

ТЕХНОЛОГИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ИНВАРИАНТНЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ НА ПРИМЕРЕ НЕРАВНОВЕСНЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ МОСТОВ И ДЕЛИТЕЛЕЙ НАПРЯЖЕНИЯ

В.Н. Нестеров, А.Р. Ли

Самарский электромеханический завод
443099, г. Самара, ул. Ст. Разина, 16
E-mail: nesterov-ntc@rambler.ru

Представлен формальный аппарат, развивающий принцип двухканальности до уровня технологического метода построения инвариантных измерительных преобразователей. Рассмотрены его применения в процессе создания двухканальных измерительных мостов и делителей напряжения для приборов и систем специального назначения.

Ключевые слова: *технологический метод, инвариантный преобразователь, измерительный мост, делитель напряжения.*

Работа в жестких эксплуатационных условиях без участия человека требует реализации новых подходов к построению измерительных преобразователей, способных давать информацию с необходимой точностью в условиях воздействий как измеримых, так и неизмеримых внешних и внутренних возмущающих факторов. Принципы построения абсолютно инвариантных систем и систем с инвариантностью до ε , а также условия их физической реализуемости первоначально нашли применение в теории автоматического управления и регулирования [1-3]. Были высказаны идеи о связи теории инвариантности с теорией стабильности измерительных систем [4]. В то же время элементы теории инвариантности и, в частности, принцип двухканальности, сформулированный академиком Б.Н. Петровым [5], находят успешное применение в информационно-измерительной технике.

Представленный работами [6-19] класс инвариантных измерительных преобразователей в составе неравновесных измерительных мостов и делителей напряжения не исчерпывает возможности практической реализации принципа двухканальности для измерительных систем, а методические различия структурного и технологического методов, сформулированные в работе [20] для данного класса преобразователей, требуют дальнейшего методического развития. Последнее в особенности актуально в случае, когда оба метода работают в одной измерительной системе, но реализуют собственные методические признаки.

Положительной особенностью структурного метода, реализующего принцип двухканальности, является принципиальная возможность достижения в системе условий абсолютной инвариантности относительно влияющих факторов.

Однако в общем случае для любой измерительной системы и любых влияющих факторов методообразующие признаки структурного метода не всегда поддаются физической реализации. В этом случае закономерным представляется взгляд в сторону технологии.

Требования, предъявляемые к методам компенсации возмущающих воздействий

Владимир Николаевич Нестеров (д.т.н., профессор), заместитель генерального директора, начальник НТЦ ОАО «Самарский электромеханический завод».
Анжелика Романовна Ли, аспирант.

с помощью технологических мероприятий, должны учитывать особенности и специфику каждой конкретной системы и в силу этого представляют собой некое ноу-хау. Соответственно, решаемая задача может быть разделена на две. Первая из них заключается в формулировании признаков, отражающих принципиальную сущность технологического метода, вторая – в разработке методик, позволяющих реализовать данные признаки и выявить соответствующее технологическое ноу-хау.

Методообразующие признаки технологического метода, приводящие к уменьшению чувствительности системы к возмущающим воздействиям посредством технологических мероприятий, которые рассматриваются как необходимые, сформулированы в работе [20] следующим образом.

1. Наличие в структуре системы q элементов ($q \geq 2$), подверженных влиянию со стороны влияющих факторов ζ_j .

2. Реализуемость специальных технологических мероприятий, приводящих к «дифференциально-симметричному» воздействию влияющих факторов на параметры входящих в систему элементов:

$$\left\{ \frac{\Delta k_{ir}(\zeta_j)}{k_{ir0}} - \frac{\Delta k_{il}(\zeta_j)}{k_{il0}} \right\} \rightarrow 0, \quad r \neq l; \quad r, l \in q, \quad (1)$$

где $\Delta k_{ir}(\zeta_j), \Delta k_{il}(\zeta_j)$ – отклонения k -го параметра соответственно r -го и l -го элементов i -го канала преобразования от номинальных значений k_{ir0}, k_{il0} под действием влияющих факторов ζ_j .

3. Выполнение критерия:

$$\Delta F = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^q \frac{\partial F}{\partial Y_i} \frac{\partial Y_i}{\partial k_{ij}(\zeta_j)} \Delta k_{ij}(\zeta_j) \rightarrow 0, \quad (2)$$

где F – результирующая функция преобразования системы; Y_i – функция преобразования i -го канала преобразования; n – количество каналов.

В предельном случае, если выражения вида (1) превратятся в тождество, критерий (2) достигает нулевого экстремума и можно говорить об абсолютной инвариантности системы относительно возмущающих воздействий, реализуемой за счет соответствующих технологических мероприятий. Однако такой случай является идеальным. Поэтому важной является методическая задача поиска технологических мер, приводящих к максимально близкому выполнению критерия (2).

Методика выявления технологического ноу-хау базируется на использовании критерия (2). Поскольку левая часть последнего представляет собой выражение погрешности, возникающей вследствие действия влияющих факторов на входящие в систему элементы, то, приравняв ее нулю и осуществив необходимые преобразования, представляется возможным в аналитическом виде

$$\frac{\Delta k_{ir}(\zeta_j)}{k_{ir0}} = \frac{\Delta k_{il}(\zeta_j)}{k_{il0}}, \quad r \neq l; \quad r, l \in q \quad (3)$$

найти условия минимизации названной погрешности. Последние и определяют технологическое ноу-хау, формулировка и физическая реализуемость которого в каждом конкретном случае зависят от физики влияющих факторов и конструктивно-технологического исполнения устройства.

Рассмотрим работу метода на характерных примерах представителей класса двухканальных измерительных преобразователей.

На рис. 1 показана схема двухканального неравновесного параллельно-симметричного моста с двумя рабочими плечами [6].

Напряжение, пропорциональное разности токов в преобразователях 1 и 2, снимается с измерительной диагонали моста, образованного преобразователями 1...4, а напряжение, пропорциональное сумме названных токов, – с зажимов преобразователя 5, включенного последовательно с источником питания 6. Суммирование названных токов i_1 и i_2 , протекающих в плечах моста, обеспечивается равенством параметров преобразователей 3, 4 и 5: $z_3 = z_4 = z_5 = z$. Тогда в соответствии с первым законом Кирхгофа на зажимах преобразователя 5 получаем: $z \cdot i = z \cdot (i_1 + i_2)$, где i – ток в диагонали питания. Измерительные усилители 7 и 8, обладая высоким входным сопротивлением, обеспечивают развязку каналов преобразования от схемы первичного преобразования.

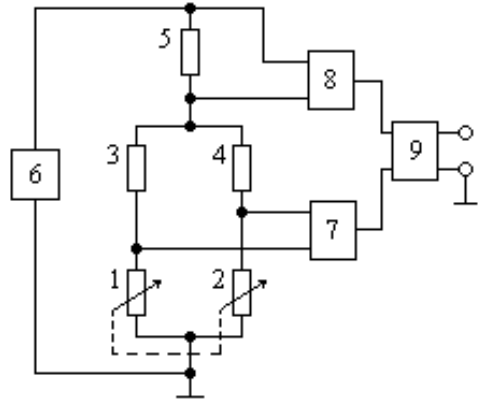


Рис. 1. Инвариантный измерительный параллельно-симметричный мост с двумя рабочими плечами

Напряжения на входах измерительных усилителей 7 и 8 определяются выражениями:

$$U_1 = \frac{(E - z_5 i) [(z_1 + \Delta z) z_4 - (z_2 - \Delta z) z_3]}{[(z_1 + \Delta z) + z_3] [(z_2 - \Delta z) + z_4]}, \quad (4)$$

$$U_2 = \frac{(E - z_5 i) z_5 [(z_1 + \Delta z) + (z_2 - \Delta z) + z_3 + z_4]}{[(z_1 + \Delta z) + z_3] [(z_2 - \Delta z) + z_4]}, \quad (5)$$

где $\frac{(E - z_5 i)}{[(z_1 + \Delta z) + z_3] [(z_2 - \Delta z) + z_4]}$ – симметричная составляющая функций преобразования измерительных каналов; $[(z_1 + \Delta z) z_4 - (z_2 - \Delta z) z_3]$ и $z_5 [(z_1 + \Delta z) + (z_2 - \Delta z) + z_3 + z_4]$ – асимметричные составляющие функций преобразования измерительных каналов; E – ЭДС источника питания 6; $(z_1 + \Delta z)$ и $(z_2 - \Delta z)$ – значения параметров первичных преобразователей 1 и 2, z_1, z_2 – их начальные значения, Δz – информативные приращения; z_3, z_4, z_5 – значения параметров преобразователей 3, 4 и 5.

Сигналы $U_1^* = k_1 U_1$ и $U_2^* = k_2 U_2$ с выходов соответственно измерительных усилителей 7 и 8 поступают на входы устройства деления 9, на выходе которого

$$F_1 = \frac{U_1^*}{U_2^*} = \frac{k_1}{k_2} \frac{[(z_1 + \Delta z) z_4 - (z_2 - \Delta z) z_3]}{z_5 [(z_1 + \Delta z) + (z_2 - \Delta z) + z_3 + z_4]}, \quad (6)$$

где k_1 и k_2 – коэффициенты передачи по напряжению измерительных усилителей 7 и 8.

При выполнении условий $k_1 = k_2$, $z_1 = z_2 = z_0$, $z_3 = z_4 = z_5 = z$ из (6) получаем результирующую функцию преобразования

$$F_1 = \frac{U_1^*}{U_2^*} = \frac{\Delta z}{(z_0 + z)}. \quad (7)$$

При этом

$$\Delta F_1 = \frac{\partial F_1}{\partial U_1^*} \frac{\partial U_1^*}{\partial E} \Delta E + \frac{\partial F_1}{\partial U_2^*} \frac{\partial U_2^*}{\partial E} \Delta E \equiv 0. \quad (8)$$

Тождественное равенство нулю критерия (8) подтверждает абсолютную инвариантность структуры преобразователя (см. рис. 1) относительно нестабильности ЭДС источника питания б.

Несмотря на достигнутые результаты в каналах преобразователя имеются элементы, нестабильность которых может стать источником возникновения дополнительных погрешностей. Поэтому необходимы специальные меры для компенсации указанной нестабильности.

Методика выявления технологического ноу-хау может быть получена в рамках сформулированного выше технологического метода.

Действительно, один из признаков названного метода требует наличия в структуре системы (преобразователя) q элементов ($q \geq 2$), подверженных влиянию со стороны влияющих факторов ζ_j .

Рассматривая данную схему, видим в ее составе три группы однотипных элементов: два первичных преобразователя 1 и 2, три преобразователя 3, 4 и 5, составляющих совместно с первыми двумя измерительный мост, и два измерительных усилителя 7 и 8.

Запишем и соответствующим образом структурируем выражение погрешности от действия влияющих факторов на указанные группы элементов преобразователя:

$$\begin{aligned} \Delta F_1 = & \frac{k_{10}/k_{20}}{z_{50}[(z_1 + \Delta z)_0 + z_{30} + (z_2 - \Delta z)_0 + z_{40}]} \left\{ \frac{z_{30}(z_1 + \Delta z)_0[(z_2 - \Delta z)_0 + z_{40}]}{(z_1 + \Delta z)_0 + z_{30}} \right\} \times \\ & \times \left[\frac{\Delta(z_1 + \Delta z)}{(z_1 + \Delta z)_0} - \frac{\Delta z_3}{z_{30}} \right] + \frac{z_{40}(z_2 - \Delta z)_0[(z_1 + \Delta z)_0 + z_{30}]}{(z_2 - \Delta z)_0 + z_{40}} \left[\frac{\Delta z_4}{z_{40}} - \frac{\Delta(z_2 - \Delta z)}{(z_2 - \Delta z)_0} \right] + \\ & + \frac{(z_1 + \Delta z)_0 z_{40} - (z_2 - \Delta z)_0 z_{30}}{(z_1 + \Delta z)_0 + z_{30} + (z_2 - \Delta z)_0 + z_{40}} \left\{ [(z_2 - \Delta z)_0 + z_{40}] \left[\frac{\Delta(z_1 + \Delta z) + \Delta z_3}{(z_1 + \Delta z)_0 + z_{30}} - \frac{\Delta z_5}{z_{50}} \right] + \right. \\ & \left. + [(z_1 + \Delta z)_0 + z_{30}] \left[\frac{\Delta(z_2 - \Delta z) + \Delta z_4}{(z_2 - \Delta z)_0 + z_{40}} - \frac{\Delta z_5}{z_{50}} \right] \right\} + \left\{ [(z_1 + \Delta z)_0 z_{40} - (z_2 - \Delta z)_0 z_{30}] \left(\frac{\Delta k_1}{k_{10}} - \frac{\Delta k_2}{k_{20}} \right) \right\}, \quad (9) \end{aligned}$$

где $\Delta k_1, \Delta k_2$ – отклонения от номинальных значений k_{10} и k_{20} коэффициентов усиления по напряжению дифференциальных усилителей 7 и 8; $\Delta(z_1 + \Delta z), \Delta(z_2 - \Delta z), \Delta z_3, \Delta z_4, \Delta z_5$ – отклонения параметров элементов схемы 1...5 от их номинальных значений $(z_1 + \Delta z)_0, (z_2 - \Delta z)_0, z_{30}, z_{40}, z_{50}$ в результате воздействия дестабилизирующих факторов.

В соответствии с критерием (2), устремляя выражение (9) к нулю, выявляем необходимость «дифференциально-симметричного» влияния дестабилизирующих факторов на параметры соответствующих групп элементов:

$$\left\{ \frac{\Delta(z_1 + \Delta z)}{(z_1 + \Delta z)_0} - \frac{\Delta z_3}{z_{30}} \right\} \rightarrow 0; \quad \left\{ \frac{\Delta z_4}{z_{40}} - \frac{\Delta(z_2 - \Delta z)}{(z_2 - \Delta z)_0} \right\} \rightarrow 0; \quad \left\{ \frac{\Delta(z_1 + \Delta z) + \Delta z_3}{(z_1 + \Delta z)_0 + \Delta z_3} - \frac{\Delta z_5}{z_{50}} \right\} \rightarrow 0;$$

$$\left\{ \frac{\Delta k_1}{k_{10}} - \frac{\Delta k_2}{k_{20}} \right\} \rightarrow 0, \quad (10)$$

что является аналитическим выражением второго признака технологического метода.

Из (10) получаем условия компенсации воздействия дестабилизирующих факторов на соответствующие группы элементов преобразователя и, соответственно, на преобразователь в целом:

$$\frac{\Delta(z_1 + \Delta z)}{(z_1 + \Delta z)_0} = \frac{\Delta z_3}{z_{30}}, \quad \frac{\Delta z_4}{z_{40}} = \frac{\Delta(z_2 - \Delta z)}{(z_2 - \Delta z)_0}, \quad \frac{\Delta(z_1 + \Delta z) + \Delta z_3}{(z_1 + \Delta z)_0 + \Delta z_3} = \frac{\Delta z_5}{z_{50}} = \frac{\Delta(z_2 - \Delta z) + \Delta z_4}{(z_2 - \Delta z)_0 + \Delta z_4},$$

$$\frac{\Delta k_1}{k_{10}} = \frac{\Delta k_2}{k_{20}}. \quad (11)$$

Измерительный преобразователь, схема которого показана на рис. 2, обладает более простой структурой. Однако и здесь реализованы симметрия каналов преобразования относительно источника питания и асимметрия относительно информативной измеряемой величины. Преобразователь содержит два дифференциально включенных первичных преобразователя 1 и 2, третий преобразователь 3, выполненный в виде резистора, которые соединены в последовательную цепь с источником питания 4. Измерительные усилители 5 и 6 с высоким входным сопротивлением обеспечивают каналы преобразования, симметричные относительно источника питания (4). Напряжения на выходах измерительных усилителей 5 и 6 определяются выражениями

$$U_1 = \frac{k_1 E [(z_1 + \Delta z) + z_3]}{[(z_1 + \Delta z) + (z_2 - \Delta z) + z_3]}; \quad (12)$$

$$U_2 = \frac{k_2 E [(z_1 + \Delta z) + (z_2 - \Delta z)]}{[(z_1 + \Delta z) + (z_2 - \Delta z) + z_3]}, \quad (13)$$

где $[(z_1 + \Delta z) + z_3]$, $[(z_1 + \Delta z) + (z_2 - \Delta z)]$ – асимметричные составляющие функций преобразования каналов, удовлетворяющие условию (2); E – ЭДС источника питания 4; k_1 и k_2 – коэффициенты передачи по напряжению соответственно измерительных усилителей 5 и 6; $(z_1 + \Delta z)$ и $(z_2 - \Delta z)$ – значения параметров преобразователей 1 и 2, где z_1 и z_2 – начальные значения параметров, а Δz – информативное приращение параметров; z_3 – значение параметра преобразователя 3.

Сигналы (12) и (13) подаются соответственно на прямой и инвертирующий входы дифференциального усилителя 7, на выходе которого при выполнении условия $k_1 = k_2 = k$ получаем разностный сигнал

$$U_1 - U_2 = \frac{k E [z_3 - (z_2 - \Delta z)]}{[(z_1 + \Delta z) + (z_2 - \Delta z) + z_3]}. \quad (14)$$

Далее сигналы (13) и (14) обрабатываются блоком 8 деления, на выходе которого при выполнении условия $z_1 = z_2 = z_3 = z$ получаем выходной сигнал

$$F_2 = \frac{U_1 - U_2}{U_2} = \frac{\Delta z}{2z}. \quad (15)$$

Как и в предыдущем случае, для (15) получаем

$$\Delta F_2 = \frac{\partial F_2}{\partial U_1} \frac{\partial U_1}{\partial E} \Delta E + \frac{\partial F_2}{\partial U_2} \frac{\partial U_2}{\partial E} \Delta E \equiv 0. \quad (16)$$

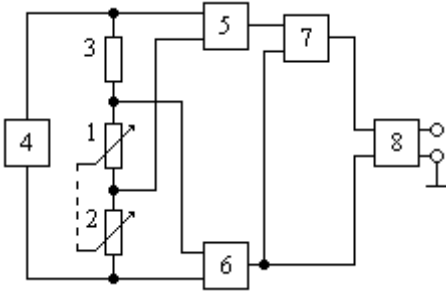


Рис. 2. Двухканальный полумостовой измерительный преобразователь

Таким образом, и в этом преобразователе обеспечена абсолютная инвариантность относительно нестабильности ЭДС источника питания.

В рамках предлагаемой методики выявляем в составе измерительного преобразователя (см. рис. 2) две группы однотипных элементов: преобразователи 1 – 3, выполненные в виде резисторов, и измерительные усилители 5 и 6.

Соответствующим образом структурированное выражение погрешности от действия влияющих факторов на указанные группы элементов записывается в следующем виде:

$$\begin{aligned} \Delta F_2 = & \frac{[(z_1 + \Delta z)_0 + z_{30}]}{[(z_1 + \Delta z)_0 + (z_2 - \Delta z)_0]} \left\{ \left(\frac{\Delta k_1}{k_0} - \frac{\Delta k_2}{k_0} \right) + \frac{(z_1 + \Delta z)_0 (z_2 - \Delta z)_0}{[(z_1 + \Delta z)_0 + (z_2 - \Delta z)_0 + z_{30}] [(z_1 + \Delta z)_0 + z_{30}]} \right\} \times \\ & \times \left[\frac{\Delta(z_1 + \Delta z)}{(z_1 + \Delta z)_0} - \frac{\Delta(z_2 - \Delta z)}{(z_2 - \Delta z)_0} \right] + \frac{(z_2 - \Delta z)_0 z_{30} [2(z_1 + \Delta z) + (z_2 - \Delta z) + \Delta z]}{[(z_1 + \Delta z)_0 + (z_2 - \Delta z)_0 + z_{30}] [(z_1 + \Delta z)_0 + z_{30}] [(z_1 + \Delta z)_0 + (z_2 - \Delta z)_0]} \times \\ & \times \left[\frac{\Delta z_3}{z_{30}} - \frac{\Delta(z_2 - \Delta z)}{(z_2 - \Delta z)_0} \right] + \frac{(z_1 + \Delta z)_0 z_{30}}{[(z_1 + \Delta z)_0 + (z_2 - \Delta z)_0 + z_{30}] [(z_1 + \Delta z)_0 + (z_2 - \Delta z)_0]} \left[\frac{\Delta z_3}{z_{30}} - \frac{\Delta(z_1 + \Delta z)}{(z_1 + \Delta z)_0} \right], \quad (17) \end{aligned}$$

где $\frac{\Delta(z_1 + \Delta z)}{(z_1 + \Delta z)_0}$, $\frac{\Delta(z_2 - \Delta z)}{(z_2 - \Delta z)_0}$, $\frac{\Delta z_3}{z_{30}}$, $\frac{\Delta k_1}{k_0}$, $\frac{\Delta k_2}{k_0}$ – относительные изменения соответственно параметров элементов 1, 2, 3 схемы и коэффициентов передачи измерительных усилителей 5, 6 под действием влияющих факторов.

Выражение погрешности (17) устремится к нулю при «дифференциально-симметричном» влиянии дестабилизирующих факторов на параметры соответствующих групп элементов:

$$\left\{ \frac{\Delta(z_1 + \Delta z)}{(z_1 + \Delta z)_0} - \frac{\Delta(z_2 - \Delta z)}{(z_2 - \Delta z)_0} \right\} \rightarrow 0; \quad \left\{ \frac{\Delta z_{30}}{z_{30}} - \frac{\Delta(z_1 + \Delta z)}{(z_1 + \Delta z)_0} \right\} \rightarrow 0; \quad \left\{ \frac{\Delta z_3}{z_{30}} - \frac{\Delta(z_2 - \Delta z)}{(z_2 - \Delta z)_0} \right\} \rightarrow 0;$$

$$\left\{ \frac{\Delta k_1}{k_0} - \frac{\Delta k_2}{k_0} \right\} \rightarrow 0. \quad (18)$$

Объединяя последние, из (18) получаем условия компенсации воздействия дестабилизирующих факторов на соответствующие группы элементов преобразователя, представляемые аналитически в следующем виде:

$$\frac{\Delta(z_1 + \Delta z)}{(z_1 + \Delta z)_0} = \frac{\Delta(z_2 - \Delta z)}{(z_2 - \Delta z)_0} = \frac{\Delta z_3}{z_{30}}; \quad \frac{\Delta k_1}{k_0} = \frac{\Delta k_2}{k_0}. \quad (19)$$

Анализ (11) и (19) позволяет сформулировать технологические мероприятия, касающиеся соответствующих групп элементов рассмотренных преобразователей и позволяющие осуществить компенсацию действующих на них возмущающих факторов:

- элементы, составляющие группу, должны быть технологически идентичными, например, выполненными из одного и того же материала, изготовленными на основе идентичных комплектующих, взятыми из одной партии и т. д.;

- элементы, составляющие группу, должны находиться в идентичных условиях относительно любых возмущающих воздействий.

В рассмотренных преобразователях реализуются вычислительные операции, которые, безусловно, вносят свою долю в суммарную погрешность системы. Применение цифровых микросхем, специально разработанных для построения интеллектуальных датчиков, например микросхем серии ADUC 8XX (производитель Analog Devices), которые имеют в своем составе аналого-цифровые преобразователи, специализированный микроконтроллер, источник питания для параметрических преобразователей и т. д., позволяет минимизировать погрешности вычислительных операций, особенно в части влияния возмущающих факторов. В то же время предложенные в работе подходы оказываются эффективными и в случае реализации вычислительных операций на аналоговых элементах.

Таким образом, как следует из примеров, приведенных здесь и в работах, на которые имеются ссылки, системный подход, реализованный технологически, эффективен и позволяет на единой основе решать задачи создания измерительных преобразователей, предназначенных для работы в условиях действия неизвестных возмущающих воздействий, что особенно актуально для приборов и систем специального назначения.

Важность разделения методов повышения точности измерительных устройств на структурные и технологические подтверждается имеющимися случаями неправомерного их использования. В частности, в работе [21] представлен анализ двухканальной структуры шестиплечного моста, где именно технологический подход позволил добиться поставленного результата.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Кульбакин В.С.* О применимости принципа абсолютной инвариантности в физических реальных системах // ДАН СССР. – 1948. – Т. 60. – №2. – С. 231-234.
2. *Петров Б.Н., Кухтенко А.И.* Структуры абсолютно инвариантных систем и условия их физической реализуемости / Теория инвариантности в системах автоматического управления: Тр. Всесоюз. совещания. – М.: Наука, 1964. – С. 24-28.
3. *Хрусталева М.М.* Необходимые и достаточные условия слабой инвариантности // Автоматика и телемеханика. – 1968. – №4. – С. 17-22.
4. *Ивахненко А.Г.* Связь теории инвариантности с теорией стабильности измерительных систем // Автоматика. – 1960. – №5. – С. 35-40.
5. *Петров Б.Н., Викторова В.А., Лункин Б.В., Совдуков А.С.* Принцип инвариантности в измеритель-

- ной технике. – М.: Наука, 1976. – 244 с.
6. Пат. 1795375 РФ, МКИ G 01 R 17/10. Способ построения инвариантной измерительной цепи и инвариантный измерительный мост Нестерова В.Н. / В.Н. Нестеров. – № 4828085/21; Заявл. 24.05.90; Оpubл. 15.02.93. Бюл. № 6.
 7. Пат. 2071063 РФ, МКИ G 01 R 17/10. Инвариантный измерительный мост / В.Н. Нестеров. – № 5032048/09; Заявл. 11.02.92; Оpubл. 27.12.96. Бюл. № 36.
 8. Пат. 2071064 РФ, МКИ G 01 R 17/10. Инвариантный измерительный мост / В.Н. Нестеров. – № 5033661/09; Заявл. 11.02.92; Оpubл. 27.12.96. Бюл. № 36.
 9. Пат. 2072730 РФ, МКИ G 01 R 17/10. Инвариантный измерительный мост / В.Н. Нестеров. – № 94004918/28; Заявл. 10.02.94; Оpubл. 27.01.97. Бюл. № 3.
 10. Пат. 2117304 РФ, МКИ G 01 R 17/10. Инвариантный измерительный мост / В.Н. Нестеров. – № 93045838/09; Заявл. 27.09.93; Оpubл. 10.08.98. Бюл. № 22.
 11. Пат. 2068550 РФ, МКИ G 01 L 3/10. Измеритель крутящего момента / В.Н. Нестеров. – № 5042819/28; Заявл. 20.05.92; Оpubл. 27.10.96. Бюл. № 30.
 12. Пат. 2117951 РФ, МКИ G 01 R 15/04. Инвариантный измерительный преобразователь в виде делителя напряжения / В.Н. Нестеров. – № 93001746/09; Заявл. 11.01.93; Оpubл. 20.08.98. Бюл. № 23.
 13. Пат. 2118826 РФ, МКИ G 01 R 15/04. Инвариантный измерительный преобразователь в виде делителя напряжения / В.Н. Нестеров. – № 93001747/09; Заявл. 11.01.93; Оpubл. 10.09.98. Бюл. № 25.
 14. Пат. 2121148 РФ, МКИ G 01 R 15/04. Инвариантный измерительный преобразователь в виде делителя / В.Н. Нестеров. – № 5041517/09; Заявл. 24.02.92; Оpubл. 27.10.98. Бюл. № 30.
 15. Пат. 21807334 РФ, МКИ G 01 L 3/10, 3/00. Устройство для измерения крутящего момента / К.В. Жеребятьев, В.Н. Нестеров. – № 2000101301/28; Заявл. 17.01.2000; Оpubл. 20.03.02. Бюл. № 8.
 16. Пат. 2184358 РФ, МКИ G 01 L 3/10, 3/04, 3/02. Устройство для измерения крутящего момента / К.В. Жеребятьев, В.Н. Нестеров. – № 2000130526/28; Заявл. 05.12.2000; Оpubл. 27.06.02. Бюл. № 18.
 17. Пат. 2203479 РФ, МКИ G 01 L 5/00. Устройство для измерения крутящего момента / К.В. Жеребятьев, В.Н. Нестеров. – № 2000130581/28; Заявл. 05.12.2000; Оpubл. 27.04.03. Бюл. № 12.
 18. Пат. 2297009 РФ, МКИ G 01 R 17/10. Измерительный преобразователь / В.Н. Нестеров, В.М. Мухин. – № 2005136753/28; Заявл. 25.11.2005; Оpubл. 10.04.2007. Бюл. № 10.
 19. Пат. 2297638 РФ, МКИ G 01 R 17/10. Измерительный преобразователь / В.Н. Нестеров, В.М. Мухин. – № 2005140832/28; Заявл. 26.12.2005; Оpubл. 20.04.2007. Бюл. № 11.
 20. Нестеров В.Н. Структурный и технологический методы в задачах построения инвариантных измерительных преобразователей // Измерительная техника. – 2007. – № 2. – С. 8-12.
 21. Нестеров В.Н. Инвариантные измерительные мосты для измерения крутящего момента // Метрология. – 1992. – № 12. – С. 28-36.

Статья поступила в редакцию 29 февраля 2012 г.

A TECHNIQUE OF INVARIANT MEASURING CONVERTER DESIGNING ON THE PATTERN OF MEASURING BRIDGES AND VOLTAGE DIVIDERS

V.N. Nesterov, A.R. Li

Samara Electromechanical Factory
16, St. Razin st., Samara, 443099

The formal method which develops the principle of two channels into a technique of invariant measuring converter designing is presented. Its applications in the designing of two-channel measuring bridges and voltage dividers for special purpose devices and systems are discussed.

Keywords: *a technological method, the invariant converter, the measuring bridge, a voltage divider.*

*Vladimir N. Nesterov (Dr. Sci. (Techn.)), Professor.
Anzhelika R. Li, Postgraduate Student.*