

Российская микросхема двухканального цифрового потенциометра на 256 положений с трехпроводным последовательным интерфейсом

Андрей ДЕРЕВЯГИН
Владислав БОДРОВ
bodrov@okbnzpp.ru

В настоящей статье кратко описаны назначение, принцип работы, конструкция, технические характеристики и рекомендации по применению новых российских микросхем 1272ПН1Т, 1272ПН2Т и 1272ПН3Т.

Широкая номенклатура цифровых потенциометров, выпускаемых такими зарубежными фирмами, как Analog Devices, Microchip Technology, Maxim, Intersil и др., проникает на российский рынок и с каждым годом все чаще применяется в новых разработках производителей электронной техники.

Микросхемы цифровых потенциометров предназначены для замены механических по-

тенсиометров, а также они используются в программируемых фильтрах, линиях задержки и источниках питания. Микросхемы позволяют улучшить технические характеристики аппаратуры: повысить надежность, быстродействие, точность подстройки и в то же время уменьшить габариты радиоэлектронных устройств.

Российская микроэлектронная промышленность до сих пор не выпускала такой класс микросхем, как «цифровые потенциометры», ни для широкого применения, ни для аппаратуры специального назначения.

Учитывая современную тенденцию развития, ФГУП «НЗПП с ОКБ» разработало цифровые потенциометры 1272ПНхТ, функциональным аналогом которых являются микросхемы DS1267 фирмы Dallas.

ФГУП «НЗПП с ОКБ» — одно из старейших в России предприятий, разрабатывающих и изготавливающих электронные компоненты и полупроводниковые приборы.

В последние годы ОКБ при НЗПП разработало несколько новых типов аналоговых микросхем, таких как эллиптический ФНЧ 8-го порядка 1478ФН1У, ФНЧ Баттерворта 8-го порядка 1478ФН2У, активный фильтр 8-го порядка 1478ФУ1Т и микросхемы цифровых потенциометров.

Микросхемы 1272ПН1Т, 1272ПН2Т, 1272ПН3Т представляют собой двухканальные цифровые потенциометры сопротивлением 10, 50 и 100 кОм соответственно. Они выполнены в 16-выводном металлокерамическом корпусе типа 402.16-39 и по расположению выводов аналогичны микросхемам DS1267-10, DS1267-50 и DS1267-100.

Условное графическое обозначение и таблица назначения выводов приведены на рис. 1.

Являясь функциональными аналогами микросхем фирмы Dallas, микросхемы 1272ПНхТ

имеют оригинальную принципиальную электрическую схему и топологию.

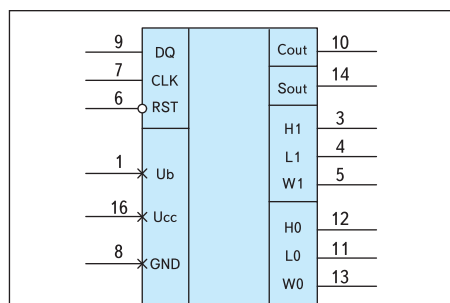
Для изготовления микросхем используется КМОП-технология с самосовмещенными 3-микронными поликремниевыми затворами и системой межсоединений, организованной на основе двухуровневой разводки. Размер кристаллов микросхем 5,05×3,1 мм (отличия микросхем 1272ПН1Т, 1272ПН2Т и 1272ПН3Т друг от друга состоят только в слое поликремния, с помощью которого и реализованы резистивные секции).

Микросхемы 1272ПНхТ (рис. 2) содержат два цифровых полупроводниковых потенциометра, каждый из которых состоит из 256 резистивных секций (или элементарных резисторов). Между каждой резистивной секцией и выводами потенциометра существуют точки, к которым подсоединяется «движок» — средний перемещаемый вывод потенциометра.

Кроме того, структурная схема включает в себя:

- 2 дешифратора «8 на 256», выходы которых управляют работой ключей;
- 2 блока преобразователей уровня;
- 2 регистра, в которые переписывается конфигурация «движка» соответствующего потенциометра из сдвигового регистра;
- 17-разрядный сдвиговый регистр, в который по трехпроводному интерфейсу записывается конфигурация «движков» обоих потенциометров и «бит стыковки»;
- схему управления;
- триггер «бита стыковки», преобразователь уровня и аналоговые ключи по выходу Sout.

Принцип работы микросхемы основан на программировании положения «движка», позиция которого задается 8-битной величиной, то есть значением, определяющим, к какой именно точке «ленточного» резистора присоединен «движок».



Номер вывода	Обозначение	Назначение
1	Ub	Напряжение смещения отрицательной полярности
2	—	Не используется
3	H1	Верхний вывод потенциометра R1
4	L1	Нижний вывод потенциометра R1
5	W1	Перемещаемый вывод потенциометра R1
6	RST	Вход «СБРОС» последовательного порта
7	CLK	Вход «СИНХРОНИЗАЦИЯ» последовательного порта
8	GND	Общий
9	DQ	Вход «ДАННЫЕ» последовательного порта
10	Cout	Выход «ДАННЫЕ»
11	L0	Нижний вывод потенциометра R0
12	H0	Верхний вывод потенциометра R0
13	W0	Перемещаемый вывод потенциометра R0
14	Sout	Переключаемый вывод потенциометров
15	—	Не используется
16	Ucc	Напряжение питания положительной полярности

Рис. 1. Условное графическое обозначение и таблица назначения выводов микросхемы цифрового потенциометра

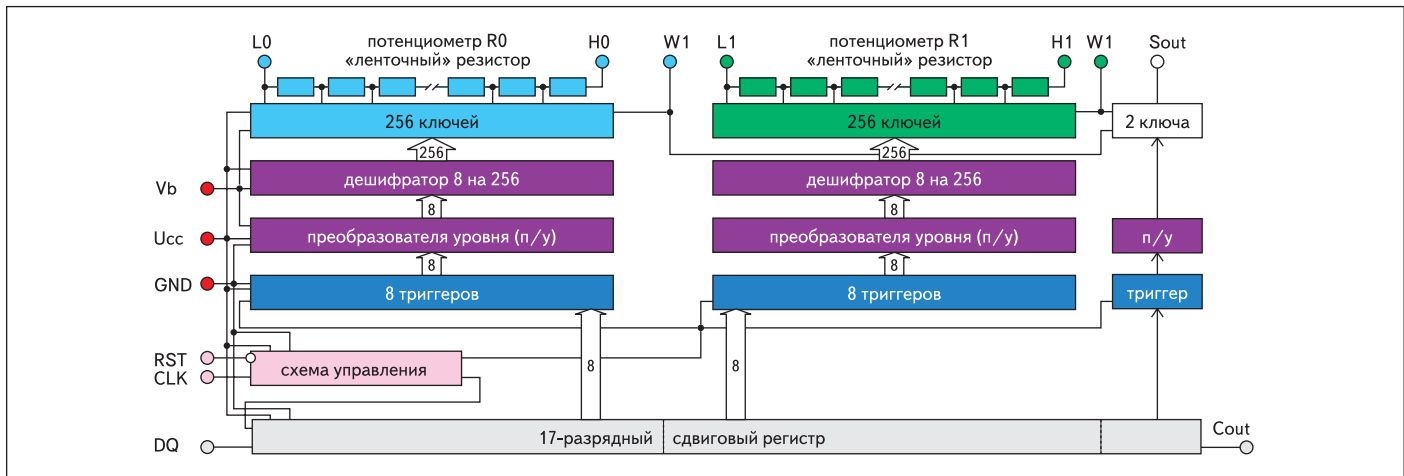


Рис. 2. Структурная схема

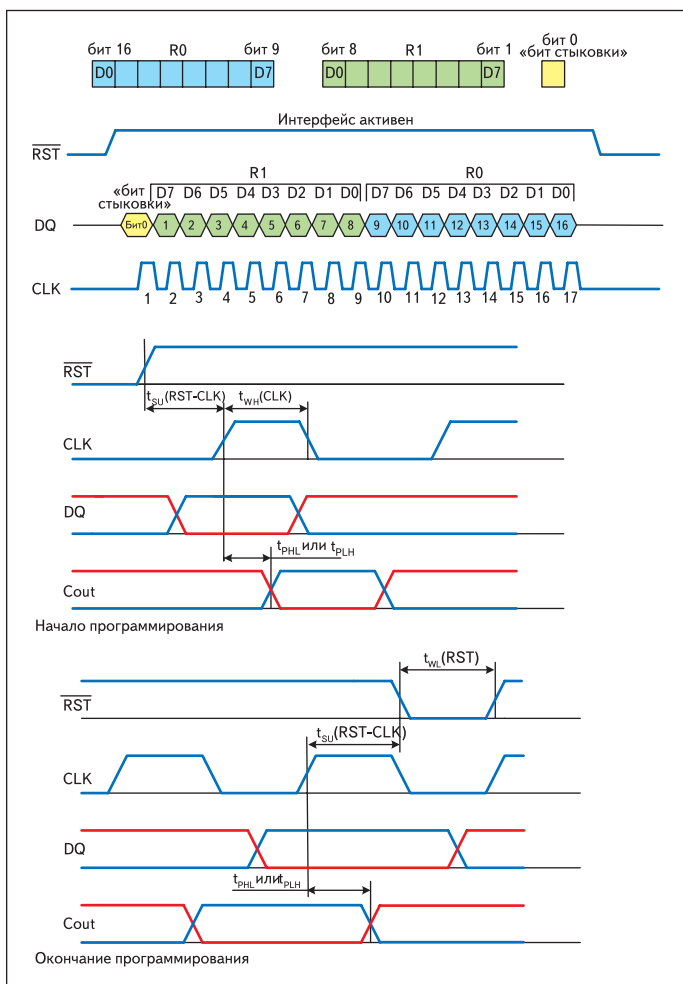


Рис. 3. Временная диаграмма программирования микросхемы

Программирование микросхемы осуществляется посредством трехпроводного последовательного интерфейса, состоящего из трех входных сигналов: RST, CLK и DQ. Временная диаграмма программирования микросхемы по трехпроводному интерфейсу приведена на рис. 3. В начале программирования сигнал RST должен иметь высокий уровень. Вход CLK используется для синхронизации программируемых данных. Вход DQ используется для записи данных о позиции «движков» и «бита стыковки» в 17-битный сдвиговый регистр. При программировании сначала записывается «бит стыковки», потом программи-

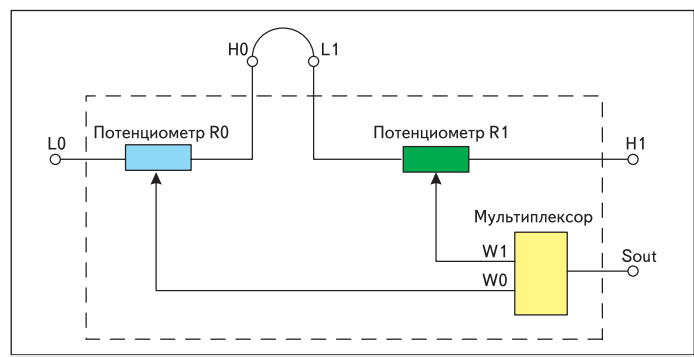


Рис. 4. Последовательное сопротивление потенциометров микросхемы

руется байт для «потенциометра R1», начиная со старшего разряда, и последним программируется байт для «потенциометра R0», начиная со старшего разряда. Запись программируемых данных происходит по фронту сигнала CLK. После окончания программирования сигнал RST должен быть переведен в низкий уровень, в результате чего производится установка «движков» в заданное положение, а также блокируется запись в сдвиговый регистр.

Если в каком-либо устройстве, использующем микросхему 1272ПНХТ, требуется подключить только один потенциометр на 256 положений (другой не будет использован), то рекомендуется использовать «потенциометр R0». Это позволит упростить, а значит, ускорить управление его «движком». Чтобы установить «движок» в требуемое положение, необходимо сигнал RST перевести в высокий уровень, записать только байт для «потенциометра R0», начиная со старшего разряда, а затем сигнал RST перевести в низкий уровень.

Если два потенциометра микросхемы соединить последовательно, как показано на рис. 4, то такая конфигурация позволяет получить удвоенное полное сопротивление с 512 резистивными секциями. «Движком» этого удвоенного сопротивления будет мультиплексированный вывод сопротивления Sout, который является переключаемым выводом сопротивлений потенциометра R0 или потенциометра R1. Если «бит стыковки» установлен в «0», вывод Sout будет выводом сопротивлений с «движка» «потенциометра R0», если в «1» — с «движка» «потенциометра R1».

Особенностью микросхемы является возможность контроля нескольких последовательно соединенных микросхем 1272ПНХТ, как показано на рис. 5, при помощи одного программирующего устройства, например процессора. При таком подсоединении информация для второй от процессора микросхемы берется с выхода Cout первой микросхемы. Программирование второй микросхемы происходит через сдвиговый регистр первой микросхемы, и общее количество

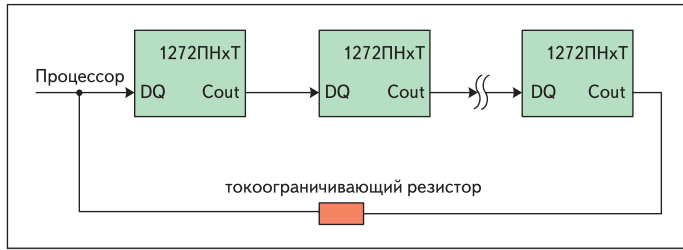


Рис. 5. Последовательное соединение микросхем 1272ПНхТ

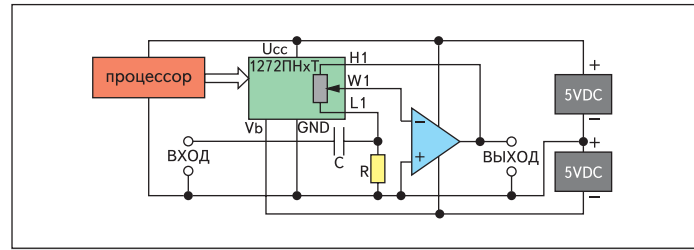


Рис. 6. Типовая схема подключения микросхем 1272ПНхТ к аналоговым цепям

импульсов по входу CLK становится равным 34 (то есть удваивается). При использовании еще большего количества последовательно подсоединенных микросхем количество импульсов по входу CLK увеличивается на 17 на каждую дополнительно подсоединенную микросхему. Если между выводом Cout последней в цепочке микросхемы и входом DQ первой микросхемы подключен внешний токоограничивающий резистор, то у процессора появляется возможность не только программировать, но и считывать данные из микросхем. Сопротивление токоограничивающего резистора должно быть не менее 1 кОм.

С целью расширения разрешенного диапазона напряжения, подаваемого на потенциометр, предусмотрен вывод Vb, на который подается отрицательное напряжение до -5,0 В. На рис. 6 приведена типовая схема подключения микросхем 1272ПНхТ к аналоговым цепям. В данном случае процессор мо-

жет оперативно изменять коэффициент усиления сигнала от входа к выходу. Амплитуда выходного сигнала при этом может быть от -5 В до +5 В.

Микросхемы 1272ПНхТ соответствуют электрическим параметрам и условиям эксплуатации, приведенным в таблицах 1 и 2 соответственно.

Микросхемы 1272ПНхТ являются TTL-совместимыми. Типовой статический ток потребления микросхем при $T = 25^\circ\text{C}$ составляет менее 10 мкА. Скорость программирования микросхемы по трехпроводному интерфейсу определяется частотой CLK входного сигнала. Критерием работоспособности микросхемы при увеличении тактовой частоты является правильность работы регистра сдвига. При норме на этот параметр 10,0 МГц (скважность сигнала равна 2) реальная частота тактового сигнала была повышена до 20,0 МГц без видимых сбоев в работе

сдвигового регистра. Однако максимальная тактовая частота ограничена другими причинами. К примеру, задержка распространения сигнала от тактового входа CLK до выхода Cout накладывает ограничение на максимальную частоту тактового сигнала при последовательном включении нескольких микросхем.

Из параметров, приведенных в таблице 1, следует обратить особое внимание на такие параметры, как «допустимое отклонение сопротивления от номинала $\Delta R/R_0$ », «абсолютную линейность резистора R-ANL», «относительную линейность резистора R-ONL» и «температурный коэффициент сопротивления потенциометра $\Delta R/\Delta T$ ».

Допустимое отклонение сопротивления от номинала $\Delta R/R_0$ определяется по отклонению падения напряжения на всем потенциометре при заданном токе и вычисляется по формуле:

$$\Delta R/R_0 = 100\% \times (R_1 - R_0)/R_0,$$

где R_1 — значение измеренного сопротивления, R_0 — значение сопротивления 10 кОм (для 1272ПН1Т), 50 кОм (для 1272ПН2Т), 100 кОм (для 1272ПН3Т).

Во многих применениях потенциометров первостепенным является не разброс полного сопротивления, а параметры, определяющие точность позиционирования «движка». В самом деле, коэффициент усиления схемы, представленной на рис. 6, в первую очередь зависит от соотношения сопротивлений, подключенных «между сигналом и входом ОУ» и «между входом ОУ и его выходом». Такими параметрами точности позиционирования «движка» являются абсолютная линейность резистора R-ANL и относительная линейность резистора R-ONL.

Расчет абсолютной линейности резистора R-ANL производится путем измерения выходного напряжения на выводе «движка» при поданных на микросхему напряжениях питания и рассчитывается по формуле:

$$R\text{-ANL} = (U_1 - U_0)/MI,$$

где U_1 — значение измеренного выходного напряжения; U_0 — ожидаемое значение выходного напряжения при идеальной конструкции; MI — падение напряжения на элементарном резисторе, рассчитанное как ве-

Таблица 1. Электрические параметры микросхем 1272ПНхТ при $-60^\circ\text{C} \leq T \leq +90^\circ\text{C}$, $U_{CC} = 5\text{ В}$ (если не указано иное)

Наименование параметра, единица измерения, режим измерения	Буквенное обозначение	Значение параметра			Режим измерения
		не менее	типичное	не более	
Выходное напряжение низкого уровня, В	U_{OL}			0,8	$I_{OL} = 4\text{ мА}$
Выходное напряжение высокого уровня, В	U_{OH}	2,4			$I_{OH} = 1\text{ мА}$
Ток потребления, мкА	I_{CC}		10	650,0	$U_{CC} = 5,5\text{ В}$
Входной ток, мкА	I_i			$\pm 1,0$	$U_{CC} = 5,5\text{ В}$ $U_{IN} = 5,5\text{ В}$ $U_i = 0\text{ В}$
Допустимое отклонение сопротивления от номинала, %	$\Delta R/R_0$			$\pm 20,0$	$T = 25^\circ\text{C}$
Абсолютная линейность резистора, отн. ед.	R-ANL		$\pm 0,75$	$\pm 2,0$	$T = 25^\circ\text{C}$
Относительная линейность резистора, отн. ед.	R-ONL		$\pm 0,3$	$\pm 3,0$	$T = 25^\circ\text{C}$
Частота следования импульсов тактовых сигналов CLK, МГц	f_c			10	$U_{CC} = 4,5\text{ В}$ $C_L = 50\text{ пФ}$
Длительность сигнала CLK высокого уровня, нс	$t_{WH}(\text{CLK})$		50		$U_{CC} = 4,5\text{ В}$
Время задержки распространения сигнала при включении и выключении от входа CLK до выхода COUT, нс	t_{PLH}, t_{PHL}			50	$U_{CC} = 4,5\text{ В}$
Время установления сигнала RST в высокий или низкий уровень относительно фронта сигнала CLK, нс	$t_{SU}(\text{RST-CLK})$		50		$U_{CC} = 4,5\text{ В}$
Минимальная длительность сигнала RST низкого уровня, нс	$t_{WL}(\text{RST})$		125		$U_{CC} = 4,5\text{ В}$
Температурный коэффициент сопротивления, ppm/ $^\circ\text{C}$	$\Delta R/\Delta T$		700	800	
Полоса пропускания, кГц на уровне минус 3 дБ - для 1272ПН1Т - для 1272ПН2Т - для 1272ПН3Т	BW_10K BW_50K BW_100K			1000 200 80	$T = 25^\circ\text{C}$

Таблица 2. Предельно допустимые и предельные режимы эксплуатации

Наименование параметра режима, единица измерения	Буквенное обозначение	Норма			
		Предельно допустимый режим		Предельный режим	
		не менее	не более	не менее	не более
Напряжение питания, В	U_{CC}	4,5	5,5	-0,5	7,0
Напряжение, приложенное к любым входам относительно земли ($U_b = 0\text{ В}$), В	U_i	0	U_{CC}	-0,5	$U_{CC} + 0,5$
Напряжение, приложенное к выводам резистора, В	U_{IR}	U_b	U_{CC}	$U_b - 0,5$	$U_{CC} + 0,5$
Напряжение на выводе U_b , В	U_b	-5,0	0	-5,0	0
Рабочая температура, $^\circ\text{C}$	T_A	-60	90	-60	125

личина напряжения на всем «ленточном» резисторе, деленная на количество последовательно подключенных элементарных резисторов (256 или 512 в зависимости от схемы включения).

Расчет относительной линейности резистора R-ONL производится путем измерения выходных напряжений на выводе «движка» в двух соседних точках (напряжения на концах элементарного резистора) при поданных на микросхему напряжениях питания и рассчитывается по формуле:

$$R-ONL = ((U_{(R+1)} - U_{(R)})/MI) - 1,$$

где $U_{(R+1)}$ и $U_{(R)}$ — значения напряжений, измеренных в двух соседних заданных точках. Разность этих напряжений есть падение напряжения на одном «элементарном» резисторе.

На рис. 7 приведена типовая зависимость абсолютной R-ANL и относительной R-ONL линейности резистора микросхемы 1272ПНхТ при последовательном соединении потенциометров, образующих 512 резистивных секций. Как видно из приведенного рисунка, абсолютная линейность резистора R-ANL находится в диапазоне $-0,6 \dots +0,6$ отн. ед., а относительная линейность резистора R-ONL находится в диапазоне $-0,3 \dots +0,3$ отн. ед.

Одним из важных параметров, характеризующих температурную стабильность сопротивлений потенциометров, является температурный коэффициент сопротивления $\Delta R/\Delta T$. Его расчет производится путем определения относительного изменения сопротивления потенциометра при крайних температурах и вычисляется по формуле:

$$\Delta R/\Delta T = (R_1 - R_0)/R_0 \times (T_1 - T_0)$$

где R_1 — сопротивление потенциометра при температуре $T_1 = 90^\circ\text{C}$; R_0 — сопротивление потенциометра при температуре $T_0 = 25^\circ\text{C}$.

Типовое значение температурного коэффициента сопротивления по обследованным экспериментальным образцам микросхем 1272ПНхТ составляет $700 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$.

Параметром, определяющим частотные свойства потенциометров 1272ПНхТ, является полоса пропускания на уровне -3 дБ . Учитывая, что конструкции микросхем 1272ПН1Т, 1272ПН2Т, 1272ПН3Т имеют различные топологические исполнения «ленточного» резистора, значения полосы пропускания также будут различными из-за наличия паразитных сопротивлений и емкостей, вызывающих на высоких частотах ослабление выходного сигнала. Возможно два варианта подключения «ленточного» резистора к операционному усилителю при измерении полосы пропускания. Первый вариант: «ленточный» резистор как делитель напряжения входного сигнала (рис. 8). Второй вариант: «ленточный» резистор, включенный в обратную связь операционного усилителя (рис. 6).

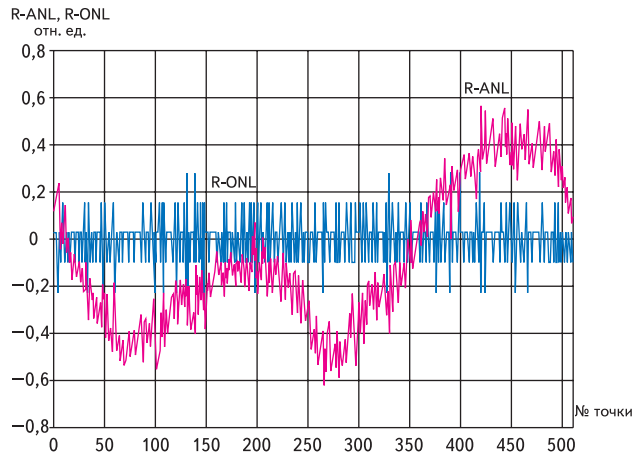


Рис. 7. Типовая зависимость абсолютной R-ANL и относительной R-ONL линейности резистора микросхемы 1272ПНхТ при последовательном соединении потенциометров

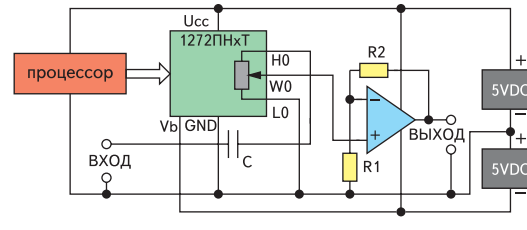


Рис. 8. Использование потенциометра микросхемы в качестве делителя напряжения входного сигнала

Измерение АЧХ проводилось в схеме включения, показанной на рисунке 8 (элементы С и R1 отсутствуют, R2 = 0 кОм и в качестве ОУ использован AD8040AR).

Были определены значения полосы пропускания по уровню -3 дБ , которые составили: для 1272ПН1Т — $1500\text{--}1600 \text{ кГц}$, для 1272ПН2Т — $250\text{--}300 \text{ кГц}$, для 1272ПН3Т — $100\text{--}110 \text{ кГц}$.

В цепи «движка» потенциометра, с которого снимается выходной сигнал, последовательно стоит «ленточный» ключ, обладающий нелинейным сопротивлением.

На рис. 9 показано сопротивление ленточного ключа в зависимости от входного напряжения при разных напряжениях питания:

- режим 1: $U_{cc} = 5,0 \text{ В}$; $U_b = -5,0 \text{ В}$
- режим 2: $U_{cc} = 5,0 \text{ В}$; $U_b = 0 \text{ В}$.

Максимальное сопротивление «ленточного» ключа в режиме 1 равно $2,3 \text{ кОм}$ и в режиме 2 равно 850 Ом .

Выводы «движков» (5 и 13 выходы микросхемы) являются «потенциальными», то есть необходимо предусмотреть меры по исключению протекания постоянного тока через эти выводы. Для этого рекомендуется снимать выходной сигнал с потенциометра устройством, имеющим высокое входное сопротивление (например, через операционный усилитель с наноамперным входным током).

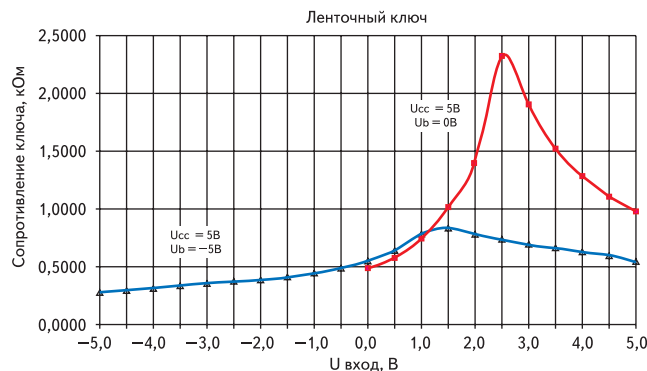


Рис. 9. Сопротивление «ленточного» ключа в зависимости от входного напряжения при разных напряжениях питания

При включении микросхемы 1272ПНхТ необходимо подать напряжение питания U_{cc} одновременно с напряжением смещения отрицательной полярности U_b . Если вывод U_b не используется, то на него необходимо подать 0 В (GND).

Испытания на устойчивость микросхем к тиристорному включению показали, что наиболее опасным является изменение напряжения на выводе V_b , производимое через «обрыв». Поэтому рекомендуется данный вывод всегда держать подключенным к источнику напряжения отрицательной полярности или к GND.

Для получения максимально высоких характеристик параметров потенциометров рекомендуется термостабилизировать микросхему или, по крайней мере, не допускать неравномерности распределения температуры вдоль корпуса.

Хотя микросхемы имеют защиту от статического электричества (устойчивы к воздействию статического электричества с потенциалом не более 500 В), рекомендуется не пренебрегать стандартными мерами защиты.

Разработанные микросхемы цифровых потенциометров освоены серийно и могут выпускаться в необходимых количествах.

Благодаря опыту разработки и наличию производственных мощностей, а также при определенном спросе со стороны потребителей, ФГУП «НЗПП с ОКБ» может разработать и изготовить другие типоминималы цифровых потенциометров с требуемыми электрическими параметрами и различными интерфейсами программирования как для широкого применения, так для и аппаратуры специального назначения. ■

Литература

1. Отчет по ОКР «Разработка микросхемы двухканального цифрового потенциометра на 256 положений с трехпроводным последовательным интерфейсом и сопротивлением 10, 50, 100 кОм (функциональный аналог DS1267 фирмы Dallas, США)».
2. Dual Digital Potentiometer Chip, DS 1267 102199.
3. Технические условия «АЕЯР.431321.420 ТУ».
4. www.okbnzpp.ru