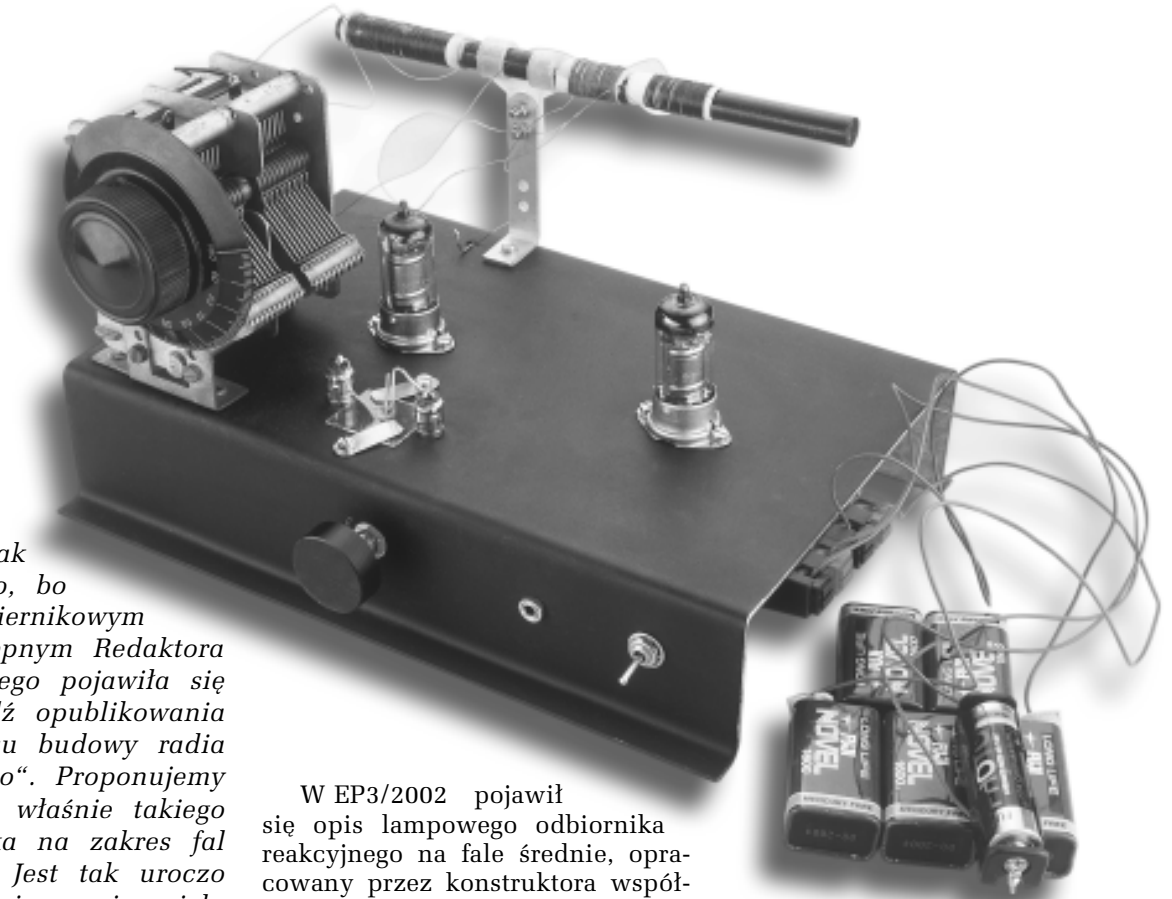


# Lampowy odbiornik bateryjny z detektorem kryształkowym



*Nie tak dawno, bo w październikowym słowie wstępnym Redaktora Naczelnego pojawiła się zapowiedź opublikowania w EP opisu budowy radia „kryształkowego”. Proponujemy wykonanie właśnie takiego odbiornika na zakres fal długich. Jest tak uroczo archaiczny, że wielu z Czytelników może nie uwierzyć, że tak kiedyś były budowane odbiorniki komercyjne, instalowane w salonach co bogatszych rodzin.*

**Rekomendacje:** jedyna okazja poznania budowy odbiornika detektorowego z prawdziwym kryształkiem. Czyli coś zarówno dla elektroników „byłych”, „obecnych”, jak i „przyszłych”.

W EP3/2002 pojawił się opis lampowego odbiornika reakcyjnego na fale średnie, opracowany przez konstruktora współpracującego z *Elektorem*. Detekcja sygnałów radiowych odbywała się tam na lampie elektronowej. W odbiorniku prezentowanym w artykule detekcja przebiega inaczej, bowiem detektorem będzie kryształ.

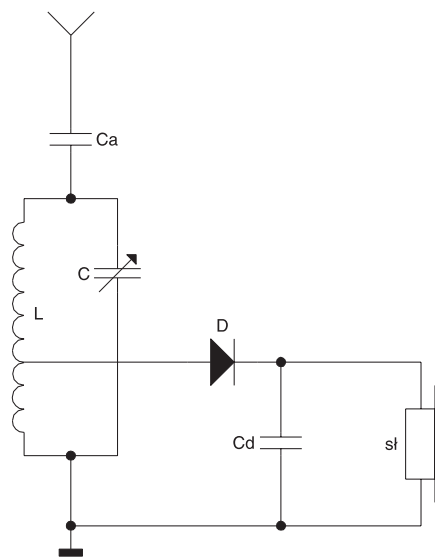
Nasi dziadkowie pamiętają zapewne aparaty kryształkowe. W latach trzydziestych i czterdziestych ubiegłego stulecia były one bardzo popularne. Były to bardzo tanie odbiorniki, pracujące bez baterii - zasilane tylko energią z anteny, które każdy mógł samodzielnie skleić.

## Zasada działania

Jeden z najprostszych schematów odbiornika kryształkowego pokazano na **rys. 1**. Fale radiowe docierające do anteny indukują w niej napięcie wielkiej częstotliwości. Oznaczmy je przez  $U_{ind}$ . Antenę z odbiornikiem sprzęga kon-

densator antenowy  $C_a$ . Obwód rezonansowy LC należy dostroić do żądanej długości fali. W przypadku dostrojenia do żądanej stacji, napięcie na zaciskach obwodu rezonansowego  $U_r$  jest  $Q$  razy większe od napięcia indukowanego w antenie ( $U_r = Q \cdot U_{ind}$ ).  $Q$  jest dobrocią obwodu rezonansowego. Dobroć zależy od oporności czynnej  $R$  cewki  $L$  i strat w dielektryku kondensatora  $C$ , reprezentowanych przez tangens kąta stratności kondensatora  $tg\delta$ . Często pomija się wpływ  $tg\delta$  (wtedy  $Q = \omega L/R$ ), ale tym razem zapiszemy ścisły wzór na dobroć:

$$Q = \frac{\omega L}{\frac{tg\delta \cdot R}{R} + \frac{1}{tg\delta}}$$



Rys. 1. Najprostszy odbiornik detektorowy

Detektor prostuje napięcie w.cz. z obwodu rezonansowego, przez co słuchawkę zasila prąd o wartości zmieniającej się w takt sygnału modulującego nośną. Pozostałości prądu w.cz. zwiera do masy kondensator  $C_d$ . Słuchawka (impedancja jej wynosiła około 2...4 kΩ) obciąża silnie obwód LC, przez co dobroć spada (i w związku z tym selektywność odbiornika). Dlatego detektor włączało się często przez odczep. To z kolei wiązało się z obniżeniem napięcia dostarczanego na detektor. Położenie odczepu było nieraz regulowane, aby umożliwić uzyskanie optymalnego natężenia dźwięku lub selektywności. Zresztą selektywność często okazywała się zbyt mała (bo przy optimum głośności dobroć spada do 0,5 dobroti obwodu nieobciążonego) i w szereg z anteną włączało się dodatkowy obwód LC (tzw. eliminator), którego zadaniem było usunięcie „przebijania” silnych stacji, pracujących na zbliżonej długości fali.

A sam detektor? Najczęściej był to kryształ galeny (PbS), cynkitu (ZnS), pirytu (FeS<sub>2</sub>) czy chalkopirytu (CuFeS<sub>2</sub>) umieszczony w specjalnej oprawie. Do powierzchni kryształu dotykała srebrna igła, której położenie regulowało się na maksimum czułości detektora. Oprócz takich detektorów znane były detektory rtęciowe i wykonane fabrycznie, bez konieczności

regulacji, tzw. perikony, wستیory czy sirutory. W literaturze pojawiały się opisy samodzielnego wytwarzania detektorów z kryształami włącznie, ale nie było to łatwe. Miałem możliwość to stwierdzić. Lepiej użyć kryształu utworzonego przez samą naturę. Działa o wiele lepiej, niż wytwarzany samodzielnie. W latach 50.-70. ubiegłego wieku odbiorniki detektorowe konstruowali młodzi radioamatorzy, jednak zamiast kryształka stosowano znacznie czulsze diody germanowe.

W miejscu odbioru istnieje pewne natężenie pola  $E$  wytwarzanego przez radiostację:

$$E = \frac{222\sqrt{P}}{r}$$

$E$  w [mV/m]

$P$  - moc nadajnika w [kW]

$r$  - odległość od nadajnika w [km]

Wielkość  $U_{ind}$  w antenie jest iloczynem  $E$  i wysokości skutecznej anteny. Zwykła antena prętowa (o ile jej długość jest mniejsza od  $1/8\lambda$ ) ma wysokość skuteczną równą połowie długości. W przypadku anteny ferrytowej jest nieco trudniej:

$$h \approx \frac{0,0628 \cdot S \cdot z}{\lambda}$$

$h$  - wysokość skuteczna w m

$S$  - przekrój poprzeczny rdzenia w [cm<sup>2</sup>].

$\lambda$  - długość odbieranej fali w [m].

Załóżmy teraz, że chcemy zbudować odbiornik detektorowy według rys. 1 znajdujący się w Warszawie, odbierający pierwszy program Polskiego Radia ( $f=225$  kHz,  $\lambda=1333$  m). Program ten nadawa-

**Odbiorniki kryształkowe są bardzo proste w wykonaniu, nie wymagają zasilania, ale mają małą czułość i selektywność. Odbiornik taki składał się z długiej, zewnętrznej anteny, cewki, zmiennego (strojeniowego) kondensatora, detektora w postaci kryształu blendy cynkowej (stąd ich nazwa) i czułych słuchawek.**

ny jest z Solca Kujawskiego z nadajnika o mocy  $P=1000$  kW. Odległość od nadajnika wynosi 210 km. Natężenie pola w miejscu odbioru wynosi  $E=33$  mV/m. Obwód rezonansowy składa się z 220 zwojów na pręcie ferrytowym  $\phi=1$  cm ( $S=3,14$  cm<sup>2</sup>). Wobec tego

**„Kryształek” to półprzewodnikowy element detekcyjny wykonany z kryształów pirytu, galeny, chalkopirytu lub cynkitu i igły, za pomocą której kryształ jest „nakłuwany”. Został on wynaleziony w 1905 roku przez Karla Brauna.**

**W latach świetności odbiorników kryształkowych w sprzedaży były dostępne kompletne detektory składające się z obudowanego kryształu ze specjalną igłą przymocowaną do pokrętła (kilka przykładowych kryształów fabrycznych pokazano na fotografiach).**

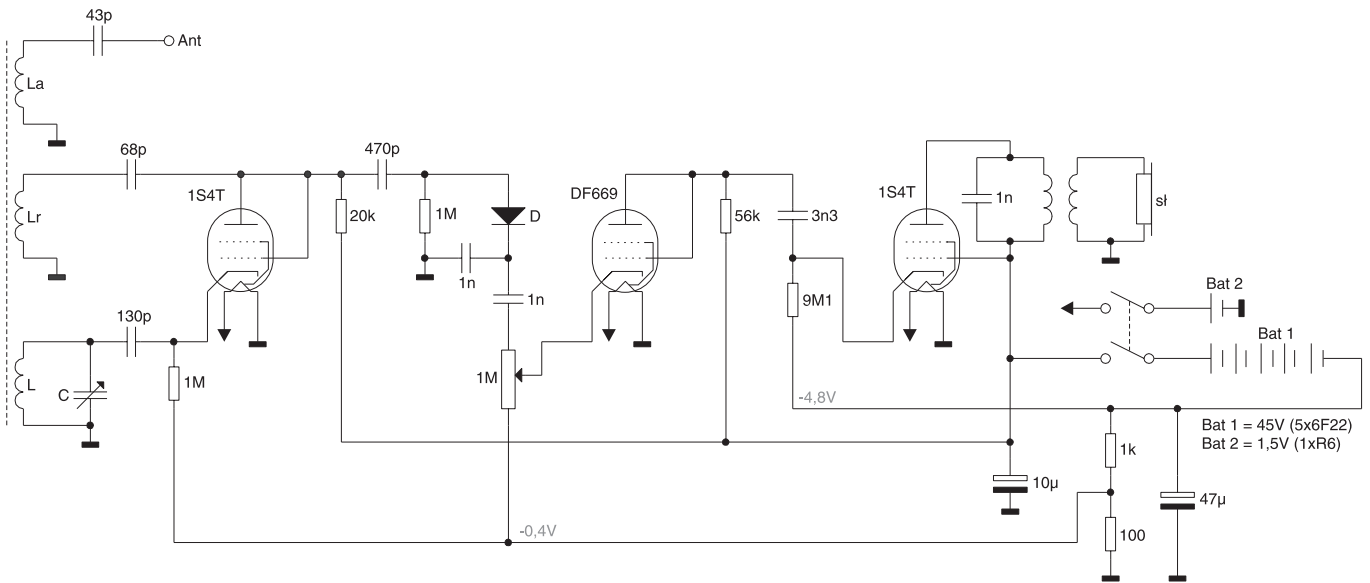


$h=0,032$  m. Napięcie indukowane w antenie ma wartość  $U_{ind}=1$  mV.

Ze względów konstrukcyjnych nie uzyskamy dobroti cewki lepszej od ok. 150. Tangens kąta stratności kondensatora powietrznego wynosi  $1,5 \cdot 10^{-4}$ , mikowego  $1,5 \cdot 10^{-2}$ . Stąd dobroć początkowa obwodu rezonansowego  $Q=146$  dla kondensatora powietrznego lub 46 dla mikowego.

Napięcie  $U_r$  jest  $Q$ -krotnie większe od  $U_{ind}$ , stąd:  $U_r=146$  mV lub 46 mV. Ale przy właściwie dobranym obciążeniu (słuchawka o dużej impedancji) i tak będzie jeszcze o połowę mniejsze (dobroć pod obciążeniem 73 lub 23).

Wymaga się dla właściwej pracy detektora, aby napięcie w.cz. na detektorze osiągało około 600...700 mV. Nawet z anteną prętową przyłączoną do naszego odbiornika może to być trudne do osiągnięcia, a to z racji niekorzystnego stosunku sygnał/szum w miejscu odbioru. Dlatego widzimy, że korzystanie z odbiornika detektorowego wykonanego według schematu pokazanego na rys. 1 w odległości



Rys. 2. Schemat elektryczny odbiornika kryształkowego

większej od kilkudziesięciu km od nadajnika jest niemożliwe. Sytuację odmieni zastosowanie dodatkowego wzmacniacza w.cz. przed detektorem, co zrealizowano w odbiorniku radiowym opisanym w dalszej części artykułu. Jego schemat elektryczny pokazano na rys. 2.

Dzięki zastosowaniu tego wzmacniacza uzyskamy kilkunastokrotne wzmocnienie sygnału w.cz. Ponadto, obwód rezonansowy w zasadzie nie jest obciążony, przez co dobroć pod obciążeniem jest równa dobroci nieobciążonego obwodu rezonansowego.

Jako lampa wzmacniacza pracuje 1S4T w układzie triodowym. Jest to lampa końcowa, jednak jej użycie w tym punkcie układu jest uzasadnione dużym nachyleniem charakterystyki, które wynosi około 1,4 mA/V. Wzmocnienie wzmacniacza w.cz. wynosi około 14 V/V. Widać z powyższych danych, że poprawną pracę układu powinniśmy uzyskać przy natężeniu pola rzędu 17 mV/m.

W obwodzie anodowym zastosowano cewkę reakcyjną  $L_r$ . Część wzmocnionego przez lampę napięcia w.cz. kierowana jest z powrotem do obwodu LC, dzięki temu jest on od tłumiany. Równoważne jest to zwiększeniu jego dobroci, przez co czułość jeszcze się zwiększa. Mimo to,

jest wskazane, aby każdy obliczył, na jakie natężenie pola i napięcie na obwodzie LC może liczyć w miejscu odbioru (wskazane jest, aby na obwodzie rezonansowym powstawało napięcie chociaż 20...30 mV, inaczej siła głosu będzie już naprawdę

na detektor. Sprawność detekcji nie przekracza zazwyczaj 30...40%. Tym samym amplituda użytecznego napięcia m.cz. na potencjometrze może nie przekroczyć 100 mV.

W tym miejscu mała dygresja: projektując ten układ, przeliczyłem się, przyjmując zbyt optymistyczne wartości sygnału za detektorem. Początkowo układ planowałem jako 2-lampowy. Po uruchomieniu okazało się jednak, że siła głosu jest niewystarczająca. To zmusiło mnie do dodania wzmacniacza napięciowego m.cz. na miniaturowej lampie DF669 ( $K_u=20$ ). Zamiast niej można zastosować o wiele łatwiej dostępną 1T4T z cokołem

heptalowym. Nadawać się tu będzie w zasadzie każda trioda lub pentoda bateryjna (napięcie żarzenia 1,4V) z nachyleniem charak-

### Odkrycie Hertza

**Teorię pola elektromagnetycznego zweryfikował doświadczalnie Heinrich Hertz w 1888 roku. Źródłem drgań elektrycznych był zbudowany przez niego oscylator, a odbiornikiem - rezonator (też jego konstrukcji). Ustawiając rezonator w różnych położeniach, Hertz zmierzył długość fal elektromagnetycznych (wynosiła ona od 10 m do 60 cm). Wyznał także ich prędkość. Okazało się, że jest ona bliska tej, którą teoretycznie obliczył Maxwell, i wynosi 300000 km/s.**

bardzo nieznaczna). Regulację wielkości tego dodatniego sprzężenia zwrotnego (reakcji) uzyskuje się przez przesuwanie cewki  $L_r$  na pręcie anteny ferrytowej. Detekcja siatkowa na pierwszej lampie nie może nastąpić, ponieważ siatka sterująca znajduje się na potencjale wstępnym -0,4 V i w tych warunkach prąd siatki nie może płynąć. W razie potrzeby można dołączyć antenę zewnętrzną, aby nieco zwiększyć czułość. Próby w mieście dały jednak zły wynik - siła głosu cokolwiek się zwiększyła, ale zakłócenia również.

Wzmocniony sygnał w.cz. dociera przez kondensator 470 pF



Rys. 3. Widok okna programu wspomagającego obliczenia



Fot. 4. Budowa detektora kryształkowego zastosowanego w odbiorniku

terystyki 0,7...1,4 mA/V. Może się jednak okazać, że należy nieco zmienić ujemne napięcie siatki tej lampy i opornik anodowy. W takich wypadkach chętnie służę radą.

Wzmacniacz końcowy pracuje z lampą 1S4T w klasie A. Potencjał wstępny siatki tej lampy wynosi -4,8 V. Z racji tego, że obecnie słuchawki posiadają oporność 32 Ω, konieczne jest użycie transformatora dopasowującego w obwodzie anodowym tej lampy (słuchawki połączone są szeregowo, stąd ich wypadkowa impedancja wynosi 64 Ω). Potrzebne ujemne potencjały siatek uzyskano z dzielnika oporowego.

Zamiast lamp 1S4T można zastosować lampy 3S4T. Jedyną zmianą, jaką należy zrobić, jest połączenie ze sobą obu połówek grzejnika. Pobór prądu z baterii anodowej wynosi około 4,5 mA, z baterii żarzenia około 140 mA.

### Parę słów o montażu układu

Kondensator C powinien być powietrzny o pojemności całkowitej 450...500 pF. Podejrzewam jednak, że większość Czytelników będzie dysponować kondensatorami z odbiorników tranzystorowych z dielektrykiem np. mikowym. To niestety pogorszy dobroć obwodu rezonansowego. Dlatego jeszcze raz przypominam o przeprowadzeniu obliczeń! Aby ułatwić obliczenia, przygotowałem prosty program dla Windows, który został zamieszczony

na płycie CD-EP12/2002B. Zrzut okna tego programu pokazano na rys. 3.

Wszystkie cewki zostały nawinięte jednowarstwowo na pręcie anteny ferrytowej. Cewka L posiada 220 zwojów drutu w emalii 0,15 mm. Cewka antenowa ma 55 zwojów, a cewka reakcyjna 100 zwojów z tego samego drutu. Cewka reakcyjna musi się przesunąć po rdzeniu. Rdzeń powinien być długi (w modelu aż 20 cm). Transformator głośnikowy powinien posiadać 3200 zwojów drutem 0,05 mm i 400 zwojów drutem 0,1 mm.

Może być nawinięty np. na rdzeniu kubkowym  $A_L=63$ . Nadawać się tu będzie taki transformator, którego przekładnia wynosi 1:6...1:10, przy czym na uzwojeniu pierwotnym powinno się znajdować 2000...3500 zwojów. Przekrój rdzenia nie musi być duży, wystarczy np. 1...4 cm<sup>2</sup>. Wszak audycje nadawane na falach długich nie odznaczają się wysoką jakością. Wystarczy, że pasmo przenoszenia zawierać się będzie w przedziale 100...6000 Hz.

### Skąd wziąć kryształek?

Poświęćmy chwilę detektorowi. Przede wszystkim postarajmy się o mały kryształek pirytu, galeny, chalkopirytu lub cynkitu. Kryształy takie można nabyć na giełdach minerałów. Warto może jeszcze zaznaczyć, że niektóre z tych kryształów występują w Polsce. W układzie modelowym pracuje piryt.

Kryształ może mieć naprawdę małe wymiary, np. 3 x 3 x 3 mm, ale na nieco większym kryształku będzie łatwiej znaleźć najczulszy punkt detekcji. W rozwiązaniu prototypowym kryształ naklejono

## Historia lamp elektronowych

**W 1884 roku Thomas Alva Edison zaobserwował przepływ prądu między żarnikiem lampy (żarówki) a dodatkową elektrodą wtopioną w bańkę lampy.**

**Właśnie to zjawisko (nazwane zjawiskiem Edisona) zostało wykorzystane w lampach elektronowych. W kilka lat później, tj. w 1889 roku Julius Elster i Hans Friedrich Geitel stwierdzili, że**

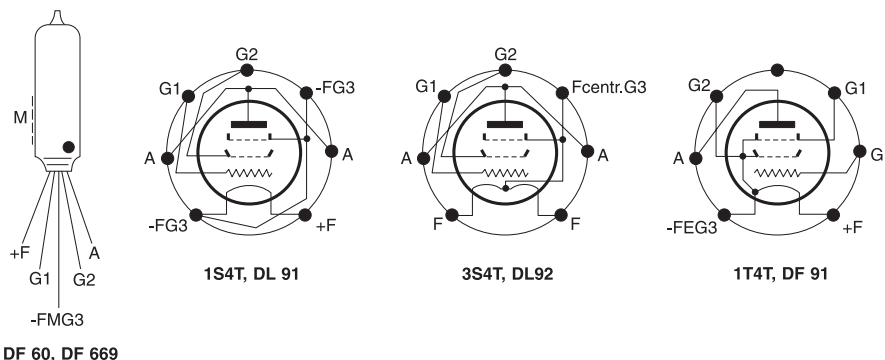
**w bańce próżniowej - o jednej elektrodzie żarzonej a drugiej zimnej - prąd płynie tylko w jedną stronę. Za datę wynalezienia lampy elektronowej przyjmuje się rok 1904, w którym John Ambrose Fleming skonstruował**

**dwuelektrodową lampę, nazywaną wtedy zaworem elektronowym, a obecnie diodą. W 1906 roku Lee de Forest zbudował triodę.**

**Doskonalsze lampy wieloelektrodowe zostały zbudowane w 1927 (tetroda), 1930 (pentoda) i 1933 (pentagrid nazwany później heptodą).**

na kawałek szklanej płytki. Płytkę stabilnie trzyma się dzięki blaszkom, które przytrzymują ją, podobnie jak szkiełko podstawowe w mikroskopie.

Do kryształu dotyka kawałek srebrzanki i drutu cynowanego (fot. 4). Druty te można dowolnie dotykać do kryształu. Warto wy-



DF 60, DF 669

Rys. 5. Wyprowadzenia lamp zastosowanych w odbiorniku

## Radio w Polsce

**Początki radiofonii w Polsce przypadają na 1922 rok. Wtedy to Stefan Manczarski skonstruował pierwszy polski odbiornik radiowy oraz nowego typu anteny radiowe. W lutym 1925 roku zainstalowano pierwszą stację nadawczą (500 W) Polskiego Towarzystwa Radiotechnicznego w Warszawie przy ul. Narbutta 29 na Mokotowie.**

próbować różne druty, np. miedziany czy stalowy zamiast cynowanego. W rozwiązaniu modelowym druty przylutowane są do wtyczek chinch, a dokładną regulację detektora można uzyskać przez delikatne obracanie ich w gniazdkach.

### Montaż i uruchomienie

Odbiornik można zmontować na podstawie z blachy ocynkowanej o wymiarach 250 x 150 x 50 mm. Podczas montażu pomocny będzie rys. 5, na którym pokazano rozmieszczenie końcówek lamp zastosowanych w radioodbiorniku.

Uruchomienie najlepiej rozpocząć przy podłączonej zamiast kryształka diodzie germanowej (jeśli ktoś nie chce budować detektora na bazie kryształu, może zostawić diodę zamiast kryształka, ale to już nie to samo...) i zdjętej z pręta ferrytowego cewce reakcyjnej. Potencjometr siły głosu ustawiamy na maksimum.

Kręcąc kondensatorem C, próbujemy „złapać” stację. Jeśli się to nie udaje, zakładamy cewkę

reakcyjną. W pewnym jej położeniu ze słuchawek powinien być słyszalny gwizd lub szum. Jeśli go nie ma, należy zamienić końcówki cewki  $L_r$  miejscami. Ustawiamy cewkę tak, by gwizd zniknął, ale w okolicy jego powstawania. Teraz próba odebrania stacji powinna odbyć się pomyślnie. Regulując położenie kondensatora C i cewki reakcyjnej  $L_r$ , ustawiamy odbiornik na maksimum głośności i czystości dźwięku.

Możemy teraz odłączyć diodę (nie rozstrajamy obwodu LC!) i w jej miejsce włączyć kryształek. Dotykając drutami kryształka, próbujemy uzyskać maksymalną siłę głosu.

Zabieg ten wymaga niestety dużo cierpliwości. Nie pozostaje mi już nic innego jak życzyć udanego odbioru.

**Aleksander Zawada**  
aleksander\_zawada@poczta.onet.pl

*W artykule wykorzystano materiały pochodzące ze strony Maurycego Bryxa (<http://www.republika.pl/jannaj/>), poświęconej historii radia w Polsce.*

## WYKAZ ELEMENTÓW

### Rezystory

R1, R3: 1M $\Omega$ /0,6W  
R2: 20k $\Omega$ /0,6W  
R4: 56k $\Omega$ /0,6W  
R5: 9,1M $\Omega$ /0,6W  
R6: 1k $\Omega$ /0,6W  
R7: 100 $\Omega$ /0,6W  
P1: 1M $\Omega$  potencjometr logarytmiczny

### Kondensatory

C: kondensator strojeniowy wg opisu  
C1: 43pF/63V ceramiczny  
C2: 68pF/63V ceramiczny  
C3: 130pF/63V ceramiczny  
C4: 470pF/63V ceramiczny  
C5, C6, C8: 1nF/63V  
C7: 3,3nF  
C9: 10 $\mu$ F/63V-elektrolityczny

### Lampy

V1, V3: 1S4T  
V2: DF669

### Różne

D: detektor wg opisu w tekście  
W: włącznik dwusekcyjny  
Bat1: bateria anodowa o napięciu 45V, złożona z 5 baterii 6F22  
Bat2: bateria żarzenia 1,5V, np. R6, R14, R20 może też być akumulator NiCd  
Tr: transformator wg opisu w tekście  
Sł: słuchawki 32  
2 podstawki pod lampy typu heptal  
pręt ferrytowy, cewki  $L_r$ ,  $L_a$ , L wykonane wg opisu w tekście  
2 gniazdko chinch  
1 gniazdko „jack”