



# Sztuczne obciążenie w.cz. o impedancji 50 Ohm (1)

W artykule opisano projekt sztucznego obciążenia zmiennoprądowego w.cz. o dopuszczalnej mocy strat rzędu 5...10 W (QRP), przeznaczonego do pracy w pasmie KF. Jest to pierwsza część podwójnego projektu sztucznych obciążeń zmiennoprądowych małej mocy i zarazem miękkie wprowadzenie do świata projektów urządzeń nadawczo-odbiorczych. Takim bowiem konstruktorom autor tego podwójnego projektu zamierza poświęcić więcej uwagi.

Opisany w tym artykule przyrząd to tzw. sztuczne obciążenie (*dummy load*) zmiennoprądowe, przeznaczone przede wszystkim do pracy z wysokimi częstotliwościami radiowymi (w.cz.) z przedziału co najmniej od 100 kHz do 30 MHz. Jest to urządzenie absolutnie niezbędne w warsztacie każdego radioamatora – konstruktora. Jego główne przeznaczenie to pełnienie funkcji wzorcowego obciążenia wyjścia wzmacniacza mocy w.cz. o dopasowanej rezystancji  $R_{load}=50\ \Omega$ . Takie obciążenie jest niezwykle przydatne w trakcie wszelkich prób technicznych oraz napraw, regulacji, a także strojenia

wzmacniaczy, bowiem rzeczywiste obciążenie antenowe może nie być akurat dostępne lub – co jeszcze bardziej prawdopodobne – nie mieć odpowiednio stabilnych i neutralnych parametrów (jak np. stała i rzeczywista, dopasowana impedancja, równa dokładnie  $50\ \Omega$ ) w całym wymaganym pasmie oddziaływania testowanego źródła energii w.cz.

## Zasada działania i właściwości urządzenia

Rysunek 1 pokazuje schemat tego niezwykle prostego, ale przydatnego przyrządu. Sygnał mocy w.cz. jest podawany na wejście

Dodatkowe materiały do pobrania ze strony [www.media.avt.pl](http://www.media.avt.pl)

**W ofercie AVT\* AVT-3210**

### Podstawowe parametry:

- przeznaczone do pracy z częstotliwościami od 100 kHz do 30 MHz,
- impedancja równa dokładnie  $50\ \Omega$  w całym pasmie,
- dopuszczalna ciągła moc strat 5 W (przez krótki czas do 10 W),
- wyposażony w prosty detektor szczytowy.

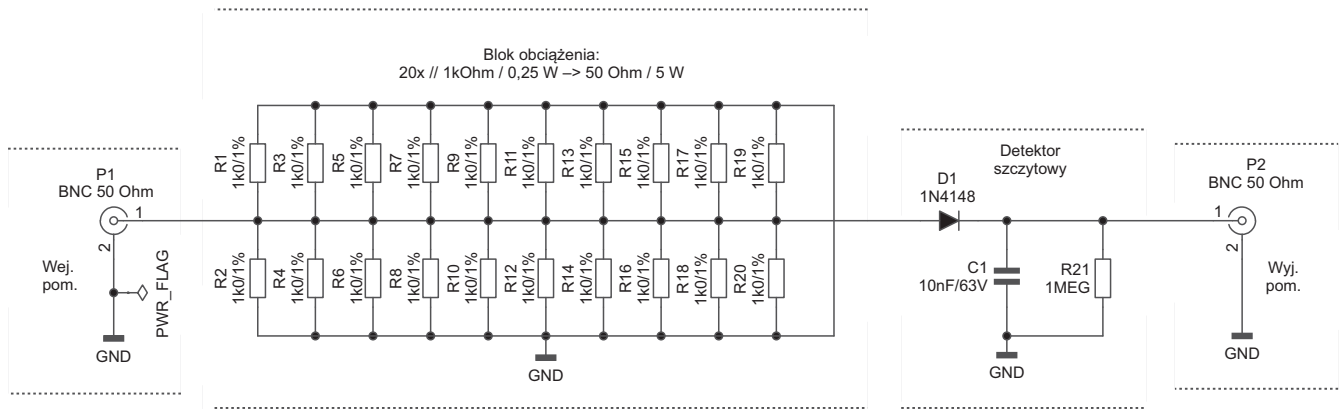
### Projekty pokrewne na [www.media.avt.pl](http://www.media.avt.pl):

AVT-5586	Programowalne sztuczne obciążenie DC (EP 11/2018)
AVT-5510	Sztuczne obciążenie (EP 8/2015)
AVT-1797	Sztuczne obciążenie wysokonapięciowe (EP 4/2014)

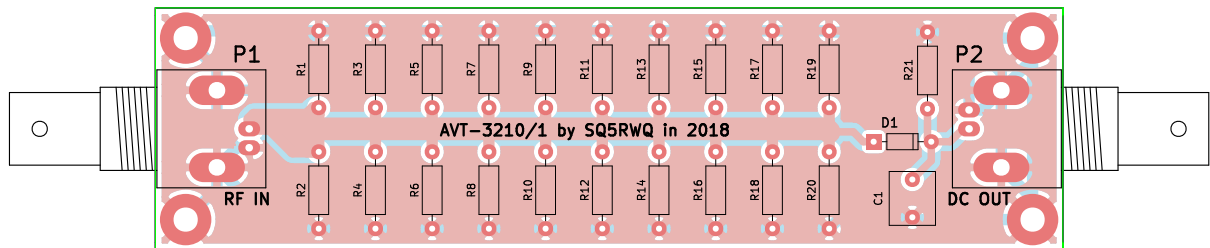
### Uwaga! Elektroniczne zestawy do samodzielnego montażu. wymagana umiejętność lutowania!

Podstawowa wersja 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 wzlutować 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 wzlutowane 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](mailto:kity@avt.pl).



Rysunek 1. Schemat elektryczny urządzenia



Rysunek 2. Schemat płytki PCB wraz z rozmieszczeniem elementów

P1, zrealizowane w postaci koncentrycznego gniazda (męskiego) typu BNC. Zasadniczo w urządzeniach radiokomunikacyjnych do przenoszenia znacznych mocy w.cz. stosuje się złącza typu UC-1, jednak w zakresie mocy do 20 W włącznie akceptowalne jest stosowanie połączeń typu BNC.

Wejściowy sygnał mocy jest wprowadzany na zestaw 20 sztuk połączonych równolegle rezystorów R1...R20 o opornościach równych 1 kΩ, tolerancji 1% i nominalnych mocach strat termicznych równych 0,25 W. Zastosowanie popularnych rezystorów o tolerancji 5% mogłoby pogorszyć nieco własności impedancyjne (a więc i dopasowanie do źródła energii przyrządu), bowiem rozrzuty wartości elementów, pochodzących z tej samej serii produkcyjnej, mogłyby okazać się podobne i – w rezultacie – nie skompensować się w ramach oczekiwanej wypadkowej impedancji 50 Ω.

Opisywana konstrukcja jest w stanie bezproblemowo odprowadzać 20×0,25 W=5 W mocy ciągłej. Jakkolwiek eksperymenty praktyczne (pokazane także na fotografii tytułowej) wykazały, że przy odpowiednio starannej konstrukcji przyrząd bez problemu wytrzymuje obciążenie mocą nawet do 10 W przez kilka minut – bez nagrzewania się do temperatur, które mogłyby go uszkodzić. Oczywiście, zastosowanie oporników o mocy zwiększonej z 0,25 W do 0,5 W zapewne podwoiłoby tę moc, jednak mogłoby nieco pogorszyć właściwości impedancyjne przyrządu.

Należy podkreślić, że konstrukcja oparta na zestawie połączonych równolegle niewielkich rezystorów o małej dopuszczalnej mocy strat, w miejsce użycia mniejszej liczby rezystorów (lub nawet pojedynczego opornika)

większej mocy, nie jest błędem konstrukcyjnym i ma dwa główne cele. Pierwszym jest zmniejszenie wypadkowej pasywności indukcyjności szeregowej  $L_s$  obciążenia, która w przypadku połączenia równoległego oporników ulega redukcji w stopniu równym ich ilości. Drugi cel, to poprawa warunków oddawania ciepła (poprzez zastosowanie zestawu rozproszonych, oddalonych od siebie rezystorów), która obniża efektywną temperaturę pracy aktywnych elementów (oporników). To z kolei zjawisko znacznie ogranicza termiczne zmiany wartości ich rezystancji a – w konsekwencji – stabilizuje dopasowaną wartość rzeczywistej impedancji, równej 50 Ω, w szerokim zakresie częstotliwości radiowych.

Równoległe do zestawu oporników dołączony jest prosty detektor szczytowy, oparty na topologii jednopółkowego prostownika szeregowego z diodą D1 (1N4148). W tym układzie kondensator C1 (10 nF) pełni funkcję filtra wygładzającego szczyty wyprostowanych połówek mierzonego sygnału sinusoidalnego. Natomiast rezystancja R21 (1 MΩ) ma za zadanie rozładowywać pojemność C1 w sytuacji, gdy spadnie poziom mierzonego napięcia wejściowego  $U_{in}(P1)$  lub zaniknie ono całkowicie. Stała czasowa rozładowania tego równoległego dwójnika RC (w przypadku nieobciążonego wyjścia pomiarowego) wynosi 10 ms i pozwala prawidłowo pracować z częstotliwościami mierzonych sygnałów nawet znacznie poniżej 100 kHz. Zmierzone stałe (lub wolnozmiennne) napięcie jest podawane na port wyjściowy P2, zrealizowany tutaj także w formie gniazda BNC. Takie rozwiązanie nie ma na celu zapewnienia stałego

dopasowania do impedancji 50 Ω w całym torze wyjściowym, ale jedynie umożliwienie wyprowadzenia sygnału mierzonego z zastosowaniem koncentrycznego kabla ekranowanego, chroniącego skutecznie małe napięcia mierzone przed zewnętrznymi silnymi zakłóceniami elektromagnetycznymi, które mogą pochodzić m.in. z badanych wzmacniaczy mocy w.cz.

## Montaż przyrządu

Na **rysunku 2** pokazano layout płytki drukowanej sztucznego obciążenia wraz z rozmieszczeniem na niej elementów. Pokrycie strefą masy występuje po obu stronach PCB, co ma na celu przede wszystkim poprawę emisji wytwarzanego w układzie ciepła. Montaż przyrządu należy rozpocząć od przygotowania rezystorów R1...R20 poprzez zagięcie ich wyprowadzeń w kształcie litery „U”, odpowiednie do rozstawu otworów montażowych na PCB. Następnie

REKLAMA

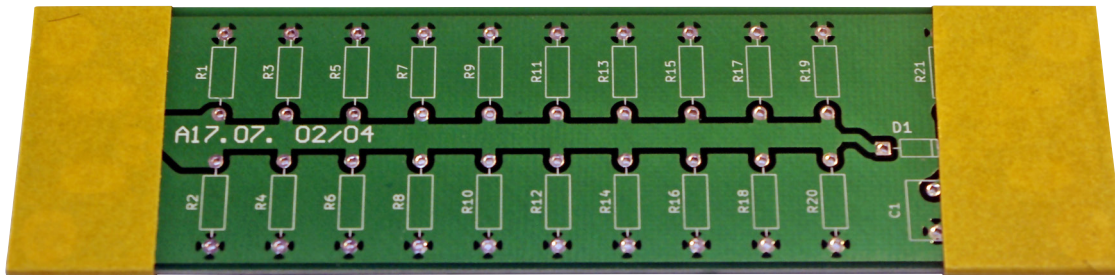
Specjalistyczne szkolenia dla elektroników i automatyków

STM32

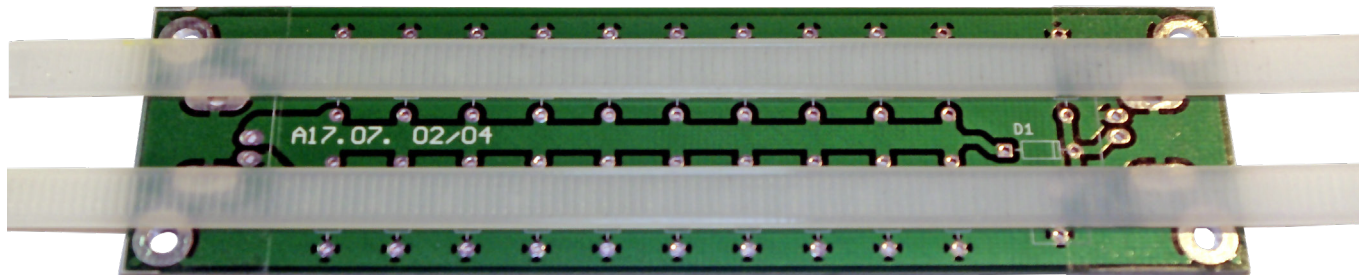
TECHDAYS

techdays@techdays.pl  
TECHDAYS.PL

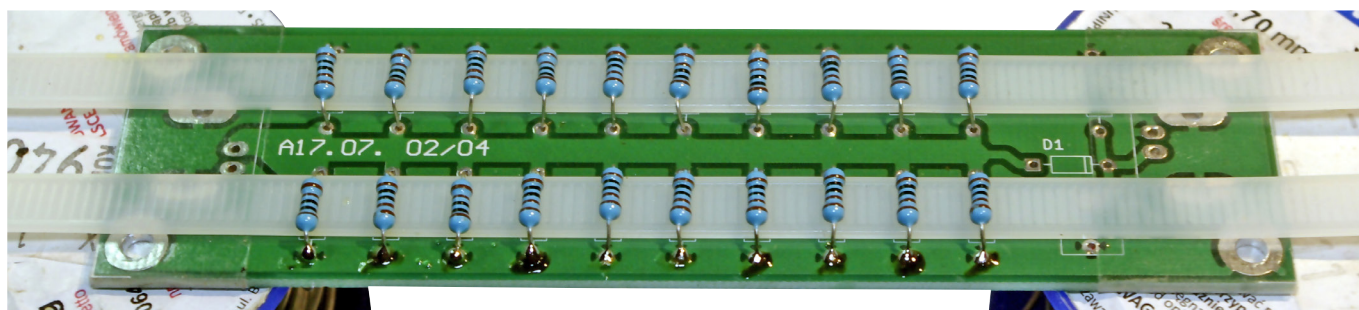
CERTYFIKOWANY PARTNER SZKOLENIOWY  
life.augmented



Fotografia 3. Montaż rezystorów – przygotowanie taśmy dwustronnej



Fotografia 4. Montaż rezystorów – przygotowanie dystansów



Fotografia 5. Zamontowane rezystory

należy starannie przygotować płytkę drukowaną do montażu tych elementów. **Fotografie 3, 4 i 5** przybliżają kolejność oraz szczegóły prawidłowego montażu przyrządu. Widać na nich, w jaki sposób zastosowano dwustronną taśmę samoprzylepną do mocowania dwóch tymczasowych elementów podpierających, wykonanych z opasek samozaciskowych, wykonanych z tworzywa sztucznego o odpowiedniej szerokości.

Po solidnym zalutowaniu rezystorów R1...R20 (najlepiej po obu stronach PCB) opaski samozaciskowe należy delikatnie odkleić od PCB i wysunąć spod rezystorów, a następnie usunąć odcinki taśmy samoprzylepnej dwustronnej oraz zmyć (np. denaturatem) resztki pozostałego po niej kleju.

Montaż pozostałych elementów nie wymaga szczególnego komentarza. Układ nie wymaga żadnego uruchomienia, natomiast warto jest zastosować obudowę metalową,

która zapewni funkcje: dobrego ekranowania oraz odprowadzania ciepła z przyrządu. Taka metalowa obudowa powinna być starannie i wielopunktowo połączona galwanicznie z masą PCB przyrządu, a jej zewnętrzna powierzchnia dla bezpieczeństwa eksploatacji powinna zostać pokryta lakierem o dobrych własnościach izolacyjnych.

Fotografia tytułowa pokazuje przykładową realizację przyrządu z obudową wykonaną z kawałków laminatu, dwustronnie pokrytego miedzią i metalizowanego stopem niskotemperaturowym o wysokiej przewodności.

### Eksploatacja przyrządu

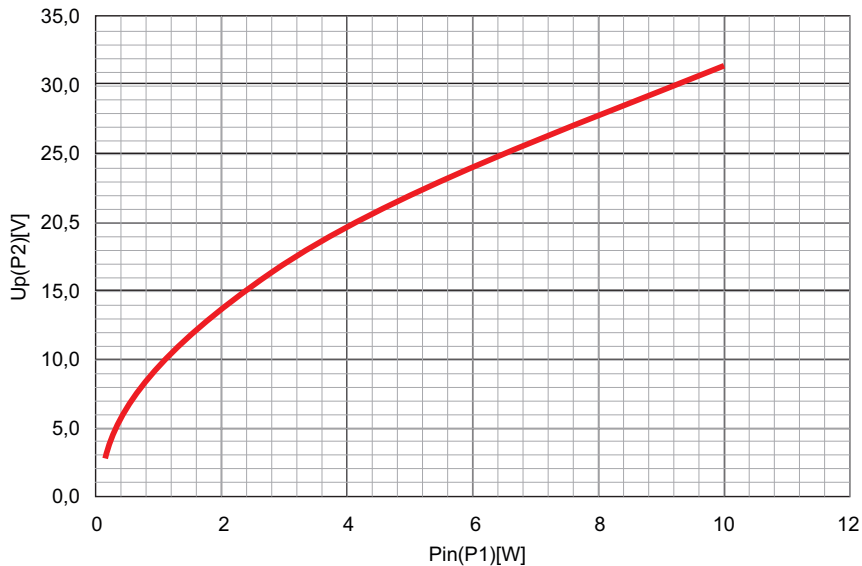
Prawidłowa i bezpieczna eksploatacja przyrządu sprowadza się do podłączenia do wejścia P1 (gniazda BNC) źródła energii w.c.z. o impedancji wyjściowej jak najbardziej zbliżonej do 50 Ω (niedopasowanie może wywołać niebezpieczne przepięcia, wynikające z powstawania fali stojącej w torze przesyłu mocy w.c.z.) i mocy dysponowanej nieprzekraczającej 5...10 W. W egzemplarzu modelowym sprawdzono bezpieczne rozpraszanie mocy o wartości 10 W nawet przez kilka minut, jednak może to zależeć od sposobu oraz staranności wykonania obudowy przyrządu i zasadniczo obciążanie przyrządu mocami znacznie przekraczającymi 5 W przez dłuższy okres nie jest

zalecane. Wartość mocy oddawanej do obciążenia możemy odczytać z **tabeli 1** lub z wykresu na **rysunku 6**, które odwzorowują zależność na wartość szczytową  $U_p$  [V]

**Tabela 1. Wartości szczytowe napięcia odpowiadające wartościom mocy oddawanej do obciążenia**

Pin(P1) [W]	Up(P2) [V]
0,1	2,7
0,2	4,1
0,3	5,1
0,4	5,9
0,5	6,7
0,6	7,3
0,7	7,9
0,8	8,5
0,9	9,1
1	9,6
2	13,7
3	16,9
4	19,6
5	21,9
6	24,1
7	26,0
8	27,9
9	29,6
10	31,2

**Wykaz elementów:**  
**Rezystory:**  
 R1...R20: 1 kΩ/0,25 W/1%  
 R21: 1 MΩ/5%  
**Kondensatory:**  
 C1: 10 nF/63 V  
**Półprzewodniki:**  
 D1: 1N4148/D0-35  
**Inne:**  
 P1, P2: gniazda BNC 50 Ω (kątowe, lutowane do druku)  
 Obudowa: wg opisu w tekście



Rysunek 6. Wykres wartości szczytowej napięcia w funkcji mocy oddawanej do obciążenia

napięcia sinusoidalnego przy mocy chwilowej  $P_{in}$  [W], podanej na port P1 obciążenia  $R_{load}=50\ \Omega$ , pomniejszoną o uśredniony spadek napięcia na diodzie detekcyjnej D1, obciążonej rezystorem R21 i pojemnością C1:

$$U_p(P2) = \sqrt{2 \cdot R_{load} \cdot P_{in}(P1)} - 0,42 \text{ [V]}$$

Spadek napięcia na diodzie detekcyjnej D1 został wyznaczony obliczeniowo za pomocą modelu symulatora SPICE, podanego przez jednego z producentów diody 1N4148

jako właściwy dla typowego jej egzemplarza, oraz z użyciem podstawowych wzorów, obowiązujących dla tego przyrządu półprzewodnikowego. Dotyczy on obciążenia mocą  $P_{in}(P1)=5\ \text{W}$ , natomiast dokładne wartości dla zakresu mocy  $P_{in}(P1)=0,1...10\ \text{W}$  mieściły się pomiędzy 0,32 V a 0,44 V. Jakkolwiek w typowych przypadkach wartości te są nieporównywalnie mniejsze od mierzonego napięcia wyjściowego i dlatego przyjęte uśrednienie można uznać za bardzo

mało znaczące dla dokładności prowadzonego pomiaru.

## Podsumowanie projektu

W artykule opisano projekt tzw. sztucznego obciążenia, przeznaczonego do pracy z częstotliwościami radiowymi (w.cz.) z przedziału od 100 kHz do 30 MHz z dopasowaną rezystancją  $R_{load}=50\ \Omega$  co najmniej w całym podanym zakresie częstotliwości. Jest to urządzenie bardzo przydatne do napraw, regulacji i strojenia wzmacniaczy w.cz., ponieważ pełni funkcję rzeczywistego obciążenia antenowego z gwarantowanymi parametrami. To urządzenie, przy odpowiednio starannym wykonaniu, jest w stanie skutecznie konkurować zarówno cenowo, jak i jakościowo z gotowymi urządzeniami, dostępnymi ze sklepowej półki.

Więcej informacji o dalszych jego losach można będzie znaleźć na stronie www autora pod adresem: <http://sq5rww.pl/?p=1869>. W trakcie przygotowania jest także wersja przyrządu o dwukrotnie większej mocy rozpraszanej oraz z wbudowanym wielostopniowym wskaźnikiem poziomów mocy, opartym na diodach LED i rozwiązania układowe, odporne na występujące w układzie pomiarowym zakłócenia impulsowe.

Adam Sobczyk SQ5RWQ  
sq5rww@gmail.com  
<http://sq5rww.pl>

REKLAMA

Wszystko, co lubisz,  
w jednym miejscu



## UlubionyKiosk.pl

Oferuje papierowe i elektroniczne wydania czasopism z najważniejszych segmentów rynku:

budownictwo i wnętrza, muzyka i dźwięk, elektronika i automatyka, edukacja i hi-tech, rodzina.

Przesyłka  
**GRATIS**