

mgr inż. IRENEUSZ GONTARZ
Przemysłowy Instytut Automatyki
i Pomiarów MERA-PIAP
W a r s z a w a

WYBRANE SPOSOBY ELIMINACJI WPŁYWU ZAKŁÓCEŃ NA PRACĘ STEROWNIKÓW ELEKTRONICZNYCH

W artykule zaprezentowano sposoby eliminacji wpływu zakłóceń na pracę sterowników elektronicznych.

Przedstawiono również praktyczne metody wczesnego wykrywania miejsc szczególnie podatnych na zakłócenia w uruchamianym sterowniku elektronicznym i sposoby poprawy jego odporności na te zakłócenia^{)}.*

1. Wstęp

Im więcej będzie w otoczeniu sterownika urządzeń przemysłowych generujących silne zakłócenia elektromagnetyczne (np. spawarki), tym większego wysiłku będzie wymagać od konstruktora prawidłowe zabezpieczenie układu przed zakłóceniami. Odpowiednie normy powinny szczegółowo określać jaką odpornością na zakłócenia musi charakteryzować się sterownik elektroniczny przeznaczony do pracy w przewidywanych warunkach, ale niestety brak jest odpowiednich norm przedmiotowych jak i nieliczne są publikacje na temat praktycznych sposobów osiągnięcia tej odporności. Jak ważnym a zarazem trudnym zadaniem jest uchronienie układu przed zakłóceniami, o tym wie każdy praktyk, bowiem przy rozpatrywaniu pracy systemów logicznych należy brać pod uwagę wiele rodzajów zakłóceń.

W niniejszym artykule zajmiemy się tylko kilkoma, a będą to:

1. Zakłócenia zewnętrzne

- pochodzące z otoczenia i przedostające się do systemu elektronicznego drogą promieniowania, których źródłem mogą być wyłączniki, silniki szrotkowe, iskrzące kontakty lub urządzenia wytwarzające zmienne pole magnetyczne;
- zakłócenia sieciowe przedostające się do systemu za pośrednictwem źródeł zasilania, zarówno prądu stałego jak i prądu zmiennego.

2. Zakłócenia wewnętrzne:

- przesłuchy powstające w wyniku wzajemnego oddziaływania na siebie przewodów, którymi przesyłane są sygnały użyteczne,

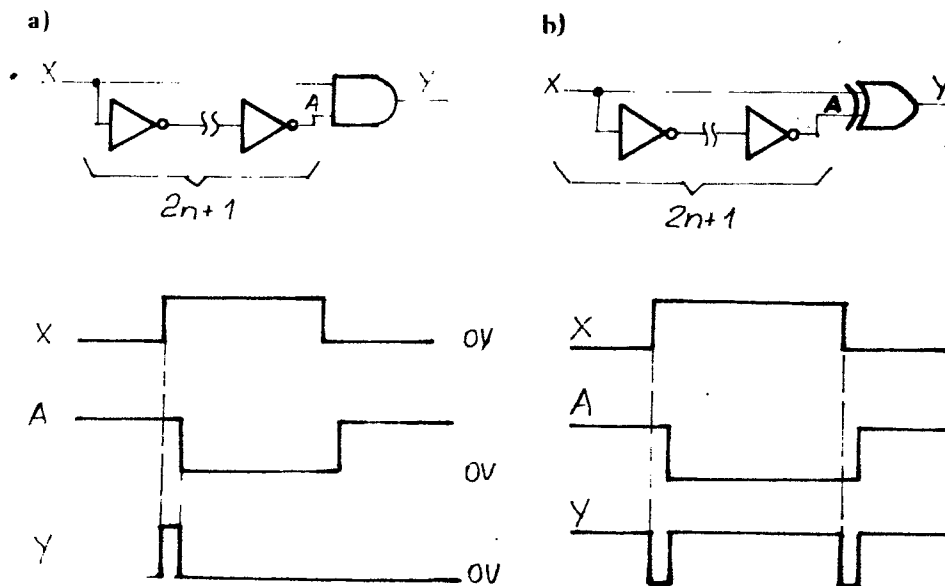
^{*)} Autor składa podziękowanie mgr inż. Czesławowi Godziszowi za cenne uwagi pomocne przy pisaniu artykułu.

- zakłócenia od skoków prądu indukowane w impedancjach rozproszenia układu scalonego w momencie jego przełączania.
- zakłócenia impulsami prądu I_{cc} powstającymi przy przełączaniu stopnia wyjściowego (typu „totem pole”).

Aby układ spełniał wszystkie przewidziane wcześniej funkcje wyjściowe sterując wybranym obiektem bez zastrzeżeń, każdy projektant musi przejść przez kilka etapów.

2. Etap projektowania schematu ideowego

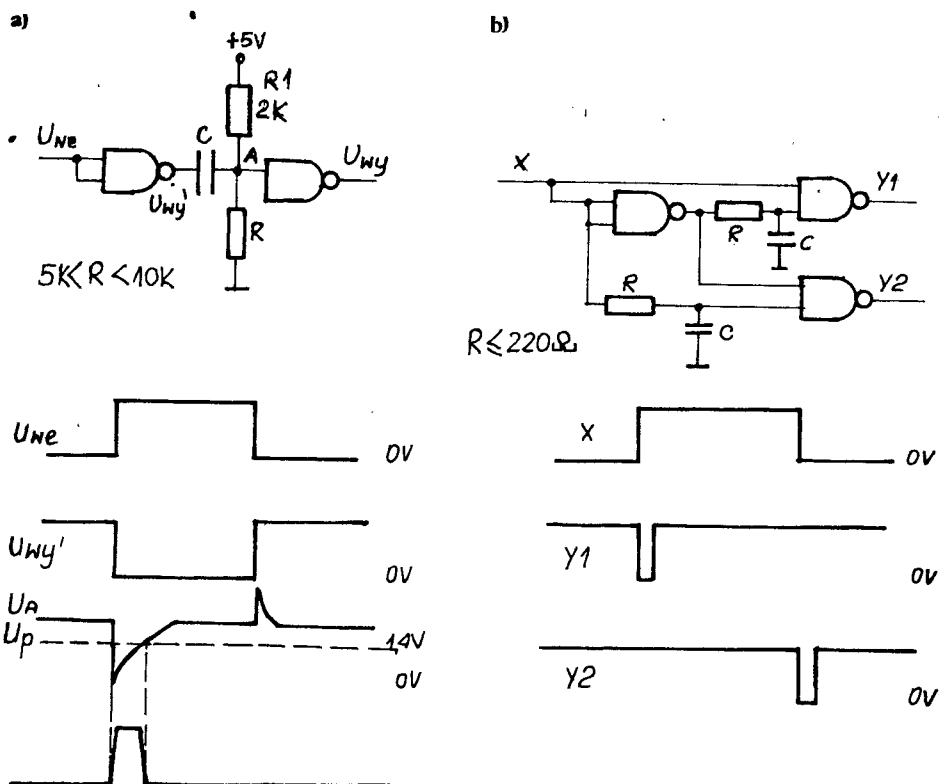
Jest to moment, w którym podejmujemy decyzje o wyborze techniki, w jakiej zrealizujemy nasz układ. W porównaniu z innymi technikami realizacji układy TTL są ciągle najpopularniejsze i mogą współpracować z układami logicznymi innych typów. Już na tym etapie istnieje możliwość uniknięcia błędów, które z pewnością odbiją się niekorzystnie na działaniu układu w przyszłości. Dotyczy to np. używania nadmiaru układów różniczkujących typu RC zamiast np. scalonych przerzutników monostabilnych (ULY 7855, UCY 74121, UCY 74123) jako generatorów pojedynczych impulsów. Układy różniczkujące możemy zaliczyć do grupy układów generujących impulsy w odpowiedzi na zmianę poziomu logicznego z „0” na „1” lub z „1” na „0”. Podstawowym elementem układu różniczkującego jest układ opóźniający impuls wejściowy.



Rys. 1: a) Układ różniczkujący zbocze narastające, b) Układ różniczkujący oba zbocza

Rolę takich układów spełniają najczęściej układy wykorzystujące opóźnienie wnoszone przez bramki logiczne. Na rys. 1 przedstawiono proste układy różniczkujące składające się z samych bramek logicznych.

W układach tych czas trwania impulsu wyjściowego zależy od opóźnienia wnoszonego przez szeregowo połączone bramki i może być zmieniany przez zwiększenie lub zmniejszenie liczby tych bramek. Do opóźnienia impulsu wejściowego wykorzystuje się również wspomniane elementy R i C . Przez zmianę R lub C można wpłynąć na czas ładowania i rozładowania kondensatora. Wykorzystuje się to w układach realizujących różnego rodzaju uzależnienia czasowe a w szczególności w układach różniczkujących. Na rys. 2a przedstawiono układ różniczkujący z elementami R i C oraz przebiegi napięć ilustrujące działanie układu, a na rys. 2b wersję dwuzbończową. Nie zaleca się stosować układu z rys. 2a w wersji podanej w literaturze [4], bez rezystora R_1 wejście A znajduje się bowiem na bardzo wrażliwym na zakłócenia poziomie $\approx 1,4$ V.

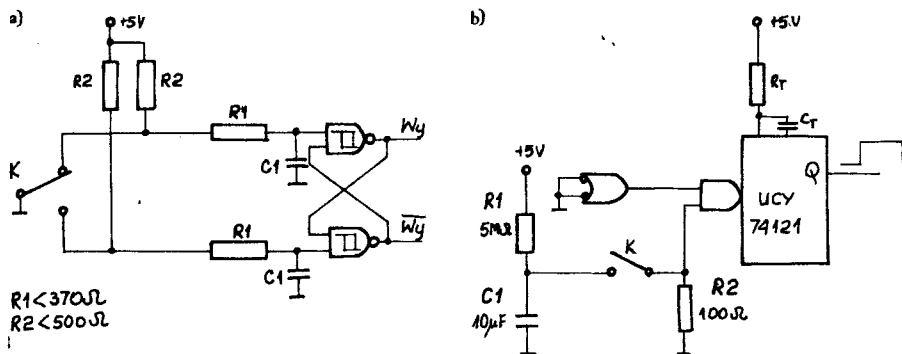


Rys. 2.

W układach zawierających elementy R i C nie zaleca się stosować dużych stałych czasowych RC ze względu na tendencję do wzbudzania się bramek przy podawaniu na ich wejścia impulsów o zbyt wolno narastających (opadających) zboczach. W układach takich zaleca się stosować bramki z układem Schmitta (74132). Przykładem lepszego rozwiązania układu różniczkującego może być np. zastosowanie popularnego układu UCY 74121. Do wejścia B tego przerzutnika jest dołączony układ Schmitta, a zatem mniejsze mogą być wymagania związane ze stromością zboczy impulsu podawanego na to wejście. W razie potrzeby opóźnienia początku generowania impulsu wyjściowego do wejścia B możemy podłączyć bez obaw układ RC. Gdy nie dysponujemy układami 74121 możemy zastosować układ 74123 zawierający dwa przerzutniki monostabilne. Będzie to jednak rozwiązanie gorsze od poprzedniego ze względu na możliwość wzajemnego oddziaływania zakłócającego dwóch przerzutników umieszczonych w jednej obudowie oraz w związku z brakiem wejść wyposażonych w układ Schmitta. Najlepszym rozwiązaniem ze względu na parametry techniczne będzie zastosowanie układu ULY 7855 (NE 555). Układ ten charakteryzuje się dużą stabilnością temperaturową, małym poborem prądu (kilka miliamperów, małą wrażliwością na zmiany napięcia zasilania i co najważniejsze dużą odpornością na zakłócenia. Zakres generowanych impulsów zawiera się w przedziale od mikrosekund do godzin.

Często konstruktorzy zostawiają niektóre wejścia bramek jako wolne; szczególnie jest to groźne w przypadku przerzutników. Takie wejścia są wtedy podatne na działanie wszelkich szumów i zakłóceń. Najczęściej wystarczy podłączyć takie wejście poprzez rezystor $1 - 5\text{ k}\Omega$ do napięcia zasilania i zablokować dodatkowo kondensatorem bezindukcyjnym o wartości rzędu $0,01 - 0,1\text{ }\mu\text{F}$. Więcej szczegółów na ten temat można znaleźć w literaturze [1], [2], [3].

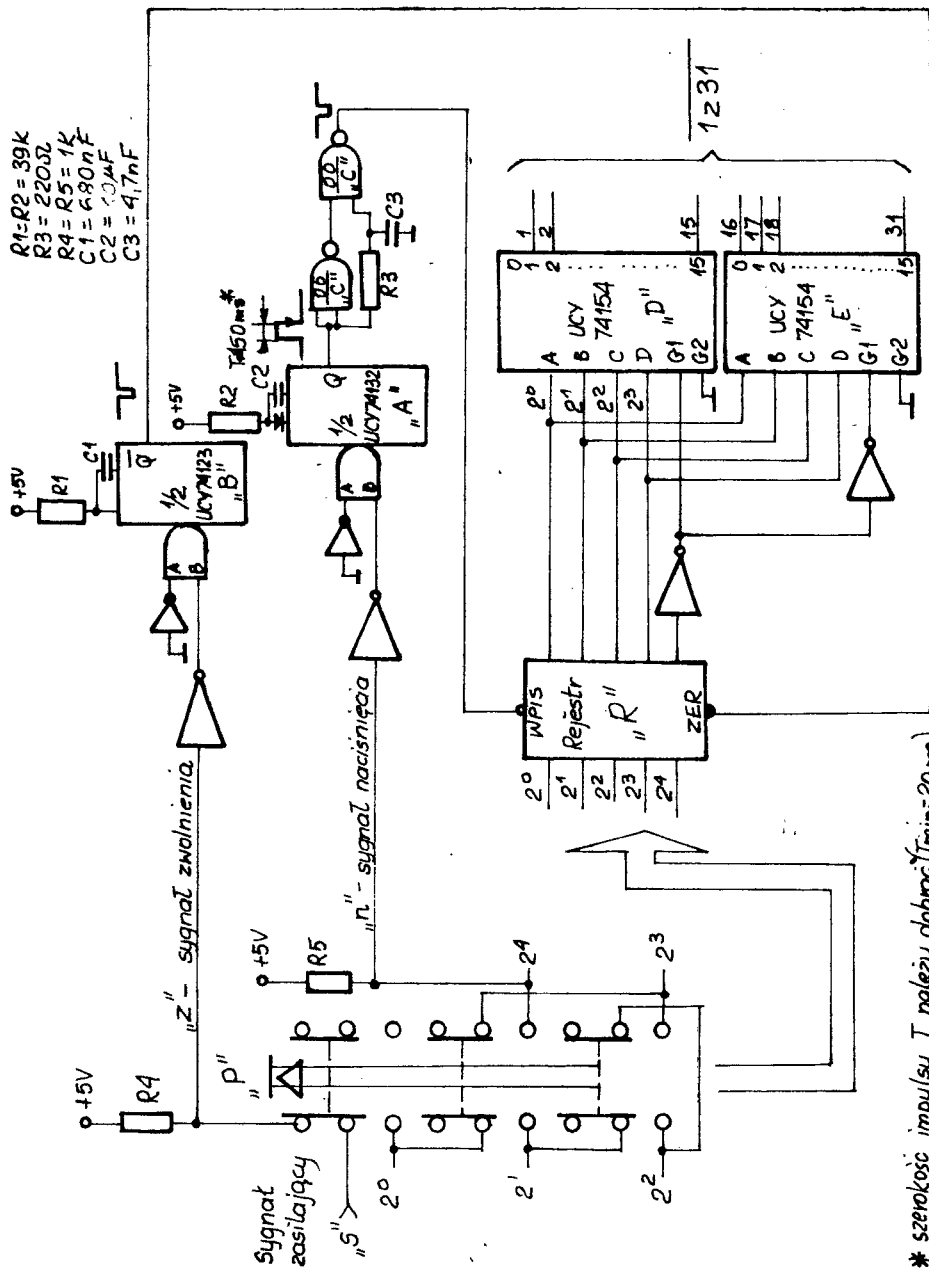
Trzeba również poświęcić dużo uwagi tym wejściom, które będą współpracowały z zestykami — szczególnie w układach sekwencyjnych. Istnieje wiele metod eliminacji wpływu drgań zestyków na pracę układu, których ideą jest zablokowanie wejścia na okres drgań zestyków (zwykle około 20 ms), a dopiero później zmiana stanu tego wejścia już w postaci stabilnej. Na rys. 3 przedstawiono dwa wybrane układy współdziałania zestyków z układami TTL charakteryzujące się zwiększoną odpornością na działanie zakłóceń od drgań zestyków. Układ z rys. 3a jest dość szeroko stosowany tam, gdzie przełączniki połączone są długimi przewodami. Układ zawiera dwa filtry dolnoprzepustowe $(R1 + R2)C1$ włączone między zestyk a układ formujący. Stała czasowa $(R1 + R2)C$ układu powinna być tak dobrana, aby przełączenie układu formującego nastąpiło po zaniku drgań zestyku (wartość $R2$ wynika z potrzeby przepływu niewielkiego prądu o wartości 10 mA przez zestyk K). Inny układ o wyjściu impulsowym współdziałający z zestykiem zwiernym przedstawiono na rys. 3b.



Rys. 3.

Gdy zestyk K zostanie otwarty, wówczas kondensator C1 ładuje się do napięcia + 5 V przez rezystor R1 o bardzo dużej rezystancji. Po zamknięciu zestyku K kondensator C1 rozładuje się po kilku mikrosekundach przez rezystor R2 o bardzo małej rezystancji. Multiwibrator (np. 74121) generuje pojedynczy impuls. Ze względu na dużą stałą czasową R1 C1, drgania zestyku K nie powinny ponownie wyzwolić miniwibratora w czasie kilkunastu milisekund. Na zakończenie przytoczymy praktyczne rozwiązanie zagadnienia równoczesnej współpracy kilku zestyków z układami TTL. Zadaniem do rozwiązania było uzyskanie niezakłóconej informacji w kodzie dwójkowym 5-bitowym za pomocą przetącnika typu „Isostat”. Sposób realizacji zadania przedstawiono na rys. 4.

Układ składa się z przycisku typu „Isostat” P, dwóch przerzutników monostabilnych A i B, układu różniczkującego C, rejestru równoległego R oraz demultiplekserów E i D. Przycisk P umożliwia zakodowanie jednej z liczb w zakresie od 1 do 31 pod postacią kodu dwójkowego. Zakodowana liczba podawana jest na wejście rejestru równoległego R, a następnie na wejścia demultiplekserów D i E, które dekodują informację w kodzie dwójkowym na kod 1 z 31. Po to jednak, aby na wyjściu demultiplekserów uzyskać informację zgodną z zakodowaną na przycisku P musimy uniezależnić się od drgań jego zestyków, a także wziąć pod uwagę fakt, że (jak wskazują praktyczne próby), zestyki przycisku typu „Isostat” nie zawierają jednocześnie zestyków czynnych w swoich sekcjach. Przy energicznym naciskaniu przycisku mamy szansę przesłania od razu całej informacji. Normalnie jednak przycisk naciskamy dość „wolno” i wtedy może się zdarzyć, że na wyjściu demultiplekserów uzyskamy zdekodowane poszczególne bity składowe zakodowanej informacji. W celu uniknięcia takiej sytuacji musimy najpierw wpisać zakodowaną informację do rejestru równoległego R ale dopiero po

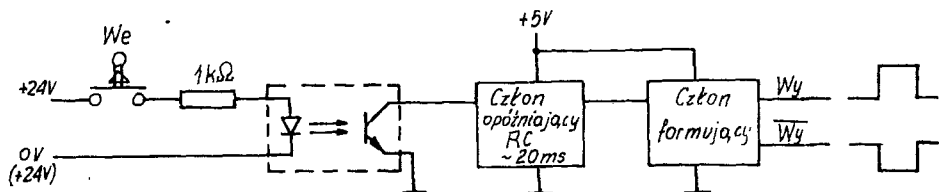


* szerokość impulsu T należy dobrać ($T_{\min} = 20 \text{ ms}$)

Rys. 4.

czasie (około 150 ms), w którym ustają drgania zestyków całkowicie naciśniętego przycisku. Gwarancją, że przycisk jest już całkowicie naciśnięty, będzie pojawienie się sygnału naciśnięcia „n” na końcu łańcucha szeregowo połączonych zestyków czynnych przycisku P. Sygnał naciśnięcia „n” jest przeniesieniem sygnału „s” o poziomie logicznym „0”. Po naciśnięciu przycisku następuje zmiana poziomu sygnału „n” z „1” na „0”. W efekcie tej zmiany zostaje wyzwolony przerzutnik A, który generuje impuls dodatni o szerokości około 150 ms. Po zróżniczkowaniu jego tylnego zbocza powstaje wąski impuls ujemny, który zostaje wprowadzony do rejestru R na wejście „wpisujące”. Dopiero w tym momencie informacja podana na wejście rejestru zostaje do niego wpisana i podana na wejścia demultiplekserów E i D już w postaci niezakłóconej. W chwili zwolnienia przycisku następuje zmiana poziomu sygnału „z” z „1” na „0” i w efekcie wyzwolenie przerzutnika B. Wygenerowany wąski impuls ujemny powoduje wyzerowanie rejestru i skasowanie informacji z wyjścia demultiplekserów. Omówiony przykład został praktycznie wykorzystany do realizacji sterowania ręcznego w sterowniku USEL opracowanym w PIAP przy współudziale autora artykułu. Patrz też [3].

Realizowane w praktyce układy wejściowe przyłącza się często do napięcia + 24 V, poprzez mikrołączniki. Niezbędnym staje się wówczas, użycie transoptora umożliwiającego transformację sygnału napięciowego na prądowy oraz zapewniającego galwaniczną izolację układów wejść pracujących na poziomie napięć TTL od napięcia + 24 V. Przykład takiego kanału wejściowego pokazano na rys. 5.



Rys. 5.

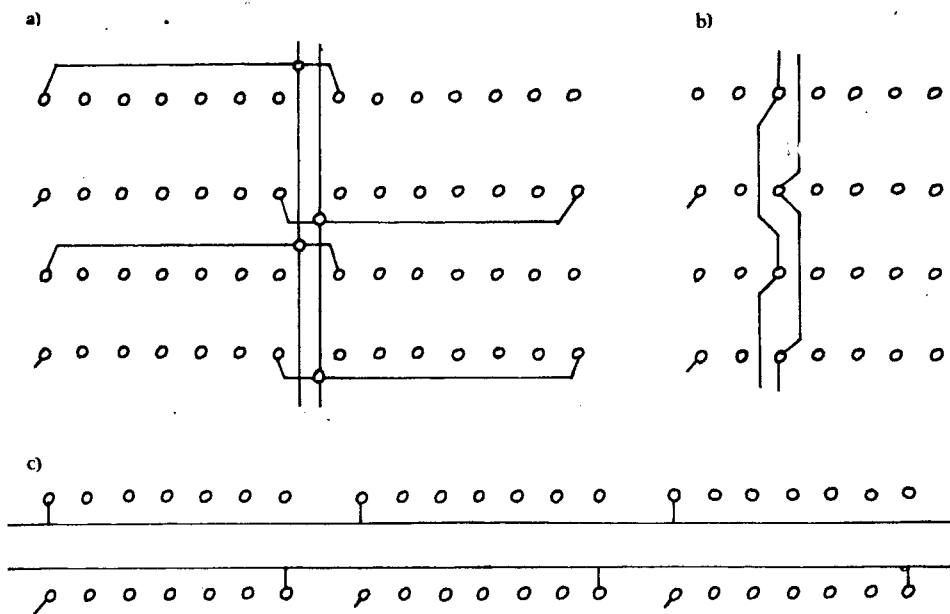
3. Etap projektowania płytki drukowanej

Najlepsze wyniki, pod względem gęstości ścieżek, osiąga się stosując metodę opartą na prowadzeniu ścieżek na jednej stronie pakietu wzdłuż współrzędnej X, a na drugiej stronie wzdłuż współrzędnej Y. Idealnym rozwiązaniem byłoby, gdyby jedna ze stron płytki służyła jako powierzchnia uziemiająca. W przypadku, gdy jest to niemożliwe ze względu na liczbę stosowanych elementów, należy dążyć do tego, aby powierzchnia

uziemiająca uległa jak najmniejszemu ograniczeniu. Ścieżka masy wykonana w postaci pętli obejmującej wszystkie połączenia zrealizowane na płytce, może w istotny sposób zredukować zarówno przesłuchy, jak również zakłócenia potencjału masy. Tam, gdzie wykonanie masy w postaci powierzchni jest niemożliwe, należy przestrzegać następujących zasad:

- ścieżka masy powinna być jak najszersza, nawet gdyby było to związane ze znacznymi zmianami jej szerokości,
- ścieżka masy powinna tworzyć zamkniętą pętlę, obejmującą wszystkie połączenia, a obie strony płytki należy osobnymi doprowadzeniami połączyć z masą systemu.

W praktyce dobrze poprowadzone przewody zasilania i masy nie zajmują więcej niż 10 % powierzchni pakietu. Obecnie coraz częściej stosuje się rozpraszanie napięć zasilania i masy za pomocą szyn umieszczonych nad elementową stroną pakietów. Taki sposób praktycznie nie zmniejsza użytecznej powierzchni pakietu, ma natomiast jeszcze jedną zaletę. Szyna jest wykonana bowiem jako linia o bardzo niskiej impedancji falowej (2 szyny zasilania o małej rezystancji przedzielone dielektrykiem o dużej wartości stałej dielektrycznej E). W rezultacie szyna taka charakteryzuje się bardzo dużą pojemnością rozłożoną rzędu nF/cm szyny, co korzystnie ogranicza zakłócający wpływ skoków prądu zasilania na pracę układu.



Rys. 6.

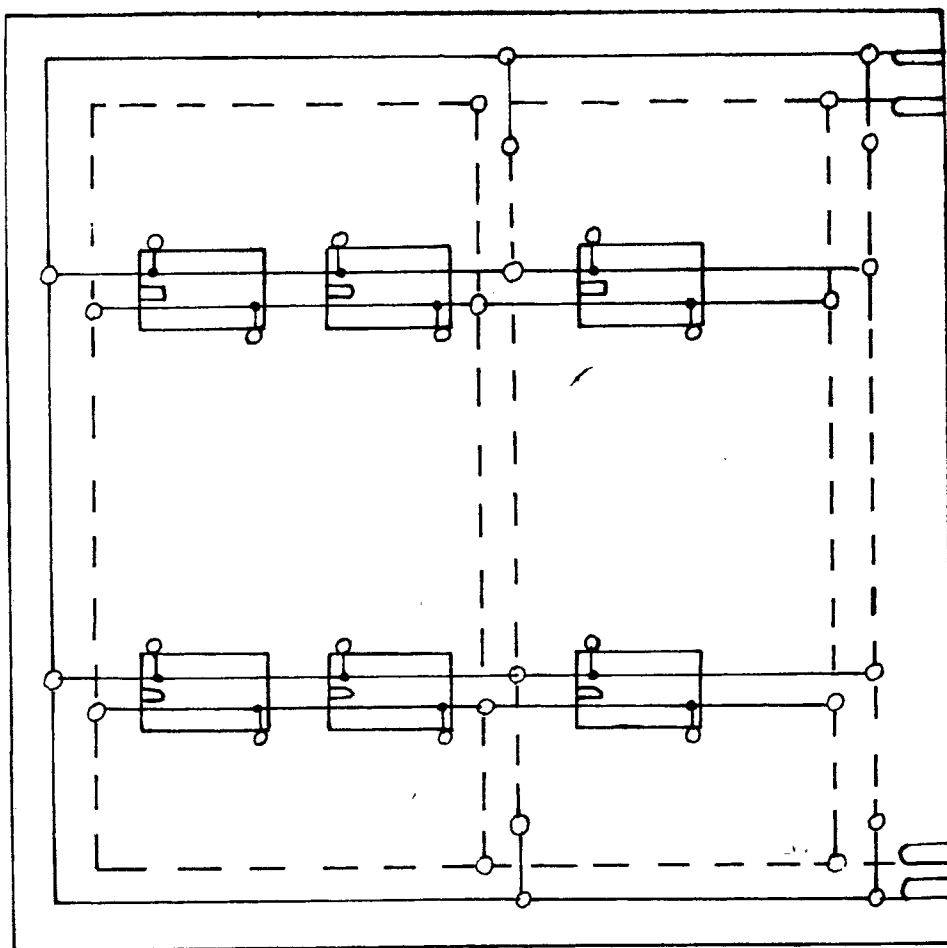
Sposób prowadzenia napięcia zasilania i masy na obwodach drukowanych dwustronnie zależy od usytuowania końcówek zasilania i masy w obudowie dwurzędowej układów scalonych TTL. Na rys. 6 pokazano przykłady prowadzenia ścieżek zasilania i masy do układów scalonych w obudowach dwurzędowych z różnym usytuowaniem końcówek zasilających. Najbardziej godnymi polecenia są przykłady z rys. 6a i 6c, gdyż nie powodują przewężeń ścieżek zasilania. Sposób z rys. 6b może mieć zastosowanie w wyjątkowych przypadkach.

Jeden z lepszych sposobów prowadzenia ścieżek zasilania i masy polega na:

- poprowadzeniu wokół całego pakietu i po obydwu jego stronach możliwie szerokiej płaszczyzny masy połączonej z dwiema skrajnymi końcówkami łączówki pakietu,
- prowadzeniu masy i zasilania do każdego rzędu układów scalonych równolegle, w niewielkiej odległości od siebie, co umożliwi dobre blokowanie za pomocą kondensatorów o niewielkiej pojemności ($0,01 - 0,1 \mu F$),
- zwarcie ścieżek doprowadzających masę i napięcie zasilania do poszczególnych rzędów układów scalonych dodatkowo w kilku miejscach pakietu, wskutek czego system rozprowadzania zasilania tworzy regularną siatkę,
- wypełnieniu dodatkowymi obszarami miedzi połączonymi z masą wszystkich wolnych miejsc pakietu, co wprawdzie nie wpływa na polepszenie warunków rozprowadzania zasilania, ale zapewnia jednorodność parametrów falowych ścieżek sygnałowych znajdujących się po przeciwnej stronie pakietu.

Sposób prowadzenia napięcia zasilania pokazany na rys. 7 nie koliduje z prowadzeniem połączeń między elementami wzdłuż siatki XY i zapewnia małą impedancję falową obwodu zasilania. Dobra filtracja i odsprężanie napięcia zasilającego są możliwe tylko wtedy, gdy użyte kondensatory są w stanie wyrównać zmiany natężenia prądu zasilającego w stanach przejściowych układów logicznych. Przy małym doborze prądu na ogół wystarcza użycie pojemności $10 - 50 \mu F$ i równolegle do niej pojemności rzędu $0,01 - 0,1 \mu F$ na każde 10 kostek układów scalonych. Godna polecenia jest zasada nie stosowania między wyprowadzeniami V_{cc} dowolnych układów połączeń o długości przekraczającej 13 cm. W pewnych przypadkach celowe jest doprowadzenie napięcia zasilania do płytki drukowanej za pośrednictwem dławika o indukcyjności $2 - 10 \mu H$. Na płycie należy je blokować kondensatorem o pojemności $10 - 50 \mu F$. Zabieg ten (stosowania dławika) nie jest jednak bezwzględnie konieczny w przeciwieństwie do stosowania kondensatorów blokujących. Podstawy teoretyczne powyższych zaleceń praktycznych znajdują się np. w pozycjach [1], [2].

W dotychczasowych rozważaniach związanych z zasilaniem płytki drukowanej zakładaliśmy, że poziom sygnałów układów płytki, jest jednakowy, w związku z czym poszczególne układy podłączaliśmy do masy i zasilania wielopunktowo. Jest to podejście



Rys. 7.

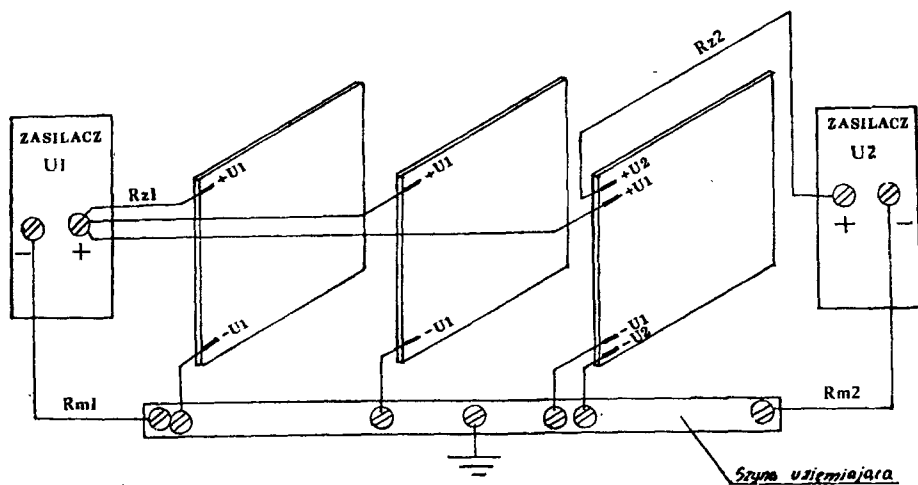
- ścieżki prowadzone po stronie elementów
 - - - - ścieżki prowadzone po stronie lutowań

słuszne, gdyż rzeczywiście poziom zakłóceń przy dobrym blokowaniu jest wtedy do przyjęcia. Może się jednak zdarzyć, że wewnątrz płytki występują układy elektroniczne o znacznie różniących się wartościach sygnałów (nie mówiąc już o wyższych poziomach napięć). Są to układy, których nie udało się rozdzielić przy podziale urządzenia na podzespoły. Wtedy należy bezwzględnie stosować system jednopunktowy. Oznacza to, że rozdzielamy masy i zasilania wspomnianych podzespołów urządzenia, prowadzimy je oddzielnie na płytce (dbając oczywiście o odpowiednie grubości ścieżek) do

przewidzianych złącz na płycie. Postępujemy tak mając na uwadze, że masy podzespołów urządzenia powinny być połączone ze wspólną masą urządzenia tylko w jednym punkcie dla uniknięcia wpływu, jaki może wywierać przepływ w przewodzie masy prądów z innych podzespołów. Podobne rozumowanie odnosi się do przewodu zasilania.

4. Etap projektowania zasilania całego urządzenia

Jedną z metod eliminacji problemów związanych z zakłóceniami na przewodzie masy i zasilania polega na tzw. jednopunktowym uziemieniu (i zasilaniu), o czym wspomnieliśmy już przy okazji omawiania projektowania pojedynczej płytki drukowanej. Każdy pakiet musi być więc połączony własnym przewodem do wspólnego punktu urządzenia zwanego masą urządzenia. Podobnie oddzielnymi przewodami są doprowadzane napięcia zasilające do poszczególnych podzespołów. Przy występowaniu w pakiecie np. dwóch poziomów napięć, wyprowadzamy z pakietu po dwa przewody masy i zasilania – oddzielnie dla każdego poziomu napięć. Całe urządzenie może być przyłączone do wspólnej podstawy tylko w jednym punkcie zwanym masą urządzenia rys. 8. Masa urządzenia może wystąpić np. w postaci dość grubego płaskownika miedzianego posiadającego bardzo małą rezystancję, do którego przykręcamy przewody masy z poszczególnych pakietów. Podobnie możemy postąpić z przewodami zasilania. Przewody $Rm1$ oraz $Rm2$ powinny mieć również jak najmniejszą rezystancję, dlatego stosujemy



Rys. 8

tutaj zwykle przewód w postaci linki w izolacji o przekroju rzędu $4 - 6 \text{ mm}^2$. Praktycznie oznacza to, że przewody te powinny znajdować się możliwie blisko fizycznego zasilania urządzenia. Pomiary w rzeczywistych urządzeniach wykazują zakłócenia na przewodach zasilania i masy rzędu kilku woltów, wynikające z przełączania układów impulsowych z dużą szybkością.

W [2] odnajdujemy przykład obrazujący rząd wielkości rozpatrywanego zjawiska. Jeżeli miedziany przewód o średnicy 1 mm ma długość 25 cm , to jego rezystancja wynosi $5,7 \text{ m}\Omega$, a indukcyjność $0,33 \mu\text{H}$. Przepływ prądu 200 mA spowoduje spadek napięcia na przewodzie masy równy około 1 mV , a impuls 50 mA o czasie narastania 20 ns wywoła zakłócenie o amplitudzie $0,88 \text{ V}$.

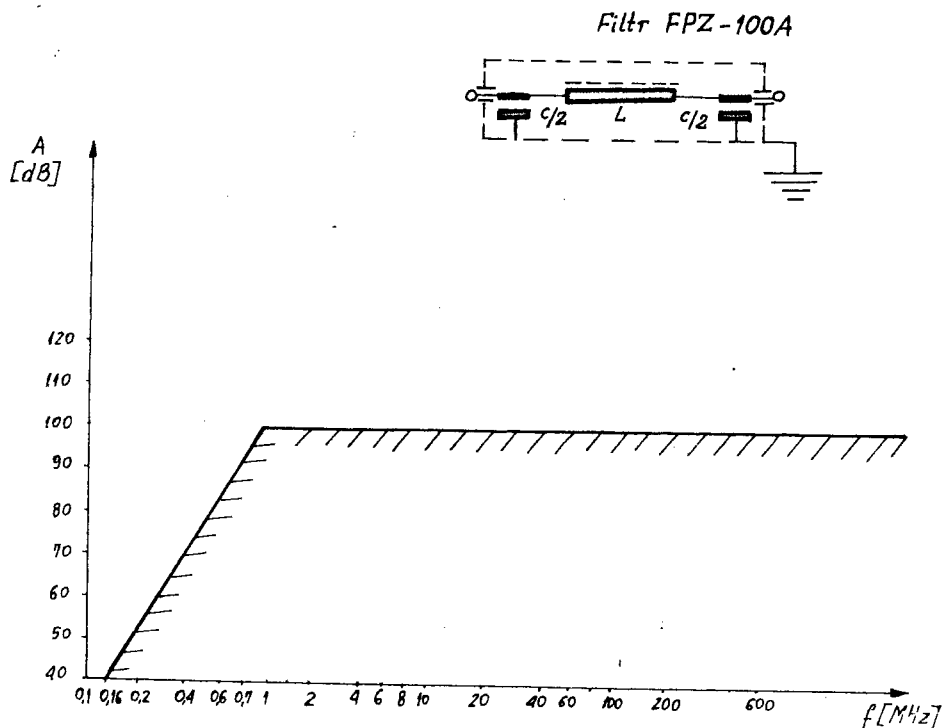
Pozostaje jeszcze wspomnieć o pewnych zasadach dotyczących stosowania zasilaczy.

- 1) Należy bezwzględnie stosować oddzielne zasilacze do układów cyfrowych sieci logicznej TTL, dla układów analogowych (np. wejścia – wyjścia) oraz np. dla pamięci. Poszczególne masy, a więc cyfrową, analogową i pamięci należy połączyć we wspólnym punkcie zwanym masą urządzenia.
- 2) Należy zawsze stosować oddzielny zasilacz do układów pobierających impulsowo znaczne prądy lub powodujących przepięcia. Do takich układów należą układy sterowania wskaźników żarówkowych (wypieranych przez diody LED), układy sterowania pamięci ferrytowych, obciążenia indukcyjne itp.
- 3) Dopuszczalne jest stosowanie wspólnych zasilaczy do tych części urządzenia, w których wartości prądów zasilania nie ulegają znacznym wahaniom.

Na zakończenie rozważań związanych z zasilaniem jednopunktowym należy wspomnieć o dużych urządzeniach, w których podzespoły rozmieszczone są w znacznych odległościach i nie jest możliwe stosowanie uziemienia jednopunktowego. W takim wypadku należy podzespoły urządzenia potraktować jako samodzielne urządzenia. Przesyłanie sygnałów między podzespołami takiego urządzenia należy zrealizować za pomocą odbiorników i nadajników linii.

Elementem zabezpieczenia przed zakłóceniami są także filtry sieciowe umieszczone w obwodzie zasilania urządzenia elektronicznego. Są to elementy typu LC tłumiące w pewnym zakresie częstotliwości niektóre przebiegi, które mogłyby zakłócić pracę urządzenia elektronicznego. Staramy się przy tym, aby filtr włączyć w obwód zasilania jak najbliżej punktu, w którym wprowadzono kabel sieciowy do obudowy urządzenia. Przykładowym rozwiązaniem jest tu filtr typu FPZ-100A, którego charakterystykę przedstawiono na rys. 9.

Potrzeba stosowania tych filtrów musi być poparta analizą warunków pracy przyszłego urządzenia, o czym wspomnieliśmy na początku artykułu. W uzasadnionych przypadkach, w których mamy mimo wszystkich zabiegów odkłócających niezadawalające wyniki odporności urządzenia na zakłócenia od strony sieci zasilającej, możemy zasto-



Rys 9.

sować transformator separujący. Transformator taki powinien mieć odpowiednią dla zasilania urządzenia moc, przekładnię z 380 V/220 V i ekranowane uzwojenia. Dzięki przekładni zmniejszającej uzyskujemy niewielkie zmniejszanie amplitudy sygnałów pasożytniczych, a głównie separujemy się od przewodu zerowego napięcia zasilającego, który jest źródłem zakłóceń wprowadzanych do urządzenia elektronicznego. Uzwojenia ekranujące (ekran) zmniejszają poziom zakłóceń w uzwojeniu wtórnym poprzez zmniejszenie pojemności sprzężenia pomiędzy uzwojeniem pierwotnym i wtórnym.

Poza filtrami i transformatorami separującymi należy pamiętać o, ogólnie mówiąc, estetyce prowadzonych połączeń, z czym związana jest propagacja zakłóceń drogą promieniowania. Tam, gdzie tylko jest to możliwe trzeba „podejrzane” przewody ekranować i odsuwać od pakietów elektronicznych.

Należy również zwrócić uwagę na potrzebę zabezpieczenia urządzenia elektronicznego przed wnikaniem do jego wnętrza zakłóceń powstałych od pola elektrostatycznego i elektromagnetycznego lub obu jednocześnie. Ekran elektrostatyczne można wykonywać z aluminium lub materiałów o dużej przewodności. Dobre zabezpieczenie przed zakłóceniami polami magnetycznymi mogą zapewnić tylko materiały ferromagnetyczne.

Skuteczne uziemienie (zerowanie) urządzenia elektronicznego jest oczywiście niezbędne tak jak połączenie ekranu z masą urządzenia, ponieważ w przeciwnym wypadku nie będzie spełniał on swego zadania.

5. Metody wstępnego badania odporności urządzenia elektronicznego na zakłócenia

Poprawna praca urządzenia w warunkach laboratoryjnych, a więc pozbawionych zakłóceń powstałych od pól zewnętrznych oraz zakłóceń sieciowych, nie daje podstawy do pozytywnej oceny jego rzeczywistej odporności na zakłócenia. Jeżeli pierwsze nieprawidłowości w pracy urządzenia dadzą jednak znać o sobie, będzie to świadectwem niedopełnienia niektórych warunków w poprzednich etapach projektowania. Należy wtedy sprawdzić:

- czy nie ma oczywistych błędów na schemacie ideowym oraz w realizacji tego schematu w projekcie płytki drukowanej; szczególnie dotyczy to tych fragmentów projektów, które mają szczególny wpływ na zakłócenia,
- czy montaż płytki został przeprowadzony zgodnie ze schematem montażowym i z pełnowartościowych elementów; czasami w związku z ograniczonym miejscem na płycie konstruktor nie przewiduje miejsca na kondensatory blokujące, a potem zapomina zadbać o dolutowanie ich w stosownych miejscach,
- czy nie popełniono odstępstw od zasad prowadzenia przewodów zasilających (sieciowych) wewnątrz urządzenia oraz przewodów masy i zasilania,
- czy wszystkie zestyki elektryczne mają dobry kontakt,
- czy ustawiono napięcia zasilaczy stabilizowanych na właściwym poziomie, uwzględniającym impulsowe zmiany prądu zasilającego, a więc czy napięcie na najbardziej elektrycznie oddalonym układzie scalonym ma wymaganą wartość z zakresu 4,75 – 5,25 V.

Po takim sprawdzeniu układ powinien zazwyczaj pracować bez zarzutu. Teraz możemy przystąpić do prostych prób zakłócania urządzenia. Najprostszym i stosowanym wielokrotnie przez autora „zakłócačem” była wiertarka, najlepiej nie pierwszej już nowości, a w związku z tym mocno iskrząca na swoich szczotkach. Takie urządzenie zakłócające możemy traktować jako źródło zakłóceń przenoszących się za pośrednictwem pola elektromagnetycznego oraz sieci zasilającej.

Innym prostym urządzeniem zakłócającym jest pętla indukcyjna, która jest generatorem bardzo „nieprzyjemnego”, szerokopasmowego widma amplitudowo-częstotliwościowego. Urządzenie zostało zalecone autorowi do badań wstępnych przez Grupę Problemową d/s Kompatybilności Elektromagnetycznej PIAP. Urządzenie to składa się z kilkudziesięciu zwojów przewodu w izolacji, z którego tworzy się pętlę o średnicy około 50 cm. Pętla jest włączona szeregowo z przekątnikiem R-15/220 V w układzie dzwonkowym jak to pokazano na rys. 10.

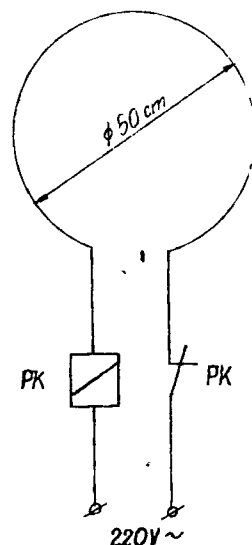
Praktyczne próby wykazały bardzo duże walory przyrządu do wstępnych badań zakłócalności układów elektronicznych. Jednym z przykładów może być tutaj realizacja uniwersalnego sterownika elektronicznego USEL, który został zaprojektowany w części elektronicznej w PIAP i przebadany przez autora (patrz: Biuletyn PIAP 3/85). Późniejsze badania zakłócalności wykonane specjalistycznymi urządzeniami przez grupę KEM wykazały dużą odporność sterownika na zakłócenia. Doświadczenia zdobyte przy realizacji prototypu sterownika USEL sprawdziły się w kolejnych ulepszonych wersjach tego urządzenia i pozwoliły uzyskać bardzo wysoką ocenę jego odporności na zakłócenia [5].

Osiągnięcie dobrych wyników w konfrontacji z zakłóceniami zewnętrznymi jest w dalszym ciągu bardzo żmudne i musi być poparte wnikliwą analizą dróg sygnałów pasywnych. Po znalezieniu podejrzanego punktu w układzie, który, jak wynika z naszej analizy, jest narażony na impulsy zakłócające, próbujemy zwykle blokowania na płycie drukowanej kondensatorami bezindukcyjnymi o wartościach rzędu 1 – 100 nF. To jaką wartość należy zamontować, zależy od doboru metod prób i błędów szczególnie, gdy konstruktorowi brak jest doświadczenia. Trzeba zaznaczyć, że kondensatory trzeba bezwzględnie montować na początku linii zakłócającej, a więc na złączu krawędziowym płytki drukowanej, na wejściu/wyjściu układu elektronicznego pakietu. Po każdej zmianie wprowadzonej na płytce badamy zachowanie się układu poprzez zbliżanie wybranego generatora zakłóceń do poszczególnych części urządzenia. Uzyskanie pełnej odporności na zakłócające działanie wspomnianej pętli jest w znacznym stopniu gwarancją uzyskania dużej odporności przy właściwych badaniach zakłócalności profesjonalnymi urządzeniami.

Właściwe badania zakłócalności urządzenia przeprowadzone przez Ośrodek Badań Niezawodności i Jakości, Grupę Problemową d/s Kompatybilności Elektromagnetycznej obejmują:

- sprawdzanie odporności na zakłócenia sieciowe impulsowe nanosekundowe (seria impulsów) oraz impulsowe dużej energii,
- krótkotrwałe zaniki napięcia sieci,
- zakłócenia obwodu we/wy,
- wyładowania elektryczności statycznej.

Badania te wykonane wg PN-86/E-06600 (projekt) potwierdziły wysoką odporność sterownika.



Rys. 10.

Na rys. 11 przedstawiono fragment układu praktycznie zrealizowanego w jednej z odmian wspomnianego już sterownika USEL, w którym zastosowano drugą z opisanych metod eliminacji zakłóceń. Zadaniem układu jest wytworzenie sygnału FZK, ale w momencie, gdy pojawi się opadające zbocze sygnału X. Zbocze to zostaje zróżniczkowane w układzie RC i zmienia stan przerzutnika RS, ustawionego wstępnie sygnałem ZER po włączeniu sterownika lub zróżniczkowanym zboczem opadającym sygnału Y. W chwili, kiedy pojawia się sygnał Y, a dokładnie jego narastające zbocze, na wyjściu sterownika włączony zostaje stycznik sterujący silnikiem 3-fazowym. Zakłócenia pojawiające się przy włączaniu tego silnika (głównie były to iskrzenia na stykach stycznika związane z włączaniem obciążenia indukcyjnego) oddziaływały na wejście X i zmieniały stan przerzutnika RS. W celu wyeliminowania tych zakłóceń układ rozbudowano o przerzutnik monostabilny „P” (UCY 74121). Narastające zbocze sygnału Y powodowało teraz wyzwolenie przerzutnika „P” na czas około 0,2 sek. (ustalony doświadczalnie tak, aby stycznik pewnie włączył silnik). Impuls ujemny z wyjścia Q przerzutnika powodował zablokowanie stanem niskim przerzutnika RS i eliminował oddziaływanie impulsów zakłócających. Na wejściu X dodatkowo dołączono kondensator 1 nF, którego wartość dobrano doświadczalnie. W wyniku zastosowania takiego rozwiązania uzyskano kilkakrotne zwiększenie odporności działania sterownika USEL (Patrz rozdział 5).

Na zakończenie przytoczmy pouczającą historię. Zdarza się, szczególnie przy modernizacji urządzeń technologicznych, że sterujące urządzenie przekąźnikowe ma być zastąpione układem sterowania typu elektronicznego. Układ przekąźnikowy nie stawiał rygorystycznych wymagań związanych z prowadzeniem przewodów, za pośrednictwem których sterowano silnikiem trójfazowym oraz przewodzących sygnały z mikrołączników na poziomie + 24 V.

Konstruktor układu przekąźnikowego umieścił więc wszystkie te przewody w jednej wiązce i połączył obiekt sterowania ze sterownikiem. Po zastąpieniu sterownika przekąźnikowego elektronicznym, pozostawiono jednak wiązkę przewodów w niezmienionej postaci. Chociaż zastosowany sterownik elektroniczny charakteryzował się dobrą odpornością na zakłócenia, to jednak w omawianym przypadku zaczął wadliwie sterować obiektem. Po analizie występujących zjawisk postawiono tezę, że przyczyną może być oddziaływanie przewodów łączących silnik trójfazowy ze sterownikiem na przewody doprowadzające sygnały z mikrołączników. Oddziaływanie to mogło być dwójakiego rodzaju — od przepięć powstających na indukcyjności silnika przy jego przełączaniach oraz od zakłóceń sieciowych przedostających się od strony źródła zasilania. Zdecydowano się więc na rozdzielenie wiązki przewodów łączących sterownik z obiektem. W jednej wiązce umieszczono przewody zasilające silnik, a w drugiej przewodzące sygnały z mikrołączników. Obie wiązki umieszczono w metalowych węzłach osłonowych pełniących jednocześnie rolę ekranów. Dzięki tym zabiegom działanie sterownika stało się poprawne.

Literatura

- [1] Projektowanie układów z TTL obwodami scalonymi, Ośrodek Informacji o Energii Jądrowej, Warszawa 1973 [aut.: Anderson W.D., Doyce A.G. i in.].
- [2] Łakomy M., Zabrodzki J.: Cyfrowe układy scalone. Warszawa PWN 1980.
- [3] Cyfrowe układy scalone TTL i ich zastosowanie. Ośrodek Informacji o Energii Jądrowej, Warszawa 1971. [aut.: Kalisz J., Orzechowski T i in.].
- [4] Pieńkoń J., Turczyński J.: Układy scalone TTL w systemach cyfrowych. Warszawa, WKŁ 1980.
- [5] Protokół z badań zakłócalności elektromagnetycznej sterownika USEL w wersji do walcarki zautomatyzowanej robotami. (Nr rejestr. 5655/PIAP 1986.