ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 2003
Seria: ELEKTRYKA z. 184 Nr kol. 1569

Marian KAMPIK

SYSTEM STERUJĄCY KALIBRATORA NAPIĘCIA PRZEMIENNEGO O BARDZO MAŁEJ CZĘSTOTLIWOŚCI[1]

Streszczenie. W pracy przedstawiono system sterujący kalibratora napięcia przemiennego o bardzo małej częstotliwości. System realizuje wiele funkcji, w istotny sposób upraszczając posługiwanie się przyrządem. System składa się z trzech modułów, które komunikują się ze sobą za pomocą łączy szeregowych. W pracy opisano poszczególne moduły oraz realizowane przez nie zadania.

EMBEDDED SYSTEM OF THE LOW-FREQUENCY AC VOLTAGE CALIBRATOR

Summary. An embedded system of the low-frequency ac voltage calibrator is described in the paper. The system performs many tasks, simplifying the operation of the calibrator. The system is composed of three main modules. The communication between them is provided by means of serial links. The paper contains description of the each module and lists the tasks performed by them.

1. WPROWADZENIE

Kalibrator napięcia przemiennego (KNP) wytwarza napięcie o kształcie zbliżonym do sinusoidy, którego wartość skuteczna jest nastawiana z dużą (ok. 10^{-7}) rozdzielczością i małą ($< 10^{-4}$) niepewnością. Współczesne kalibratory wielofunkcyjne wytwarzają napięcie przemienne o częstotliwości zawierającej się w przedziale od 10 Hz do 1 MHz, a w wykonaniach specjalnych do około 30 MHz [1]. KNP są wykorzystywane w laboratoriach zajmujących się wzorcowaniem aparatury pomiarowej. Najczęściej służą do wzorcowania woltomierzy napięcia przemiennego.

W niektórych dziedzinach nauki i techniki wymagane jest stosowanie źródeł sygnału sinusoidalnego o bardzo stabilnej wartości skutecznej w zakresie częstotliwości < 10 Hz. Przykładem mogą być badania termicznych przetworników wartości skutecznej napięcia prze-

[1] Praca powstała w ramach grantu KBN nr 8T10C 040 18

miennego [2]. Ze względu na brak KNP wytwarzających napięcie przemienne o tak małej częstotliwości, w tego rodzaju badaniach stosowane są cyfrowe źródła napięcia przemiennego o bardzo małej częstotliwości [3]. Korzystanie z nich jest kłopotliwe. Zmiana wartości skutecznej odbywa się przez zmianę wejściowego, stałego napięcia odniesienia. Wymaga to zastosowania dodatkowego źródła takiego napięcia, np. w postaci kalibratora napięcia stałego oraz częstego wzorcowania, np. metodą statyczną [4].

Zintegrowanie źródła z programowanym źródłem wzorcowego napięcia stałego (PZWNS) [5] znacznie ułatwia posługiwanie się tym przyrządem. Dalsze udoskonalenie polega na zastosowaniu odpowiedniego systemu sterującego. System tego rodzaju jest przedmiotem niniejszej pracy.

2. FUNKCJE REALIZOWANE PRZEZ SYSTEM STERUJĄCY

Do najważniejszych zadań realizowanych przez system sterujący kalibratora należą:

- sterowanie procesem nastawy napięcia z uwzględnieniem parametrów przechowywanych w nieulotnej pamięci stałych kalibracyjnych,
- wybór zakresu (czyli odpowiedniego wzmacniacza lub dzielnika zakresowego),
- obsługa klawiatury i wyświetlacza kalibratora,
- obsługa interfejsów komunikujących się ze światem zewnętrznym,
- nadzorowanie napięcia zasilającego i temperatury wewnątrz obudowy,
- sterowanie procesem wzorcowania i autowzorcowania,
- dokumentowanie procesu wzorcowania (w tym pomiar czasu, który upłynął od ostatniego wzorcowania oraz temperatury wewnątrz obudowy),
- sterowanie procesem autodiagnostyki.

3. ARCHITEKTURA SYSTEMU STERUJĄCEGO

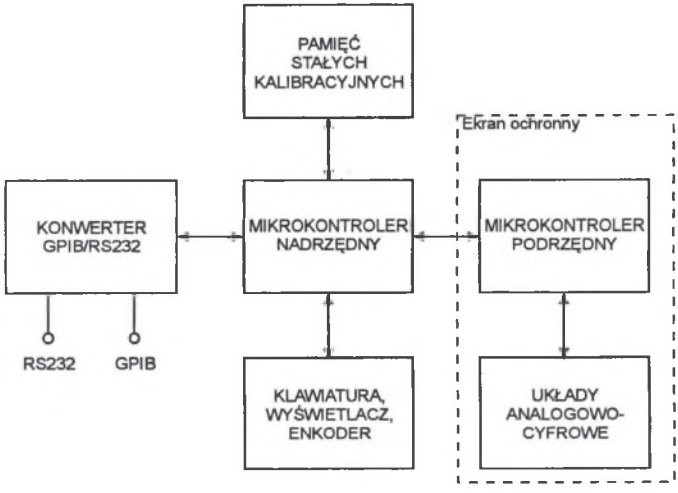
Architektura systemu sterującego KNP została opracowana przy wykorzystaniu doświadczeń czołowych producentów aparatury pomiarowej: firm Fluke, Agilent oraz Wavetek-Datron. Schemat blokowy systemu przedstawiono na rys.1.

W skład systemu wchodzą trzy podstawowe moduły:

- moduł interfejsu,
- moduł mikrokontrolera nadrzędnego,
- moduł mikrokontrolera podrzędnego.

W każdym z modułów zastosowano szybki mikrokontroler ośmiobitowy serii MCS51. W celu wyeliminowania wpływu zakłóceń pochodzących od sygnałów zegarowych mikrokontrolerów ich generatory kwarcowe funkcjonują jedynie w czasie przyjmowania i wykonywania poleceń przychodzących np. z aktywnego układu interfejsu lub z klawiatury.

Po wykonaniu rozkazu każdy z mikrokontrolerów przechodzi w tryb POWER DOWN, w którym między innymi wyłączony zostaje oscylator kwarcowy. Włączenie oscylatora mikrokontrolera następuje po pojawieniu się sygnału przerwania.



Rys.1. Architektura systemu sterującego KNP
Fig.1. Architecture of the embedded system of the calibrator

Komunikacja między poszczególnymi modułami jest realizowana za pomocą łączy szeregowych. Łącze pomiędzy interfejsem a mikrokontrolerem nadrzędnym jest zgodne ze standardem RS232, co umożliwia bezpośrednie sprzęgnięcie modułu mikrokontrolera nadrzędnego z komputerem PC (np. w celach serwisowych). Komunikacja między modułem mikrokontrolera nadrzędnego i podrzędnego odbywa się za pośrednictwem dwuwłóknowego łącza światłowodowego. Rozwiązanie to, przy odpowiednim sposobie ekranowania i doprowadzenia linii zasilania układów w ekranie ochronnym, umożliwia znaczne zmniejszenie sprzężenia pojemnościowego między układami umieszczonymi w ekranie ochronnym oraz częścią cyfrową znajdującą się poza ekranem ochronnym.

Architektura KNP przedstawiona na rys.1 ułatwia oprogramowanie poszczególnych modułów. Po uzgodnieniu protokołów komunikacyjnych możliwe jest powierzenie zadania oprogramowania modułów trzem programistom. Modyfikacja pamięci programu mikrokontrolera nadrzędnego i podrzędnego jest możliwa bez otwierania obudowy kalibratora. Nowa zawartość pamięci programu może być przesłana przez interfejs RS232 lub GPIB.

4. MODUŁ INTERFEJSU

Moduł interfejsu zawiera:

- dwa interfejsy RS232,
- asynchroniczny interfejs GPIB,
- przełącznik blokujący możliwość modyfikacji zawartości pamięci stałych kalibracyjnych;
- układy synchronizacji.

Pierwszy z interfejsów RS232, nazywany zewnętrznym, służy do komunikacji KNP z otoczeniem. Przewidziano implementację trzech rodzajów kontroli transmisji, do wyboru:

- programową XON/XOFF,
- sprzętową, parami sygnałów RTS i CTS,
- sprzętową, parami sygnałów DTR i DSR.

Sposób kontroli transmisji, jak i pozostałe parametry charakteryzujące transmisję danych przez ten interfejs (szybkość, format), są nastawiane przez użytkownika i przechowywane w pamięci EEPROM znajdującej się na płytce modułu interfejsu. Dzięki temu moduł może funkcjonować całkowicie niezależnie od pozostałych modułów wchodzących w skład KNP. Jeśli moduł interfejsu jest połączony z mikrokontrolerem nadrzędnym, to po inicjalizacji systemu mikrokontroler nadrzędny przesyła do modułu interfejsu zapytanie dotyczące aktualnej konfiguracji interfejsu GPIB oraz RS232. W odpowiedzi moduł przesyła wszystkie parametry konfiguracyjne zapisane w pamięci EEPROM. Zostają one umieszczone w pamięci RAM mikrokontrolera nadrzędnego. Użytkownik, zmieniając wartość jakiegoś parametru, powoduje przesłanie zmodyfikowanych parametrów do modułu interfejsu, który zachowuje je w pamięci EEPROM.

Drugi interfejs RS232, nazywany wewnętrznym, służy do komunikowania się modułu interfejsu z mikrokontrolerem nadrzędnym. Nie jest możliwa zmiana parametrów transmisji. Kontrola transmisji odbywa się metodą XON/XOFF. Po pierwszym przesłanym znaku (znak dwukropka) nadawca czeka kilkanaście milisekund na uruchomienie się oscylatora zegarowego odbiorcy, a następnie, po otrzymaniu komunikatu potwierdzającego gotowość odbiorcy do przyjęcia komunikatu, rozpoczyna transmisję.

Interfejs GPIB został zrealizowany w technologii CPLD [6]. Nie zastosowano typowego monolitycznego układu interfejsu (np. serii TMS9914), ponieważ układy tego rodzaju wymagają doprowadzenia zewnętrznego sygnału zegarowego. Opracowany układ realizuje następujące funkcje interfejsowe: SH1, AH1, T6, L3, SR1, RL1, DC1.

Możliwe jest uaktywnienie tylko jednego interfejsu zewnętrznego (GPIB albo RS232). Jeśli aktywnym interfejsem zewnętrznym jest RS232, to moduł przetwarza ciąg danych pochodzących z interfejsu zewnętrznego i przesyła je interfejsem wewnętrznym do mikrokontrolera nadrzędnego. Transmisja jest dwukierunkowa. Parametry transmisji obu interfejsów mogą się różnić.

Wyboru interfejsu można dokonać jedynie za pomocą klawiatury kalibratora. Informacja o wybranym interfejsie zewnętrznym zostaje przesłana do modułu interfejsu i zapamiętana

w pamięci EEPROM. W celach serwisowych przewidziano możliwość wyboru interfejsu zewnętrznego za pomocą zworki na płytce modułu interfejsu.

Przełącznik blokujący możliwość modyfikacji zawartości pamięci stałych kalibracyjnych zabezpiecza przed niezamierzoną modyfikacją stałych kalibracyjnych, wyznaczonych w procesie wzorcowania kalibratora. Stałe te są przechowywane w pamięci nieulotnej znajdującej się w module mikrokontrolera nadrzędnego. Przełącznik jest umieszczony na płycie tylnej kalibratora w taki sposób, aby możliwe było zabezpieczenie jego suwaka za pomocą odpowiedniej naklejki. Przełącznik połączony jest z jedną z linii mikrokontrolera w module konwertera GPIB/RS232. Stan logiczny tej linii odczytywany jest przez mikrokontroler nadrzędny przy inicjalizacji procesu wzorcowania. Odbywa się to przez przesłanie zapytania „CAL ENABLE?" do modułu konwertera. Brak odpowiedzi twierdzącej uniemożliwia modyfikację zawartości pamięci stałych kalibracyjnych.

Układ synchronizacji realizuje następujące funkcje:

- umożliwia taktowanie cyfrowego źródła napięcia przemiennego za pomocą zewnętrznego, cyfrowego sygnału zegarowego,
- udostępnia cyfrowy sygnał synchronizujący o częstotliwości równej częstotliwości sygnału wytwarzanego przez kalibrator,
- udostępnia sygnał o częstotliwości 10 MHz, wytwarzany przez termokompensowany generator kwarcowy kalibratora.

Układ synchronizacji jest sprzęgnięty z układem analogowo-cyfrowym znajdującym się wewnątrz ekranu ochronnego. W celu zminimalizowania sprzężeń pomiędzy układami znajdującymi się wewnątrz ekranu ochronnego i częścią cyfrową kalibratora zastosowano dupleksowe łącze światłowodowe.

5. MODUŁ MIKROKONTROLERA NADRZĘDNEGO

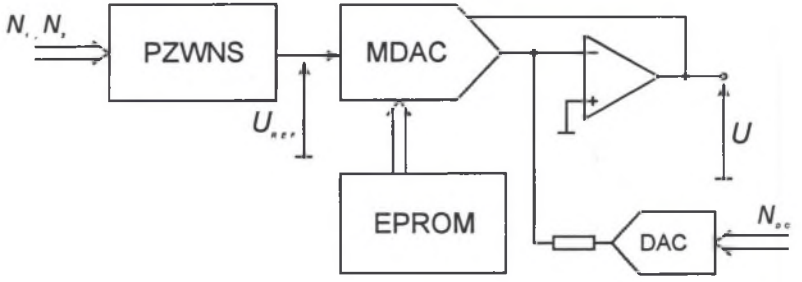
W module mikrokontrolera nadrzędnego zastosowano szybki mikrokontroler ośmiobitowy serii 8051 o zredukowanym cyklu rozkazowym, wyposażony w dwa układy transmisji szeregowej. Wprawdzie rola mikrokontrolera nadrzędnego z reguły sprowadza się do przyjęcia, zdekodowania i wykonania rozkazu, jednak z uwagi na konieczność wykonywania obliczeń zmiennoprzecinkowych o podwójnej precyzji szybkość mikrokontrolera jest istotna. Jako pamięć programu zastosowano układ pamięci FLASH o pojemności 4 Mb. Zastosowany układ pamięci umożliwia wielokrotne jej przeprogramowanie (wg danych producenta ok. 10^6 razy). W skład modułu mikrokontrolera nadrzędnego wchodzą ponadto następujące podmoduły:

- pamięć stałych kalibracyjnych,
- ciekłokrystaliczny wyświetlacz graficzny,
- klawiatura z enkoderem optycznym,
- zegar czasu rzeczywistego,

- dwa interfejsy szeregowe,
- układy zabezpieczające i nadzorujące.

5.1. Pamięć stałych kalibracyjnych

Podstawowym układem KNP o bardzo małej częstotliwości jest cyfrowe źródło napięcia przemiennego (ang.: Digitally Synthesized Source - DSS) [7]. Źródło to, przedstawione na rys.2, wytwarza napięcie o kształcie zbliżonym do sinusoidy na podstawie próbek funkcji sinus zapisanych w pamięci EPROM.

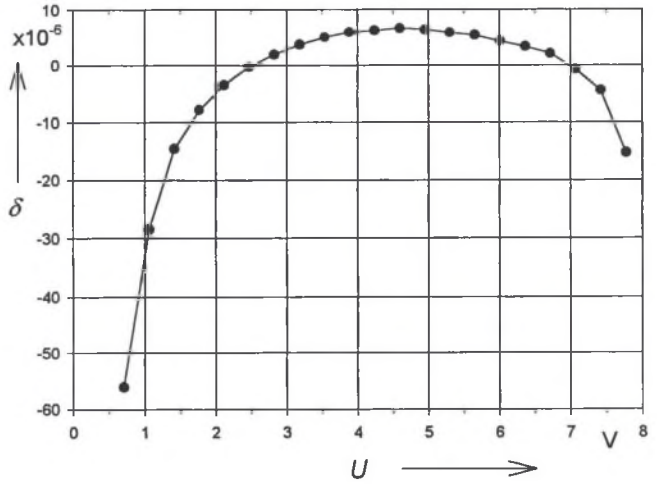


Rys.2. Schemat blokowy cyfrowego źródła napięcia przemiennego
Fig.2. Simplified schematic diagram of the digitally synthesized source

Przetwornik c/a sekwencyjnie przetwarza ciąg liczb zapisanych w pamięci EPROM na prąd. Prąd ten jest następnie przetwarzany na napięcie za pomocą precyzyjnego przetwornika I/U. Zastosowanie mnożącego przetwornika c/a (MDAC) umożliwia zmianę wartości skutecznej U wytwarzanego napięcia przemiennego przez zmianę stałego napięcia odniesienia U_{REF} podanego na wejście MDAC.

Napięcie U_{REF} uzyskiwane jest za pomocą programowanego źródła wzorcowego napięcia stałego (PZWNS). Na cyfrowe wejście PZWNS podawane są dwa 16-bitowe słowa programujące o wartości N_1 oraz N_2. Z przeprowadzonych badań wynika, że zależność $U = f(U_{REF})$ charakteryzuje się pewną nieliniowością. Na rys.3 przedstawiono przykładowe odstępstwo zależności $U = f(U_{REF})$ od linii prostej, wyznaczonej metodą najmniejszych kwadratów.

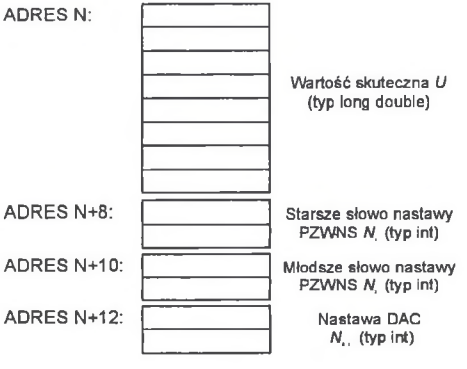
Również PZWNS charakteryzuje się pewną nieliniowością. Dlatego w procesie wzorcowania kalibratora, w celu uwzględnienia ewentualnej nieliniowości charakterystyki $U_{REF} = f(N_1, N_2)$ PZWNS, dla podstawowego zakresu o wartości umownej $U_R = 7$ V, wyznaczane są wartości nastaw N_1 oraz N_2 odpowiadające przybliżonym wartościom wartości skutecznej napięcia wyjściowego U z przedziału od 0,0 do 7,5 V z krokiem 0,5 V.



Rys.3. Odstępstwo zależności $U = f(U_{REF})$ od linii prostej, wyznaczonej metodą najmniejszych kwadratów

Fig.3. Discrepancy between $U = f(U_{REF})$ characteristic and ideal straight line fitted by means of the least squares method

Ponadto dla każdego punktu wzorcowania wyznacza się wartość N_{DC}, którą wpisuje się do dodatkowego przetwornika cyfrowo-analogowego DAC. Przetwornik ten wprowadza niewielki prąd do wejścia przetwornika I/U, umożliwiając zmniejszenie składowej stałej na wyjściu KNP do wartości bliskiej zeru. Dane otrzymane w procesie wzorcowania są zapisywane w pamięci stałych kalibracyjnych w sposób przedstawiony na rys.4.



Rys.4. Sposób zapisu stałych kalibracyjnych w pamięci

Fig.4. Mapping of the calibration constants in the calibration memory

Dla każdego zakresu wymagane jest zapamiętanie w pamięci stałych kalibracyjnych $17 \times 14 = 238$ bajtów. Zatem do przechowania stałych kalibracyjnych dla pozostałych zakresów (2,2 mV; 220 mV; 2,2 V; 22 V; 220 V oraz opcjonalnego 1100 V) potrzebnych jest 1666 bajtów pamięci (założono ośmiobajtowy format liczb zmiennoprzecinkowych o podwójnej precyzji IEEE-P754). Ponieważ źródło może wytwarzać przebiegi o różnej liczbie M próbek funkcji sinus przypadających na okres, obliczoną liczbę należy przemnożyć przez 10 możliwych wartości M, dla których należy przeprowadzić wzorcowanie. W rezultacie wymagane jest około 17 kilobajtów pamięci nieulotnej przechowującej aktualną tablicę korygującą nieliniowość charakterystyk $U = f(N)$.

W kalibratorze zastosowano trzy obszary pamięci przechowujące tablice stałych kalibracyjnych. Pierwszy, który można nazwać pierwotnym, przechowuje dane z procesu wzorcowania przeprowadzonego przez wytwórcę. Kolejne dwa obszary zawierają dane z wzorcowania wykonanego przez użytkownika (poprzednie i aktualne). Przyjęto następujące zasady korzystania z pamięci stałych kalibracyjnych:

1. Pamięć pierwotna może być zmieniona jedynie przez producenta.
2. Dane z aktualnego procesu wzorcowania gromadzone są w pamięci RAM.
3. Jeżeli proces wzorcowania jest już zakończony, to dane zapisane w pamięci nieulotnej (FLASH) reprezentujące aktualną tablicę wzorcowania stają się poprzednimi, a w ich miejsce kopiowane są dane z pamięci RAM.

5.2. Klawiatura, wyświetlacz i enkoder

W celu ułatwienia obsługi kalibratora zastosowano graficzny wyświetlacz ciekłokrystaliczny. W celu minimalizacji zakłóceń zaimplementowano (opcjonalne) automatyczne wyłączanie wyświetlacza. Podstawową funkcją wyświetlacza jest wizualizacja aktualnej wartości nastawy napięcia oraz częstotliwości oraz informowanie użytkownika o wszelkich nieprawidłowościach w pracy kalibratora.

Na klawiaturze można wyróżnić następujące grupy klawiszy:

- klawisze kontekstowe, umieszczone obok wyświetlacza i służące do wybierania, zmieniających się w zależności od aktualnego trybu pracy kalibratora, realizowanych funkcji,
- klawiaturę numeryczną, służącą do wprowadzania nastaw kalibratora,
- klawisze sterujące wyjściem kalibratora (STANDBY, OPERATE, EXT SENSE, EXT GUARD),
- enkoder optyczny, który funkcjonalnie odpowiada parze klawiszy do inkrementacji lub dekrementacji określonego parametru.

Ponieważ mikrokontroler nadrzędny również przechodzi w tryb POWER DOWN, naciśnięcie któregokolwiek z klawiszy powoduje generację przerwania i w konsekwencji powrót mikrokontrolera do normalnej pracy oraz odpowiednią reakcję na przerwanie.

Użycie enkodera powoduje wygenerowanie sygnału przerwania, który uaktywnia mikrokontroler nadrzędny. Jak już wspomniano, czas uruchamiania oscylatora kwarcowego mikrokontrolera trwa kilkanaście milisekund. W tym czasie niemożliwe jest programowe zliczanie impulsów pochodzących z enkodera. W celu zapobieżenia błędnym nastawom zastosowano

sprzętowo-programową metodę obsługi enkodera. Impulsy pochodzące z enkodera są zliczane przez licznik rewersyjny, zaimplementowany w programowanym układzie logicznym CPLD. Po wyjściu mikrokontrolera ze stanu uśpienia mikrokontroler dokonuje odczytu liczby impulsów zliczonych przez licznik oraz zeruje go.

5.3. Zegar czasu rzeczywistego, interfejsy i układy nadzorująco-zabezpieczające

Zastosowanie **zegara czasu rzeczywistego** umożliwia między innymi informowanie użytkownika o czasie, jaki upłynął od ostatniego wzorcowania. W tym celu każda modyfikacja zawartości pamięci stałych kalibracyjnych jest opatrzona datą, która jest zapamiętywana. Dzięki temu istnieje potencjalna możliwość wyświetlania informacji o niepewności typu B aktualnie wytwarzanego napięcia przemiennego.

Moduł mikrokontrolera nadrzędnego zawiera **dwa interfejsy szeregowe**. Jeden z nich, odpowiadający normom standardu RS232, służy do komunikacji z modułem interfejsu. Drugi interfejs jest wykonany w postaci dupleksowego łącza światłowodowego, zapewniając komunikację z modułem mikrokontrolera podrzędnego, znajdującym się w ekranie ochronnym.

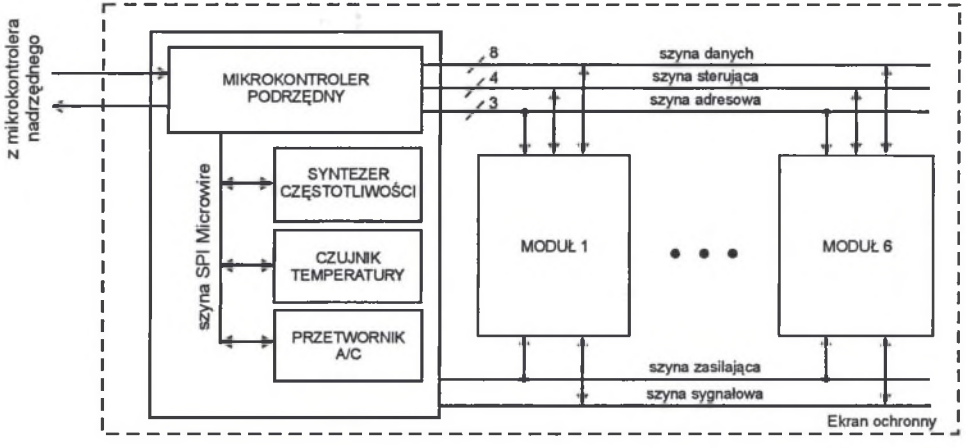
Układ nadzorująco-zabezpieczający realizuje kilka funkcji:

- zapewnia poprawny start i zerowanie mikrokontrolera nadrzędnego,
- wytwarza niemaskowalne przerwanie w przypadku zaniku napięcia zasilającego,
- włącza napięcie podtrzymujące zasilanie zegara czasu rzeczywistego. Napięcie to jest wytwarzane przez baterię litową,
- wytwarza niemaskowalne przerwanie w przypadku wzrostu temperatury wewnątrz obudowy powyżej 80°C,
- zabezpiecza przed przypadkową modyfikacją zawartości pamięci stałych kalibracyjnych,
- steruje prędkością obrotową wentylatorów wentylujących obudowę kalibratora.

6. SYSTEM STERUJĄCY PODRZĘDNY

Na rys.5 przedstawiono uproszczony schemat blokowy części kalibratora znajdującej się wewnątrz ekranu ochronnego. Układ ten składa się z kilku modułów mieszczących się na płytkach drukowanych o identycznej długości i szerokości. Połączenia elektryczne między modułami są realizowane za pomocą szyn zlokalizowanych na płycie głównej. Na płycie tej znajdują się trzy główne szyny: sterująca (cyfrowa), zasilająca oraz sygnałowa (analogowa). Szyna sterująca składa się z ośmiobitowej szyny danych, trzybitowej szyny adresowej oraz czterobitowej szyny sterującej. Szyna cyfrowa jest kontrolowana przez mikrokontroler podrzędny, znajdujący się na jednym z modułów. Zastosowano tu mikrokontroler ośmiobitowy serii 8051, który ma możliwość wyjścia z trybu POWER DOWN po wystąpieniu zewnętrznego przerwania. Mikrokontroler współpracuje z zewnętrzną pamięcią programu (64kB) oraz z zewnętrzną pamięcią danych (32 kB). Z modułem mikrokontrolera zintegrowano syntezer częstotliwości, czujnik temperatury oraz układ 24-bitowego przetwornika a/c używanego przez układy autodiagnostyki i autowzorcowania. Te trzy układy połączone są

z mikrokontrolerem podrzędnym za pośrednictwem lokalnej szyny SPI Microwire. Mikrokontroler podrzędny komunikuje się z mikrokontrolerem nadrzędnym poprzez szeregowe, dupleksowe łącze światłowodowe.



Rys.5. Uproszczony schemat blokowy układu znajdującego się wewnątrz ekranu ochronnego
Fig.5. Simplified schematic diagram of the inguard module

System sterujący podrzędny realizuje funkcje autodiagnostyczne. Układ autodiagnostyki spełnia cztery podstawowe funkcje:

- sprawdza, czy napięcia zasilające doprowadzone do poszczególnych modułów mieszczą się w granicach tolerancji,
- sprawdza, czy napięcia stałe występujące na krytycznych analogowych liniach sygnałowych są właściwe,
- sprawdza, czy temperatura wewnątrz termostatów jest właściwa,
- sprawdza, czy temperatura wewnątrz ekranu ochronnego nie przekroczyła wartości dopuszczalnej i na ile różni się od temperatury, w której realizowano wzorcowanie.

Pierwsze zadanie jest realizowane jedynie w czasie inicjalizacji systemu po włączeniu zasilania oraz na żądanie operatora. Rolę woltomierza spełnia 24-bitowy monolityczny przetwornik a/c. W każdym z modułów znajduje się układ multipleksera analogowego sterowanego za pośrednictwem magistrali sterującej. Jeśli układ wykryje w jakimś module napięcie niezgodne z założonym, uniemożliwia podanie napięcia na zaciski wyjściowe kalibratora oraz informuje mikrokontroler nadrzędny o wykryciu nieprawidłowości.

Drugie z zadań jest realizowane przed podaniem napięcia na zaciski wyjściowe kalibratora oraz w trakcie procedury autowzorcowania. W razie wykrycia niewłaściwej wartości napięcia na danej linii analogowej mikrokontroler podrzędny uniemożliwia podanie napięcia na zaciski wyjściowe przyrządu.

Trzecie z zadań jest realizowane przez cały czas. Ponieważ w stanie normalnej pracy mikrokontroler jest wyłączony (a ściślej znajduje się w trybie POWER DOWN), monitorowanie temperatury termostatów zrealizowano wykorzystując przerwanie INT1* mikrokontrolera, które może również uruchomić oscylator mikrokontrolera podrzędnego. W każdym układzie regulatora temperatury termostatu umieszczono komparator okienkowy, na którego wejście podano napięcie proporcjonalne do temperatury panującej w termostacie. Jeśli temperatura termostatu jest zbyt niska lub zbyt wysoka, powoduje to uaktywnienie sygnału przerwania wchodzącego w skład szyny sterującej. Po otrzymaniu przerwania mikrokontroler uaktywnia się i sprawdza, z którego modułu przyszło przerwanie. Sprawdzenie to polega na uaktywnieniu kolejnych buforów trójstanowych znajdujących się w każdym module zawierającym termostat. Do wejścia tych buforów doprowadzone są sygnały „Temperatura_zbyt_wysoka" oraz „Temperatura_zbyt_niska" z wyjścia komparatora okienkowego. Sygnały te są doprowadzone przez bufor trójstanowy do dwóch najmłodszych bitów magistrali adresowej. Wykrycie zbyt niskiej temperatury w którymś z termostatów powoduje wysłanie komunikatu do mikrokontrolera nadrzędnego. Wykrycie temperatury zbyt wysokiej powoduje natychmiastowe wyłączenie grzejnika danego termostatu i wysłanie komunikatu do mikrokontrolera nadrzędnego. W każdym z tych przypadków mikrokontroler nadrzędny powoduje wyświetlenie informacji o anormalnym stanie danego termostatu.

Ostatnie zadanie układu autodiagnostyki – monitorowanie napięcia wewnątrz ekranu ochronnego - realizowane jest podobnie jak monitorowanie temperatury wewnątrz termostatów, z tym że wykrywane są w tym przypadku trzy stany: temperatury niższej lub wyższej o 5 K od temperatury w której realizowano wzorcowanie oraz zbyt wysokiej temperatury wewnątrz ekranu ochronnego. Detekcja pierwszych dwóch przypadków za pomocą przerwania od INT1* jest opcjonalna.

Projektując podrzędny system sterujący przewidziano również możliwość realizacji procedur autowzorcowania kalibratora. Umożliwi to opcjonalne wzorcowanie kalibratora bez korzystania z zewnętrznego woltomierza napięcia stałego sterowanego z komputera klasy PC. Jego zasadniczym elementem będzie kompensator napięcia stałego składający się z programowanego źródła stałego napięcia odniesienia [5] oraz detektora zera wykorzystującego 24-bitowy przetwornik a/c ze wzmacniaczem pomiarowym na wejściu. Programowane źródło stałego napięcia odniesienia stanowi osobny moduł mieszczący się wewnątrz ekranu ochronnego i kontrolowane jest przez szynę cyfrową zlokalizowaną na płycie głównej.

7. PODSUMOWANIE

Przedstawiony system sterujący w istotny sposób ułatwia posługiwanie się kalibratorem napięcia przemiennego o bardzo małej częstotliwości. Dzięki modularyzacji system ten jest uniwersalny i może być dostosowany do np. kalibratora wielofunkcyjnego, kalibratora mocy lub fazy. Modularyzacja ułatwia także modyfikację i oprogramowanie systemu. System zaprojektowano pod kątem minimalizacji zakłóceń emitowanych przez sygnały cyfrowe. Po

realizacji ostatniego rozkazu mikrokontrolery wchodzące w skład poszczególnych modułów przechodzą w tryb uśpienia (POWER DOWN), w którym wyłączone zostają ich oscylatory kwarcowe. Jest to rozwiązanie rzadko spotykane w aparaturze pomiarowej najwyższej klasy.

LITERATURA

1. 5700A and 5720A Series Multifunction Calibrators. Service Manual. Fluke Corporation. Everett, WA 1996.
2. Laiz H.: Low frequency behaviour of thin-film multijunction thermal converters. PTB-Bericht, Braunschweig 1999.
3. Guildline 7410 AC Voltage Reference. Preliminary Technical Manual.
4. Kampik M., Laiz H., Klonz M.: Comparison of three accurate methods to measure AC voltage at low frequencies. IEEE Trans. Instrum. Meas., vol.49, April 2000, pp.429-433.
5. Kampik M., Jedliński Ł., Gonscz D.: Programowane źródło wzorcowego napięcia stałego. Mat. II Konferencji Podstawowe Problemy Metrologii PPM 2001. Gliwice-Ustroń 2001.
6. Jedliński Ł., Kampik M.: Asynchroniczny interfejs GPIB zrealizowany w technologii CPLD. Mat. II Konferencji Podstawowe Problemy Metrologii PPM 2001. Gliwice-Ustroń 2001.
7. Kampik M., Skubis T.: Wzorcowe źródło napięcia przemiennego o bardzo małej częstotliwości. Mat. Konf. „Systemy Pomiarowe w Badaniach Naukowych i w Przemyśle SP '98", Politechnika Zielonogórska, Zielona Góra 1998.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Janusz GAJDA

Wpłynęło do Redakcji dnia 22 lipca 2002 r.

Abstract

The paper describes an embedded system of the low-frequency ac voltage calibrator. The system performs the following most important tasks:

- setting of the output voltage of the calibrator using the constants stored in the internal nonvolatile calibration memory,
- range selection,
- scanning the keyboard, optical encoder and controlling the LCD graphic display,
- communication with the external world by means of the selectable GPIB or RS-232 interface,
- supervision of the supply voltage and temperature in the case,
- control of the calibration or autocalibration processes,

- autodiagnostic,
- documenting of the calibration or autocalibration processes with backdating.

The system is composed of the three main subsystems: interface module, main outguard microcontroller module and inguard module. The communication between all modules is provided by serial duplex links. The interface module contains the asynchronous GPIB interface, one RS232 configurable external interface and one RS232 internal interface. The external interface is selectable – only one can be active at a time. The main outguard microcontroller module is built around a fast, reduced-command cycle 8051 series microcontroller with two built-in UARTs. The module contains the nonvolatile reprogrammable memory which stores the calibration constants. A simplified calibration method is described in the paper in order to estimate the required capacity of the calibration constant memory. The real-time clock provides a time stamp for each calibration constant table stored in the memory and allow for documenting the calibration history.

The module controling the analog-digital circuitry is placed in the guard. This system has its own parallel digital control bus located on the inguard backplane. The local SPI bus controls the frequency synthesizer, 24-bit analog-to digital converter and digital thermometer which are located on the inguard module board. The inguard module features the autodiagnostic, calibration and optional autocalibration. The inguard module communicates with the main microcontroller module with a duplex fiber-optic serial link. It ultimately separates the analog circuitry from the earth-referenced digital section.

The system was extremely careful designed in spite of the electromagnetic compatibility. All microcontrollers enter the POWER DOWN mode and switch off their clock oscillators after performing the neccessary action.

The system is very flexible and it is possible to adapt it for other calibrators (power, multifunction or phase).