

Leszek DZICZKOWSKI  
Instytut Elektroniki  
Politechniki Śląskie

#### UKŁAD UL 1111 W TERMOSTATYZOWANYM ŹRÓDLE NAPIĘCIA ODNIESIENIA

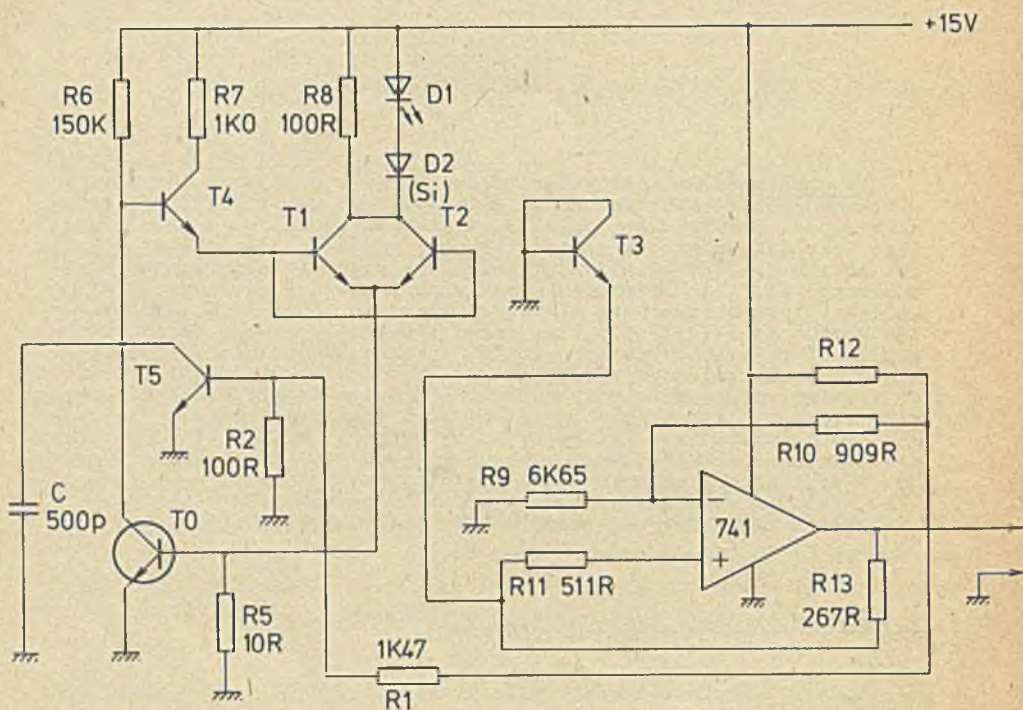
**Streszczenie.** Przedstawiono budowę, zasadę działania termostaty-zowanego źródła napięcia odniesienia. Opisano własności i parametry wykonanych praktycznie układów. Najistotniejszy w budowie źródła jest fakt wykorzystania do stabilizacji napięcia zjawiska przebiecia lawinowego złącza emiterowego jednego z pięciu tranzystorów układu scalonego UL 1111. Pozostałe tranzystory układu scalonego pracują w układzie termostatyzatora struktury elementu UL 1111. Osiągnięto w ten sposób stałość temperatury całej struktury, a więc także wzorca napięcia. Otrzymano zatem źródło napięcia odniesienia o napięciu wyjściowym niezależnym praktycznie od temperatury otoczenia. Dokładne pomiary parametrów serii wykonanych w ten sposób układów wykazały niestety istnienie szeregu nad tego typu urządzeń. Do najważniejszych należy zaliczyć spore szумы napięcia wyjściowego i znaczny wpływ napięcia zasilania. Opisane źródło odniesienia może być bardzo przydatne w niektórych zastosowaniach specjalnych. Sumaryczny błąd napięcia wyjściowego przy zmianach temperatury otoczenia od 0 do 40°C nie przekraczał w żadnym z wykonanych modeli 0,001%.

#### Opis i zasada działania źródła napięcia odniesienia

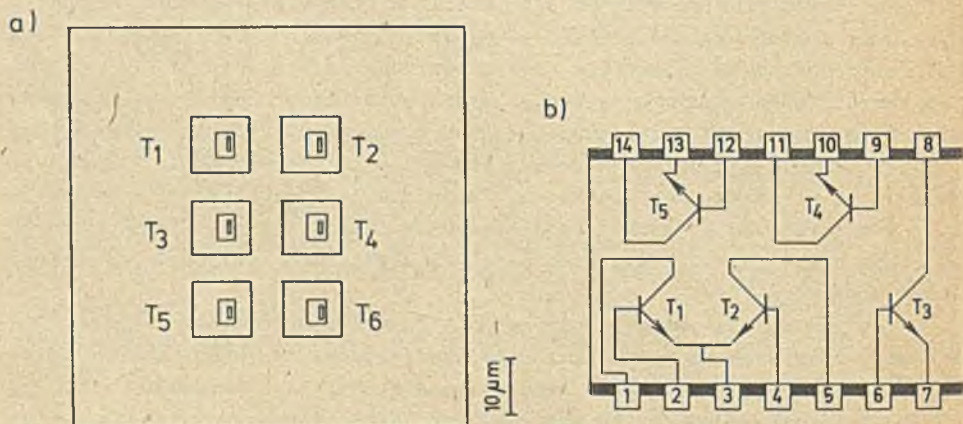
O dokładności pomiaru różnych wielkości elektrycznych bardzo często decyduje stałość źródła napięcia odniesienia. Najlepszym sposobem otrzymania stabilnego źródła napięcia odniesienia w szerokim przedziale temperatury jest zastosowanie dokładnej kompensacji diody Zенера. Proces produkcji skompensowanych termicznie źródeł napięcia jest bardzo trudny, a zatem drogi. Toteż czynione są próby termostatyzowania diod Zенера lub całych źródeł napięcia odniesienia. Jednym z najwygodniejszych sposobów jest zbudowanie źródła napięcia w jednym kryształie półprzewodnika z układem regulacji temperatury tego kryształu. Takie mikrotermostatyzatory wykorzystuje się także do termostatyzacji elementów innych niż wspomniane źródło napięcia odniesienia. Przykładem może być produkowany seryjnie od wielu lat element  $\mu A 726$ .

W Instytucie Elektroniki Politechniki Śląskiej opracowano i przebadano mikrotermostatyzowane źródło napięcia odniesienia. Do budowy układu wykorzystano tanie, produkowane w kraju elementy. Uzyskane parametry okazały się na tyle zadowalające, że postanowiono opisać konstrukcję źródła, jego parametry i sposób ich pomiaru.

Schemat ideowy źródła napięcia odniesienia przedstawia rys. 1. Układ pracuje poprawnie pod warunkiem, że tranzystory  $T_1$ - $T_2$  są zrealizowane w jednym kryształku krzemu. Najwygodniej zastosować układ UL 1111, zawierający pięć tranzystorów. Szkic struktury oraz wyprowadzenie elektrod przedstawia rys. 2. Tranzystor  $T_6$  nie jest wykorzystany (brak wyprowadzeń).



Rys. 1. Schemat ideowy źródła napięcia odniesienia



Rys. 2. Uproszczony schemat budowy układu UL 1111

Budowa układu UL 1111 sugeruje przyjęcie następujących założeń:

1. Wymiary jednego tranzystora są tak małe, że traktujemy go jako obiekt punktowy w kryształach krzemu. Temperaturę tego punktu mierzyć można poprzez pomiar napięcia baza-emiter  $U_{BE}$ , natomiast moc dostarczana do tego punktu jako moc traconą w tranzystorze  $P_d = U_{CE} I_C$ . Przyjęcie tego założenia jest równoznaczne z przyjęciem średniej temperatury złącza, które charakteryzować będzie własności tranzystora. Jeżeli wystąpi przypadek, że rozkład temperatur w złączu nie jest równomierny, to przypisujemy mu taką temperaturę, jaka posiadałoby ono przy rozkładzie równomiernym i tych samych parametrach tranzystora.
2. Rezystancje termiczne między poszczególnymi tranzystorami w kryształach krzemu są małe w porównaniu z rezystancją termiczną struktura-otoczenie.
3. Rezystancja termiczna właściwa całego kryształu krzemu jest stała.

Przyjęcie powyższych założeń umożliwiło wyznaczenie rezystancji termicznej między dowolnym tranzystorem a otoczeniem:  $R_{th} = 0,3 \text{ }^\circ\text{C/mW}$ ; oraz na oszacowanie rezystancji termicznej między dwoma sąsiednimi tranzystorami  $r_{th} < 0,007 \text{ }^\circ\text{C/mW}$ .

Zmierzone także własności dynamiczne układu UL 1111. Po wymuszeniu skoku jednostkowego mocy wydzielonej w tranzystorze  $T_1$  temperatura tranzystora zmieniła się eksponentalnie ze stałą czasową  $T = 6,8 \text{ s}$ .

Ponieważ stała czasowa termiczna elementu termostatywowanego (UL 1111) jest o wiele większa od stałej czasowej elektrycznej, można przyjąć, że układ termostatywowany jest obiektem regulacji pierwszego rzędu. Taki układ jest zawsze stabilny, pod warunkiem, że jest zapewnione ujemne sprzężenie zwrotne, czyli  $A k < -1$ ,

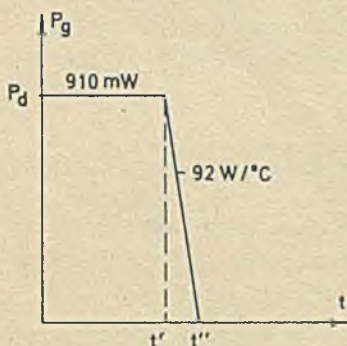
gdzie:

- A - stosunek przyrostu temperatury obiektu do mocy grzejnika w stanie ustalonym,
- k - wzmocnienie układu regulacji zdefiniowane jako przyrost mocy grzejnika do przyrostu temperatury czujnika mierzącego temperaturę struktury.

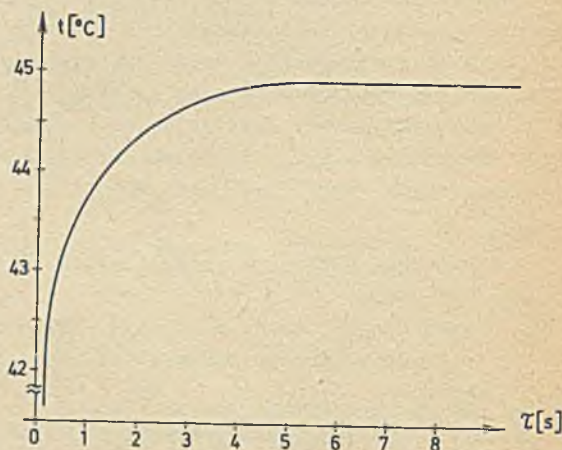
Z dokładniejszej analizy własności układu UL 1111 wynika, że najkorzystniej jest zbudować grzejnik z równolegle połączonych tranzystorów  $T_1$  i  $T_2$ . Jako czujnik temperatury wykorzystać należy tranzystor  $T_5$ , natomiast tranzystor  $T_4$  zastosować w układzie wzmacniacza błędów układu regulacji. Termostatywowany tranzystor  $T_3$  wykorzystano jako wzorzec napięcia, przebijając w nim złącze baza-emiter, wówczas  $U_{EB} = U_Z = 8 - 9 \text{ V}$ . Napięcie to jest podane na wejście nie odwracające wzmacniacza o wzmocnieniu  $k_u = 1 + R_{10}/R_9$ , zbudowanego na następujących elementach: wzmacniaczu operacyjnym  $W_1$  oraz rezystorach  $R_9, R_{10}, R_{11}$ . Napięciem wyjściowym wzmacniacza

większym od  $U_Z$  zasila się poprzez rezystor  $R_{13}$  tranzystor  $T_3$ , pracujący jako wzorzec napięcia. W ten sposób stabilizujemy prąd tranzystora  $T_3$ . Rezystor  $R_{12}$  zwiększa obciążalność wyjściową układu. Część napięcia stabilizowanego poprzez dzielnik  $R_1, R_2$  podana jest na bazę tranzystora  $T_5$  - czujnika temperatury zedsając wartość temperatury stabilizacji. Temperatura poprzez zmianę napięcia baza-emiter tranzystora  $T_5$  wpływa na zmianę jego prądu kolektora. Tranzystor  $T_4$  wraz z rezystorami  $R_6, R_7$  jest wzmacniaczem prądowym sterującym bazy tranzystorów  $T_1, T_2$ , które pracują jako grzejnik. Tranzystor  $T_0$  wraz z rezystorem  $R_5$  stanowi ogranicznik prądu pary tranzystorów  $T_1$  i  $T_2$ . Maksymalna wartość prądu grzałki wynosi około 65 mA, co odpowiada mocy  $P_d = 910$  mW. Ogranicznik ten działa wówczas, gdy załącza się układ do zasilania; wyłącza się, gdy termostatyzator znajduje się na liniowej części charakterystyki.

Przy zaproponowanym (rys. 1) doborze rezystorów obliczono wzmocnienie układu regulacji temperatury, zdefiniowane jako stosunek przyrostu mocy grzejnika do przyrostu temperatury złącza baza-emiter tranzystora  $T_3$ . Wynosi ono  $k = -92$  W/°C. Charakterystyka układu regulacji przedstawiona została na rys. 3. Wartość temperatury mieści się w przedziale  $t_c < t', t'' >$ .



Rys. 3. Charakterystyka układu stabilizacji temperatury



Rys. 4. Zmiana temperatury w funkcji czasu po załączeniu zasilania

Traktując układ termostatyzacji jako układ regulacji obiektu inercyjnego pierwszego rzędu z zamkniętą pętlą sprzężenia zwrotnego, pracującego na liniowej części charakterystyki, można obliczyć błąd w stanie ustalonym:

$$\delta = \frac{\Delta t}{t_c} = 1 - \frac{Ak}{1 + Ak} = 3,3 \cdot 10^{-5}$$

Czas, po którym temperatura struktury osiągnie wartość  $45^{\circ}\text{C}$  po załączeniu układu w temperaturze pokojowej  $t_{\text{amb}} = 25^{\circ}\text{C}$ , wynosi około 5 s. W pierwszej fazie przez okres czasu około 0,3 s. działa ogranicznik prądu ( tranzystor  $T_0$ ). Temperatura wówczas narasta do wartości  $43^{\circ}\text{C}$ . Dalszy wzrost temperatury odbywa się eksponentjalnie ze stała czasowa równa 0,5 s. Zmianę temperatury struktury w funkcji czasu po załączeniu układu przedstawia rys. 4. Temperaturę struktury mierzono poprzez zmiany napięcia baza-emiter tranzystora  $T_5$ .

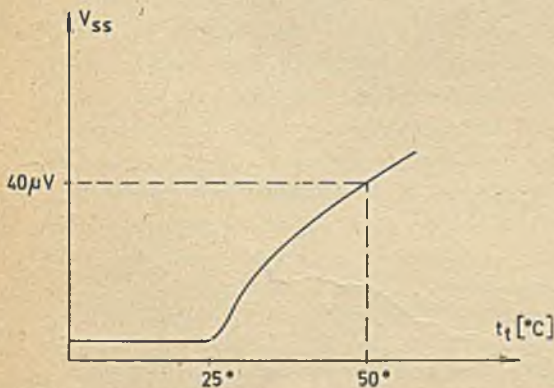
### Pomiary parametrów źródła napięcia odniesienia

#### 1. Wartość napięcia odniesienia

Ze względu na różne wartości napięcia przebicia złącza emiterowego tranzystora  $T_3$  napięcie wyjściowe w wykonanych modelach wynosiło od około 8V do 9,5V.

#### 2. Temperatura termostatyżacji

Temperatura termostatyżacji zależy od wartości napięcia przebicia złącza emiterowego tranzystora  $T_3$  oraz od wartości rezystorów  $R_1$  i  $R_2$ . W wykonanych modelach źródeł napięciowych temperatura ustaliła się na wartości od  $43^{\circ}\text{C}$  do  $48^{\circ}\text{C}$ , typowa wartość temperatury  $45^{\circ}\text{C}$ . Dobór właściwej temperatury termostatyżacji jest bardzo ważny. Z jednej strony dobrze byłoby ustawić maksymalnie dużą wartość, jednakże ze wzrostem temperatury termostatyżacji pogarszają się inne parametry źródła między innymi wzrastają znacznie szумы napięcia wyjściowego.



Rys. 5. Zależność wyjściowego napięcia szumów w funkcji temperatury termostatyżacji

#### 3. Szумы napięcia wyjściowego

Szумы napięcia wyjściowego mierzono dla różnych temperatur termostatyżacji (zmiane wartości rezystora  $R_1$ ). Zależność amplitudy napięcia szumów  $V_{ss}$  w funkcji temperatury przedstawia rys. 5.

Wysoka wartość napięcia szumów na wyjściu źródła jest najpoważniejszą wadą badanego układu. Napięcie wyjściowe dla temperatury termostatyżacji

45°C zmienia się maksymalnie o 40  $\mu\text{V}$ . Okres zmian tego napięcia jest bardzo duży, rzędu paru sekund.

#### 4. Zmiana napięcia wyjściowego w funkcji temperatury otoczenia

Pomiar przeprowadzano metodą różnicową. Dwa identyczne źródła napięcia odniesienia połączone w ten sposób, że zmierzono różnicę ich napięć wyjściowych. Jedno źródło umieszczono w stałej temperaturze  $t_{\text{amb}} = 25^{\circ}\text{C}$ , drugie w termostacie. Temperatura termostatu zmieniana była w zakresie 0–40°C. Okazało się, że napięcie wyjściowe nie zależy od temperatury otoczenia. Decydującym parametrem określającym dokładność źródła są szумы (patrz p.3). Wraz z temperaturą zmienia się tylko częstotliwość napięcia szumów, natomiast ich amplituda pozostaje zawsze mniejsza od zmierzonej poprzednio i wynoszącej 40  $\mu\text{V}$ .

#### 5. Stabilność długoczasowa

Stabilność długoczasowa mierzona była przez okres 1000 h. Określono ją przez współczynnik  $\text{LTS} = \Delta U_{\text{wy}}/U_{\text{wy}} \cdot 1000 \text{ h} = 4 \cdot 10^{-4} \text{ \%/1000h}$ .

#### 6. Wpływ napięcia zasilania na wartość napięcia wyjściowego

Typowa wartość napięcia zasilania wynosi 15 V, a jego zmiana o 1 V powoduje zmianę napięcia wyjściowego o 3 mV. Współczynnik stabilizacji wynosi:

$$\text{IR} = \frac{\Delta U_{\text{wy}}}{U_{\text{wy}}} \frac{100\%}{\Delta U_{\text{za}}} = 3 \cdot 10^{-2} \text{ \%/V.}$$

Można stwierdzić, że obok szumów napięcia wyjściowego jest to drugie poważne wada omawianego układu. W celu jej wyeliminowania należy źródło zasilac dobrze stabilizowanym napięciem. Chcąc zachować dokładność napięcia wyjściowego na poziomie szumów konieczne jest zasilanie źródła napięcia odniesienia napięciem zmieniającym się nie więcej niż o 10 mV.

#### Zestawienie parametrów źródła napięcia odniesienia

Napięcie zasilania	15 V
Pobór prądu (max)	70 mA
Napięcie wyjściowe (w zależności od egzemplarza)	8–9,5 V
Maksymalny prąd obciążenia	3 mA
Temperaturowy współczynnik zmian napięcia wyjściowego (max)	1 ppm/°C
Temperaturowy zakres precy	0–40°C
Współczynnik wpływu napięcia zasilania	$3 \cdot 10^{-2} \text{ \%/V}$
Wyjściowe napięcie szumów (amplituda)	40 $\mu\text{V}$

Stabilność długoczasowa  $4 \cdot 10^{-4}\%/1000 \text{ h}$

Czas ustalenia się napięcia wyjściowego po włączeniu

zasilania w  $t_{\text{amb}} = 25^{\circ}\text{C}$  do wartości  $U_{\text{wy}} = 50 \mu\text{V}$  około 3 min.

Resumując, można stwierdzić, że termostatyzowane źródło napięcia odniesienia nie jest zbyt dokładne ze względu na znaczne szумы i spory wpływ napięcia zasilania. Natomiast ważną zaletą układu jest brak wpływu temperatury otoczenia na wartość stabilizowanego napięcia. Ze względu na opisane powyżej wady źródło napięcia odniesienia nie może być układem uniwersalnym. Jest natomiast bardzo przydatne w niektórych zastosowaniach specjalnych.

#### LITERATURA

- [1] Accardi L.: Self stabilized Zener insures constant current in op.amp. voltage reference. Electronic Design, nr 26, vol. 20, 1972.
- [2] Dokumentacja "Spektrofotometr Beckman model 24/25".

Recenzent: Doc. dr M. Jęstrzębska

Wpłynęło do Redakcji 25.I.1982 r.

#### СХЕМА УЛ 1111 В ТЕРМОСТАТИЗОВАННОМ ИСТОЧНИКЕ НАПРЯЖЕНИЯ ПРИМЕНЕНИЯ

#### Резюме

Представлено конструкцию и основу действия термостатизованного источника напряжения применения. Описано особенности и параметры полученных моделей. Сущность конструкции этого устройства является фактом использования его для стабилизации напряжения лавинного пробоя эмиттерного перехода одного из пяти транзисторов интегральной схемы УЛ 1111. Таким образом получено постоянство температуры планарной структуры а также следовательно и стабилитрона. Получен источник напряжения применения, в котором выходное напряжение в общем не зависит от температуры среды. Точный замер так сконструированных приборов обнаружил некоторые недостатки. Самые главные это шум выходного напряжения и значительное влияние напряжения питания. Описанный источник напряжения применения может быть очень пригодным в некоторых специальных применениях. Погрешность выходного напряжения в области температур среды 0-40 не превышает 0,001%.

THE UL 1111 INTEGRATED CIRCUIT IN THE THERMOSTATISED REFERENCE  
VOLTAGE SOURCE

S u m m e r y

Principles of operation and the design of the thermostatised reference voltage source are described. The features and parameters of the network based on the UL 1111 integrated circuit are shown in details.