

Цифровые потенциометры

Михаил ПУШКАРЕВ
pmm@midaus.com

Цифровые потенциометры — альтернатива электромеханическим переменным резисторам. Их применение позволяет придать новые свойства электронным устройствам при одновременном уменьшении массогабаритных показателей и повышении надежности.

Практически каждая электронная схема содержит элементы, предназначенные для заводской подстройки характеристик или для оперативного управления ими пользователем аппаратуры. В подавляющем большинстве случаев для этих целей предназначены переменные резисторы, номенклатура которых весьма велика. Заменой электромеханическим резисторам с подвижным контактом, имеющим ограниченный ресурс, относительно большие габариты, требующим ручной установки в необходимое положение, становятся цифровые потенциометры (ЦП). Они тоже имеют свои ограничения по применению, однако при грамотном использовании способны заменить электромеханические устройства в подавляющем большинстве применений.

Структурная схема типичного цифрового потенциометра показана на рис. 1.

Цепочка резисторов с отводами, коммутируемыми ключами, представляет собой собственно потенциометр с тремя выводами R_H , R_L и R_W . Положение движка R_W определяется позицией замкнутого ключа. Ключи управляются регистром (счетчиком) через дешифратор. Состояние счетчика изменяется через интерфейс входными логическими сигналами либо непосредственно, либо считыванием установленной в энергонезависимой

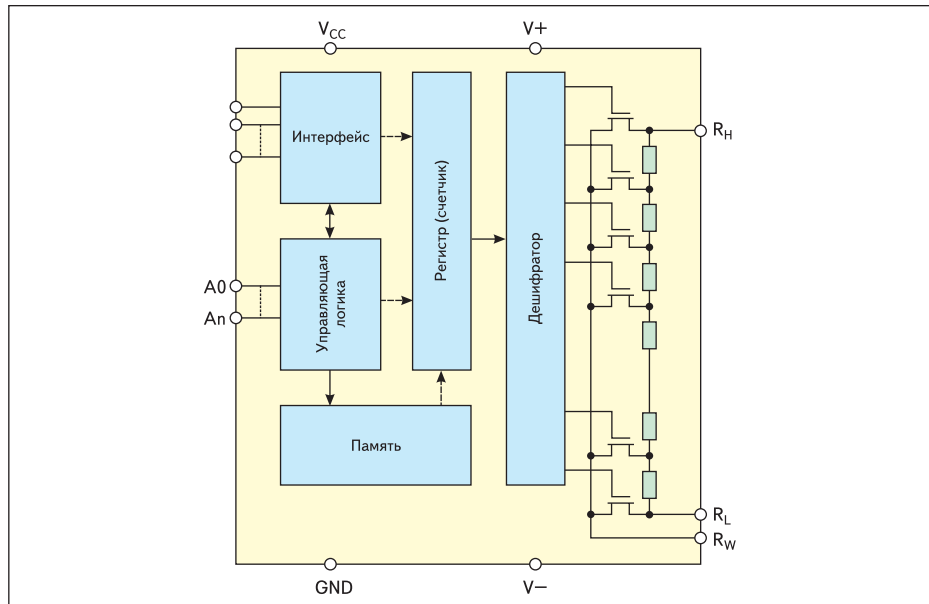


Рис. 1. Структурная схема цифрового потенциометра

памяти позиции. Управляющая логика обеспечивает заданный режим работы. ЦП должен иметь, по крайней мере, два вывода для подключения питающего напряжения — V_{CC} и GND . Для работы в двухполярном режиме требуется вывод для подключения источника

отрицательной полярности V_{SS} . В некоторых ЦП, особенно предназначенных для использования при повышенных напряжениях, прикладываемых к резистивному элементу, могут присутствовать отдельные выводы для подключения к источнику питания аналого-

Таблица 1. Фирмы-производители цифровых потенциометров

Изготовитель	Префикс	Характеристика	Количество резисторов в корпусе	Номинальное сопротивление, кОм	Отклонение сопротивления от номинального значения, %	Количество ступеней	Интерфейс	TKC, ppm/°C	TKOC, ppm/°C	Адресация
Analog Devices, Inc.	AD	лин., лог.	1; 2; 3; 4; 6	1; 2,5; 5; 10; 20; 25; 50; 100; 1000	±15; ±20; ±30	33; 64; 128; 256; 512; 1024	I ² C, Pushbutton, SPI, Up/Down	15–800	5–25	есть
Austriamicrosystems AG	ASI	лин.	1	10; 20; 50; 100	±20	256	SPI	500	15	нет
Catalist Semiconductor, Inc.	CAT	лин., лог.	1; 2; 4	1; 2,5; 6; 8; 10; 24; 32; 50; 100	±20; ±25	16; 32; 64; 100; 128; 256	I ² C, Pushbutton, SPI, 3-Wire	200–300	5	есть
Intersil Corp.	ISL, X	лин., лог.	1; 2; 4	1; 2; 2,5; 2,8; 10; 12,5; 32; 50; 100	±20; ±25; ±30	16; 32; 64; 100; 128; 256; 1024	I ² C, Pushbutton, SPI, Up/Down, 2-Wire	35–600	4–15	есть
Maxim Integrated Products	DS, MAX	лин., лог.	1; 2; 3; 4; 6	10; 15; 20; 30; 45; 50; 100; 200	±20; ±25; ±30	8; 32; 64; 100; 128; 256; 1024	I ² C, Pushbutton, SPI, Up/Down, 1-Wire, 2-Wire, 3-Wire	35–850	2–30	есть
Microchip Technology Inc.	MCP	лин.	1; 2	2,1; 5; 10; 50; 100	±20; ±30	65; 256	SPI, Up/Down	150–800	1–10	нет
Summit Microelectronics, Inc.	S, SMP	лин.	1; 2; 4	38; 40; 90	±20	128; 256; 1024	SPI, Up/Down, Pushbutton	300–700	15*	есть
Winbond Electronics Corp.	WMS	лин.	1; 2; 4	10; 50; 100	±20	16; 32; 64; 100; 128; 256	SPI, Up/Down	300–500	20	нет

* — У ЦП Summit специфическая схемотехника и ТКС в режиме потенциометра для большинства изделий не нормирован.

вой части V+ и V-. Для управления по соответствующей цифровой шине предназначено несколько интерфейсных выводов. От одного до четырех адресных выводов используется для присвоения индивидуального адреса ЦП при работе нескольких устройств на одной шине. Конкретный тип ЦП в зависимости от своих функциональных возможностей может иметь как более простую, так и более сложную схему.

Перечень фирм-производителей цифровых потенциометров, а также их основные характеристики приведены в таблице 1.

Номенклатура ЦП, представленная в таблице 2, предоставляет разработчику богатый выбор. Наиболее широкие возможности имеют ЦП от Analog Devices, Intersil и Maxim.

Схема включения

Большинство ЦП имеет три вывода от резистивного элемента, позволяющие включать устройство и потенциометром, и реостатом. Такие ЦП, как AD5246, AD5248, CAT5121, CAT5122, ISL90460, MAX5434, MCP4012, имеют только два вывода, позволяющие включать их только реостатом. AD5162, MAX5403_5, MAX5498_9 содержат один потенциометр и один реостат. В некоторых моделях, имеющих корпус с малым количеством выводов, к примеру ISL90460, ISL90462, вывод RL объединен с выводом GND, что несколько ограничивает схемотехнические возможности их применения. Обозначение выводов потенциометра RL и RH условно, определено только, что с увеличением кода, управляющего потенциометром, растет сопротивление между выводами R_L и R_W .

Функциональная характеристика

Подавляющее большинство ЦП имеет линейную зависимость сопротивления от управляющего кода. Небольшая номенклатура ЦП имеет логарифмическую, как CAT5116, X9314, X9460, DS1866, MAX5407_11, или псевдологарифмическую, как DS1666, зависимость сопротивления от кода. Например, модели AD5231, AD5232, AD5235, AD5253_5 имеют две программируемые пользователем зависимости сопротивления — линейную и логарифмическую.

Номинальное сопротивление

Номинальное значение сопротивления резисторов находится в пределах от 1 до 1000 кОм. Нижний предел сопротивления ограничен как используемыми резистивными материалами, так и существенным увеличением влияния сопротивления движка. Большинство ЦП имеют номинальные значения сопротивления, равные 10, 50, 100 кОм. Потенциометры сопротивлением 1000 кОм производит только Analog Devices (AD5222, AD5241, AD5242). Отклонение сопротивления от но-

минального значения довольно значительно, в пределах $\pm(15-35)\%$, что объясняется сложностью производства точных резисторов по технологии интегральных схем.

Температурный коэффициент сопротивления

Температурный коэффициент сопротивления (ТКС) находится в пределах $\pm(15-850)$ ppm/°C. Нижнее значение параметра соответствует уровню наилучших по этой характеристике металлофольговых переменных резисторов, а верхнее значение намного лучше, чем у углеродистых переменных резисторов. Значительно меньше температурный коэффициент отношения сопротивлений (ТКОС) (температурный коэффициент делителя), равный $\pm(1-60)$ ppm/°C. Для некоторых типов цифровых потенциометров величина ТКОС весьма мала при значительном ТКС (для MCP410x и MCP420x ± 1 и ± 800 ppm/°C соответственно). Стоит отметить, что обычно ТКС нормируется для полного сопротивления, а ТКОС — в среднем положении движка, при этом приводятся типовые значения параметров, однако из этих правил есть исключения. Так, для AD5259 типовое значение ТКС в начальном и среднем положении движка равно соответственно 500 и 15 ppm/°C, а типовое значение ТКОС — 60 и 5 ppm/°C. Для большинства ЦП фирмы Catalyst Semiconductor и части ЦП фирмы Intersil нормировано максимальное значение ТКОС, равное 20 ppm/°C.

Сопротивление движка

В ЦП отсутствует подвижный контакт к резистивному элементу, его функции выполняет набор электронных ключей, коммутирующий отводы от цепочки резисторов на вывод R_W . В качестве ключей используются МОП-транзисторы, а сопротивление канала выступает в роли контактного сопротивления (сопротивления движка). Его типовое значение для разных моделей ЦП находится в пределах от 15 Ом (для AD5233) до 1000 Ом (для MAX5436_9). Максимальное значение сопротивления движка превышает типовое в несколько раз. Сопротивление канала МОП-транзистора зависит от напряжения питания, имеет большой температурный дрейф, что осложняет применение ЦП, особенно в режиме реостата или при заметной нагрузке потенциометра.

Количество ступеней

Следующее отличие ЦП от электромеханических резисторов в дискретном характере изменения сопротивления. Поскольку резистивный элемент представляет собой цепочку резисторов с отводами, сопротивление изменяется скачками от ступени к ступени, а разрешающая способность зависит от количества ступеней, которых в различных мо-

делях ЦП может быть от 8 до 1024. Ненулевая разрешающая способность характерна и для проволочных переменных резисторов, часто используемых в качестве регулировочных элементов в прецизионных устройствах. В диапазоне сопротивлений 10–50 кОм эквивалентное и лучшее разрешение по сравнению с проволочными переменными резисторами имеют ЦП с количеством ступеней 512 и 1024. Обычно для ЦП с несколькими потенциометрами в корпусе количество ступеней одинаково для всех потенциометров. DS1845, DS1855 имеют один потенциометр на 100 ступеней, второй на 256 ступеней, а DS1846 — два потенциометра на 100 ступеней, один на 256 ступеней.

Количество резисторов в корпусе

Конструктивно в одном корпусе объединяются от одного до шести резисторов. Шесть резисторов в корпусе имеют только AD5206 и DS3930, причем в последнем присутствуют общий для всех резисторов вывод R_L и два вывода R_H , каждый на группу из трех резисторов. Практически все ЦП имеют в корпусе резисторы с одинаковыми номинальными сопротивлениями. Исключение — DS1845, DS1846, DS1855, DS3902, DS3906, X9241 AM, включающие от двух до четырех потенциометров различных номиналов. Некоторые модели с двумя и более резисторами в корпусе обладают хорошо согласованными характеристиками. Для всех ЦП Catalyst Semiconductor и части ЦП Analog Devices нормировано максимальное различие в сопротивлениях потенциометров в корпусе не более 1%.

Нелинейность характеристики

Для ЦП с линейной характеристикой нормируются дифференциальные и интегральные нелинейности в единицах младшего значащего разряда при включении потенциометром и реостатом. Значения нелинейности при включении потенциометром не более 0,25–2 МЗР для интегральной нелинейности, и не более 0,2–1 МЗР для дифференциальной нелинейности. Нелинейности при включении реостатом обычно равны или несколько больше соответствующих значений при включении потенциометром. Для ЦП с логарифмической характеристикой обычно приведены максимальные отклонения в дБ от идеальной характеристики.

Память

Потенциометры, имеющие в своем составе энергонезависимую память EEPROM, при подаче питающих напряжений устанавливаются в определенное положение, программируемое при регулировке электронного устройства. Если ЦП не имеет встроенной энергонезависимой памяти, то при включении питания, как правило, его движок уста-

Таблица 2. Цифровые потенциометры (полную версию таблицы см. на сайте http://www.finestreet.ru/_pub/Table_2_full.xls)

Прибор	Количество каналов	Количество ступеней	Характеристика	Тип памяти	Интерфейс	Номинальное сопротивление, кОм	Отклонение сопротивления от номинального значения, %	Разброс сопротивлений в каналах, %	Сопротивление контакта движка (тип), Ом	Напряжение питания, В			Допустимое напряжение на выводах, В	ТКС (реостат), ppm/°C	ТКС (потенциометр), ppm/°C	Особенности
										одно-полярное	двух-полярное	аналоговой части				
Austriamicrosystems AG																
ASI1500_1_2_3	1	256	лин	Volative	SPI	10, 20, 50, 100	±20		100	2,7–5,5			0–3(5)	500	15	
Analog Devices, Inc.																
AD5201	1	33	лин	Volative	SPI	10, 50	±30		50	2,7–5,5	±2,7		0–3(5); ±3	500	5	Предустановка в середине шкалы, спящий режим
AD5228	1	33	лин	Volative	Up/Down	10, 50, 100	±20		50 (100)	2,7–5,5			0–3(5)	35	5	Предустановка в начале или середине шкалы
AD5227	1	64	лин	Volative	Up/Down	10, 50, 100	±20		50 (100)	2,7–5,5			0–3(5)	35	5	Предустановка в середине шкалы
AD5171	1	64	лин	OTP	I ² C	5, 10, 50, 100	±30		60	2,7–5,5			0–3(5)	35	5	
AD5273	1	64	лин	OTP	I ² C	1, 10, 50, 100	±30		60	2,7–5,5			0–3(5)	300	10	
AD5258	1	64	лин	Nonvolative	I ² C	1, 10, 50, 100	±30		75	2,7–5,5			0–3(5)	15	15	Адресация до 9 устройств коммутацией двух выводов
AD5220	1	128	лин	Volative	Up/Down	10, 50, 100	±30		40	2,7–5,5			0–3(5)	800	20	Предустановка в середине шкалы
AD5246_7	1	128	лин	Volative	I ² C	5, 10, 50, 100	±20		75 (150)	2,7–5,5			0–3(5)	45		Реостат (AD5246), предустановка в середине шкалы
AD7376	1	128	лин	Volative	SPI	10, 50, 100	±30		120 (260)	5–30	±(5–15)		5–30	300	5	Программирование положения в спящем режиме, альтернатива EEPROM
AD5160	1	256	лин	Volative	SPI	5, 10, 50, 100	±30		50	2,7–5,5			0–3(5)	45	15	Предустановка в середине шкалы
AD5161	1	256	лин	Volative	I ² C, SPI	5, 10, 50, 100	±30		50	2,7–5,5			0–3(5)	45	15	Адресация выбором устройств через CS
AD5165	1	256	лин	Volative	SPI	100	±20		50 (85)	2,7–5,5			0–3(5)	35	15	
AD5200	1	256	лин	Volative	SPI	10, 50	±30		50	2,7–5,5	±2,7		0–3(5)	500	5	Предустановка в середине шкалы, спящий режим
AD5241	1	256	лин	Volative	I ² C	10, 100, 1000	±30		60	2,7–5,5	±2,7		0–3(5)	30	5	Предустановка в середине шкалы, адресация до 4 устройств коммутацией выводов, спящий режим
AD5245	1	256	лин	Volative	I ² C	5, 10, 50, 100	±30		50	2,7–5,5			0–3(5)	45	15	Предустановка в середине шкалы, адресация 2 устройств коммутацией вывода
AD5260	1	256	лин	Volative	SPI	20, 50, 200	±30		60	5–15	±5,5		5–15	35	5	Предустановка в середине шкалы, спящий режим
AD5280	1	256	лин	Volative	I ² C	20, 50, 100	±30		60	5–15	±5,5		5–15	30	5	Предустановка в середине шкалы, спящий режим
AD5290	1	256	лин	Volative	SPI	10, 50, 100	±30		50	4,5–30	±(4,5–15)		4,5–30	35	5	Предустановка в середине шкалы
AD8400	1	256	лин	Volative	SPI	1, 10, 50, 100	±30		50 (200)	2,7–5,5			0–3(5)	500	15	
AD5170	1	256	лин	OTP	I ² C	2,5, 10, 50, 100	±20		160	2,7–5,5			0–3(5)	35	15	Возможность неоднократного перепрограммирования перед окончательной установкой
AD5259	1	256	лин	Nonvolative	I ² C	5, 10, 50, 100	±30		75	2,7–5,5			0–3(5)	15	5	Адресация до 4 устройств коммутацией выводов
AD5231	1	1024	лин, лог	Nonvolative	SPI	10, 50, 100	±20		15(50)	2,7–5,5	±2,5		0–3(5)	600	15	Возможно двухполярное питание
AD5251	2	64	лин	Nonvolative	I ² C	1, 10, 50, 100	±30	0,15	75(200)	2,7–5,5	±(2,25–2,75)		0–3(5)	650	15	Адресация до 4 устройств
AD5222	2	128	лин	Volative	Up/Down	10, 50, 100, 1000	±30	0,2	45	2,7–5,5	±2,7		0–3(5)	35	20	
AD5162	2	256	лин	Volative	SPI	2,5, 10, 50, 100	±20		160	2,7–5,5			0–3(5)	35	15	Потенциометр+реостат, предустановка в середине шкалы, спящий режим
AD5207	2	256	лин	Volative	SPI	10, 50, 100	±30	0,2	50	2,7–5,5	±2,7		0–3(5)	500	15	Предустановка в середине шкалы
AD5242	2	256	лин	Volative	I ² C	10, 100, 1000	±30		60	2,7–5,5	±2,7		0–3(5)	30	5	Предустановка в середине шкалы, адресация до 4 устройств коммутацией выводов, спящий режим
AD5243_8	2	256	лин	Volative	I ² C	2,5, 10, 50, 100	±20		160	2,7–5,5			0–3(5)	35	15	Реостат (AD5248)
AD5262	2	256	лин	Volative	SPI	20, 50, 200	±30	0,1	60	5–15	±5,5		5–15	35	5	Предустановка в середине шкалы
AD5282	2	256	лин	Volative	I ² C	20, 50, 100	±30		60	5–15	±5,5		5–15	30	5	Предустановка в середине шкалы, спящий режим
AD8402	2	256	лин	Volative	SPI	1, 10, 50, 100	±30	0,2	50 (200)	2,7–5,5			0–3(5)	500	15	
AD5172_3	2	256	лин	OTP	I ² C	2,5, 10, 50, 100	±20		160	2,7–5,5			0–3(5)	35	15	Возможность неоднократного перепрограммирования перед окончательной установкой, реостат (AD5173)
AD5232	2	256	лин, лог	Nonvolative	I ² C	10, 50, 100	±20	0,1	5(200)	3–5	±2,5		0–3(5); ±2,5	600	15	
AD5252	2	256	лин	Nonvolative	I ² C	1, 10, 50, 100	±30	0,15	75(200)	2,7–5,5	±(2,25–2,75)		0–3(5); ±2,5	650	15	Адресация до 4 устройств
AD5235	2	1024	лин, лог	Nonvolative	SPI	25, 250	±30	0,1	50(200)	3–5	±2,5		0–3(5); ±2,5	35	15	
ADN2850	2	1024	лин, лог	Nonvolative	SPI	25, 250	±30	0,1	50(200)	3–5	±2,5		0–3(5); ±2,5	35		Реостат
AD5255	3	512/128	лин, лог	Nonvolative	I ² C	25, 250	±15		100(250)	2,7–5,5	±(2,25–2,75)		0–3(5); ±2,5	35	15	
AD5203	4	64	лин	Volative	SPI	10, 100	±30	0,2	45	2,7–5,5			0–3(5)	700	20	Предустановка в середине шкалы
AD5233	4	64	лин	Nonvolative	SPI	10, 50, 100	±20		15	3–5	±2,5		0–3(5); ±2,5	600	15	
AD5253	4	64	лин, лог	Nonvolative	I ² C	1, 10, 50, 100	±30	0,15	75(200)	2,7–5,5	±(2,25–2,75)		0–3(5); ±2,5	650	25	Адресация до 4 устройств
AD5204	4	256	лин	Volative	SPI	10, 50, 100	±30		50	2,7–5,5	±2,7		0–3(5); ±2,5	700	15	Предустановка в середине шкалы
AD5263	4	256	лин	Volative	I ² C, SPI	20, 50, 200	±30		60	5–15	±5		0–5(15); ±5	30	5	Предустановка в середине шкалы
AD8403	4	256	лин	Volative	SPI	1, 10, 50, 100	±30	0,2	50 (200)	2,7–5,5			0–3(5)	500	15	
AD5254	4	256	лин, лог	Nonvolative	I ² C	1, 10, 50, 100	±30	0,15	75(200)	2,7–5,5	±(2,25–2,75)		0–3(5); ±2,5	650	25	Адресация до 4 устройств
AD5206	6	256	лин	Volative	SPI	10, 50, 100	±30		50	2,7–5,5	±2,7		0–3(5); ±2,5	700	15	Предустановка в середине шкалы

Таблица 2. Цифровые потенциометры (полную версию таблицы см. на сайте http://www.finestreet.ru/_pub/Table_2_full.xls)

Прибор	Количество каналов	Количество ступеней	Характеристика	Тип памяти	Интерфейс	Номинальное сопротивление, КОм	Отклонение сопротивления от номинального значения, %	Разброс сопротивления в каналах, %	Сопротивление контакта движка (тип.), Ом	Напряжение питания, В			Допустимое напряжение на выводах, В	ТКС (реостат), ppm/°C	ТКС (потенциометр), ppm/°C	Особенности
										одно-полярное	двух-полярное	аналоговой части				
Catalist Semiconductor, Inc.																
CAT5120_1_2	1	16	лин	Volatile	Up/Down	10, 50, 100	±25		200	2,7–5,5			0–3(5)	200	5	Реостат (CAT5121_2)
CAT5110_18_19	1	32	лин	Volatile	Up/Down	10, 50, 100	±20		200	2,7–5,5			0–3(5)	200	5	Реостат (CAT5118_9)
CAT5112_4	1	32	лин	Nonvolatile	Up/Down	10, 50, 100	±20			2,5–6			0–2,5(6)	300		Буферный повторитель (CAT5112)
CAT5115	1	32	лин	Volatile	Up/Down	10, 50, 100	±20		400max	2,5–5,5			0–3(5)	300	20	Предустановка в середину шкалы
CAT5111	1	100	лин	Nonvolatile	Up/Down	10, 50, 100	±20			2,5–6			0–2,5(6)	300		Буферный повторитель
CAT5113	1	100	лин	Nonvolatile	Up/Down	1, 10, 50, 100	±20		400max	2,5–6			0–2,5(6)	300	20	
CAT5116	1	100	лог	Nonvolatile	Up/Down	32	±20		200(400)	2,5–5,5			0–3(5)	300	20	
CAT5132	1	128	лин	Nonvolatile	I ² C	10, 50, 100	±20		70(110)	2,7–5,5		8–15	0–3(5)	300	30	Адресация 4 устройств коммутацией выводов
CAT521	1	256	лин	Nonvolatile	3-Wire	6	±20			2,7–5,5			0–3(5)	300		Буферный повторитель
CAT5221	2	64	лин	Nonvolatile	I ² C	2,5, 10, 50, 100	±20	1	80	2,5–6			0–2,5(6)	300	20	Адресация 16 устройств коммутацией выводов
CAT5411	2	64	лин	Nonvolatile	SPI	2,5, 10, 50, 100	±20	1	80	2,5–6			0–2,5(6)	300	20	Адресация 4 устройств коммутацией выводов
CAT5419	2	64	лин	Nonvolatile	I ² C	2,5, 10, 50, 100	±20	1	80	2,5–6			0–2,5(6)	300	20	Адресация 16 устройств коммутацией выводов
CAT522_3	2	256	лин	Nonvolatile	3-Wire	24	±20	0,5		2,7–5,5			0–3(5)	300		Буферный повторитель
CAT5261	2	256	лин	Nonvolatile	SPI	50, 100	±20	1	100(200)	2,5–6			0–2,5(6)	300	20	Адресация 4 устройств коммутацией выводов
CAT5269	2	256	лин	Nonvolatile	I ² C	50, 100	±20	1	100(200)	2,5–6			0–2,5(6)	300	20	Адресация 16 устройств коммутацией выводов
CAT5401	4	64	лин	Nonvolatile	SPI	2,5, 10, 50, 100	±20	1	80	2,5–6			0–2,5(6)	300	20	Адресация 4 устройств коммутацией выводов
CAT5409	4	64	лин	Nonvolatile	I ² C	2,5, 10, 50, 100	±20	1	80	2,5–6			0–2,5(6)	300	20	Адресация 16 устройств коммутацией выводов
CAT5241	4	64	лин	Nonvolatile	I ² C	2,5, 10, 50, 100	±20	1	80	2,5–6			0–2,5(6)	300	20	Адресация 16 устройств коммутацией выводов
CAT524_5	4	256	лин	Nonvolatile	3-Wire	24	±20	0,5		2,7–5,5			0–3(5)	300		Буферный повторитель
CAT5251	4	256	лин	Nonvolatile	SPI	50, 100	±20	1	100(200)	2,5–6			0–2,5(6)	300	20	Адресация 4 устройств коммутацией выводов
CAT5259	4	256	лин	Nonvolatile	I ² C	50, 100	±20	1	100(200)	2,5–6			0–2,5(6)	300	20	Адресация 16 устройств коммутацией выводов
Intersil Corp.																
X9116	1	16	лин	Nonvolatile	Up/Down	10	±20		200 (400)	2,7–5,5			0–3(5)	300	20	
ISL90460_1_2	1	32	лин	Volatile	Up/Down	10, 50, 100	±20		600	2,7–5,5			0–3(5)	35		Реостат (ISL90460_1), вывод RL соединен с минусом питания (ISL90462)
X9015	1	32	лин	Volatile	Up/Down	10, 50, 100	±20		200 (400)	2,7–5,5			0–3(5)	300	20	Предустановка в середину шкалы
X9313	1	32	лин	Nonvolatile	Up/Down	1, 10, 50	±20		40	3–5,5			±5	300	20	
X9314	1	32	лог	Nonvolatile	Up/Down	10	±20		40	3–5,5			±5	600	20	
X9315	1	32	лин	Nonvolatile	Up/Down	10, 50, 100	±20		200 (400)	2,7–5,5			0–3(5)	±300	20	
X93154_5	1	32	лин	Nonvolatile	Up/Down	50	±30		1000max	2,7–3,3			0–3	±35		Реостат
X93156	1	32	лин	Nonvolatile	Up/Down	12,5, 50	±25		1100max	2,7–5,5			0–3(5)	±35		
X9511	1	32	лин	Nonvolatile	Pushbutton	10	±20		40	4,5–5,5			±5	+300	20	
X9420_1	1	64	лин	Nonvolatile	SPI	2,5, 10	±20		40	2,7–5,5		±(2,7–5,5)	±3(5)	+300	20	Адресация, до 2 устройств на шине
X9428_9	1	64	лин	Nonvolatile	2-Wire	2,5, 10	±20		40(150)	2,7–5,5		±(2,7–5,5)	±3(5)	300	20	Адресация до 8 устройств коммутацией выводов
X9317	1	100	лин	Nonvolatile	Up/Down	1, 10, 50, 100	±20		200(400)	2,7–5,5			0–3(5)	300	20	
X9318	1	100	лин	Nonvolatile	Up/Down	10	±20		40	4,5–5,5			0–8	300	20	
X9319	1	100	лин	Nonvolatile	Up/Down	10, 50, 100	±20		40	4,5–5,5			0–10			
X9C102_3_4	1	100	лин	Nonvolatile	Up/Down	1, 10, 100	±20			4,5–5,5			±5	600	20	
X9C303	1	100	лин	Nonvolatile	Up/Down	32	±20			4,5–5,5			±5			
X9C503	1	100	лин	Nonvolatile	Up/Down	50	±20			4,5–5,5			±5	300	20	
ISL23710	1	128	лин	Volatile	Up/Down	10, 50	±20		70	2,7–5,5		±(2,7–5,5)	±5	50	4	Предустановка в середину шкалы
ISL23711	1	128	лин	Volatile	I ² C	10, 50	±20		70	2,7–5,5		±(2,7–5,5)	±5	50	4	Адресация до 4 устройств на шине коммутацией выводов
ISL90726_7	1	128	лин	Volatile	I ² C	10, 50	±20		85	2,7–5,5			0–5,5	45		Реостат (ISL90726), предустановка в середину шкалы
ISL95310	1	128	лин	Nonvolatile	Up/Down	10, 50	±20		70	2,7–5,5			0–13,2	45	4	
ISL95311	1	128	лин	Nonvolatile	I ² C	10, 50	±20		70	2,7–5,5			0–13,2	45	4	Адресация до 4 устройств коммутацией выводов
ISL95710	1	128	лин	Nonvolatile	Up/Down	10, 50	±20		70	2,7–5,5		±(2,7–5,5)	±3(5)	50	4	
ISL95711	1	128	лин	Nonvolatile	I ² C	10, 50	±20		70	2,7–5,5		±(2,7–5,5)	±3(5)	50	4	Адресация до 4 устройств коммутацией выводов
ISL96017	1	128	лин	Nonvolatile	I ² C	10, 50	±20		100	3–3,6			0–3	100	4	
ISL90810	1	256	лин	Volatile	I ² C	10, 50	±20		70	2,7–5,5			0–3(5)	35	4	
ISL95810	1	256	лин	Nonvolatile	I ² C	10, 50	±20		70	2,7–5,5			0–3(5)	45	4	
X9271	1	256	лин	Nonvolatile	SPI	50, 100	±20		150(300)	2,7–5,5			0–3(5)	300	20	Адресация до 4 устройств коммутацией выводов
X9279	1	256	лин	Nonvolatile	2-Wire	50, 100	±20		150(300)	2,7–5,5			0–3(5)	300	20	Адресация до 8 устройств коммутацией выводов
X9110	1	1024	лин	Nonvolatile	SPI	100	±20		150	2,7–5,5		±(2,7–5,5)	±3(5)	300	20	Адресация
X9111	1	1024	лин	Nonvolatile	SPI	100	±20		40(150)	2,7–5,5			0–3(5)	300	20	Адресация до 4 устройств коммутацией выводов
X9118	1	1024	лин	Nonvolatile	2-Wire	100	±20		40(150)	2,7–5,5		±(2,7–5,5)	±3(5)	300	20	Адресация до 4 устройств коммутацией выводов
X9119	1	1024	лин	Nonvolatile	2-Wire	100	±20		40(150)	2,7–5,5			0–3(5)	300	20	Адресация до 8 устройств коммутацией выводов
X9460	2	32	лог	Volatile	2-Wire	32	±20		100	2,7–5,5		±(2,7–5,5)	±3(5)	300		Предустановка в начало шкалы, адресация до 4 устройств коммутацией выводов

Таблица 2. Цифровые потенциометры (полную версию таблицы см. на сайте http://www.finestreet.ru/_pub/Table_2_full.xls)

Прибор	Количество каналов	Количество ступеней	Характеристика	Тип памяти	Интерфейс	Номинальное сопротивление, кОм	Отклонение сопротивления от номинального значения, %	Разброс сопротивлений в каналах, %	Сопротивление контакта движка (тип), Ом	Напряжение питания, В			Допустимое напряжение на выводах, В	ТКС (реостат), ppm/°C	ТКС (потенциометр), ppm/°C	Особенности
										одно-полярное	двух-полярное	аналоговой части				
Intersil Corp.																
X93254_5_6	2	32	лин	Nonvolatile	Up/Down	50	±25		1000max	2,7–5,5			0–3	35		
X9221A	2	64	лин	Nonvolatile	2-Wire	2, 10, 50	±20		40	4,5–5,5			–3–5	300	20	Адресация до 8 устройств коммутацией выводов
X9410	2	64	лин	Nonvolatile	SPI	10	±20		40(150)	2,7–5,5		±(2,7–5,5)	±3(5)	300	20	Адресация до 4 устройств коммутацией выводов
X9418	2	64	лин	Nonvolatile	2-Wire	2,5, 10	±20		40(150)	2,7–5,5		±(2,7–5,5)	±3(5)	300	20	Адресация до 16 устройств коммутацией выводов
X9260_1	2	256	лин	Nonvolatile	SPI	50, 100	±20		150(250)	2,7–5,5		±(2,7–5,5)	±3(5)	300	20	Адресация до 4 устройств коммутацией выводов
X9455	2	256	лин	Nonvolatile	Up/Down+2-Wire	2,8, 10, 50, 100	±20		50	2,7–5,5			0–3(5)	300	20	Адресация до 8 устройств коммутацией выводов
X95820	2	256	лин	Nonvolatile	2-Wire	10, 50	±20		70	2,7–5,5			0–3(5)	45	4	Адресация до 8 устройств коммутацией выводов
X9241A	4	64	лин	Nonvolatile	2-Wire	2, 10, 50	±20		40	4,5–5,5			–3–5	300	20	Адресация до 16 устройств коммутацией выводов
X9268_9	2	256	лин	Nonvolatile	2-Wire	50, 100	±20		150(250)	2,7–5,5		±(2,7–5,5)	±3(5)	300	20	Адресация до 16 устройств коммутацией выводов
X9400_1	4	64	лин	Nonvolatile	SPI	2,5, 10	±20		40(150)	2,7–5,5		±(2,7–5,5)	±3(5)	300	20	Адресация до 4 устройств коммутацией выводов
X9408_9	4	64	лин	Nonvolatile	2-Wire	2,5, 10	±20		40(150)	2,7–5,5		±(2,7–5,5)	±3(5)	300	20	Адресация до 16 устройств коммутацией выводов
ISL90840_1_2_3	4	256	лин	Volatile	I2C	10, 50	±20		70	2,7–5,5			0–3(5)	45	4	Адресация до 8 устройств (ISL90840), до 4 устройств (ISL90841_2_3) коммутацией выводов, реостат (ISL90842)
X9250_1	4	256	лин	Nonvolatile	SPI	50, 100	±20		150	2,7–5,5		±(2,7–5,5)	±3(5)	300	20	Адресация до 4 устройств коммутацией выводов
X9252	4	256	лин	Nonvolatile	2-Wire	2,8, 10, 50, 100	±20		50	2,7–5,5			0–3(5)	300	20	Адресация до 8 устройств коммутацией выводов
X9258_9	4	256	лин	Nonvolatile	2-Wire	50, 100	±20		40(150)	2,7–5,5		±(2,7–5,5)	±3(5)	300	20	Адресация до 16 устройств коммутацией выводов
X95820	4	256	лин	Nonvolatile	2-Wire	10, 50	±20		70	2,7–5,5			0–3(5)	45	4	Адресация до 8 устройств коммутацией выводов
Maxim Integrated Product																
MAX5420_1	1	4		Volatile	2-Wire Parallel	15				4,75–5,25						Для усилителей с программируемым усилением
MAX5426	1	4		Volatile	2-Wire Parallel	26				±(5–15)						Для инструментальных усилителей с программируемым усилением
MAX5430_1	1	4		Volatile	2-Wire Parallel	57				10,8–15,75						Для усилителей с программируемым усилением
DS1866	1	8	лог	Volatile	3-Input Parallel	10	±20		400	2,7–5,5			0–3(5)	750		
DS4301	1	32	лин	Nonvolatile	Inc/Dec	200	±20		500	2,4–5,5			0–3(5)	250	7	
MAX5160_1	1	32	лин	Volatile	3-Wire	50, 100, 200	±25		400	2,7–5,5			0–3(5)	50	5	
MAX5400_1	1	32	лин	Volatile	SPI	50, 100	±25		250	2,7–5,5			0–3(5)	50	5	Предустановка в середину шкалы
MAX5407	1	32	лог	Volatile	Up/Down	20	±25		400	2,7–5,5			0–3(5)	35	5	Предустановка в начало шкалы
MAX5427_8_9	1	32	лин	OTP	2-Wire	10, 50, 100	±25		100	2,7–5,25			0–3(5)	35	5	
MAX5432_3_4_5	1	32	лин	Nonvolatile	I2C	50	±25		610	2,7–5,25			0–3(5)	35		Реостат (MAX5434_5)
MAX5460_1_2	1	32	лин	Volatile	Up/Down	100	±25		600	2,7–5,5			0–3(5)	35	5	Реостат (MAX5460_1)
MAX5463_4_5	1	32	лин	Volatile	Up/Down	50	±25		600	2,7–5,5			0–3(5)	35	5	Реостат (MAX5463_4)
MAX5466_7_8	1	32	лин	Volatile	Up/Down	10	±25		160	2,7–5,5			0–3(5)	35	5	Реостат (MAX5466_7)
MAX5471_2_4_5	1	32	лин	Nonvolatile	Up/Down	50, 100	±35			2,7–5,25			0–3(5)	35		Реостат (MAX5471_2)
DS1669	1	64	лин	Nonvolatile	Pushbutton	10, 50, 100	±20		400	4,5–8			0–4,5(8)	750		
DS1809	1	64	лин	Nonvolatile	Pushbutton	10, 50, 100	±20		400	4,5–5,5			0–5	750		
DS1869	1	64	лин	Nonvolatile	Pushbutton	10, 50, 100	±20		400	2,7–8			0–3(8)	750		
MAX5527_8_9	1	64	лин	OTP	Up/Down	100	±25		90(125)	2,7–5,5			0–3(5)	35		
DS1804	1	100	лин	Nonvolatile	Inc/Dec	10, 50, 100	±20		400	2,7–5,5			0–3(5)	750		
DS1666	1	128	псевдо-лог	Volatile	Inc/Dec	10, 50, 100	±20		350	4,5–5,5		±5	±5	750		
MAX5436_7_8_9	1	128	лин	Volatile	SPI	50, 100	±25		900	2,7–5,25		±(5–15)	±5(15); 0–30	35		Предустановка в середину шкалы, отдельное питание цифровой и аналоговой частей
DS1805	1	256	лин	Volatile	2-Wire	10, 50, 100	±20			2,7–5,5			0–3(5)	550	8	Адресация до 8 устройств коммутацией выводов
DS2890	1	256	лин	Volatile	1-Wire	100	±25			2,8–6			0–11	800		Индивидуальный 64-битный идентификатор
MAX5402	1	256	лин	Volatile	SPI	10	±25		275(550)	2,7–5,5			0–3(5)	35	5	Предустановка в середину шкалы
MAX5417_8_9	1	256	лин	Nonvolatile	I ² C	50, 100, 200	±25		325	2,7–5,25			0–3(5)	35	5	Адресация до 8 устройств коммутацией вывода, 4 адреса уникальны, записаны производителем
MAX5422_3_4	1	256	лин	Nonvolatile	SPI	50, 100, 200	±25		325	2,7–5,25			0–3(5)	35	5	
MAX5481_2_4_5	1	1024	лин	Nonvolatile	SPI+Up/Down	10, 50	±25		50	2,7–5,25	±2,5		0–3(5); ±2,5	35	5	Реостат (MAX5481_2)
DS1808	2	32	лог	Volatile	2-Wire	45	±20	0,5 дБ	300	4,5–5,5		±(5–12)	±12	750		Адресация до 8 устройств коммутацией выводов
MAX5408_9_10_11	2	32	лог	Volatile	SPI	10	±30	0,5 дБ	1000	2,7–3,6			0–3,5	35	5	Предустановка с максимальным ослаблением
MAX5456_7	2	32	лог	Volatile	Inc/Dec	10	±30	0,5 дБ	1000	2,7–5,5	±2,7		0–3(5); ±2,5	50	5	Предустановка с ослаблением –12 дБ
DS1801	2	64	лог	Volatile	3-Wire	45	±20	0,5 дБ	400	2,7–5,5			0–3(5)	750		Предустановка с максимальным ослаблением, адресация
DS1802	2	64	лог	Volatile	3-Wire/ Pushbutton	45	±20	0,5 дБ	400	2,7–5,5			0–3(5)	750		Предустановка с максимальным ослаблением
DS1807	2	64	лог	Volatile	2-Wire	45	±20	0,5 дБ	400	2,7–5,5			0–3(5)	750		Предустановка с максимальным ослаблением, адресация

Таблица 2. Цифровые потенциометры (полную версию таблицы см. на сайте http://www.fine.street.ru/_pub/Table_2_full.xls)

Прибор	Количество каналов	Количество ступеней	Характеристика	Тип памяти	Интерфейс	Номинальное сопротивление, кОм	Отклонение сопротивления от номинального значения, %	Разброс сопротивления в каналах, %	Сопротивление контакта движка (тип), Ом	Напряжение питания, В			Допустимое напряжение на выводах, В	ТКС (реостат), ppm/°C	ТКС (потенциометр), ppm/°C	Особенности
										однополярное	двухполярное	аналоговой части				
Maxim Integrated Product																
DS1845_55	2	100/256	лин	Nonvolatile	2-Wire	10/10, 10/20, 10/50, 10/100	±20		250(500)	2,7–5,5			0–3(5)	750		Адресация до 8 устройств коммутацией выводов
DS1267	2	256	лин	Volatile	3-Wire	10, 50, 100	±20		400	4,5–5,5	±5,5		±5,5	750		Каскадное включение
DS1803	2	256	лин	Volatile	2-Wire	10, 50, 100	±20		400	2,7–5,5			0–3(5)	750		Адресация до 8 устройств, предустановка в начало шкалы
DS1847_8	2	256	лин	Nonvolatile	2-Wire	10/10, 10/50	±20			3–5,5			0–3(5)	850		Температурная коррекция
DS1867_8	2	256	лин	Nonvolatile	3-Wire	10, 50, 100	±20		400	4,5–5,5	±5,5		0–5; ±5	750		Температурная коррекция, каскадное включение
DS3902	2	256	лин	Nonvolatile	I2C	50/30, 50/15	±20			2,4–5,5			0–3(5)	300		Адресация до 128 устройств
MAX5403_4_5	2	256	лин	Volatile	SPI	10, 50, 100	±25		275	2,7–5,5			0–3(5)	35	5	Потенциометр+реостат, предустановка в середину шкалы
MAX5413_4_5	2	256	лин	Volatile	SPI	10, 50, 100	±25		275	2,7–5,5			0–3(5)	35	5	Предустановка в середину шкалы
MAX5450_1	2	256	лин	Volatile	Up/Down	10	±25		225	2,7–5,5			0–3(5)	35	5	Реостат (MAX5450)
MAX5452_3_4_5	2	256	лин	Volatile	Up/Down	50, 100	±25		225	2,7–5,5			0–3(5)	35	5	Реостат (MAX5452_4)
MAX5477_8_9	2	256	лин	Nonvolatile	I ² C	10, 50, 100	±25		325	2,7–5,25			0–3(5)	70	10	
MAX5487_8_9	2	256	лин	Nonvolatile	SPI	10, 50	±25		200(325)	2,7–5,25			0–3(5)	35	5	
MAX5494_5_6_7_8_9	2	1024	лин	Nonvolatile	SPI	10, 50	±25	0,05	50	2,7–5,25	±2,5		0–3(5); ±2,5	35	5	Реостат (MAX5496_7), потенциометр+реостат (MAX5498_9)
DS3906	3	64	псевдо-лог	Nonvolatile	I ² C	2,54/1,45	±20			2,7–5,5			0–3(5)	60		Реостат, адресация до 8 устройств коммутацией выводов
DS1846	3	100/256	лин	Nonvolatile	2-Wire	2*10/100	±20		250(500)	2,7–5,5			0–3(5)	750	30	
DS3904_5	3	128	лин	Volatile	2-Wire	20	±30			2,7–5,5			0–3(5)	400		Реостат+ключ, адресация до 8 устройств коммутацией выводов (DS3905)
DS1844	4	64	лин	Volatile	2-Wire/5-Wire	10, 50, 100	±20		250	2,7–5,5			0–3(5)	750		Предустановка в середину шкалы
DS1806	6	64	лин	Volatile	3-Wire	10, 50, 100	±20		400	2,7–5,5			0–3(5)	750		Предустановка в начало шкалы, объединенный вывод L
DS3930	6	256	лин	Nonvolatile	2-Wire	50			400	2,7–5,5			0–3(5)	250	2	Две группы по три потенциометра в параллель с общим выводом L
Microchip Technology Inc.																
MCP4011_2_3_4	1	64	лин	Volatile	Up/Down	2,1, 5, 10, 50	±20		70	1,8–5,5			0–3(5)	150	10	Предустановка в середину шкалы, реостат (MCP4012_4)
MCP41010_50_100	1	256	лин	Volatile	SPI	10, 50, 100	±20		52(73)	2,7–5,5			0–3(5)	800	1	Предустановка в середину шкалы
MCP42010_50_100	2	256	лин	Volatile	SPI	10, 50, 100	±20	0,2	52(73)	2,7–5,5			0–3(5)	800	1	Предустановка в середину шкалы
Summit Microelectronics, Inc.																
SMP9317 (9517)	1	128	лин	Nonvolatile	Up/Down, Pushbutton	38				2,7–5,5			0–3(5)	700		Буферный повторитель
S9318 (518)	1	256	лин	Nonvolatile	Up/Down, Pushbutton	38				2,7–5,5			0–3(5)	600		Буферный повторитель
S9408 (9418)	4	256	лин	Nonvolatile	SPI	40		0,5		2,7–5,5			0–3(5)	300		Буферный повторитель, вход MUTE (S9418)
SMP9510_1_2	2	1024	лин	Nonvolatile	I ² C	90	±20			2,7–5,5					15	Буферный повторитель, адресация до 8 устройств коммутацией выводов, вход MUTE (SMP9511), встроенный ИОН (SMP9512)
Winbond Electronics Corp.																
WMS7140_1	1	16	лин	Nonvolatile	Up/Down	10, 50, 100	±20		50(80)	2,7–5,5			0–3(5)	300	20	Буферный повторитель (WMS7141)
WMS7130_1	1	32	лин	Nonvolatile	Up/Down	10, 50, 100	±20		50(80)	2,7–5,5			0–3(5)	300	20	Буферный повторитель (WMS7131)
WMS7120_1	1	64	лин	Nonvolatile	Up/Down	10, 50, 100	±20		50(80)	2,7–5,5			0–3(5)	300	20	Буферный повторитель (WMS7121)
WMS7170_1	1	100	лин	Nonvolatile	Up/Down	10, 50, 100	±20		50(80)	2,7–5,5			0–3(5)	300	20	Буферный повторитель (WMS7171)
WMS7110_1	1	128	лин	Nonvolatile	Up/Down	10, 50, 100	±20		50(80)	2,7–5,5			0–3(5)	300	20	Буферный повторитель (WMS7111)
WMS7100_1	1	256	лин	Nonvolatile	Up/Down	10, 50, 100	±20		50(80)	2,7–5,5			0–3(5)	300	20	Буферный повторитель (WMS7101)
WMS7201_2_4	1, 2, 4	256	лин	Nonvolatile	SPI	10, 50, 100	±20		50(80)	2,7–5,5			0–3(5)	500	20	Буферный повторитель, каскадное включение

навливается в начальное положение в ЦП с логарифмической характеристикой и в среднее положение в ЦП с линейной характеристикой. В AD5228 предустановка в начальное или среднее положение при подаче питания программируется коммутацией соответствующего вывода. Все ЦП фирмы Winbond Electronics и большая часть ЦП фирм Catalist Semiconductor и Intersil имеют встроенную энергонезависимую память. Все ЦП фирм Austriamicrosystems и Microchip, напротив, не имеют такой памяти. Среди ЦП, выпускаемых Analog Devices и Maxim, есть однократно программируемые изделия. Такие ЦП после установки движка в требуемое положение можно перевести в состояние, при котором последующая регулировка будет уже невозможна.

Допустимое напряжение на выводах

Принципиальное отличие ЦП от переменных резисторов в том, что напряжение на выводах ЦП не может быть больше регламентированного. Для большинства моделей это напряжение не может превышать напряжения питания. Подавляющее большинство ЦП предназначены для работы с однополярным источником питания напряжением 3–5 В, соответственно и потенциалы на выводах должны находиться в пределах 0–3(5) В. Это ограничивает область применения ЦП, но с учетом тенденции снижения питающего напряжения аппаратуры мест, в которых переменные резисторы не могут быть замене-

ны ЦП, остается все меньше. Потенциометры X9318, X9319 при напряжении питания 5 В имеют допустимый диапазон напряжений на выводах потенциометра 0–8 В и 0–10 В соответственно, а XISL95310, ISL95311 даже 0–13 В. ЦП AD5260, AD5262, AD5280, AD5282 при соответствующем напряжении питания в однополярном режиме допускают напряжения на выводах в пределах 0–15 В, а AD5290 и AD7376 — в пределах 0–30 В. X9313, X9314, X9511 и некоторые другие ЦП от Intersil при однополярном питании работоспособны и при отрицательных потенциалах на выводах потенциометра. Многие модели ЦП могут использоваться и с двухполярным питанием, обычно при этом номинальное напряжение источников питания вдвое меньше,

чем при однополярном питании, или равно ему. Такие ЦП, как X9420, X9428, DS1808, MAX5436_9, и некоторые другие, требуют наряду с питанием цифровой части отдельного двухполярного источника для питания аналоговой части, напряжение которого и определяет допустимый диапазон напряжений на выводах потенциометра. Для MAX5436_9 допустимый диапазон напряжений питания аналоговой части в пределах $\pm(5-15)$ В.

Полоса пропускания

Эквивалентная схема ЦП с учетом паразитных емкостей показана на рис. 2. Коэффициент передачи делителя имеет частотную зависимость, с ростом частоты входного сигнала

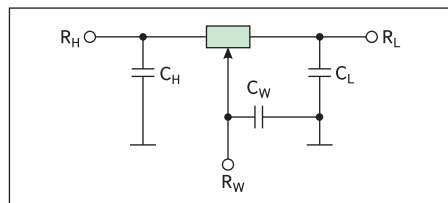


Рис. 2. Эквивалентная схема ЦП

коэффициент передачи уменьшается. Для всех ЦП, выпускаемых Austriamicrosystems, Analog Devices, Winbond Electronics, части ЦП Catalist Semiconductor и Maxim нормировано типовое значение полосы пропускания на уровне -3 дБ в режиме делителя напряжения при среднем положении движка, что позволяет сравнивать частотные свойства ЦП. Чем меньше номинальное сопротивление ЦП, тем шире его полоса пропускания. Для оценки пригодности ЦП в конкретном приложении с широкополосным сигналом потребуются провести расчеты полосы пропускания для реально возможных коэффициентов передачи делителя на постоянном токе. Типовые значения емкостей приводятся в справочных данных, для большинства ЦП $C_L = C_H = 10$ пФ, $C_W = 25$ пФ. Однако для ЦП Austriamicrosystems и Analog Devices типовые значения $C_L(C_H) = 10-140$ пФ, $C_W = 35-150$ пФ, а ЦП серий MCP41xxx, MCP42xxx от Microchip имеют рекордно малое значение $C_W = 5,6$ пФ. Заметная разница значений соответствующих емкостей для ЦП разных производителей может быть вызвана различиями в методиках измерения.

Шумы, помехи и искажения

Для большинства ЦП нормируется уровень собственных шумов. Как правило, ЦП с меньшим значением номинального сопротивления характеризуются и меньшими шумами.

Для ЦП характерен эффект проникновения цифровых управляющих сигналов в цепь переменного резистора через паразитные емкости. Для однократных заводских регулировок это несущественно. Но для оперативных

регулировок, когда появление помех нежелательно, например, для регулирования громкости в усилителе, следует использовать ЦП с нормированным уровнем помех.

Для некоторых многоканальных ЦП нормируется взаимовлияние сигналов переменного тока в разных каналах, например, для AD5262 этот показатель равен -64 дБ на частоте 10 кГц, а для X9460 соответственно -102 дБ на частоте 1 кГц.

Модуляция сопротивления канала коммутирующего МОП-транзистора вызывает нелинейные искажения сигнала в пределах 0,001–0,1%.

Интерфейс и адресация

Для управления ЦП используются в основном три типа управляющих шин: SPI, I²C и Up/Down. Для некоторых моделей интерфейсы называются 3-Wire и 2-Wire, чаще всего при этом обеспечена совместимость с SPI и I²C соответственно, но могут быть и исключения, которые отмечены в справочной документации на конкретную микросхему. Единственный ЦП, DS2890, имеет интерфейс 1-Wire, причем для исполнения в трехвыводном корпусе TO-92 через один вывод обеспечивается питание и управление. У части моделей ЦП предусмотрено по две разных шины управления, например SPI+I²C (AD5161, AD5263), 2-Wire+Up/Down (X9455), SPI+Up/Down (MAX5482_5).

Интерфейс Up/Down предоставляет возможность управлять ЦП вручную с помощью кнопок и существует в нескольких версиях. В AD5228 двумя кнопками — Push-Up и Push-Down — можно увеличить или соответственно уменьшить номер позиции движка. AD5227, CAT5111, CAT5113, CAT5116, X9116, X93154, WMS71xx имеют три вывода управления: \overline{CS} — выбор устройства, U/\overline{D} — направление, CLK или \overline{INC} — регулирование. В ЦП CAT5110, CAT5118_22, ISL90460_2, MCP4011_14 вывод \overline{CS} предназначен для выбора направления регулирования, а вывод U/\overline{D} — для регулирования.

Некоторые модели ЦП обладают возможностью адресации, что позволяет управлять группой потенциометров по одной управляющей цифровой шине. Наиболее распространенный способ адресации ЦП — коммутация в соответствующих комбинациях от одного до четырех адресных выводов на положительный полюс питания и на «землю». Этим обеспечивается работа на одной управляющей шине двух (X9420, X8421), четырех (AD5251_4, AD5259, CAT5132, CAT5411, ISL23711, ISL95311), восьми (X9428, ISL90840, DS1845) или шестнадцати (CAT5221, CAT5419) устройств. В AD5228 комбинацией уровней на двух адресных выводах с тремя состояниями можно задать девять адресов. MAX5417_19 имеют четыре установленных производителем адреса, определяемых буквенным суффиксом, коммутацией одного внешнего вывода адресация расширяется до восьми устройств. DS3902 поз-

воляет записать в энергонезависимую память до 128 адресов. Каждый DS2890 имеет уникальный 64-битный идентификационный номер, записанный производителем.

Конструктивное исполнение и условия эксплуатации

ЦП выпускаются в различных корпусах в зависимости от функциональных возможностей и требуемого количества выводов. Для монтажа в отверстия предназначены единственный в своем роде DS2890 в трехвыводном TO-92 и много моделей в пластиковых DIP-корпусах с числом выводов от 8 до 24. Большинство ЦП выпускаются в корпусах для поверхностного монтажа: пяти-, шестивыводных SOT-23, SC-70 и MSOP, SO, TSSOP с числом выводов от 8 до 24. Есть модели в миниатюрных корпусах TDFN и BGA.

Диапазон рабочих температур для подавляющего большинства ЦП от -40 до $+85$ °C. Часть моделей ЦП фирм Catalist Semiconductor и Intersil выпускаются и для применения при температурах от 0 до $+70$ °C. Пожалуй, только Austriamicrosystems и Analog Devices изготавливают ЦП с более широким температурным диапазоном эксплуатации, вплоть до автомобильного: от -40 до $+125$ °C.

Дополнительные функциональные возможности

ЦП DS3904_5 включают три переменных резистора с объединенными с GND выводами R_L и ключами в каждом из выводов R_H , которыми резистор переводится в высокоомпеданное состояние. В MAX5437 и MAX5439 есть некоммутируемый операционный усилитель с возможностью отключения, а в SMP9512 — встроенный источник опорного напряжения. Для экономии электроэнергии некоторые модели ЦП Analog Devices (AD5200_1, AD5241_2, AD5260, AD5262, AD5280, AD5282) и Microchip (MCP41XXX, MCP42XXX) имеют вывод \overline{SHDN} , позволяющий отключить управление. В некоторых ЦП (AD7376, MCP42XXX) предусмотрен вывод \overline{RS} для установки движка в среднее положение. В AD5165 со сверхнизким энергопотреблением — встроенный вход выбора устройства CS для уменьшения энергопотребления. Наличие входа MODE позволяет изменять сопротивление двух потенциометров в AD5222 либо одновременно, либо порознь. Два встроенных диода в AD2850 предназначены для построения логарифмирующего усилителя. Для исключения влияния сопротивления нагрузки на характеристики потенциометра несколько типов ЦП фирмы Catalist Semiconductor (CAT5111, CAT5112 и др.) имеют на выходе буферный повторитель. Некоторые ЦП с интерфейсом SPI (AD5232, DS1867, WMS7201_4 и др.) оснащены выходами данных, позволяющими включать группу ЦП цепью с управлением по одной шине.

Среди множества моделей ЦП особое место занимают MAX5420, MAX5421, MAX5430, MAX5431, предназначенные для применения в усилителях с программируемым усилением, и MAX5426, предназначенный для применения в инструментальных усилителях с программируемым усилением. Все они имеют по четыре ступени, для них с очень высокой точностью нормируется отношение сопротивлений (0,025, 0,09 и 0,5 %) в рабочем диапазоне температур.

Области применения

С расширением номенклатуры ЦП, появлением моделей с дополнительными функциональными возможностями расширяется и сфера их применения. Вот лишь некоторые:

- оперативные и заводские регулировки в источниках опорного напряжения и источниках питания;
- регулировка смещения нуля операционных усилителей;
- регулировки «нуля» и «диапазона» в разнообразных датчиках;
- регулировки контрастности и подсветки в ЖК-индикаторах,
- управление яркостью светодиодов;
- оперативные и заводские регулировки в аудио- и видеоаппаратуре, в том числе уп-

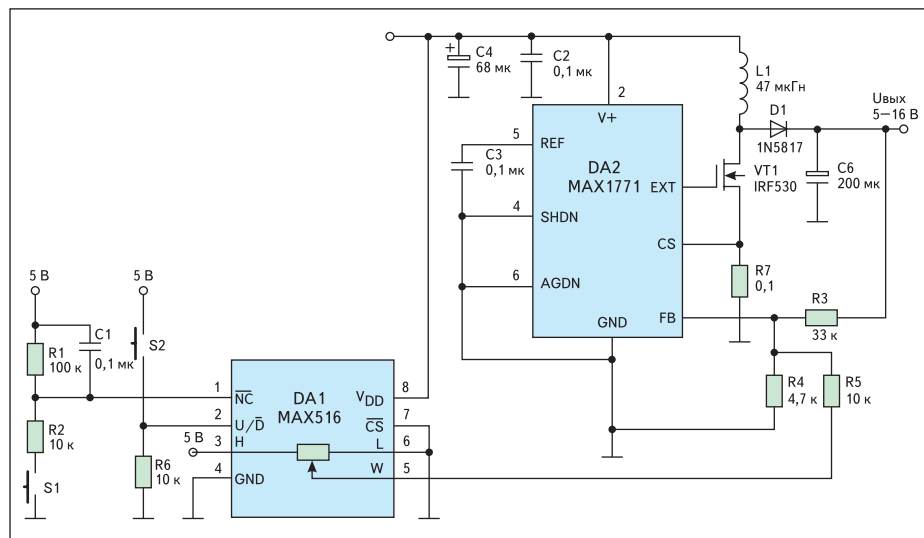


Рис. 3. Применение ЦП в стабилизаторе напряжения

равление громкостью и стереобалансом в аудиоаппаратуре среднего класса;

- управление частотой настройки, добротностью и усилением активных фильтров.

Схемы включения ЦП приведены как в справочных материалах на конкретные изделия, так и в многочисленных фирменных руководствах по применению. На рис. 3 изо-

бражена элегантная схема регулировки выходного напряжения импульсного стабилизатора напряжения. Характеристики стабилизатора слабо зависят от разброса номинального сопротивления ЦП и его ТКС.

Имеющаяся номенклатура ЦП предоставляет разработчику богатый выбор. Самые широкие возможности имеют ЦП от Analog Devices, Intersil и Maxim. ■