

# CWduino KT-004

**Dostępny wersjach montażu: 80 m, 40 m i 20 m**  
**Kompaktowy nadajnik CW w pełni kompatybilny z płytką Arduino Uno**  
**500 mW mocy wyjściowej RF przy zasilaniu 5 VDC, 2000 mW przy 9VDC**  
**Wejście klucza telegraficznego, możliwość budowy klucza półautomatycznego**

## Właściwości

- Zintegrowany nadajnik CW w pełni kompatybilny z płytką Arduino Uno
- Praca w pasmach HF: 80, 40 and 20 m (zależnie od wersji zestawu)
- Stopień mocy w klasie E dla wysokiej sprawności
- 500 mW mocy RF przy zasilaniu 5 VDC z płytki Arduino
- 2000 mW mocy RF przy dodatkowym zasilaniu 9 VDC
- Wbudowany filtr zaporowy 2-giego rzędu w celu spełnienia wymagań normy CFR (-43 dBc)
- Wejście klucza telegraficznego (gniazdo mini-jack)
- Kluczowanie nadajnika z pinu PD4 (grupa IOL)
- Precyzyjna regulacja częstotliwości za pomocą trymera
- Gniazdo wyjściowe SMA w celu miniaturyzacji układu
- Gniazdo ISP do programowania AVR (piny 2x3)
- Prosty montaż, większość elementów przewlekanych

## Charakterystyka mechaniczna

- Pełna zgodność mechaniczna z płytką Arduino Uno™
- Dwuwarstwowa płytka PCB z soldermaską
- Kompaktowe rozmiary: 68 × 54 × 12 mm

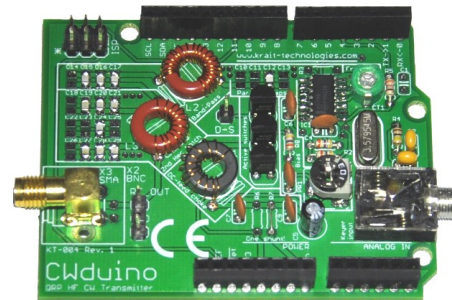
## Zastosowania

- Klucz automatyczny ze zintegrowanym stopniem TX
- Beacon CW sterowany z modułu Arduino Uno
- Eksperymentalny moduł TX zasilany bateryjnie
- Płytkę do eksperymentów ze stopniem mocy pracującym w klasie E
- Część składowa transceivera CW
- Eksperymentalny nadajnik CW sterowany z modułu Arduino Uno

## Opis ogólny

Zestaw CWduino (KT-004) jest kompaktowym nadajnikiem telegraficznym (CW) w pełni kompatybilnym z zestawem Arduino™ Uno. Zestaw CWduino opiera się o wysokowydajny stopień wzmacniacza mocy pracującego w klasie E. Wbudowane wejście do podłączenia klucza telegraficznego (gniazdo mini-jack stereo) pozwala na budowę klucza półautomatycznego. W takim przypadku jedno z wyjść mikrokontrolera kluczuje stopień nadajnika.

Trzy tranzystory MOSFET połączono równolegle w celu uzyskania jak najniższej rezystancji  $R_{ds(on)}$  przy pracy z niskim napięciem zasilania (5 VDC). Jeśli płytka Arduino Uno zasilana jest z zewnętrznego źródła napięcia, możliwe jest zwiększenie mocy wyjściowej układu: przy zasilaniu 9 VDC, możliwość uzyskania 2000 mW mocy RF. By zachować prostotę układu pominięto osobne obwody zabezpieczające: nadnapięciowe i nadprądowe. W związku z tym zachowano duży margines bezpieczeństwa jeśli chodzi o moc strat wydzielaną na tranzystorach, które mogą bezpiecznie rozproszyć wydzielane straty w trakcie pracy w warunkach niedopasowania impedancyjnego obciążenia.



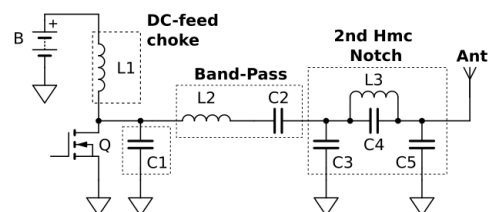
RYSUNEK 1. Widok zmontowanej płytki CWduino KT-004

## Opis układu

Wzmacniacz pracujący w klasie E (wynaleziony w 1964 roku) jest wysokosprawnym wzmacniaczem impulsowym używanym w aplikacjach RF [1]. Wykorzystuje on element przełączający i dostrojoną sieć rezonansową między łącznikiem półprzewodnikowym a obciążeniem. Obwód uzyskuje wysoką sprawność, ponieważ element przełączający pracuje tylko w punktach zerowego prądu i zerowego napięcia, co minimalizuje straty mocy w przełączniku, nawet gdy czas przełączania łącznika jest długi w porównaniu do częstotliwości roboczej. W klasie E wartości obwodu rezonansowego są dobrane w taki sposób, że pojemność wyjściowa tranzystora też jest częścią obwodu rezonansowego. [2]

Topologia układu przedstawiona jest na rysunku 2. Układ składa się z trzech charakterystycznych grup:

- 1) dławika w obwodzie DC (L1) podłączonego do łącznika (Q),
- 2) zewnętrznej pojemności (C1) podłączonej równolegle do paśmozabójczej pojemności tranzystora MOSFET (obwodu dren-źródło),
- 3) filtra pasmowoprzepustowego (L2-C2), który zapewnia dodatkowo wymaganą transformację impedancji,
- 4) filtra środkowozaporowego drugiej harmonicznej (C3-C4-C5-L3) który pomaga silnie wytłumić niepożądaną drugą harmoniczną (blok ten nie jest ściśle wymagany, ale pozwala spełnić wymagania normy CFR).



RYSUNEK 2. Topologia wzmacniacza pracującego w klasie E

Oscylator lokalny (VCO) zbudowany jest z wykorzystaniem jednej z bramek NAND układu 74ACT00. Częstotliwość pracy oscylatora regulowana jest za pomocą trymera C2.

Układy TTL w wersji ACT posiadają wydajność prądową 24 mA, co pozwala bezpośrednio sterować bramką tranzystorów MOSFET. Zastosowane tranzystory BS170 posiadają bardzo niską pojemność wejściową  $C_{oss}$  (17 pF), więc mogą być bezpośrednio sterowane za pomocą bramek logicznych. Tranzystory MOSFET sterowane są przebiegiem o wypełnieniu 50%. Dodatkowy układ regulacji napięcia bias (PR1) pozwala ustawić optymalny punkt pracy tranzystorów.

Płytkę wyposażoną jest w wejście mini-jack (X1), które pozwala na podłączenie klucza sztorcowego (Paddle A), jak i klucza dwudźwigniowego (Paddle A i Paddle B). Warto zwrócić uwagę, że sygnały elektryczne z klucza telegraficznego doprowadzone są wypadkowo do pinów: 2 (INT0) i 3 (INT1) mikrokontrolera, które są wejściami przerwań zewnętrznych, co ułatwia pisanie oprogramowania. W podobny sposób, sygnał sterujący kluczowaniem nadajnika wystawiony jest na pin 4 mikrokontrolera, który podłączony jest do sprzętowego TIMER\_0.

Przykładowe programy napisane w środowisku Arduino są do pobrania z lokalizacji poniżej:

[http://www.krait-technologies.com/cwduino\\_examples.zip](http://www.krait-technologies.com/cwduino_examples.zip)

Złącze JP1 pozwala programować płytkę Arduino™ Uno przez standardowe gniazdo 2x3, bez konieczności demontażu płytki CWduino.

Kondensatory pracujące w obwodach rezonansowych są typu NP0 (COG), co zapewnia świetną stabilność i brak procesów starzeniowych.

W obwodach rezonansowych umieszczono więcej niż potrzeba pól na montaż kondensatorów SMT, by móc łatwo prowadzić eksperymenty z doбором pojemności. Warto zwrócić uwagę, że każda robocza pojemność z rysunku 2 ma cztery odpowiadające pola lutownicze na layoutcie płytki.

By zachować prostotę układu nadajnika pominięto obwody zabezpieczające: nadprądowe i nadnapięciowe. Ze względu na zastosowanie trzech tranzystorów pracujących równolegle, nawet w warunkach niedopasowania impedancyjnego obciążenia, nadmiar mocy strat wydzieli się na tranzystorach nie powodując ich uszkodzenia. W podobny sposób zachowany jest odpowiedni margines napięciowy. Jakkolwiek nie zaleca się celowej pracy układu bez podłączonego obciążenia lub w warunkach dużego niedopasowania. Optymalna praca układu możliwa jest tylko przy obciążeniu 50 R.

► Zestaw CWduino jest nadajnikiem RF, w związku z tym przewidziany jest tylko do użytkowania przez licencjonowanych radiooperatorów.

#### Referencje:

[1] Ewing G.D., "High-Efficiency Radio-Frequency Power Amplifiers", Oregon State University, submitted in April, 1964.

[2] Sokal. N.O. "Class-E RF Power Amplifiers", QEX 2001, 204, 9-20.

## Wartości graniczne

Maksymalne napięcie wejściowe: 9VDC  
Maksymalna mocy wyjściowa: 50R@5V:500 mW (+ 27dBm)  
Maksymalna mocy wyjściowa: 50R@9V:2000 mW (+33 dBm)  
Moc strat przy  $P_{i\_max}$  @ 50R: 0.6 W  
Temperatura pracy układu: -25°C to +65°C  
Temperatura lutowania (Soldering 10 sec): +300°C

## Procedura montażu

Montaż warto rozpocząć od najmniejszych elementów (kondensatory SMD i układ scalony w obudowie SO-14), następnie rezystory THT, a na sam koniec elementy ferromagnetyczne (rdzenie z uzwojeniami). Wszystkie gniazda powinny być montowane na samym końcu.

### Warianty montażu

Zestaw CWduino wymaga odpowiedniej obsady elementów zależnie od oczekiwanej funkcji:

- jeśli podłączony będzie tylko telegraficzny klucz sztorcowy → montować R2, R3, C1; nie montować R5,
- jeśli do kluczowania stopniem nadajnika wykorzystany będzie tylko mikrokontroler AVR (tryb pracy beacon) → nie montować R3 i C1,
- jeśli podłączony będzie klucz dwudźwigniowy i wykorzystany mikrokontroler AVR (klucz półautomatyczny) → montować rezystory R1, R2, R5; nie montować elementów R3, C1.

### Procedura nawijania uzwojeń na rdzeniach ferrytowych

Uwaga: jeśli powyżej płytki CWduino montowana będzie kolejna, wówczas wszystkie rdzenie toroidalne muszą być zamontowane w pozycji poziomej.

► Dobrą praktyką jest rozmieszczenie uzwojeń na całym obwodzie rdzenia toroidalnego.

► Jeśli to możliwe, należy zmierzyć indukcyjność każdej nawiniętej cewki, by zapewnić pracę układu wzmacniacza w optymalnym punkcie pracy. Do tego celu najlepiej użyć VNA. Pomiar wykonywać na docelowej częstotliwości pracy układu. Wymagane wartości podano w tabeli 2.

### Instalacja gniazda koncentrycznego

Płytkę CWduino przystosowana jest do montażu dwóch typów kątowych gniazd koncentrycznych:

- SMA type (X3) [dostarczone w zestawie]
- BNC type (X2) [opcjonalne]

### Odstępy izolacyjne

Zwrócić uwagę na odstępy izolacyjne do kolejnej płytki zamontowanej poniżej/powyżej. Zastosować dodatkowy materiał izolacyjny, żeby uniknąć zwarcia z innymi elementami.

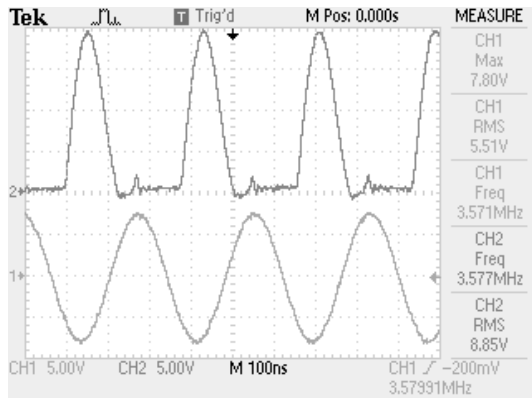
## Procedura uruchomienia

Podłączyć dwie sondy pasywne do punktów:

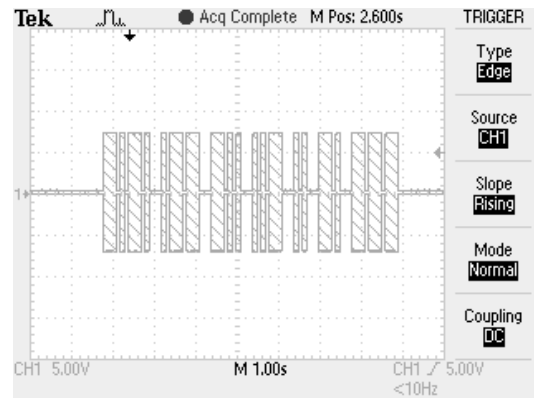
CH1 – punkt D-S względem GND

CH2 – punkt RF\_OUT względem GND

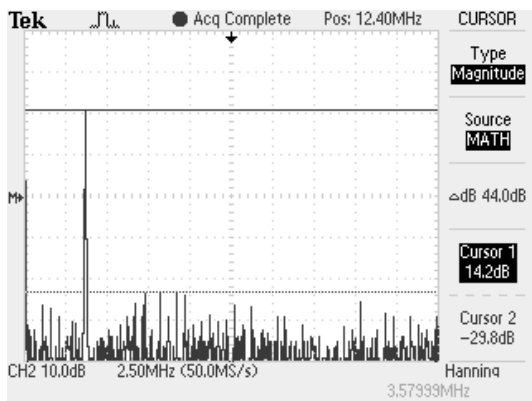
Do regulacji układu wykorzystaj plastikowy stroik. Regulację częstotliwości wyjściowej wykonać za pomocą trymera (CT1), natomiast napięcie bias za pomocą potencjometru montażowego (PR1). Optymalny przebieg napięcia drain-source tranzystorów MOSFET przedstawiono na rysunku 3. Dobrym punktem startowym do regulacji napięcia bias jest środkowe położenie potencjometru. W trakcie regulacji mierzyć prąd pobierany przez układ i porównać to z napięciem na wyjściu nadajnika (pośrednio mocy wyjściowej). Jeśli obracanie potencjometru zgodnie z ruchem wskazówek zegara nie powoduje zwiększenia mocy wyjściowej wzmacniacza oznacza to, że ustawiono optymalne napięcie bias obwodu bramkowego tranzystorów.



**RYSUNEK 3.** Praca wzmacniacza w klasie E przy zasilaniu 5VDC: CH1 – napięcie wyjściowe RF, CH2 – napięcie na tranzystorze MOSFET dren-źródło



**RYSUNEK 4.** Przykład pracy płytki CWduino w trybie "beacon": CH1 – napięcie wyjściowe RF



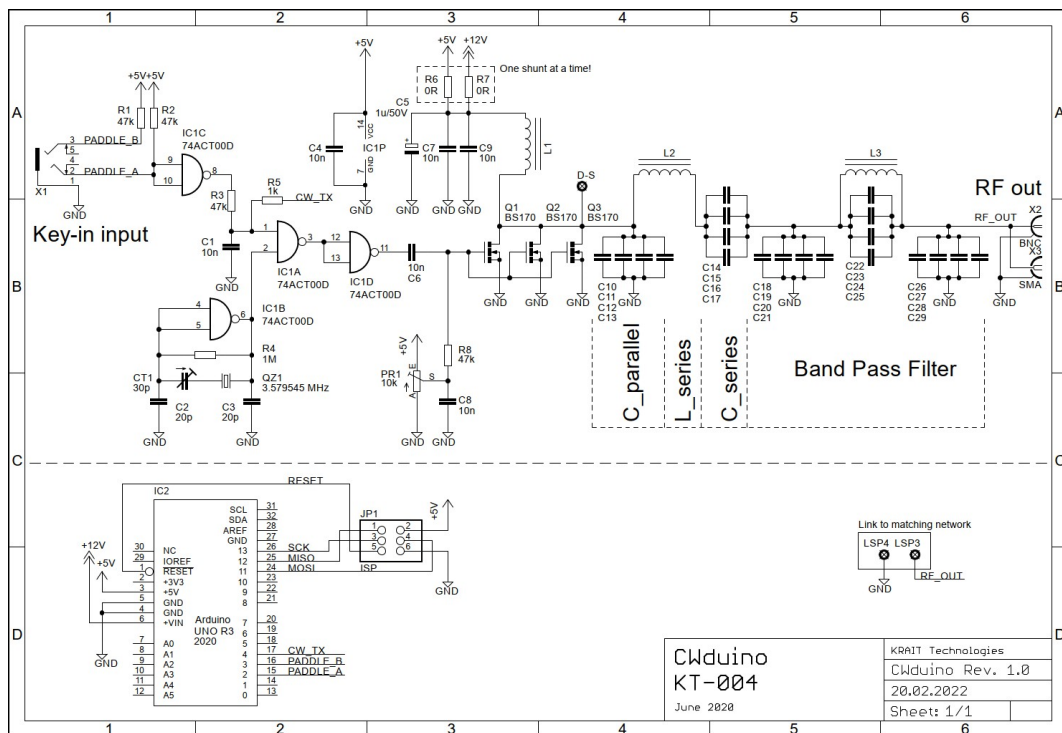
**RYSUNEK 5.** Analiza widma napięcia wyjściowego RF przy pracy z obciążeniem 50R. Zmierzono odstęp harmonicznych do nośnej na poziomie -44 dB

### Kontrola końcowa

Podłączyć sztuczne obciążenie (50R) do wyjścia płytki CWduino. Podłączyć pasywną sondę do punktów RF\_OUT i GND, a następnie włączyć zasilanie. Ustawić analizę FFT w oscyloskopie i sprawdzić poziom wyższych harmonicznych.

Norma 47 CFR Part 97.307(d) określa dopuszczalne poziomy harmonicznych. Poniżej częstotliwości 30 MHz, wszystkie generowane składowe (harmoniczne i pozaharmoniczne) muszą być słumione co najmniej 43 dB poniżej podstawowej harmonicznej. Dla zakresu częstotliwości 30-225 MHz, tłumienie powinno wynosić co najmniej 60 dB.

**Uwaga:** Praca płytki CWduino przy zasilaniu 12,0 V skutkuje napięciem szczytowym 60 V na tranzystorach MOSFET i mocą wyjściową nadajnika równą 4 W podczas pracy z obciążeniem 50R. Ta wartość napięcia jest maksymalną dopuszczalną wartością napięcia dla tranzystora BS170. Jakikolwiek niedopasowanie na wyjściu układu spowoduje ich uszkodzenie!



**RYSUNEK 6.** Schemat ideowy płytki CWduino (KT-004)

## Lista komponentów

**Tabela 1.** Lista elementów (niezależna od częstotliwości)

Lp.	OZNACZENIE	OPIS	ILOŚĆ	NUMER CZĘŚCI	WARTOŚĆ
1	X1	Gniazdo mini-jack przewlekane kątowe	1		
2	X2 X3	SMA THT gniazdo kątowe żeńskie BNC THT gniazdo kątowe żeńskie (opcjonalne; nie załączone w zestawie)	1 0	-	-
3	R1, R2, R3, R5	THT, 0,125 W, 47k rezystor	4		
4	R4	THT, 0,125 W, 1M rezystor	1		
5	R6	THT, zwora 0R	1		
6	C2, C3	THT, 20pF kondensator ceramiczny	2		
7	C1, C4, C6, C7, C8, C9	THT, 10nF, 35V, kondensator ceramiczny	6		
8	C5	1uF, 35V, THT kondensator elektrolityczny	1		
9	Q1, Q2, Q3	THT, MOSFET tranzystor	3	BS170	
10	CT1	5-30pF THT, trymer	1		
11	IC1	4 x NAND gates, SO-14 package	1	74ACT00D	
12	PR1	Przewlekany potencjometr montażowy 10k	1		
13		Gniazda do Arduino : 1x6 pins, 2x8 pins, 1x10 pins	4		
14		1x4 goldpin	1		
15	Drut nawojowy emaliowany	AWG #28	0,6 m		

### Wersja dla pasma 80 m:

**Tabela 2.** Lista materiałów (tylko dla wersji 80 m)

Lp.	OZNACZENIE	OPIS	ILOŚĆ	PART NUMBER	WARTOŚĆ
8	QZ1	Crystal quartz THT, low profile, 3,579545 MHz	1		
11	L1	35,49 uH (11 turns)	1	FT37-43	
12	L2	2,37 uH (21 turns)	1	T37-2 core	
13	L3	0,88 uH (11 turns)	1	T37-2 core	
14	C10, C11, C12, C13	1 x 560 pF (jeden komponent montowany na jednym z dowolnie wybranych czterech padów)	1	560pF 0805 NP0	
15	C14, C15, C16, C17	3 x 560 pF (trzy elementy montowane na trzech z czterech padów)	3	560pF 0805 NP0	
16	C18, C19, C20, C21	3 x 560 pF (trzy elementy montowane na trzech z czterech padów)	3	560pF 0805 NP0	
17	C22, C23, C24, C25	1 x 560 pF (jeden komponent montowany na jednym z dowolnie wybranych czterech padów)	1	560pF 0805 NP0	
18	C26, C27, C28, C29	3 x 560 pF (trzy elementy montowane na trzech z czterech padów)	3	560pF 0805 NP0	

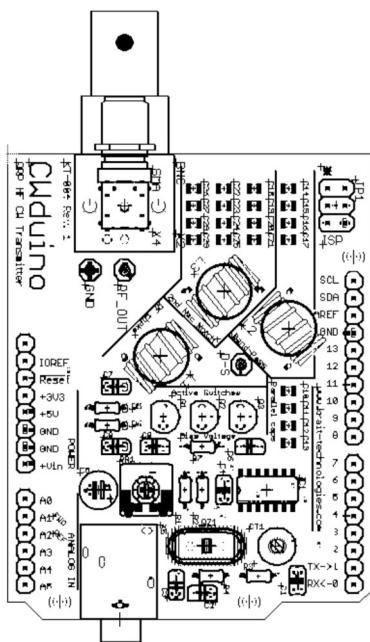
**Wersja 40 m: (w opracowaniu)**

**Wersja 20 m: (w opracowaniu)**

## Konfiguracja pinów

Tabela 3. Konfiguracja pinów

Podłączenie pinów	
ARDUINO standard	Funkcja na CWduino
–	–
–	–
–	–
–	–
N.C.	N.C.
IOREF	N.C.
/RESET	Reset (ISP)
+3V3	N.C.
+5V	+5V (ISP)
GND	GND (ISP)
GND	GND (ISP)
+Vin	+Vin
A0	N.C.
A1	N.C.
A2	N.C.
A3	N.C.
A4	N.C.
A5	N.C.



Podłączenie pinów	
ARDUINO standard	Funkcja na CWRduino
SCL	N.C.
SDA	N.C.
AREF	N.C.
GND	GND (ISP)
13	SCK (ISP)
12	MISO (ISP)
11	MOSI (ISP)
10	N.C.
9	N.C.
8	N.C.
7	N.C.
6	N.C.
5	N.C.
4	CW_TX
3	PADDLE DASH
2	PADDLE DOT
1 (TX)	N.C.
0 (RX)	N.C.

Rysunek 8. Warstwa opisu na płytce CWduino (KT-004)

## Charakterystyka elektryczna

Tabela 4. Moc wyjściowa układu w funkcji napięcia zasilania

Napięcie zasilania DC [V]	Napięcie wyjściowe RF @ 50R [Vrms]	Moc wyjściowa @ 50R [W]
5,0	5,00	0,50
6,0	6,65	0,88
7,0	7,83	1,23
8,0	9,00	1,62
9,0	9,96	1,98
<b>10,0*</b>	<b>11,8</b>	<b>2,42</b>
<b>11,0*</b>	<b>12,9</b>	<b>2,88</b>
<b>12,0*</b>	<b>14,2</b>	<b>3,92</b>

\*) Praca zestawu CWduino przy napięciu wejściowym wyższym niż 9,0 VDC w stanie niedopasowania impedancyjnego obciążenia spowoduje zniszczenie tranzystorów MOSFET. Podano wyłącznie w celach informacyjnych.

## Przydział częstotliwości dla emisji CW

Tabela 5. Przydział częstotliwości dla emisji CW w poszczególnych pasmach amatorskich

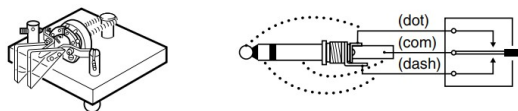
Nazwa pasma	Zakres przewidziany dla pracy CW	Częstotliwość środkowa dla pracy CW QRP
80 m	3500 – 3580 kHz	3555 kHz
40 m	7000 – 7040 kHz	7030 kHz
20 m	14000 – 14070 kHz	14060 kHz

## Klucz telegraficzny

Jeśli podłączany będzie klucz sztorcowy, użyj we wtyku mini-jack końcówki i tulei.

Jeśli podłączany będzie klucz półautomatyczny (paddle) użyj we wtyku mini-jack końcówki, pierścienia i tulei.

► Upewnij się, że napięcie utrzymywane przez klucz jest mniejsze niż 0,4 V, gdy klucz jest włączony.



RYSUNEK 7. Podłączanie klucza telegraficznego

## Charakterystyka mechaniczna

Nakładka CWduino jest w pełni mechanicznie kompatybilna z płytkami Arduino Uno™.

Jeśli rdzenie ferrytowe (toroidalne) zostaną zamontowane poziomo, wówczas będzie możliwe zainstalowanie powyżej dowolnej innej płytki kompatybilnej ze standardem Arduino Uno™.

Wymiary płytki: 68 x 54 x 12 mm (wymiary bez uwzględniania długości pinów poniżej płytki)

Specyfikacja płytki PCB: laminat FR 4, płytka dwustronna, grubość warstw 35 um, pokrycie HAL

## Informacje dotyczące zamawiania

Tabela 6. Dostępne warianty układu

Opis	Wersja	Kod produktu	Ilość
Płytko drukowana (sam laminat)	PCB	KT-004B	1
Zestaw do samodzielnego montażu (zawiera komponenty tylko do wersji 80 m, gniazdo wyjściowe SMA, rezonator kwarcowy 3.579545 MHz)	Zestaw do montażu	KT-004K/80	1
Zestaw do samodzielnego montażu (zawiera komponenty tylko do wersji 40m, gniazdo wyjściowe SMA, rezonator kwarcowy 7.023 MHz)	Zestaw do montażu	KT-004K/40	1
Zestaw do samodzielnego montażu (zawiera komponenty tylko do wersji 20m, gniazdo wyjściowe SMA, rezonator kwarcowy 14.060 MHz)	Zestaw do montażu	KT-004K/20	1

**KRAIT Technologies**  
**ul. Stefana Batorego 29/166**  
**02-591 Warszawa**  
**Polska**  
**EUROPA**

[www.krait-technologies.com](http://www.krait-technologies.com)

©2022 KRAIT Technologies. Wszystkie prawa zastrzeżone.

Zakłada się, że informacje dostarczone przez KRAIT Technologies są dokładne i wiarygodne. Jednakże KRAIT Technologies nie ponosi żadnej odpowiedzialności za ich użycie, ani za jakiegokolwiek naruszenia patentów lub innych praw osób trzecich, które mogą wynikać z ich użytkowania. Specyfikacja mogą ulec zmianie bez powiadomienia.

Błędy typograficzne i inne nie uzasadniają roszczeń odszkodowawczych.

Znaki towarowe i zarejestrowane znaki towarowe są własnością ich odpowiednich właścicieli. **Arduino Uno™** jest zastrzeżonym znakiem towarowym firmy Arduino LLC.



Wyprodukowano w Polsce