

Bolometr

Prosty wskaźnik mocy mikrofalowej, czyli dobrodziejstwa elektroniki próżniowej

Podczas uruchamiania generatorów mikrofalowych przydatne są mierniki mocy. Pozwalają one dobrać optymalne warunki pracy generatora. W artykule opisano prosty układ z głowicą bolometryczną z termistorem, do orientacyjnych pomiarów mocy mikrofalowej w paśmie X. Głowica przeznaczona jest do montażu w falowodzie.

Pomiaru małych mocy mikrofalowych, do około 1 mW najprościej można dokonać przy użyciu specjalnych mikrofalowych diod detekcyjnych. Ponieważ charakterystyka diody w początkowym jej zakresie jest kwadratowa, wskazanie mikroamperomierza podłączonego jako obciążenie diody jest proporcjonalne do mocy.

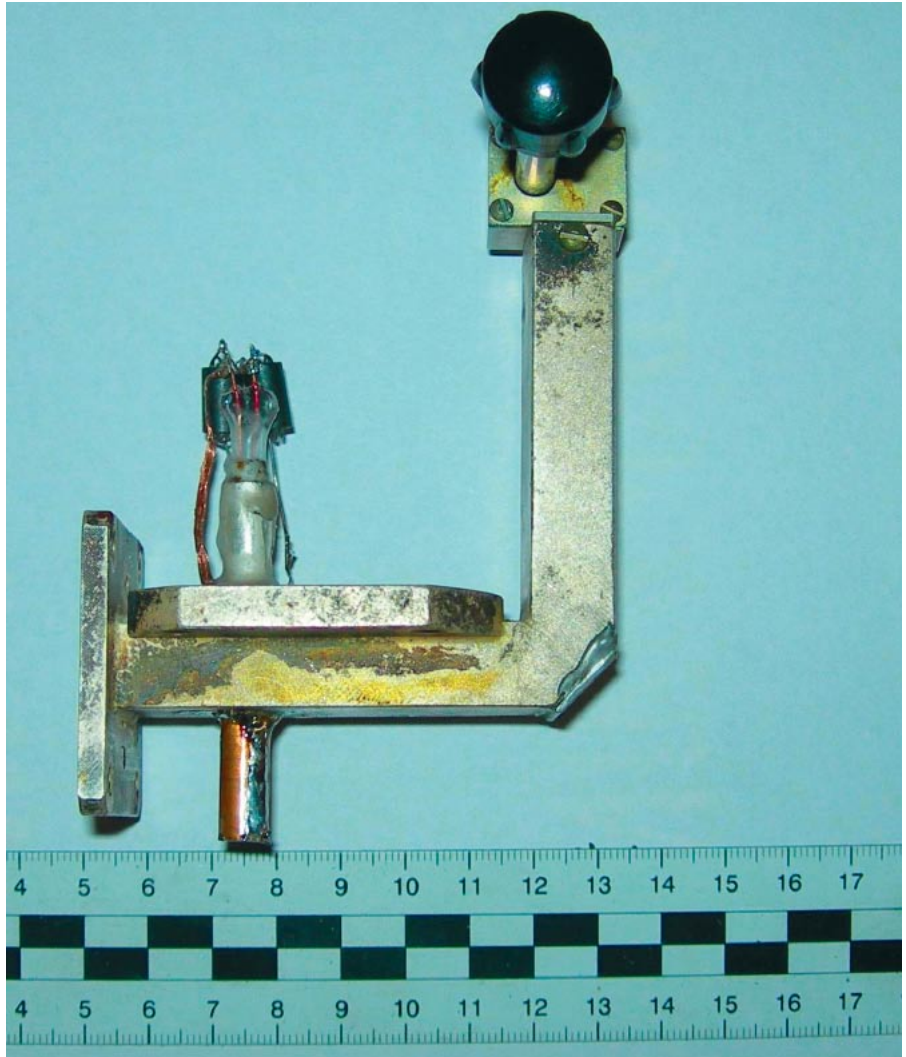
Ten sposób pomiaru był nieco szerzej omówiony w EdW 2/2006. Przy pomiarach mocy do kilkudziesięciu mW można używać bolometrów. Są to swego rodzaju termistory, które pod wpływem mocy mikrofalowej nagrzewają się, co powoduje zmianę ich oporności. Termistory te mogą być termistorami półprzewodnikowymi albo metalowymi (z drutem Wollastona). Widok fabrycznej, radzieckiej głowicy bolometrycznej z termistorem, do montażu w falowodzie, przedstawiono na **fol. 1**.

Wykonanie termistora

Termistory półprzewodnikowe, nadające się do zastosowania w głowicy są raczej trudne do nabycia, zaś termistory metalowe są praktycznie nieosiągalne. Okazuje się jednak, że można je wykonać we własnym zakresie, choć wymaga to pewnego oprzyrządowania i cierpliwości.

Należy podkreślić, że własnoręcznie wykonany bolometr nie spełnia wszystkich warunków stawianych bolometrom fabrycznym, wobec czego uzyskane wyniki są nieco gorsze.

Warunkiem uzyskania dużej czułości głowicy jest zastosowanie do konstrukcji



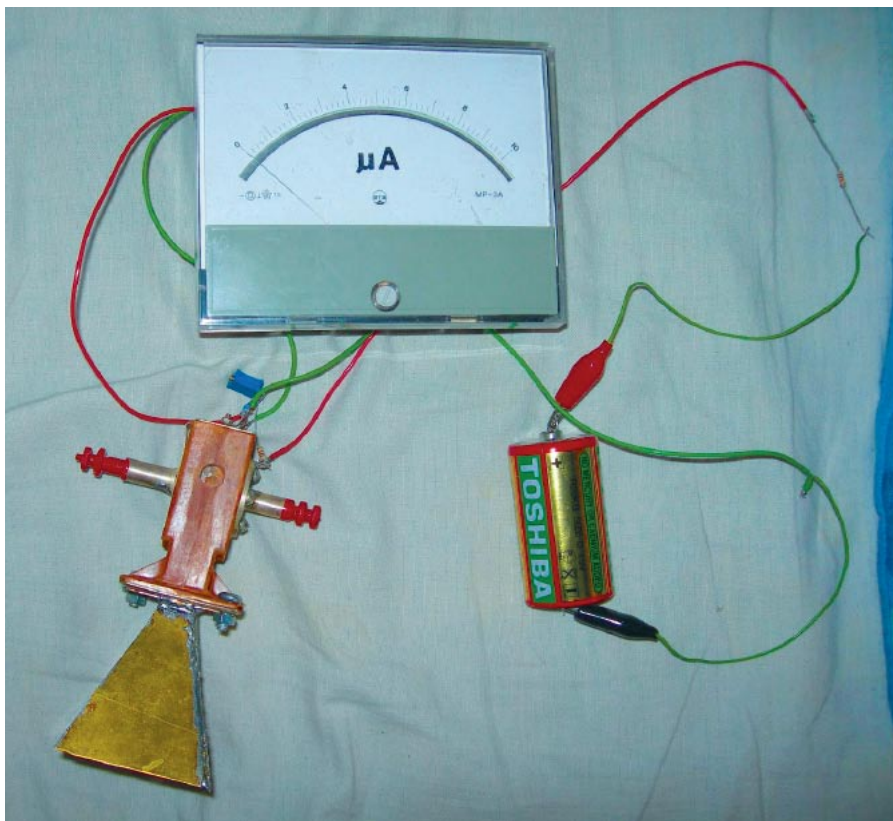
termistora jak najcieńszego drutu. Wówczas niewielka nawet moc będzie w stanie go wyraźnie nagrzać, co przekłada się na zmianę oporności elektrycznej. Dodatkowo, taki drut mimo małej długości ma znaczną rezystancję. Już w 1801 r. Wollaston znalazł sposób, aby wykonać cienkie druty platynowe o średnicy 0,001 mm. Stąd właśnie pochodzi nazwa „drut Wollastona”.

Jak wiadomo, dla metali oporność rośnie wraz z temperaturą i zależy ona od rodzaju metalu. Ze względu na czułość i wytrzymałość na przeciążenia korzystne byłoby stosowanie drutu, który ma duży współczynnik

temperaturowy oporności i dużą temperaturę topnienia.

Jak to zazwyczaj bywa, warunki te stoją w pewnej sprzeczności z dostępnością odpowiedniego materiału na drut i łatwością jego obróbki.

Materiałem pozwalającym na osiągnięcie kompromisu pomiędzy opisanymi wyżej własnościami jest molibden (w rozwiązaniach fabrycznych używana jest platyna i wolfram). Jego źródłem może być zwykła żarówka, ponieważ z niego wykonane są wsporniki żarnika. Tradycyjnie stosowana w naszych domach żarówka oświetleniowa ma wspor-



Fot. 1. Fabryczna głowica bolometryczna (z anteną tubową i mostkowym układem zasilającym)

niki o długości wystarczającej do wykonania czujnika. Potrzebne są odcinki o długości około 1,5 cm. Taki kawałek drutu należy wygiąć w „U” i przygrzać do przepustów z drutu miedziopłaszczowego. Promień krzywizny gięcia powinien wynosić około 0,5 mm.

Druty miedziopłaszczowe także można wypreparować z żarówki, ponieważ wykonane są z niego przepusty próżnioszczelne. Druty na przepusty dobrze jest wcześniej „złapać” kropelką szkła, zaś odcinki przyszlętego próżnioszczelnego łączenia oszklić.

Następnie drut molibdenowy należy poddać trawieniu. Do trawienia dobrze nadaje się mieszanina kwasu azotowego i fluorowodorowego (1:3). Mieszaninę należy rozcieńczyć nieco wodą, aby trawienie nie przebiegało zbyt szybko. Drut należy powoli zanurzać (poniżej miejsca zgrzewania) i wynurzać, bez wyjmowania końca. Dzięki temu koniec przebywa w kwasie najdłużej i jest najcieńszy. Co kilkanaście sekund należy drut wyciągać z kąpeli i dokonywać pomiaru oporności. Przy trawieniu drutu o średni-

cy 0,2 mm na długości około 4 mm udawało mi się uzyskiwać oporność nawet 20 Ω, jednak taki drut był już bardzo nietrwały. Praktyka dowodzi, że lepiej poprzestać na drutach o oporności około 5...6 Ω, które są może nieco mniej czułe, ale też i trwalsze mechanicznie.

Średnicę uzyskanego drutu możemy w przybliżeniu określić, jeśli oszacujemy długość drutu na najwęższym jego odcinku (dającym największy udział w oporności).

Przykład. Termistor ma oporność $R=5 \Omega$, zaś długość najwęższego odcinka wynosi $l=4 \text{ mm}$. Oporność właściwa molibdenu wynosi około $\rho=5,35 \cdot 10^{-5} \Omega \text{ mm}$. Stąd średnica:

$$D = 2 \sqrt{\frac{\rho l}{\pi R}} \approx 0,007 \text{ mm}$$

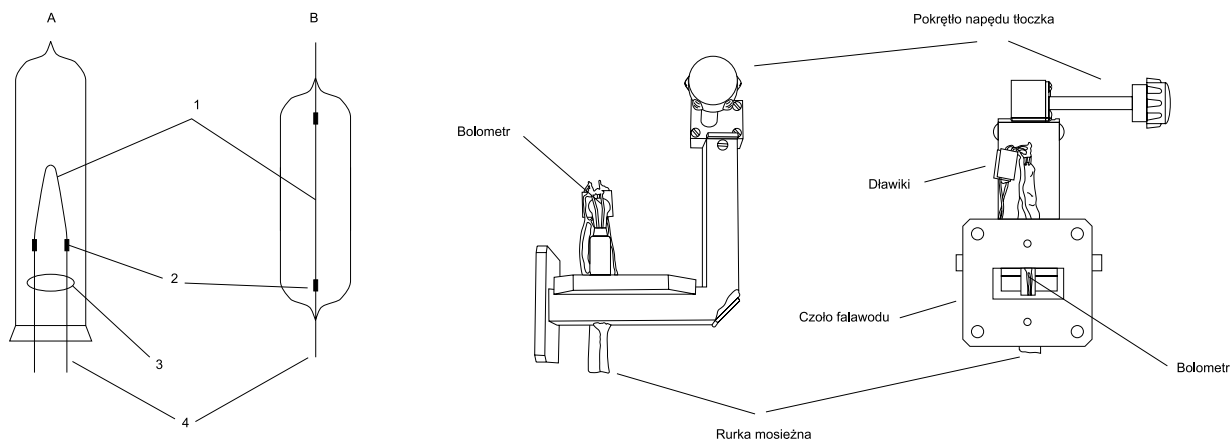
Po trawieniu drut można poddać jeszcze przez 2...3 s działaniu stężonego kwasu siarkowego, co usuwa z niego pozostałą warstwę tlenków po trawieniu, przepłukać wodą i czystym spirytusem (przez delikatne zanurzenie!).

Kolejną czynnością jest zatopienie termistora w rurce szklanej. Dobrze nadają się rurki ze szkła sodowego o średnicy zewnętrznej około 5 mm. Próżnioszczelne miejsca na przepustach ze szkłem rurki zagrzewa się i gdy szkło staje się miękkie należy je zagnieść i starannie odprężyć w kopczącym płomieniu palnika.

Ostatnią wreszcie czynnością jest odpompowanie i odtopienie od pompy gotowego czujnika.

Czy wytworzenie próżni w czujniku jest konieczne? W zasadzie tak. Dzięki obecności próżni nie ma strat ciepłych z drutu na konwekcję, co pozwala na kilkukrotne zwiększenie czułości. Wystarczająca jest w zasadzie próżnia uzyskiwana z dobrej pompy obrotowej (10^{-3} hPa), jednakże swoje czujniki pom-

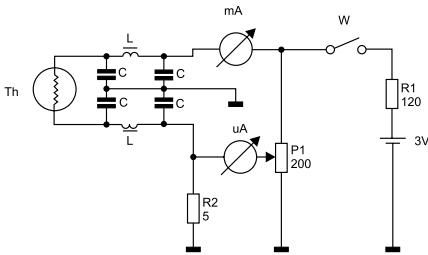
Konstrukcja głowicy bolometrycznej



Bolometr autora (A) i bolometr fabryczny (B)

- 1 – drut Wollastona
- 2 – wsporniki
- 3 – perelka szklana
- 4 – doprowadzenia

Rys. 2. Różnice pomiędzy bolometrem fabrycznym a tym wykonanym przez autora



Rys. 3. Schemat włączenia głowicy bolometrycznej

powalem starannie (do około 10^{-5} hPa) przy użyciu pompy dyfuzyjnej. Podczas pompowania szkło rurki należy wygrzewać palnikiem w celu pozbycia się zanieczyszczeń, mogących „popsuć” próżnię.

Tak wykonany czujnik posiada wadę, polegającą na tym, że jego wyprowadzenia znajdują się z jednej strony rurki szklanej, a nie po obu, jak to ma miejsce w rozwiązaniach fabrycznych. Wykonanie czujnika o takiej konstrukcji byłoby jednak bardzo trudne. Wspomniana cecha spowoduje pewne trudności przy odsprężaniu czujnika, o czym będzie później.

Zdaję sobie oczywiście sprawę, że powyższy opis wykonania czujnika bolometrycznego może być odstraszaający: kwasy, druty, szkło i próżnia nie muszą być w zasięgu ręki każdego. W przypadkach beznadziejnych służyć radą i...gotowym termistorem.

Głowica bolometryczna

Mając już wykonany czujnik można przystąpić do budowy głowicy. Najlepiej użyć w tym celu odcinka gotowego, fabrycznego falowodu R100. Idealnie byłoby, gdyby falowód miał zamontowany tłoczek do przestrajania. Jeśli go brak, wówczas można albo zaslepić koniec falowodu i do przestrajania użyć kołka, albo tłoczek wykonać we własnym zakresie. Pierwsze rozwiązanie ma wadę, polegającą na tym, że zakres przestrajania jest wąski. Taka głowica będzie mogła pracować w wąskim zakresie częstotliwości. Będzie ją też trudno stroić. Drugie rozwiązanie może zaś sprawiać pewne trudności konstrukcyjne.

Falowód należy przewiercić na wylot w odległości 21 mm od króćca mocującego (pośrodku szerszego boku falowodu). Dobrze to widać patrząc na zamocowanie czujnika na rys. 2 (z prawej strony). Następnie, równo z brzegami otworów, należy przylutować na zewnątrz rurki metalowe. Średnica otwo-

rów i rurek powinna być nieco większa od średnicy czujnika.

Termistor należy umieścić w falowodzie w ten sposób, aby drut Wollastona był zanurzony w falowodzie. Ponieważ konstrukcja czujnika jest inna niż czujników fabrycznych (w rozwiązaniach fabrycznych wyprowadzenia czujnika znajdują się na przeciwległych końcach rurki szklanej) zachowuje się on jak sonda zanurzona w falowodzie. Powoduje to przenikanie mocy mikrofalowej przez wyprowadzenia poza termistor, co może wpływać na wynik pomiarów. Aby tego uniknąć, należy termistor odsprężnąć dolutowując między obudowę falowodu (masę) i każde z wyprowadzeń termistora kondensator SMD o pojemności kilkunastu pF (kondensatory C na rys. 3), zaś szeregowo z wyprowadzeniami dławiki ferrytowe wielkiej częstotliwości. Masę można wykonać plecionką miedzianą, co umożliwi ruch termistora w trakcie strojenia głowicy. Takie odsprężnięcie może wydawać się nieco dziwaczne (a nawet gwałcące zasady mikrofalowego świata), ale okazało się skuteczne, pomimo zastosowania elementów o stałych skupionych.

Literatura opisuje wiele sposobów włączenia bolometru. Znane są na przykład układy mostkowe, umożliwiające automatyczną kompensację temperatury otoczenia oraz dokonanie podstawienia (moc wydzieloną przez mikrofałe podstawia się przez znaną moc prądu stałego lub małej częstotliwości, potrzebną do wywołania tego samego efektu cieplnego). Pomiary dokonane przy użyciu tego typu mostków zapewniają dobrą dokładność i bezwzględny pomiar mocy.

Z uwagi jednak na „ułomności” zastosowanego termistora stosowanie metody podstawienia byłoby obarczone dużym błędem. Dlatego też lepiej zadowolić się klasycznym mostkiem czterogąłęznym, w którym miarą mocy jest kąt odchylenia wskazówki.

Jako źródło prądu może posłużyć jedna lub dwie baterie R20. W przypadku częstego dokonywania pomiarów baterię lepiej zastąpić zasilaczem.

Strojenie i regulacja głowicy

Z uwagi na fakt, że czułość termistora jest większa, jeśli jest on wstępnie podżarzony, to należy dobrać warunki jego pracy. Za duży prąd spoczynkowy zniszczy czujnik, jego obniżenie pozwala jednak rozszerzyć

zakres przyrządu w kierunku większych mocy. Dlatego wskazane jest wykreślenie charakterystyki głowicy: czułość mostka jako funkcja prądu podgrzewającego. W tym celu można postąpić następująco: szeregowo z czujnikiem dołącza się miliamperomierz mA i dołącza opornik R1. Po włączeniu zasilania mostka należy go wyzerować, poprzez regulację potencjometrem P1. Następnie należy do głowicy dostarczyć moc mikrofalową. Można w tym celu wykorzystać generator na diodzie Gunna lub na klistronie. Strojąc tłoczkiem należy starać się uzyskać maksymalne wychylenie wskazówki miernika. Należy mieć na uwadze, że termistor, jak każdy przyrząd cieplny ma pewną bezwładność. Czas ustalania się wyniku może wynieść do 30 sekund.

Notuje się wartość prądu podgrzewającego i wskazanie miernika.

Po ustaleniu odpowiedniej wartości opornika R1 stosowanie miliamperomierza jest zbędne. Kolejno zmieniając wartości opornika R1 uzyskujemy kolejne punkty wykresu.

Nie należy przekraczać gęstości prądu powyżej 10 mA/0,001 mm jego średnicy.

Wartość oporności R2 dobiera się tak, aby była zbliżonej wartości, co oporność termistora. Podane na rys. 3. wartości są tylko orientacyjne.

Jeśli moc źródła mikrofał jest znana, to można zgrubnie przyrząd wycechować w miliwatach, zakładając liniowość podziałki. Należy podkreślić, że pomiar tak wyskalowanym przyrządem będzie obarczony znacznym błędem.

Czułość układu, w zależności od egzemplarza jest z przedziału kilka...kilkanaście mikroamperów przy doprowadzonej mocy kilkunastu mW. Wymusza to konieczność stosowania czulego mikroamperomierza w mostku.

Zamiast czulego mikroamperomierza magnetoelektrycznego, który trudno zdobyć, można oczywiście zastosować wzmacniacz, co pozwoli stosować mniej czuły miernik analogowy lub odczyt cyfrowy. Rozwiązania te są typowe dla różnych czujników, pracujących w układach mostkowych (np. detektory gazów, tensometry), wobec czego nie wymagają szerszego omówienia.

**Aleksander Zawada, EP
aleksander.zawada@ep.com.pl**

R E K L A M A

Konwerter USB-RS485
AVTMOD03
www.sklep.avt.pl