

Разработка и применение адаптированных систем для массовой калибровки датчиков

Денис ПЕТЛЕВАНЫЙ
petlevany@tut.by

В статье представлен адаптированный для российского производителя специально разработанный комплекс систем для массовой калибровки и коррекции параметров датчиков давления, построенных на базе микросхем фирмы ZMDI. Подробно описаны недоработки стандартного аппаратно-программного обеспечения и способы их устранения. Представлены материалы, позволяющие глубже разобраться в тонкостях процесса настройки микросхем в режиме токовой петли.

Введение

На предприятиях и при серийном выпуске для настройки и калибровки датчиков часто за неимением выбора приходится использовать отладочные и демонстрационные платы, строго говоря, не предназначенные для этого. Данное обстоятельство не позволяет обеспечить высокую технологичность и заметно сказывается на конечной стоимости изделия. К счастью, в случае использования датчиков, построенных на базе микросхем ZMDI, стала доступна система массовой калибровки, специально спроектированная для этих целей фирмой «Оникс-электро». Система может работать с различными типами датчиков, однако наибольшей эффективности по сравнению со стандартными средствами настройки система позволяет достичь

при калибровке датчиков с токовым выходом. Разработанный комплекс для массовой калибровки датчиков включает аппаратное и программное обеспечение на русском языке, имеющее ряд преимуществ по сравнению со стандартным.

Так, помимо сложности и неудобности стандартного программного обеспечения, в нем содержится ряд принципиальных функциональных ограничений. Чтобы разобраться в природе этих ограничений, начнем с описания принципов работы микросхем ZMDI.

Диапазон линейризации

Специализированные микросхемы фирмы ZMDI хорошо известны разработчикам и находят широкое применение в датчиках давления. Линейка преобразователей сигнала

на данный момент содержит 17 микросхем с разными входными и выходными характеристиками, типоразмером и пр. Многие микросхемы, помимо цифрового, имеют также аналоговый выход. Наибольшей популярностью на отечественном рынке пользуется микросхема ZSC31050, особенностью которой является поддержка токового выхода (рис. 1).

Микросхема предназначена для усиления и преобразования входного электрического сигнала с учетом температуры окружающей среды (рис. 2). Усиление осуществляется посредством программируемого аналогового модуля, с функцией компенсации начального смещения. Информация о температуре поступает в микросхему от встроенного или от внешнего термодатчика. Пересчет оцифрованного сигнала Z_p и температуры Z_t осуществляется по формулам:

$$Y = \frac{Z_p + c_0 + a \times c_4 \times Z_t + a^2 \times c_5 \times Z_t^2}{c_1 + a \times c_6 \times Z_t + a^2 \times c_7 \times Z_t^2},$$

$$P = Y \times b \times (1 - b \times c_2 - b \times c_3) + b \times c_2 \times Y^2 + b \times c_3 \times Y^3,$$

где a и b — малые константы; $P \in [0,1]$ — выходное значение.

Преобразование сигнала определяется семью коэффициентами (c_0 – c_7), хранящимися в энергонезависимой памяти микросхемы. Коэффициенты c_0 и c_1 — это, соответственно, начальное смещение и линейное усиление. Коэффициенты c_2 и c_3 отвечают за нелинейность второго и третьего порядка соответственно. Остальные коэффициенты задают температурную зависимость выходного сигнала на его нижнем и верхнем пределе. Для получения графического представления о том, как именно изменяется форма сигнала под действием каждого из коэффициентов, предлагаем взглянуть на трехмерные графики (рис. 3). Выходной сигнал может

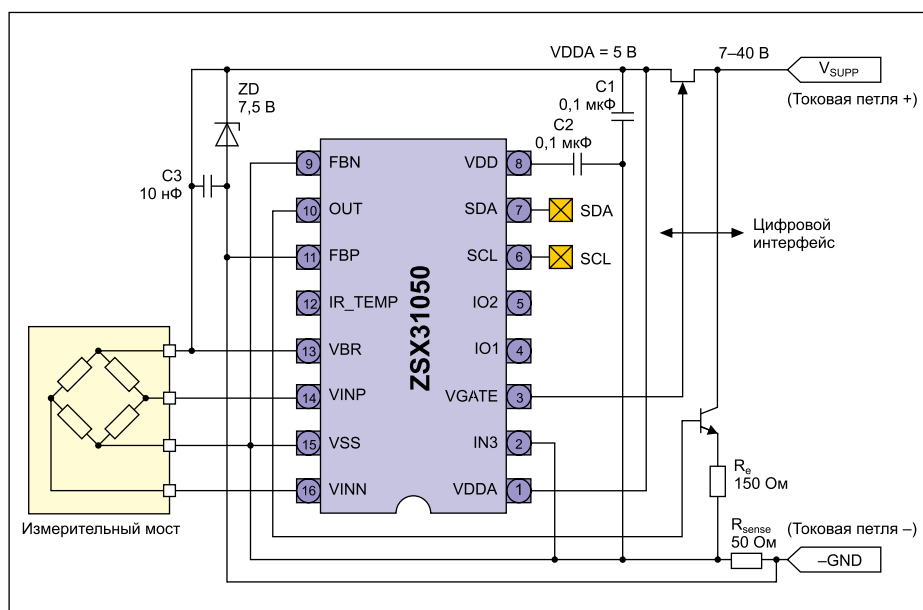


Рис. 1. Типовая схема включения микросхемы ZSC31050 в режиме токового выхода 4–20 мА

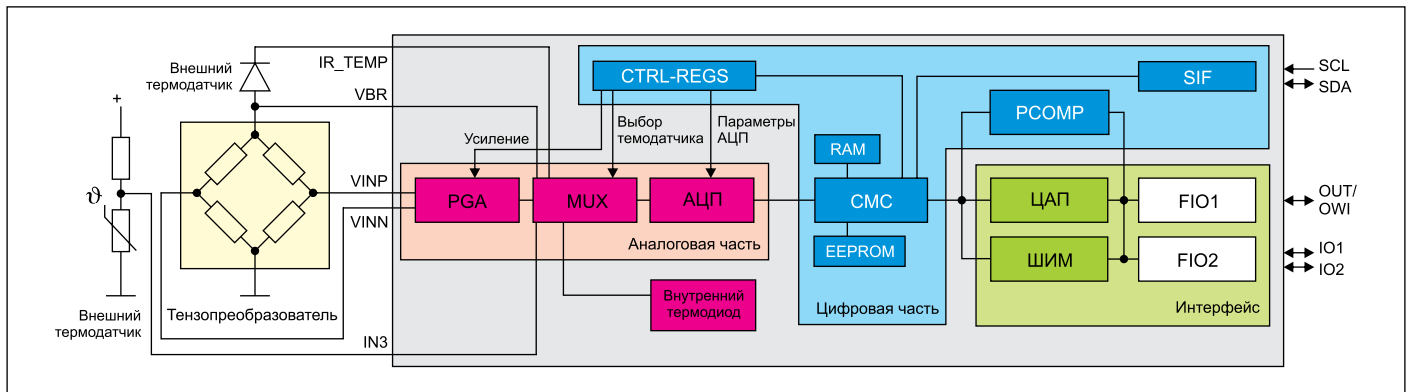


Рис. 2. Функциональная диаграмма микросхемы ZSC31050: PGA — программируемый предусилитель; MUX — коммутатор; CMC — калибровочный микроконтроллер; FIO1 и FIO2 — настраиваемые порты ввода/вывода; SIF — последовательный интерфейс; PCOMP — программируемый компаратор; EEPROM — энергонезависимая память для хранения параметров настройки и калибровки; RAM — оперативная память

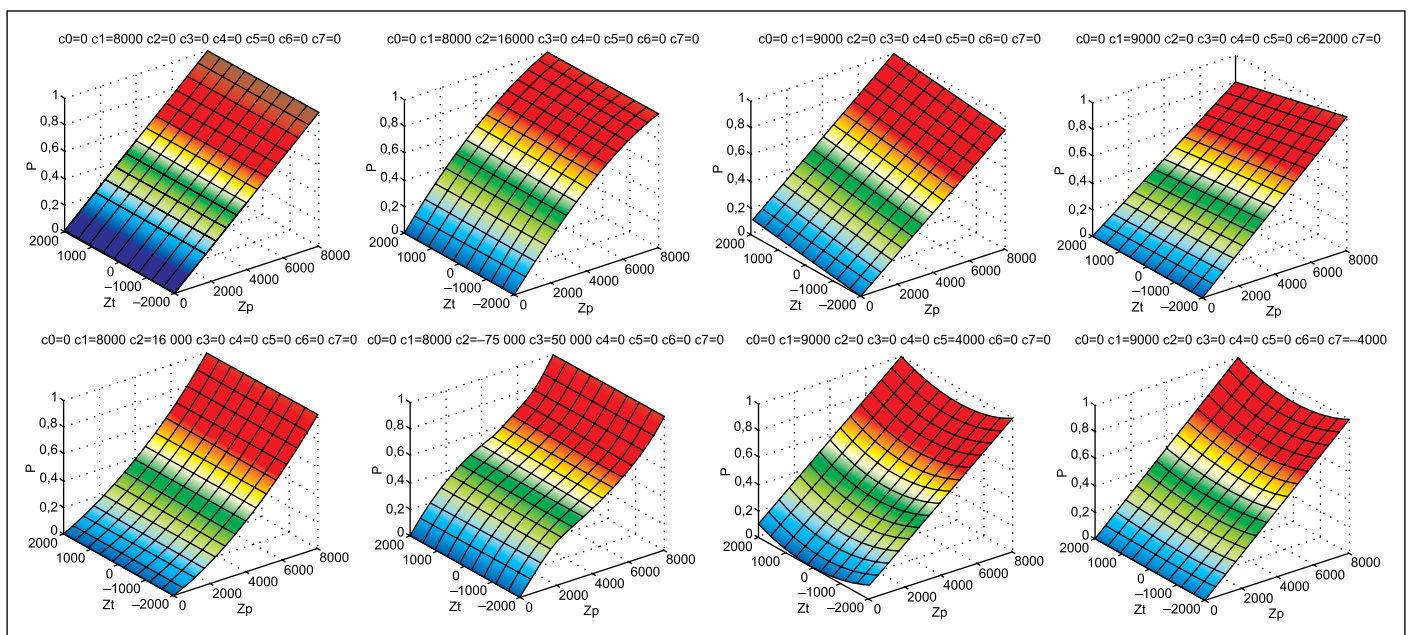


Рис. 3. Графическое представление влияния калибровочных коэффициентов. (В горизонтальной плоскости отложены входной сигнал и температура, по вертикали — выходной сигнал)

быть скомпенсирован и линеаризован в той же степени, в какой поведение входного сигнала может быть описано посредством представленных мод.

Демонстрационно-отладочная плата от ZMDI

Фирменное программное обеспечение позволяет проводить настройку основных узлов микросхемы в ручном режиме, а также выполнять калибровку датчика (рис. 4). Для расчета коэффициентов программа использует динамически подключаемую библиотеку *RBIC1.dll*. Библиотеку можно использовать отдельно от программы, однако расчет коэффициентов в ней производится с некоторыми ограничениями. Для того чтобы понять, в чем заключаются эти ограничения, взглянем на калибровочное окно программы (рис. 5).

На панели **Acquire Raw Data** вводятся значения давления Z_p и температуры Z_t , кото-

рые в дальнейшем будут использоваться для вычисления коэффициентов. Три столбца соответствуют трем различным значениям температуры, четыре строки — четырем различным уровням входного сигнала. Значения P , которое после калибровки должно быть на выходе, вводятся на отдельной вкладке **Press Target**. Максимальное количество точек для калибровки равно восьми, как и число калибровочных коэффициентов. Каждой точке будет соответствовать свой набор из трех чисел (Z_p , Z_t и P). Подстановка этих чисел в формулу пересчета дает систему уравнений, решением которой является набор калибровочных коэффициентов c_0-c_7 .

Первое ограничение для стандартного софта заключается в том, что для каждого столбца данных температура фиксируется только один раз и, соответственно, одинакова для всех точек столбца. Аналогично, второе ограничение заключается в том, что для всех точек в строке выходные уровни P



Рис. 4. Внешний вид отладочной платы для микросхем ZMDI

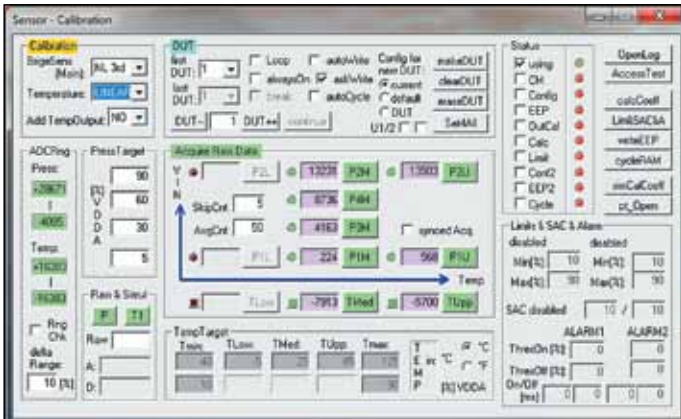


Рис. 5. Калибровочное окно отладочной программы ZSC31050

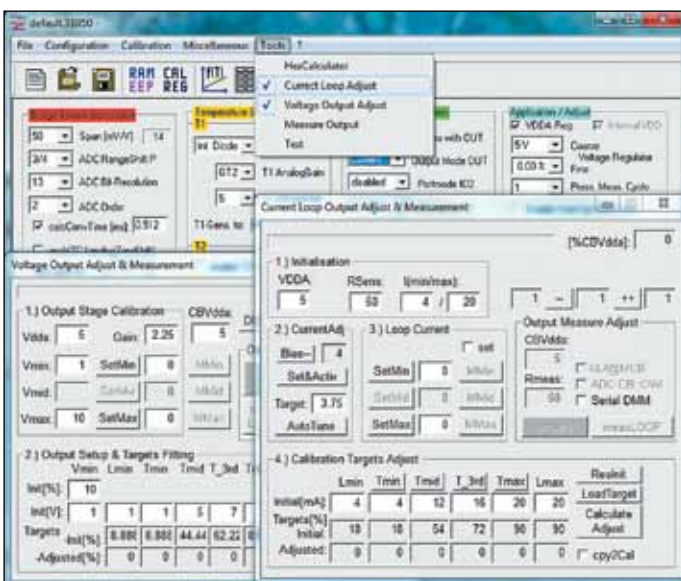


Рис. 6. Окна подстройки токового выхода и выхода по напряжению

также одинаковы. Последнее не имеет значения при использовании цифрового способа вывода данных, но приводит к принципиальной невозможности точной калибровки датчиков с выходным сигналом в виде абсолютного значения тока или напряжения. Хотя в стандартной программе предусмотрена возможность коррекции токового выхода и выхода по напряжению (рис. 6), она не имеет температурной компенсации.

Заявленный температурный коэффициент опорного напряжения микросхемы (а вместе с тем и абсолютного значения сигнала на выходе) может достигать по модулю 200 ppm/K, что для датчиков, работающих в широком температурном диапазоне, в большинстве случаев недопустимо. Для того чтобы ввести температурную коррекцию не только по входу, но и по выходу, необходимо, чтобы значения *R* можно было выставлять индивидуально для каждой точки калибровки. Сделать это, используя стандартные средства ZMDI, не представляется возможным, однако автор статьи разработал программно-аппаратный комплекс, позволяющий решить эту задачу.

Прежде чем приступить к описанию продукции своей фирмы, отметим другую существенную недоработку фирменного софта, а именно: необходимость вручную выставить настройки предварительного усилителя. Чтобы определить, какие настройки нужно выставить при использовании сенсоров с известными параметрами, компания ZMDI предлагает использовать расчетные таблицы. Это неудобно и имеет смысл только для чувствительных элементов с небольшим разбросом параметров.

Предлагаемые адаптированные средства калибровки

По мере продвижения продукции ZMDI на российский рынок приходилось часто сталкиваться с жалобами на сложность в освоении и неудобство при эксплуатации стандартных средств настройки и калибровки. Понятно, что заказчик хотел бы иметь продукт, требующий от него минимального участия, который бы можно было без труда внедрить в производство. С учетом этих требований была разработана система массовой калибровки (СМК), позволяющая оптимальным образом одновременно настраивать до 254 датчиков. Один модуль СМК (рис. 7) содержит до 16 каналов подключения к датчикам; каждый канал имеет свой измеритель тока.



Рис. 7. Внешний вид модуля системы массовой калибровки

На данный момент существуют две модификации системы для настройки датчиков с токовым выходом. Первая модификация предназначена для работы через однопроводной интерфейс, встроенный в токовую петлю, вторая — для настройки датчиков через интерфейс RS. Удачное конструктивное решение позволяет легко модифицировать систему под выполнение различных задач.

Программа для работы с СМК имеет дружелюбный интерфейс. Процесс настройки происходит поэтапно. Каждый этап настройки размещается на отдельной вкладке. На рис. 8 представлен этап предварительной настройки параметров усилителя входного сигнала и аналого-цифрового преобразователя. Все не используемые в данном типе датчиков настройки скрыты, что облегчает работу настройщика. В случае, когда параметры используемых чувствительных элементов имеют сильный разброс, индивидуальная

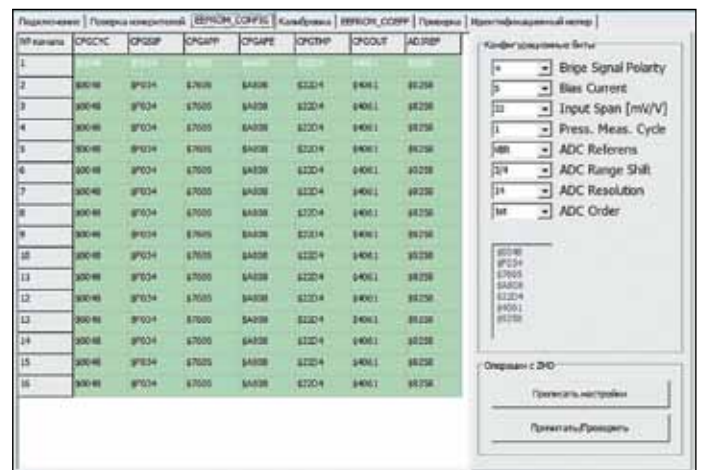


Рис. 8. Вкладка конфигурации параметров

Подключение	Панель измерений	EEPROM_CONFIG	Калибровка	EEPROM_COEFF	Проверка	Идентификационный номер															
Канал	F21	F22	F23	F24	F25	F26	F27	F28	F29	F30	F31	F32	F33	F34	F35	F36	F37	F38	F39	F40	
1		5533	2744	4129			818	1598	994	3370			3939	38,7	01,915	71,811					
2	-11	3362	2980	4481			807	1276	3003	1385			3072	30,024	34,220	72,121					
3	0	4191	3246	4646			834	1262	3020	1344			2987	30,857	02,399	71,118					
4	0	5879	3822	5228			828	1216	3019	1320			3028	30,200	04,288	72,231					
5	76	6284	3141	4663			814	1237	3025	1374			4028	38,000	03,474	72,223					
6	4	6020	3219	4636			783	1363	3044	1037			4028	38,400	03,446	71,832					
7	29	5191	2761	4181			830	1268	3019	1363			4032	38,000	03,412	72,257					
8	38	5872	3020	4487			798	1299	3025	1312			4027	38,694	02,632	71,846					
9	57	6611	2999	4389			843	1301	3123	1217			3076	30,140	03,626	71,337					
10	51	6281	3076	4642			840	1289	3037	1268			4030	38,400	03,384	71,826					
11	36	5736	2752	4047			830	1284	3028	1316			4027	38,100	03,412	71,336					
12	40	5740	2829	4083			834	1036	3029	1336			4027	38,000	04,027	72,118					
13	25	5790	2924	4362			812	1203	3019	1328			3981	38,800	04,317	72,408					
14	40	5840	2940	4388			808	1291	3185	1292			3984	38,000	03,634	71,362					
15	40	6223	2924	4494			819	1273	3060	1382			4030	38,800	03,211	71,800					
16	40	6811	2761	4202			832	1288	3044	1373			3921	38,400	04,101	72,204					

Рис. 9. Вкладка калибровки

Подключение	Панель измерений	EEPROM_CONFIG	Калибровка	EEPROM_COEFF	Проверка	Идентификационный номер					
Канал №1	Объект	Gain	ML1	ML3	Объект T1	Объект T2	Gain T2	Gain T3	Gain T2	Lim1	Lim2
1	011	7828	2253	-1240	0	0	0	0	362	1846	
2	0000	8460	2386	-1177	0	0	0	0	371	1863	
3	0147	8392	-1209	248	0	0	0	0	338	1828	
4	0453	7871	-1368	1200	0	0	0	0	367	1838	
5	0473	8694	287	58	0	0	0	0	357	1823	
6	0387	8414	638	-352	0	0	0	0	338	1841	
7	0238	7482	-1067	731	0	0	0	0	338	1824	
8	0428	8248	-217	242	0	0	0	0	353	1846	
9	0266	8261	-429	99	0	0	0	0	361	1829	
10	0576	8878	-1382	1046	0	0	0	0	334	1842	
11	0296	7486	973	-638	0	0	0	0	352	1828	
12	0489	8242	1068	-642	0	0	0	0	357	1826	
13	0424	7920	902	-409	0	0	0	0	360	1836	
14	0461	8217	1498	-1625	0	0	0	0	362	1822	
15	0038	8087	2087	-1353	0	0	0	0	331	1822	
16	0473	7828	-1325	884	0	0	0	0	368	1861	

Рис. 10. Вкладка расчета калибровочных коэффициентов

Подключение	Панель измерений	EEPROM_CONFIG	Калибровка	EEPROM_COEFF	Проверка	Идентификационный номер
№ канала	Ток в петле, мкА	Нагрузка, %				
1	4001	0,04				
2	4001	0,01				
3	4003	0,02				
4	4008	0,04				
5	3998	-0,01				
6	3999	-0,01				
7	4000	0				
8	19998	0,02				
9	3995	-0,03				
10	4001	0,01				
11	4006	0,04				
12	4014	0,09				
13	3996	-0,02				
14	4005	0,03				
15	4008	0,05				
16	4007	0,04				

Рис. 11. Вкладка проверки

настройка усиления для каждого канала может быть проведена в автоматическом режиме. Поскольку автоматический расчет конфигурации требует предварительных измерений в двух точках, его использование не всегда оправданно. В большинстве случаев при использовании керамических сенсоров в этом нет необходимости.

После записи предварительных настроек в память микросхемы следует процесс настройки (рис. 9). Поскольку система многоканальная, визуально окно калибровки сильно отличается от соответствующего окна стандартной программы, однако можно заметить и некоторое сходство, например в расположении кнопок выбора текущей точки калибровки. Вверху справа располагается выпадающий список, в котором можно выбрать количество точек, в которых будет произведена калибровка. Под ним — целевые уровни сигнала. На этом сходства заканчиваются.

В связи с тем, что на датчике с токовым выходом, подключенным к стандартному напряжению 24 В, в рабочем режиме рассеивается до полуватта мощности, калибровка должна проходить с учетом саморазогрева. Для этого в СМК была введена специальная функция, реализованная следующим образом: после выбора точки калибровки датчик начинает пропускать через себя соответствующий ток, тем самым вводится нужный тепловой режим. Прогрев продолжается до тех пор, пока не будет нажата кнопка «Зафиксировать». Время прогрева определяет пользователь. Уровень входного сигнала важен только в момент фиксации. При фиксации точки в таблице в каждом канале образуется тройка чисел (Z_p , Z_t и P), а не одно число, как в стандартном софте.

После заполнения таблицы производится расчет и запись калибровочных коэффициентов (рис. 10). Во всех модификациях системы расчет калибровочных коэффициентов проводится без использования сторонних библиотек путем прямого решения системы уравнений. Последнее дает возможность осуществлять более точную компенсацию всех нелинейностей измерительной системы в целом. На вкладке проверки (рис. 11) видно, как проходит выходной контроль датчиков. Настраиваемая цветовая маркировка помогает настройщику убедиться в том, что датчики настроены правильно.

Коррекция нуля

При калибровке датчиков на СМК учитываются все основные факторы, влияющие на конечную точность, поэтому откалиброванные датчики не нуждаются в ручной подгонке. Однако ручная подгонка может потребоваться в дальнейшем при эксплуатации датчиков. Коррекция нуля, в случае его ухода, чаще всего может быть выполнена прямо на месте, без демонтажа датчика.



Рис. 12. Внешний вид пульта коррекции нуля и диапазона

При использовании микросхем ZMDI логичнее всего проводить цифровую коррек-

цию, изменяя соответствующим образом коэффициент c_0 в памяти микросхемы. Для выполнения этой операции предлагается воспользоваться пультом коррекции нуля, он представлен на рис. 12. Устройство автономно, компактно, подключается в разрыв токовой петли. При отсутствии внешнего подключения пульт сам является источником питания для датчика. Устройство имеет встроенный миллиамперметр, что позволяет проводить коррекцию в автоматическом режиме.

Заключение

Благодаря созданию адаптированных систем массовой калибровки, а также недорогих устройств для проведения сервисного обслуживания датчиков, микросхемы фирмы ZMDI становятся еще более привлекательными при построении малогабаритных измерительных систем. ■