

W związku z dużym zainteresowaniem jaki wywołał artykuł na temat modułów wyświetlaczy VFD, zdecydowałem kontynuować temat.

Tym razem sięgnąłem jednak nie po gotowe moduły wyświetlaczy z wbudowanym kontrolerem, lecz po same wyświetlacze, rzecz by można „nagiej lampy“, bez żadnego sterownika.

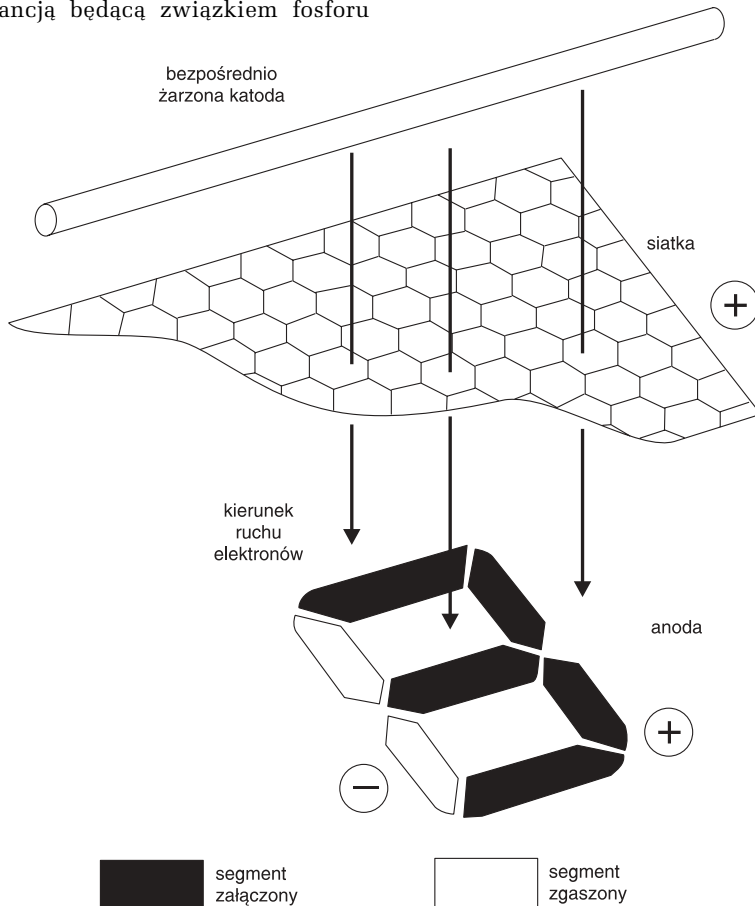
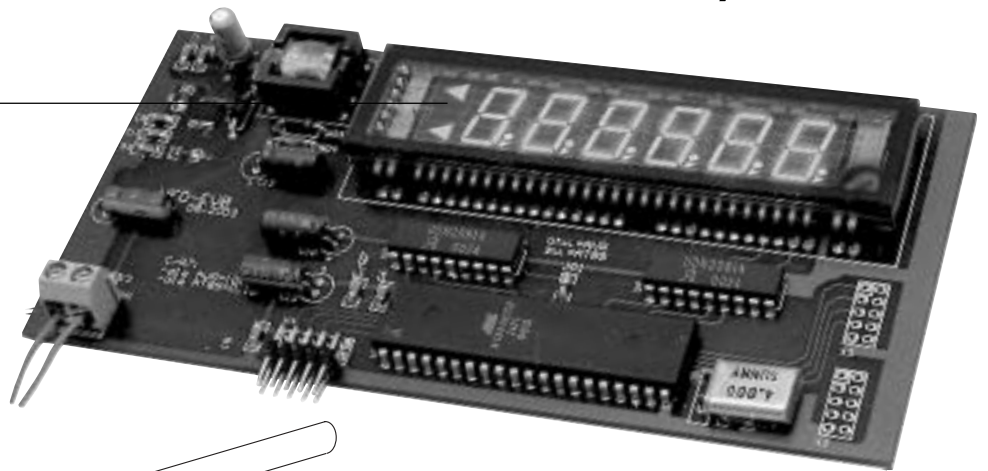
W tym miejscu chciałbym podziękować również firmie Futaba, jednemu z największych producentów wyświetlaczy VFD, za udostępnienie próbek wyświetlaczy 7-LT-109 do testów. Aplikacja powstała bardziej z myślą o tych wszystkich, którzy zastanawiają się w jaki sposób użyć posiadanego VFD niż jako kit oferowany dla elektroników amatorów.

# Wyświetlacze VFD od podstaw, część 1

## Zasilanie wyświetlacza VFD

Na początku przypomnę najważniejsze moim zdaniem szczegóły, które pozwolą zrozumieć zjawiska fizyczne zachodzące w wyświetlaczach VFD.

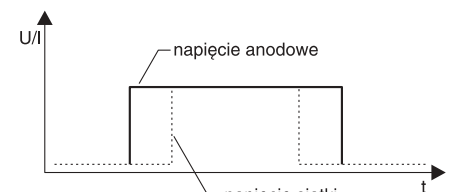
Wyświetlacz VFD to rodzaj trój-elektrodowej lampy próżniowej. Typowo zbudowany jest z anody wykonanej na przykład z grafitu, pokrytej substancją będącą związkami fosforu



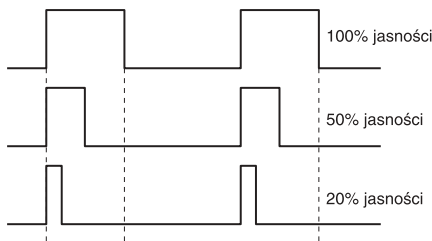
Rys. 1. Uproszczony schemat budowy wyświetlacza VFD

i zwaną luminoforem. Nad anodą umieszczona jest siatka oraz bezpośrednio żarzona katoda (brak jest osobnego żarnika - drut żarnika pełni jednocześnie funkcję katody - rys. 1). Elektrony zgromadzone wokół katody, wybite ze swych orbit na skutek jej bardzo wysokiej temperatury, są przyspieszane w kierunku anody przez dodatnie napięcie na siatce. Elektrony bombardujące anodę są powodem świecenia luminoforu.

Obecnie wytwarzane są wyświetlacze o różnych kolorach świecenia, zależnych od rodzaju użytego luminoforu. Najpopularniejsze są te, o kolorze zielonym ale można również spotkać się z kolorem świecenia białym, pomarańczowym lub niebieskim.



Rys. 2. Sekwencja załączenia segmentu wyświetlacza VFD



Rys. 3. Regulacja jasności świecenia wyświetlacza VFD

Wyświetlacz VFD charakteryzuje się bardzo dobrą widocznością wyświetlanych znaków. Są one doskonale czytelne nawet w złych warunkach oświetlenia. Dodatkowo jest możliwa regulacja jasności świecenia znaków. Jest ona realizowana bądź to przez zmianę wartości napięcia anodowego, bądź to przez zmianę czasu świecenia znaku (PWM). Będzie o tym mowa w dalszej części artykułu. Wadą tego rodzaju wyświetlacza jest bardzo duży pobór energii, który praktycznie umożliwia stosowanie go jedynie w urządzeniach stacjonarnych, zasilanych z sieci energetycznej. Energia prądu zasilającego konsumowana jest głównie przez żarnik, który w bardzo dużym wyświetlaczu pobiera nawet i 20 W.

### Napięcie anodowe

Wartość napięcia anodowego jak i maksymalnego prądu dla pojedynczego segmentu znaku, podana jest w karcie katalogowej konkretnego modelu wyświetlacza. Najczęściej, dla nowoczesnych miniaturowych wyświetlaczy VFD, wartość napięcia anodowego waha się w okolicach 18 do 24 V, a prąd anodowy ma natężenie kilku miliamper. Oczywiście wartość prądu zależy od takich czynników jak chociażby wielkość wyświetlanych znaków i jasność ich świecenia. Elektronik konstruktor łatwo zorientuje się, że nie jest trudno zbudować źródło napięcia zasilania o podanych wyżej parametrach, przeznaczony do zasilania anody VFD.

### Napięcie siatki

Segment wyświetlacza VFD świeci, gdy przyłożone jest napięcie żarzenia o odpowiedniej wartości, przyłożone jest dodatkowo napięcie anodowe oraz dodatnie napięcie siatki. W praktyce nie wytwarza się osobnych źródeł napięcia zasilającego dla siatki oraz dla anody. Najczęściej napięcie siatki jest równe napięciu anodowemu. Można oczywiście zmieniać wartość napięcia anodowego w celu regulacji jasności świecenia, jednak najczęściej stosowane jest rozwiązanie, w którym jasność świecenia VFD regulowana jest za pomocą zmiany czasu załączenia świecenia segmentu. Zasadę tę zilustrowano na rys. 2. Jest to uzasadnione zarówno od strony ekonomicznej (tańsze źródło napięcia) jak też zbieżne z zasadami działania kontrolerów wyświetlaczy. Przy okazji opisu cech charakterystycznych dla napięcia siatki jedna bardzo ważna uwaga. Sekwencja załączająca wyświetlacza, pod groźbą uszkodzenia drivera wyjściowego, powinna wyglądać tak, jak przedstawiono to na rys. 2: przy załączeniu świecenia jako pierwsze musi być przyłożone napięcie siatki, dopiero później może się pojawić napięcie anodowe. Odwrotnie postępujemy gasząc segment: najpierw musi zostać odłączone napięcie siatki dopiero później wolno nam wyłączyć napięcie anodowe.

### Napięcie żarzenia

Napięcie żarzenia ma ogromny wpływ na jakość funkcjonowania wyświetlacza VFD. Brak zasilania żarzenia uniemożliwia pracę wyświetlacza. Jego niewłaściwa wartość lub kształt (!) mogą doprowadzić do sytuacji, gdy nie będzie możliwe uzyskanie poprawnego i równomiernego świecenia segmentów znaku. W praktyce może się to objawiać na przykład migotaniem lub „widmowym” świeceniem segmentów, które powinny być wyłączone. W związku z tym, że napięcie żarzenia to tak ważny czynnik, chciałbym przedyskutować tutaj kilka

różnych metod jego wytwarzania, do których przystosowana jest większość wyświetlaczy VFD. Do analizy występujących zjawisk musimy przypomnieć sobie fakt, że żarnik to bardzo długi drut oporowy rozciągnięty ponad segmentami VFD pełniący jednocześnie rolę katody. Producenci stosują równoległe połączenie kilku drutów w celu zapewnienia równomierności świecenia całego znaku.

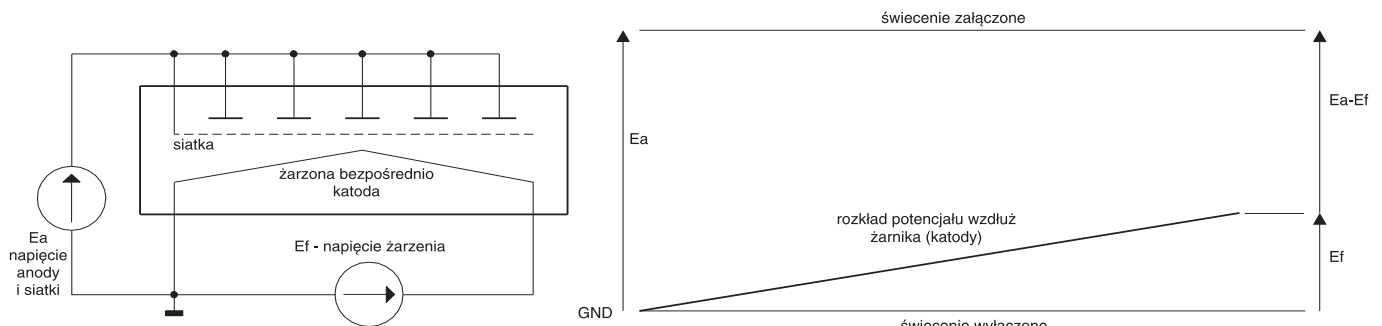
### Żarnik zasilany napięciem stałym

Rzadko stosowaną techniką jest zasilanie żarnika napięciem stałym. W praktyce rozwiązanie te stosowane jest dla bardzo małych wyświetlaczy o niewielkich znakach. Z kilku stosowanych przez mnie modeli różnych firm tylko jeden, bardzo stary, używał tego rodzaju napięcia żarzenia. Rozwiązanie to wydaje się więc zanikać aczkolwiek jest bardzo wygodne w stosowaniu. Na rys. 4 ukazano symboliczny układ połączeń.

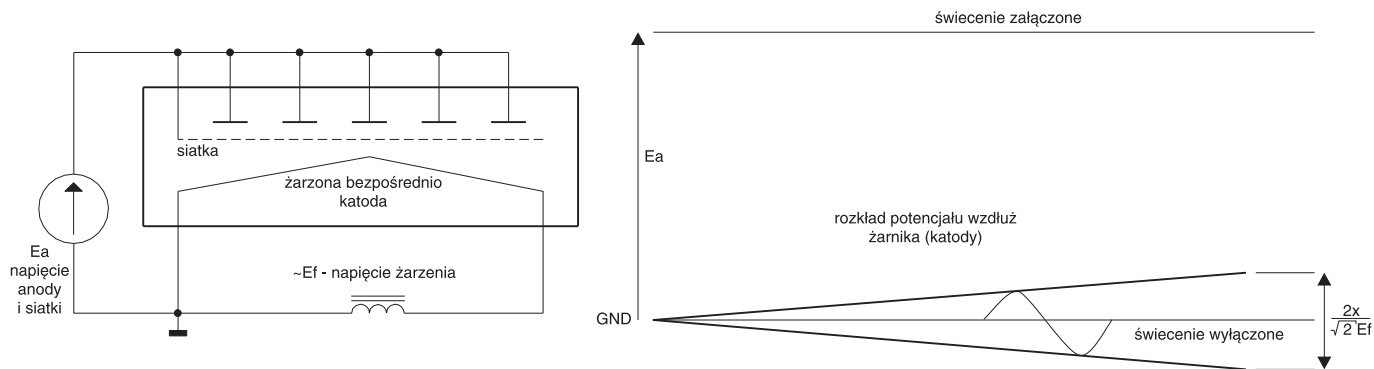
Żarnik będący jednocześnie katodą, jest wykonany z drutu oporowego. Zmiana rezystancji takiego drutu jest stała na jednostkę długości i przez to rozkład potencjału jest liniowy, wzdłuż całego żarnika: najwyższy od strony przyłożenia napięcia dodatniego (prawa strona rysunku), najniższy od strony podłączenia potencjału ziemi. Dla szerokich pól odczytowych owocuje to zmianą jasności świecenia najczęściej wszzer pola odczytowego. W praktyce zmiana świecenia kompensowana jest umieszczeniem końców żarnika na różnych wysokościach - innej dla końca pozytywnego, innej dla uziemionego jak również zmianą rozmiarów oczek siatki. Czasami stosowane jest zasilanie żarnika prądem stałym o modulowanej szerokości impulsów (PWM).

### Żarnik zasilany napięciem przemiennym

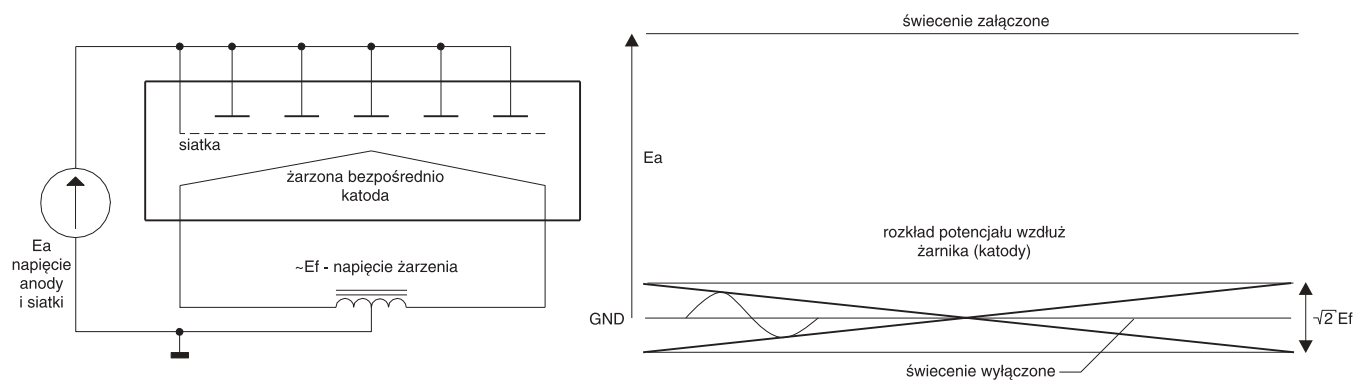
Najczęściej stosowaną techniką zasilania żarnika VFD jest przyłożenie napięcie przemiennego. Na rys. 5 i 6



Rys. 4. Zasilanie żarnika VFD napięciem stałym



Rys. 5. Zasilanie żarnika prądem przemiennym, jeden z końców źródła napięcia uziemiony



Rys. 6. Zasilanie żarnika prądem przemiennym, środek uzwojenia transformatora uziemiony

ukazano sposób połączenia żarnika - katody.

W układzie z rys. 5 występują problemy zbliżone do układu zasilanego prądem stałym. Podczas gdy po jednej stronie żarnika wyświetlacza przyłożone jest napięcie  $E_a$ , po drugiej panuje napięcie  $E_a - 2x2^{1/2} \cdot E_f$ . Może to powodować zmiany jasności świecenia i wymaga podobnej kompensacji jak w przypadku zasilania napięciem stałym. Znacznie mniejsze zmiany napięcia występują, gdy środek uzwojenia transformatora zasilającego żarnik zostanie uziemiony. Te drobna modyfikację zilustrowano na rys. 6. Układ taki z drobnymi modyfikacjami jest preferowany w praktyce i najczęściej stosowany. Łatwo jest z jego pomocą skompensować ewentualne nierówności świecenia, ponieważ rozkład napięcia na żarniku jest symetryczny i niezależny od strony podłączenia potencjału ziemi. Kompensację można więc przeprowadzić przez zwykłą zmianę wielkości oczek elektrody siatki.

W przypadku zasilania prądem przemiennym najczęściej stosowane są układy przetwornic z transformatorem wyjściowym. Należy zadbać o to aby napięcie wyjściowe z takiej przetwornicy zawierało minimalną ilość zniekształceń. Nie jest to trud-

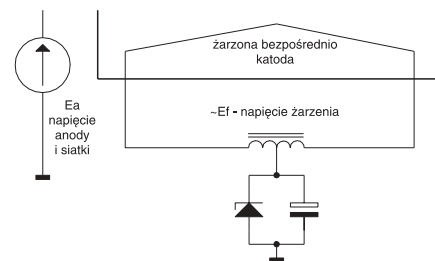
ne, ponieważ żarnik ma stosunkowo małą rezystancję (kilkadziesiąt - kilkadziesiąt  $\Omega$ ), jednak trzeba pamiętać, że wszelkiego rodzaju impulsy szpilkowe mogą powodować miejscowe zmiany jasności świecenia oraz efekt „wędrującego” obrazu.

Pewna sprzeczność występuje pomiędzy notami aplikacyjnymi różnych producentów. Jedni z nich zalecają aby częstotliwość napięcia wyjściowego przetwornicy zasilającej żarzenie była niższa niż 30 kHz, inni aby mieściła się w granicach od 10 do 100 kHz. Moim zdaniem powinna być co najmniej 20 kHz, ponieważ czasami żarniki niektórych wyświetlaczy na skutek zmian płynącego prądu funkcjonują jak... głośnik. Źle wykonany układ zasilania żarzenia owocuje cichym ale słyszalnym i niezbyt miłym dla ucha piskiem. W wykonanej aplikacji dostarczane z przetwornicy napięcie żarzenia ma częstotliwość aż 300 kHz i nie zauważyłem żadnego wpływu na jakość pracy układu. Świadczy to o tym, że parametr ten nie jest krytyczny dla pracy VFD.

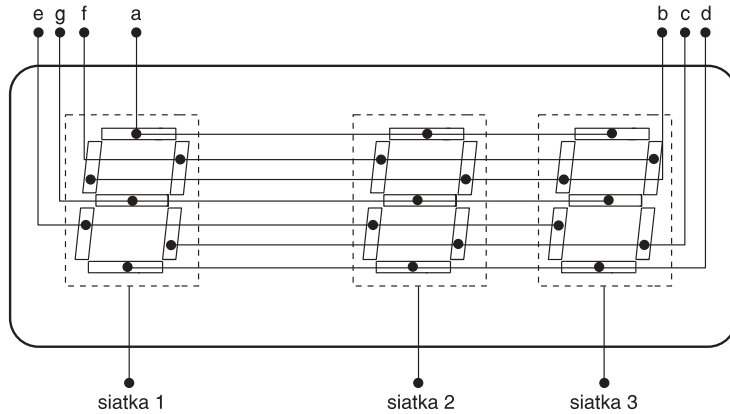
### Napięcie odcięcia

Opis warunków zasilania nie byłby pełny bez omówienia tzw. napięcia odcięcia prądu anodowego. Jak

omawiano to wcześniej, segmenty znaku świecą, gdy do siatki oraz anody zostanie niemal jednocześnie przyłożone pozytywne napięcie (pamiętajmy o warunkach załączenia!). Gdy napięcie siatki lub anody jest niższe od napięcia katody (żarzenia), wówczas świecenie segmentu może być zupełnie przypadkowe. W związku z tym aby z całą pewnością wyłączyć prąd anodowy, napięcie anodowe musi być niższe niż napięcie żarzenia. Ten ujemny potencjał zwany jest napięciem odcięcia. W statycznie sterowanych wyświetlaczach wyłącznie anoda wymaga napięcia odcięcia, natomiast w wyświetlaczach sterowanych dynamicznie jest to warunek konieczny dla prawidłowej pracy zarówno siatki jak i anody.



Rys. 7. Praktyczna metoda realizacji układu wypracowywania napięcia odcięcia



Rys. 8. Połączenia wewnątrz wyświetlacza sterowanego dynamicznie (na przykład Futaba 7-LT-109)

Typowo wartość napięcia odcięcia to 0 do -4 V. Napięcie to dla anody zależy od właściwości fizycznych pokrywających ją związków fosforu, natomiast dla siatki od energii elektronów emitowanych przez katodę. Zazwyczaj napięcie odcięcia siatki jest niższe od napięcia odcięcia anody. Upraszczając można powiedzieć, że temperatura i sposób wykonania katody limitują wartość napięcia odcięcia. W praktycznych zastosowaniach, mimo omawianych wyżej różnic, stosowane jest pojedyncze napięcie odcięcia dla siatki i anody o wartości właściwej napięciu odcięcia siatki.

### Dynamiczne sterowanie wyświetlaczem VFD

Wyświetlacze VFD, posiadające więcej niż jeden znak, najczęściej połączone są w układ, gdzie anody poszczególnych segmentów są zwarte a siatki zasilane oddzielnie sterują wyświetlaniem poszczególnych znaków.

Zasilanie siatki odpowiada tak jakby załączeniu wspólnej anody czy katody tradycyjnego wyświetlacza LED. Oczywiście spotyka się również wyświetlacze VFD, gdzie każda z anod wyprowadzona jest oddzielnie, jednak jest to rzadkość. Znacznie częściej spotkamy w praktyce te sterowane dynamicznie, o układzie połączeń zbliżonym do ukazanego na **rys. 8**.

Przy sterowaniu takiego wyświetlacza, pożądana jasność świecenia może być osiągnięta przez użycie jednej z dwóch metod:

- zmianę wielkości napięcia anodowego i siatki,
- zmianę szerokości impulsu załączającego świecenie.

Stosując tę pierwszą metodę należy pamiętać, że zmiana napięcia anodowego może występować tylko w pewnych granicach. Moje eksperymenty doprowadziły mnie do wniosków, że raczej niechętnie użyję tej metody. Zmiana jasności świecenia jest widoczna, jednak poniżej pewnej war-

tości napięcia segment nie świeci się równomiernie. Zdarzają się jaśniejsze i ciemniejsze miejsca: napięcie jest po prostu zbyt niskie. Nie próbowałem, co wydarzy się gdy przyłożone zostanie zbyt wysokie napięcie. Potrafię sobie jednak wyobrazić, że może to zaowocować uszkodzeniem anody lub luminoforu na skutek zbyt dużego prądu anodowego. Dodatkową trudność stanowi odpowiednie wykończenie przetwornicy zasilającej. W mojej aplikacji transformator wypracowujący napięcie anodowe i żarzenia jest wspólny. W związku z tym zmiana jednego z napięć (w mojej aplikacji pętla sprzężenia zwrotnego kontroluje napięcie anodowe) pociąga za sobą zmianę drugiego. Chcąc więc zachować idealne warunki zasilania, należałoby oba te napięcia wytwarzać oddzielnie. Komplikuje to układ przetwornicy i podnosi jej koszt. Znacznie łatwiejszą do realizacji jest metoda wymieniona jako druga, to znaczy zmiana szerokości impulsu załączającego wyświetlanie. Jej stosowanie, aczkolwiek również posiadające pewne limity, ogranicza się do zmian przeprowadzanych w aplikacji sterującej. Metodę tę limituje fakt, że poniżej pewnej szerokości impulsu świecenie segmentu znaku nie będzie widoczne a powyżej mogą się pojawić „prześwity“ pomiędzy sąsiednimi znakami. Karty katalogowe każdego z producentów zawierają najczęściej dane dotyczące współczynnika wypełnienia, tzw. *duty factor*. Dla wyświetlacza firmy Futaba jako maksymalna wartość podawany jest stosunek czasu załączenia do czasu wyłączenia równy 1/8,75.

**Jacek Bogusz, EP**  
**jacek.bogusz@ep.com.pl**