АНАЛИЗ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ СХЕМ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ЦЕПЕЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ОБОБЩЕННЫХ СИГНАЛЬНЫХ ГРАФОВ

М.В. Чернецов

Пензенский филиал Российского государственного университета инновационных технологий и предпринимательства

440026 г. Пенза, ул Володарского, 6а

Излагается методика исследования с помощью обобщенных сигнальных графов влияния электромагнитных помех, возникающих в линиях соединения дифференциального датчика с измерительной цепью. Даются рекомендации по топологии измерительных цепей, минимизирующих влияние помех. Показано удобство использования сигнальных графов для анализа влияния различных помех для различных типов параметрических дифференциальных датчиков.

Ключевые слова: измерительная цепь, дифференциальный датчик, электромагнитная помеха, потенциально-токовый граф, обобщенный сигнальный граф, помехоустойчивость, коэффициент помехоустойчивости.

Измерительная цепь (ИЦ) является одним из основных элементов тракта измерительного преобразования, т.к. здесь осуществляется с одной стороны преобразование пассивных параметров датчика (ПД) в электрические сигналы, а с другой стороны способ подсоединения ПД и топология ИЦ во многом определяют метрологические характеристики измерительного преобразователя (ИП) в целом. Поэтому определение алгоритма выбора оптимальной схемы и выработка рекомендаций по построению ИЦ с целью повышения помехоустойчивости имеет несомненную как теоретическую, так и практическую ценность.

В этой связи представляется целесообразной разработка и применение методов, основанных на использовании обобщенных сигнальных графов (ОСГ) для анализа помехоустойчивости ИЦ, как наиболее удобных и сравнительно просто реализуемых.

Для удобства проведения анализа используем классификацию ИЦ по схеме включения дифференциального датчика в виде делителя напряжения (ДН) – "0" или делителя тока (ДТ) – "1" и, далее, по питанию датчика напряжением – "0" или током – "1", приведенную в статье [1], и проведем сравнительный анализ, сопоставляя схемы ИЦ групп 00 и 11, для различных включений ПД.

В схеме ИЦ подкласса 00 (схема ДН, питание напряжением), выходное напряжение будет, очевидно, описываться для потенциометрического датчика выражением

$$U_1 = U_0 \cdot \left(\frac{1}{2} + \frac{\Delta R}{2R}\right),\tag{1}$$

где U_0 – напряжение питания, R – полное сопротивление ПД, ΔR – изменение сопротивления дифференциальных плеч ПД. Схема замещения, учитывающая влияние наведенных помех, показана на рис.1,*a*, где e_{n1} – помеха в цепи питания датчика, e_{n2} – помеха в проводе линии, соединяющей выход датчика со входом измеритель-



Рис.1. Схема замещения ИЦ (00) для оценки помехоустойчивости (*a*) и соответствующие ей ПТГ (*б*) и ОСГ (*c*)

ного преобразователя (ИП). На рис. 1,6 и 1,6 показаны соответственно потенциально-токовый (ПТГ) и обобщенный сигнальный (ОСГ) графы, определитель последнего описывается формулой

где

$$\Delta = Y_{\rm BX}R_+R_- + R_+ + R_-,$$

$$\begin{cases} Y_{\rm BX} = 1/R_{\rm BX} ; \\ R_+ = R + \Delta R; \\ R_- = R - \Delta R. \end{cases}$$

Анализируемая схема описывается системой линейных уравнений, поэтому действует принцип суперпозиции. Запишем выражение для входного напряжения ИЦ в виде, удобном для применения топологической формулы Мейсона [2]:

$$U_{\text{Bbix}} = \left(\frac{u_{\text{Bbix}}}{U_0}\right) \cdot U_0 + \left(\frac{u_{\text{Bbix}}}{e_{\pi 1}}\right) \cdot e_{\pi 1} + \left(\frac{u_{\text{Bbix}}}{e_{\pi 2}}\right) \cdot e_{\pi 2} . \tag{2}$$

Соответствующие выражения для слагаемых выходного напряжения имеют вид:

$$U_{\rm BMX1} = \left(\frac{u_{\rm BMX}}{U_0}\right) \cdot U_0 = \frac{U_0 R_-}{\Delta} = \frac{U_0}{Y_{\rm BX} R_+ + \frac{R_+}{R_-} + 1};$$
(3)

$$U_{\text{Bbix2}} = \left(\frac{u_{\text{Bbix}}}{e_{\pi 1}}\right) \cdot e_{\pi 1} = \frac{e_{\pi 1}R_{-}}{\Delta} = e_{\pi 1}\frac{R - \Delta R}{2R}; \qquad (4)$$

$$U_{\rm Bbix3} = \left(\frac{u_{\rm Bbix}}{e_{\rm n2}}\right) \cdot e_{\rm n2} = e_{\rm n2} \frac{R_+ + R_-}{Y_{\rm Bx}R_+R_- + R_+ + R_-}.$$
 (5)

Для проверки можно показать, что при $Y_{\rm BX} = 0$, т.е. при бесконечно большом входном сопротивлении ИП и $e_{\pi 1} = 0$, $e_{\pi 2} = 0$, из формул (3), (4) и (5) следует, что их суммарное напряжение будет равно

$$U_{\rm Bbix} = U_{\rm Bbix1} = U_0 \frac{R - \Delta R}{2R},$$

что совпадает с формулой (1) для информативного сигнала.

С целью оценки помехоустойчивости рассмотрим коэффициент помехоустойчивости $K_{\rm n}$ в виде отношения сигнал/помеха, т.е.

$$K_{\Pi} = \frac{U_{\text{BMX}1}}{U_{\text{BMX}2} + U_{\text{BMX}3}}$$

Учитывая выражения (3), (4), (5) и, принимая $Y_{\rm BX} = 0$, формулу для расчета значения $K_{\rm II}$ в ИЦ (00) можно представить в виде:

$$K_{\pi 00} = \frac{U_0}{e_{\pi 1} + \frac{2R}{R - \Delta R} \cdot e_{\pi 2}} \,. \tag{6}$$

Как следует из выражения (6), более существенное влияние оказывает источник помехи e_{n2} , особенно при стремлении $\Delta R \ \kappa R$. Это легко объяснимо, поскольку при $\Delta R \rightarrow R$ уменьшается размер сигнала напряжения, снимаемого с датчика, и он оказывается соизмерим с сигналом помехи.

Для сравнения рассмотрим схему (рис. 2,*a*), которая описывает влияние помех в ИЦ подкласса 11 (схема ДТ, питание током). Соответствующие ПТГ и ОСГ показаны на рис. 2,*б* и 2,*в*. Обратим внимание, что в ОСГ отсутствует вершина-исток e_{n1} , поскольку источник тока I_0 и e_{n1} включены последовательно и не могут влиять друг на друга, а потенциал в точке «*a*» определяется только действием источника I_0 .

Запишем формулу для определителя

$$\Delta = R_- Y_+ + 1,$$

где

$$Y_{+} = 1/R_{+}$$

и, по аналогии с (2), получаем выражение для выходного тока

$$I_{\rm Bbix} = \left(\frac{\dot{I}_{\rm Bbix}}{I_0}\right) \cdot I_0 + \left(\frac{\dot{I}_{\rm Bbix}}{e_{\rm n2}}\right) \cdot e_{\rm n2}$$

Здесь информативный параметр описывается выражением

$$I_{\rm BbIX1} = \left(\frac{i_{\rm BbIX}}{I_0}\right) \cdot I_0 = -I_0 \cdot \frac{R + \Delta R}{2R} , \qquad (7)$$

а неинформативный параметр

$$I_{\text{BMX2}} = \left(\underbrace{\frac{BMX}{e_{n2}}}_{R-\Delta R} \right) \cdot e_{n2} = -\frac{m}{R_{-}Y_{+}+1} = -\frac{m}{2R} \cdot (8)$$

$$(8)$$

$$(8)$$

$$(8)$$

$$(8)$$

$$(8)$$

$$(8)$$

$$(9)$$

$$(9)$$

$$(9)$$

 $(i_{\rm RLW}) = e_{\rm R2}Y_{\rm L}$

Рис.2. Схема замещения ИЦ (11) для оценки помехоустойчивости (*a*) и соответствующие ей ПТГ (*б*) и ОСГ (*в*)

Соответствующее выражение для коэффициента помехоустойчивости согласно (7) и (8) имеет вид

$$K_{\Pi 11} = \frac{I_{B b I X 1}}{I_{e b I X 2}} = \frac{2I_0 R}{e_{\Pi 2}}.$$
(9)

 e_{π}

Из сравнения выражений (6) и (9) следует, что схемы измерительных цепей для дифференциальных ПД подкласса 11, т.е. в виде делителей тока, имеют явное преимущество по помехоустойчивости перед схемами ИЦ подкласса 00 в виде делителей напряжения.

Проведенные выше исследования измерительных цепей проводились для случая анализа реостатных датчиков, но изложенные результаты полностью применимы и к другим типам ПД. Покажем это на примере резистивно-емкостных датчиков (РЕД) [3], поскольку это сделать проще, т.к. их электрические схемы во многом совпадают с реостатными ПД. Покажем, что сделанные выводы о преимуществе измерительных цепей в виде делителей тока и токовым питанием (подкласс 11) не противоречат условиям инвариантного преобразования параметров РЕД. Рассмотрим ИЦ для включения РЕД по схеме делителя тока (подкласс 11), для чего используем простейшую схему замещения РЕД в виде двух резисторов R_1 и R_2 и конденсатора C_c связи (см. рис. 3,*a*). Соответствующие ПТГ и ОСГ, отображающие схему, приведены на рис. 3,*б* и 3,*в*. Запишем выражения для определителя:

$$\Delta = (Y_1 R_2 + 1) \cdot C_c p ,$$

и для выходного тока



Рис. 3. Схема замещения ИЦ (11) для РЕД (а) и соответствующие ей ПТГ (б) и ОСТ (в)

Как следует из последней формулы, характеристика преобразования ИЦ не зависит от значения емкости связи C_c . Физически это объясняется тем, что емкость связи работает в режиме заданного тока.

Рассмотренная методика анализа ИЦ по помехоустойчивости с помощью обобщенных сигнальных графов вполне применима для анализа других групп ИЦ (01 или 10), а также для исследования на помехоустойчивость ИЦ к влиянию других источников помех (дрейфа нуля, нестабильности и т.п.).

В заключение следует отметить, что рассмотренные модели являются сравнительно простыми, благодаря представлению помехи в виде источников постоянного напряжения и, на первый взгляд, не учитывают, например, флуктуационный характер помех. Однако, обратим внимание, что исследование влияния различных параметров воздействий, включая помехоустойчивость, было проведено в равных условиях и, следовательно, результаты могут быть использованы для анализа влияния различного рода изменяющихся помех. Кроме того, предложенные методы оценки коэффициента помехоустойчивости K_{Π} могут быть непосредственно использованы для исследования влияния контактных термоэдс.

Результаты исследований проводятся в ходе выполнения поисковой научноисследовательской работы в рамках реализации ФЦП «Научные и научнопедагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 гг.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК:

- 1. Чернецов М.В. Методика синтеза схем измерительных цепей для дифференциальных датчиков. // Приборы и системы. Управление, Контроль, Диагностика. 2011 г. № 2. с. 32-35.
- 2. Анисимов В.И. Топологический расчет электронных схем. Л.: Энергия, 1977, 240 с.
- Андреев А.Н., Чернецов В.И., Чернецов М.В. Особенности проектирования резистивно-емкостных датчиков. // Комплексное обеспечение точности автоматизированных производств. – Пенза, 1995 г. – с. 73-78.

Статья поступила в редакцию 20 мая 2011 г.

NOISE IMMUNITY ANALYSIS OF THE MEASURING CHAINS SCHEMES USING GENERALIZED SIGNAL GRAPHS

M.V. Chernetzov

PENZA BRANCH OF THE RUSSIAN STATE UNIVERSITY OF INNOVATION TECHNOLOGIES AND BUSI-NESS, 440026, г. Репza, ул. Volodarskogo, 6A

The paper describes the methods of investigation of electromagnetic interference effects, caused in the lines connecting the differential transmitter and the measuring chain, based on the generalized signal graphs. The author also gives the recommendations in the topology of the measuring chains which minimize the interference. The article shows the usability of signal graphs for analysis of the noise effect for various types of parametric differential sensors.

Keywords: measuring chain, differential transmitter, electromagnetic interference, potentialcurrent graph, generalized signal graph, noise immunity, noise immunity factor.

Mihail V. Chernetzov – Candidate of Technical science, Associate professor.