

Prosta kamera termowizyjna

Termowizja pozwala na szybkie wyznaczenie temperatury wielu punktów jednocześnie. Taka prosta kamera umożliwi obejrzenie rozkładu temperatury np. na radiatorze. Można też zbadać, którędy wydostaje się najwięcej gorącego powietrza z obudowy. Zastosowań jest naprawdę mnóstwo – począwszy od czysto technicznych, po te mniej poważne.

Prezentowany układ jest kompletną kamerą termowizyjną: zawiera odpowiedni czujnik, wyświetlacz oraz kontroler zarządzający. Czujnik odbiera informacje o temperaturze i dokonuje konwersji na postać cyfrową. Dane są następnie reprezentowane na wyświetlaczu w postaci różnobarwnych punktów. Kamera działa w czasie rzeczywistym,

opóźnienie pomiędzy pomiarem a wyświetleniem jest stałe i pomijalnie małe.

Budowa

Podstawowym elementem składowym prezentowanego urządzenia jest czujnik typu AMG8833, produkowany przez firmę Panasonic. Zestawienie najważniejszych

Dodatkowe materiały do pobrania ze strony www.media.avt.pl

W ofercie AVT* AVT-5760

Podstawowe parametry:

- pomiar temperatury w 64 punktach, ułożonych w matrycy 8x8,
- reprezentacja temperatury każdego punktu przy użyciu barw,
- zakres wyświetlanych temperatur 22...34°C,
- kolorowy wyświetlacz TFT o przekątnej 1,8",
- częstotliwość odświeżania obrazu ok. 10 Hz,
- zasilanie napięciem 5.18 V.

Projekty pokrewne na www.media.avt.pl:

- AVT-5749 Termometr tęczowy (EP 3/2020)
- Projekt 243 Pirometr tęczowy (EP 6/2019)
- AVT-5635 Bezprzewodowy, energooszczędny system pomiaru temperatury (EP 8-9/2018)
- AVT-5623 4-kanalowy termometr z interfejsem Wi-Fi (EP 4/2018)
- AVT-5566 THPStation – rozbudowany termometr z Wi-Fi (EP 1/2017)
- AVT-5535 Termometr 2-kanalowy z interfejsem Bluetooth (EP 4/2016)
- AVT-5518 Termometr bezprzewodowy (EP 11/2015)
- AVT-1863 Termometr z interfejsem Bluetooth (EP 8/2015)
- AVT-1790 Termometr XXL (EP 2/2014)
- AVT-5489 8-kanalowy termometr z alarmem i wyświetlaczem LCD (EP 11/2013)
- AVT-5420 Wielopunktowy termometr z rejestracją (EP 10/2013)
- AVT-1734 Termometr do wędzarni (EP 4/2013)

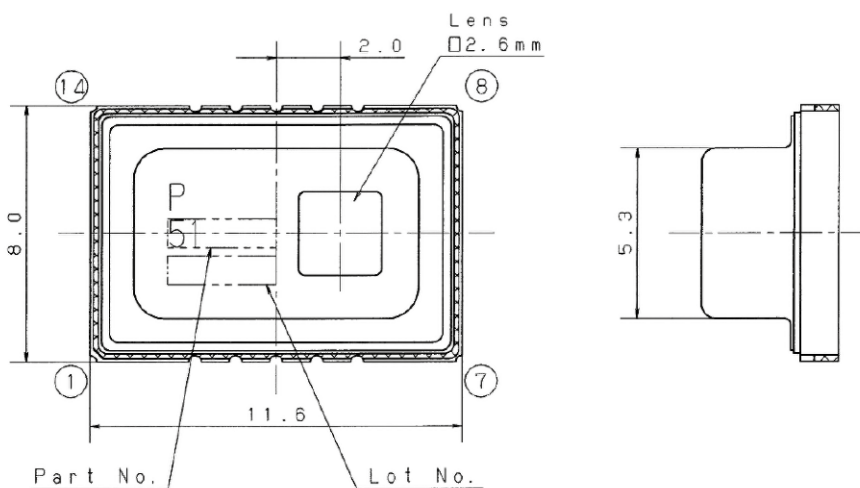
Uwaga! Elektroniczne zestawy do samodzielnego montażu. Wymagana umiejętność lutowania!

Podstawową wersją zestawu jest wersja [B] nazywana potocznie KIT-em (z ang. zestaw). Zestaw w wersji [B] zawiera elementy elektroniczne (w tym [UK] – jeśli występuje w projekcie), które należy samodzielnie wylutować w dołączoną płytkę drukowaną (PCB). Wykaz elementów znajduje się w dokumentacji, która jest podlinkowana w opisie kitu.

Mając na uwadze różne potrzeby naszych klientów, oferujemy dodatkowe wersje:

- wersja [C] – zmontowany, uruchomiony i przetestowany zestaw [B] (elementy wylutowane w płytkę PCB)
 - wersja [A] – płytkę drukowaną bez elementów i dokumentacji
- Kity w których występuje układ scalony wymagający zaprogramowania, mają następujące dodatkowe wersje:
- wersja [A+] – płytkę drukowaną [A] + zaprogramowany układ [UK] i dokumentacja
 - wersja [UK] – zaprogramowany układ

Nie każdy zestaw AVT występuje we wszystkich wersjach! Każda wersja ma załączony ten sam plik pdf! Podczas składania zamówienia upewnij się, którą wersję zamawiasz! <http://sklep.avt.pl>. W przypadku braku dostępności na <http://sklep.avt.pl>, osoby zainteresowane zakupem płytek drukowanych (PCB) prosimy o kontakt via e-mail: kity@avt.pl.



Rysunek 1. Rysunek obudowy czujnika AMG8833

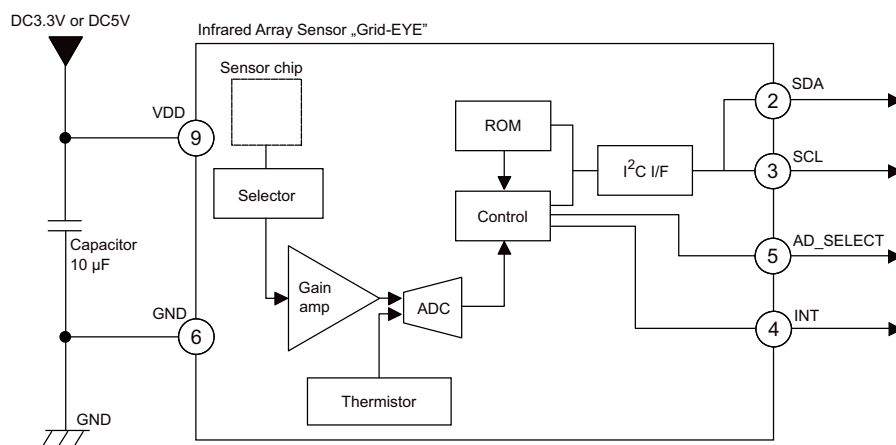
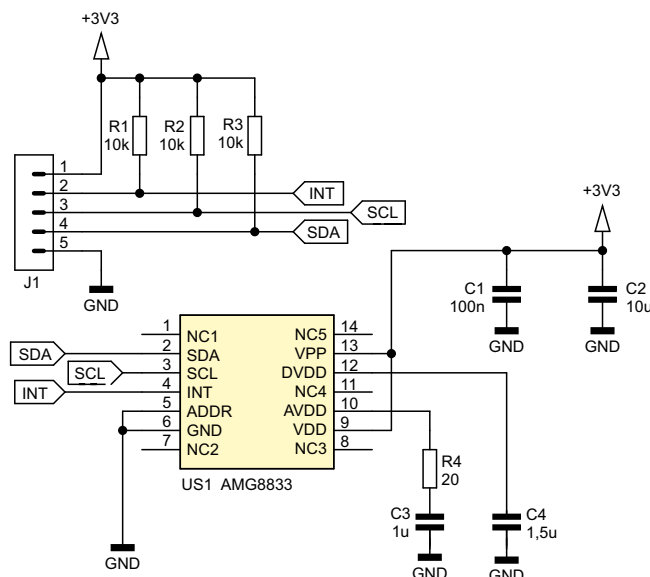
Tabela 1. Zestawienie najważniejszych parametrów czujnika AMG8833 (Panasonic)

Parametr	Wartość
Rozdzielczość	8×8 punktów
Zakres mierzonych temperatur	0...80°C
Zakres temperatur pracy	0...80°C
Interfejs	I ² C
Kąt widzenia	60°
Częstotliwość odświeżania	1 lub 10 Hz
Możliwość sprzętowej obróbki obrazu	filtracja średnią ruchomą
Czas stabilizacji po włączeniu zasilania	15 s
Adres na magistrali I ² C	1101000 (ADDR = GND) 1101001 (ADDR = VDD)
Dokładność pomiaru temperatury	±2,5°C

parametrów znajduje się w **tabeli 1**, zaś rysunek obudowy samego czujnika pokazano na **rysunku 1**. W niewielkiej obudowie, o wymiarach 8×11,6 mm, został zawarty kompletny system umożliwiający realizację termowizji – brakuje tylko wyświetlacza.

Pomiar temperatury odbywa się na zasadzie pirometrycznej, czyli poprzez zmierzenie natężenia promieniowania podczerwonego. Temperatura ma bezpośredni wpływ na długość emitowanej fali elektromagnetycznej oraz jej natężenie. W czujniku

znajduje się światłoczuła matryca wychytująca ten rodzaj fal. Sam czujnik również posiada pewną temperaturę, więc sam jest źródłem takiego promieniowania. Do prawidłowej pracy takiego czujnika potrzebna jest również informacja o jego własnej temperaturze, którą należy zmierzyć inną metodą. W przypadku AMG8833, odbywa się to przy użyciu termistora. Szczegóły można zobaczyć na schemacie blokowym, widocznym na **rysunku 2**. Sensor termistorowy został skalibrowany fabrycznie i ma znacznie

**Rysunek 2. Schemat blokowy struktury wewnętrznej AMG8833****Rysunek 3. Schemat ideowy płytki z czujnikiem**

większą rozdzielczość niż matryca, aby możliwe dokładnie kompensować wpływ temperatury otoczenia na wynik pomiaru.

Czujnik został wyposażony w interfejs I²C do komunikacji z kontrolerem. Dla większej wygody obsługi, został zamontowany na oddzielnej płytce, której schemat ideowy można zobaczyć na **rysunku 3**. Nie zawiera wielu elementów, najważniejsze z nich są kondensatory filtrujące napięcia zasilające poszczególne obwody. Rezystory R1...R3 podciągają linie sygnałowe do dodatniego bieguna zasilania, co jest warunkiem koniecznym prawidłowej pracy magistrali I²C. Ponadto, odprowadzają z nich ładunki elektrostatyczne po wyłączeniu zasilania.

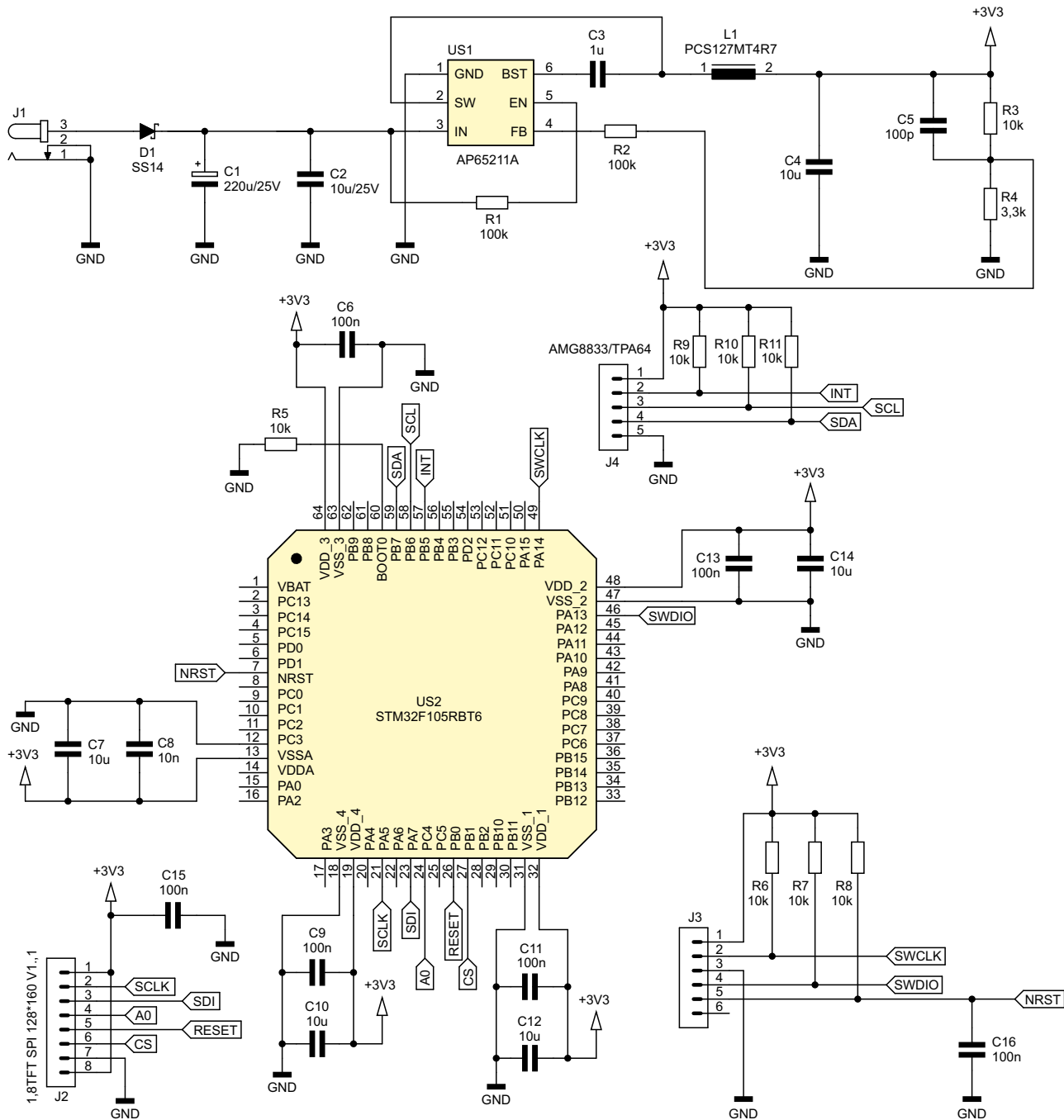
Wśród linii sygnałowych znajduje się jeszcze jedna, oznaczona jako INT. Pełni rolę przerwanienia, sygnalizuje kiedy któryś ze mierzonych punktów ma zbyt niską lub zbyt wysoką temperaturę, lub różnica między punktami będzie zbyt duża. W opisywanym urządzeniu ta funkcja nie jest używana, ponieważ czujnik prowadzi cykliczne pomiary i nie nadzoruje konkretnego obiektu. Stanem wyprowadzenia ADDR można ustawić 7-bitowy adres czujnika na magistrali, szczegółowy zawiera tabela 1.

Bardziej rozbudowana jest płytka zawierająca wyświetlacz, której schemat ideowy pokazuje **rysunek 4**. Układem zarządzającym pracą samego czujnika oraz wyświetlacza jest mikrokontroler typu STM32F105RBT6. Został wybrany z powodu pojemnej pamięci RAM, aż 64 kB, która jest niezbędna do szybkiego odświeżenia obrazu.

Zasilanie mikrokontrolera jest wyprowadzone na pięć par wyprowadzeń, z czego jedna para służy zasilaniu układów analogowych. Wszystkie muszą być odsprężnione przy użyciu kondensatorów o różnych pojemnościach, dlatego w bezpośrednim otoczeniu mikrokontrolera jest ich aż 9. Warunkuje to jednak stabilną i niezawodną pracę całego systemu.

Kolorowy wyświetlacz ciekłokrystaliczny jest podłączony do złącza J2. Wyprowadzenia SCLK (zegar danych) i SDI (dane cyfrowe) są zarządzane sprzętowo, przez interfejs SPI mikrokontrolera, co umożliwia szybkie

REKLAMA



Rysunek 4. Schemat ideowy płytki z wyświetlaczem

przetansferowanie nowej zawartości do pamięci RAM wyświetlacza. Pozostałe linie, czyli CS (wybór układu), A0 (dane/komenda) i RESET (zerowanie układu podrzędnego) są sterowane programowo.

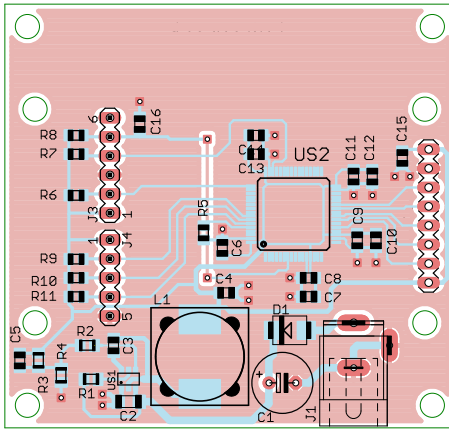
Płytkę zawierającą czujnik AMG8833 podłącza się do wyprowadzeń złącza J4. Jak wspomniano wcześniej, komunikacja z nim odbywa się poprzez interfejs I²C, więc po stronie mikrokontrolera użyto dedykowanego do tego peryferium. Rezystory podciągające dublują się z tymi, które można znaleźć przy czujniku, lecz nie stanowi to problemu: przyspieszają przeładowywanie pojemności połączeń oraz również odprowadzają ładunki elektrostatyczne po odłączeniu przewodów połączeniowych. Zamiast dedykowanej płytki z czujnikiem, której schemat

przedstawiono wyżej, można zastosować gotowy moduł typu TPA64 lub pokrewny. Układ wyprowadzeń modułu TPA64 jest taki sam, jak w złączu J4.

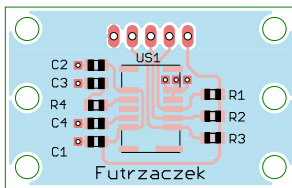
Do programowania mikrokontrolera przewidziano złącze J3, na którym wyprowadzono najważniejsze linie interfejsu SWD, przeznaczonego m. in do programowania pamięci Flash mikrokontrolerów STM32. Są to: SWDIO, SWCLK, NRST i oczywiście GND. Wyprowadzono również napięcie zasilające mikrokontroler, gdyż niektóre programatory dokonują kontroli jego wartości. Linie sygnałowe nie są używane w czasie pracy układu, toteż zostały podciągnięte rezystorami do dodatniego bieguna zasilania.

Wszystkie użyte w układzie podzespoły wymagają zasilania napięciem stałym,

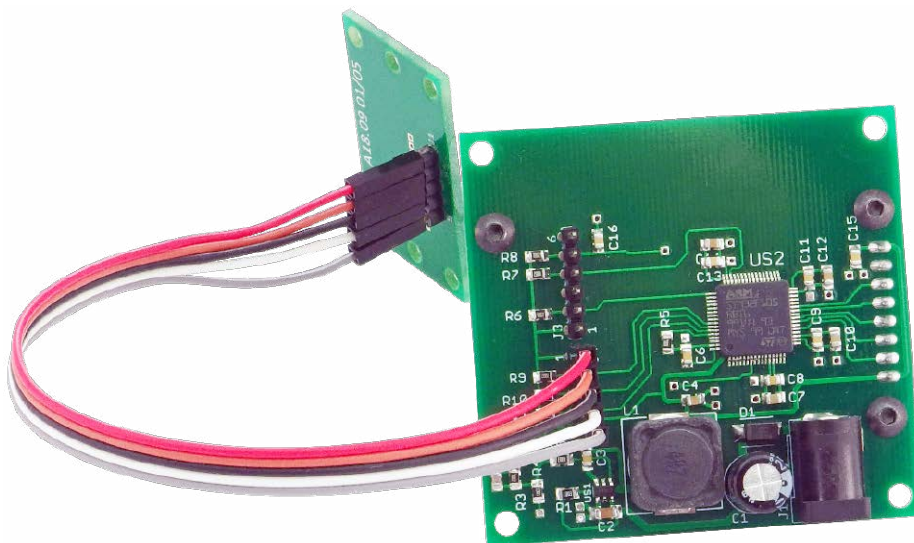
dobrze stabilizowanym, o wartości 3,3 V. Do jego wytworzenia została przewidziana przetwornica obniżająca typu buck, zrealizowana przy użyciu układu AP65211A. To nowoczesny układ w niewielkiej (SOT23-6) obudowie, który pracuje z wysoką częstotliwością, rzędu 500 kHz. Jego dużą zaletą, oprócz niskiej ceny (około 1,20 zł), jest wysoka sprawność, ponieważ wewnątrz znajdują się dwa tranzystory NMOS pracujące synchronicznie. Jeden z nich jest kluczem ładującym dławik prądem ze źródła zasilania (HS), a drugi pełni funkcję diody, która otwiera się podczas jego rozładowywania (LS). Taka modyfikacja zmniejsza straty wynikające z relatywnie wysokiego spadku napięcia na przewodzącej diodzie – nawet, jeżeli jest to dioda ze złączem Schottky’ego.



Rysunek 5. Schemat montażowy i wzór ścieżek płytki z wyświetlaczem



Rysunek 6. Schemat montażowy i wzór ścieżek płytki z czujnikiem



Fotografia 1. Widok zmontowanego układu

Kolejnym usprawnieniem, w stosunku do dobrze znanego układu MC34063A, jest wbudowanie w strukturę układu obwodu do pomiaru natężenia prądu płynącego przez tranzystor kluczujący.

Pozostałe bloki układu AP65211A służą realizacji typowej przetwornicy o zmiennym wypełnieniu impulsów sterujących. Do poprawnej pracy wymaga kondensatora dołączonego do nóżki BST. Gromadzony ładunek służy do otwierania górnego tranzystora NMOS, w którym potencjał bramki musi być wyższy od potencjału źródła.

Montaż i uruchomienie

Układ kamery termowizyjnej został zmontowany na dwóch płytkach drukowanych. Większa, zawierająca wyświetlacz, ma wymiary 60×56,5 mm, a jej schemat ścieżek oraz

schemat montażowy pokazuje **rysunek 5**. W odległości 3 mm od krawędzi płytki znalazły się otwory montażowe. Mniejsza, na której jest czujnik AMG8833 i okalające go elementy, ma wymiary 40×25 mm, a jej schemat montażowy widać na **rysunku 6**.

Wszystkie elementy na płytce zawierającej wyświetlacz powinny znaleźć od spodniej (Bottom) strony, przy czym wyjątkiem jest tu złącze żeńskie J2 pod sam wyświetlacz – ono, jako jedyne, powinno zostać przylutowane od strony wierzchniej (Top). Podobna sytuacja zachodzi na płytce z czujnikiem, ponieważ złącze J1 należy włutować od tyłu, aby przewody nie przesłaniały pola widzenia czujnika.

Wyświetlacz posiada cztery otwory w rogach, którymi można przykręcić go do płytki z mikrokontrolerem. Polecam to zrobić, aby delikatne złącza typu goldpin nie zostało przypadkowo wyłamane. Najlepsze będą tuleje dystansowe M3 o długości 11 mm, gwintowane wewnątrz. Połączenie płytek należy wykonać przewodem 5-żyłowym o długości nieprzekraczającej kilkudziesięciu

centymetrów. W układzie prototypowym posłużono się w tym celu przewodem taśmowym do płytek stykowych, obustronnie zakończonym wtykami żeńskimi. Zmontowany i gotowy do działania układ można zobaczyć na fotografii tytułowej oraz na **fotografii 1**.

Jedyną czynnością uruchomieniową, jakiej wymaga ten układ, jest zaprogramowanie pamięci Flash mikrokontrolera używając do tego specjalnie przeznaczonego złącza J3. Znajdują się na nim wyprowadzenia protokołu SWD, ułożone według kolejności opisanej w **tabeli 2**. Należy w tym celu zasilic płytkę napięciem stałym o wartości z przedziału od 5 do 18 V, podłączając zasilacz do złącza J1. Pobór prądu zależy od napięcia zasilającego: przy 5 V jest to ok. 50 mA, zaś przy 12 V już tylko 22 mA.

Wykaz elementów:

Płytką z wyświetlaczem

Rezystory:

R1, R2: 100 kΩ SMD0805
R3, R5...R11: 10 kΩ SMD0805
R4: 3,3 kΩ SMD0805

Kondensatory:

C1: 220 μF/25 V THT raster 3,5 mm
C2: 10 μF/25 V SMD1206
C3: 1 μF/25 V SMD0805
C4, C7, C10, C12, C14: 10 μF/10 V SMD0805
C5: 100 pF SMD0805
C6, C9, C11, C13, C15, C16: 100 nF SMD0805
C8: 10 nF SMD0805

Półprzewodniki:

D1: SS14
US1: AP65211A SOT23-6
US2: STM32F105RBT6 TQFP 64

Inne:

J1: gniazdo 2,1/5,5 mm do druku THT
J2: goldpin 8 pin żeński THT 2,54 mm
J3: goldpin 6 pin męski THT 2,54 mm
J4: goldpin 5 pin męski THT 2,54 mm
L1: PCS127MT4R7
wyświetlacz LCD 1.8TFT SPI 128×160 V1.1
4 tuleje dystansowe M3 11 mm (opis w tekście)
8 śrub M3 5 mm (opis w tekście)

Płytką z czujnikiem

Rezystory:

R1...R3: 10 kΩ SMD0805
R4: 20 Ω SMD0805

Kondensatory:

C1: 100 nF SMD0805
C2: 10 μF/10 V SMD0805
C3: 1 μF/25 V SMD0805
C4: 1,5 μF/25 V SMD0805

Półprzewodniki:

US1: AMG8833

Inne:

J1: goldpin 5pin męski THT 2,54 mm
Przewód połączeniowy 5 żył (opis w tekście)(128×64)

Znajomość rozmieszczenia krawędzi płytki, otworów montażowych oraz najważniejszego podzespołu, jakim jest czujnik, jest niezbędna do prawidłowego zamontowania jej w obudowie. **Rysunek 7** zawiera wymiarowanie płytki z czujnikiem oraz lokalizację okienka czujnika AMG8833. Czujnik w prawidłowym położeniu znajduje się metalowym korpusem skierowanym do góry, a okienkiem w dół. Obrócenie tej płytki spowoduje, że obraz również będzie tworzony „do góry nogami”. Na rysunku 7 zostało to uwzględnione.

Eksploatacja

Po włączeniu zasilania, następuje inicjalizacja wyświetlacza: jego zawartość stanowi

REKLAMA

Tabela 2. Rozmieszczenie linii interfejsu SWD w złączu J3

Numer wyprowadzenia	Nazwa linii
1	VDD (zasilanie 3,3 V)
2	SWCLK
3	GND
4	SWDIO
5	NRST
6	SWO (niepodłączone)

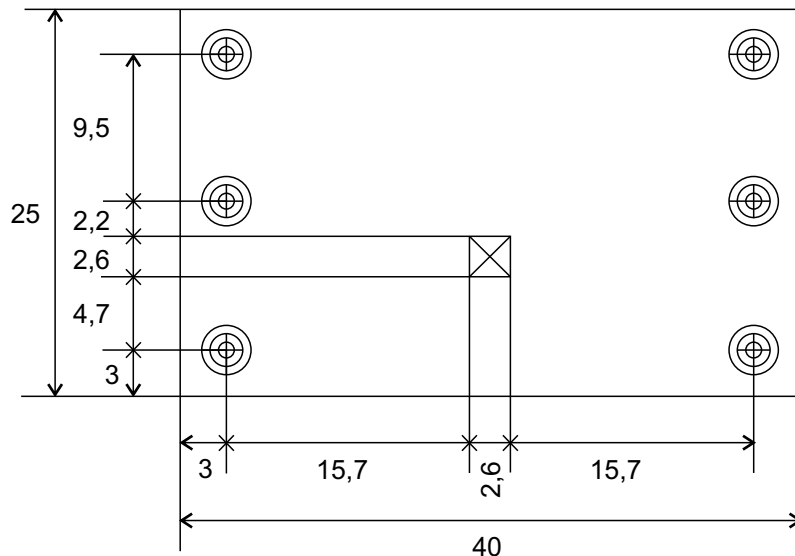
najpierw kolorowy szum, potem zostaje wypełniony równomiernie czernią, a dopiero później przełącza się na wyświetlanie obrazu z czujnika. Służy to również do przetestowania prawidłowego działania wyświetlacza.

Czujnik ma kwadratowe pole widzenia, a wyświetlacz jest prostokątny (128×160 pikseli). Uznano, że zostawianie po bokach wyświetlacza czarnych pasów byłoby marnotrawstwem jego powierzchni, toteż punkty z czujnika są reprezentowane przez prostokąty o rozmiarach 16×20 pikseli. Nie stwarza to niewygodny w użytkowaniu, ponieważ odstępstwo od kwadratowego kształtu jest nieznaczne.

Skala barw, którą odwzorowywana jest temperatura zarejestrowana przez czujnik, jest ułożona w powszechnie spotykany sposób: kolor niebieski to obiekty o najniższej temperaturze, następnie jest zielony, żółty, pomarańczowy, czerwony i na końcu purpurowy – dla obiektów najcieplejszych. Występują między nimi kolory pośrednie, ponieważ rozdzielczość pomiaru temperatury tym czujnikiem to 0,25°C. Z fizycznego punktu widzenia, niższą temperaturę ma obiekt emitujący światło czerwone (większa długość fali, czyli mniejsza energia fotonów), a wyższą ciało, które świeci na niebiesko (mniejsza długość fali, czyli fotony mają większą energię). Jednak przyrząd ten nie jest zdolny do rejestracji takich wartości temperatury, toteż przyjęto „ludzki” sposób pojmowania barw: czerwony – ciepły, niebieski – zimny.

Kolorem niebieskim reprezentowana jest temperatura wynosząca 22°C i mniej, a purpurowym 34°C i więcej. Dzięki takiemu zakresowi jest możliwe wykrycie ciała człowieka w pomieszczeniu o temperaturze pokojowej, jak również rozkładu temperatury powietrza wydostającego się z kwadratowego otworu wentylacyjnego w obudowie – **fotografia 2**. Widać na nim, że przepływ tego powietrza nie odbywa się równomiernie całym przekrojem otworu – są obszary cieplejsze (czerwony), chłodniejsze (żółte) i bardzo chłodne (żółtozielone i zielone)

Częstotliwość odświeżania obrazu przez czujnik wynosi 10 Hz, a kolejne odświeżenie zawartości wyświetlacza następują co ok. 110 ms. Na pojedynczy cykl odświeżenia składają się: pobranie z czujnika informacji o temperaturze wszystkich punktów,



Rysunek 7. Wymiary płytki z czujnikiem oraz położenie okienka czujnika

konwersja temperatury na kolor pikseli i wysyłanie nowej zawartości pamięci RAM do wyświetlacza.

Czujnik posiada możliwość uśredniania rejestrowanego obrazu za pomocą algorytmu średniej ruchomej. Została ona włączona, ponieważ taki rodzaj filtracji dołnoprzepustowej obrazu znacząco zmniejsza poziom jego zaszumienia.

Dla ciekawskich

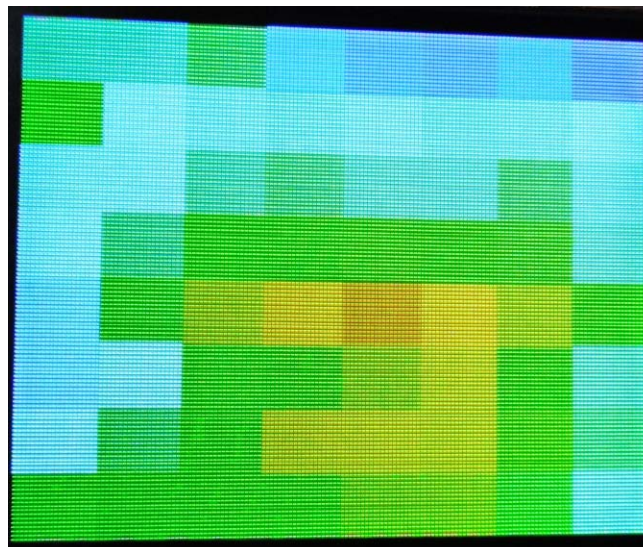
Użyty wyświetlacz posiada ośmiobitowe komendy sterujące. Natomiast kolor pojedynczego piksela jest reprezentowany przez ciąg o długości 16 bitów. Można wprawdzie użyć innego trybu sterowania, gdzie jeden piksel jest sterowany przez 12 lub 18 bitów, ale byłoby to niewygodne do realizacji przy użyciu sprzętowego interfejsu SPI wbudowanego w mikrokontroler, który obsługuje dane o długości 8 lub 16 bitów.

Można posłużyć się 8-mio bitowym interfejsem SPI do wysyłki ciągów 16-to bitowych, lecz byłaby to strata cennego czasu: sprawdzanie flag zajętości bufora odbywałoby się dwukrotnie częściej. Dlatego wysyłka nowej zawartości ekranu odbywa się w dwojaki sposób. Komendy sterujące, ustalające zakres pikseli do odświeżenia i rozpoczynające zapis do pamięci RAM, wysyłane są przy użyciu 8-bitowego interfejsu SPI ze sterowaniem programowym, gdzie sprawdzanie zajętości bufora odbywa się w pętli `while()`, wstrzymującej działanie programu. Następnie wyłączany jest

sprzętowy interfejs SPI, przełączany do pracy ze słowami o długości 16 bitów i na sterowanie poprzez DMA (*Direct Memory Access*). Dalej inicjowane jest samo DMA, którego zadaniem jest przesłanie 20480 wartości o długości 16 bitów. Te dane to nowa zawartość obrazu, stworzona uprzednio w pamięci RAM mikrokontrolera. Po zakończeniu wysyłki, DMA jest wyłączane, a SPI przechodzi z powrotem na sterowanie programowe ze słowami o długości 8 bitów.

Użyty mikrokontroler ma 64 kB pamięci RAM, co pozwala na tworzenie całego obrazu, mieszczącego się w odpowiednio długiej tablicy 16-to bitowych zmiennych. Raz zainicjowane DMA pobiera jedynie zawartości odpowiednich komórek pamięci i przesyła je do odpowiedniego rejestru w SPI, bez konieczności dodatkowej konwersji – daje to największą możliwą szybkość obsługi wyświetlacza. Fragmenty programu, które realizują opisane wyżej czynności, znajdują się na listingu 1 – dostępnym na FTP i stronie www.ep.com.pl.

Michał Kurzela, EP



Fotografia 2. Przykład użycia kamery