

Uszkodzenia w systemach mikroprocesorowych (1)

Lokalizowanie i usuwanie

mgr inż. MAREK KUBIŚ

Z każdym dniem zwiększa się nie tylko grono użytkowników mikrokomputerów, ale również tych, którzy dla własnych potrzeb konstruują systemy mikroprocesorowe. Uruchomianie i naprawa tak skomplikowanych układów cyfrowych, jakimi są systemy mikroprocesorowe i mikrokomputery, wymaga bardziej skomplikowanych przyrządów niż miernik uniwersalny lub sonda logiczna, a także metodycznego działania. Obszerność i złożoność zagadnienia oraz ograniczona z konieczności objętość artykułu umożliwiają jedynie zasygnalizowanie podstawowych problemów. Przyjmuje się, że Czytelnik zna podstawy techniki mikroprocesorowej, szczególnie architekturę systemu o trzech magistralach (szyna adresowa, danych, sygnałów sterujących) oraz zasady wykonywania pięciu głównych operacji (zapis-odczyt danych do i z pamięci oraz urządzeń we/wy, a także działania na rejestrach wewnętrznych).

Zasady konstrukcji sytemów mikroprocesorowych są ogólnie znane i zazwyczaj korzysta się z gotowych schematów. Na ich podstawie opracowuje się projekt zawierający więcej lub mniej własnych przemyśleń.

Wydawać by się mogło, że oparcie się na gotowym projekcie działającego już urządzenia wyklucza możliwość popełnienia błędu i zapewnia sukces. Tymczasem w praktyce często jest inaczej. Sytuacja, kiedy urządzenie zaraz po zmontowaniu działa poprawnie i nie psuje się, zdarza się tak rzadko, że należy uznać to za przypadek, a za normalne przyjmując, iż po montażu należy uruchomić, a czasami naprawić.

Przystępując do budowy lub rozbudowy własnego systemu mikroprocesorowego warto więc już od samego początku zastanowić się nad sposobem jego uruchomienia.

METODY LOKALIZACJI USZKODZEŃ

Istnieje wiele metod opracowywania programów generujących pobudzenia testowe ale żaden z dotychczasowych algorytmów nie rozwiązuje wszystkich problemów związanych z badaniem dużych sieci sekwencyjnych zbudowanych z układów LSI i VLSI. Dlatego w wypadku diagnostyki uszkodzeń systemów mikroprocesorowych stosuje się metody dostosowane do konkretnego przypadku. Sprawdzenie tak złożonego systemu w 100% jest niemożliwe. Kontroluje się więc wykonywanie podstawowych operacji i zadań, zadowalając się lokalizowaniem typowych niesprawności [1].

System kontroluje się, gdy jest bierny (nie zasilany) oraz gdy jest aktywny. Badanie biernego systemu przebiega dwuetapowo. Wstępnie dokonuje się wzrokowej kontroli jakości druku, montażu, „przedzwania” połączeń, okablowania itp. bez doprowadzenia napięcia zasilającego do systemu. Następnie włącza się zasilanie, wymusza wzorcowe poziomy odniesienia po czym mierzy się statyczne wartości napięć i prądów w najważniejszych punktach pomiarowych.

Badanie aktywnego systemu polega na obserwacji wykonywania przez procesor programów testowych [2]. Na tym etapie wykorzystuje się metodę analizy stanów logicznych oraz metodę kompresji danych. Metodę analizy stanów logicznych polega na rejestracji wszystkich stanów w wybranych punktach pomiaro-

wych i obserwacji ich wzajemnych zależności. Najdogodniejsze w tym wypadku są analizatory stanów logicznych, które umożliwiają zapamiętanie większej liczby danych i wyświetlanie ich w wybranym formacie. Dane mogą być zbierane metodą pracy krokowej (tzn. przejście od jednego do drugiego stanu zatrzymania systemu jest wymuszane przez operatora), ciąglej oraz ciąglej z zatrzymaniem po wystąpieniu wybranego warunku (np. dojścia programu do zadeklarowanego przez operatora adresu).

Analizatory stwarzają możliwość wychycenia statycznych i dynamicznych błędów w działaniu badanego systemu, przy czym do precyzyjnego zlokalizowania miejsca występowania niesprawności może jeszcze być potrzebny multimetr, oscyloskop itd. Sposób kilku metod kompresji danych największe znaczenie praktyczne dla diagnostyki systemów mikroprocesorowych zyskała metoda analizy sygnatur [3]. Powstała ona w wyniku poszukiwań metody umożliwiającej zlokalizowanie w prosty sposób niesprawnych elementów cyfrowych. Znaczenie i obszerność tematu zdecydowały, że metodzie analizy sygnatur będzie poświęcony oddzielny artykuł.

Wprowadzenie kompresji danych do diagnostyki systemów cyfrowych opiera się na następującym myślenie: system inicjując wykonywanie testu sygnalizuje jego początek przyrządowi pomiarowemu, który rozpoczyna wczytywanie i obróbkę danych z wybranego punktu pomiarowego. Przetwarzanie danych testowych przez przyrząd trwa do momentu rozpoznania końca testu. W efekcie przetworzenia dowolnej liczby danych testowych uzyskuje się wynik, który dla prawidłowych danych jest ściśle określony (np. zmierzony wcześniej w działającym systemie lub obliczony), a dla danych nieprawidłowych powinien się od niego różnić. Tym samym, zamiast kontrolować przebieg krok po kroku, jednym pomiarem można określić jednoznacznie poprawność całego testu.

Takie podejście do problemu umożliwia również łatwą lokalizację uszkodzeń chwilowych, tzn. takich, które pojawiają się raz na jakiś czas, przy pewnych temperaturach lub poziomach wibracji. Wystarczy zapętlić wykonywanie testu, a przyrząd pomiarowy będzie dokonywał pomiarów, każdorazowo porównywał uzyskane wyniki i sygnalizował ich niezgodność. Pozostawiając na pewien czas tak działający system badany (np. w komorze klimatycznej na 2 godziny) można uzyskać odpowiedź, który z układów powoduje niepożądane modyfikacje przebiegów. Skuteczna lokalizacja uszkodzeń chwilowych stała się możliwa dzięki wprowadzeniu metod kompresji danych.

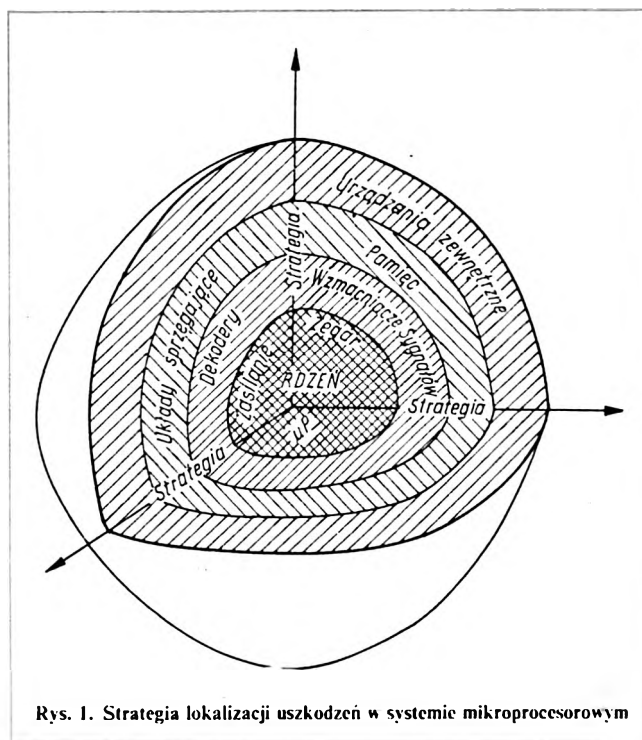
POSTĘPOWANIE PRZY LOKALIZOWANIU USZKODZEŃ

Uruchamiając lub naprawiając dowolny system, najpierw sprawdza się jego części składowe, a następnie przystępuje do diagnostyki. Sprawdzenie polega na wykonaniu testów dających odpowiedź dobry/zły. Diagnostyka umożliwia zlokalizowanie niesprawności i rozpoznanie jej przyczyny. Sprawdzenie systemu umożliwia wstępne zlokalizowanie miejsca awarii lub wykluczenie uszkodzeń określonego typu (np. szyna adresowa na pewno jest wolna od błędów). Kontrolę poprawności działania systemu przeprowadza się w sposób statyczny i dynamiczny. Korzysta się

przy tym z przyrządów, np. testera połączeń i programów, np. test pamięci typu RAM polega na tym, że wpisuje się do niej dane wzorcowe i porównuje z danymi odczytanymi. Można również korzystać jednocześnie z programu i przyrządu, np. test powoduje generację sygnałów na wybranych liniach, a przebiegi obserwuje się na ekranie oscyloskopu lub analizatora.

Złożoność problemu lokalizacji uszkodzenia powoduje, że tylko diagnostyka prowadzona w sposób systematyczny może zakończyć się sukcesem. Jeżeli nieprawidłowe działanie systemu sugeruje występowanie uszkodzenia określonego typu, to od początku przystępuje się do sprawdzenia podejrzanego fragmentu. Często jednak zdarza się, że nie wiadomo jakie operacje wykonuje system i jego działania nie można kontrolować. Wtedy postępowanie diagnostyczne należy rozpocząć do sprawdzenia obwodów decydujących w pierwszej kolejności o prawidłowym działaniu całego systemu, a dopiero później przejść do kontroli pozostałych elementów. Technika ta nosi nazwę „rozszerzania rdzenia” (rys. 1).

Mianem rdzenia określa się mikroprocesor wraz z elementami decydującymi o jego działaniu. Po to, aby mógł działać, musi być



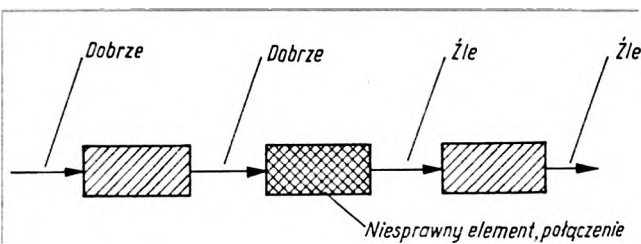
Rys. 1. Strategia lokalizacji uszkodzeń w systemie mikroprocesorowym

prawidłowo zasilany i prawidłowe powinny być wszystkie sygnały wejściowe (szczególnie sygnały zegarowe). Spełnienie tych warunków nie gwarantuje prawidłowego działania mikroprocesora, gdyż również linie wyjściowe oraz sam mikroprocesor powinny być wolne od zwarcia i innych błędów.

Analizując działanie, poszukuje się błędnego przebiegu, a następnie przechodzi do poszukiwania sygnałów, które wymuszają nieprawidłowe sekwencje (rys. 2). Postępowanie takie określa się jako analizę wstecz, gdyż punkty pomiarowe zmienia się w przeciwnym kierunku niż przepływające przez nie sygnały.

Zlokalizowanie niesprawności polega na znalezieniu elementu lub połączenia, na którego wejściach poziomy i przebiegi są prawidłowe, a odpowiedź generowana na wyjściu jest błędna. Cofając się, nie trzeba sprawdzać wszystkich elementów po kolei. Szybciej można zlokalizować uszkodzenie „przeskakując” do punktów pomiarowych dzielących tor sygnału na dwie równe części.

Bardzo ważna w postępowaniu diagnostycznym jest wiedza o tym, jakie elementy najczęściej ulegają awariom.



Rys. 2. Zasada lokalizacji niesprawności

Na podstawie danych opracowanych przez firmę Hewlett-Packard, można stwierdzić, że zdecydowanie najgorszą niezawodnością odznaczają się obwody zasilające (elementy, w których wydzielą się duża moc, płynie duży prąd) oraz elementy „mimikroprocesorowe” (np. przełączniki, przyciski, wiązki przewodów, złącza, podstawki, układy mechaniczne, diody, tranzystory, kondensatory). Spośród elementów LSI i VLSI najczęściej zawodzą elementy pamięci typu RAM, najrzadziej elementy pamięci typu ROM. Pozostałe elementy mają porównywalną, średnią niezawodność.

TYPOWE USZKODZENIA

W technice cyfrowej najczęściej poszukuje się uszkodzeń logicznych, czyli takich, które mają wpływ na zmianę parametrów funkcjonalnych. Pomijają się natomiast takie uszkodzenia lub nieprawidłowości spowodowane np. przez rozrzut parametrów elementów, sprzężenia między ścieżkami (rys. 3), które mają wpływ na nieznaczne zmiany wartości napięć, prądów, kształtów impulsów, opóźnień, lecz nie zmieniają funkcji realizowanych przez urządzenie.

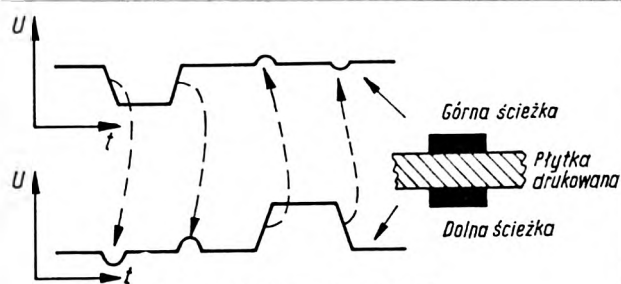
Typowe uszkodzenia to:

- sygnał wejściowy lub wyjściowy przyjmuje ustaloną wartość logiczną, niezależną od stanu sygnałów doprowadzonych do układów,
- generacja przebiegów o nieprawidłowych poziomach,
- zaniki danych w elementach pamiętających.

Uszkodzenia te mogą być trwałe, tzn. ujawniające się przy ustalonych, stabilnych warunkach działania badanego układu zawsze w ten sam sposób oraz chwilowe.

Przyczyn powstawania uszkodzeń może być wiele:

- udary mechaniczne, termiczne
- błędny projekt
- pomyłki zaistniałe podczas montażu
- wadliwa technologia (np. wykonania druku)
- przeciążenia
- starzenie się elementów
- istnienie defektów uniemożliwiających ustalenie stabilnych warunków działania systemu lub stwarzających możliwość powstawania wycięgów, hazardów
- zjawiska fizyczne o charakterze losowym (np. rozładowywanie komórek pamięci dynamicznych przez cząstki α).



Rys. 3. Zniekształcenia przebiegów

PRZYRZĄDY DO POMIARÓW I KONTROLI

Lokalizując uszkodzenia w systemie mikroprocesorowym wykorzystuje się także przyrządy, jak: oscyloskop, miernik uniwersalny, tester połączeń tzw. „gwizdek”, sonda logiczna, sonda prądowa, cyfrowa sonda impulsowa, analizator stanów logicznych, analizator sygnatur, emulator, układy specjalizowane wykonane do sprawdzenia wybranego fragmentu systemu, np. okablowania i połączeń, układów we/wy.

Oscyloskop jest niezastąpionym przyrządem umożliwiającym zmierzenie częstotliwości, czasu trwania impulsów, odstępów między nimi, wartości napięć, obserwację zniekształceń, zakłóceń oraz synchronizacji przebiegów.

Miernik uniwersalny umożliwia dokładne zmierzenie wartości napięć (stałych), poboru prądu lub rezystancji.

„Gwizdek” umożliwia szybkie wykrycie zwarcia, natomiast sonda logiczna szybkie rozpoznanie poziomów logicznych, obecności lub braku przebiegów zmiennych oraz pojedynczych impulsów. Jest szczególnie użyteczna jeżeli nie dysponuje się oscyloskopem z pamięcią.

Sonda prądowa wykrywa przepływ prądu zmiennego i jest wykorzystywana w połączeniu z cyfrową sondą impulsową, generującą impulsy prądowe do lokalizacji zwarcia. Przykładowo, jeżeli jakaś ścieżka jest zwarta z masą lub poziomem logicznym „0”, to przebieg napięciowy jest utrzymywany zawsze na niskim poziomie. Dołączenie do ścieżki sondy impulsowej, wymusza przepływ prądu do punktu zwarcia przy braku zmian napięcia. Miejsce zwarcia rozpoznaje sonda prądowa (rys. 4).

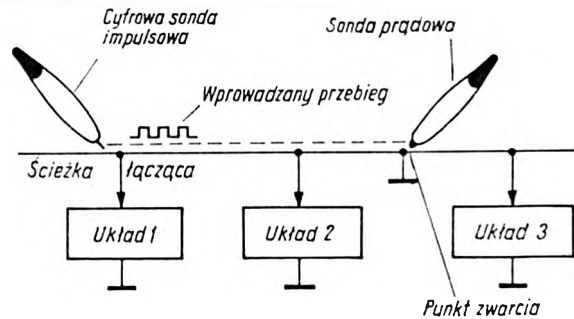
Analizator stanów logicznych jest przyrządem wykonywanym w dwóch wersjach: uniwersalnej i specjalizowanej. Uniwersalny analizator stanów logicznych jest niezym innym jak wielokanałowym oscyloskopem z pamięcią (najczęściej 16-kanałowym), wyposażonym we wkładkę umożliwiającą wyświetlenie rejestrowanych przebiegów nie tylko w formie wykresów czasowych, ale także w postaci tablic zero jedynekowych czy też liczb heksadecymalnych. Analizatory specjalizowane są przystosowane do współpracy z systemami mikroprocesorowymi określonego typu. Rejestrują one stan szyny adresowej, danych, sygnałów sterujących i dodatkowych oraz umożliwiają ich wyświetlenie w dowolnej formie. Niektóre umożliwiają także pamiętanie impulsów zakłócających. Często są wyposażone w programy deassemblerów tłumaczących kod maszynowy na mnemoniki assemblera. Analizatory stanów logicznych umożliwiają uruchomienie zarówno sprzętu jak i oprogramowania.

Analizator sygnatur dokonuje kompresji danych do postaci 16-bitowej liczby tzw. sygnatury, przy czym sposób jego połączenia z badanym systemem mikroprocesorowym nie jest zdefiniowany z założenia i zależy do przyjętego rozwiązania sprzętowego oraz realizowanego programu (testu).

Emulator, to system uruchomieniowy, umożliwiający obserwowanie i wymuszanie dowolnego działania sprawdzanego systemu. Emulator może wysyłać pobudzenia testowe do wszystkich części badanego systemu połączonych z magistralą.

Specjalizowane układy stosuje się do lokalizacji najczęściej występujących uszkodzeń; są to proste urządzenia konstruowane najczęściej w razie braku emulatora lub analizatora stanów logicznych. Wykorzystywane są przede wszystkim do statycznego sprawdzania systemu.

Wysoka cena niektórych przyrządów uniemożliwia wykorzystanie ich w warsztacie amatorskim. Najważniejszy jest jednak fakt, że w praktyce często wystarcza posługiwanie się prostymi w



Rys. 4. Zasada wykorzystywania cyfrowej sondy impulsowej i sondy prądowej

obsłudze, nieskomplikowanymi przyrządami. Skuteczna lokalizacja uszkodzeń możliwa jest przy użyciu oscyloskopu, miernika uniwersalnego, sondy logicznej, „gwizdka”, prostego (specjalizowanego) analizatora stanów logicznych oraz prostego analizatora sygnatur.

W „Radioelektroniku” były opisywane różne schematy wymienionych przyrządów, z wyjątkiem analizatorów. W następnych artykułach będą opisane układy prostych układów analizatora stanów logicznych i analizatora sygnatur.

Uszkodzenia w systemach mikroprocesorowych (2)

Lokalizowanie i usuwanie

MODYFIKACJE UŁATWIAJĄCE LOKALIZACJĘ USZKODZEŃ

Uruchomienie systemów mikroprocesorowych może przysporzyć wiele kłopotów. Dlatego też projektując, warto rozważyć każdą możliwość modyfikacji, która może przyczynić się do ułatwienia diagnostyki systemu.

Bardzo ważne dla całości systemu jest prawidłowe jego zasilanie, dlatego często wprowadza się wskaźniki napięć zasilających (rys. 5). Użyteczne mogą być również wskaźniki stanów wejść asynchronicznych mikroprocesora. Zakłócenia na tych wyprowadzeniach także uniemożliwiają właściwe działanie całego systemu. Z liniami tymi jest związany jeszcze inny problem. Otóż przesyłane przez nie sygnały zamykają obwód pętli sprzężenia zwrotnego, podobnie jak i sygnały na szynie danych (rys.6).

W wypadku nieprawidłowego działania układu ze sprzężeniem zwrotnym bardzo trudno jest określić przyczynę nieprawidłowości. Czasami bez rozwierania pętli nie jest możliwe zlokalizowanie uszkodzenia (rys. 7). Dlatego na liniach tych warto przewidzieć umieszczenie zwor. Kolejny problem to zapewnienie łatwego dostępu do ważnych punktów pomiarowych oraz umożliwienie prostego dołączenia do systemu analizatora stanów logicznych oraz analizatora sygnatur. W tym celu warto zainstalować dodatkowe złącze krawędziowe lub też dodać podstawkę, do której doprowadza się wszystkie sygnały magistrali systemowej oraz niektóre wybrane linie.

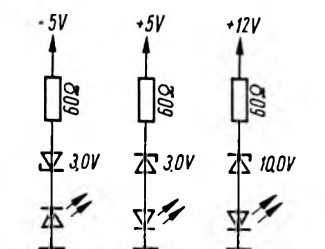
Zainstalowanie podstawek do układów scalonych również może ułatwić lokalizację uszkodzeń. Jednak ze względu na fakt, iż są one źródłem wielu błędów i to najczęściej tych złośliwych, chwilowych, należy korzystać z podstawek tylko bardzo dobrej jakości. W innym wypadku lepiej z nich zrezygnować. Największe korzyści daje instalowanie podstawek pod układami pamięci EPROM, ponieważ jest możliwa wymiana lub rozbudowa oprogramowania podstawowego. Jeżeli jednak nie przewiduje się zmian w oprogramowaniu, lepiej układy EPROM wlutować

pozostawiając w podstawie tylko ten układ, do którego odwołuje się mikroprocesor inicjując swoje działanie (po przyjęciu sygnału RESET). Można wtedy w czynnościach lokalizacji uszkodzenia zastąpić układ z oprogramowaniem systemowym, układem z programami diagnostycznymi. Korzystne jest także czasami podczas diagnostyki wyjęcie mikroprocesora z systemu. Warto przewidzieć możliwość wprowadzenia mikroprocesora w bieg jałowy. Zwierając szynę danych wymusza się kod jednobajtowej instrukcji, którą mikroprocesor wykonuje w nieskończonej pętli (rys. 8). Licznik adresów jest zwiększony o 1, na szynie adresowej pojawiają się kolejne adresy i w wypadku braku błędów, począwszy od A15 do A0 następujące po sobie przebiegi są podzielone przez dwa. Daje się to łatwo zaobserwować na ekranie oscyloskopu. Mikroprocesor działa jak zwykły licznik 16-bitowy. Dołączając do niego analizator sygnatur, można bardzo szybko uzyskać odpowiedź czy i które wyprowadzenia mikroprocesora są zwarte.

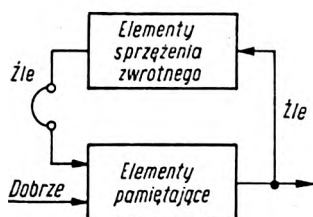
Stosuje się również rozbudowanie systemów o dodatkowe bloki ułatwiające autokontrolę, jak: rejestry, przełączniki, generator liczb pseudolosowych, rejestr sygnatur itp. Rozbudowując system o dodatkowe układy należy jednak pamiętać, że nic tak nie irytuje jak konieczność naprawienia zmienionych przez siebie w celu usprawnienia lokalizacji uszkodzeń fragmentów systemu.

UWAGI PRAKTYCZNE

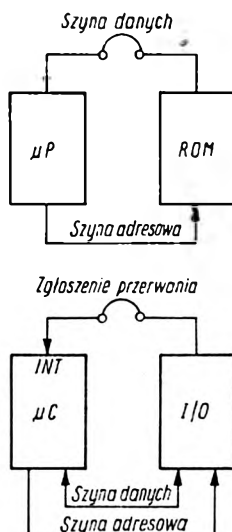
W systemach mikroprocesorowych najczęściej wykorzystuje się układy TTL (S, H, LS), MOS oraz CMOS. Tranzystor MOS jest znacznie bliższy idealnemu przełącznikowi niż tranzystor bipolarny, dlatego prawie wszystko co mówi się o układach TTL można odnieść do układów MOS i CMOS. Najważniejszym problemem, na który należy zwrócić uwagę przy łączeniu różnych typów układów jest zagadnienie dopasowania obciążenia i stosowania wzmacniaczy, konwerterów sygnałów (np. na styku CMOS — TTL). Dla prawidłowego działania układów cyfrowych wymagane jest doprowadzenie do ich wejść sygnałów o poziomach logicznych mieszczących się w pewnych zakresach napięć.



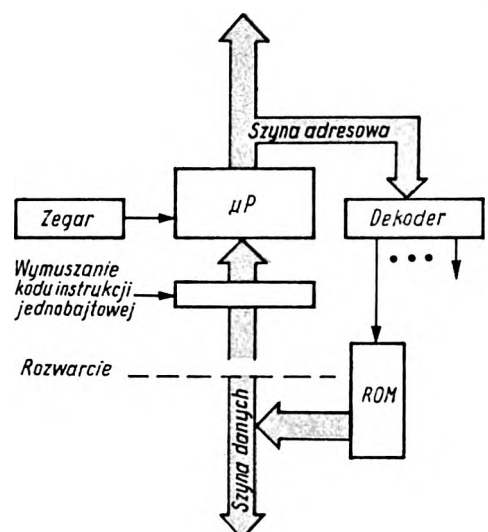
Rys. 5. Wskaźniki napięć zasilających



Rys. 7. Zachowanie się układów ze sprzężeniem zwrotnym w razie wystąpienia uszkodzenia



Rys. 6. Pętla sprzężenia zwrotnego w systemie mikroprocesorowym



Rys. 8. Wymuszenie biegu jałowego mikroprocesora

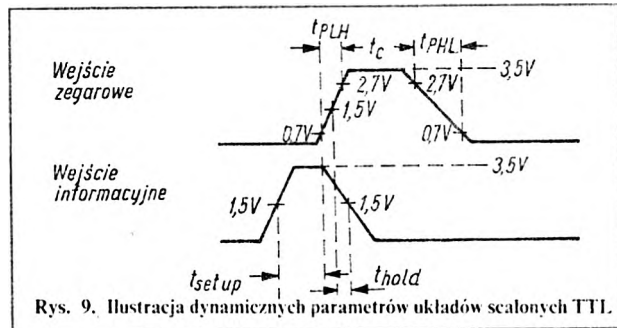
Spośród wielu parametrów układów TTL najważniejsze są następujące:

- napięcie wyjściowe w stanie „0”: 0,4 V przy poborze prądu 16 mA;
- prąd wejściowy w stanie „0”: 1,6 mA przy napięciu 0,4 V;
- napięcie wejściowe w stanie „1”: 2,4 V przy wpływającym prądzie 400 μ A;
- prąd wejściowy w stanie „1”: 40 μ A przy napięciu 2,4 V.

Z przytoczonych danych wynika, że jeżeli w punkcie pomiarowym napięcie logicznej jedynki jest niższe niż 2,4 V lub logicznego zera wyższe niż 0,4 V, to przekroczona została obciążalność wyjścia lub też występują zwarcia. Ponieważ wejścia bramek prawidłowo rozpoznają logiczne jedynki już od 2 V, a logiczne zero do 0,8 V można, chociaż nie należy, pomijając dopuszczalną obciążalność, przesunąć granice 0,4 V i 2,4 V do poziomów 0,8 V i 2 V. Przedstawione parametry można uzupełnić o pobór prądu zasilania oraz wyjściowy prąd zwarcia. Należy pamiętać, że podawane w katalogach wartości prądów zasilania nie uwzględniają wartości prądu pobieranego przez obciążenie oraz że układy z czynnymi wyjściami są zabezpieczone w razie zwarcia do masy i prąd wpływający z układu ma wartość między 20 a 55 mA. Praktycznie więc, wyjścia wszystkich produkowanych układów można podczas badań zwierać do masy bez obawy ich zniszczenia. Producenci zabezpieczają również wejścia układów w razie podania niższego napięcia niż $-1,5$ V.

Spośród parametrów dynamicznych najważniejsze są: minimalne czasy trwania impulsów oraz dla układów synchronizowanych czasowo, czas ustalania (t_{setup}), czas trzymania (t_{hold}), danych na ich wejściach informacyjnych oraz szybkość narastania zboczy zegarowych (rys. 9).

Budując samemu system najczęściej łączy się montaż z uruchomianiem. Po zmontowaniu samego rdzenia (lub w czasie naprawy po odłączeniu wszystkich obciążeń od szyny danych, np.



Rys. 9. Ilustracja dynamicznych parametrów układów scalonych TTL.

przez wyjęcie z kasyety pakietów) można obserwować działanie mikroprocesora czytającego dane „z powietrza”. W wypadku procesora MCY7880 powoduje to wykonywanie instrukcji RST7, która jest żądaniem obsługi zgłoszonego przerwania nr 7. Mikroprocesor zapisuje na stosie adres, do którego powróci po obsłudze przerwania. Skacze do podprogramu obsługującego przerwanie i odczytuje nową instrukcję, która w tym wypadku jest taka sama, jak poprzednia (0FFH). Cykl się powtarza, analizator stanów logicznych rejestruje następujące stany:

ADRES HEX	DANE HEX	CYKL
.	.	.
.	.	.
.	.	.
0038	FF	FETCH
FFFF	00	WRITE STACK
EF FE	39	WRITE STACK
0038	FF	FETCH
FF FD	00	WRITE STACK
EF FC	39	WRITE STACK
.	.	.
.	.	.
.	.	.

Powyższe badanie pozwala stwierdzić, czy szyny danych i adresowa są wolne od błędów. Równoważne powyższemu jest sprawdzenie wykonywania przez mikroprocesor dowolnej instrukcji jednobitowej, np. NOP tzw. bieg jałowy mikroprocesora. Rozwarcie szyny danych umożliwia łatwe dokonywanie napraw, a także uruchomienie szczególnie mikrokomputerów jednopłytkowych, w których nie można inaczej odłączyć obciążeń od szyny mikroprocesora.

Generowane przez obciążenia wymuszenia na szynie danych kontroluje się wykorzystaniem analizatora stanów logicznych lub analizatora sygnatur.

Kiedy mikroprocesor prawidłowo działa w pętli RST, wówczas podczas biegu jałowego można przystąpić do dołączania i sprawdzania pozostałych układów.

Bardzo prostym testem zarówno mikroprocesora jak i pamięci są programy:

```

0000 C3 00 00 TEST: JMP TEST
oraz:
0000 3E 55 TEST: MVI A,55H
0002 D3 55 OUT 55H
0004 2F CMA
0005 D3 AA OUT 0AAH
0007 C3 00 00 JMP TEST

```

Sprawdzenie wszystkich sygnałów magistrali sterującej umożliwia test:

```

0000 DB 00 TEST: IN 00H
0002 D3 00 OUT 00H
0004 32 0A 00 STA 000AH
0007 C3 00 00 JMP TEST

```

Należy zaznaczyć, że każdy z programów, łącznie z pętlą RST i biegiem jałowym, umożliwia sprawdzenie dekodera adresów. Nie jednak nie stoi na przeszkodzie, aby napisać odrębny program dołączający do szyny danych każdy z układów obciążenia. Prostim testem pamięci RAM i dekodera adresów jest program, który można rozbudować na dowolną liczbę bloków, a który sprawdza dwa bloki po 1 k każdy, umieszczone pod adresami 4000H i 4400H:

```

0000 3E C3 MVI A,0C3H
0002 32 00 40 STA 4000H
0005 3E 00 MVI A,01H
0007 32 01 40 STA 4001H
000A 3E 01 MVI A,1H
000C 32 02 40 STA 4002H
000F C3 00 40 JMP 4000H
0100 3E C3 MVI A,0C3H
0102 32 00 44 STA 4400H
0105 3E 00 MVI A,0H
0107 32 01 44 STA 4401H
010A 3E 00 MVI A,0H
010C 32 02 44 STA 4402H
010F C3 00 44 JMP 4400H

```

Przykład innego testu pamięci RAM sprawdzającego zapis i odczyt danych 55H oraz 0AAH w przestrzeni adresowej 0000H = 0BFFFH:

```

TEST: LXI D,0000H
LXI B,55AAH
RAM: INX D
MOV A,B
STAX D
MOV A,C
STAX D
LDAX D
MOV A,E
CPI 00H
JNZ RAM
MOV A,D
CPI 0C0H
JNZ RAM
JZ TEST

```

Sprawdzenie zwykłego bufora, np. UCY74S412, UCY74S416 umożliwia program:

```
0000 3E55 TEST: MVI A,55H ;bufor umieszczony
;pod adresem 0
0002 D300 OUT 0H ;jako urządzenie
;we/wy
```

```
0004 3EAA MVI A,0AAH
0006 D300 OUT 0H
0008 C300 00 JMP TEST
```

Programowany układ równoległego we/wy MCY7855 sprawdza program:

```
0000 3E 80 MVI A,80H ;słowo programujące
0002 D3 03 OUT 03H ;układ zajmuje
;przeźren od
```

```
0004 3E 55 MVI A,55H ;adresu 0H do 3H
;jako
```

```
0006 D3 02 TEST: OUT 02H ;urządzenie we wy
```

```
0008 D3 01 OUT 01H
```

```
000A D3 00 OUT 00H
```

```
000C 2F CMA
```

```
000D C3 06 00 JMP TEST
```

Bardziej skomplikowany jest test programowanego układu szeregowego we/wy MCY7851. Poniższy test sprawdza poprawność działania układu jako nadajnika i odbiornika osmiobitowego słowa szeregowego z 1 bitem stopu oraz podziałem CLK przez 16, a ponadto DTR = 1, RxEN = 1, TxEN = 1 i RTS = 0. Odpowiada to zaprogramowaniu słowa trybu 4EH = 0100 1110B i słowa rozkazowego 27H = 0010 0 111B.

```
0000 3E 00 MVI A,0 ;układ jest umie-
;szczony
```

```
0002 32 01 80 STA 8001H ;w przestrzeni ad-
;resowej
```

```
0005 32 01 80 STA 8001H ;pamięci; 8000
i 8001
```

```
;wysłanie zer to
```

```
;zabezpieczenie
```

```
;przed złym za-
```

```
;programowa-
```

```
;niem ponieważ
```

```
0008 32 01 80 STA 8001H ;niewiadomo w
```

```
;jakim stanie
```

```
000B 32 01 80 STA 8001H ;znajduje się uk-
```

```
;ład. Jeżeli był za-
```

```
;programowany
```

```
;to wpisanie 0
```

```
;blokuje transmi-
```

```
;sję a następne ze-
```

```
;zera nie powodu-
```

```
;ją zmian
```

```
000E 3E 40 MVI A,40H ;zerowanie układu
```

```
0010 32 01 80 STA 8001H
```

```
0013 3E 4E MVI A,4EH ;rozkaz
```

```
0015 32 01 80 STA 8001H
```

```
0018 3E 27 MVI A,27H
```

```
001A 32 01 80 STA 8001H
```

```
001D 3E A1 MVI A,0AH ;znak LF w ko-
;dzie ASCII
```

```
001F 32 00 80 STA 8000H
```

```
0022 3A 01 80 TEST: LDA 8001H
```

```
0025 E6 02 ANI 02H ;czekanie na goto-
```

```
;wość odbiornika
```

```
0027 CA 22 00 JZ TEST ;przyjęcie znaku
```

```
; (RxRDY, DI = 1)
```

```
002A 3A 00 80 LDA 8000H ;czyta znak
```

```
002D 32 00 80 STA 8000H ;wysyła znak
```

```
0030 C3 22 00 JMP TEST
```

Przedstawione testy oczywiście nie wyczerpują problemu lokalizacji uszkodzeń. Biblioteka programów diagnostycznych jest bardzo duża, a niektóre z nich są znormalizowane.

Ponieważ celem uruchomienia jest zapewnienie prawidłowego wykonywania programu użytkowego, dlatego postępowanie diagnostyczne kończy się w momencie poprawnego wykonywania tego właśnie programu.

Może się zdarzyć, że system ma uszkodzenie, które nie wpływa negatywnie na poprawność działania systemu. Wtedy można pogodzić się z tym faktem, nie uruchamiać systemu do końca, chociaż lepiej jest niesprawność usunąć, gdyż może ona pociągnąć za sobą inne trudne do przewidzenia awarie.

Diagnostyka jest działaniem destruktywnym, mającym na celu złamanie systemu, dlatego układając nowe testy należy pamiętać, że ich zadaniem jest wykrycie niesprawności, a nie potwierdzenie poprawności działania systemu.

SPOSOBY USUWANIA USZKODZEŃ

Na podstawie tego co już napisano, nietrudno zorientować się, iż problem wylutowania uszkodzonego układu w sposób nie niszczący pakietu oraz innych elementów nie jest największym problemem, który należy rozwiązać w procesie diagnostycznym. Przy prawidłowym podejściu do zagadnień lokalizacji uszkodzeń istnieje duża szansa trafnego zlokalizowania uszkodzenia. Spokojnie wtedy można układ wyciąć, a pozostałe w płytce końcówki delikatnie wylutować. Jeżeli jednak chce się wylutować układ w całości, to najlepszym sposobem jest posłużenie się strzykawką lekarską z igłą nr 9. Praktycy polecają tę igłę ponieważ jej średnica zewnętrzna jest na tyle mała, że przechodzi przez otwór w płytce, a średnica wewnętrzna na tyle duża, że umożliwia wejście do środka igły końcówki układu scalonego. Czubek igły należy oczywiście ściąć. Podgrzewając punkt lutowniczy przykłada się igłę ze strzykawką do końcówki układu scalonego, po czym, kiedy lut się nagrzej, wypuszcza się ze strzykawki powietrze. Można także posłużyć się odsysaczem do cyny. Wylutowywanie układów za pomocą żelazka czy też szerokiego przewodu może uszkodzić druk, ponieważ szerokości ścieżek na pakietach systemów mikroprocesorowych są wyjątkowo małe. Podczas pracy z układami CMOS należy pamiętać o potrzebie uziemienia grotu lutownicy, stołu montażowego, krzesła w celu zapewnienia prawidłowego odpływu ładunków elektrostatycznych. Wskazane jest, aby wszystkie te elementy były uziemione w jednym punkcie masy [4].

LITERATURA

- [1] Coffron J.W.: Lokalizacja uszkodzeń w systemach mikroprocesorowych. WNT, Warszawa 1985
- [2] Coffron J.W.: Lokalizacja uszkodzeń w układach cyfrowych. WNT, Warszawa 1982
- [3] Kubis M.A.: Analiza sygnatur. „Elektronizacja” zeszyt 20, WKI, Warszawa 1984
- [4] Sosinski B.: Naprawa kalkulatorów i zegarków elektronicznych. WNT, Warszawa 1984