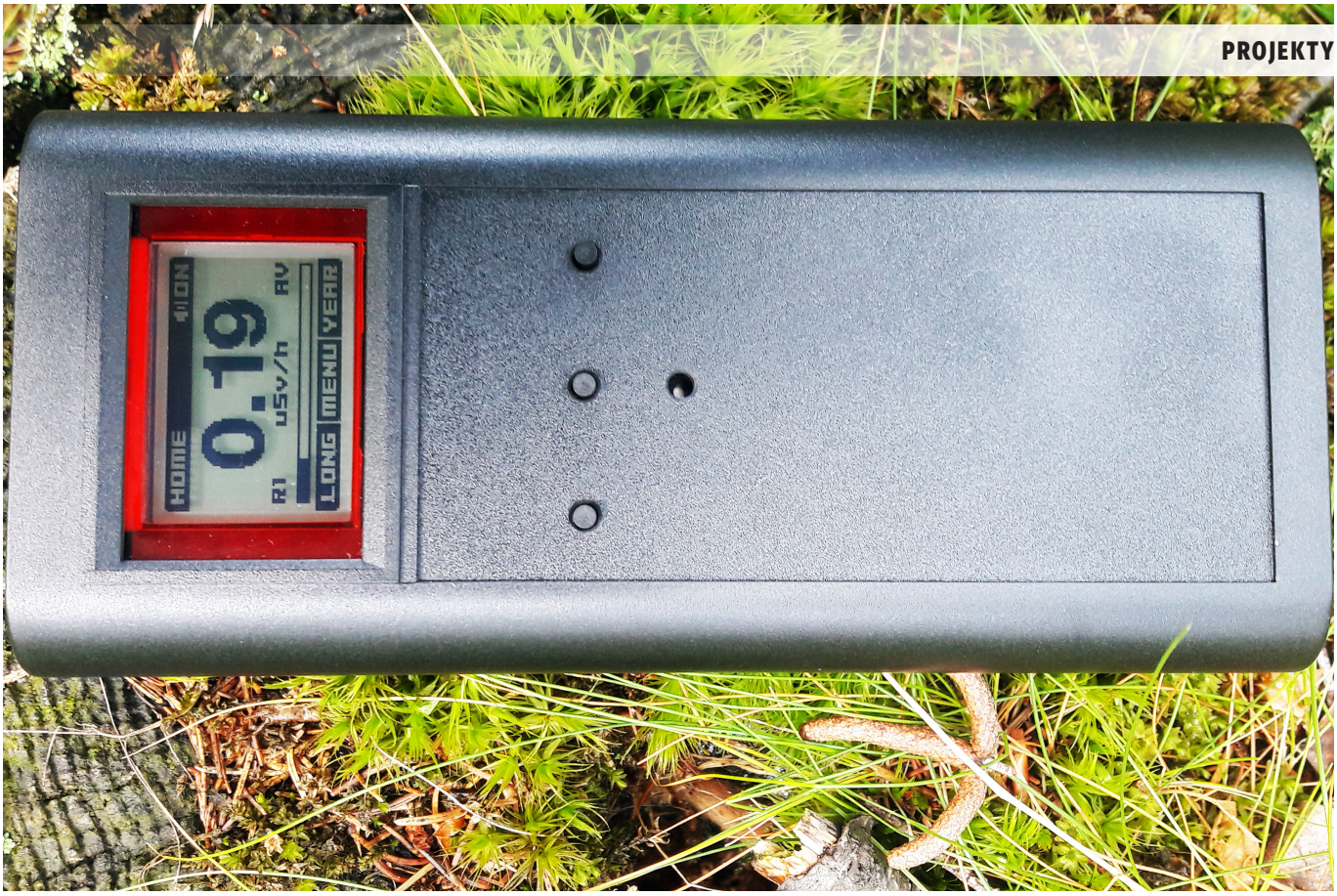


Dozymetr wzorowany na projekcie Open Geiger

Po pamiętnej awarii nuklearnej w Fukushimie, na fali ogólnej paniki i wobec braku sensownej cenowo alternatywy, postanowiłem wykonać swój własny dozymetr. Zacząłem od teorii, czyli nieco dogłębniejszego poznania zasady działania takich instrumentów. Tu bardzo pomocną okazała się książka „Radiation Detection and Measurement, 3rd edition" (Glenn F. Knoll, 2000). Nieco później przypadkowo znalazłem w sieci bardzo ciekawy japoński projekt Open Geiger, jego twórca (Takuma Mori) wykonał naprawdę kawał dobrej roboty ***www.opengeiger.com****.*

Strona projektu Open Geiger dostępna jest w japońskiej wersji językowej, ale jej tłumaczenie z translatora okazało się wystarczająco czytelne. Autor opracował i udostępnił z zastrzeżeniem warunków zawartych w licencji MIT kilka wersji detektorów promieniowania, opartych na popularnej tubie SBM-20. Różnią się one funkcjonalnością i przewidywanym obszarem zastosowań. Najbardziej rozbudowany z nich to GM-01A i właśnie ten wziąłem na warsztat. Nie jest to tylko licznik Geigera ale tytułowy dozymetr, czyli miernik zliczający dawkę pochłoniętą. Na stronie projektu zamieszczone są wszystkie informacje potrzebne do jego samodzielnego powielenia, począwszy od schematów i rysunków PCB, poprzez pełne źródła programów, na plikach umożliwiających wydrukowanie obudowy za pomocą drukarki 3D skończywszy. Skontaktowałem się z Takumą i okazało się, że można od niego kupić gotowe, zmontowane i uruchomione płytki PCB (bez deficytowych tub GM) w dosyć przystępnej cenie. Niestety koszty przesyłki kurierskiej z Japonii i ewentualnego cła okazały się bardzo wysokie.

Poza tym to nie honor kupić gotową płytkę…

Budowa

Opracowałem swoją wersję dozymetru, zainspirowany projektem Open Geiger, i w dużej mierze jest on z nim zgodny. W części sprzętowej mój wkład pracy ogranicza się

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

W ofercie AVT* AVT-5691

Podstawowe parametry:
- współpraca z tubami GM typu SBM-20 i STS-5,
- zakres pomiarowy mocy dawki: 0,04…1050 µSv/h (4 automatycznie przełączane podzakresy),
- szybka reakcja na gwałtowne zmiany poziomu promieniowania,
- akustyczna sygnalizacja detekcji kwantu promieniowania z nastawialnym progiem alarmu (0,3…1,2 µSv/h) oraz chwilowego poziomu promieniowania,
- napięcie zasilania 3 V (2×AAA), pobór prądu ok 3,5 mA

Projekty pokrewne na www.media.avt.pl:

AVT-3214	Dozymetr analogowy – kolejny licznik G-M (EdW 12/2017)
AVT-5485	Licznik Geigera-Muellera o dużej czułości (EP 1/2015)

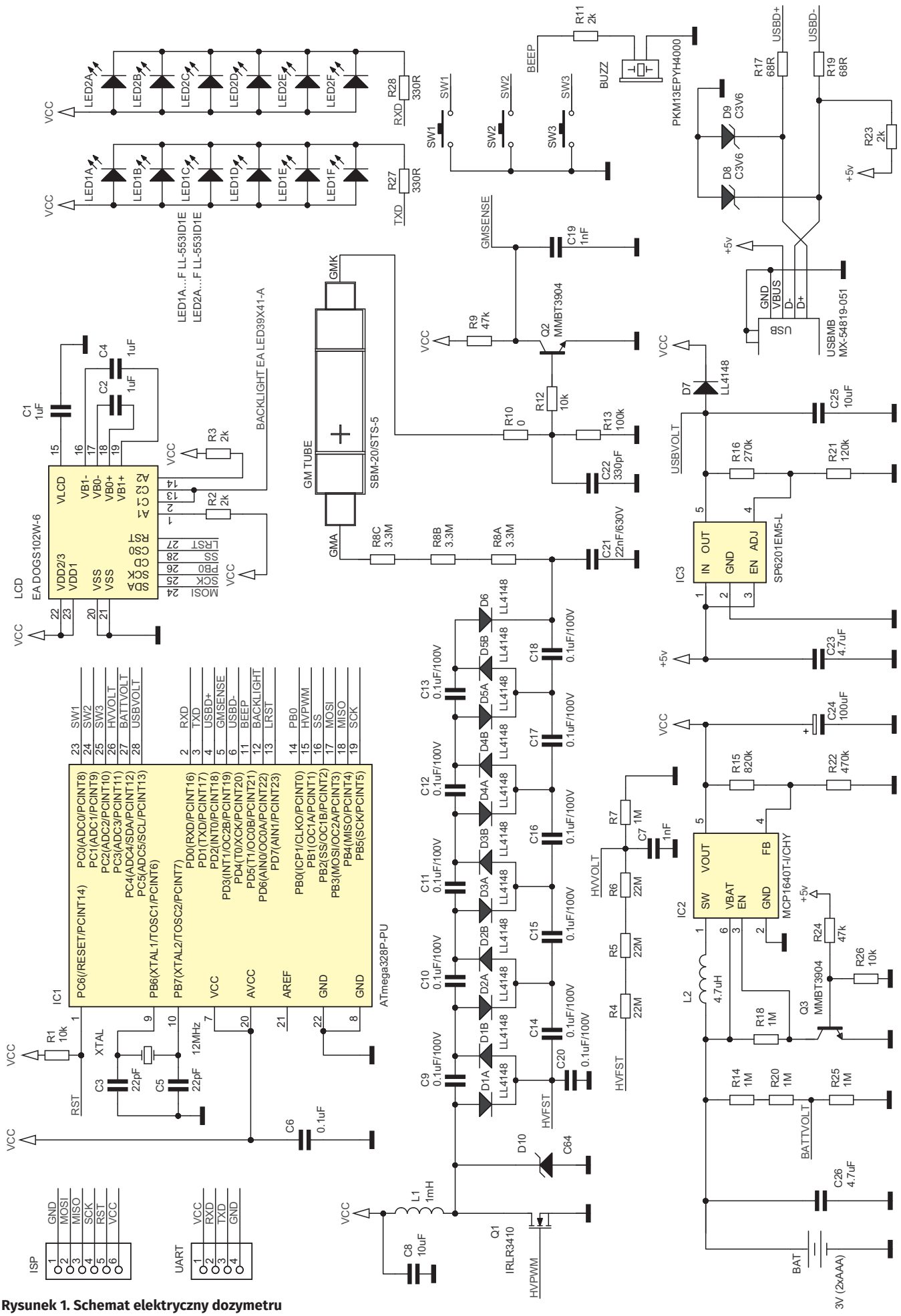
*** Uwaga! Elektroniczne zestawy do samodzielnego montażu. Wymagana umiejętność lutowania!**

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 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**] – płytka drukowana bez elementów i dokumentacji

Kity w których występuje układ scalony wymagający zaprogramowania, mają następujące dodatkowe wersje:
- wersja [**A+**] – płytka drukowana [**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. Schemat elektryczny dozymetru

przede wszystkim do zaprojektowania nowej płytki PCB, gabarytami dopasowanej do posiadanej obudowy typu BOS600. Niestety zastosowany w projekcie wyświetlacz LCD (102×64 typu DOGS102-6E) okazał się trochę za mały na to, aby ładnie wpasować się w okienko tejże obudowy. Konieczne okazało się wstawienie pomiędzy nimi dodatkowej maskownicy wyciętej z czerwonego pleksiglasu o grubości 1,5 mm. Przy krótszych bokach tej przesłony dołożyłem opcjonalną sygnalizację zakresów pomiarowych za pomocą dwóch linijek czerwonych diod LED.

Zmodyfikowałem schemat i podmieniłem kilka elementów na inne. Schemat finalny pokazany jest na **rysunku 1**. W miejsce stosunkowo kosztownej tuby SBM-20 przewidziałem możliwość zastosowania jej tańszego i łatwiej dostępnego odpowiednika typu STS-5. Pewne kontrowersje może wzbudzić zastosowanie i sposób włączenia diody D10. Dodałem ją w celach prewencyjnych po tym, jak w trakcie prac nad programem przypadkowo doszło do uszkodzenia tranzystora Q1. Ta dioda to transil o niewielkim prądzie wstecznym i tak dobranym napięciu progowym, aby nie wpływało na normalne działanie układu. Na płytce przewidziałem dla niej miejsce, ale jako element opcjonalny może zostać pominięta w trakcie montażu.

Wykaz elementów:

Rezystory:
R1, R12, R26: 10 kΩ SMD0603
R2, R3, R11, R23: 2 kΩ SMD0603
R4, R5, R6: 22 MΩ SMD1206
R7, R14, R18, R20, R25: 1 MΩ SMD0603
R9, R24: 47 kΩ SMD0603
R10: 0 Ω SMD0603
R13: 100 kΩ SMD0603
R15: 820 kΩ SMD0603
R16: 270 kΩ SMD0603
R17, R19: 68 Ω SMD0603
R21: 120 kΩ SMD0603
R22: 470 kΩ SMD0603
R27, R28: 330 Ω SMD1206
R8A, R8B, R8C: 3,3 MΩ SMD1206

Kondensatory:
C1, C2, C4: 1 µF SMD0603
C3, C5: 22 pF SMD0603
C6: 100 nF SMD0603
C7, C19: 1 nF SMD0603
C8, C25: 10 uF SMD0805
C9...C18, C20: 100 nF/100 V SMD1206
C21: 22 nF/630 V
C22: 330 pF SMD0603
C23, C26: 4,7 µF SMD0805
C24: 100 µF/16 V

Półprzewodniki:
D10: transil C64
LED1A…LED1F, LED2A…LED2F: dioda LED czerwona kwadratowa (LL-553ID1E)
D1…D7: LL4148
D8, D9: dioda Zenera 3,6 V
Q1: IRLR3410 TO252
Q2, Q3: MMBT3904 SOT23
IC1: ATmega328P-PU
IC2: MCP1640T-I/CHY
IC3: SP6201EM5-L SOT23-5
LCD: EA DOGS102W-6
podświetlenie wyświetlacza LCD – EA LED39X41-A

Inne:
L1: 1 mH
L2: 4,7 µH SMD
XTAL: Rezonator 12 MHz
BUZZ: Buzzer piezo
SW1…SW3: Mikroswitch
GM TUBE: SBM-20
ISP, UART: goldpin
USBMB: Mini USB
BAT: Koszyk na bat. 2×AAA
podstawki: pod procesor i wyświetlacz LCD
obudowa typ BOS600 (firmy BOPLA)

W części sprzętowej projektu dokonałem jeszcze jednej dosyć istotnej, a w konstrukcjach amatorskich często pomijanej aranżacji. Otóż tubę GM umieściłem w cienkościennej rurce aluminiowej odcinającej promieniowanie beta oraz w pewnym stopniu wyrównującej jej charakterystykę dla kwantów promieniowania gamma o różnych energiach. Dokładne wytłumaczenie tego i wielu innych aspektów związanych z detekcją promieniowania można znaleźć we wspomnianej na wstępie książce.

Znacznie większe zmiany poczyniłem w oprogramowaniu, bo autor projektu z jakiegoś bliżej nieznanego mi powodu zrezygnował na przykład z korekty czasu martwego tuby GM. Taką korektę zaimplementowałem w programie, z możliwością jej czasowej dezaktywacji (co powinno mieć miejsce jedynie w wyjątkowych sytuacjach!). A jest ona absolutnie niezbędna, ponieważ w celach testowych rozszerzyłem zakres pomiarowy mocy dawki promieniowania prawie do maksimum dla tuby SBM-20, wynoszącego 1440 µSv/h. Zakres ten został podzielony na 4 podzakresy przełączane automatycznie wraz z sygnalizacją ich przekroczenia. Przy takim natłoku impulsów docierających do tuby GM (a mówimy tu o wartościach rzędu 150000 CPM) gubi ona już prawie połowę z nich, co teoretycznie nadrabia właśnie korekcja. Funkcja ta włącza się samoczynnie, gdy błąd pomiaru spowodowany czasem martwym zaczyna przekraczać 1%. Trochę to sztuka dla sztuki, bo dokładność liczników GM w najlepszym wypadku wynosi około 20%, a i to tylko w odniesieniu do konkretnego izotopu użytego do ich kalibracji. Natomiast przyjęte w programie współczynniki konwersji CPM/µSv/h to wartości średnie, wyliczone z czułości dla izotopów Cs-137 i Co-60. Należy o tym pamiętać, tym niemniej do zastosowań hobbystycznych takie uproszczenie wydaje się wystarczająco dokładne.

Przeprowadzenie w warunkach amatorskich dokładnej kalibracji za pomocą źródeł promieniowania o odpowiedniej aktywności jest mało realne. Namiastkę takich testów przeprowadziłem przy użyciu pseudolosowych ciągów impulsów uzyskanych z programowanego generatora. Potwierdziły one poprawność działania korekcji od strony obliczeń matematycznych, ale nie dały odpowiedzi na pytanie, na ile parametry tub GM są zgodne z tymi podanymi w kartach katalogowych. Dlatego wskazania w pobliżu końca zakresu pomiarowego należy traktować raczej z przymrużeniem oka.

Pozostałe zmiany, jakie wykonałem w programie:

- szybki tryb pomiarowy (aktualizacja wskazań wyświetlacza w interwałach jednosekundowych, bez uśredniania wyników z kilku pomiarów) z bargrafem i tonem o zmieniającej się częstotliwości. Funkcja ta przydaje się przy poszukiwaniu minerałów radioaktywnych,
- oddzielnie współczynniki konwersji CPM/µSv/h i zadawanie różnych napięć zasilania dla tub SBM-20 i STS-5 (bo jednak ich parametry trochę się różnią),
- obliczanie CPS (z uwzględnieniem korekcji),
- wykresy (słupkowy i graficzny),
- pamięć wartości maksymalnej (kasowana dopiero po wyjęciu baterii),
- obliczanie aktualnej stopy błędu,
- zegar czasu pracy dozymetru,
- dodatkowe informacje diagnostyczne pojawiające się na LCD.

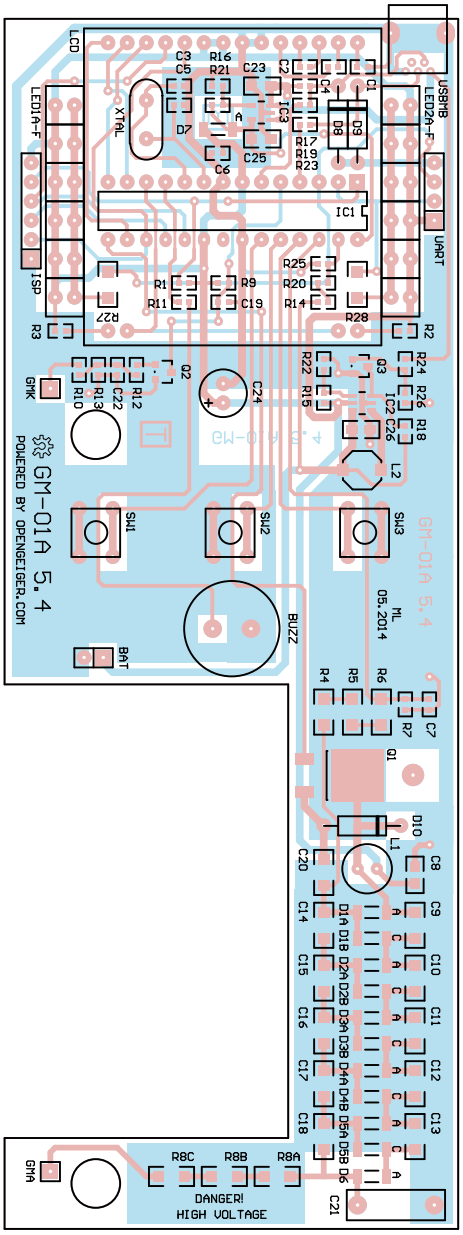
Plus poprawki znalezionych błędów oraz inne drobne funkcjonalności i usprawnienia. Było kilka niespodzianek – jedna objawiała się równo po 10 godzinach (!) od momentu włączenia zasilania w postaci częściowego wygaszenia wyświetlacza. Po dłuższych poszukiwaniach winowajcą okazał się za „krótki" w stosunku do wyświetlanych treści bufor LCD. Przed napisaniem tego artykułu skompilowałem ponownie oprogramowanie pod najnowszym obecnie (luty 2019 roku) tolchainem dla procesorów AVR (GCC 8.2.0). Dało to wymierną korzyść w postaci wyłapania paru drobnych nieścisłości w oryginalnym kodzie źródłowym, czego starsze wersje kompilatora nie wykrywały. A także w postaci dużo lepszej optymalizacji i w efekcie kodu wynikowego tylko niewiele dłuższego od pierwowzoru (pomimo większej jego funkcjonalności). Pozostało jeszcze około 4 kB wolnej pamięci i być może jeszcze kiedyś coś tam dorzucę. Czytelników zainteresowanych uzyskaniem rozwojowej wersji oprogramowania proszę o kontakt za pośrednictwem Redakcji.

Podstawowe parametry z uwzględnieniem moich modyfikacji:

- współpraca z tubami GM typu SBM-20 (współczynnik konwersji 150 CPM/µSv/h, napięcie zasilania 400 V) i STS-5 (współczynnik konwersji 175 CPM/µSv/h, napięcie zasilania 390 V),

REKLAMA

- zakres pomiarowy mocy dawki: 0,04...1050 µSv/h (4 automatycznie przełączane podzakresy),
- szybka reakcja na gwałtowne zmiany poziomu promieniowania (wzrost lub spadek),
- optyczna sygnalizacja: załączenia i przekroczenia zakresu pomiarowego (LED+LCD), bufora próbek, zakończenia cyklu pomiarowego, niepewności pomiaru, aktywności korekcji (LCD),
- akustyczna sygnalizacja detekcji kwantu promieniowania z nastawialnym progiem alarmu (0,3...1,2 µSv/h) oraz chwilowego poziomu promieniowania z możliwością jej wyłączenia (konfigurowana z poziomu menu),
- obsługa za pomocą trójprzyciskowej klawiatury i menu ekranowego (graficzny wyświetlacz LCD 102×64 z podświetleniem w kolorze bursztynowym, sterowany poprzez magistralę SPI. Dostępne są dwa kroje czcionki ekranowej: systemowa i Sans Serif),
- funkcja POWER SAVE ograniczająca pobór prądu z baterii zasilającej (wyłączenie wyświetlacza i podświetlenia po 10 sekundach od momentu naciśnięcia dowolnego przycisku),
- napięcie zasilania 3 V (2×AAA),
- pobór prądu 3,5 mA (przy tle naturalnym).



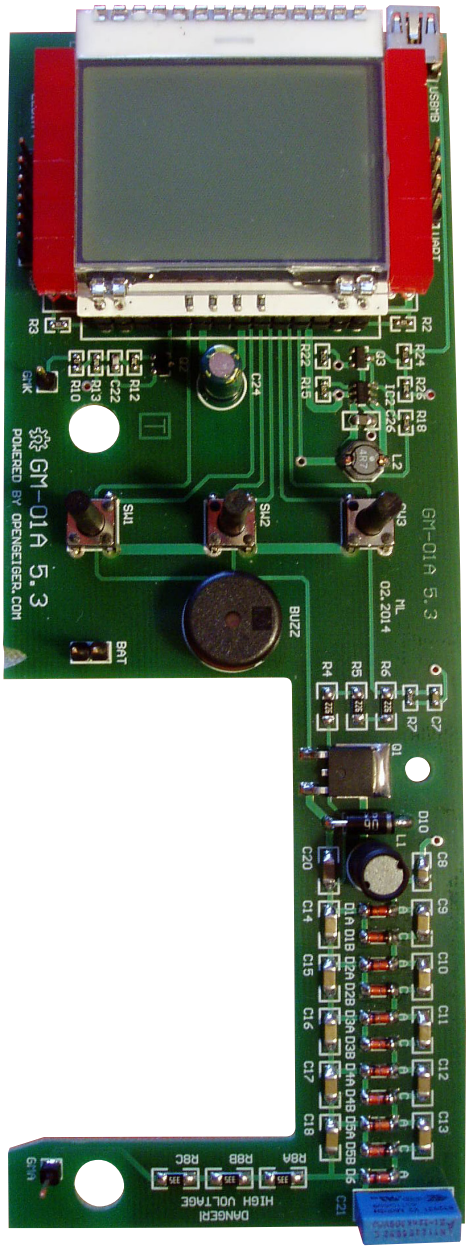
Rysunek 2. Schemat płytki PCB wraz z rozmieszczeniem elementów

Opis działania

Tryby pracy dozymetru:

- HOME: średnia z 5 ostatnich cykli pomiarowych (każdy cykl składa się co najmniej z 16 próbek). Wskazania: µSv/h, mSv/y, CPM, CPS, wykres słupkowy, wykres graficzny,
- LONG: średnia z ostatnich 10 minut. Wskazania: µSv/h, mSv/y, CPM, CPS, wykres słupkowy, wykres graficzny,
- PEAK: maksimum z ostatniej sekundy. Wskazania: µSv/h, mSv/y, CPM, CPS, wykres słupkowy, wykres graficzny, bargraf. Dodatkowo generowany jest ton o częstotliwości rosnącej wraz ze wzrostem poziomu promieniowania,
- INFO: pamięć wartości maksymalnej. Wskazania: µSv/h, mSv/y, CPM, CPS, stopa błędu, zegar czasu pracy,
- DOSE: dawka pochłonięta. Wskazania: µSv/mSv, czas ekspozycji,
- DEBUG: informacje diagnostyczne. Wskazania: status oprogramowania, identyfikator urządzenia i aktywność USB, napięcie baterii, napięcie zasilania tuby GM, współczynnik wypełnienia przebiegu PFM.

Całość elektroniki zasilana jest napięciem o wartości 3,3 V uzyskiwanym z dwóch niezależnych źródeł. Przy zasilaniu bateryjnym (2 paluszki typu AAA) jest ono wytwarzane przez przetwornicę podwyższającą IC2 (MCP1640T). Radykalne zmniejszenie poboru prądu pobieranego z baterii udało się uzyskać głównie dzięki zastosowaniu dynamicznej zmiany częstotliwości taktowania procesora IC1 (ATMEGA328P), uzależnionej od aktualnego trybu pracy. W stanie czuwania lub w stanie POWER SAVE częstotliwość ta wynosi 187,5 kHz, a w czasie normalnej pracy 3 MHz. W takich warunkach, przy włączonym na stałe podświetleniu wyświetlacza i w obecności naturalnego tła promieniowania (około 0,1 µSv/h) średni pobór prądu waha się w granicach 3,5 mA. Po podłączeniu dozymetru do portu USB przetwornica IC2 zostaje zablokowana, a zasilanie układu przełącza się z bateryjnego na to pobierane z portu. Pochodzące z portu napięcie 5 V zostaje obniżone do wymaganej wartości przez stabilizator LDO typu SP6201EM5-L (IC3). W tym trybie pracy częstotliwość taktowania procesora wzrasta do 12 MHz, co podyktowane jest uzyskaniem odpowiedniej



Fotografia 3. Widok zmontowanej płytki

mocy obliczeniowej potrzebnej do programowej obsługi stosu USB, zaimplementowanego w programie.

Wysokie napięcie (400 V/390 V) zasilające tubę GM wytwarzane jest w sposób programowy, tu konieczne okazały się niewielkie poprawki w oryginalnym sofcie i pewne zmiany sprzętowe. Procesor steruje kluczem MOSFET (ze względu na niskie napięcie zasilania jest to tranzystor Logic Level typu IRLR3410) cyklicznie załączającym dławik o indukcyjności 1 mH. Ten użyty pierwotnie w projekcie nie sprawdził się, dlatego z braku dławika SMD o dużym prądzie nasycenia i niskiej rezystancji ostatecznie zastosowałem dławik THT. Dalej jest kilkustopniowy powielacz napięcia i kondensator filtrujący o pojemności 22 nF. Rezystor R8x wpięty szeregowo z tubą GM złożyłem z 3 połączonych ze sobą standardowych rezystorów SMD o maksymalnym napięciu pracy wynoszącym 200 V. Przede wszystkim

ze względów bezpieczeństwa, celem uniknięcia jego uszkodzenia przez wysokie napięcie. W ten sposób ograniczyłem również ewentualny niekorzystny wpływ dużej wilgotności otoczenia (mój dozymetr użytkowany jest głównie w terenie). Zasilacz ten pomimo swojej prostoty ma wydajność prądową wystarczającą do pracy tuby w całym założonym zakresie pomiarowym. Jedyny problem mógłby stanowić czas reakcji procesora na gwałtowne zmiany prądu obciążenia, w najgorszym przypadku wynoszący 200 ms. Przeprowadzone próby pokazały jednak, że problem ten praktycznie nie występuje. Stosowne symulacje przeprowadziłem przy użyciu sztucznego obciążenia kluczowanego wspomnianym wcześniej generatorem impulsów.

Jak już nadmieniłem, procesor komunikuje się ze światem zewnętrznym poprzez programowo zrealizowaną (biblioteka V-USB) magistralę USB. Również tą drogą odbywa się aktualizacja firmware (wbudowany bootloader zgodny z USBasp. Aktywacja: należy wyjąć baterie zasilające i trzymając wciśnięte oba skrajne przyciski, podłączyć kabel do gniazda USB). Niezależnie od niej dostępny jest także dwukierunkowy port RS-232 (aktualnie niewykorzystany) oraz złącze ISP służące do programowania procesora. Na stronie projektu dostępne są kody źródłowe i gotowe pliki wykonywalne prostych programów terminalowych, umożliwiających komunikację komputera z GM-01A a także wizualizację odczytywanych z niego danych.

Montaż i uruchomienie

Płytkę urządzenia wraz z rozmieszczeniem elementów pokazuje **rysunek 2**. Montaż nie wymaga szerszego komentarza, jedynie po wlutowaniu komponentów SMD wskazane jest usunięcie z płytki resztek topnika. Zmontowana płytka widoczna jest na **fotografii 3**. Aby uzyskać ładny efekt końcowy, więcej uwagi warto poświęcić obróbce mechanicznej obudowy. Dlatego przy wierceniu otworów w jej płycie czołowej posłużyłem się wcześniej przygotowanym szablonem. Dodatkowo w przedniej części wyciąłem prostokątne okienko dla gniazda USB, tu podobnie jak przy otworach wskazane jest zachowanie pewnego „luzu" w stosunku do jego gabarytów.

Tubę GM owinąłem cienką pianką i umieściłem na wcisk w dociętej na wymiar rurce aluminiowej. Tę z kolei przykleiłem do wnętrza obudowy za pomocą mocnej i nieprzewodzącej prądu taśmy klejącej. Koszyk na baterie zabezpieczyłem przed przesuwaniem się we wnęce obudowy za pomocą paska pianki przyklejonej do zamykającej ją klapki. W planach miałem jeszcze wykonanie naklejki na płytę czołową obudowy z membrankami nad przyciskami, ale zeszło to na dalszy plan.

Uruchomienie układu sprowadza się do pomiaru napięcia wyjściowego przetwornicy IC2 oraz stabilizatora IC3 i w dalszej kolejności do zaprogramowania pamięci FLASH procesora. Pierwszy raz należy posłużyć się dowolnym programatorem dla procesorów AVR podłączonym do złącza ISP, ustawienia fusebitów podane są na stronie projektu. Można również po prostu wyjąć procesor z podstawki i zaprogramować go w sposób tradycyjny przy użyciu zewnętrznego dedykowanego programatora. Teraz będzie można już korzystać z dobrodziejstw oferowanych przez wbudowany w oprogramowanie bootloader i aktualizować firmware za pomocą typowego złącza USB. Niezbędne do tego celu oprogramowanie i sterowniki (AVRDUDE i libusb0.sys dla systemu Windows) znajdują się na stronie projektu, jednak zalecam ściągnięcie z Internetu ich aktualniejszych wersji.

Obsługa dozymetru za pomocą menu ekranowego jest intuicyjna, pomimo komunikatów wyświetlanych w języku angielskim. W razie wątpliwości natury teoretycznej można zerknąć do rekomendowanej już książki.

Mariusz Lehmann

KONKURS

Firma Microchip organizuje konkurs dla czytelników „Elektroniki Praktycznej", w ramach którego można wygrać zestaw Microchip SAM L21 Xplained Pro Evaluation Kit (model ATSAML21-XPRO-B).
Zestaw SAM L21 Xplained Pro Evaluation Kit pozwala na testowanie i prototypowanie rozwiązań opartych na mikrokontrolerach z rodziny SAM L21, wyposażone w rdzeń ARM Cortex M0+. Są to innowacyjne, niezwykle energooszczędne podzespoły, wykonane w technologii picoPower, dzięki czemu mają najniższe w swojej klasie zużycie prądu, na poziomie 25 uA/MHz w trybie aktywnej pracy i 100 nA w trybie uśpienia. Na wybudzenie układu do trybu aktywnej pracy wystarcza jedynie 1,2 us.
Ponadto układy SAM L21 mają wbudowany kontroler interfejsu dotykowego, wbudowane mechanizmy zabezpieczeń i wiele innych zalet.
Aby wziąć udział w konkursie, wystarczy zarejestrować się pod adresem: http://bit.ly/2JM4Pex