

MODEL SYSTEMU DO AUTOMATYCZNEGO BADANIA MODUŁÓW ELEKTRONICZNYCH STOSOWANYCH W ZAPALNIKACH CZASOWYCH

W artykule został opisany modelowy system do automatycznego testowania modułów elektronicznych stosowanych w zapalnikach czasowych. Przedstawiono budowę systemu od strony sprzętowej oraz programowej ze szczególnym uwzględnieniem przyczyn powstawania błędów pomiarowych.

1. Wstęp

Moduły elektroniki stosowane w zapalnikach czasowych, na etapie produkcji, podlegają kompleksowym badaniom sprawdzającym poprawność ich funkcjonowania. Każdy moduł jest poddawany wielu testom, między innymi na dokładność odmierzenia zaprogramowanego czasu i energii impulsu zapłonowego. Testy przeprowadzane są w różnych warunkach klimatycznych. Badania te są bardzo praco- i czasochłonne.

W artykule opisano modelowe rozwiązanie systemu do automatycznego testowania modułów. System ten został w skrócie nazwany ATM.

W WITU opracowana została dokumentacja konstrukcyjna w oparciu, o którą powstały modele stanowisk systemu ATM do badań modułów elektronicznych. Wykonane modele poddane zostały wszechstronnym badaniom laboratoryjnym. Badania miały na celu zweryfikowanie koncepcji oraz sprawdzenie stopnia wiarygodności uzyskiwanych wyników. Modele te zostały użyte do testowania zespołów elektronicznych podczas prac wykonywanych na rzecz przemysłu i w pełni potwierdziły słuszność przyjętych rozwiązań.

2. Koncepcja

Przy tworzeniu koncepcji systemu testującego (ATM) należało ściśle zdefiniować parametry badanych modułów, które mają decydujący wpływ na działanie układów i będą podlegać procedurze testowej. W tej grupie muszą znajdować się wszystkie parametry określone w WT.

Bardzo ważną cechą systemu powinna być jego uniwersalność, pozwalająca na badanie modułów różnych zapalników z danej rodziny przy minimalnej ingerencji w konfigurację systemu. System powinien umożliwiać jednoczesne badanie n-objektów.

Koncepcja powstała w WITU spełnia przedstawione powyżej założenia i na jej podstawie wykonano modelowe stanowiska systemu ATM.

3. Budowa systemu

W skład systemu wchodzi: komputer klasy PC ze specjalistycznym oprogramowaniem, płyta główna ATM-64, zasilacz i okablowanie (foto.1).

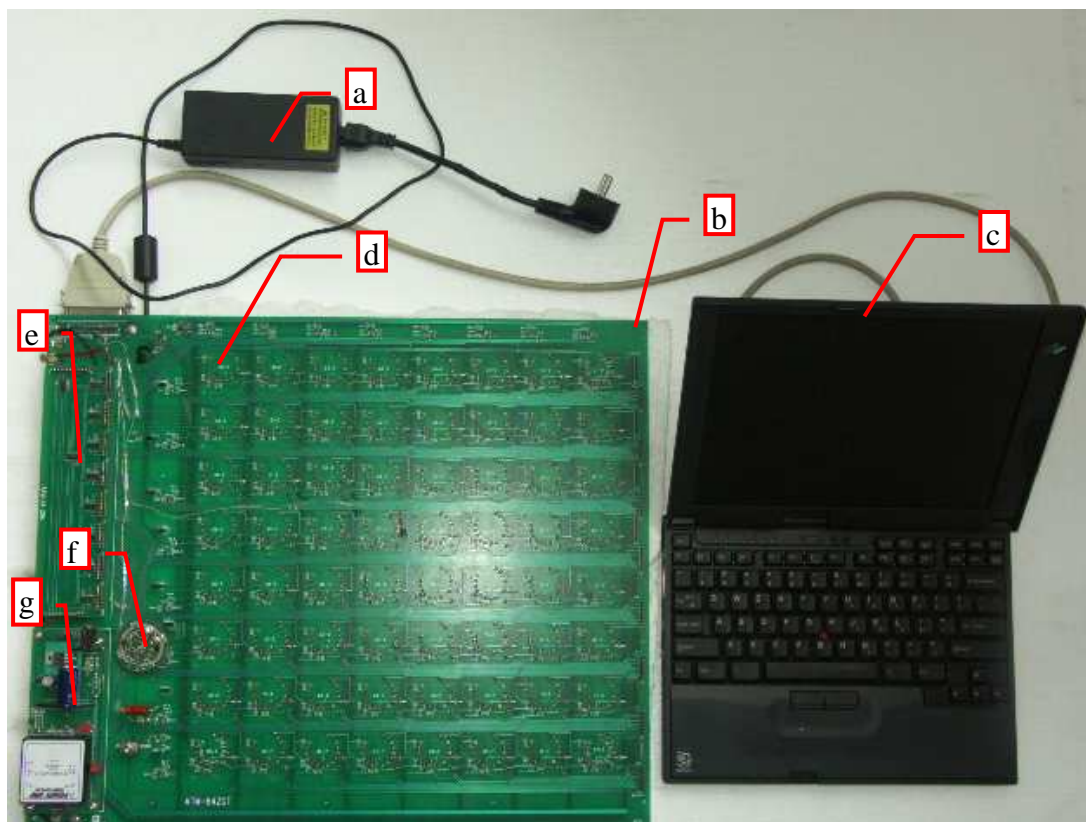


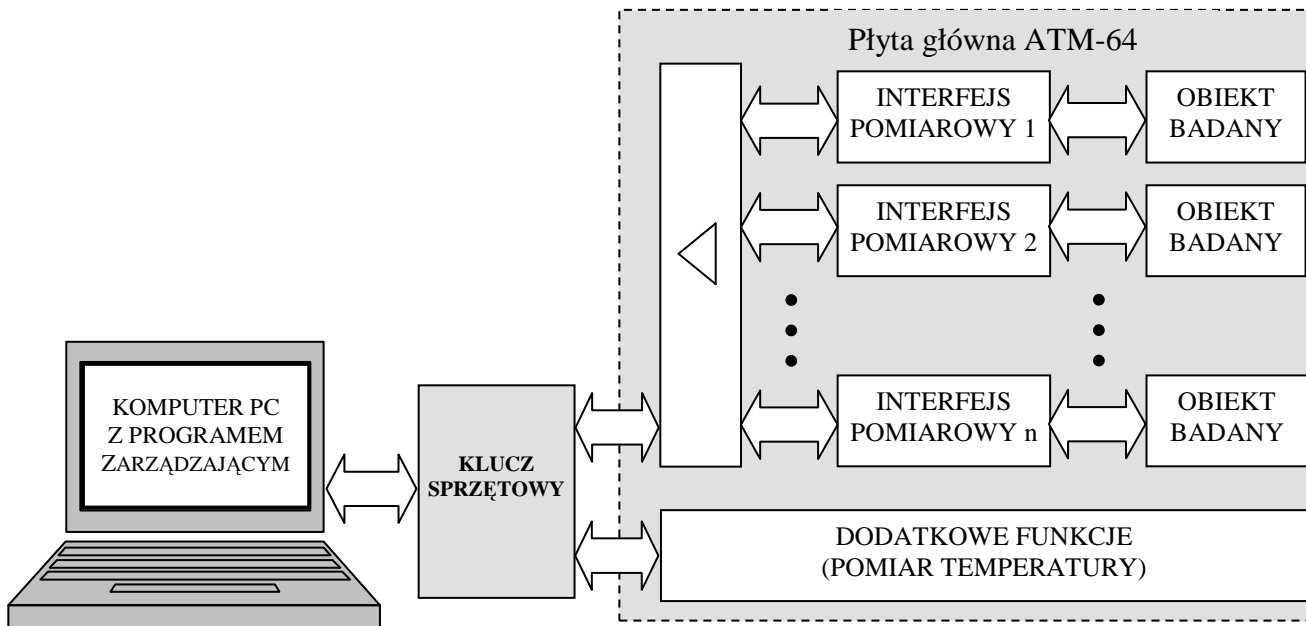
Foto 1. Widok kompletnego systemu ATM-64: a-zasilacz 220V/20V; b-płyta główna ATM-64; c-komputer PC; d-gniazdo do testowania modułów; e-moduł adresowania; f-moduł ładowania kondensatorów strzałowych; g-zasilanie peryferiów płyty głównej i zapalników. Źródło: opracowanie własne.

Płytę główną ATM-64 wykonano na dwuwarstwowej drukowanej płycie szkło-epoksydowej. Płyta zawiera gniazda dla badanych modułów. Ze względów czysto technicznych przyjęto ich liczbę równą 64 (2^6). Na rysunku 1 przedstawiono schemat blokowy systemu ATM.

Całym procesem badawczym zarządza komputer ze specjalnym oprogramowaniem. Komputer komunikuje się poprzez port równoległy zgodny ze standardem IEEE 1284 z kluczem sprzętowym, który dekoduje rozkazy i dopasowuje sygnały elektryczne pomiędzy komputerem i płytą ATM-64.

Jednoczesne badanie wielu obiektów umożliwia zainstalowany na płycie ATM-64 moduł adresowy. Moduł ten składa się z bloku multiplekserów analogowych, dzięki czemu badane sygnały nie są przekłamywane.

Płyta ATM-64 wyposażona jest w podwójny zasilacz niezbędny do pracy układów peryferyjnych i badanych obiektów.



Rysunek 1. Schemat funkcjonalny stanowiska badawczego

Źródło: opracowanie własne

W czasie procesu testowania do każdego badanego modułu doprowadzone są wszystkie sygnały występujące podczas pracy rzeczywistego zapalnika. Sygnały wytwarzane przez moduł podlegają sprawdzeniu i weryfikacji w systemie ATM. Wyniki pomiarów są rejestrowane w postaci raportów w pamięci komputera.

W celu rozszerzenia ilości monitorowanych sygnałów płytę główną można w prosty sposób rozbudować dokładając dodatkowe moduły adresowe, co obrazuje fotografia 2.

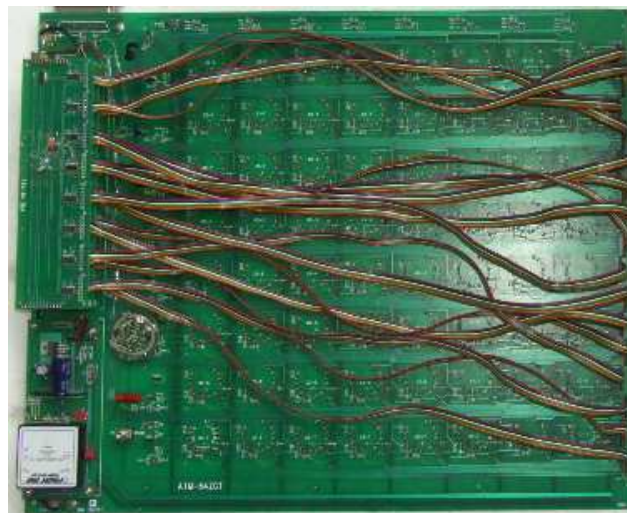


Foto 2. Płyta główna ATM-64 z dodatkowym modulem pomiarowym

Źródło: opracowanie własne.

4. Klucz sprzętowy

W systemie ATM zastosowano klucz sprzętowy (foto.3). Zadaniem jego jest zabezpieczenie algorytmu kodującego ramkę programującą przed wykorzystaniem go przez nieuprawnione osoby bądź podmioty. Klucz sprzętowy realizuje również dodatkowe funkcje m.in. dopasowanie sygnałów elektrycznych pomiędzy komputerem PC a płytą główną ATM-64 oraz funkcje przetwornika A/C. Klucz jest niezbędny do pracy całego systemu.



Foto 3. Klucz sprzętowy do systemu ATM-64
Źródło: opracowanie własne.

5. Oprogramowanie zarządzające systemem ATM

Nierozłączną częścią systemu ATM jest oprogramowanie sterujące przebiegiem pomiarów i rejestrujące wyniki. W naszym systemie program nazywa się „ATM”, aktualna wersja programu nosi oznaczenie 10C. Program był rozwijany równolegle z rozwojem platformy sprzętowej w wyniku czego możliwości system zostały poszerzone o nowe funkcje np. pomiar częstotliwości sygnału zegarowego modułów czy temperatury otoczenia, w której przeprowadza się badanie.

Głównym założeniem programu ATM jest wykorzystanie do odmierzania czasu sprzętowego licznika umieszczonego w każdym komputerze klasy PC. Licznik taktowany jest sygnałem zegarowym o stałej, zdefiniowanej w standardzie, częstotliwości 1.19318 MHz, wytwarzanym przez stabilny generator kwarcowy. Gwarantuje to dużą dokładność uzyskiwanych wyników. Licznik jest urządzeniem niezależnym, a program wykonywany przez procesor może kontrolować prace oraz stan licznika w dowolnym momencie..

Rozwiązanie to pozwala na wykorzystanie w roli komputera sterującego dowolnego komputera PC. Komputer ten nie wymaga dodatkowych, bardzo często wymaganych w innych automatycznych systemach pomiarowych, modyfikacji takich jak instalacja kart interfejsów np. IPGB, kart pomiarowych DAQ (Data AcQuisition) oraz, przede wszystkim, bardzo drogiego oprogramowania np. LabVIEW.

5.1 Właściwości programu

Program został napisany do pracy pod systemem operacyjnym DOS. Rozwiązanie takie stosowane jest w wielu komercyjnych programach narzędziowych w celu zapewnienia, w krytycznych momentach, pełnej kontroli nad komputerem. Program pracujący w tym trybie ma bezpośredni i wyłączny dostęp do zasobów sprzętowych komputera.

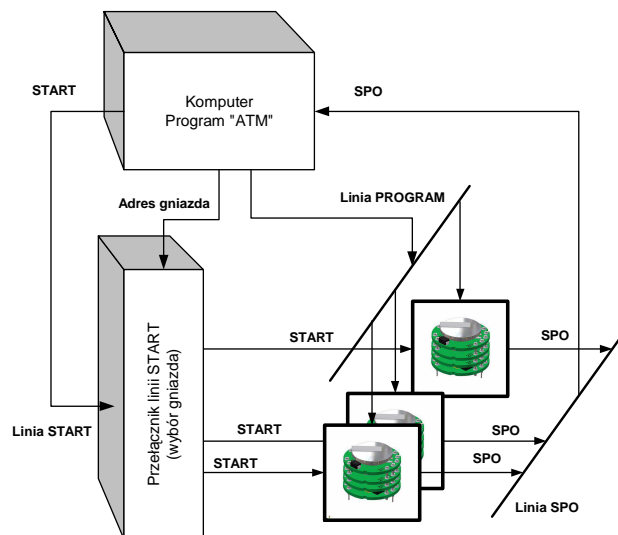
Główne funkcje programu ATM:

- organizacja cykli pomiarowych,
- wykonanie cyklu pomiarowego,
- rejestracja wyników.

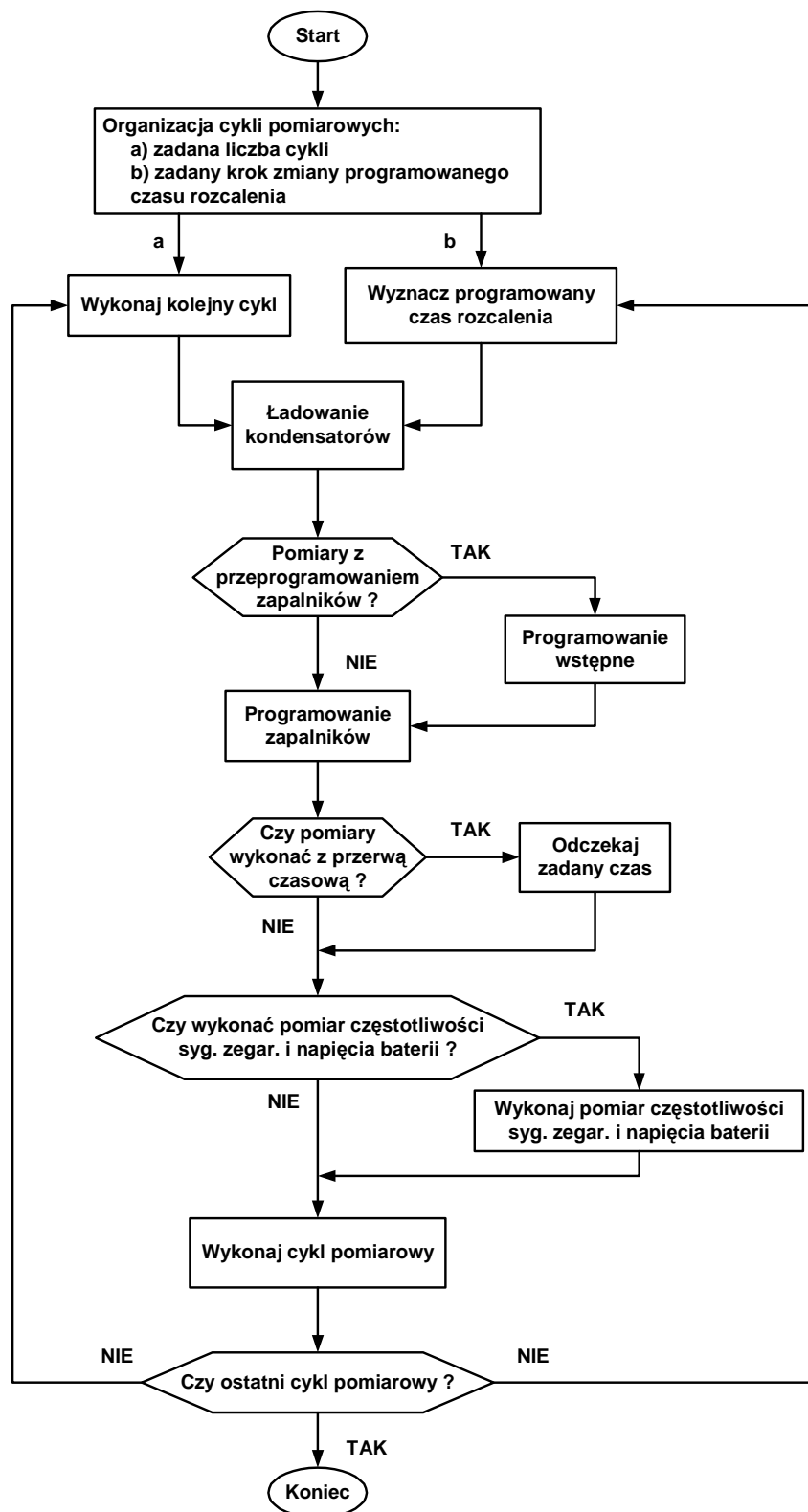
Program ATM może zrealizować wymienione powyżej funkcje wykonując sekwencyjnie następujące zadania:

- programowanie modułów;
- pomiar napięcia baterii dla wybranego modułu;
- pomiar częstotliwości sygnału zegarowego dla wybranego modułu;
- ładowanie kondensatorów w modułach;
- wygenerowanie sygnału START dla wybranego modułu;
- kontrola czasu pomiędzy wygenerowaniem sygnałów START dla kolejnych modułów;
- pomiar czasu od wystawienia sygnału START do odebrania sygnału SPO dla wybranego zapalnika;
- pomiar energii sygnału SPO;
- wyłączenie zapalników;
- pomiar temperatury na płycie ATM.

System ATM powstał w celu zautomatyzowania procesu testów działania elektronicznych modułów zapalników. W związku z tym najistotniejszą częścią programu, poza wykonywaniem pomiarów, jest organizacja cykli pomiarowych. W ramach jednego cyklu system wykonuje pomiary wszystkich osadzonych modułów dla jednego zadanego czasu rozcalenia. W kolejnych cyklach programowany czas może być automatycznie zmieniony o zadany krok. Schemat organizacji cykli pomiarowych przedstawia rysunek 3.



Rysunek 2. Uproszczony schemat układu pomiarowego
Źródło: opracowanie własne.



Rysunek 3. Organizacja cykli pomiarowych
Źródło: opracowanie własne.

Program komunikuje się z warstwą sprzętową systemu ATM za pomocą portu równoległego. Rozwiązanie takie wymusiła wymagana duża liczba obsługiwanych jednocześnie linii sygnałowych wejścia/wyjścia. Transmisje szeregowe do termometru cyfrowego i klucza sprzętowego realizowane są programowo na liniach portu równoległego.

5.2 Zegar systemu

Klasyczna architektura komputera PC/AT zawiera jeden programowalny generator, zbudowany przy wykorzystaniu układu typu 8253 lub 8254. Układy te posiadają trzy w pełni niezależne liczniki. Liczniki programowane są niezależnie za pośrednictwem wewnętrznej 8-bitowej magistrali. Procesor ma dwukierunkowy dostęp do rejestrów sterujących każdego z tych liczników. W systemach PC/AT poszczególne liczniki zostały przypisane w następujący sposób: licznik 0 – zegar systemowy; licznik 1- odświeżanie pamięci RAM; licznik 2 – głośnik systemowy. Liczniki numer 0 i 1 pełnią ważną rolę w systemie komputerowym i nie można zmieniać ich funkcji bez wywoływania konfliktów sprzętowych. Do wykorzystania w systemie ATM pozostaje licznik numer 2.

Licznik ten jest licznikiem 16-bitowym, w związku, z czym przepełnienie licznika następuje, co około 0.055 s. W systemie ATM pojemność licznika została programowo rozszerzona do 32 bitów. Kontrola licznika spoczywa na oprogramowaniu. W programie zrezygnowano z kontroli licznika za pomocą systemu przerwań komputera ze względu na konieczność szybkiej detekcji zmian stanów na liniach wejścia/wyjścia.

5.3 Pomiar czasu i skalowanie systemu

W systemie pomiaru czasu występują trzy podstawowe źródła błędów. Pierwszy, to różnica między wartością rzeczywistą a nominalną częstotliwości rezonatora kwarcowego wytwarzającego sygnał taktujący dla układu generatora 8253 komputera. Drugi, to dokładność pracy rezonatora. Trzeci, to dokładność wyznaczenia (w taktach zegara) chwili zmiany stanu na określonej linii.

Błąd względny niestabilizowanego temperaturowo rezonatora kwarcowego ocenia się na poziomie wartości 10^{-4} , stabilizowanego na poziomie 10^{-5} . Układy stosowane w urządzeniach laboratoryjnych charakteryzują się dokładnościami wyższymi o kilka rzędów wielkości. W urządzeniu HAMEG 8122, wykorzystanym w procedurze skalowania programu ATM, zamontowano układ o dokładności $\pm 5 \cdot 10^{-7}$ (wartość deklarowana przez producenta), po zainstalowaniu dodatkowego modułu można ją zwiększyć do $\pm 5 \cdot 10^{-9}$.

Wpływ pierwszego rodzaju błędu na wartość pomiaru w systemie ATM został zminimalizowany poprzez procedurę wyskalowania programu do pracy z konkretnym egzemplarzem komputera PC.

Procedura skalowania polega na jednoczesnym pomiarze czasu pomiędzy zmianami stanu na wyznaczonej linii portu komunikacyjnego przez program komputerowy oraz przez wysokiej klasy licznik HAMEG 8122. Czas mierzony jest w systemie komputerowym w liczbie taktów zegara. Zestawiając uzyskane wyniki, liczbę taktów zegara oraz zmierzony czas pomiędzy zmianami stanu na linii, otrzymujemy dane do poprawnego wyskalowania programu ATM dla danego egzemplarza komputera.

Po wyskalowaniu komputera, błąd pomiaru czasu, wynikający z różnicy rzeczywistej i nominalnej częstotliwości rezonatora kwarcowego, wynosi: $-50\mu\text{s}$ do $+60\mu\text{s}$. Ze względu na zjawisko starzenia się rezonatora kwarcowego i związanej z tym zmiany częstotliwości zaleca się przeprowadzenie procedury skalowania raz na pół roku.

Błąd drugiego typu, wynikający z niestabilności częstotliwości sygnału generowanego przez typowe układy kwarcowe określa się na poziomie $\pm 50\text{ppm}$ (dla $f=1.19318\text{MHz}$ wynosi $\pm 60\text{Hz}$). Błąd ten spowodowany jest zmiennymi warunkami pracy rezonatora. Producenci podając ten parametr w kartach katalogowych zakładają zmianę warunków w całym dopuszczalnym zakresie pracy. Podana wyżej wartość przekłada się na błąd o wartości $\pm 5\text{ms}$ dla mierzonego czasu 100s. W czasie badań, warunki w jakich pracują rezonatory są stabilne, zarówno pod względem temperaturowym jak i pod względem parametrów elektrycznych. Ma to wpływ na dokładność uzyskiwanych wyników znacząco zmniejszając sumaryczny błąd pomiarów.

Trzecie źródło błędu wiąże się z metodą określenia liczby taktów zegara pomiędzy wystąpieniem określonych zdarzeń. Metoda polega na śledzeniu stanu na wybranej linii i zapamiętaniu stanu licznika zegara przed zmianą i po zmianie stanu. Sekwencja instrukcji przedstawia się następująco: odczytanie licznika zegara, odczytanie rejestru portu wejścia/wyjścia, odczytanie licznika zegara. Po stwierdzeniu zmiany stanu na śledzonej linii portu obie wartości stanu licznika są zapamiętywane. W końcowym efekcie otrzymujemy dwie wartości liczby taktów zegara: maksymalną i minimalną; wyznaczające widełki czasowe (w taktach), określające mierzony czas pomiędzy zdarzeniami.

Sekwencja sprawdzenia stanu linii zajmuje od 2 do 3 taktów zegara, co przekłada się na różnicę między mierzoną maksymalną i minimalną wartością na 4 do 6 taktów. Uwzględniając częstotliwość taktowania zegara błąd widełek czasowych jest na poziomie 5 μ s. Błąd ten nie zależy od okresu mierzonego czasu i jest stały dla całego zakresu pomiarowego.

Sumaryczny błąd pomiaru czasu w systemie ATM wynosi poniżej 6ms. Dopuszczalna maksymalna wartość błędu dla urządzenia pomiarowego stosowanego w badaniach modułów wynosi ± 10 ms. System ATM spełnia to kryterium i może być wykorzystany w procesie kontroli modułów na etapie produkcji.

Największy wpływ na błąd pomiarów ma błąd niestabilności częstotliwości rezonatora. Wartość przyjęta powyżej jest zawyżona z uwagi na stabilne warunki, w jakich pracują rezonatory. W praktyce, podczas badań porównawczych, gdy wykonywano jednocześnie pomiary systemem ATM z wyskalowanym komputerem i urządzeniem HAMEG 8122 różnice między wynikami nie przekraczały 20 μ s.

W przypadku pomiarów systemem ATM z komputerem niewyskalowanym, błąd pomiaru czasu wynosi 0,01s.

6. Podsumowanie

Wyniki badań potwierdziły słuszność przyjętej koncepcji systemu do badań modułów elektronicznych stosowanych w zapalnikach czasowych. Wykonane modele systemu ATM potwierdziły swoją funkcjonalność i bardzo wysoką efektywność w czasie prac wykonywanych na rzecz przemysłu. W najbliższej przyszłości, w ramach projektu naukowo-badawczego „Czasowy zapalnik artyleryjski o podwyższonej wytrzymałości mechanicznej i precyzji działania” planuje się, na bazie tych rozwiązań modelowych, opracowanie i wykonanie systemu do zastosowania w przemyśle.

Literatura

- [1] J.Baranowski, G.Czajkowski „Układy analogowe nieliniowe i impulsowe” – WNT 1993
- [2] Alain Charoy „Zakłócenia w urządzeniach elektronicznych” – WNT 1999
- [3] P.Horowitz, W.Hill „Sztuka elektroniki” – WKŁ 1995
- [4] P.Metzger, A.Jełowicki „Anatomia PC” – Helion 1999
- [5] L.Bułhak, R.Goczyński, M.Tuszyński „DOS 5 od środka” – HELP 1997
- [6] W.Mielczarek „Szeregowe interfejsy cyfrowe” – Helion 1994