

# ARMputer, część 1

## AVT-922

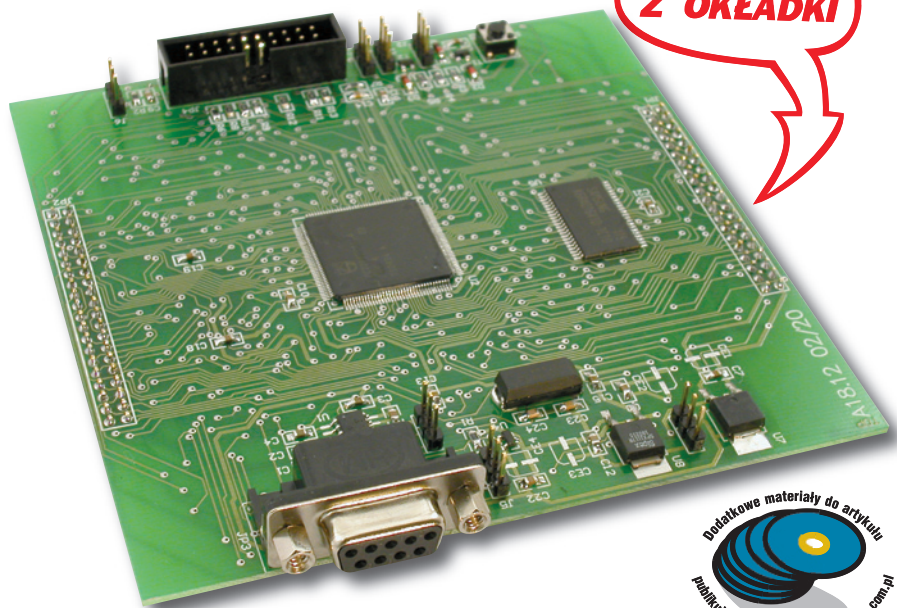
Mikrokontrolery z rdzeniem ARM7TDMI szybko wspinają się na szczyty popularności, czego jedną z najważniejszych przyczyn są ekspresowo malejące ceny tych układów. W artykule przedstawiamy opis konstrukcji potężnego, pod względem funkcjonalności i wydajności jednostki centralnej, komputera wykonanego na procesorze z rodziny LPC2000 firmy Philips.

### Rekomendacje:

wykonanie ARMputera polecamy fanom rozwiązań ARM-owych oraz tym konstruktorom, którzy potrzebują szybkiej jednostki centralnej z bogatym zestawem modułów peryferyjnych.

### PODSTAWOWE PARAMETRY

- Zastosowano mikrokontroler LPC2294 lub LPC2292,
- Pojemność pamięci Flash (łącznie): 256 kB + 4 MB,
- Pojemność pamięci SRAM (łącznie): 16 kB + 1 MB,
- Maksymalna, wewnętrzna częstotliwość taktowania mikrokontrolera: 60 MHz,
- Zakres częstotliwości rezonansowych kwarcu: 1...30 MHz,
- Napięcie zasilania modułu: 5...7 V/ ok. 230 mA (przy  $f_{INT}=60$  MHz),
- Możliwość wyboru pamięci startowej (boot sector),
- Maksymalne napięcie wejściowe na liniach I/O: 5 V,
- Zakres napięć wejściowych toru A/C: 0...3 V,
- Częstotliwość próbkowania A/C: 400 kHz,
- Wbudowany programator ISP,
- Wbudowane stabilizatory napięć dla rdzenia i linii I/O mikrokontrolera,
- Wbudowany kompletny port RS232,
- Wbudowane złącze interfejsu JTAG,
- Magistrale systemowe, sygnały JTAG i sterująca, a także porty I/O wyprowadzone na złącza szpilkowe (łącznie 75 linii),
- Trwałość wewnętrznej pamięci Flash: 100000 cykli,
- Trwałość zewnętrznej pamięci Flash (zgodna z CFI): 100000 cykli,
- Zewnętrzna pamięć Flash podzielona na 67 niezależnych sektorów,
- Wymiary płytki drukowanej: 116 x 114 mm



Prezentowany projekt to drugie opisane na łamach EP, kompletne urządzenie wykonane na mikrokontrolerze z rdzeniem ARM7TDMI. Wybór padł na mikrokontroler LPC2294 firmy Philips, który wyposażono m.in. w:

- 256 kB pamięci Flash (z możliwością programowania ISP),
- 16 kB pamięci SRAM,
- cztery kanały CAN,
- dwa UART-y, zgodne sprzętowo z 16C550,
- interfejs I2C (do 400 kb/s),
- dwa interfejsy SPI,
- 8-kanałowy przetwornik A/C o rozdzielczości 10 bitów i czasie konwersji do 2,44  $\mu$ s,
- 6-kanałowy generator PWM,
- dwa timery 32-bitowe,
- konfigurowalny kontroler przerwań,
- zegar czasu rzeczywistego RTC,
- timer-watchdog,
- kontroler zewnętrznych pamięci SRAM i Flash,
- 112 uniwersalnych linii I/O z możliwością bezpośredniej współpracy z logiką zasilaną napięciem 5 V.

Schemat blokowy mikrokontrolera LPC2294 pokazano na rys. 1. Jak na nim widać, zastosowany mikrokontroler jest doskonale wyposażony we wszelkiego typu peryferia najczęściej stosowane we współczesnych systemach cyfrowych, a zintegrowanie w jednej strukturze także

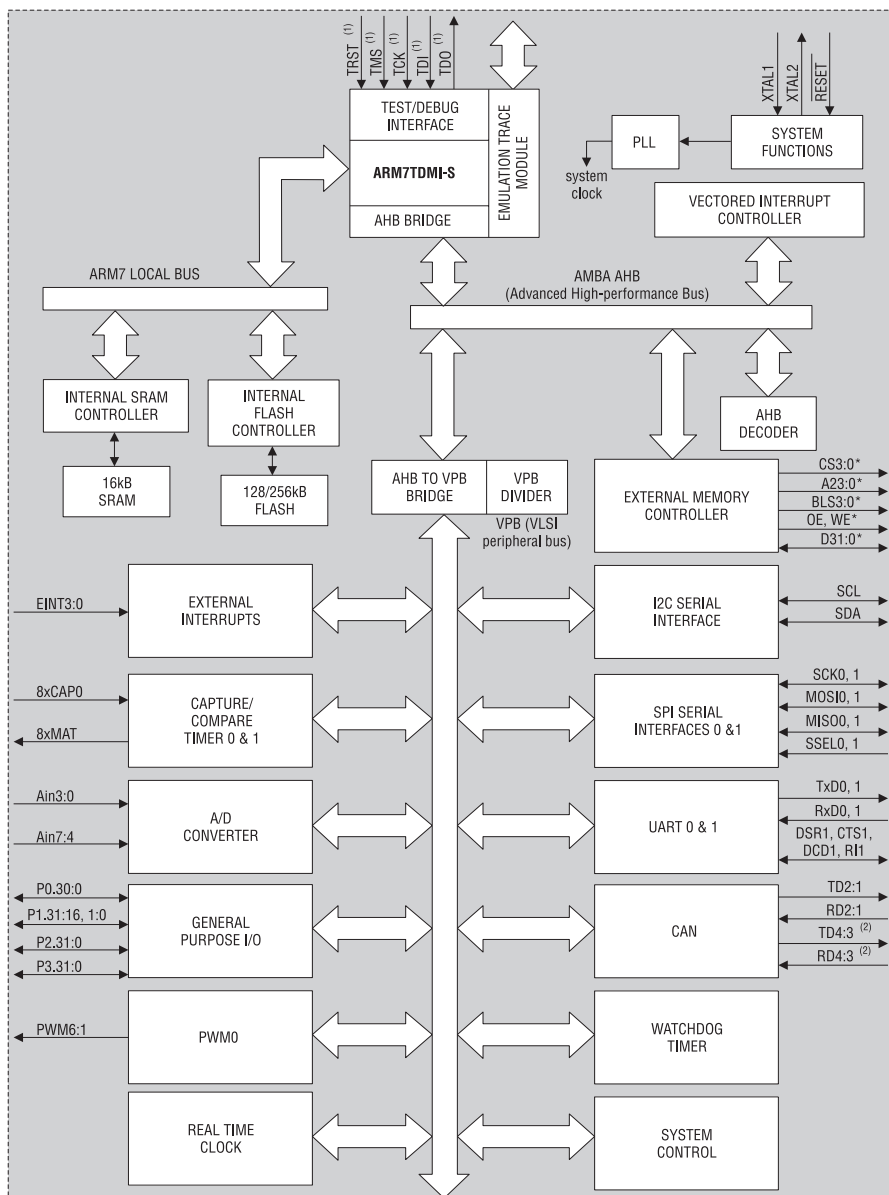
pamięci Flash i SRAM powoduje, że w wielu sytuacjach może on pracować jako zintegrowany sterownik o dużej wydajności obliczeniowej. Rozwiązania sprzętowe zastosowane przez producenta (MAM – Memory Accelerator Module) zapewniają szybki dostęp rdzenia do pamięci Flash, a jej zawartość można zabezpieczyć przed niepożądanym dostępem dzięki wbudowanemu mechanizmowi CRP (Code Read Protection). Na rys. 2 pokazano mapę wewnętrznych pamięci mikrokontrolera LPC2294.

Ze względu na to, że w niektórych aplikacjach pojemność wbudowanej w mikrokontroler pamięci Flash i SRAM może okazać się zbyt mała (pomimo ich – z punktu widzenia praktyki – dużej pojemności), ARMputer wyposażono w zespoły zewnętrznej pamięci, w skład której wchodzi:

- Flash z CFI (patrz EP2/2006) o pojemności 32 Mb (w systemie pracuje jako pamięć z magistralą 16-bitową, co daje 2 M słowa 16-bitowe),
- dwie pamięci SRAM połączone w zespół o 32-bitowej magistra-

### Narzędzia dla ARMputera...

...są dostępne – bez wyjątku – bezpłatnie. Dotyczy to zarówno narzędzi do programowania pamięci mikrokontrolera (LPC2000 Flash Utility) jak i przygotowywania dla niego programów (ARM-GCC).



Rys. 1. Schemat blokowy mikrokontrolera LPC2294

li danych i łącznej pojemności 8 Mb (256 k x 32 – ich budowę wewnętrzną pokazano na rys. 3).

Dodatkowym wyposażeniem ARMputera jest zintegrowany na płycie programator ISP przystosowany do współpracy z dostępnym bezpłatnie programem *LPC2000 Flash Utility*. Korzystanie z urządzenia ułatwią zintegrowane na płycie stabilizatory napięć zasilających o wartości 1,8 V (zasilanie rdzenia mikrokontrolera) i 3,3 V (zasilanie portów I/O).

Na płycie urządzenia przewidziano miejsce dla złącza JTAG, za pomocą którego można programować wewnętrzną pamięć Flash, a także zapewnić współpracę komputera (wyposażonego oczywiście w odpo-

wiednie oprogramowanie) z blokiem EmbeddedICE, który ułatwia debugowanie programów uruchamianych na mikrokontrolerze.

### Opis układu

Schemat elektryczny ARMputera pokazano na rys. 4. Mikrokontroler U2 jest taktowany przez wbudowany generator kwarcowy współpracujący z rezonatorem X1. W modelu zastosowano rezonator o częstotliwości 12 MHz, ale – w zależno-

### WYKAZ ELEMENTÓW

#### Rezystory

R1, R2, R6...R13: 10 kΩ

R3, R5: 33 kΩ

R4: 22 kΩ

#### Kondensatory

C1...C4: 1 μF/16 V 0805

C5...C24: 100 nF 0805

CE1...CE4: 10 μF/16 V SMD-A

#### Półprzewodniki

D1...D3: 1N4148 miniMELF

T1, T2: BC850 SOT23

U1: MAX3232 SO16

U2: LPC2294 TQFP144

U3, U5: IDT71V416S10PH

U4: DS1818 SOT23

U6: M29W320DB TSOP48

U7: SPX1117-33 TO252

U8: SPX1117-18 TO252

#### Inne

J1, J2, J3, J4, J5, J6: goldpiny 3x1

JP1, JP2: szpilki 20x2/2,54

JP3: DB9F

JP4: ZWS/IDC20

S1: mikroswitch

X1: 12 MHz

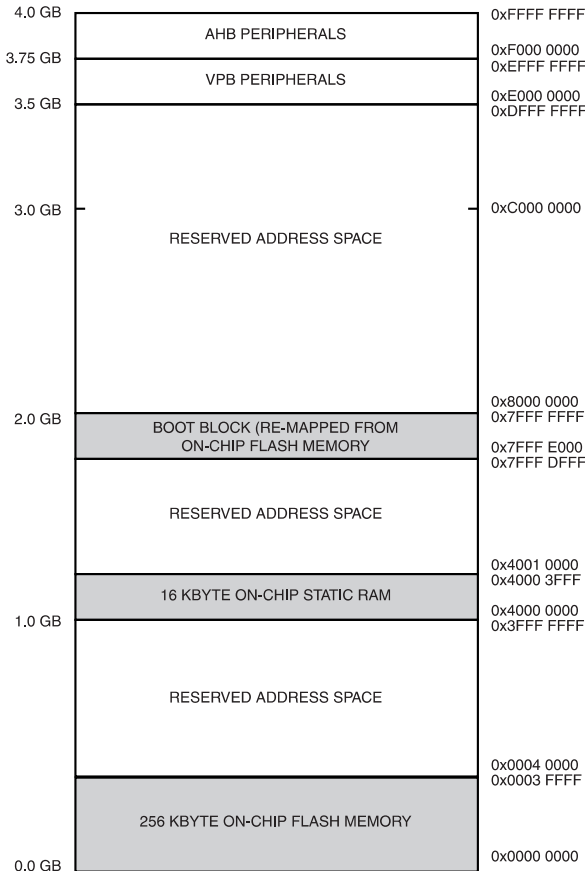
ści od potrzeb – można stosować rezonatory o częstotliwościach od 1 do 30 MHz. Sygnał taktujący rdzeń i inne elementy wewnętrzne mikrokontrolera jest wytwarzany za pomocą powielacza częstotliwości z pętlą PLL wbudowaną w mikrokontroler.

Mikrokontroler jest zasilany za pomocą dwóch stabilizatorów LDO (U7, U8), które zapewniają odpowiednie wartości napięć dla portów I/O, zewnętrznych pamięci i rdzenia mikrokontrolera. Napięcia z wyjść stabilizatorów wyprowadzono ponadto na złącze J4, które można wykorzystać do zasilania elementów współpracujących z ARMputerem. Wydajność prądowa każdego z zastosowanych stabilizatorów wynosi 800 mA.

Układ U1 to typowy konwerter napięciowy stosowany w interfejsach RS232. Od popularnego MAX232 różni się tylko tym, że jest przystosowany do pracy z napięciem zasilania 3,3 V. Sygnały RxD i TxD portu UART0 wyprowadzono na zamontowane na płycie gniazdo DB9F (JP3), natomiast sygnały RxD i TxD portu UART1 są dostępne wyłącz-

Tab. 1. Możliwe konfiguracje bootowania

Numer konfiguracji	Pozycja J5 (D26)	Pozycja J6 (D27)	Opis
0	1–2	1–2	Wewnętrzna pamięć Flash mikrokontrolera
1	1–2	2–3	Zewnętrzna pamięć 32-bitowa na CS0
2	2–3	1–2	Zewnętrzna pamięć 16-bitowa na CS0
3	2–3	2–3	Zewnętrzna pamięć 8-bitowa na CS0



Rys. 2. Mapa przestrzeni adresowej LPC2294

nie na złączu szplikowym J1. Tor UART0 jest wykorzystywany przez wbudowany fabrycznie *bootloader* do programowania pamięci mikrokontrolera. W tym samym celu na płytce zastosowano elementy: T1, T2, D1...D3, J2, J3, R3, R4 i R5. Spełniają one rolę programatora ISP sterowanego z portu RS232 (gniazdo JP3) przez program *LPC2000 Flash Utility*. Umożliwiają one całkowite zautomatyzowanie programowania, zgodnie z opisem opublikowanym w EP1/2006. Jedynym zabiegiem ze strony użytkownika ARMputera jest ustawienie w odpowiednich pozycjach zworek J2 i J3, co zostanie opisane w dalszej części artykułu.

Do wyprowadzeń magistral: danych, adresowej i sterującej mikrokontrolera U2, dołączono trzy układy pamięciowe: SRAM (U3, U5) oraz Flash (U4). Jeżeli ich obecność w systemie nie jest niezbędna, lepiej ich nie montować bowiem zajmują one bardzo wiele linii I/O mikrokontrolera.

Układ U4 jest wysokiej jakości generatorem sygnału zerującego, którego zadaniem jest zapewnienie poprawnej pracy mikrokontrolera U2 po włączeniu zasilania. Jak można zauważyć, tranzystor T1 może zwierać wyjście

U4 do masy – uważni Czytelnicy mogą zadać pytanie czy takie rozwiązanie jest poprawne? Jeżeli zostanie zastosowany układ DS1818 (lub inny układ z wyjściem OC/OD z rezystorem podciągającym) to tak! Wynika to z faktu, że stopień wyjściowy DS1818 jest zbudowany z tranzystora zwierającego wyjście #RST do masy i włączanego pomiędzy wyjście i plus zasilania rezystora (rys. 5). Specyficzna budowa tego układu powoduje, że nawet krótkotrwałe zwarcie wyjścia do masy spowoduje wygenerowanie poprawnego impulsu zerującego o odpowiednim czasie trwania.

Jumpery J5 i J6 służą do wybrania pamięci bootującej i jej konfiguracji, zgodnie z tab. 1. W praktyce, w prezentowanym zestawie możliwe są do wykorzystania konfiguracje 0, 2 i 3. Zmiana trybu bootowania wymaga odpowiedniego ustawienia jumperów J5 i J6 i restartowania mikrokontrolera (np. za pomocą przycisku S1).

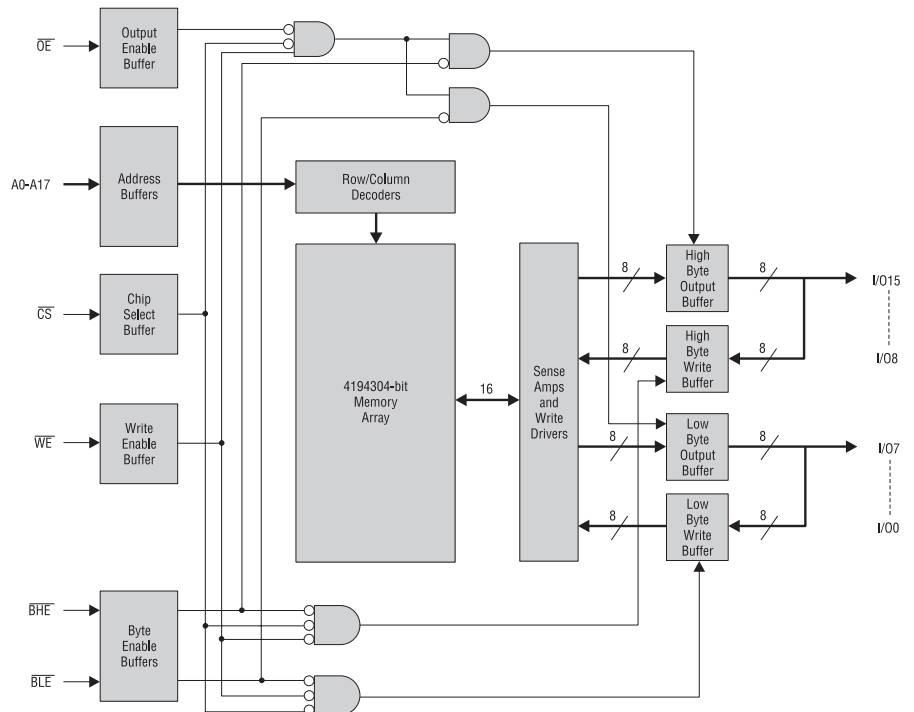
Podobnie wygląda inicjalizacja interfejsu JTAG wbudowanego w mikrokontroler – w przypadku konieczności

jego aktywacji należy zewrzeć styki 2–3 J6 i zrestartować mikrokontroler. Interfejs JTAG można dołączyć do gniazda JP4, do którego doprowadzono sygnały zgodne ze standardem „dużego” (stosowanego w systemach z mikrokontrolerami ARM) JTAG-a.

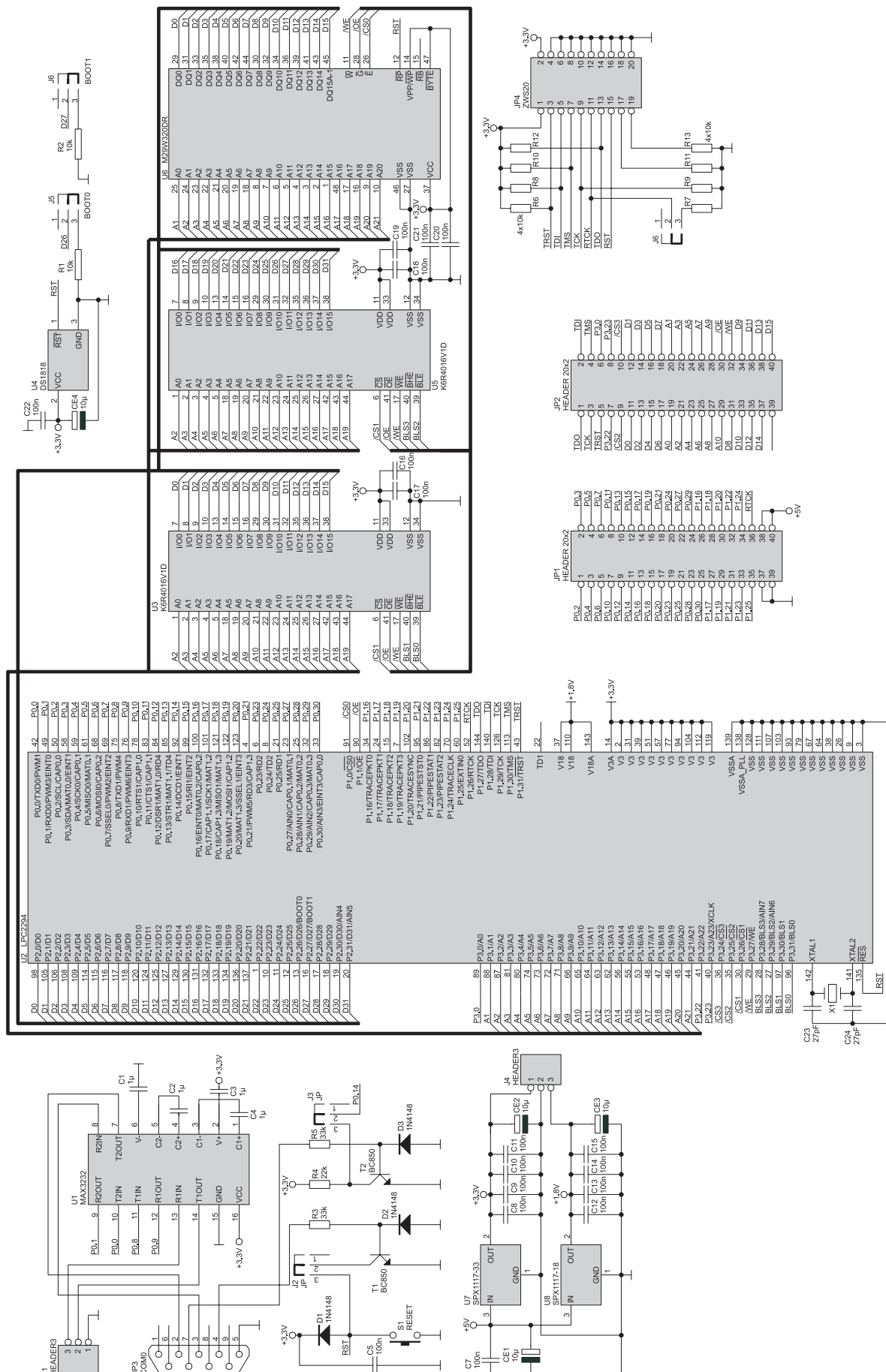
W tab. 2 i 3 zestawiono możliwe położenia zworek na stykach J2 i J3, które służą do dołączania do odpowiednich wyprowadzeń mikrokontrolera elementów programatora ISP. Podczas normalnej pracy systemu elementy te należy odłączyć, w niektórych sytuacjach mogą bowiem zaburzać poprawną pracę mikrokontrolera.

### Montaż i uruchomienie

Schemat montażowy płytki drukowanej pokazano na rys. 6. Jej wymiary – jak widać – są dość duże. Jest to spowodowane skomplikowaniem sieci połączeń pomiędzy mikrokontrolerem i pamięciami, oraz dołączeniem (w sensownym porządku) magistral do złączy szplikowych. Radykalne zmniejszenie wymiarów płytki wymaga zaprojektowania płytki 4-warstwowej, a na to (pod względem kosztów) jest jeszcze nieco (w naszym kraju) za wcześnie. Z drugiej strony, duże wymiary płytki umożliwiły zintegrowanie na niej elementów pozwalających traktować moduł jak kompletny minikomputer z podstawowymi interfejsami komunikacyjnymi.



Rys. 3. Schemat blokowy pamięci SRAM zastosowanych w ARMputerze

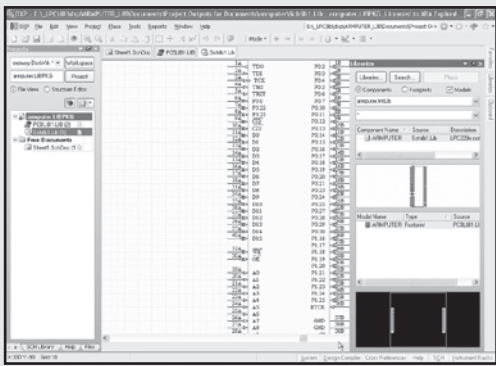
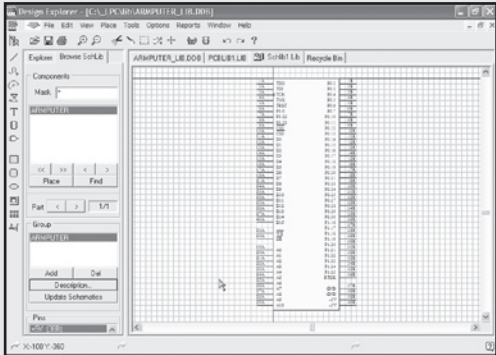


Rys. 4. Schemat elektryczny modułu

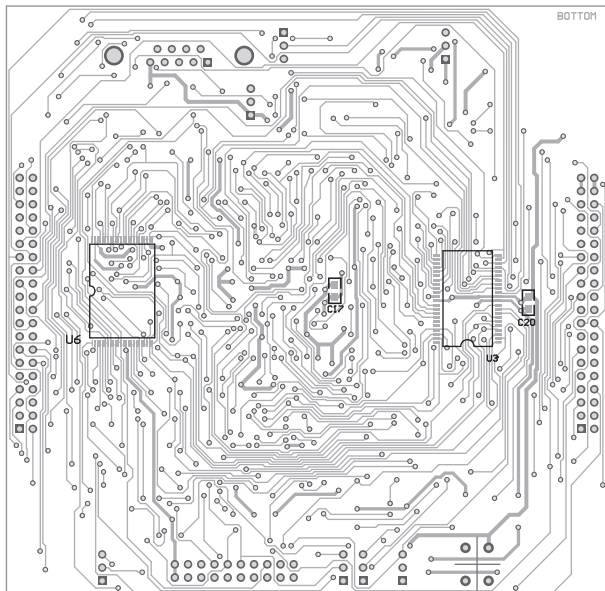
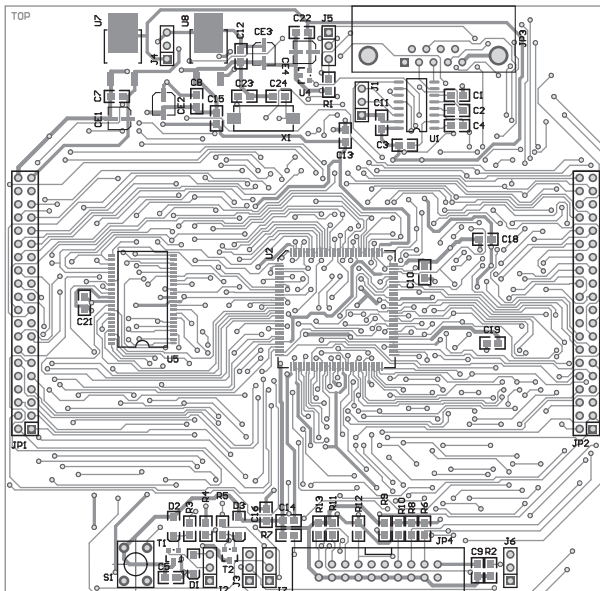


**Biblioteki dla Protela**

Na CD-EP3/2006B publikujemy biblioteki do Protela 99SE i DXP zawierające symbol schematowy oraz footprint PCB modułu opisanego w artykule.



Elementy SMD są montowane po obydwu stronach płytki, co wymaga nieco wprawy, ale autor zmontował płytkę modelowego urządzenia z użyciem stacji lutowniczej Elwik bez stosowania specjalnych środków (poza miedzianą tasiemką rozlutowniczą). Jakość tak wykonanych połączeń jest nadspodziewanie dobra, na przeskodzie podczas montażu



Rys. 6. Schemat montażowy płytki ARMputera (widok zmniejszony o ok. 40%)

**Tab. 2. Opis funkcji spełnianych przez zworę J2**

Pozycja	Opis
1-2	Automatyczne zerowanie mikrokontrolera wyłączone
2-3	Automatyczne zerowanie mikrokontrolera włączone (pozycja zalecana podczas programowania pamięci mikrokontrolera)

**Tab. 3. Opis funkcji spełnianych przez zworę J3**

Pozycja	Opis
1-2	Automatyczne przełączanie mikrokontrolera w tryb ISP wyłączone
2-3	Automatyczne przełączanie mikrokontrolera w tryb ISP włączone (pozycja zalecana podczas programowania pamięci mikrokontrolera)

nie stało także bezołowiowe pokrycie wyprowadzeń mikrokontrolera. Należy jednakże pamiętać o tym, że jakość lutowania ma największe znaczenie dla działania modułu!

Uruchomienie ARMputera jest stosunkowo proste: po zasileniu układu napięciem 5 V należy sprawdzić wartości napięć zasilających na wyjściach stabilizatorów U7 i U8. Jeśli mają one prawidłowe wartości, do gniazda JP3 dołączamy kabel RS232 („prosty”), a jego drugą wtyczkę dołączamy do PC, na którym jest zainstalowany program *LPC2000 Flash Utility*. Zworki konfiguracyjne powinny znajdować się w następujących położeniach:

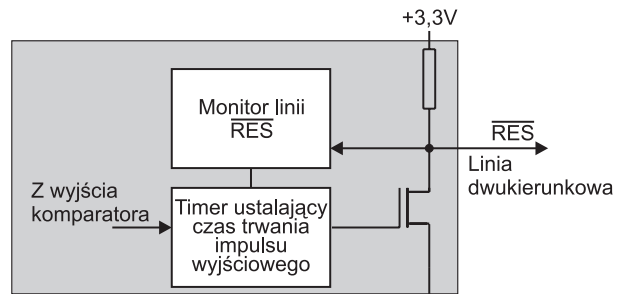
- J2 i J3 – zwarte styki 2-3 (elementy programatora ISP dołączone do mikrokontrolera),
- J5 i J6 – zwarte styki 1-2 (procesor startuje z wewnętrznej pamięci Flash, w obszarze

której znajduje się fabryczny bootloader).

Po skonfigurowaniu do pracy programu *LPC2000 Flash Utility* należy sprawdzić, czy pamięć mikrokontrolera programuje się prawidłowo (przebieg programowania układów LPC2000 opisano szczegółowo w EP1/2006). Jeśli tak się dzieje, można przyjąć, że urządzenie zostało zmontowane poprawnie.

Dalsze testy modułu, w tym zewnętrznych pamięci, wymagają przygotowania własnych programów.

**Piotr Zbysiński, EP**  
[piotr.zbysinski@ep.com.pl](mailto:piotr.zbysinski@ep.com.pl)



Rys. 5. Budowa portu wyjściowego układu zerującego DS18B18