

Tomasz HEILIG

Wybrane zastosowania źródeł napięcia odniesienia

Streszczenie

Treści zawarte w niniejszym artykule mogą stanowić uzupełnienie wiadomości nabywanych przez studentów wychowania technicznego w trakcie ćwiczeń laboratoryjnych z układów elektronicznych w technice. W artykule opisano budowę i zasadę działania stabilizatorów napięcia: parametrycznego, szeregowego i monolitycznego. Omówiono również podstawowe parametry stabilizatorów napięcia. W części drugiej opisano budowę, parametry i zastosowanie precyzyjnego źródła napięcia odniesienia typu MAX 875.

Słowa kluczowe: stabilizator napięcia, źródło napięcia wzorcowego, parametry stabilizatorów, tranzystorowe źródło napięcia odniesienia

WSTĘP

Coraz częściej precyzyjne źródło napięcia staje się nieodłączną częścią układu elektronicznego. Tam gdzie do niedawna występował stabilizator szeregowy, znalazł zastosowanie monolityczny stabilizator napięcia. W nadal stosowanym stabilizatorze parametrycznym, w miejscu diody Zenera można spotkać układ scalony nazywany źródłem napięcia odniesienia (ZNO). Bardzo skomplikowane konstrukcje źródeł napięcia wzorcowego, zawierające dużą liczbę elementów, również zaczynają przechodzić do historii. Układy elektroniczne, w których konieczne jest wykonanie bardzo stabilnego źródła napięcia, konstruowane są przy użyciu specjalnie do tego celu zaprojektowanych układów scalonych.

Treści zawarte w niniejszym artykule mogą stanowić uzupełnienie wiadomości nabywanych przez studentów wychowania technicznego w trakcie

ćwiczeń laboratoryjnych z układów elektronicznych w technice. Przytoczone dane katalogowe mogą znaleźć zastosowanie w trakcie realizacji zajęć w pracowni technik wytwarzania.

1. STABILIZATORY NAPIĘCIA

Stabilizatory napięcia są układami elektronicznymi, których zadaniem jest utrzymanie stabilnego napięcia wyjściowego bez względu na zmiany napięcia wejściowego lub wartości prądu obciążenia. Jako części składowe układów zasilających, stanowią ogniwo pośredniczące między źródłem energii a odbiornikiem. Stabilizator napięcia jest czwórnikami, którego parametry wejściowe to napięcie i prąd wejściowy U_i , I_i , a wyjściowe to napięcie i prąd wyjściowy U_o , I_o . Parametry wyjściowe zależą również od temperatury T i czasu t .

Napięcie i prąd wyjściowy można przedstawić jako:

$$U_o = f(U_i, I_o, T, t)$$

$$I_o = f(U_i, U_o, T, t)$$

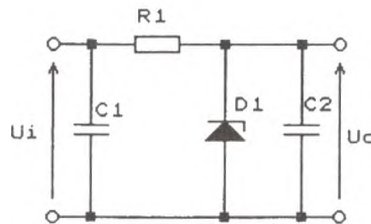
Rozpatrując przebieg zależności napięcia wyjściowego stabilizatora od napięcia wejściowego, prądu wyjściowego, czy temperatury, można wyodrębnić zakres zmian zmiennej niezależnej, w którym stabilizator realizuje swoją funkcję. Dla każdego stabilizatora napięcia istnieje określony zakres temperatur, natężenia prądu wyjściowego i napięcia wejściowego, w którym może on pracować poprawnie. Przekroczenie tego zakresu prowadzi do trwałego uszkodzenia stabilizatora. Jeżeli za kryterium podziału przyjmiemy zasadę działania stabilizatora napięcia, to można je podzielić na układy o działaniu ciągłym i impulsowym.

Do pierwszej grupy należą układy bez sprzężenia zwrotnego tzw. parametryczne. Do grupy tej należą także układy ze sprzężeniem zwrotnym wewnętrznym, wynikającym z określonych właściwości tranzystora (np. stabilizator wykonany jako wtórnik napięcia), lub sprzężeniem zwrotnym zewnętrznym wykonanym przy użyciu dodatkowego wzmacniacza.

1.1. Stabilizator parametryczny

Jest to najprostszy stabilizator napięcia o niezbyt dobrych parametrach stabilizacji, zawierający szereg ograniczeń wynikających z prostej konstrukcji. W układzie zastosowano diodę Zenera, która stabilizuje napięcie wyjścio-

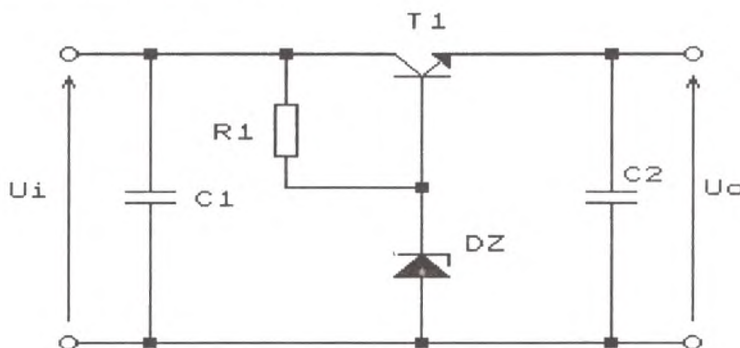
we oraz rezystor ograniczający wartość prądu diody. Układ ten uniemożliwia wykonanie stabilizatora o dowolnym napięciu wyjściowym. Jednocześnie ograniczona jest wartość natężenia prądu wyjściowego związana z rezystancją rezystora R_1 .



Rys. 1. Schemat stabilizatora z diodą Zenera (parametrycznego)

Każda zmiana napięcia wejściowego lub prądu obciążenia powoduje zmianę natężenia prądu płynącego przez diodę. Zmiana napięcia wejściowego jest równoważona spadkiem napięcia na rezystorze R_1 (powstającego w wyniku zmiany prądu diody), natomiast zmiana natężenia prądu wyjściowego – przez zmianę prądu diody. Tak działający układ umożliwia otrzymanie stabilnego (w granicach stabilności diody) napięcia wyjściowego, którego wartość równa jest napięciu zastosowanej diody Zenera. Układ posiada kilka wad, między innymi: duże straty mocy na rezystorze R_1 i diodzie D_1 , małą dokładność stabilizacji i brak możliwości regulacji napięcia wyjściowego. Obecnie produkowane są skompensowane temperaturowo diody Zenera, które posiadają bardzo wysoką i gwarantowaną stabilność napięcia przebicia.

1.2. Stabilizator szeregowy



Rys. 2. Schemat stabilizatora szeregowego

Stabilizatory kompensacyjne zawierają element regulacyjny o zmiennej rezystancji, zależnej od wartości sygnału doprowadzonego z układu porównującego. Układ ten porównuje napięcie wyjściowe stabilizatora z napięciem wzorcowym. W przypadku wystąpienia różnicy tych napięć sygnał przesyłany jest do układu regulacyjnego. W badanym układzie stabilizatora, rolę układu porównującego i regulującego spełnia tranzystor T_1 . Pracuje on w konfiguracji WE, czyli wzmocnienie napięciowe układu wynosi $k_U=1$, a prądowe $k_I = \beta+1$. Tranzystor przejmuje prawie cały prąd płynący do obciążenia tak, że przez rezystor R_1 przepływa prąd o niewielkim natężeniu, który jest sumą prądu bazy i prądu polaryzacji diody Zenera. Napięcie wyjściowe stabilizatora jest równe różnicy napięcia diody Zenera i napięcia U_{BE} .

$$U_O = U_{DZ} - U_{BE} \quad (1)$$

Tranzystor połączony jest szeregowo z rezystancją obciążenia (stąd często spotykana nazwa – stabilizator szeregowy). Zmiany napięcia między kolektorem i emiterem kompensują różnice powstające pomiędzy napięciem wejściowym i wyjściowym stabilizatora. Jeżeli napięcie wejściowe wzrasta o pewną wartość ΔU_i , rezystancja tranzystora wzrasta powodując wzrost napięcia U_{CE} o tę samą wartość. W efekcie napięcie wyjściowe stabilizatora nie ulega zmianie. Przy zmianie natężenia prądu wyjściowego, układ stabilizuje napięcie w wyniku działania sprzężenia zwrotnego. Jeżeli z jakiegoś powodu wzrośnie obciążenie, czyli zmaleje rezystancja obciążenia, spowoduje to wzrost natężenia prądu wyjściowego. W tej sytuacji musi zmaleć napięcie wyjściowe, co tylko pozornie jest niezgodne z prawem Ohma. Napięcie maleje z powodu skończonej wartości rezystancji wyjściowej stabilizatora, która tworzy z rezystancją obciążenia dzielnik napięcia. Można również stwierdzić, że wzrastające natężenie prądu wyjściowego powoduje wzrost spadku napięcia na rezystancji wewnętrznej stabilizatora, czyli zmniejszenie napięcia wyjściowego. Przy stabilnym napięciu diody Zenera wzrasta napięcie U_{BE} między bazą i emiterem tranzystora regulacyjnego. W efekcie wzrasta prąd bazy i tym samym rośnie prąd emitera:

$$I_E = (\beta+1) \cdot I_B \quad (2)$$

Powiększanie natężenia prądu bazy odbywa się kosztem prądu polaryzującego diodę Zenera. Przy prądzie wyjściowym stabilizatora

$$I_{Omax} = \frac{U_i - U_z}{R} \cdot (\beta + 1) \quad (3)$$

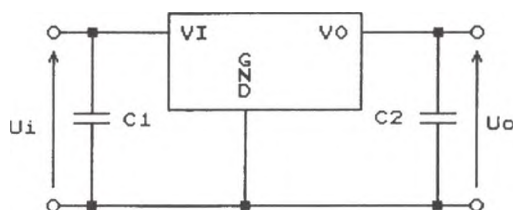
przez diodę nie płynie prąd. Dalsze powiększenie natężenia prądu wyjściowego jest rezultatem wzmacniania prądu płynącego przez rezystor R_1 , który w całości wpływa do bazy tranzystora. Największy prąd w zakresie przeciążenia przy $U_o=0$ (prąd zwarciový), wynika z odłożenia prawie całego napięcia wyjściowego na rezystorze R_1 i wynosi:

$$I_{Omax} = \frac{U_i - U_{BE}}{R} * (\beta + 1) \quad (4)$$

Stabilizatory szeregowe prawie całkowicie zostały zastąpione przez stabilizatory monolityczne. Jeżeli konieczne jest skonstruowanie stabilizatora o bardzo dobrych parametrach i niezbyt wysokiej cenie, można wykonać go w układzie szeregowym, gdzie napięcie odniesienia wytwarzane jest przez ZNO.

1.3. Stabilizator monolityczny

Obecnie najczęściej stosowanym stabilizatorem napięcia jest stabilizator monolityczny. Jest to układ scalony, który zawiera źródło napięcia odniesienia o dużej stabilności temperaturowej i czasowej, sterujące źródła prądu, tranzystor regulacyjny i układy zabezpieczenia nadprądowego oraz termicznego. Układy te zapewniają ochronę przed zniszczeniem stabilizatora w przypadku wystąpienia zwarcia napięcia wyjściowego lub przegrzania struktury układu scalonego.



Rys. 3. Schemat stabilizatora napięcia z układem monolitycznym

Produkowane są stabilizatory monolityczne o określonej wartości napięcia wyjściowego:

seria 78xx $U_o = (3, 3.3, 5, 6, 8, 9, 12, 15, 18, 24)V$,

seria 79xx $U_o = (-5, -6, -8, -9, -12, -15, -18, -24)V$.

(Opracowano na podstawie katalogu firmy FARNELL Components 96/97 [1]).

W zależności od wersji, układy serii 78xx i 79xx stabilizują napięcie wyjściowe przy następujących natężeniach prądu wyjściowego [2]:

$I_o = 100\text{mA}$	oznaczenie 78L05	obudowa TO92,
$I_o = 500\text{mA}$	oznaczenie 78M05	obudowa TO220,
$I_o = 1\text{A}$	oznaczenie 7805	obudowa TO220,
$I_o = 2\text{A}$	oznaczenie 78S05	obudowa TO220,
$I_o = 3\text{A}$	oznaczenie 78T05	obudowa TO220.

Z powodu istnienia wewnętrznych zabezpieczeń, zarówno dopuszczalny prąd, jak i moc są określane przez producentów jedynie jako granice, po przekroczeniu których nie są gwarantowane pozostałe parametry elektryczne układu.

Stabilizatory monolityczne są najczęściej stosowanymi układami stabilizatorów napięcia [3]. Istnieją również stabilizatory trójkońcówkowe, które posiadają możliwość regulacji napięcia wyjściowego. Należą do nich popularne stabilizatory typu LM317, LM350, LM337, LM338.

Tabela 1

Stabilizatory napięcia stałego o regulowanym napięciu wyjściowym [4]

Oznaczenie	Zakres regulacji napięcia wyj.	Maksymalny prąd wyjściowy	Zmiana napięcia wyjściowego przy zmianie I_{wy}	Zmiana napięcia wyjściowego przy zmianie U_{WE}	Tłumienie tętnień	Niestabilność temperaturowa	Niestabilność długoterminowa (1000h)
	[V]	[A]	[%]	[%]	[dB]	[%]	[%]
LM317	1.2–37	1.5	0.1	0.2	80	0.6	0.3
LM337	-1.2 – -37	1.5	0.3	0.2	75	0.5	0.3
LM350	1.2–32	3	0.1	0.1	80	0.6	0.3
LM333	-1.2– -32	3	0.2	0.02	60	0.5	0.2

1.4. Podstawowe parametry stabilizatorów napięcia

Znamionowe napięcie wyjściowe – napięcie, na które stabilizator został zaprojektowany i wykonany

Znamionowy prąd wyjściowy – maksymalna wartość prądu jaką można obciążyć stabilizator w warunkach normalnych

Minimalny prąd wyjściowy – określona wartość prądu niezbędna do poprawnej pracy stabilizatora

Maksymalna moc strat – maksymalna moc jaka może wydzielić się w stabilizatorze, nie powodując jego uszkodzenia

Prąd spoczynkowy – minimalna wartość prądu umożliwiająca poprawne działanie stabilizatora przy zerowej wartości prądu wyjściowego

Prąd zwarcia – prąd wypływający ze stabilizatora po zwarciu jego biegunów wyjściowych

Niestabilność napięcia wyjściowego przy zmianach napięcia zasilającego – określa zmianę napięcia wyjściowego powodowaną określoną zmianą napięcia wejściowego i jest podawana w mV lub % U_0

Niestabilność napięcia wyjściowego powodowana zmianami prądu wyjściowego – określa zmianę napięcia wyjściowego powodowaną zmianą prądu obciążenia od wartości minimalnej do znamionowej i podawana jest w mV lub % U_0

Zakres regulacji napięcia wyjściowego – podawany dla stabilizatorów z płynną regulacją napięcia

Zakres temperatury pracy – określana jest maksymalna i minimalna temperatura, w której stabilizator może pracować, zachowując parametry znamionowe.

2. TRANZYSTOROWE ŹRÓDŁA NAPIĘCIA ODNIESIENIA (T-ZNO) [4]

Źródła te budowane są w oparciu o właściwości napięcia U_{BE} tranzystora znajdującego się w stanie aktywnym. Podstawą działania układu jest wytworzenie napięcia o dodatnim współczynniku temperaturowym, którego wartość powinna być równa wartości bezwzględnej ujemnego współczynnika temperaturowego, napięcia złącza baza-emiter. Po dodaniu tych napięć, napięcie wyjściowe nie jest zależne od temperatury i najczęściej wynosi $U=(1.22-1.25)V$. Dzięki takiej konstrukcji można osiągnąć znakomitą stałość temperaturową, tzn. wartość współczynnika temperaturowych zmian napięcia wzorcowego zawarta jest w zakresie od $1 \cdot 10^{-6}/K$ do $0,3 \cdot 10^{-6}/K$. Dodatkową zaletą jest bardzo mała wartość prądu polaryzacji, która dla układu LM385 wynosi zaledwie $I=10\mu A$, co umożliwia zastosowanie go w układach bardzo małej mocy (μW). Równocześnie mała wartość napięcia odniesienia jest bardziej praktyczna i umożliwia konstruowanie stabilizatorów szeregowych o niskim napięciu wyjściowym, np. 3V i 3.3V.

Zmiany prądu kolektora jednego z tranzystorów znajdujących się w układzie są liniową funkcją temperatury. Oznacza to możliwość wytworzenia na jednym z wyprowadzeń układu napięcia proporcjonalnego do temperatury.

Wysoka stabilność temperaturowa i czasowa powodują, że układy te są nazywane źródłami napięcia wzorcowego (referencyjnego). Parametry wybranych układów przedstawiono w tabeli 2.

Scalone źródła napięcia [4]

Oznaczenie	Napięcie wzorcowe	Niedokładność	Współczynnik temperaturowy	Maksymalny prąd wyjściowy	Niestabilność długoterminowa	Zmiana napięcia $\Delta I_b = (0-10)mA$
	[V]	[%]	[$10^{-6}/K$]	[mA]	[$10^{-6}/1000h$]	[%]
AD581L	10	0.05	5	10	25	0.002
AD584L	2.5	0.05	10	18	25	0.002
LM329C	6.9	5	30	15	20	0.1
LM385B	1.23	1	20	20	-	0.02
LM399	6.95	5	0.3	10	20	0.1
REF-01A	10	0.3	3	10	-	0.005
TL439	2.75	2	10	100	-	0.5

3. ŹRÓDŁA NAPIĘCIA ODNIESIENIA MAX87X I MAX674

W bogatej ofercie układów scalonych [5] firma MAXIM proponuje kilka układów tego typu. Wśród wielu można wyróżnić:

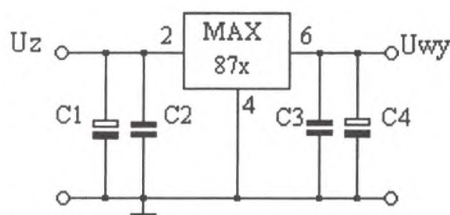
- MAX873 (+2.5V),
- MAX875 (+5V),
- MAX876 (+10V),
- MAX674 (+10V).

Są to półprzewodnikowe bipolarne układy scalone, w których korekcja rezystancji regulującej wartość napięcia wyjściowego wykonywana jest techniką laserową. Wszystkie układy są testowane i tolerancja napięcia wyjściowego wynosi odpowiednio: $\pm 1,5$ mV, $\pm 2,0$ mV, $\pm 3,0$ mV, $\pm 0,15$ mV. Produkowane są w obudowach typ DIP8. Wyprowadzenia układów MAX87x są opisane następująco:

1 i 8 – wyjścia testu wykonywanego przez producenta, należy pozostawić je wolne,

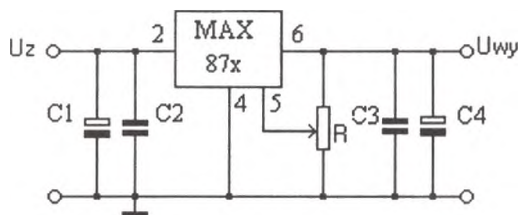
- 2 – napięcie zasilania,
- 3 – napięcie proporcjonalne do temperatury struktury,
- 4 – masa,
- 5 – precyzyjna regulacja napięcia wyjściowego,
- 6 – wyjście,
- 7 – N.C. brak połączeń wewnętrznych.

Schemat aplikacyjny dla układów MAX87x przedstawia rysunek 4 [2].



Rys. 4. Podstawowy układ stabilizatora napięcia

W układzie podstawowym wykorzystane są wyprowadzenia 2, 4 i 6. Wyprowadzenie 5 umożliwia regulację napięcia wyjściowego w zakresie $\pm 4\%$. Do regulacji służy potencjometr $R=100k\Omega$, który włączony jest w obwód zgodnie ze schematem pokazanym na rysunku 5.

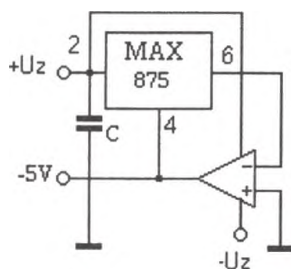


Rys. 5. Stabilizator z regulacją napięcia wyjściowego

Napięcie z wyprowadzenia 3 może być użyte w układzie kompensacji temperatury lub innej aplikacji. Kondensatory wejściowe i wyjściowe gwarantują stabilną pracę układu. Producent wyraźnie zaznacza konieczność stosowania równolegle połączonych kondensatorów – elektrolitycznego i ceramicznego. Pojemność kondensatora ceramicznego powinna wynosić (10-100)nF. Stosowanie wejściowego kondensatora elektrolitycznego nie jest konieczne. W przypadku, gdy odległość od filtra prostownika do układu nie przekracza 10 cm, można go pominąć.

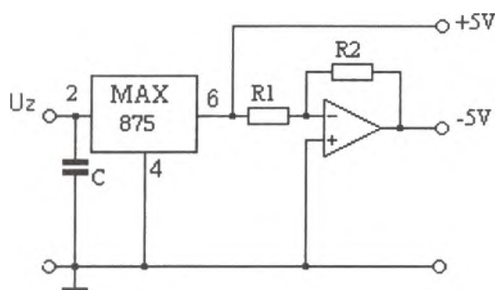
3.1. Inne konfiguracje układów pracy MAX87x

Istnieje możliwość wytworzenia ujemnego napięcia odniesienia. Rysunek 6 przedstawia konfigurację układu. Wartość temperaturowego dryftu napięcia wyjściowego układu z rysunku 6 zależy jedynie od dryftu temperaturowego wzmacniacza operacyjnego.



Rys. 6. Układ wytwarzający ujemne napięcie wzorcowe

Na rysunku 7 pokazano układ służący do wytworzenia wzorcowego napięcia symetrycznego.



Rys. 7. Układ wytwarzający wzorcowe napięcie symetryczne

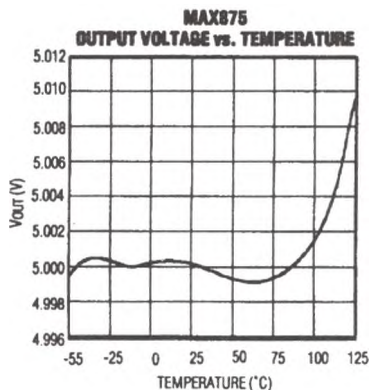
W obydwu przypadkach wartość napięcia wyjściowego zależy od napięcia odniesienia użytego układu scalonego. Producent zaleca stosowanie w układach z rysunków 6 i 7 wzmacniaczy operacyjnych typu MAX480 [5]. Rysunki 4, 5, 6, 7 opracowano na podstawie [6].

Tabela 3

Wybrane parametry układu MAX 875

Parametr	Jednostka	Min.	Typ.	Max.	przy $U_i=15V$ $I_o=10mA$
Napięcie wyjściowe U_o	[V]	4.998	5.000	5.002	$T_A=298K$
	[V]	4.988	5.000	5.0065	$218K \leq T_A \leq 398K$
Prąd wyjściowy I_o	[mA]		10		przy $U_i=15V$
Prąd zwarcia I_{sc}	[mA]		35		przy $U_i=15V$
Dryft temperaturowy napięcia	$[10^{-6}/K]$		4		przy $U_i=15V$ $I_o=10mA$

Na uwagę zasługuje rewelacyjnie mały przyrost napięcia wyjściowego w bardzo szerokim zakresie temperatury.

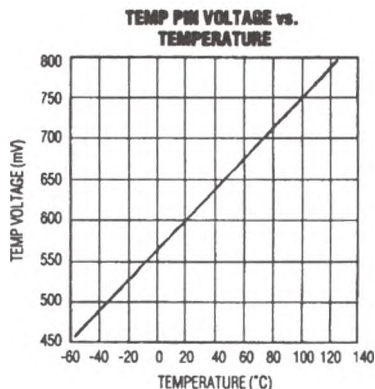


Rys. 8. Wykres zmian napięcia wyjściowego w funkcji temperatury [6]

Przyrost napięcia wyjściowego układu MAX875 w zakresie temperatur:
(218 - 353)K wynosi: $\Delta U_{wy} = 1.5\text{mV}$
(218 - 298)K $\Delta U_{wy} = 0.5\text{mV}$

4. ZASTOSOWANIE ŹRÓDŁA NAPIĘCIA ODNIESIENIA DO POMIARU TEMPERATURY

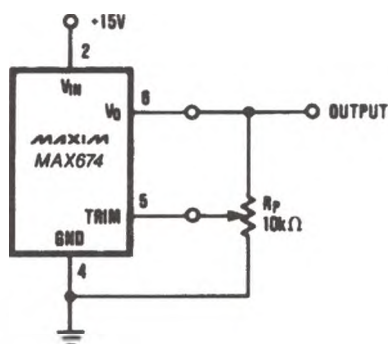
Układy typu MAX87x mogą także spełniać funkcję bardzo dokładnych czujników temperatury w zakresie (218-398) K. Napięcie na wyprowadzeniu 3 rośnie liniowo wraz ze wzrostem temperatury.



Rys. 9. Wykres napięcia (wyprowadzenie 3) w funkcji temperatury [6]

Współczynnik temperaturowy zmiany tego napięcia wynosi $TCV_{TEMP} = 2\text{mV/K}$. Napięcie to jest proporcjonalne do temperatury struktury układu scalonego. Jest ona prawie równa temperaturze otoczenia, ponieważ moc wydzielana w układzie jest bardzo mała. Spoczynkowy pobór prądu wynosi zaledwie $I_z = 190\mu\text{A}$. Minimalna różnica pomiędzy napięciem zasilania a napięciem wyjściowym powinna wynosić $\Delta U = 2\text{V}$. W efekcie moc rozproszenia wynosi $P = 380\mu\text{W}$ i jest zbyt małą wartością, aby mogła powodować znaczący przyrost temperatury.

Układ MAX674 jest precyzyjnym źródłem napięcia wzorcowego o wartości $U_o = 10\text{V}$. Stosując układ regulacji przedstawiony na rysunku 10, można regulować napięcie wyjściowe w zakresie $U_o = 10\text{V} \pm 300\text{mV}$. Możliwe jest uzyskanie napięcia wyjściowego o wartości $10,240\text{V}$, które znajduje zastosowanie w binarnych układach cyfrowych.



Rys. 10. Schemat aplikacyjny układu MAX674 [2]

Wybrane parametry układu MAX674 [2] przedstawiono poniżej:

$U_{we} = +15\text{V}$, $I_{wy} = 10\text{mA}$	
Napięcie wyjściowe	$U_o = 10\text{V} \pm 300\text{mV}$
Prąd wyjściowy	$I_o = 10\text{mA}$
Prąd zwarciovyy	
wyjście-masa	$I_{sc} = 30\text{mA}$
Temperaturowy dryft napięcia wyjściowego	$12 \cdot 10^{-6}/\text{K}$

Cechą charakterystyczną układu jest bardzo duża dokładnością napięcia wyjściowego w funkcji zmian napięcia wejściowego i prądu obciążenia. MAX674 posiada pełną kompatybilność wyprowadzeń z popularnym źródłem napięcia referencyjnego REF01.

WNIOSKI

Współczesne stabilizatory napięcia najczęściej wykonywane są przy użyciu stabilizatorów monolitycznych. Jednak w sytuacji, kiedy dokładność napięcia wyjściowego powinna być większa od 3%, lub napięcie wyjściowe nie jest napięciem któregoś z produkowanych stabilizatorów, można skorzystać z trójkońcówkowego stabilizatora o regulowanym napięciu wyjściowym. Jeżeli wymagana jest bardzo dobra stabilność temperaturowa i czasowa napięcia wyjściowego, należy zastosować źródło napięcia odniesienia.

Charakterystyczną cechą precyzyjnych źródeł napięcia odniesienia jest ekstremalnie niski dryft temperaturowy napięcia wyjściowego oraz bardzo dobra jego liniowość w funkcji zmian natężenia prądu wyjściowego i napięcia zasilającego. Precyzyjne źródła napięcia odniesienia stosowane są w układach przetworników 12 Bit A/D i D/A, woltomierzach cyfrowych, przyrządach testujących oraz stabilizatorach napięcia stałego.

LITERATURA

- [1] FARNELL Components Catalogue 1996/1997.
- [2] 1989 Maxim Integrated Products Data Sheet MAX674.
- [3] Borkowski A.: *Układy scalone w stabilizatorach napięcia stałego*. WNT, Warszawa 1985.
- [4] Horowitz P., Hill W.: *Sztuka elektroniki*. WKŁ, Warszawa 1992.
- [5] MAXIM 1994 New Releases Data Book.
- [6] 1992 Maxim Integrated Products Data Sheet MAX873/MAX875/MAX876.