

Amatorskie pomiary meteorologiczne: Prosty detektor wyładowań atmosferycznych

Krzysztof MARKOWICZ*



W każdej sekundzie na Ziemi zdarza się około 100 wyładowań atmosferycznych związanych z około 1800 występującymi równocześnie burzami. Mogłoby się wydawać, że wyładowania te prowadzą do rozładowania olbrzymiego kondensatora, którego jedną z okładek jest warstwa atmosfery zwana jonosferą, a drugą – powierzchnia Ziemi. Tymczasem jest zupełnie na odwrót: globalny kondensator jest rozładowywany słabymi prądami jonowymi płynącymi w powietrzu, a ładowany właśnie podczas wyładowań atmosferycznych. Jak to się dzieje?

Jonosfera jest warstwą atmosfery rozciągającą się na wysokości od około 50 do 1000 km nad powierzchnią Ziemi. Charakteryzuje się ona występowaniem swobodnych jonów, które powstają wskutek jonizacji cząsteczek gazów atmosferycznych pod wpływem promieniowania słonecznego (głównie ultrafioletowego) oraz promieniowania kosmicznego. Jonosfera jest naładowana dodatnio względem powierzchni Ziemi, a różnica potencjałów wynosi około 400 kV. Układ Ziemia-jonosfera stanowi kulisty kondensator o pojemności około 2,5 F, a więc naładowany ładunkiem około 1 mln C. Powietrze, wypełniające ten kondensator, jest dobrym izolatorem i przewodzi prąd tylko w szczególnych warunkach. W słabo przewodzących dolnych warstwach atmosfery ziemskiej występują różnoimiennie naładowane molekuly gazów, spełniające rolę nośników prądu elektrycznego. Powstają one wskutek oddziaływania promieniowania kosmicznego, promieniowania jonizującego płaszcz Ziemi oraz gazów promieniotwórczych (np. radonu). Obecność niezerowego pola elektrycznego w dolnej atmosferze oraz istnienie swobodnych nośników elektrycznych powodują przepływ prądu. Prąd ten nosi nazwę prądu „ładnej pogody”, a jego gęstość wynosi około 2–3 pA/m². Gradient potencjału pola elektrycznego przy powierzchni Ziemi podczas bezchmurnej i bezwietrznej pogody wynosi około 150 V/m i maleje szybko z wysokością. Pomimo że gęstość prądu „ładnej pogody” jest niewielka, prąd ten mógłby doprowadzić w krótkim czasie do zaniku napięcia pomiędzy jonosferą a powierzchnią Ziemi. Istnieje jednak mechanizm ładowania Ziemi ładunkiem ujemnym ze średnim prądem 1800 A. Są nim burze atmosferyczne, występujące głównie w rejonach tropikalnych. Główną przyczyną wyładowań atmosferycznych jest głęboka konwekcja w dolnej atmosferze (poniżej 20 km), podczas której dochodzi do separacji ładunków elektrycznych. Mechanizm elektryzacji chmur burzowych nie jest do końca poznany. Istnieje kilka hipotez próbujących wyjaśnić ten proces, nie będą jednak one tu omawiane. Pomiary prowadzone w chmurach burzowych wykazały, że w górnych ich częściach powstaje nadmiarowy ładunek dodatni, a w dolnych – nadmiarowy ładunek ujemny. W większości wyładowań typu chmura-Ziemia dochodzi do przepływu ładunku ujemnego zgromadzonego w dolnej części chmury do powierzchni Ziemi.

W atmosferze ziemskiej poza wyładowaniami chmura-Ziemia i chmura-chmura występują także wyładowania chmura-jonosfera. Wyróżniamy trzy rodzaje zjawisk optycznych towarzyszących wyładowaniom tego typu. Są to: „czerwone krasnoludki”, występujące w postaci czerwonego błysku, „elfy”, obserwowane w postaci kręgów światła rozszerzających się promieniście w dolnej jonosferze, oraz „błękitne fontanny”, widziane w postaci niebieskich struktur przypominających odwrócony stożek. Zjawiska te na ogół nie są widoczne z powierzchni Ziemi.

Podczas wyładowania atmosferycznego emitowane są fale elektromagnetyczne oraz akustyczne. Te pierwsze widoczne są na ogół jako jasna błyskawica, ale ich zakres widmowy jest znacznie szerszy niż pasmo widzialne i obejmuje również np. fale radiowe. Można się o tym łatwo przekonać, włączając podczas burzy radio ustawione na odbiór fal długich.

Rozwiązanie zadania M 1293.

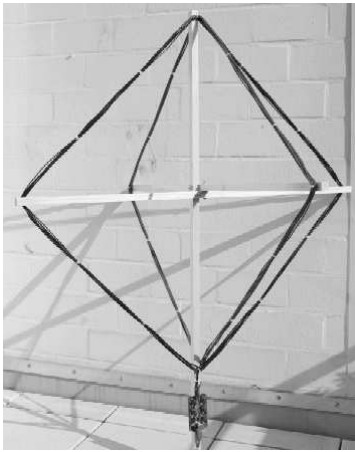
Oznaczmy przez A_0, A_1, \dots, A_6 punkty brzegu stawu, w których kolejno znajduje się ryba. Należy wykazać, że $A_6 = A_0$.

Niech k', l', m' będą prostymi prostopadłymi odpowiednio do prostych k, l, m przechodzącymi przez środek stawu. Wówczas punkt A_1 jest obrazem symetrycznym punktu A_0 w symetrii $S_{k'}$ względem prostej k' . I ogólnie, punkt A_{i+1} jest obrazem punktu A_i w symetrii względem jednej z prostych k', l', m' . Wobec tego

$$A_6 = (S_{m'} \circ S_{l'} \circ S_{k'} \circ S_{m'} \circ S_{l'} \circ S_{k'})(A_0).$$

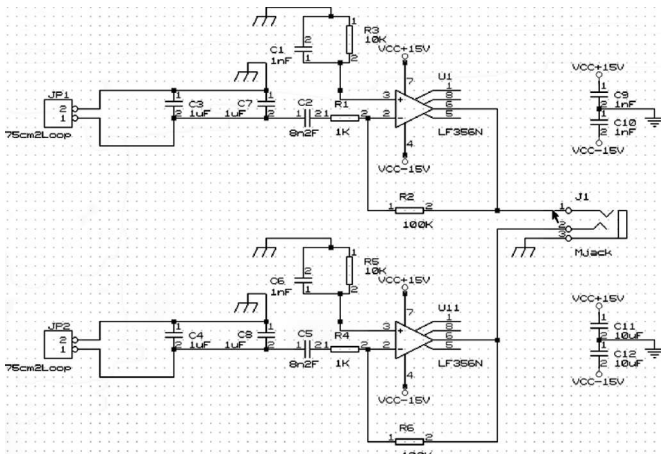
Ponieważ proste k', l', m' mają punkt wspólny, więc złożenie $S_{m'} \circ S_{l'} \circ S_{k'}$ jest symetrią S_p względem pewnej prostej p . Stąd $A_6 = (S_p \circ S_p)(A_0) = A_0$.

*Instytut Geofizyki, Wydział Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego



Rys. 1. Wygląd anteny detektora wyładowań atmosferycznych.

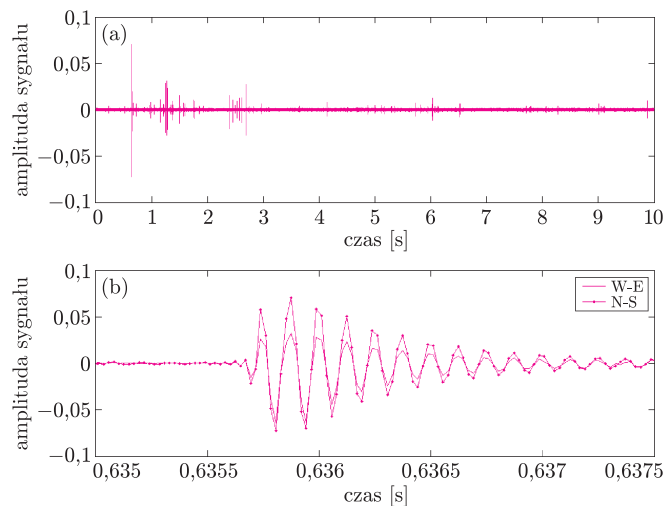
Fakt, że wyładowania atmosferyczne można wykryć na radiowych falach długich, stał się podstawą systemów lokalizacji wyładowań. Wykorzystuje to również opisany poniżej prosty przyrząd, umożliwiający rejestrację przebiegów czasowych wyładowań atmosferycznych. Głównym elementem detektora są dwie anteny leżące w prostopadłych płaszczyznach (rys. 1). Każda z anten składa się z 8 zwojów przewodu o średnicy około 1,5 mm, połączonych równoległe z kondensatorem o pojemności 1 μF (C3 i C4 na rysunku 2). Anteny mają kształt kwadratu o boku około 75 cm. Pojawiający się na końcach anten sygnał elektryczny jest wzmacniany przez prosty układ elektroniczny (rys. 2), składający się z dwóch identycznych wzmacniaczy operacyjnych LF356N, których zadaniem jest wzmocnienie prądów płynących w układach rezonansowych anten. Sygnały wyjściowe z obu wzmacniaczy podawane są bezpośrednio na wejście karty dźwiękowej komputera. Układ ten jest na tyle prosty, że może być wykonany przez osoby niemające dużego doświadczenia elektronicznego. Jego koszt waha się od 50 do 100 zł, w zależności od użytych elementów lub ich zamienników.



Rys. 2. Schemat elektroniczny wzmacniacza autorstwa Franka Kooimana.

Taki detektor wyładowań atmosferycznych pracuje na długości fali około 11 kHz, co pozwala na detekcję wyładowań w odległości nawet setek kilometrów od anteny. Dostępne jest bezpłatne oprogramowanie służące do rejestracji oraz analizowania wyników pomiaru. Dokładny opis detektora wraz z oprogramowaniem znajduje się na stronie <http://members.home.nl/fkooiman/lightning/>. Zbudowany w ten sposób przyrząd może stać się jedną ze stacji amatorskiej sieci obserwacyjnej w Europie.

Zastosowanie dwóch anten w detektorze pozwala wyznaczyć azymut wyładowania. Trzeba jednak pamiętać, że sygnały przychodzące z przeciwnych kierunków widziane są tak samo przez nasz detektor, nie będziemy zatem nigdy mieć pewności, czy wyładowanie zdarzyło się np. na północ czy na południe od detektora. Na podstawie amplitudy sygnału możemy wnioskować o odległości, w jakiej nastąpiło wyładowanie atmosferyczne (rys. 3b). Jest to jednak bardzo zgrube oszacowanie, gdyż wyładowania mogą znacznie się różnić, np. wyładowania dodatnie są z reguły dziesięciokrotnie bardziej energetyczne niż ujemne, stanowiąc jedynie 10% wyładowań chmura-Ziemia. Gdy mamy do dyspozycji kilka stacji detekcyjnych, możemy dokonać bardziej precyzyjnej lokalizacji wyładowania przy użyciu prostych metod geometrycznych. Wymaga to jednak precyzyjnej synchronizacji czasu rejestracji wyładowania pomiędzy wszystkimi komputerami sieci pomiarowej. Innym rozwiązaniem jest wykorzystanie odbiorników GPS, które są obecnie najlepszym z powszechnie dostępnych wzorców czasu. Rozwiązanie to wykorzystuje jedną z europejskich sieci obserwacji wyładowań atmosferycznych TOA (ang. *time of arrival*), <http://www.blitzortung.org/Webpages/index.php>. Amatorskie urządzenia pracujące w tej sieci są bardziej skomplikowane, a koszt zestawu do samodzielnego montażu wynosi około 200 euro.



Rys. 3. Przykład 10-sekundowej rejestracji sygnałów z detektora wyładowań atmosferycznych przy użyciu karty dźwiękowej z częstotliwością próbkowania 44100 Hz (a) oraz charakterystyka pojedynczego wyładowania (b). Na podstawie stosunku amplitud sygnałów z anten ustawionych w kierunku W-E i N-S określamy azymut wyładowania.

Niezależnie od szczegółów technicznych, przy odpowiedniej liczbie stacji pomiarowych można określić lokalizację wyładowań atmosferycznych z typową dokładnością od kilku do kilkudziesięciu kilometrów. Umożliwia to obserwację przesuwania się systemów burzowych, jak również badanie ich rozwoju oraz zaniku.