

# Mikroprocesorowy interfejs modułu kamery

Możliwość dołączenia modułu kamery do układu mikroprocesorowego otwiera nowe możliwości przed urządzeniem.

W porównaniu z kamerą użytą w telefonie komórkowym czy laptopie, zyskuje się pełną kontrolę nad modulem i możliwość dostępu do danych obrazu. Takie urządzenie daje możliwość automatycznego wykonywania zdjęć oraz przetwarzania danych obrazu, umożliwiając zastosowanie modułu jako czujnika optycznego o rozszerzonych możliwościach.

*Rekomendacje: doskonały zestaw do samodzielnego eksperymentowania np. z algorytmami przetwarzania i oceny obrazu.*

Do niedawna użycie modułu kamery w systemie mikroprocesorowym stanowiło niemałe wyzwanie. Trudności wynikają ze sporej objętości danych obrazu, które trzeba odebrać i zmagazynować w pamięci oraz znacznej szybkości ich transmisji. Jednak teraz nawet „małe” mikrokontrolery mają duże moce obliczeniowe, a niektóre z nich, jak te z rodziny STM32F2xx i STM32F4xx, wyposażono w specjalny interfejs do współpracy z kamerami przeznaczonymi do wbudowania we własne urządzenie.

Ponieważ w dostępnych źródłach nie natknąłem się na wyczerpujący, praktyczny opis sposobu dołączenia modułu kamery, zrodził się pomysł wykonania prezentowanego urządzenia. Jest to płytkę z mikrokontrolerem, do którego można dołączyć większość modułów kamer. Płytkę może posłużyć do testowania tych modułów i oprogramowania do ich sterowania. Jednak można jej użyć nie tylko jako zestawu ewaluacyjnego, ale również może pełnić funkcje pełnosprawnego urządzenia do wykonywania pojedynczych zdjęć o parametrach kontrolowanych przez użytkownika. Wystarczy skorzystać z przykładowego, dołączonego oprogramowania. Oprócz opisu interfejsu sprzętowego, w kolejnych artykułach krok po kroku zostaną omówione naj-

**AVT  
5391**



ważniejsze procedury obsługi modułu, które powinien zawierać program sterujący.

## Gólna budowa modułów kamer

Ponieważ projekt opisuje praktyczny sposób użycia modułu kamery, należy podać niezbędne informacje o jego budowie, konieczne do zrozumienia zasady działania interfejsu.

Głównym elementem każdego modułu kamery jest sensor obrazu. Angielskie określenie tego elementu spotykane to *System-On-A-Chip (SOC) Digital Image Sensor*. Sensory mogą być wytwarzane przez różnych producentów, najbardziej popularne są elementy takich firm, jak *Micron* i *Aptina*. Producent modułu montuje sensor na płytce drukowanej, dodając do niego niezbędne elementy, takie jak stabilizatory zasilania, elementy bierne, czasami optykę w postaci prostego obiektywu. Dostęp do sterowania modulem (a w gruncie rzeczy sensorem) zapewnia złącze z wyprowadzonymi wszystkimi sygnałami, w tym także liniami zasilającymi.

Na ogół różne moduły mają bardzo podobny zestaw sygnałów dostępnych na złączu i mogą być dołączane do opisywanego interfejsu. Największe różnice, nawet w obrębie sensorów tego samego producenta, dotyczą budowy wewnętrznej i adresów rejestrów sterujących, co jest istotne przy tworzeniu oprogramowania sterującego. Opisany w dalszej części artykułu mechanizm transmisji danych obrazka pomiędzy modulem a mikrokontrolerem pozostanie taki sam dla różnych typów modułów.

### W ofercie AVT\* AVT-5391 A

#### Podstawowe informacje:

- Za pomocą zewnętrznego zasilacza 5...9 V DC lub za pomocą napięcia stabilizowanego 3,3 V DC.
- Możliwość dołączenia dowolnego, standardowego modułu kamery z interfejsem 8-bitowym.
- Mikrokontroler STM32F217VGT ze sprzętowym interfejsem kamery.
- Oprogramowanie, które umożliwia wykonanie i zapisanie zdjęcia.
- Komunikacja z systemem nadrzędnym za pomocą interfejsu UART.

#### Dodatkowe materiały na CD/FTP:

<ftp://ep.com.pl>, user: 75282, pass: 852sjb64

- wzory płytek PCB
- karty katalogowe i noty aplikacyjne elementów oznaczonych w Wykazie elementów kolorem czerwonym

#### Projekty pokrewne na CD/FTP:

- (wymienione artykuły są w całości dostępne na CD)
- AVT-2950 Sterownik kamery „OKO” (EdW 8/2010)
- AVT-1467 Wideoodetektor ruchu (EP 7/2008)
- AVT-2341 System nadzoru z kamerami przemysłowymi TV (EdW 1/1999)
- AVT-368 Automatykny przelaznik kamer wideo (EP 12/1997)

#### \* Uwaga:

Zestawy AVT mogą występować w następujących wersjach: AVT xxxx UK to zaprogramowany układ. Tylko i wyłącznie. Bez elementów dodatkowych. AVT xxxx A płytkę drukowaną PCB (lub płytki drukowane, jeśli w opisie wyraźnie zaznaczono), bez elementów dodatkowych. AVT xxxx A+ wersji UK bez elementów dodatkowych. AVT xxxx B płytkę drukowaną (lub płytki) oraz komplet elementów wymienionych w załączniku pdf. AVT xxxx C to nic innego jak zmontowany zestaw B, czyli elementy wmontowane w PCB. Należy mieć na uwadze, że o ile nie zaznaczono wyraźnie w opisie, zestaw ten nie ma obudowy ani elementów dodatkowych, które nie zostały wymienione w załączniku pdf. AVT xxxx CD oprogramowanie (nieczęsto spotykana wersja, lecz jeśli występuje, to niezbędne oprogramowanie można ściągnąć, klikając w link umieszczony w opisie kitu)

Nie każdy zestaw AVT występuje we wszystkich wersjach! Każda wersja ma załączony ten sam plik pdf! Podczas składania zamówienia upewnij się, którą wersję zamawiasz! (UK, A+, B lub C). <http://sklep.avt.pl>

REKLAMA

Przy opisie projektu interfejsu oparłem się na aktualnie dostępnych, typowych modułach kamer z sensorami obrazu typu MT9D111/MT9D131. Schemat blokowy sensora obrazu pokazano na **rysunku 1**.

Sygnały pod względem pełnionej funkcji można podzielić na cztery grupy: magistralę danych obrazu *Data Out*, dwustronną magistralę do transmisji danych do rejestrów wewnętrznych *Serial I/O*, linie sterujące *Sync Signals* oraz zasilanie, sygnał zegarowy i pozostałe linie sterujące, które nie są tak istotne dla standardowej aplikacji modułu.

Magistralą danych jest przesyłany strumień odpowiadający kolejnym pikselom obrazu. W niektórych modułach szerokość (liczba bitów) magistrali może być programowana. Prezentowany projekt urządzenia jest przystosowany do współpracy z 8-bitową magistralą równoległą.

Dwukierunkowa, szeregowa magistrala I/O daje dostęp do wewnętrznych rejestrów sensora. Za jej pośrednictwem przesyłane są nowe wartości konfigurujące parametry modułu, takie jak: wielkość obrazka, jasność, nasycenie itp. Również poprzez ten interfejs przesyłane są rozkazy inicjujące wykonanie zdjęcia i jego transmisję. W modułach kamer MT9D111/MT9D131 tę rolę pełni są interfejs I<sup>2</sup>C.

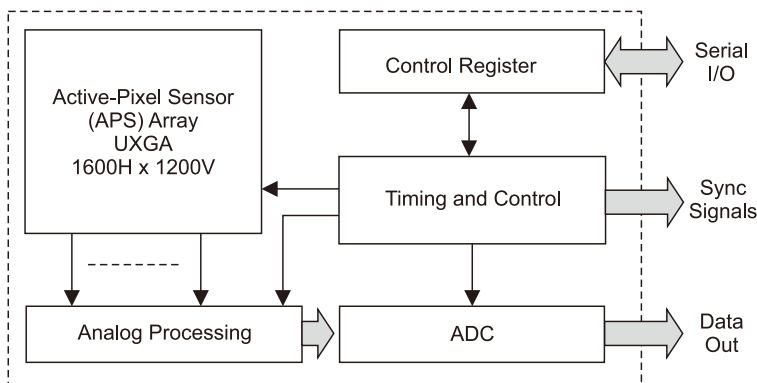
Linie sterujące dostarczają do mikrokontrolera sygnały synchronizujące transmisję danych obrazu. Bez względu na typ stosowanego modułu powinny być dostępne 4 sygnały sterujące:

- PIXCLK, którego zbrocze służy do odczytu przez mikrokontroler danych kolejnego piksela obrazu.
- HSYNC, którego aktywny poziom oznacza, że trwa przesyłanie danych kolejnej linii obrazu.
- VSYNC, którego aktywny poziom oznacza, że magistralą są przesyłane dane kolejnych linii ramki obrazu (określenie „ramka” oznacza zbiór kompletnych danych jednego obrazu).

Do linii sterujących można także zaliczyć sygnał zegara taktującego podawanego z zewnątrz do modułu. Wszystkie wymienione sygnały są dostępne na złączu modułu. Dodatkowo, poprzez złącze jest podawane napięcie zasilające.

### Wewnętrzny Interfejs DCMI mikrokontrolera

Na płytce interfejsu modułu kamery jest zamontowany mikrokontroler STM32F217VGT. Ma on wewnętrzny, sprzętowy interfejs DCMI przeznaczony do dołączenia kamery. Składa się on z magistrali danych oraz linii sterujących. Może obsłużyć transfer danych obrazu o szybkości 20 MB/s, a jego działanie w niewielkim stopniu obciąża oprogramowanie. Sposób tworzenia programu, w tym inicjowanie i użycie in-



Rysunek 1. Schemat blokowy czujnika obrazu

Tabela 1. Przejściówka 20-pin JTAG na 9-pin\

Wtyk miniaturowy 9-pin	Złącze IDC20	Opis sygnału JTAG
1	1	+3,3 V (zasilanie JTAG)
2	3	TRST
3	5	TDI
4	7	TMS
5	9	TCK
6	11	Można pozostawić niepodłączone
7	13	TDO
8	15	RESET mikrokontrolera
9	20	GND

terfejsu, zostanie opisane w dalszej części artykułu.

### Schemat ideowy płytki interfejsu

Schemat ideowy interfejsu modułu kamery pokazano na **rysunku 2**. Elementy obrysowane linią przerywaną w najprostszej wersji nie muszą być montowane.

Mikrokontroler STM32F217VG działa z zewnętrznym rezonatorem kwarcowym o częstotliwości 25 MHz. Na 18-stykowym złączu JP9 wyprowadzono opisane wcześniej magistrale i sygnały sterujące. Rezystory R7...R10 mają za zadanie tłumienie szkodliwych oscylacji na liniach sygnałów sterujących. Sygnały na złączu są tak rozmieszczone, aby można było bezpośrednio (jeden do jednego) połączyć płytkę z modułem za pomocą 20-żyłowej taśmy ze złączami zaciskowymi na obu końcach. Rozmieszczenie sygnałów na złączu modułu kamery pokazano na **rysunku 3**. Sygnały doprowadzone do styków 19 i 20 nie są wykorzystywane i nie muszą być dołączane do interfejsu.

Główne napięcie zasilające układy interfejsu o wartości +3,3 V jest dostarczane przez stabilizator U3. Do zasilania modułu kamery użyto napięcia stabilizowanego przez układ U1. Moduł kamery wymaga do zasilania napięcia +2,8 V. Ponieważ stabilizatory o takim napięciu wyjściowym są niepopularne, można zastosować stabilizator +2,5 V i podnieść jego napięcie za pomocą diody lub rezystora. Na płytce dzięki rezy-

storowi R10 napięcie wyjściowe U1 zostało podwyższone do oczekiwanego poziomu. Stosując stabilizator +2,8 V, w miejsce R10 należy wlutować zworę. Pamięć EEPROM (U6) może służyć do przechowywania parametrów konfiguracyjnych interfejsu. Złącze JP6 służy do dołączenia dwukolorowej diody sygnalizacyjnej. Kolor jej świecenia może sygnalizować tryb pracy interfejsu. Oprócz typowych elementów biernych, takich jak oporniki i kondensatory filtrujące, na płytce interfejsu powinny jeszcze zostać zamontowane dwa złącza JP2 i JP4.

### Złącze komunikacyjne

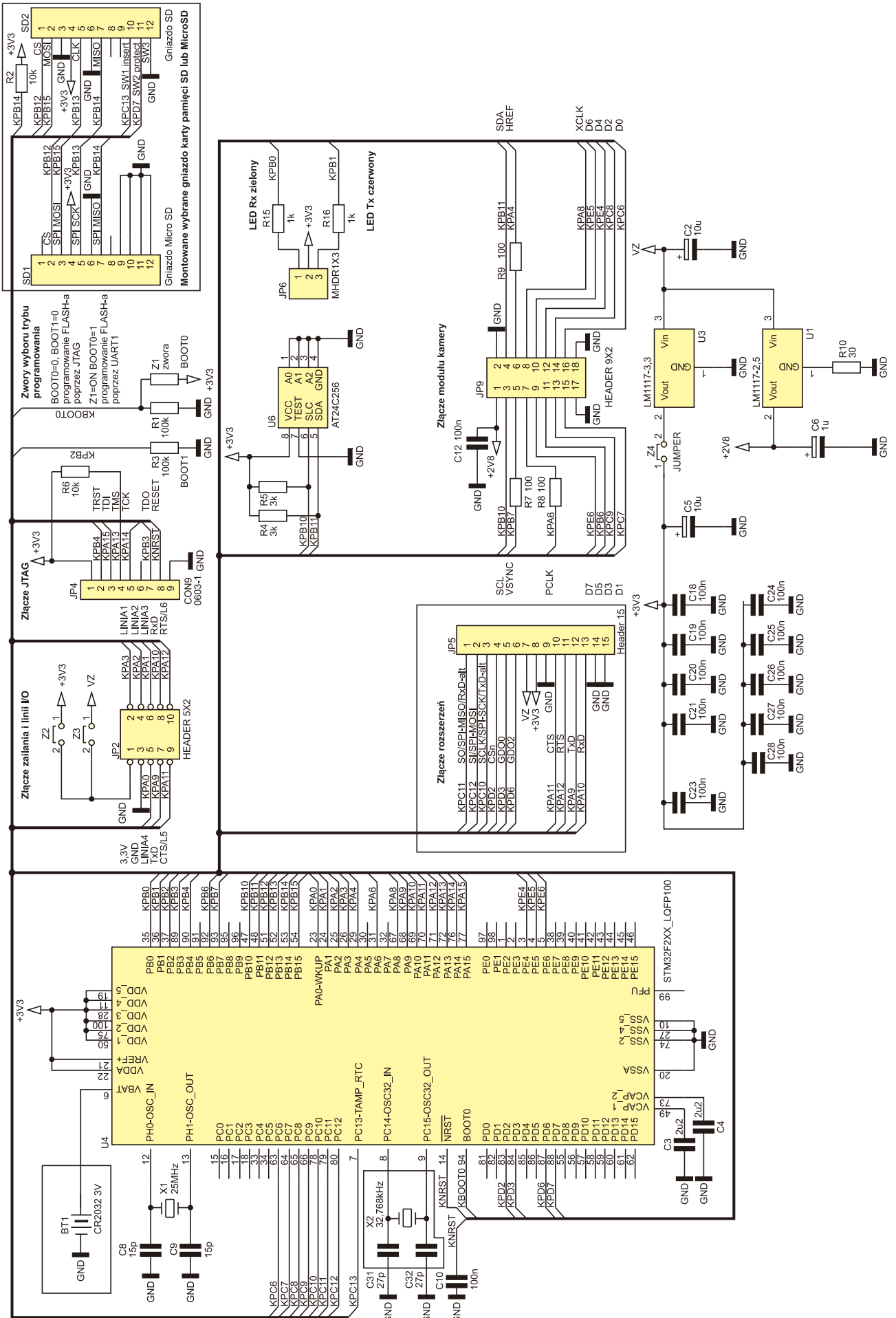
Złącze Z2 umożliwia współpracę płytki z dołączonymi urządzeniami zewnętrznymi. Jest to wtyk IDC10 wlutowany w płytkę, do którego łatwo dołączyć taśmę przewodów z gniazdem zaciśniętym na jej końcu.

Do styków 1 i 3 złącza JP2 należy doprowadzić napięcie zasilania. Możliwe są dwie konfiguracje:

- Płytkę interfejsowa jest zasilana napięciem stałym z zakresu +5...9 V. W tym wypadku na płytce interfejsu powinny zostać zamontowane zwory Z3 i Z4, zwora Z2 powinna być otwarta.
- Płytkę interfejsowa jest zasilana za pomocą zewnętrznego napięcia stabilizowanego +3,3 V. W tej sytuacji na płytce interfejsu powinna być zamontowana zwora Z2, a zwory Z3 i Z4 powinny być rozwarte. Wówczas stabilizator U3 nie pracuje i można go nie montować.

Na stykach 7 i 8 złącza wyprowadzone są linie RxD i TxD interfejsu szeregowego USART mikrokontrolera. Z jego użyciem jest możliwe komunikowanie się z systemem nadrzędnym, a więc sterowanie płytką interfejsową i transmisja danych np. w celu odczytania plików wykonanych zdjęć. Pozostałe wyprowadzenia złącza przewidziane są do wykorzystania w późniejszych rozszerzeniach interfejsu.

Aby uzyskać połączenie pomiędzy płytką interfejsu a komputerem jest potrzebny jeszcze układ dopasowujący poziom napięć (konwerter USART/RS232 albo USART/USB). Autor w czasie prób używał opisanego



Rysunek 2. Schemat ideowy płytki interfejsu modułu kamery

Tabela 2. Warianty polecenia ATS400	
Pytanie o zakres parametru	Odpowiedź interfejsu
+++	OK(CR)
ATS400?(CR)	AT\$S400=0-100 jaskrawość
ATO(CR)	OK(CR)
Przesłanie nowego parametru	Odpowiedź interfejsu
+++	OK(CR)
ATS400=39(CR)	OK(CR)
ATO(CR)	OK(CR)
Odczyt ustawionej wartości	Odpowiedź interfejsu
+++	OK(CR)
ATS400>(CR)	ATS400<39(CR)
ATO(CR)	OK(CR)

w EP 11/2012 „Płytki testowej dla radiowego modemu-sterownika” wyposażonej w układy dopasowujące poziomy napięcie, gniazda oraz zasilacz dostarczający napięcie +5 V. Do połączenia z „Płytką testową” służy 10-żyłowa taśma przewodów o długości do 1m. Do dołączenia płytki interfejsowej należy wykończyć gniazdo oznaczone jako ARS3. Za pomocą zwory wybiera się zasilanie napięciem o wartości +5 V.

### Interfejs JTAG

Na złączu JP4 zostały wyprowadzone sygnały interfejsu JTAG mikrokontrolera STM32. Korzystając z programatora (np. ST-Link) zapisać pamięć Flash mikrokontrolera oraz uruchamiać program w trybie debugera. Jako gniazdo JTAG użyto miniaturowego złącza o rastrze 1,5 mm. Jeśli posiadany programator ma inne złącze, to należy za pomocą przewodów dołączyć odpowiednie



Rysunek 3. Złącze modułu kamery

lub wykonać przejściówkę składającą się z 9 przewodów oraz złączy dopasowanych do programatora i gniazda na płytce interfejsowej. Autor z powodzeniem od kilku lat używa takiej łączówki, która okazała się trwała i pewna, pomimo wielokrotnego dołączania i odłączania programatora, a miniaturowe, 9-stykowe złącze zajmuje na płytce drukowanej bardzo mało miejsca w porównaniu ze standardowym, 20-stykowym złączem JTAG. Jest to zresztą rozwiązanie stosowane przez wielu producentów sprzętu elektronicznego.

Wszystkie elementy potrzebne do zmontowania miniaturowej łączówki portu JTAG można nabyć w handlu. Poszczególne elementy mogą nosić następujące nazwy:

- gniazdo męskie proste lub kątowe do wlutowania w płytkę (JP4) może nazywać się *Pico Blade 9 Pin* lub WN09R.
- wtyk przejściówki składa się z obudowy *Pico Blade 9 Pin* i może również nosić nazwę „korpus złącza żeńskiego HN09”.
- korpus uzupełniany jest kupowanymi oddzielnie stykami *Pico Blade* lub stykami żeńskimi do korpusu HN.

Od strony programatora potrzebne będzie 20 stykowe złącze IDC. W wersji zaciskanej o symbolu IDE20-LF lub IDM20-LF.

Styki do korpusu żeńskiego przeznaczone są do zaciskania na przewodzie AWG28 o zewnętrznej średnicy izolacji 0,8...1,2 mm. Dla uniknięcia konieczności zakupu prasy do złącz można posłużyć się „domowym

Tabela 3. Sekwencja poleceń wyzwalająca wykonanie zdjęcia i jego przesłanie za pomocą UART

Transmisja do interfejsu	Odpowiedź interfejsu	Opis
\$1P1(CR)2	\$A1P/ozo.jpg(CR)	Polecenie: wykonaj zdjęcie formatu 2 Odpowiedź: wykonane zdjęcie zostanie umieszczone w wirtualnym katalogu „/” interfejsu pod tymczasową nazwą „ozo.jpg”
\$2D8(CR)/ozo.jpg	\$B24(CR)1000(CR)	Polecenie: inicjacja odczytu pliku „/ozo.jpg” Odpowiedź: interfejs jest niegotowy i prosi o pauzę 1000 ms
\$3D8(CR)/ozo.jpg	\$A3Ds:7543 p:512 d:0 t:0(CR)	Polecenie: inicjacja odczytu pliku „/ozo.jpg” Odpowiedź: rozmiar przesyłanego pliku 7543 bajtów w paczkach o rozmiarze 512 bajtów (parametry data i godzina utworzenia pliku zdjęcia nieużywane)
\$4D0(CR)	\$A4dxxxxxxxxx... x	Polecenie: odczyt pierwszej paczki pliku Odpowiedź: przesłanie 512 bajtów danych xxxxxxxxxxxx... x
\$5D0(CR)	\$A5dxxxxxxxxx... x	Polecenie: odczyt kolejnej paczki pliku Odpowiedź: przesłanie 512 kolejnych bajtów danych xxxxxxxxxxxx... x
...	...	...
\$2D0(CR)	\$A2dxxx... x	Polecenie: odczyt kolejnej paczki pliku Odpowiedź: przesłanie ostatniej paczki bajtów danych xxx... x
\$3D0(CR)	\$A3(CR)	Polecenie: odczyt kolejnej paczki pliku Odpowiedź: wszystkie dane zostały przesłane

### Wykaz elementów

- Rezystory:** (SMD 0805)  
R1, R3: 100 kΩ  
R2, R6: 10 kΩ  
R4, R5: 3 kΩ  
R7, R8, R90: 100 Ω  
R10: 30 Ω  
R15, R16: 1 kΩ
- Kondensatory:**  
C2, C5: 10 μF (elekt. SMD)  
C3, C4: 2,2 μF (SMD 0805)  
C6: 1 μF (elekt. SMD)  
C8, C9: 15 pF (SMD 0805)  
C10, C12, C18, C19, C20...C28: 100 nF (SMD 0805)  
C31, C320: 27 pF (SMD 0805)
- Półprzewodniki:**  
U1: LM1117-2,5 (SOT223)  
U3: LM1117-3,3 (TO-252)  
U4: STM32F217VGT (LQFP100)  
U6: AT24C256 (SO8)
- Inne:**  
BT1: bateria CR2032 (3 V)  
JP2: IDC10  
JP9: złącze Pico Blade 9-pin  
JP5: złącze DNF-15  
JP6, JP9: goldpin  
SD1: gniazdo microSD  
SD2: gniazdo SD  
X1: kwarc 25 MHz  
X2: kwarc 32,768 kHz  
Z1...Z4: zwory (0 Ω/ SMD 0805)

sposobem montażu”. W środkowej części styku, która normalnie jest zaciskana, należy przylutować żyłę przewodu stosując jak najmniejszą ilość cyny. Natomiast małe „łapki” styku za pomocą pęsety należy możliwie najciaśniej zacisnąć na izolacji przewodu tuż powyżej miejsca lutowania. Tak przygotowane 9 przewodów należy wsunąć w kolejne otwory korpusu wtyku, aby się zatrzasnęły. Z drugiej strony przewody należy połączyć ze stykami gniazda IDC20, do którego będzie przyłączony programator. W tabeli 1 umieszczono odpowiednie numery styków przejściówki.

Schemat montażowy płytki interfejsowej pokazano na rysunku 4. Jej montaż jest typowy, chociaż może sprawić problem niewprawnym elektronikom ze względu np. na dużą gęstość wyprowadzeń mikrokontrolera STM32.

### Możliwości przykładowego oprogramowania ARS3 sterującego interfejsem

- Po zmontowaniu interfejsu można zaprogramować mikrokontroler na płytce przykładowym oprogramowaniem sterującym o nazwie ARS3. Po dołączeniu modułu kamery zostanie utworzona aplikacja kamery-aparatu cyfrowego o następujących możliwościach:
- wykonanie zdjęcia na żądanie użytkownika,
  - przesłanie pliku zdjęcia do komputera za pomocą UART,
  - wybór rozdzielczości obrazka i jego formatu (BMP/JPG),

- zmiana takich parametrów, jak jasność, kontrast, nasycenie,
- zmiany szybkości transmisji interfejsu szeregowego.

Płytkę interfejsu modułu kamery zaprojektowano w taki sposób, aby wraz z modułem można ją było zamontować w obudowie G410 o wymiarach 120 mm×60 mm×40 mm.

Do sterowania interfejsem z oprogramowaniem sterującym ARS3 można użyć programu narzędziowego *miniARSET*. Po zasileniu interfejsu i połączeniu z interfejsem RS232/USB komputera, na pierwszej zakładce programu *miniARSET* należy wybrać opcję automatycznego wykrywania dołączonego urządzenia. Gdy to się stanie i zostaną wyświetlone informacje o urządzeniu, będzie można przejść do zakładki „test Kamery”. Są w niej dostępne opcje wyboru i ustawienia nowych parametrów zdjęcia. Po ich zmianie można wykonać zdjęcie oraz wybrać katalog na dysku, w którym będzie ono zapisane. Po dokonaniu wyboru, plik zdjęcia zostanie automatycznie przesłany i zapisany w wybranym katalogu.

### ARS3 rozkazy sterujące

Do sterowania interfejsem z oprogramowaniem ARS3 nie jest konieczne użycie programu *miniARSET*. Wystarczy znajomość kliku rozkazów i komend, które można wysyłać za pomocą dowolnego programu typu terminal. Rozkazy serwisowe są używane do przesłania nowych ustawień, które zostają zapisane w pamięci EEPROM interfejsu. Takimi ustawieniami są np. poziomy jasności, nasycenia, kontrastu czy wybór szybkości transmisji portu szeregowego interfejsu. Ich wartości są pamiętane nawet po wyłączeniu zasilania.

Inicjacja trybu serwisowego następuje przez wysłanie do interfejsu trzech znaków „+++”. Przed i po transmisji na złączu szeregowym powinna panować przerwa o czasie odpowiadającym przesłaniu 2 znaków. Jeżeli interfejs odpowie komunikatem „OK” oznacza to, że w ciągu najbliższych 10 s pozostanie w trybie serwisowym i będzie reagował na kolejne rozkazy. Czas automatycznie wydłuża się po każdej prawidłowej transmisji. Tryb serwisowy można zakończyć w dowolnym momencie wysyłając rozkaz „ATO”.

Sekwencja rozkazu kończona jest kodem powrotu karetki CR (13 dziesiętnie). Po rozpoznaniu i wykonaniu rozkazu urządzenie wysła potwierdzenie „OK”. W przypadku błędu odsyłany jest komunikat „ERROR” z numerem błędu.

Prawie wszystkie rozkazy serwisowe występują w trzech wariantach. Gdy do interfejsu jest przesyłana nowa wartość po kodzie rozkazu występuje znak „=”. Gdy

