

УДК 006.91:621.317.1

Г.А. Оборский, д-р техн. наук, проф.,
В.И. Ковальков, канд. техн. наук, доц.,
П.Т. Слободяник, канд. техн. наук, доц.,
Одес. нац. политехн. ун-т

АВТОМАТИЗАЦИЯ КОНТРОЛЯ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ

Г.О. Оборський, В.І. Ковальков, П.Т. Слободяник. Автоматизація контролю метрологічних характеристик вимірювальних перетворювачів електричних сигналів. Розглядається можливість істотного прискорення процесу контролю шляхом використання диференційного метода оцінки відхилень реальних функцій перетворення випробувальних пристроїв від необхідних. Пропонуються дві структури випробувальних установок та пояснюється принцип їх роботи.

Ключові слова: вимірювальні перетворювачі, випробувальна установка, метрологічні характеристики, похибки, контроль.

Г.А. Оборский, В.И. Ковальков, П. Т. Слободяник. Автоматизация контроля метрологических характеристик измерительных преобразователей электрических сигналов. Рассматривается возможность существенного ускорения процесса контроля путем применения дифференциального метода оценки отклонений реальных функций преобразования испытываемых устройств от необходимых. Предложены две структуры испытательных установок и поясняется принцип их работы.

Ключевые слова: измерительные преобразователи, испытательная установка, метрологические характеристики, погрешности, контроль.

G.A. Oborskiy, B.I. Kovalkov, P.T. Slobodianik. Automation of feature-based inspection of metrological performance of electric signals measuring converters. The possibility of the essential speedup of the checking process by using the differential method of estimating the discrepancies of real transfer functions of the tested devices from the necessary ones. Two structures of the test installations are offered and the principle of their operation is explained.

Keywords: measuring converters, test installation, metrological features, inaccuracies, checking/inspection

Измерительные преобразователи электрических сигналов (ИПЭС) относятся к наиболее распространенным видам средств измерительной техники (СИТ). Контроль метрологических параметров функций преобразования этих устройств является трудоемким процессом, требующим участия операторов высокой квалификации. Жесткие требования к метрологическим характеристикам СИТ, и особенно к погрешностям преобразования, вызывают необходимость 100-процентной поверки преобразователей. Но при этом возникают трудности, вызванные как слабой автоматизацией поверок, так и недостаточным уровнем метрологического обеспечения [1].

Предлагается поверочная установка, позволяющая не только определить наиболее важные метрологические характеристики — крутизну и основную погрешность преобразования, но и оценить доли составляющих такой погрешности. Это дает возможность уже на этапе изготовления измерительных преобразователей обнаружить возникающие нарушения в технологических процессах и своевременно принять меры по устранению таких нарушений. Важнейшей нормируемой метрологической характеристикой ИПЭС является функция преобразования, представляющая собой зависимость между входным воздействием и откликом на него средства измерения. Отклонения реальных от идеальных функций преобразования измерительных устройств принято оценивать отдельными составляющими их основной погрешности: аддитивной, мультипликативной и погрешностью от нелинейности [2]. На рис.1 показаны области возмож-

ных отклонений функций преобразования входной X в выходную Y физическую величину для ИПЭС с линейной функцией преобразования при различном характере погрешностей.

Аддитивная составляющая основной погрешности характеризует параллельное смещение реальной функции преобразования ИПЭС относительно идеальной (рис. 1, а). Большинство измерительных преобразователей конструируется на базе операционных усилителей [3]. Поэтому такая составляющая обычно обусловлена напряжением смещения и дрейфа, а также наличием входных токов усилителей. Непосредственное измерение параметров операционных усилителей (ОУ) связано с определенными трудностями. Поэтому для предварительной отбраковки усилителей в производственных условиях можно рекомендовать более простые методики косвенного измерения параметров ОУ [4].

Мультипликативная составляющая характеризует изменения реальной крутизны наклона функции преобразования ИПЭС (рис. 1, б). В большинстве случаев они вызваны нестабильностью элементов цепей отрицательных обратных связей (ООС), которые обычно вводятся на ОУ с целью реализации преобразователей с необходимыми параметрами. Мультипликативная погрешность характерна для ИПЭС разомкнутой структуры, выполненной с последовательным включением промежуточных узлов преобразователя.

Нелинейный характер функции преобразования (рис. 1, в) обычно проявляется в ИПЭС, содержащем звенья с эффектом насыщения или ограничения. Причиной могут быть, например, изменения режима усиления, вызванные дрейфом рабочей точки покоя. В силу сложного характера причин нелинейности они могут быть достоверно идентифицированы только при наличии достаточно полной статистики.

Главной трудностью при определении составляющих основной погрешности преобразователей являются малые значения величин погрешностей. В зависимости от класса точности ИПЭС они могут составлять сотые и миллионные доли от измеряемых величин. Поэтому при обычных методах определения погрешностей требуются приборы с высокой разрешающей способностью и точностью. К тому же специальное измерительное оборудование должно обслуживаться метрологами с высокой квалификацией. Существенное снижение требований к оборудованию возможно с применением дифференциального метода измерения составляющих основной погрешности. В таком случае измеряются не значения самих выходных сигналов преобразователей, а их отклонения от образцовых значений, т.е. собственно сами погрешности. Упрощенная структурная схема предлагаемого измерителя составляющих погрешностей, реализующего дифференциальный метод, показана на рис. 2.

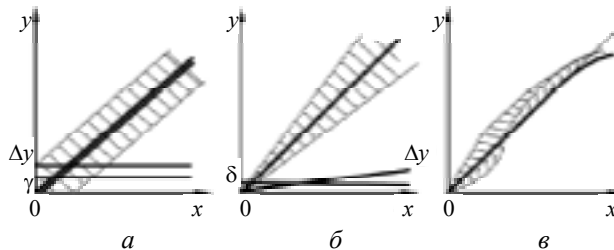


Рис. 1. Вид функций преобразования и погрешности линейных измерительных устройств: с аддитивной погрешностью (а); с мультипликативной погрешностью (б); с нелинейностью (в)

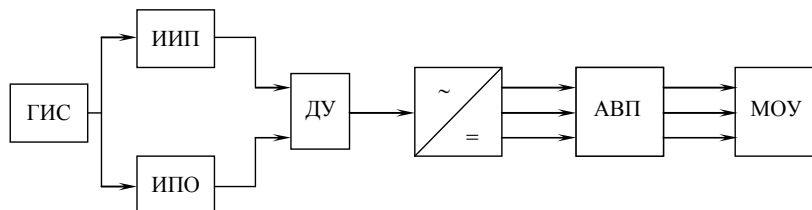


Рис. 2. Дифференциальный измеритель погрешностей ИПЭС

Периодические испытательные сигналы от генератора ГИС подаются одновременно на испытуемый ИИП и на образцовый ИПО измерительные преобразователи. Разность их выходных сигналов выделяется и усиливается дифференциальным усилителем ДУ. Выходное пере-

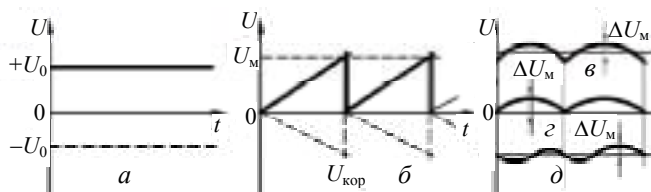


Рис. 3. Измерение составляющих погрешности ИПЭС по параметрам напряжения дифференциального усилителя при наличии: аддитивной погрешности (а); мультипликативной погрешности (б); при различном характере нелинейностей (в, г, д)

менное напряжение ДУ детектируется, а значения его параметров анализируются вычислительными преобразователями АВП. На модуле отсчетного устройства измерителя МОУ, выполненном, например, на стрелочных приборах магнитоэлектрической системы, полученные значения индицируются в качестве составляющих основной погрешности функции преобразования ИПП. Несложная структура и использование аналоговых узлов для обработки информационных сигналов

значительно упрощает построение измерителя, который можно рекомендовать для проведения контроля метрологических параметров различных масштабных преобразователей.

Аддитивная составляющая основной погрешности ΔU_a может быть определена путем фильтрации и измерения постоянного значения выходного напряжения U_0 ДУ при отсутствии входного сигнала (рис. 3, а) как

$$\Delta U_a = U_0 / K_{ду}, \quad (1)$$

где $K_{ду}$ — коэффициент усиления ДУ.

Приведенная погрешность γ_a ИПЭС, которая более удобна для оценки точности преобразователей и суммирования его погрешностей, определяется по формуле

$$\gamma_a = 100 U_0 / U_{пред} K_{ду} K_{ф} = S_a U_0, \% \quad (2)$$

где $K_{ф}$ — коэффициент передачи фильтра;

$U_{пред}$ — напряжение, соответствующее пределу измерения;

S_a — коэффициент пересчета приведенной аддитивной составляющей погрешности ИПЭС.

Если для измерения погрешностей используются стрелочные приборы, то $K_{ф}$ равен единице, и необходимость в дополнительном фильтре отпадает.

Виды выходных напряжений дифференциального усилителя ДУ при подаче пилообразных испытательных импульсов и наличии мультипликативной составляющей погрешности показаны на рис. 3, б. Если крутизна реальной функции преобразования будет больше либо меньше номинальной, то на выходе ДУ появятся пилообразные импульсы. Относительная погрешность δ_m в данном случае остается постоянной

$$\delta_m = 100 \Delta U / U, \quad (3)$$

где ΔU и U соответственно текущие значения выходных напряжений ДУ и ИПО.

Измеряя амплитудные значения U_m выходного напряжений ДУ, мультипликативную составляющую погрешности можно рассчитать по формуле

$$\delta_m = 100 U_m / U_{пред}. \quad (4)$$

Ее можно скомпенсировать, если установить амплитуду корректирующего напряжения

$$U_{кор} = U_m.$$

При наличии в ИПЭС нелинейных искажений выходное напряжение ДУ может иметь вид либо пульсирующего (рис. 3, в), либо знакопеременного напряжения (рис. 3, г, д). Погрешность от нелинейности можно оценивать амплитудой ΔU_m пульсирующего или знакопеременного напряжений, т.е. абсолютным значением погрешности. Относительное же значение этой погрешности в процентах рассчитывается согласно выражению

$$\delta_n = 100 \Delta U_m / U_{диап}, \quad (5)$$

где $U_{диап}$ — напряжение, соответствующее рабочему диапазону измерения.

Для линейных преобразователей диапазон измерения совпадает с предельным значением выходного напряжения ИПЭС. Поэтому за оценку погрешности от нелинейности можно принять средневывпрямленное значение $U_{св}$ переменного напряжения

$$\gamma_n = 100 U_{св} / U_{пред} K_{д\gamma} K_{\phi} = S_n U_{св}, \quad (6)$$

где $S_n = 100 U_{св} / U_{пред} K_{д\gamma} K_{\phi}$ — масштабный коэффициент.

Следует заметить, что предлагаемая структурная схема контрольно-измерительной установки (см. рисунок 2) позволяет оценивать составляющие основной погрешности не только линейных, но и ИПЭС с квазилинейной функцией преобразования. В этом случае в качестве ИПО может использоваться однотипный с ИИП преобразователь с предварительно аттестованной функцией преобразования. Тогда погрешности испытуемого ИИП будут оцениваться относительно аттестованного образцового ИПО. Если для испытуемого ИПЭС создать рабочие условия, принятые для данных типов преобразователей, а для ИПО поддерживать нормальные, оговоренные в нормативно-технической документации, то такой измеритель позволит также определять непосредственно и дополнительные погрешности испытуемых преобразователей.

Обработка результатов измерения и построение аналогового вычислительного устройства испытательного стенда усложняются, когда основная погрешность ИПЭС будет иметь комплексный характер, т.е. при наличии одновременно все трех составляющих погрешности, соизмеримые по своим величинам. Тогда расчет основной погрешности преобразователей при наличии аддитивной и мультипликативной составляющих, например, необходимо выполнять по двухчленной формуле [3]

$$\delta = c + d(X_{пред}/X - 1), \quad (7)$$

где c — приведенная составляющая погрешность, имеющая обычно аддитивный характер;
 d — коэффициент, зависящий и от мультипликативной, и от аддитивной составляющих,
 $X_{пред}$ и X — предельное и текущее значения преобразуемой величины, соответственно.

Возникает проблема идентификации составляющих погрешности по постоянной составляющей переменного напряжения ДУ, которая может быть суммой напряжения аддитивной погрешности и постоянного значения пилообразного напряжения. Приходится усложнять алгоритм работы испытательной установки и проводить дополнительные расчеты при обработке результатов испытаний. Поэтому универсальные испытательные стенды целесообразно выполнять на базе микропроцессоров (рис. 4).

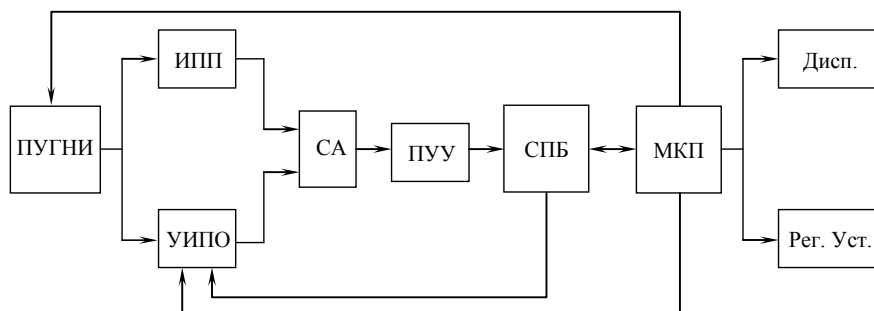


Рис. 4. Испытательный стенд преобразователей на встроенном микропроцессоре

Программно управляемый генератор напряжения испытательный (ПУГНИ) работает по заранее заданному алгоритму и может изменять режимы испытаний. Микропроцессор МКП позволяет управлять крутизной и напряжением смещения образцового преобразователя УИПО, добиваясь идентичности его характеристик характеристикам ИИП. Это позволяет использовать при измерениях составляющих основной погрешности более точный компенсационный метод.

Выходные напряжения ИИП и УИПО через аналоговый переключатель СА и программно управляемый усилитель ПУУ подаются на сравнивающе-преобразующий блок СПБ, в состав

которого входят дополнительные АЦП и ЦАП. Микропроцессор МКП обменивается с СПБ кодовой информацией и вырабатывает корректирующие напряжения для образцового преобразователя УИПО. Микропроцессорный блок также управляет дисплеем Дисп., на котором отображаются результаты измерений, и регистрирующим устройством Рег.Уст. Алгоритм работы стенда вводится на МКП через программирующий блок.

Предлагаемая испытательная установка на встроенном микропроцессоре (см. рисунок 4) имеет намного большие функциональные возможности сравнительно с ее аналоговым вариантом (см. рисунок 2), но значительно сложнее в производстве и в эксплуатации. Такую испытательную установку можно рекомендовать для проведения массового контроля метрологических параметров функций преобразования разнотипных измерительных преобразователей. Тогда может возникать необходимость в оперативной смене режимов контроля и типов испытываемых устройств, осуществляемой путем перепрограммирования микропроцессорного блока испытательного стенда.

Литература

1. Метрологическое обеспечение и поверка средств измерений электрических величин: учеб. пособие /С.И. Кондратов, В.К. Гусельников, М.М. Буденный и др.— Харьков: НТУ “ХПИ”, 2007. — 288 с.
2. Измерительные преобразователи / Р.Г. Джагунов, В.В. Никольский, А.М. Веретенник и др. — Одесса: ОМА, 2002. — 209 с.
3. Топильский, В.Б. Схемотехника измерительных устройств / В.Б. Топильский. — М.: БИНОМ, Лаборатория знаний, 2006. — 236 с.
4. Ковальков, В.И. Некоторые аспекты измерения метрологических параметров операционных усилителей / В.И. Ковальков, П.Т. Слободяник // Тр.10-й международной науч.-практ. конф. “Соврем. информ. и электрон. технологии”. — Одесса: ОНПУ, 2010. — С. 73

References

1. Metrologicheskoe obespechenie i poverka sredstv izmereniy elektricheskikh velichin: ucheb. posobie [Metrological Assurance and Verification of Electric Quantities Gauges: a textbook] /S.I. Kondratov, V.K. Gusel'nikov, M.M. Budennyi etc.— Khar'kov, 2007. — 288 p.
2. Izmeritel'nye preobrazovateli [Measuring Converters] / R.G. Dzhagupov, V.V. Nikol'skiy, A.M. Vere-tennik etc. — Odessa, 2002. — 209 p.
3. Topil'skiy, V.B. Skhemotekhnika izmeritel'nykh ustroystv [Circuit Technology of Measuring Devices] / V.B. Topil'skiy. — Moscow, 2006. — 236 p.
4. Koval'kov, V.I. Nekotorye aspekty izmereniya metrologicheskikh parametrov operatsionnykh usili-teley [Some Aspects of Measuring Metrological Parameters of Operational Amplifiers] / V.I. Koval'kov, P.T. Slobodyanik // Tr.10-y mezhdunarodnoy nauch.-prakt. konf. “Sovrem. inform. i elektron. tekhnologii” [Proceedings of the 10th Intern. Sci.-Pract. Conf. “Modern Information and Electronic Technologies”] — Odessa, 2010. — P. 73.

Рецензент д-р техн. наук, проф. Одес. нац. политехн. ун-та Костенко В.Л.

Поступила в редакцию 27 июня 2011 г.