

Dział „Projekty Czytelników” zawiera opisy projektów nadesłanych do redakcji EP przez Czytelników. Redakcja nie bierze odpowiedzialności za prawidłowe działanie opisywanych układów, gdyż nie testujemy ich laboratoryjnie, chociaż sprawdzamy poprawność konstrukcji. Prosimy o nadsyłanie własnych projektów z modelami (do zwrotu). Do artykułu należy dołączyć podpisane oświadczenie, że artykuł jest własnym opracowaniem autora i nie był dotychczas nigdzie publikowany. Honorarium za publikację w tym dziale wynosi 250,- zł (brutto) za 1 stronę w EP. Przesyłanych tekstów nie zwracamy. Redakcja zastrzega sobie prawo do dokonywania skrótów.

Znaczkomat

Automat do sprzedaży znaczków

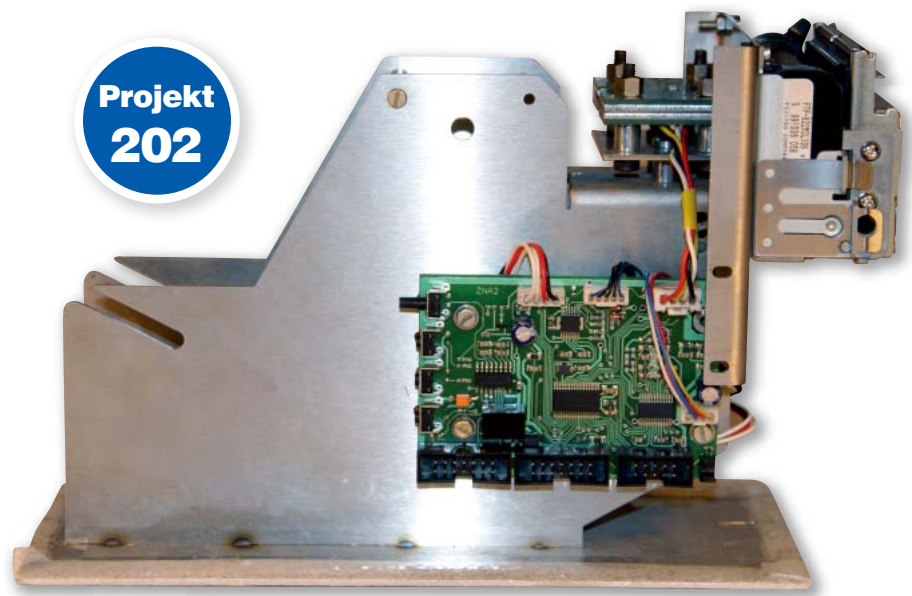
Prezentuję moduł do wydawania znaczków skarbowych. Wchodzi on w skład urządzenia do sprzedaży znaczków skarbowych, na które składają się: komputer PC, moduły do wydawania znaczków i moduł do przyjmowania pieniędzy. Oprócz sprzedaży urządzenie pełni również funkcje informacyjne.

Mennica Państwowa produkuje znaczki opłaty skarbowej, które są nawinięte na szpulę. Powstały one z arkusza, który został pocięty na paski, a paski posklejano. Dlatego pasek znaczków nawiniętych na szpulę składa się z 10 znaczków i sklejki. Operacja cięcia, sklejanie i nawijanie znaczków na szpulę jest wykonywana ręcznie, co oznacza nieprecyzyjne wykonanie. Sklejka jest różnej długości i zdarza się, że jest nierówno sklejana. Tworzy to określone problemy przy budowaniu modułu wydającego znaczki.

Moduł wydający składa się z 6 niezależnych mechanizmów do wysuwania znaczków. Każdy nominal ma swój mechanizm do wysuwania, złożony z dwóch silników: jeden do wysuwania znaczków, drugi do napędu gilotyny, która obcina wysunięty znaczek. Miejsce cięcia określa sensor optyczny, który prześwietla taśmę promieniowaniem podczerwonym i reaguje na perforację pomiędzy znaczkami. Całością steruje procesor zamontowany na płycie drukowanej. Procesorem kieruje komputer PC za pomocą interfejsu szeregowego RS-232. Przy produkcji na małą skalę, nie jest najważniejsza cena części składowych, ale pracochłonność projektu. Aby zmniejszyć pracochłonność projektu wybrałem układy scalone o dużej skali integracji. Jednocześnie z programem do wysuwania znaczka napisałem program testujący sam algorytm i cały mechanizm. Testy te bardzo ułatwiły mi uruchomienie projektu. W artykule zaprezentowano proces projektowania urządzenia.

Wybór mikrokontrolera

Z uwagi na to, że proces wydawania znaczków jest powolny, od procesora nie jest



wymagana duża moc obliczeniowa. Procesor musi mieć:

- UART do komunikacji z systemem nadrzędnym,
- Timery do sterowania silnikami,
- Przetwornik A/C z dwoma wejściami.

Wybrałem MSP430F2252 dlatego, że Texas Instruments oferuje bardzo dobre oprogramowanie narzędziowe – Code Composer Studio. W wersji darmowej można pisać programy do 16 kB kodu.

Budowa modułu

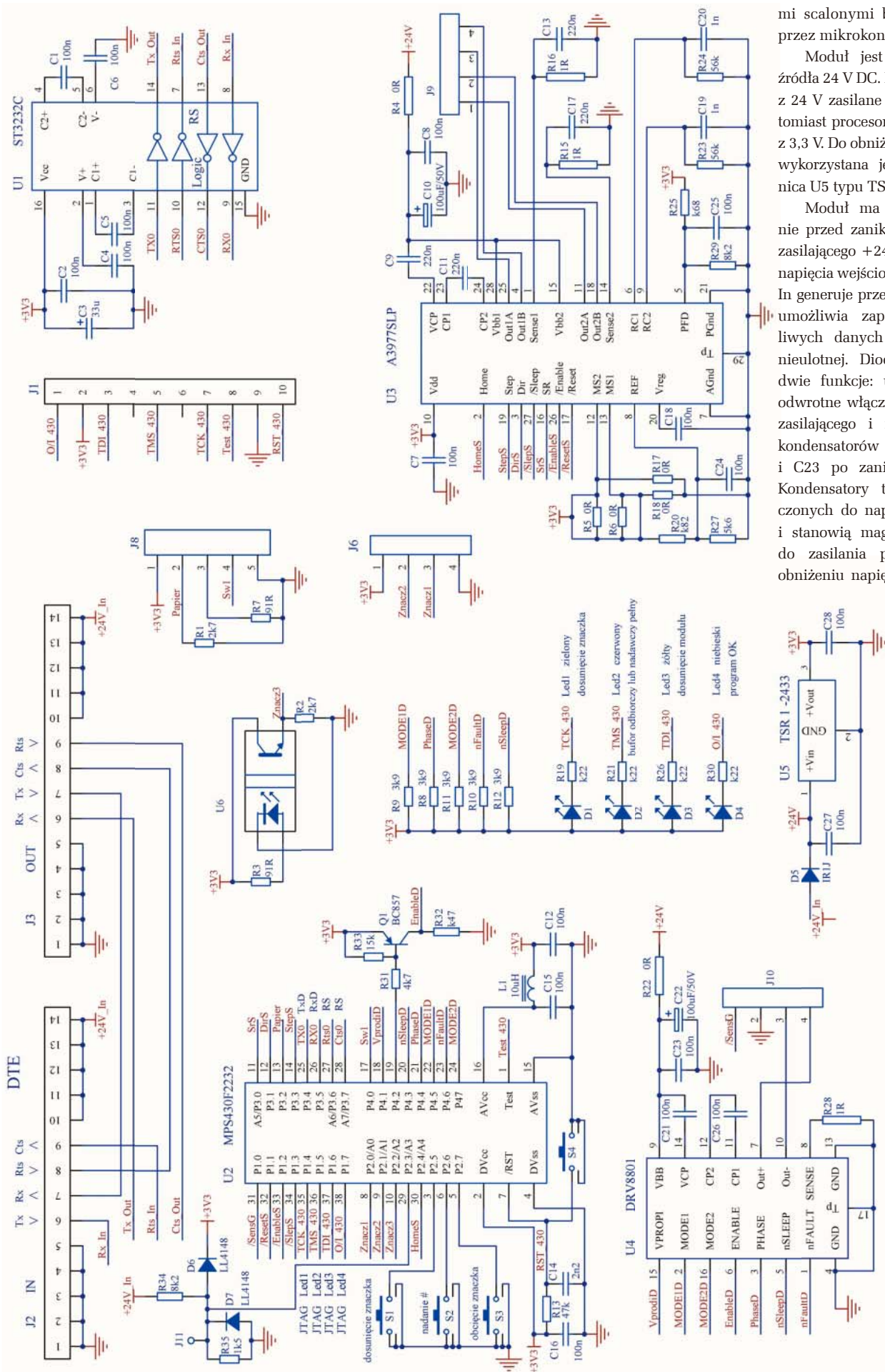
Schemat ideowy modułu pokazano na rysunku 1. Do sterowania silnikami użyłem układów scalonych o dużym stopniu scalenia. Układ DRV8801 firmy Texas Instruments służy do sterowania silnikiem prądu stałego za pomocą sygnału PWM. Dodatkowo, układ ma wbudowane niezbędne zabezpieczenia:

- nadprądowe,
- przepięciowe,
- zabezpieczenie przed zwarciem wyprowadzenia zasilających silnik do masy i zasilania,
- termiczne, które wyłącza zasilanie silnika, jeśli temperatura struktury układu scalonego przekroczy 175°C.

Układ umożliwia sterowanie kierunkiem obrotów silnika i hamowanie elek-

trodynamiczne. Silnik podłącza się bezpośrednio do układu. Nie ma potrzeby stosowania żadnych dodatkowych elementów zabezpieczających.

Układ A3977 służy do sterowania silnikiem krokowym. Jest to kompletny sterownik silnika z przetwornikiem i przetwornikiem cyfrowo – analogowym. Sterownik może podzielić krok na maksymalnie 8 mikrokroków. Po ustawieniu stopnia podziału, można zapomnieć o mikrokrokach. Sterownik sam pobiera z tablicy wartość prądów dla konkretnego mikrokroku i za pomocą przetwornika cyfrowo – analogowego przetwarza go do postaci analogowej. Każdy impuls na wejściu STEP porusza silnik o 1 mikrokrok. Mikrokroki umożliwiają precyzyjny i płynny ruch silnika. W projekcie zastosowałem podział przez 8. Na wyjściu układu są 2 mostki złożone z tranzystorów DMOS dla każdej z cewek silnika. Umożliwia to obrót silnika w dwóch kierunkach. Obie cewki silnika sterowane są za pomocą modulacji długości impulsów (PWM). Takie sterowanie zmniejsza ilość wydzielanego ciepła w układach scalonych i umożliwia łatwą kontrolę prądu uzwojeń silników. Do pomiaru prądu służą oporniki dołączone do wyjść SENSE układów scalonych. Jeszcze jedną bardzo użyteczną cechą zastosowanych układów scalonych jest możliwość sterowania układa-

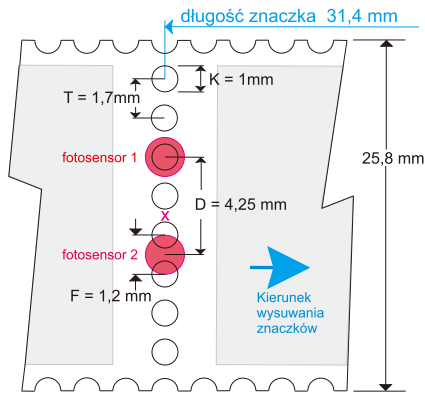


Rysunek 1. Schemat ideowy znaczkomatu

mi scalonymi bezpośrednio przez mikrokontroler.

Moduł jest zasilany ze źródła 24 V DC. Bezpośrednio z 24 V zasilane są silniki natomiast procesor jest zasilany z 3,3 V. Do obniżenia napięcia wykorzystana jest przetwornica U5 typu TSR1-2433.

Moduł ma zabezpieczenie przed zanikiem napięcia zasilającego +24 V_{In}. Zanik napięcia wejściowego +24 V_{In} generuje przerwanie, które umożliwia zapisanie wrażliwych danych do pamięci nieulotnej. Dioda D5 pełni dwie funkcje: uniemożliwia odwrotne włączenie napięcia zasilającego i rozładowanie kondensatorów C10 i C23 po zaniku napięcia. Kondensatory te są podłączone do napięcia +24 V i stanowią magazyn energii do zasilania procesora po obniżeniu napięcia do 3,3 V



Rysunek 2. Perforacja między znaczkami z zaznaczeniem miejsca zainstalowania sensorów

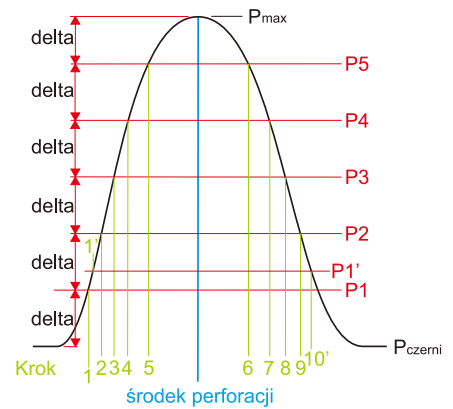
przez przetwornicę U5. Ponieważ energia zgromadzona na kondensatorze jest proporcjonalna do kwadratu napięcia, to do zasilenia procesora zupełnie wystarczy stosunkowo mała pojemność kondensatorów C10 i C23 – w sumie 200 μ F. Aby tą samą energią zgromadzić przy napięciu 3,3 V pojemność kondensatorów należy zwiększyć 53 razy do wartości 10,6 mF. Proszę zauważyć, że przy normalnej pracy pełnią one funkcje kondensatorów blokujących dla układów scalonych U1 i U4.

Moduł wyposażono w driver ST3232, który jest układem interfejsowym RS232 zasilanym z napięcia 3,3 V.

Bardzo ważnymi elementami w czasie uruchomienia i późniejszego serwisowania są 4 diody LED i 4 mikroprzełączniki. Diody informują o stanie modułu, natomiast za pomocą mikroprzełączników można uruchomić różne testy.

Wykrywanie perforacji między znaczkami

Pierwszym problemem, z którym spotkałem się było wykrycie perforacji pomiędzy znaczkami. Przy rozrywaniu znaczków wzdłuż perforacji sprawa jest prosta. Perforacja znajdująca się między znaczkami powoduje obniżenie wytrzymałość papieru do tego stopnia, że rozrywanie następuje idealnie wzdłuż otworów. Odmienna sytuacja jest gdy znaczki są obcinane. Z uwagi na obecność perforacji niedokładność cięcia rzędu 0,2 mm jest już widoczna. Ponieważ znaczki na bokach mają pozostałość po perforacji, to podczas wysuwania znaczków można zaobserwować ruch poprzeczny, który jest bardzo trudny do wyeliminowania. W pojedynczym czujniku optycznym ruch poprzeczny powoduje zmianę sygnału co zakłóca pomiar i zwiększa niedokładność pomiaru. Dlatego do detekcji użyłem dwóch sensorów. Są one tak rozstawione, że środek pierwszego sensora znajduje się nad środkiem otworu w perforacji, natomiast środek drugiego sensora



Rysunek 3. Zasada wyznaczenia współrzędnych środka perforacji

znajduje się między otworami w perforacji. Takie rozmieszczenie czujników powoduje, że podczas ruchu poprzecznego znaczka, gdy wzrasta sygnał z jednego sensora, to maleje z drugiego. Po zoptymalizowaniu odległości między sensorami D i średnicy F (rysunek 2), suma sygnałów będzie niezależna od ruchu poprzecznego znaczków w stosunku do kierunku wysuwania.

Kolejną operacją, którą należy wykonać po zsumowaniu sygnałów z obu detektorów jest odfiltrowanie szumów przez ograniczenie górnej częstotliwości sygnału sumy. Operację tę wykonałem za pomocą następującej funkcji:

REKLAMA

Profesjonalna chemia dla elektroniki i przemysłu

lakierzy do zabezpieczania PCB
kleje i pasty termoprzewodzące
środki do mycia płytek drukowanych
i szablonów: SAFEWASH, FLUXCLEAN
PCM: maskująca zalewa lateksowa
smary do kontaktów

masy silikonowe
do elektroniki
silikonowe pokrycia
cienkowarstwowe
kleje i silikonowe
uszczelniacze
pasty i smary



preparaty czyszczące
preparaty smarujące
preparaty zabezpieczające
powłoki przewodzące
sprężone powietrze

żywice
poliuretanowe,
epoksydowe
do zalewania
układów
elektronicznych

pasty i kleje
do montażu
SMT

$$F(k) = \left(\sum_{m=k-n}^{m=k+n} f(m) \right) / 2 \cdot (n + 1)$$

gdzie:
 F(k) – wartość funkcji po transformacji dla kroku k,
 f(m) – wartość funkcji pierwotnej dla kroku m,
 n – stała, cyfra całkowita, przyjęto 64

Inaczej mówiąc – nowa wartość funkcji to średnia arytmetyczna z 65 kroków. Punkt k znajduje się w środku liczonej średniej.

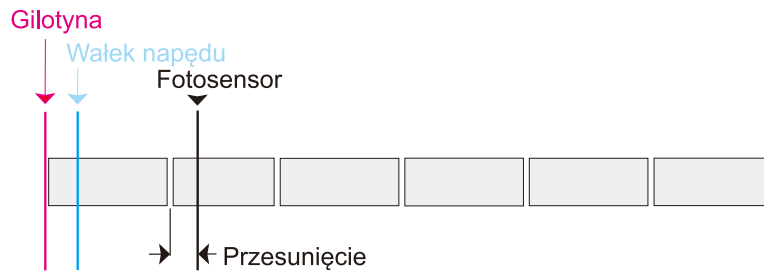
Zasadę pomiaru współrzędnych środka perforacji pokazano na **rysunku 3**. Przed każdym wysunięciem znacznika mikrokontroler oblicza poziomy P1...P5 na podstawie Pczerni i Pmax. W czasie wysuwania znacznika mierzone są Pczerni i Pmax, a po jego zakończeniu, jeżeli znacznik został prawidłowo wysunięty a poziomy odbiegają od przyjętego, są one korygowane, a nowa wartość Pczerni i Pmax jest zapisywana do w pamięci Flash. W ten sposób system detekcji perforacji automatycznie dostosowuje się do aktualnych parametrów fotosensorów i przezroczystości znaczków. Poszczególne nominały znaczków mają różną przezroczystości dla promieni podczerwonych.

W czasie wysuwania znacznika jest mierzony sygnał z fotosensorów. Po przekroczeniu poziomu P1 algorytm sprawdza czy krzywa jest narastająca i czy szybkość narastania jest odpowiednio duża. Po spełnieniu powyższych warunków ustalana jest nowa wartość poziomu sygnału P1' i wartość kroku K1. Podczas opadania krzywej ustalany jest krok K10 dla poziomu P1'. Średnia arytmetyczna to środek perforacji. Aby zwiększyć dokładność pomiaru algorytm wyznaczania środka perforacji jest powtarzany pięciokrotnie i jest liczona średnia arytmetyczna. Do obliczania średniej brane są wyłącznie tylko takie pomiary, które spełniają następujące warunki:

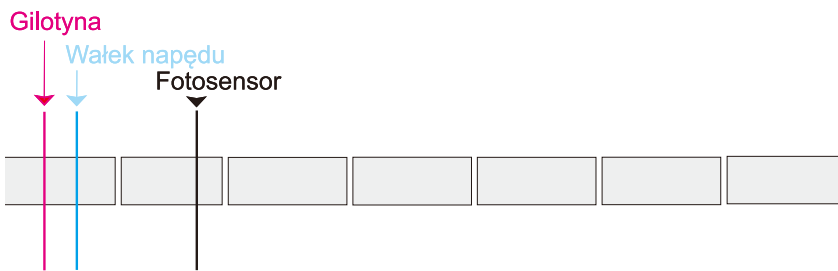
Funkcja w punktach K1, K2, K3, K4, K5 jest narastająca, natomiast w punktach K6, K7, K8, K9, K10 jest opadająca i szybkość narastania lub opadania przekracza określoną wielkość,

Wysuwanie znacznika

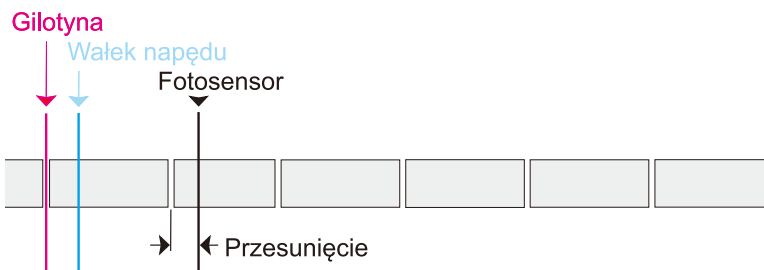
Wysuwanie pokazano na **rysunekach 4...6**. Aby cięcie było dokładne, fotosensor powinien być umieszczony w odległości jednego znacznika od gilotyny. Poślizgi napędu nie wpływają wtedy na dokładność. Jednakże w momencie wystąpienia środka perforacji nie można go obliczyć z uwagi na zastosowany algorytm. Dopiero po przekroczeniu kroku K10 środek perforacji może zostać obliczony. Dodatkowo należy uwzględnić to, że aby znać wartość funkcji po transformacji w punkcie K10 trzeba znać wartość funkcji pierwotnej 32 koki wcześniejszej. To oznacza, że można obliczyć wartość ekstremum najwcześniej w kroku K10+32 po jego wystąpieniu. K10 nie



Rysunek 4. Znacznik dosunięty do gilotyny



Rysunek 5. Znacznik w trakcie wysuwania



Rysunek 6. Znacznik wysunięty

jest wielkością stałą ale może się zmieniać (rys. 3). Dlatego sensora nie można umieścić nad perforacją, ale dalej z przesunięciem większym niż K10+32 (rys. 3).

Algorytm wysuwania znaczków ma licznik kroków, który jest inkrementowany przy wykonaniu każdego kroku. Podczas wysuwania znacznika, gdy przesunie się perforacja pod sensorem i obliczony zostanie krok dla środka perforacji, do licznika kroków należy wpisać nową wartość.

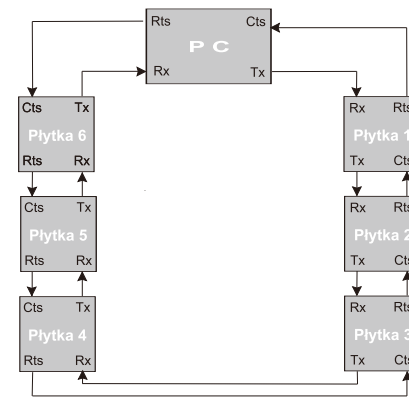
$$\text{nowa_wartość_licznika} = \text{aktualna_wartość_licznika} - \text{środek perforacji}$$

Znacznik zostanie zatrzymany i będzie dosunięty, gdy licznik kroków będzie równy przesunięciu.

Po włączeniu zasilania, moduł musi wykonać test sprawdzający czy znacznik jest dosunięty do gilotyny. Test polega na wsunięciu znacznika do środka do pierwszej perforacji i ponownym jego dosunięciu do gilotyny. Jeżeli ilość kroków podczas wsuwania jest większa niż przesunięcie to znacznik nie jest dosunięty do gilotyny i trzeba to zrobić ręcznie. Aby znacznik podczas tego testu nie wysunął się z rolki napędowej musi być spełniona następująca zależność:

$$\text{odległość_gilotyna_walek_napędowy} > \text{przesunięcia} + K10 + 32$$

Ten test okazał się istotny również i w innej sytuacji. Znaczniki z jednej strony są powleczone klejem. Gdy w pomieszczeniu



Rysunek 7. Schemat okablowania modułów

gdzie znajdował się moduł panowała duża wilgoć i znaczniki były w bezruchu przez kilka dni, znaczniki przyklejały się do rolek napędowych. Aby wyeliminować efekt klejenia znaczków, kilka razy na dobę był wykonywany test sprawdzający dosunięcie. Proszę zauważyć, że liczba wykonanych testów dosunięcia nie ma wpływu na dokładność obcinania znaczków, ponieważ za każdym razem podczas dosuwania do wyznaczenia położenia wykorzystuje się perforację.

Komunikacja

Modułami do wysuwania znaczków steruje komputer PC przez interfejs szeregowy RS232. Okablowanie pokazano na **rysunku 7**. Jest to połączenie typu „ring”. Każdy nadajnik

Tx jest podłączony do Rx następnego modułu. W odwrotnym kierunku nadajnik Tx dostaje sygnał Cts zezwalający na nadawanie. Sygnał ten informuje nadajnik o niemożności odbioru z braku miejsca w swoim buforze odbiorczym. Aby dane z komputera PC trafiły do płytki 2 są odbierane najpierw przez płytkę 1, która transmituje je dalej do płytki 2. Z kolei dane z płytki 2 do komputera PC są retransmitowane przez płytki 3, 4, 5, 6. W ten sposób PC może sterować dowolną ilością płytek, a do sterowania jest wykorzystywany tylko jeden port RS232. Aby sprawnie przesyłać dane między PC a płytkami musi istnieć protokół wymiany informacji. Ten protokół jest bardzo prosty. PC przesyła do płytek rozkazy do wykonania. Rozkazy są w formie pliku o stałej długości. Plik zawiera nagłówek, adres płytki, rozkaz i dane potrzebne do jego wykonania. Po otrzymaniu rozkazu płytka informuje PC o jego otrzymaniu a po wykonaniu przesyła informacje o jego wykonaniu.

Płytki nie może ingerować w rozkaz, który nie jest skierowany do niej. To oznacza, że odpowiedź na rozkaz może zostać wysłana do PC dopiero po zakończeniu retransmisji rozkazu nie skierowanego do niej. Dane niebędące rozkazem są przesyłane dalej.

Zastosowałem ciekawy sposób adresacji – płytki nie mają żadnych zwór do ustawiania adresu płytek. Przy pierwszym uruchomieniu lub wymianie płytek należy wykonać rozkaz adresacji. Polega on na tym, że podczas przesyłania rozkazu z PC od pierwszej do ostatniej płytki są one jednocześnie adresowane. Pierwsza w szeregu otrzymuje adres 1, a ostatnia 6. Zastosowałem krótkie 12-bajtowe rozkazy i dużą szybkość transmisji 115200 b/sek. Całość pracuje bardzo sprawnie.

Uruchomienie

Jak napisałem wcześniej jednocześnie z programem wysuwania znaczków powstały dwa programy testujące. Pierwszy test miał za zadanie sprawdzenie i optymalizowanie samego algorytmu wydawania znaczków. Wszystkie zmienne takie jak odczyty z detektorów, ich suma i średnia arytmetyczna a także inne zmienne przez interfejs szeregowy były przesyłane do PC. Liczba danych była tak duża, że mimo zastosowania szybkości transmisji 115200 b/s byłem zmuszony do znacznego zmniejszenia prędkości wysuwu znacznika. Dane w PC były zapisywane do pliku tekstowego. Na podstawie odczytów z detektora przy pomocy MS Excel obliczałem środek perforacji. Obliczenia wykonane przez MS Excel mogłem porównać z obliczeniami mikrokontrolera odbieranymi przez interfejs szeregowy. W ten sposób szybko znalazłem błędy i zoptymalizowałem algorytm.

Drugi test oceniał całość: algorytm i mechanizm. A jak to można najprościej zrealizować? Mierzac wielokrotnie długość tego samego znacznika. Dokładność pomiaru wskazuje na jakość algorytmu i mechanizmu wysuwu. Włożyłem 20 znaczków do modułu sklepiłem w pętlę i włączyłem test numer dwa. Test ten działał w sposób następujący: wysuwał znaczek na zewnątrz, zatrzymywał wysuwanie na 2 sekundy i przez interfejs szeregowy przesyłał informacje o długości znacznika do PC, a następnie wysuwał następny znaczek itd. Test działał do momentu wyłączenia. Plik tekstowy z danymi znowu zaimportowałem do MS Excel. Tam dane, które były w kodzie szesnastkowym zamieniłem na kod dziesiętny i wykonałem proste statystyki. Błąd pomiaru długości znacznika był mniejszy niż $\pm 0,5\%$.

Podsumowanie

Najważniejszą część dokumentacji, taką jak opisy rozkazów, błędów, stanów diod LED i przycisków umieściłem w pamięci Flash mikrokontrolera. Wysyłając odpowiedni rozkaz do modułu można je podejrzeć za pomocą programu terminala.

Chciałem również wyjaśnić dlaczego problem detekcji perforacji i cięcia znaczków był taki istotny. Znaczniki skarbowe są drogie kosztują od 1 zł do 200 zł. Nie była unormowana sprawa, co robić z ze znaczkami uszkodzonymi. Dlatego od razu moduł musiał pracować prawidłowo, a testowaniem programu nie obciążyliśmy użytkownika.

Jan Jadczyk
jan@sert.pl



Drukarki termiczne



Wi-Fi



LCD



ZigBee

Panele dotykowe



CDMA, GSM, UMTS

Serial EE/Flash/
Układy
kryptograficzne



JM elektronik sp. z o.o.,
ul. Karolinki 58, 44-100 Gliwice,
tel.: 32 339-69-00, fax: 32 339-69-09,
e-mail: jm@jm.pl, www.jm.pl

