

## Kwarcowy zegar pierwotny QS-2

### 1. W p r o w a d z e n i e

Potrzeby współczesnej techniki spowodowały bardzo szybki wzrost zapotrzebowania na urządzenia do dokładnego pomiaru czasu. Jeszcze 50 lat temu dokładność określona przez względny przyrost poprawki rzędu  $1 \cdot 10^{-3} \pm 1 \cdot 10^{-4}$  pokrywała niemal wszystkie potrzeby techniki i gospodarki. Po drugiej wojnie światowej wymagania te uległy poważnemu zaostrzeniu, głównie na tle potrzeb wynikających z rozwoju łączności, wzrostu szybkości urządzeń komunikacyjnych, natężenia ruchu, a także w związku z koniecznością dostarczenia dokładnej współrzędnej czasu dla środków automatyzacji. Jednocześnie postęp w dziedzinie elektroniki, a w szczególności zastosowanie elementów półprzewodnikowych, umożliwił przekształcenie znanego już zegara kwarcowego z przyrządu naukowo - laboratoryjnego w urządzenie techniczne, dostosowane do ciągłej pracy jako zegar pierwotny sterujący siecią dystrybucji czasu.

Wymagana do tych celów dokładność, wyrażająca się stałością względnego przyrostu poprawki w granicach  $1 \pm 5 \cdot 10^{-7}$ , okazała się możliwa do uzyskania bez nadmiernej rozbudowy i komplikacji odpowiednich układów. Mimo, że w ostatnich latach powstało w kraju kilka opracowań przyrządów określonych jako zegary kwarcowe, to jednak bliższa analiza ich cech konstrukcyjnych wykazała, że nie mogą one być wykorzystywane jako zegary pierwotne bez dość istotnych przeróbek. Większość z nich była przeznaczona do pracy w charakterze generatorów stałej częstotliwości, bądź też czasomierzy różniących się od zegarów pierwotnych brakiem pewnych możliwości lub niedostosowaniem do wymaganych warunków pracy.

Kwarcowy zegar pierwotny, oprócz cech wspólnych z generatorem częstotliwości wzorcowej bądź czasomierzem, powinien odznaczać się następującymi możliwościami:



- a. Zdolnością do ciągłej pracy przy średnim czasie pomiędzy uszkodzeniem nie mniejszym niż 5 000 godz., a pożądanym powyżej 10 000 godz.
- b. Posiadaniem urządzenia, wskazującego czas w formie konwencjonalnej tarczy ze wskazówkami, bądź cyfrowej z możliwością nastawienia tych wskazań z niedokładnością nie większą niż 1/100 sekundy.
- c. Posiadaniem zespołu wyjściowego zdolnego do wysłania impulsów sterujących o ściśle określonym przebiegu pod względem częstotliwości, szerokości i tolerancji. Impulsy te muszą być ściśle zsynchronizowane ze wskazaniami zegara i odpowiadać wymaganiom systemu sieci czasu.
- d. Zasilaniem ze źródła napięcia zgodnym ze stosowanym w sieciach czasu  $\approx 50V$ .

Ten stan rzeczy spowodował podjęcie w Przemysłowym Instytucie Automatyki i Pomiarów prac, mających na celu opracowanie i przygotowanie produkcji specjalnego zegara kwarcowego o symbolu QS, którego głównym przeznaczeniem byłaby praca w charakterze zegara pierwotnego współpracującego z równoległe opracowywaną nową, blokową centralą zegarową.

W niniejszym opracowaniu zostaną przedstawione zasady jego konstrukcji i uzyskane wyniki.

## 2. Opis funkcjonalny zegara kwarcowego QS

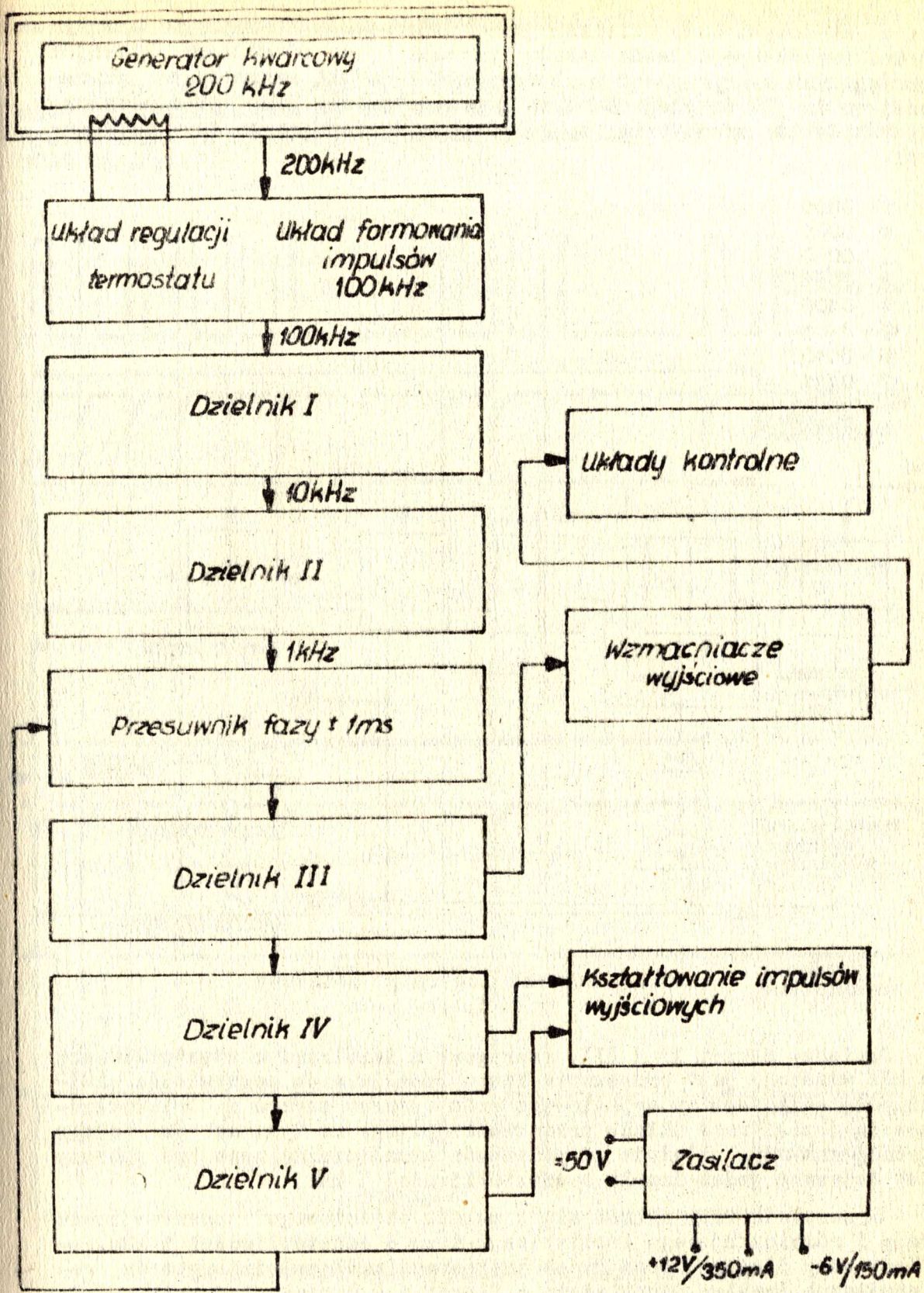
Założone cechy wyjściowe zegara kwarcowego, a przede wszystkim dokładność i stałość częstotliwości jego rezonatora oraz konieczność wytworzenia impulsów sekundowych, zdolnych do sterowania centralą zegarową lub zegarów wtórnych, narzuciły rozwiązanie układowe zegara QS. Na rys. 1 przedstawiony jest układ blokowy tego zegara. Zgodnie z nowoczesnymi zasadami jest on zrealizowany wyłącznie w oparciu o elementy półprzewodnikowe. Impulsy sekundowe otrzymuje się z podziału częstotliwości 200 kHz. Generator 200 kHz ze stabilizacją częstotliwości przy pomocy rezonatora kwarcowego, dla osiągnięcia założonej stałości generacji umieszczony jest w termosłacie z nieciągłą regulacją temperatury.

Rezonator kwarcowy włączony jest szeregowo w gałąź sprzężenia zwrotnego. Zastosowanie równoległego obwodu rezonansowego o dużej dobroci w obwodzie kolektora zapobiega powstawaniu drgań o częstotliwościach różnych od częstotliwości własnej kwarcu. Dodatkowy układ stabilizacji napięcia wyjściowego generatora zapewnia stabilność parametrów impulsów prostokątnych kształtowanych w układzie przersutnika Schmidta.

Impulsy prostokątne o częstotliwości 200 kHz z wyjścia przersutnika Schmidta podawane są na układ dwójki liczącej, obniżającej częstotliwość impulsów do wartości 100 kHz.

Dzielenie częstotliwości 100 kHz do 1 Hz zrealizowane jest przy pomocy dwójek liczących w systemie binarnym 0-1 pracujących w ukła-



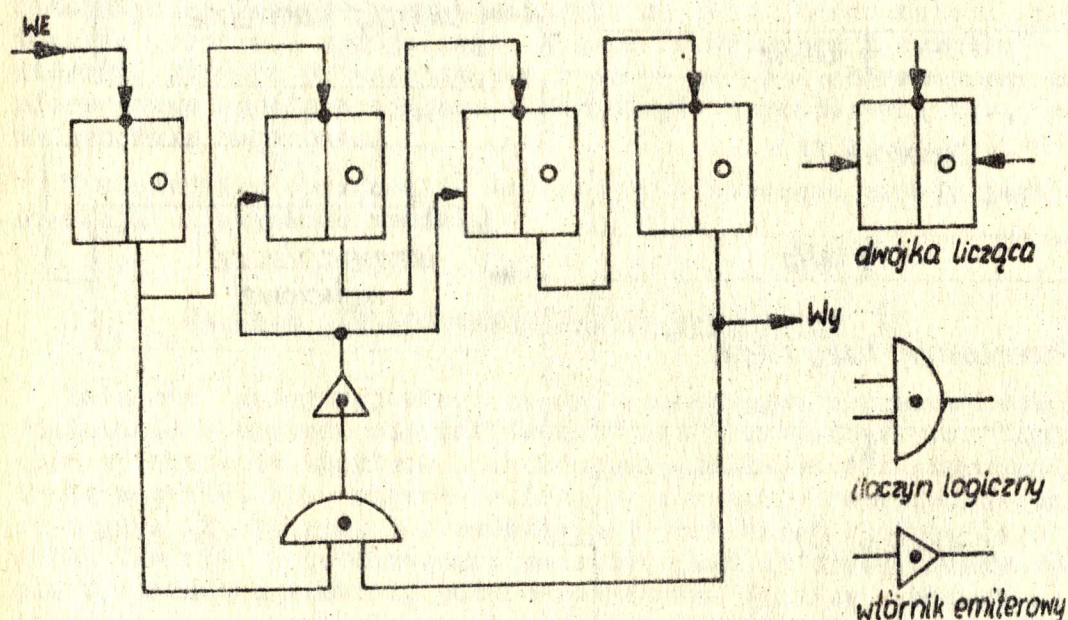


Rys.1. Układ blokowy kwarcowy zegara pierwotnego QS-2



działek dekadowym. Cały dzielnik jest 5-dekadowym licznikiem prostym jednokierunkowym. Każda dekada złożona jest z czterech dwójek pracujących ze sprzężeniem iloczynowym z dwójki czwartej i pierwszej do dwójki drugiej. Na rys. 2 przedstawiony jest układ logiczny dekady liczącej. Przyjęto realizację następującego kodu cyfrowego:

0	0000
1	0001
2	0010
3	0011
4	0100
5	0101
6	0110
7	0111
8	1000
9	1111



Rys.2. Schemat logiczny dekady

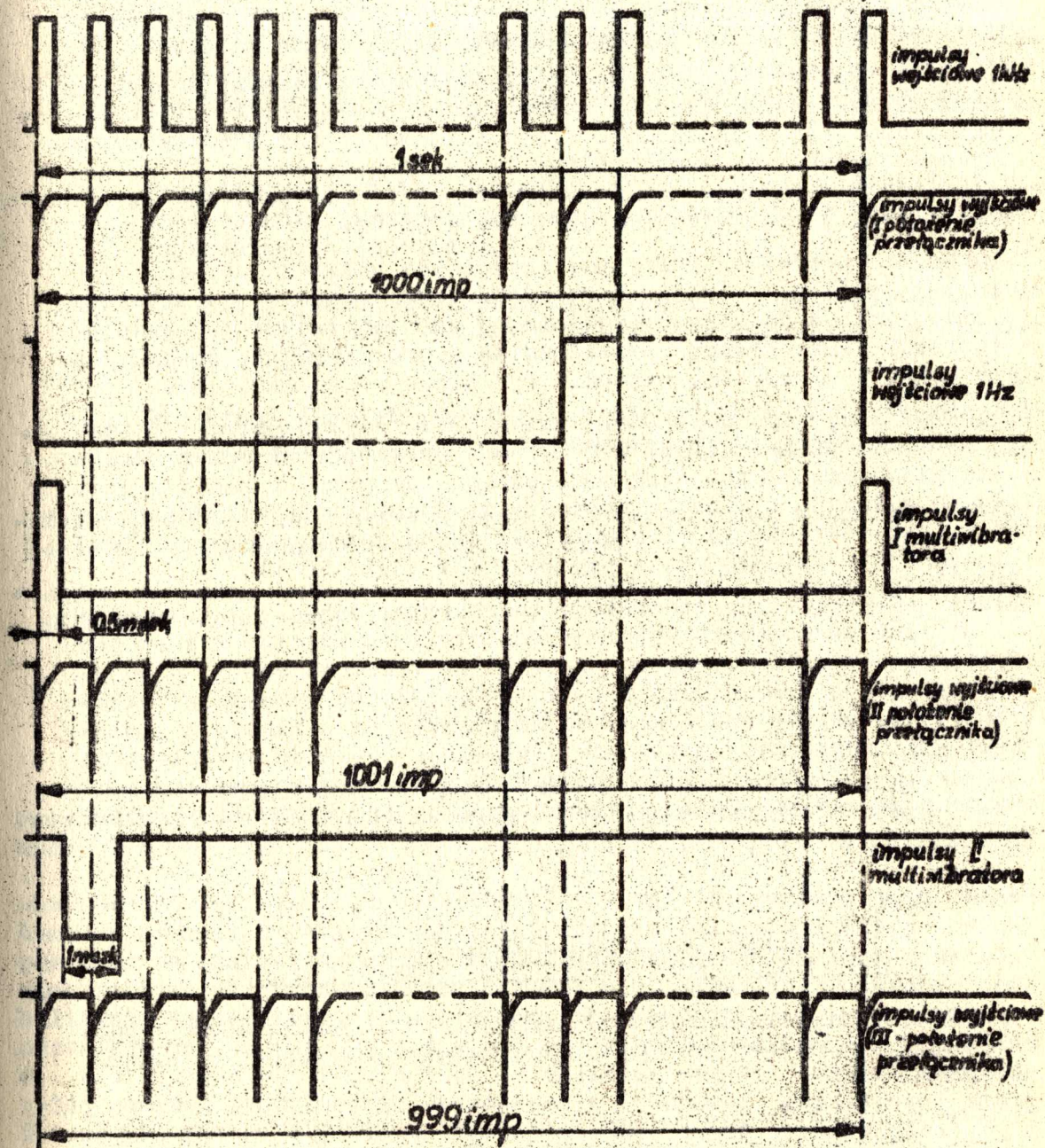
Pomiędzy dekadą II i III, szeregowo z impulsami o częstotliwości 1 kHz włączony jest przesuwnik fazy. Umożliwia on nastawienie chwili powstania impulsu wyjściowego oraz wskazań zegara z niedokładnością 1 mS. Praca układu przesuwnika polega na tym, że w ciągu jednej sekundy, zależnie od położenia przełącznika, może być gubiony lub dodawany jeden impuls o częstotliwości 1 kHz.

Przesuwnik fazy składa się z układu wejściowego odwracającego fazę i różniczkującego impulsy wejściowe o częstotliwości 1 kHz, układu sumy diodowej oraz dwóch jednostabilnych multiwibratorów generujących impulsy odpowiednio o długości 0,5 msek. i 1 msek. Do przesuwnika fazy doprowadzone są impulsy o częstotliwości 1 kHz i 1 sek. Zmianę stanu pracy przesuwnika realizuje się przy pomocy trzypozycyjnego przełącznika. Dla pozycji środkowej przełącznika,



na wyjściu przesuwnika fazy pojawiają się impulsy o częstotliwości 1 kHz /1000 imp./sek/.

W jednej skrajnej pozycji przełącznika następuje wyzwolenie jednego z multiwibratorów, w drugiej obu. W zależności od pozycji przełącznika na wyjściu przesuwnika pojawia się 999 imp./sek. lub 1001 imp./sek.



Rys.3. Przebiegi sygnałów przesuwnika fazy



Na rysunku 3 przedstawione są przebiegi sygnałów przesuwnika fazy.

Dla uzyskania przebiegów wyjściowych do sterowania zegarów wtórnych służą układy kształtujące i wzmacniacze wyjściowe. Założona postać impulsów wyjściowych - impulsy prostokątne o amplitudzie 50 V i przemiennej polaryzacji o częstotliwości powtarzania 1s, pobierane są z hermetycznych zestawy przekaźników rurkowych. Przełączniki rurkowe sterowane są przebiegiem wytworzonym przez komutację impulsów wyjściowych V dekad, dodatkowych impulsów przerzutnika monostabilnego i impulsów dodatkowej dwójki liczącej 0,5 Hz.

Pozostałe sygnały wyjściowe o przebiegach prostokątnych pobierane są z odpowiednich dekad do wtórników emiterowych. Do wytwarzania przebiegów sinusoidalnych o częstotliwości 1 kHz i 50 Hz służą wzmacniacze selektywne /amplifiltry/ z filtrem "podwójne T" w gałęzi sprzężenia zwrotnego. Na wejście amplifiltrów podawane są odpowiednio impulsy o częstotliwości 1 kHz i 50 Hz.

Sprawdzenie poprawnej pracy poszczególnych układów odbywa się przy pomocy układu kontroli. W układzie pompy diodowej uzyskuje się prawie liniową zależność napięcia od częstotliwości przyłożonych impulsów. Przy pomocy przełącznika doprowadza się impulsy z różnych dekad i mierzy się napięcie wyjściowe pompy diodowej.

Zegar zasilany jest napięciem stałym 50 V. Poszczególne układy zegara zasilane są napięciami +12 V, -6V, wytworzonymi przez zasilacz stabilizowany. Praca zasilacza polega na przetwarzaniu prądu stałego na zmienny, obniżeniu napięcia do odpowiedniej wartości, a następnie prostowaniu go i stabilizacji. Maksymalny pobrany prąd z napięcia +12V jest 350 mA, z napięcia -6V jest 150 mA.

Układy elektroniczne generatora kwarcowego, dekad, przesuwnika fazy i układów wyjściowych wykonane zostały przy użyciu krzemowych tranzystorów n-p-n TK 10. Dobór parametrów tranzystorów i elementów RC zapewniają niezawodną pracę i powtarzalność wykonania układów. Wszystkie układy zmontowane są na płytkach z laminatu z połączeniami uzyskanymi metodą obwodów drukowanych. Układy na płytkach zmontowane są z zachowaniem podziału funkcjonalnego, co zapewnia łatwą konserwację zegara przez możliwość wymiany lub kontroli poszczególnych układów.

#### 4. Podstawowe cechy konstrukcyjne i parametry charakterystyczne zegara QS - 2

Konstrukcja zegara kwarcowego umożliwia zastosowanie go jako bloku centrali zegarowej lub jako niezależnego przyrządu w odrębnej obudowie.

- Arytmetyczna średnia miesięczna z wartości odchylenia częstotliwości od wielkości znamionowej w dobowym przedziale odniesienia  $\leq \pm 5 \cdot 10^{-7}$  częstotliwości znamionowej.
- Maksymalne chwilowe odchylenie częstotliwości od częstotliwości 6-dniej miesięcznej  $\leq 1 \cdot 10^{-7}$ .



- Zegar kwarcowy ma możliwość dodawania lub odejmowania poprawki wskazań z niedokładnością 1 mS.
- Impulsy wyjściowe zegara:
  - a. Przebieg prostokątny o kierunku kolejno-zmiennym, częstotliwości 1 Hz, wynikającej z podziału częstotliwości generatora z rezonatorem kwarcowym. Czas trwania impulsu 0,4 sek.  $\pm 20$  ms, amplituda 50 V, dopuszczalne obciążenie 0,5 A.
  - b. Przebieg prostokątny jednokierunkowy o częstotliwości 1 Hz wynikającej z podziału częstotliwości jak w p. a. Czas trwania impulsu 0,5 sek.  $\pm 20$  ms, amplituda 50 V, dopuszczalne obciążenie 0,1 A.
  - c. Przebieg prostokątny jednokierunkowy o częstotliwości 2 Hz. Czas trwania impulsu 0,25 sek., amplituda 50 V  $\pm 10\%$ , dopuszczalne obciążenie 0,1 A.
  - d. Przebiegi prostokątne jednokierunkowe o częstotliwościach 10 Hz, 100 Hz, 1 kHz, amplitudzie  $> 12$  V i dopuszczalnym obciążeniu 1 k $\Omega$ .
  - e. Przebiegi sinusoidalne o częstotliwościach 50 Hz, 1 kHz, 200 kHz amplitudzie  $\geq 3$  V i dopuszczalnym obciążeniu 1 k $\Omega$ .
- Zegar powinien pracować poprawnie w temperaturze otoczenia  $+10^{\circ}\text{C}$   $\pm 40^{\circ}\text{C}$  i wilgotności powietrza  $\leq 80\%$ .
- Zegar zasilany jest z zewnętrznego źródła prądu stałego 50 V  $\pm 10\%$ , przy pobieranej mocy  $\leq 20$  W.

## 5. W n i o s k i

Parametry opracowanego zegara kwarcowego w odniesieniu do wzorów częstotliwości stawiają go w grupie wtórnych wzorców laboratoryjnych. Obecnie stabilność częstotliwości najlepszych współczesnych

wzorców kwarcowych jest rzędu  $\frac{\Delta f}{f} \approx \pm 10^{-10} + 10^{-10} t$ , gdzie  $t$  jest wyrażone w dobach. Uzyskanie tak dużej stabilności było możliwe dzięki poważnym osiągnięciom w dziedzinie techniki i technologii układów elektronicznych. Udoskonalenie układów wzbudzających, dokładna stabilizacja temperatury, specjalna obróbka rezonatorów kwarcowych - pozwalają na osiągnięcie w pojedynczych przypadkach, a zbliżenie się w układach często powielanych do wyżej podanej stabilności. Jednocześnie potrzeby dzisiejszej nauki i techniki wymagają jeszcze większych dokładności pomiaru czasu.

Zastosowanie do służby czasu atomowych wzorców pozwala na uzyskanie dziennej stabilności i odtwarzalności częstotliwości rzędu  $10^{-11}$ . Ekstrapolując przebieg dotychczasowego rozwoju wzorców częstotliwości można wysunąć hipotezę, że w latach osiemdziesiątych osiągalna niedokładność będzie rzędu  $10^{-13}$ .



W zagadnieniach sieci czasu dokładności tego rzędu nie są obecnie potrzebne. Obecnie wymagane niedokładności zawierają się w granicach  $10^{-6}$  +  $10^{-8}$ . Dla takich zegarów pierwotnych wzorcami odniesienia będą doskonalsze wzorce atomowe.