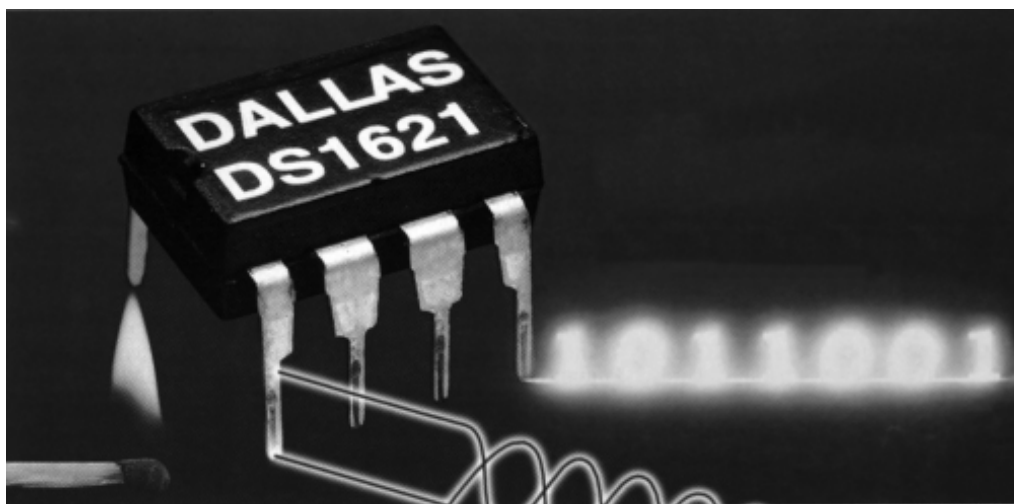


Termostaty jednoukładowe

Specjalizacja produkowanych wspólnie układów scalonych zatacza coraz szersze kręgi. Dzięki niej coraz większą ilość problemów, często spotykanych w różnego rodzaju urządzeniach elektronicznych, można rozwiązać przy pomocy jednego układu scalonego, zastępującego złożone funkcjonalnie moduły, wykonane w technice dyskretniej.

W artykule prezentujemy grupę specjalizowanych układów scalonych, które stosunkowo niedawno wprowadzono na rynek - są to termostaty jednoukładowe.



Kłopoty z kontrolowaniem temperatury w urządzeniach elektronicznych pojawiły się w chwili, kiedy zaczęto powszechnie stosować elementy półprzewodnikowe. Pierwsze tranzystory i diody wykonywane były z bardzo czułego termicznie germanu, lecz mimo ciągłego udoskonalania technologii i wprowadzania coraz to nowych modyfikacji do stosowanych materiałów problemu nie udało się rozwiązać do końca. Każdy konstruktor - elektronik spotkał się z pewnością z całym szeregiem problemów związanych z negatywnym wpływem zmian temperatury na pracę tworzonych urządzeń. Niestabilność punktów pracy elementów aktywnych oraz zmniejszająca się wraz ze wzrostem temperatury odporność na uszkodzenia elementów półprzewodnikowych, stanowi cały czas bardzo istotny problem do rozwiązania dla konstruktorów.

Opracowano oczywiście wiele technik układowych, minimalizujących wpływ temperatury na pracę układów elektronicznych, nie zawsze jednak zdają one w pełni egzamin. Konstruowanie radiatorów dla elementów, w których wydziela się duża ilość energii jest osobną, bardzo obszerną dziedziną wiedzy, lecz często spotykane są sytuacje, kiedy takie środki zabezpieczające nie są wystarczające.

Z największymi trudnościami borykają się konstruktorzy wzmac-

niaczy dużej mocy, zasilaczy oraz przetwornic - są to aplikacje wymuszające na elementach mocy pracę w skrajnych warunkach termicznych, często na granicy obszaru bezpiecznej pracy SOAR (ang. Safe Operation Area).

Wraz ze wzrostem wymagań stawianych konstrukcjom elektronicznym niezbędne okazało się stosowanie wspomaganych układów chłodzących i stabilizujących temperaturę. Droższe wersje przedwzmacniaczy audio klasy audiofilskiej (np. X-9908 firmy Loran) są wyposażone w moduły termostatów gwarantujących utrzymanie w stabilnej temperaturze ok. 15°C wszystkich elementów tworzących pierwsze stopnie wzmocnienia i korekcji. Aby utrzymać temperaturę na żądanym poziomie, w komorze termicznej zastosowano moduł grzejąco-chłodzący (z płytka Peltiera), sterowany cyfrowym regulatorem PID. W ocenie konstruktorów rozwiązanie to ogranicza poziom szumów i znacznie poprawia liniowość charakterystyki przenoszenia. Zdanie klientów jest chyba podobne, ponieważ według oficjalnych danych Loran sprzedaje blisko 50 sztuk tych przedwzmacniaczy miesięcznie, a warto zaznaczyć, że cena takiego urządzenia przekracza nieco 8000 funtów brytyjskich.



Nieco mniej awangardowym przykładem zastosowania układów termostatycznych mogą być powszechnie stosowane „inteligentne” radiatory zintegrowane z wentylatorem, wykorzystywane do chłodzenia procesorów stosowanych we współczesnych komputerach domowych. Cała „inteligencja” tych radiatorów polega

wyduje się nieco wydumane. Cóż to za problem zbudować termostat progowy? Wystarczy przecież wzmacniacz operacyjny lub tani komparator, kilka elementów biernych, jakiś czujnik temperatury i po problemie!

Rzeczywiście, zbudowanie termostatu nie jest obecnie zbyt kłopotliwe. Szeroka gama doskonałych jakościowo, stosunkowo taniach i łatwych w zdobyciu czujników temperatury oraz pozostałych elementów powoduje, że nawet mało wprawny konstruktor może bez większych trudności samodzielnie wykonać termostat.

Cóż więc wymusiło na producentach układów scalonych uzupełnienie oferty produkcyjnej o scalone termostaty? Jest to z jednej strony odpowiedź na rosnące wymagania użytkowników - konstruktorów, którzy uczą się (i chyba słusznie) stosowania coraz większej liczby specjalizowanych układów scalonych, pozwalających w sposób optymalny rozwiązać zadane problemy. Z drugiej strony, rozszerzenie oferty produkcyjnej zostało wymuszone realiami rynku masowego - znacznie łatwiej jest przejść wszystkie niezbędne etapy budowania produkowanego urządzenia, które składa się z jednego układu scalonego,

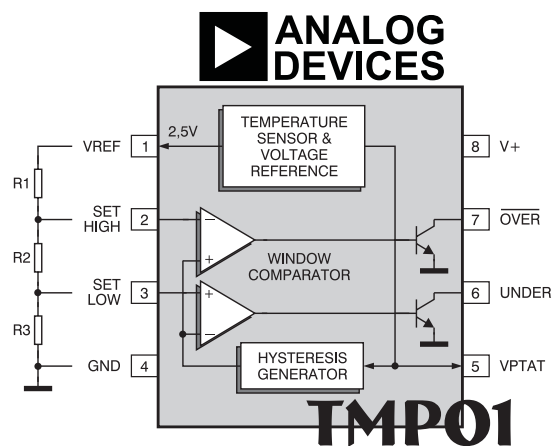
termostatów, różniące się zasadą dokonywania pomiaru, sposobem programowania nastaw temperatury, sposobem sterowania zewnętrznymi układami sterującymi, obudowami, itd.

Ze względu na dużą różnorodność dostępnych wersji termostatów usystematyzowanie informacji o nich postanowiliśmy rozpocząć od stworzenia najprostszego podziału, opartego na sposobie obróbki sygnału z czujnika temperatury.

Termostaty analogowe

Niezaprzeczalnym liderem w tej grupie układów są opracowania firmy Analog Devices. Fakt ten jest dość oczywisty, biorąc pod uwagę wieloletnie doświadczenia AD w produkcji różnorodnych układów analogowych.

Układ TMP01 (rys.1) integruje w swojej strukturze półprzewodnikowy czujnik temperatury, źródło napięcia referencyjnego, komparator okienkowy i moduł generatora histerezy. Wyjścia komparatora okienkowego buforowane są przez dwa tranzystory bipolarne z otwartymi kolektorami. Wydajność prądowa tych tranzystorów wynosi 20mA. Jedno z wyjść można wykorzystać do załączania grzałki po przekroczeniu progu temperatury minimalnej (oznaczone *UNDER*), drugie umożliwia sterowanie pracą układu chłodzą-



Rys. 1.

na zastosowaniu wentylatora włączanego elektronicznym termostatem, który jest uruchamiany tylko wtedy, gdy temperatura obudowy zabezpieczanego elementu przekroczy wartość dopuszczalną.

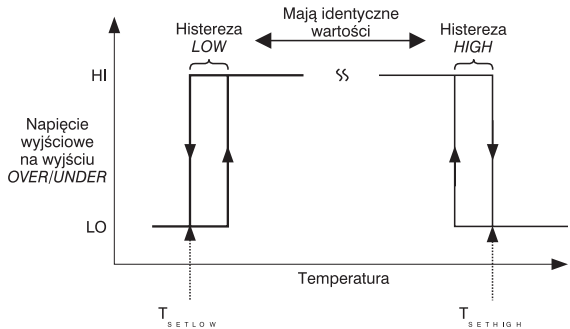
Podobne rozwiązania są stosowane w zasilaczach wyższej klasy - dzięki załączaniu silnika wentylatora tylko w sytuacjach tego wymagających, ogranicza się pobór energii przez całe urządzenie, zmniejszony jest także poziom generowanego hałasu.

Na pierwszy rzut oka zagadnienie, którym się tutaj zajmujemy,

niż gdyby składało się ono z kilkunastu elementów. Znacznie prostsza jest zarówno logistyka produkcji, montaż urządzenia, jego uruchamianie i testowanie.

W chwili obecnej scalone termostaty znajdują się w ofercie produkcyjnej trzech liczących się firm: Analog Devices, Dallas Semiconductor oraz National Semiconductor. Każda z firm opracowała własne rodziny





Rys. 2.

cego, np. modułu Peltiera. Jest ono uaktywniane po przekroczeniu górnego progu temperatury (wyjście to nosi oznaczenie OVER). Układ TMP01 może być zasilany napięciem z zakresu 4,5..13,2V. Pobór prądu nie przekracza 500µA, przy zasilaniu napięciem 5V.

Temperatury progowe ustala się przy pomocy rezystorów R1..3. Tak więc programowanie zakresów przełączania polega na dobraniu ich wartości. Napięcie odniesienia, które zasila dzielnik referencyjny, jest wysokostabilne i w praktyce niezależne od czynników zewnętrznych. Na wyjściu oznaczonym VPTAT pojawia się napięcie zależne od temperatury o współczynniku zmiany 5mV/°C.

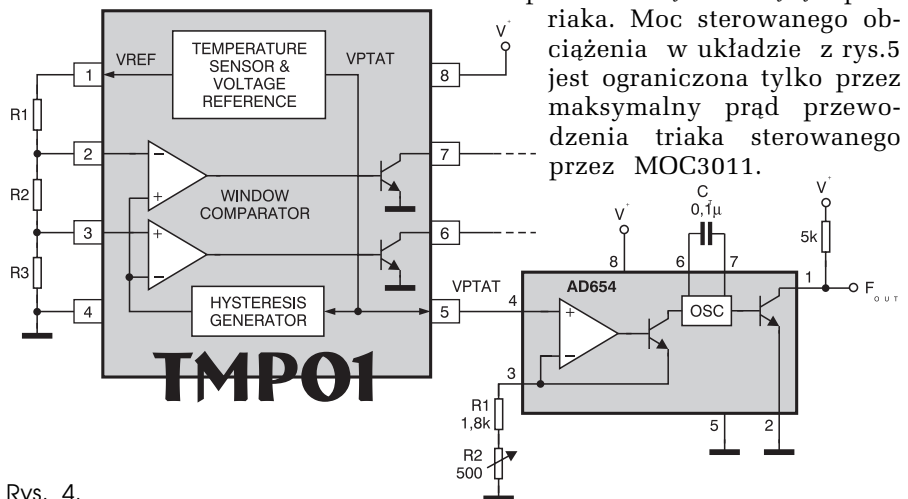
Dzięki wbudowaniu w strukturę układu TMP01 generatora histerozy, uniknięto niebezpieczeństwa powstania oscylacji na progach przełączania. Na rys.2 przedstawiono prosty wykres obrazujący wpływ histerozy na działanie sterowanych przez układ TMP01 elementów. Szerokość histerozy,

podobnie jak progi przełączania, można programować przy pomocy odpowiednio dobranych rezystorów.

Nieco bardziej rozbudowaną konstrukcją jest układ TMP12 (rys.3). Najważniejszą, z punktu widzenia użytkownika, różnicą pomiędzy układami TMP01 i TMP12 jest wbudowanie w strukturę tego drugiego rezystora spełniającego rolę grzałki. Dzięki zastosowaniu tego rezystora możliwe jest wykorzystanie układu m.in. do pomiaru szybkości przepływu powietrza (w konsekwencji jakości wywołanego tym przepływem chłodzenia) w obudo-

Układ z rys.4 spełnia rolę konwertera temperatura - częstotliwość. W tej aplikacji układ TMP01 wykorzystany jest tylko jako zwykły czujnik temperatury. Elementy tworzące termostat nie są tutaj wykorzystane.

Aplikacja przedstawiona na rys.5 przedstawia sposób sterowania przez układ TMP01 obciążeniami o dużej mocy. Dzięki zastosowaniu jako bufora napięciowo-prądowego optoizolowanego triaka możliwe jest odizolowanie galwaniczne części pomiarowej od obciążenia. Ponieważ termostat pobiera bardzo niewielką moc możliwe jest zasilanie części pomiarowej chociażby z baterii. Jej żywotność jest ograniczona w praktyce tylko przez prąd pobierany przez diodę świecącą optotriaka. Moc sterowanego obciążenia w układzie z rys.5 jest ograniczona tylko przez maksymalny prąd przewodzenia triaka sterowanego przez MOC3011.



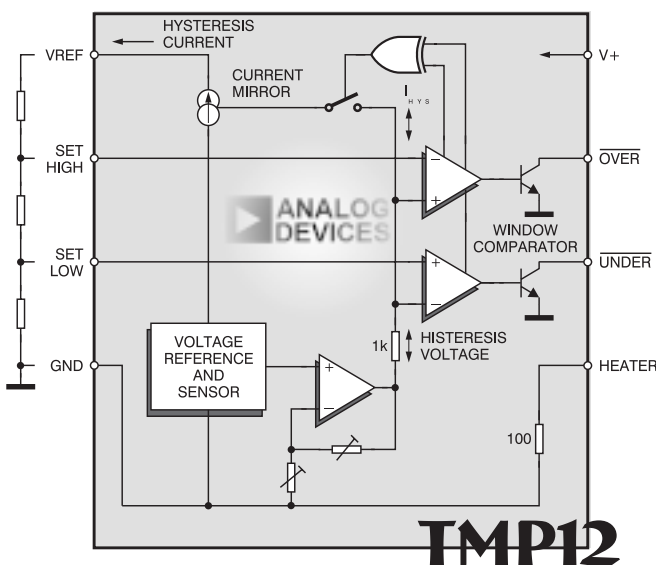
Rys. 4.

wie urządzenia elektronicznego. Inną możliwością wykorzystania tego rezystora jest przesunięcie skali pomiaru w wyniku zadania przy jego pomocy wstępnej temperatury, która będzie traktowana jako „0” skali.

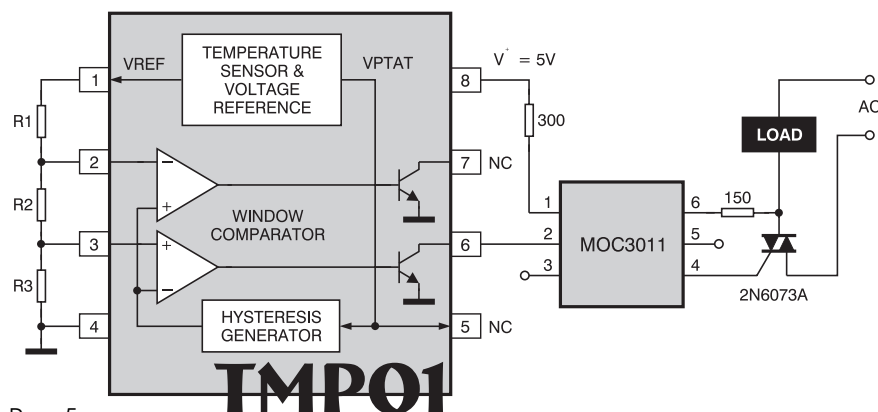
Układy TMP01 i TMP12 mają identyczny układ wyprowadzeń, dzięki czemu mogą być stosowane zamiennie, bez konieczności modyfikowania płytki drukowanej. Podobne są także ich układy aplikacyjne - przykłady pokazano na rys.4..6.

Rys.6 przedstawia sposób sterowania przez układ TMP01 przełączników, które załączają bezpośrednio obciążenia dużej mocy. W przypadku, gdy cewka przekątnika nie wymaga sterowania prądem o natężeniu większym niż 20mA możliwe jest jej bezpośrednie zasilanie z wyjścia układu. W przypadku, gdy pobór prądu jest większy niż 20mA należy zastosować układ buforujący. W aplikacjach wymagających precyzyjnego pomiaru temperatury producent zaleca stosowanie zewnętrznych buforów prądowych, ponieważ obciążenie znacznymi prądami tranzystorów wyjściowych układu wywołuje zjawisko samopodgrzewania struktury, które jest wynikiem strat mocy w tych tranzystorach.

Ostatnim układem - termostatem z oferty Analog Devices jest



Rys. 3.



Rys. 5.

AD22105. Jego budowę wewnętrzną przedstawiono na rys.7. Jest on znacznie prostszy i łatwiejszy w stosowaniu od dwóch już opisanych układów, nie oznacza to jednak, że jest on mniej funkcjonalny. Dokładność pomiaru temperatury przez AD22105 wynosi ok. 2,0°C, a wewnętrzna (zadana przez producenta) histereza 4°C. Próg przełączania zadawany jest przy pomocy jednego tylko zewnętrznego rezystora, który jest włączony pomiędzy wyprowadzenie RSET i masę zasilania. Dopuszczalny zakres napięcia zasilającego wynosi 2,7..7V, a moc rozpraszana w strukturze nie przekracza 230μW (przy 3,3V).

Układ AD22105 opracowano przede wszystkim z myślą o stosowaniu w urządzeniach zasilanych niskim napięciem (baterijnie). Rezystor 200kΩ wbudowany w strukturę układu można wykorzystać jako element „podciągający” napięcie na kolektorze tranzystora wyjściowego. Maksymalny prąd kolektora tego tranzystora wynosi 10mA, lecz zalecane jest stosowanie zewnętrzne-

go drivera sterującego przekaźnikiem lub silnikiem wentylatora.

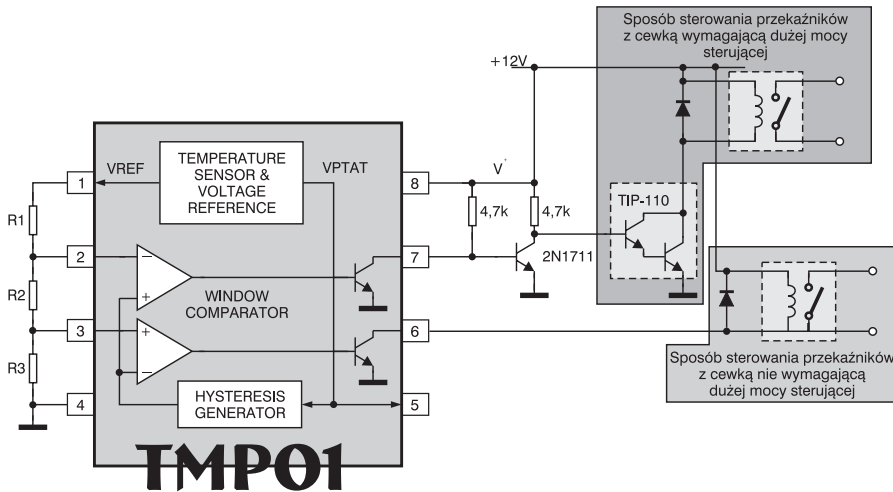
Termostaty cyfrowe

Drugą grupą układów termostatowych są struktury umownie nazywane „cyfrowymi”. Umowność tego określenia wynika z faktu, że pomiar temperatury odbywa się nadal w sposób analogowy, ale już wynik pomiaru jest przetwarzany do postaci cyfrowej i tak obrabiany przez pozostałe moduły układu.



Tab.1. Skrócone zestawienie podstawowych parametrów i możliwości termostatów scalonych.

	TMP01	TMP12	AD22105	LM75	DS1620	DS1620R	DS1621	DS1623	DS1625	DS1720	DS1821
Zakres mierzonych temperatur [°C]	-55..+125	-40..+100	-40..+150	-55..+125	-55..+125	-55..+125	-55..+125	-55..+125	-55..+125	-55..+125	-55..+125
Typowy błąd pomiaru [°C]	±1	±3	2	±2	±1,5	±1,5	-1..+3	-1..+3	±2	±2	±2
Napięcie zasilania [V]	4,5..13,2	4,5..5,5	2,7..7,0	3,0..5,5	4,5..5,5	4,5..5,5	2,7..5,5	2,7..5,5	4,5..5,5	2,7..5,5	4,3..5,5
Pobór prądu (aktywny)	500..800μA	600μA	120μA	250μA	1mA	1mA	1mA	1mA	1mA	1mA	1mA
Wyjścia	2 + analogowe	2	1 (z opcjonalnym pullupem)	1 (konfigurowalne)	3	3	1	3	1	3	1 (programowana polaryzacja)
Rozdzielczość przetwornika [bity]	-	-	-	9	9	9	9	9	9	9	8
Czas konwersji (max.)	-	-	-	100ms	200ms	200ms	1s	1s	1s	1s	1s
Rodzaj interfejsu	-	-	-	I2C	3-liniowy	3-liniowy	I2C	3-liniowy	I2C	3-liniowy	1-liniowy (Touch Memory)
Inne	Progi i histereza ustawiana przy pomocy trzech rezystorów. Kompatybilny z TMP12.	Progi i histereza ustawiana przy pomocy trzech rezystorów. Wbudowany rezystor 100Ω, spełniający rolę grzejnika. Kompatybilny z TMP01.	Próg zadziałania ustalany jest jednym rezystorem. Histereza ma stałą wartość 4°C.	Może pracować jako standardowy komparator - termostat lub jako układ kontroli przekroczenia temperatury w systemie μP. Dostępny w dwóch wersjach napięciowych - 3,3V lub 5V.	Wszystkie rejestry zapisywalne są typu EEPROM. Możliwość niezależnego ustawienia wartości Th, Tl.	Wszystkie rejestry zapisywalne są typu EEPROM. Możliwość niezależnego ustawienia wartości Th, Tl. Wbudowany rezystor spełniający rolę grzejnika. Programowo kompatybilny z DS1620.	Wszystkie rejestry zapisywalne są typu EEPROM. Możliwość niezależnego ustawienia wartości Th, Tl.	Wszystkie rejestry zapisywalne są typu EEPROM. Możliwość niezależnego ustawienia wartości Th, Tl. Istnieje możliwość arytmetycznego powiększenia dokładności pomiaru temperatury. Programowo kompatybilny z DS1620.	Wszystkie rejestry zapisywalne są typu EEPROM. Możliwość niezależnego ustawienia wartości Th, Tl. Istnieje możliwość arytmetycznego powiększenia dokładności pomiaru temperatury.	Wszystkie rejestry zapisywalne są typu EEPROM. Możliwość niezależnego ustawienia wartości Th, Tl. Istnieje możliwość arytmetycznego powiększenia dokładności pomiaru temperatury. Programowo kompatybilny z DS1620.	Układ spełniający rolę termostatu z wyjściem mocy. Nastawy zapisywane są w pamięci EEPROM, poprzez interfejs 1-liniowy.
Obudowa	DIP8, SOIC8, TO99	DIP8, SOIC8	SOIC8	SOIC8, MiniSOIC8	DIP8, SOIC8	b.d.	DIP8, SOIC8	DIP8, SOIC8	DIP8, SOIC8	SOIC8	PR-35, TO-220, SOIC8



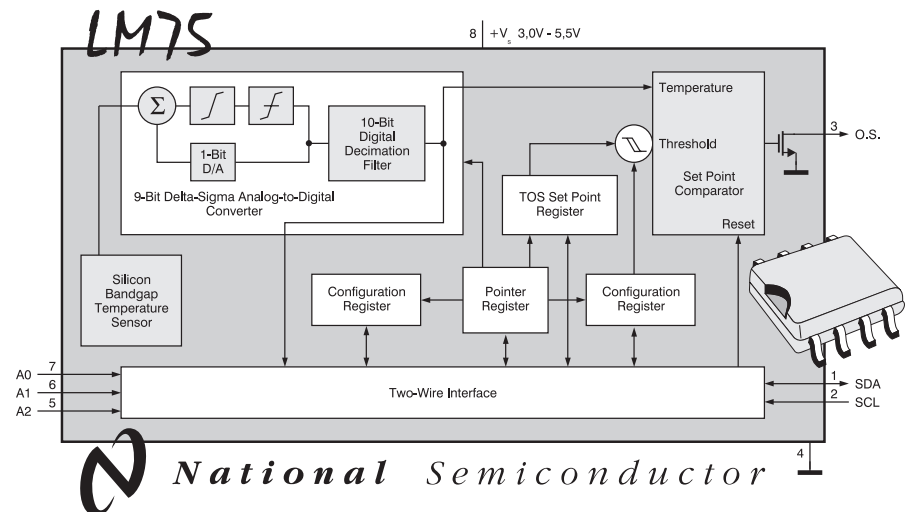
Rys. 6.

Termostaty cyfrowe są oferowane przez dwie firmy - Dallas Semiconductor i National Semiconductor. Rozpocznijmy od prezentacji układu LM75, który jest najnowszym opracowaniem NS.

Strukturę wewnętrzną tego układu przedstawiono na rys.8. Jak widać jest ona bardzo złożona, lecz całość mieści się w miniaturowej obudowie SOP8. Temperatura obudowy mierzona jest z rozdzielczością 9 bitów, a gwarantowana dokładność wynosi ok. ±3°C. Czas konwersji nie przekracza 100ms.

Dzięki wyposażeniu układu LM75 w interfejs szeregowy zgodny ze standardem I2C oraz trzy bity adresowe ustawiane sprzętowo możliwe jest jednoczesne sterowanie do 8 takich układów dołączonych równolegle do mikrokontrolera sterującego. Poprzez interfejs szeregowy można odczytać wynik ostatniego pomiaru temperatury, zawartość wewnętrznych rejestrów konfiguracyjnych, moż-

liwa jest także konfiguracja trybu pracy układu.



Rys. 8.

Tranzystor wyjściowy układu LM75 może spełniać rolę bufora sterującego zewnętrznym obciążeniem, możliwe jest także skonfigurowanie tego wyjścia jako generatora przerwań systemowych. Wszystkie rejestry są wykonane jako komórki SRAM bez możliwości podtrzymania zawartości po wyłączeniu zasilania. Dzięki wbudowanemu we wnętrze układu autozerowaniu od razu po włączeniu zasilania układ jest konfigurowany zawsze w ten sam sposób. W większości aplikacji wymagane będzie jednak każdorazowe konfigurowanie wstępne układu przez procesor systemowy.

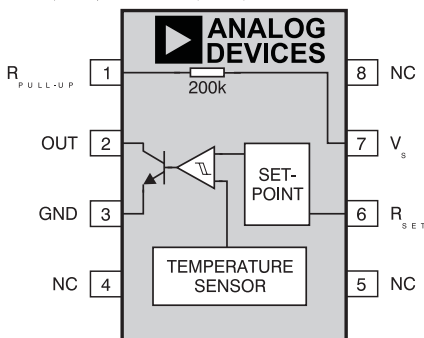
Bardzo ciekawą rodzinę scalonych termostatów opracowali konstruktorzy firmy Dallas Semiconductor. Układ DS1620 (rys.9) jest

już znany Czytelnikom EP - zarówno same układy, jak i programator do nich opisaliśmy w marcowym i kwietniowym numerze EP. Z punktu widzenia użytkownika układ DS1620 jest kompletnym termostatem z trzema niezależnymi wyjściami, które sygnalizują temperaturę zbyt niską i zbyt wysoką, a trzecie wyjście spełnia rolę sygnalizatora temperatury poprawnej (czyli znajdującej się pomiędzy zadanymi programi). Układ jest wyposażony w trójprzewodowy interfejs szeregowy, który umożliwia zarówno odczyt jak i programowanie zawartości wszystkich rejestrów. Niezależnie ustalane są: górny i dolny próg porównania oraz zwartość rejestru trybu pracy. Wszystkie rejestry

zapisywalne są wykonane jako komórki pamięci EEPROM, tak więc wyłączenie zasilania nie powoduje konieczności ponownej konfiguracji układu, a w razie konieczności możliwa jest zmiana zawartości rejestrów. Rozdzielczość przetwornika A/C wynosi 9 bitów, co zapewnia rozdzielczość pomiaru 0,5°C. Najstarszy bit określa znak wyniku określającego temperaturę. Wynik przetwarzania porównywany jest przez komparator cyfrowy z danymi referencyjnymi zapisanymi w komórkach EEPROM.

Bardzo podobną do DS1620 konstrukcję wewnętrzną mają układy DS1621 i DS1625. Z zewnątrz (elektrycznie) różnią się one dość istotnie, ponieważ są wyposażone w dwuprzewodowy

AD22105



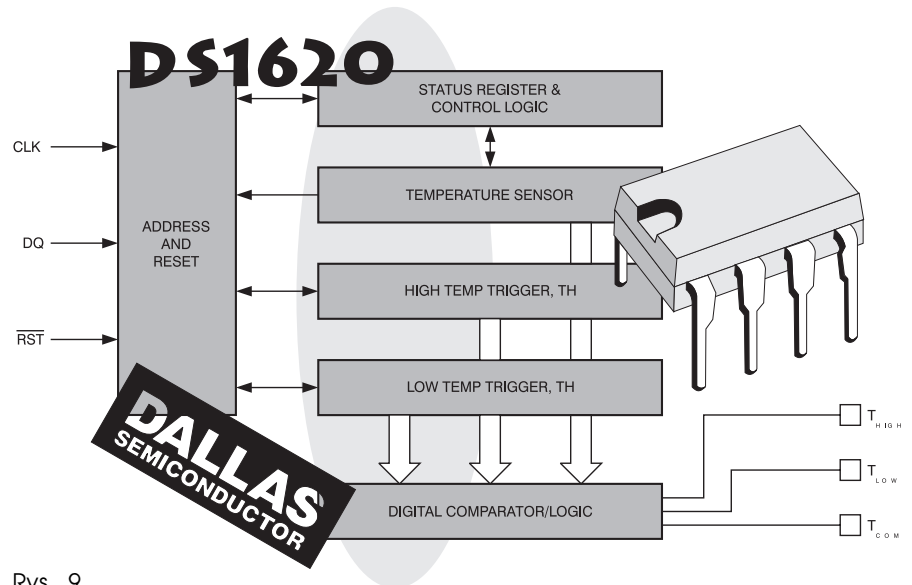
Rys. 7.

interfejs I2C i posiadają tylko jedno wyjście z programowaną histerezą. Dzięki zastosowaniu trzech pinów adresowych możliwe jest dołączenie do systemu jednocześnie do 8 takich układów.

Najnowszym opracowaniem firmy Dallas jest układ oznaczony DS1720, który jest funkcjonalnym odpowiednikiem DS1620, przystosowanym do pracy w szerszym zakresie napięć zasilających i wyposażonym w udokumentowane funkcje, pozwalające zwiększyć dokładność pomiaru (co jest standardowo dostępne w pozostałych układach tej rodziny).

Układy DS1620, 1621, 1625 oraz DS1720 opracowano z myślą o zastosowaniu ich jako sterowników termostatycznych małej mocy. Mogą one pracować w trybie wyzwalanym lub w pełni autonomicznie, dzięki czemu są one łatwiejsze w stosowaniu od układów analogowych (nie wymagają żadnych elementów zewnętrznych, z wyjątkiem buforów wyjściowych).

Nieco inną filozofię przyjęto podczas konstruowania termostatów DS1821. Są to układy montowane w trójkońcówkowych obudowach TO-92S (PR-35) lub TO-220, oraz w obudowie SOP8. Wszystkie te układy programowane są przez jedнопrzewodowy interfejs, bardzo zbliżony do interfejsu stosowanego w ukła-



Rys. 9.

dach *Touch Memory* („pastylki“ stosowane m.in. w immobilizacjach). Jedno z wyprowadzeń układu spełnia potrójną rolę - jest wejściem/wyjściem cyfrowym lub wyjściem termostatu, które może bezpośrednio sterować obciążeniem dużej mocy. Pozostałe wyprowadzenia służą do przyłączenia napięcia zasilającego 5V, które jest niezbędne do poprawnej pracy układu w trybie termostatowym. W odróżnieniu od poprzednio opisanych układów DS1821 mierzy temperaturę z rozdzielczością 8 bitów, co zapewnia dokładność 1°C w zakresie -55..+125°C.

Czas konwersji wynosi 1 sekundę.

Szczegółowy opis układów DS1821 oraz opis konstrukcji programatora dla nich przedstawimy w jednym z najbliższych numerów EP.

Piotr Zbysiński, AVT

Autor dziękuje firmie Alfine za pomoc w zdobyciu materiałów.

Dodatkowe informacje na temat układów opisanych w artykule można zdobyć poprzez Internet, pod następującymi adresami:

*www.analog.com,
www.dalsemi.com,
www.natsemi.com.*