S_1 = E^2 \frac{Z_4^2 Z_5^2 Z_6^2 [R_1 + R_1' + j\omega(L_1 + L_1' + 2M')]}{|Z_1(Z_2 Z_3 Z_7 - Z_2 Z_4^2 - Z_3^2 Z_7) - Z_5^2(Z_2 Z_3 - Z_1^2)|^2} \quad (6)$$

Ток, протекающий по активно-индуктивной составляющей сопротивления нагрузки, равен:

$$i_L = \dot{E} \frac{Z_2(Z_3 Z_7 - Z_1^2) - Z_1^2 Z_7 - Z_5(Z_2 Z_3 - Z_1^2)}{Z_1(Z_2 Z_3 Z_7 - Z_2 Z_4^2 - Z_3^2 Z_7) - Z_5^2(Z_2 Z_3 - Z_1^2)} \quad (7)$$

Напряжение на активно-индуктивной составляющей нагрузки,

$$\dot{U}_L = \dot{E} \frac{Z_5 [Z_2(Z_3 Z_7 - Z_1^2) - Z_1^2 Z_7 - Z_5(Z_2 Z_3 - Z_1^2)]}{Z_1(Z_2 Z_3 Z_7 - Z_2 Z_4^2 - Z_3^2 Z_7) - Z_5^2(Z_2 Z_3 - Z_1^2)} \quad (8)$$

Полная мощность, подводимая к активно-индуктивной составляющей сопротивления нагрузки,

$$S_L = E^2 \frac{Z_5^2 [Z_2(Z_3 Z_7 - Z_1^2) - Z_1^2 Z_7 - Z_5(Z_2 Z_3 - Z_1^2)]^2}{|Z_1(Z_2 Z_3 Z_7 - Z_2 Z_4^2 - Z_3^2 Z_7) - Z_5^2(Z_2 Z_3 - Z_1^2)|^2} \quad (9)$$

Реактивная мощность, подводимая к эквивалентному емкостному сопротивлению $j \frac{1}{\omega C_{23}}$, будет:

$$Q_C = -E^2 \frac{j \frac{1}{\omega C_{23}} [Z_2 Z_5 Z_6 + Z_2(Z_2 Z_3 - Z_1^2)]^2}{|Z_1(Z_2 Z_3 Z_7 - Z_2 Z_4^2 - Z_3^2 Z_7) - Z_5^2(Z_2 Z_3 - Z_1^2)|^2} \sin \frac{\pi}{2} \quad (10)$$

Из рассмотрения схемы рис. 2 видно, что:

$$\dot{U}_{11} = \dot{U}_L = \dot{U}_{12} = \dot{U}_{23}; \quad (11)$$

$$\dot{U}_1 = \dot{U}_{ac} = \dot{U}_{cd}.$$

Коэффициент передачи по току прецизионного преобразователя равен:

$$\frac{\dot{I}_{11}}{I_1} = \frac{R_2 + R_2' + j\omega(L_2 + L_2' - 2M'') - \frac{1}{\omega^2 C_{23}}}{j\omega(M_1 - M_2 + M_3 - M_4)} \quad (12)$$

Коэффициент передач по напряжению

$$\frac{U'_{11}}{U_1} = \frac{Z_2(Z_3Z_7Z_8^2) - Z_2^2Z_7 - Z_2(Z_4Z_5 - Z_1^2)}{Z_1Z_6[R_1 + R_1' - j\omega(L_1 + L_1' + 2M)]} \quad (13)$$

Полученные в работе результаты могут найти практическое применение при исследовании и разработке индуктивных преобразователей перемещений и других устройств трансформаторного типа, работающих в области повышенных частот, и позволяют значительно улучшить их информационные характеристики.

Поступило 20.III 1974

Ե. Ե. ՊԱՇԵՅԱՆՈՎ, Ա. Ա. ՕԳԱՆԵՅԱՆ

ԿԱՆՏՈՐՈՒՅԻՆ, ԻՆՎԵՆԻՏԻՎ ԿԵՐՊԱՓՈՒԿԵՐՎ ԸՆԴՀԱՆՐԱՅՎԱՆ ՎԵՐՈՒՅՈՒՄՔՅՈՒՆԸ ԵՎ ԷԼԵԿՏՐՈՎԱՆ ՇՂԹԱՅԻ ՀԱՇՎԱՐԿՐ ԲԱՐՁՐ ՀԱՃԱՆՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԳԵՊԲՈՒՄ ԱՇԽԱՏԱԿԻՍ

Ա մ փ ո փ ու մ

Հողվածում բերված է կոնտորային ինդուկտիվ կերպարափոխիչի վերլուծությունը և էլեկտրական շղթայի հաշվարկը: Տարրերիչ առանձնահատկությունը կաշանում է նրանում, որ հաշվարկը կատարված է միջշերտային և միջփաթառային բաշխված պարագիտ տեսակախոսությունների հաշվարկով: Որոշվում են տեղափոխիչի բնութագրի մատուցվող լրիվ չգորտությունը, ինչպես նաև կարպափոխիչի փոխանցման զործակիցներն ըստ հոսանքի և ըստ լարման: Ստացված արդյունքները նախադարձություն են բնօրինում ազելի խորը մշակել ինդուկտիվ կերպարափոխիչների տեսությունը և լափաքնել նրանց բնօրինացրն բնութագրերը:

ЛИТЕРАТУРА

1. Куликовский А. Ф. Индуктивные измерители перемещений, Госэнергоиздат, 1961.
2. Куликовский А. Ф., Зарипов М. Ф. Индуктивные преобразователи перемещений с распределенными параметрами, Изд. «Энергия», 1966.
3. Пашеянов Н. П., Петров И. В. Прецизионный преобразователь линейных и угловых перемещений, Информационный листок № 261, Куйбышев, ЦИТИ, 1973.
4. Сешу С., Балобанян И. Анализ линейных электрических цепей, Госэнергоиздат, 1963.