

Fmeter – licznik częstotliwości i czasu

Szukając licznika częstotliwości, natrafiłem na proste układy pokrewne AVT2885, gdzie uproszczenia konstrukcyjne przekładały się na różne niedoskonałości np. niską rozdzielczość przy pomiarze małych częstotliwości. Ostatecznie zaprojektowałem własną konstrukcję bazującą na nowoczesnym mikrokontrolerze z rodziny STM32. Wybór, modelu STM32F401 był poddyktowany jego ogromnymi możliwościami oraz niską ceną.

Budowa i działanie

Konstrukcja miernika nie jest skomplikowana, schemat pokazano na **rysunku 1**. Liniowy stabilizator U4 poradzi sobie z napięciem wejściowym o wartości do 12 V, jednak wtedy może się zbyt mocno nagrzewać i wyłączyć (ale nie uszkodzi się). W ograniczonym zakresie, przed skutkami odwrotnego podłączenia zasilania zabezpiecza dioda D5. Stabilizowane napięcie zasila mikrokontroler. Jest on wyposażony w blok pętli PLL, która umożliwia taktowanie układu z częstotliwością do 84 MHz, przy dołączonym kwarcu 8 MHz.

Wyniki pomiaru są prezentowane na czterech wyświetlaczach LED 7-segmentowych oraz OLED 128×32. Zastosowanie wyświetlacza OLED pozwala w czytelny sposób wyświetlić jednostkę pomiarową oraz dodatkowe informacje, co nie byłoby możliwe

z użyciem kilku diod LED. Cztery przyciski sterują pracą miernika. Prosty wzmacniacz wejściowy znany z AVT2885 pozwala na doprowadzenie sygnału pomiarowego o amplitudzie 0,2...1 V. Wejścia cyfrowe są zabezpieczone transilem SRV05-4.

Montaż i uruchomienie

Montaż jest standardowy i nie wymaga szczegółowego opisu. Przed rozpoczęciem montażu należy zastanowić się, czy wyświetlacze będą montowane w podstawce i złączu, czy nie. Gdy użyta będzie podstawka, należy zaopatrzyć się w dłuższe przyciski niż w przypadku wlutowania wyświetlaczy w płytkę. Kondensatory C8 i C9 powinny być typu Low ESR. Z tego powodu połączono je równolegle. Mikrokontroler można zaprogramować przez złącze J3. Schemat płytki wraz z rozmieszczeniem elementów pokazują **rysunki 2 i 3**.

Poprawną pracę programu sygnalizuje miganie diody D6 „Run” z częstotliwością 1 Hz. Dioda D7 oznaczona „Err” miganiem informuje o poważnym błędzie w programie lub sprzęcie, na przykład sygnalizuje niepoprawną pracę oscylatora. W takich okolicznościach, po kilkunastu sekundach mikrokontroler zostanie zresetowany.

Na płytce przewidziano miejsce na pamięć EEPROM U3. Jest ona konieczna tylko wtedy, gdy chcemy, aby ustawienia były zapamiętane po wyłączeniu zasilania. Dlaczego EEPROM nie została emulowana w pamięci FLASH? Wynika to z faktu, że STM32F401 ma tylko pięć stron pamięci o rozmiarach 4×16 kB,

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

W ofercie AVT* AVT-5755

Podstawowe parametry:

- pomiar częstotliwości w zakresie 0,1 Hz...42 MHz,
- czas bramkowania zliczania: 1 s,
- dla częstotliwości mniejszych niż 50 kHz pomiar czasu z przeliczaniem na częstotliwość,
- amplituda mierzonego sygnału na wejściu A 0,8...3 V dla sygnałów do 15 MHz,
- drugie wejście pomiarowe o zakresie 1 Hz...24 MHz opcjonalnie jako licznik z funkcją przechwytywania i zerowania,
- wejście drugie w standardzie TTL-LV (3,3 V),
- relatywny pomiar częstotliwości,
- pomiar czasu w zakresie 47 ns...10 s,
- zasilanie 5 V, max. 150 mA.

Projekty pokrewne na www.media.avt.pl:

AVT-2885	Miernik częstotliwości - fmeter (Edw 11/2008)
AVT-2831	Mikroprocesorowy miernik częstotliwości 4 MHz...150 MHz (Edw 7/2007)
AVT-2764	Częstościomierz & generator na PC (Edw 9/2005)

Uwagi! 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 wlutować 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 wlutowane 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.

64 kB i 128 kB. EEPROM najlepiej emulować na ostatnich stronach pamięci, w konsekwencji 192 kB zostałyby stracone. Można pokusić się o emulację na stronach 1 i 2, ale wymaga to przesunięcia programu w obszar strony 3 oraz zużycie strony 0 tylko po to aby wstawić tam 4-bajtowy wektor resetu. W konsekwencji, aby zapisać kilkadziesiąt bajtów w emulowanym EEPROM, trzeba poświęcić 48 kB FLASH (tyle RAM miał ZX-Spectrum). Pod tym względem seria F4 nie jest zbyt atrakcyjna. Na docelowej płytce użytkownik może wybrać typ zastosowanej pamięci pomiędzy tanią, ale trudniejszą w montażu SOIC6, a droższą, ale łatwą do wlutowania TO92.

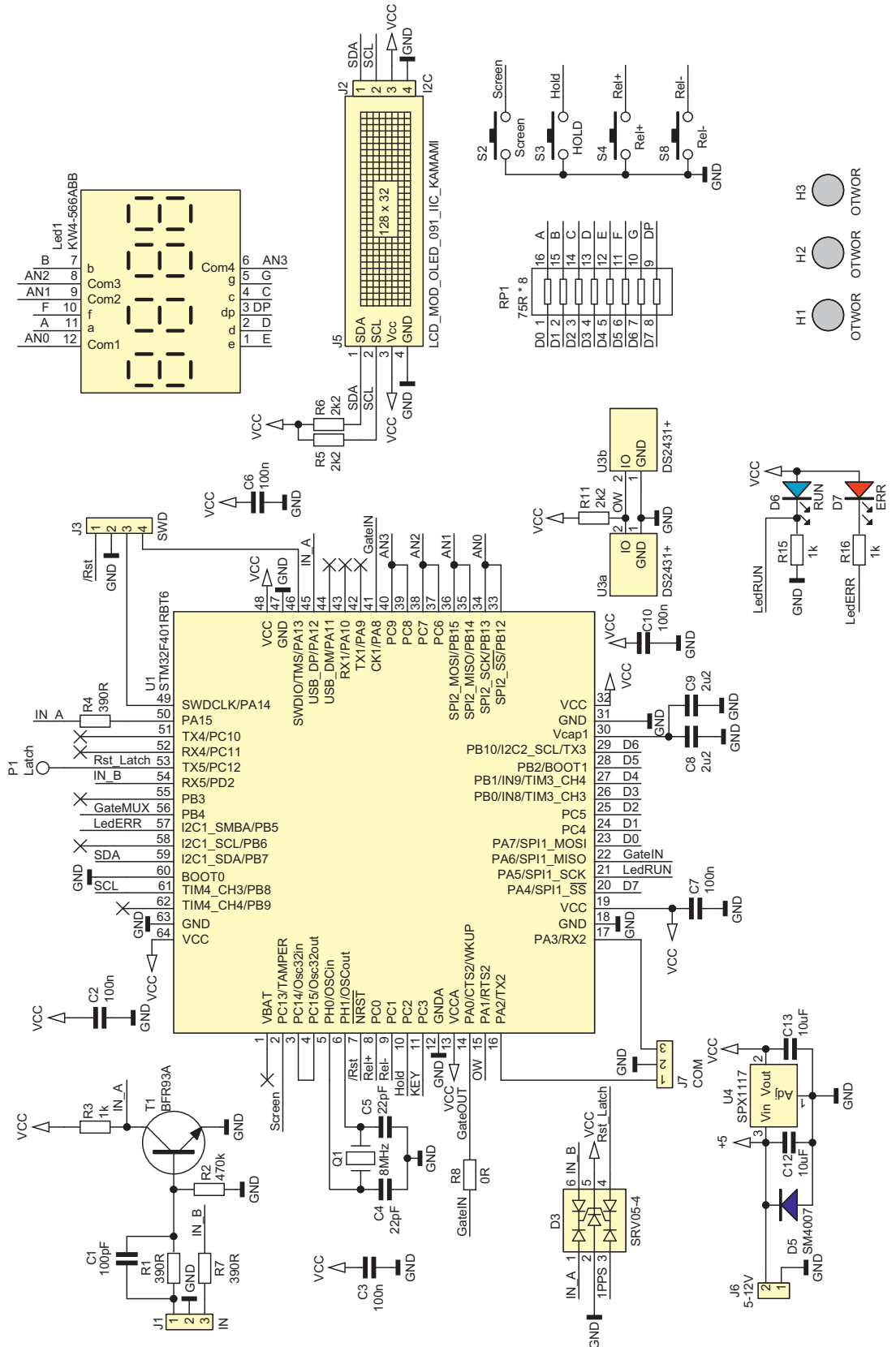
Interfejs USART dostępny jest na złączu J7. Za pomocą programu typu terminal (parametry transmisji 921600 8N1) można wyświetlić wysyłane informacje o zmierzonej częstotliwości i czasie (rysunek 4).

Wzmacniacz na wejściu A licznika ma prostą budowę i w związku z tym duże ograniczenia. Do częstotliwości 1 MHz parametry są stabilne, choć pomiar czasu impulsu będzie już obciążony błędem – pomiar sygnałów oscyloskopem pokazuje **rysunek 5**. Żółty przebieg (kanał 1) pokazuje sygnał wejściowy, niebieski (kanał 2) to sygnał na kolektorze T1. Na **rysunku 6** pokazano pomiary dla przebiegu 5 MHz, 800 mV. Możliwości mojego generatora skończyły się na 15 MHz (**rysunek 7**), ale to wystarczyło, aby stwierdzić, że tak prosty wzmacniacz nadaje się do częstotliwości 10...15 MHz. Wzmacniacz można pominąć, nie montując T1 i R3, a R1, R2, C1 zastępując zworami. Wtedy można zastosować wzmacniacz

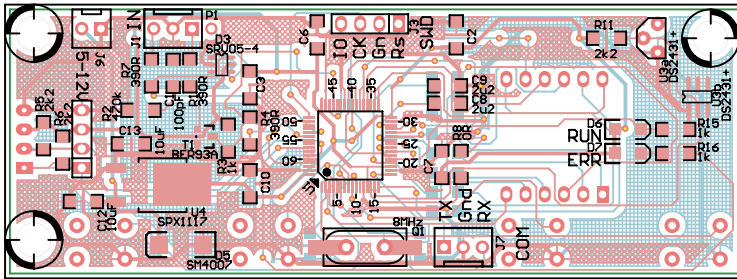
o lepszych parametrach, który udostępni sygnał cyfrowy w logice 3,3 V. Mikrokontroler STM32F401 akceptuje sygnał o amplitudzie 5 V na wejściu, ale transil D3 ogranicza wartość. Gdy dostępny jest sygnał o amplitudzie 5 V, lepiej zastosować konwerter z rodziny 74LVC albo usunąć D3 (rezygnując jednocześnie z ochrony – jaką zapewnia).

Oprogramowanie sterujące

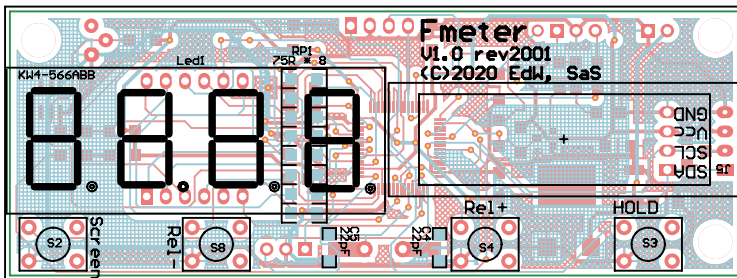
Program napisano z wykorzystaniem oprogramowania CubeIDE. Zajmuje 85 kB FLASH z dostępnych 256, używa 10 kB RAM z dostępnych 64 kB. Z dostępnych ośmiu timerów wykorzystano cztery, plus systemowy generujący przerwy co 1 ms. Dlaczego potrzeba tak dużo



Rysunek 1. Schemat układu



Rysunek 2. Schemat płytki PCB wraz z rozmieszczeniem elementów, strona TOP



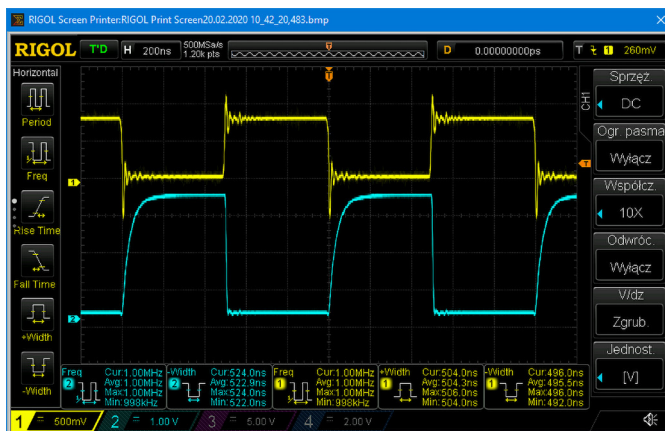
Rysunek 3. Schemat płytki PCB wraz z rozmieszczeniem elementów, strona BOTTOM

timerów? Timer 1 mierzy częstotliwość wejścia A, timer 3 wejścia B. Oba są bramkowane timerem 5. Timer 2 mierzy czasy impulsów i okres sygnału. Wydawać się może, że zadaniu sprostałby większy AVR, np. Mega1281. Niestety nie ma on timerów 32-bitowych, ponadto maksymalna możliwa częstotliwość, jaką można nim zmierzyć, to 8 MHz.

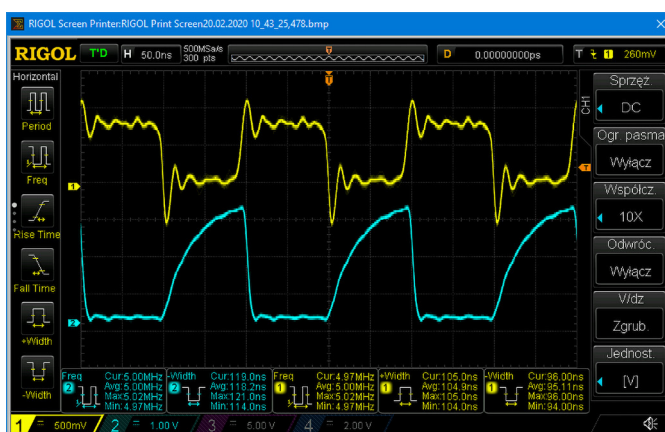
Pętla główna programu nie jest blokowana na dłużej niż 1 ms. Obsługa OLED korzysta z mechanizmu DMA, podobnie jak wysyłanie danych przez UART. Pierwotnie funkcje zapisu EEPROM DS2431, przeniesione z AVR blokowały CPU na 10 ms przy zapisie każdej strony, co dawało łączny czas zapisu struktury konfiguracji wynoszący 80 ms. Nie wpływało to na pracę miernika, ponieważ pomiary realizowane są sprzętowo i na przerwanianach, ale nieładnie wyglądało zatrzymanie odświeżania OLED przy odliczaniu czasu

bramkowania. Z tego powodu funkcje zostały zamienione na nieblokujące.

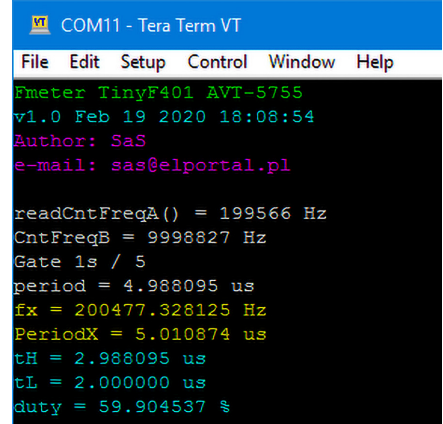
Obsługa multipleksowanego wyświetlacza LED zrealizowana jest na przerwanianiu 1 ms. Aby zwiększyć wydajność prądową wyjść sterujących anodami, połączono równolegle po dwa porty GPIO. Aby nie doprowadzać do chwilowych zwarć przy



Rysunek 5. Pomiary oscyloskopowe toru wejściowego dla częstotliwości 1 MHz



Rysunek 6. Pomiary oscyloskopowe dla częstotliwości 5 MHz



Rysunek 4. Treść wysłana przez USART pokazana w terminalu

ustawianiu wyjść, wykorzystano rejestr BSRR, który pozwala ustawiać i kasować bity GPIO w sposób atomowy.

Obsługa urządzenia

Przycisk S2 „Screen” pozwala przełączyć treść ekranu. Numer ekranu jest widoczny w prawym górnym rogu wyświetlacza OLED i znika po dwóch sekundach po jego zmianie przyciskiem S2. Pierwszy ekran (fotografia 1), wyświetla zmierzony częstotliwość. Gdy jest ona mniejsza od 50 kHz, mierzony jest czas, który przed wyświetleniem jest przeliczany na częstotliwość. W takiej sytuacji na wyświetlaczu pojawia się napis „(math)”. Dzięki temu można uzyskać wysoką rozdzielczość pomiaru, który wykonuje się szybko. Przy pomiarze 10 Hz pomiar trwa tylko 100 ms, a rozdzielczość wynosi 10 mHz. Gdy częstotliwość przekracza 50 kHz, na wyświetlaczu pokazuje się liczba impulsów zliczona w ciągu sekundy. W tym przypadku wyświetlany jest napis „(cnt)”. Ponadto pokazana jest informacja o czasie bramkowania oraz ukazany jest wpływ czasu bramkowania

- Wykaz elementów:**
- Rezystory:** (SMD 1206)
 R1, R4, R7: 390 Ω
 R2: 470 kΩ
 R3, R15, R16: 1 kΩ
 R5, R6, R11: 2,2 kΩ
 R8: 0 Ω
 RP1: 8 * 75 Ω
- Kondensatory:** (ceramiczne SMD1206)
 C1: 100 pF
 C8, C9: 2, 2 μF
 C2, C3, C6, C7, C10: 100 nF
 C4, C5: 22 pF
 C12, C13: 10 μF
- Półprzewodniki:**
 U1: STM32F401RBT6
 U3a: DS2431+ T0-92
 U3b: DS2431P+ TSOC-6
 U4: SPX1117 SOT-223
 T1: BFR93AE6327 SOT-23
 D3: SRV05-4 SOT-23-6
 D5: SM4007
 D6: Dioda LED niebieska SMD1206
 D7: Dioda LED czerwona SMD1206
 Led1: KW4-566ABB
- Pozostałe:**
 Q1: 8 MHz
 J1, J7: NS25-G3
 J6: NS25-W2P
 J2, J5: Moduł modOLED091 IIC (KAMAMI)
 S2, S3, S4, S8: Micro switch 5x7
 J3: Listwa goldpin 1x4

(liczby od 0 do 10). Drugi ekran pokazuje zmierzony czas okresu sygnału (**fotografia 2**). Podobnie jak w przypadku częstotliwości, granicą jest 50 kHz. Przy częstotliwości niższej niż 50 kHz mierzony jest okres, ponad 50 kHz częstotliwość, z której wyliczany jest czas.

Kolejne ekrany pokazują zmierzony czas stanu wysokiego i niskiego (**fotografie 3 i 4**). Analogicznie wyglądają ekrany pokazujące współczynnik wypełnienia sygnału w procentach, licznik częstotliwości (nie ma tu granicy 50 kHz, zawsze wyświetlana jest liczba impulsów zliczonych w czasie bramkowania), wyliczoną częstotliwość na podstawie zmierzzonego okresu sygnału, zmierzony czas okresu, wyliczony czas okresu, zliczoną liczbę impulsów na wejściu B.

Przycisk S3 „Hold” zatrzymuje wyświetlanie, co jest sygnalizowane miganiem napisu „HOLD”. Pomiar jest cały czas dokonywany, co widać w oknie terminalu, tylko wartość na wyświetlaczu jest zamrożona. Przycisk S8 „Rel-” zapamiętuje częstotliwość, po czym odejmuje ją od mierzonej. Fakt pomiaru relatywnego jest sygnalizowany wyświetleniem napisu „REL-”. Pozwala to np. na pomiar częstotliwości pośredniej. Przycisk S4 „Rel+” działa podobnie z tym, że zapamiętana częstotliwość jest dodawana do wyniku pomiaru (**fotografia 5**). Trzeba wiedzieć, że funkcja ta działa tylko dla wejścia A i tylko wtedy, gdy wyświetlany jest bezpośredni pomiar z licznika. Gdy częstotliwość jest zbyt niska napis „REL” znika. Pomiar relatywny można włączyć tylko na ekranie zero (pomiar częstotliwości wejścia A), pięć (zliczone impulsy na wejściu A w ciągu sekundy) i dziewięć (wejście B). Ostatni przypadek nie zadziała, gdy wejście B będzie użyte do zliczania impulsów, a nie pomiaru częstotliwości.

Funkcję licznika na wejściu B uruchamia się po równoczesnym naciśnięciu przycisków „REL+” i „REL-” na ekranie pokazującym częstotliwość zmierzoną na wejściu B. Powrót do pomiaru częstotliwości nastąpi



Rysunek 7. Pomiary oscyloskopowe dla częstotliwości 15 MHz

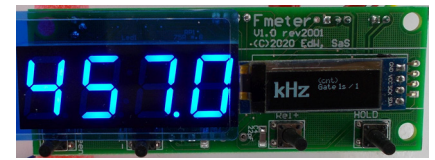
```
COM11 - Tera Term VT
File Edit Setup Control Window Help
Fmeter TinyF401 AVT-5755
v1.0 Feb 19 2020 22:55:55
Author: SaS
e-mail: sas@elportal.pl

readCntFreqA() = 1101871 Hz
Gate 1s / 0
period = 0.000000 us us
fx = 0.000000 Hz Hz
PeriodX = 0.907547 us s
tH = 0.000000 us us
tL = 0.000000 us us
duty = 0.000000 $ 00 $
mnozникF = 1, dzielnikF = 1, mnozникT = 1, Pomiar #2340
cnt = 44372 imp, Latch = 37 imp, chgIn = 120
```

Rysunek 8. Przechwycona wartość licznika jest wyświetlana w terminalu

po ponownym naciśnięciu „REL+” i „REL-” na ekranie pokazującym wartość licznika. W czasie gdy miernik pracuje w roli licznika, naciśnięcie „REL+” lub „REL-” zeruje stan licznika, przedtem jednak jego stan jest zapamiętany. Tę samą funkcjonalność uzyska się w czasie opadającego zbocza sygnału na wejściu PC12. Przechwyconą wartość można sprawdzić w programie terminalu za napisem „Latch =” (**rysunek 8**). Warto zauważyć, że praca w trybie licznika powoduje, iż w terminalu nie pojawia się częstotliwość zmierzona na wejściu B. Przekroczenie wartości 9999 licznika powoduje wyświetlenie napisu „OVER”, ale stan licznika można sprawdzić w terminalu.

Ustawienia miernika zapamiętywane są w EEPROM po dziesięciu sekundach od naciśnięciu dowolnego przycisku. Informacja o zapisie pojawia się w oknie terminala. Podczas startu programu w terminalu wyświetlane są informacje o odczycie pamięci EEPROM. Ponadto pojawiają się informacje o liczbie resetów mikrokontrolera i zadziałania watchdoga. W tym czasie na wyświetlaczu pojawi się LOGO albo informacje dotyczące EEPROM lub odzyskaniu jej zawartości z backupu. Jeśli w mierniku nie ma zamontowanej pamięci wszystkie kropki na wyświetlaczu LED są zaświecone a program przyjmie standardową konfigurację.



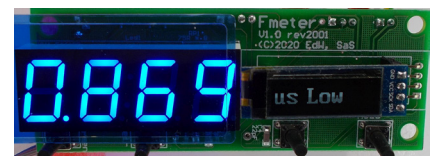
Fotografia 1. Ekran pomiaru częstotliwości



Fotografia 2. Ekran pomiaru czasu okresu sygnału



Fotografia 3. Ekran pomiaru czasu stanu wysokiego



Fotografia 4. Ekran pomiaru czasu stanu niskiego



Fotografia 5. Ekran pomiaru relatywnego

Podsumowanie

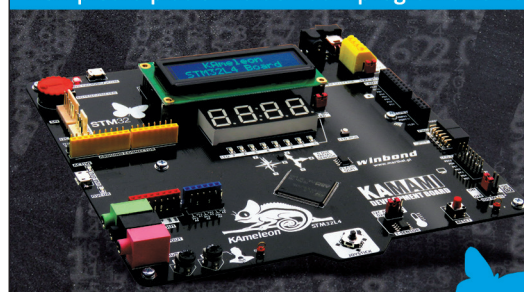
W sprawie nowszych wersji softu, błędów znalezionych w programie, propozycji modyfikacji oprogramowania proszę pisać do autora. W materiałach do projektu dostępne są materiały z kolejnych etapów prac nad urządzeniem – napisanie oprogramowania zajęło prawie 150 godzin.

SaS
sas@elportal.pl

REKLAMA

Kameleon STM32L4 Board

Kompletna platforma do nauki programowania



www.kameleonboard.org STM32