

BIBLIOTEKA
POLSKIEGO KRÓTKOFALOWCA

16

KRZYSZTOF DĄBROWSKI
OE1KDA

AMATORSKA
RADIOMETEOROLOGIA
WYDANIE 2

WIEDENŃ 2017

© Krzysztof Dąbrowski OE1KDA
Wiedeń 2017

Opracowanie niniejsze może być rozpowszechniane i kopiowane na zasadach niekomercyjnych w dowolnej postaci (elektronicznej, drukowanej itp.) i na dowolnych nośnikach lub w sieciach komputerowych pod warunkiem nie dokonywania w nim żadnych zmian i nie usuwania nazwiska autora. Na tych samych warunkach dozwolone jest tłumaczenie na języki obce i rozpowszechnianie tych tłumaczeń.

Na rozpowszechnianie na innych zasadach konieczne jest uzyskanie pisemnej zgody autora.

Amatorska radiometeorologia

Krzysztof Dąbrowski OE1KDA

**Wydanie 2
Wiedeń, marzec 2017**

Spis treści

Wstęp do wydania 1	7
Wstęp do wydania 2	10
Zjawiska fizyczne	11
Pioruny kuliste	12
Sygnały	14
Burze	17
Zjawiska fizyczne	17
Układy odbiorcze	20
Odbiornik DG9WF	20
Paskowy wskaźnik napięcia	22
Wskaźnik tendencji	22
Prosty sygnalizator burz na pasmo 300 kHz	23
Kombinowany odbiornik do pomiaru wyładowań atmosferycznych i pól elektrostatycznych	25
Odbiornik długofalowy SP9HSQ na pasmo do 20 kHz	27
Odbiór przy użyciu systemu dźwiękowego komputera	28
Odbiornik SP9HSQ na pasmo do 50 kHz	29
Odbiornik „Blitzortung”	30
Odbiornik BBB-4	32
Pętlowa antena odbiorcza IK1QFK	35
Podwójna antena ramowa „Blitzortung”	37
Symetryczna antena aktywna na zakres 5 Hz – 500 kHz	37
Drzewa jako anteny	39
Obserwacje	40
Mapy w internecie	42
Blitzortung	42
Burze.dzis.net	45
BLIDS	46
Wyładowania ciche	47
Zjawiska fizyczne	47
Układy odbiorcze	52
Odbiornik radiometeorologiczny „Żabka”	52
Transmisja danych pomiarowych	56
Odbiornik radiometeorologiczny „Żabka 3” na zakres 300 kHz	59
Antena pętlowa na zakres długofalowy	64
Antena pętlowa wykonana z rurek plastikowych	64
Aktywna antena pętlowa	66
Antena magnetyczna	66
Obserwacje	68
Pole elektrostatyczne	70
Zjawiska fizyczne	70
Elektrometr parametryczny	70
Konstrukcja elektrometru DH1STF	74
Uruchomienie elektrometru	81
Udoskonalenie elektrometru	83
Przykład fabrycznej konstrukcji elektrometru EFM-100 firmy Boltek	85
Obserwacje	86
Dodatek A. Wpływ pogody na odbiór fal średnich	86
Dodatek B. Barometr chemiczny	89
Dodatek C. Właściwości częstotliwościowe niektórych materiałów ferromagnetycznych stosowanych na anteny ferrytowe	91
Dodatek D. Fronty atmosferyczne	99
Dodatek E. Fronty zimne	102

Dodatek F. Okluzja	103
Dodatek G. Fronty ciepłe	104
Dodatek H. Radon	105

Sommaire Radiométéorologie

Préface pour 1 ^{ère} édition	7
Préface pour 2 ^{ème} édition	10
Phénomènes physiques	11
Foudres sphériques	12
Signales	14
Orages	17
Phénomènes physiques	17
Récepteurs	20
Récepteur DG9WF	20
Afficheur DEL de tension	22
Afficheur de tendance	22
Signalisateur simple des orages pour la bande 300 kHz	23
Récepteur complexe pour les mesures des atmosphériques et des champs électrostatiques	25
Récepteur TBF SP9HSQ pour la bande jusqu'à 20 kHz	27
Réception avec la carte son	28
Récepteur TBF SP9HSQ pour la bande jusqu'à 50 kHz	29
Récepteur „Blitzortung”	30
Récepteur BBB-4	32
Antenne boucle réceptrice IK1QFK	35
Antenne double cadre „Blitzortung”	37
Antenne active symétrique pour la bande 5 Hz – 500 kHz	37
Arbres comme antennes	39
Surveillances	40
Cartes sur Internet	42
Blitzortung	42
Burze.dzis.net	45
BLIDS	46
Décharges obscures	47
Phénomènes physiques	47
Récepteurs	52
Récepteur radiométéorologique „Grenouille”	52
Transmission de données de mesure	56
Récepteur radiométéorologique „Grenouille 3” pour la bande 300 kHz	59
Antenne boucle TBF	64
Antenne boucle à tubes de plastique	64
Antenne boucle active	66
Antenne boucle magnétique	66
Surveillances	68
Champs électrostatiques	70
Phénomènes physiques	70
Électromètre paramétrique	70
Montage d'électromètre DH1STF	74
Mise en service	81
Amélioration d'électromètre	83
Exemple d'électromètre EFM-100 de Boltek	85
Surveillances	86
Annexe A. Impact météorologique à la réception des ondes moyennes	86
Annexe B. Baromètre chimique	89
Annexe C. Propriétés des certains matériaux de ferrite en fonction de fréquence	91
Annexe D. Fronts atmosphériques	99
Annexe E. Fronts froids	102

Annexe F. Occlusion	103
Annexe G. Fronts chauds	104
Annexe H. Radon	105

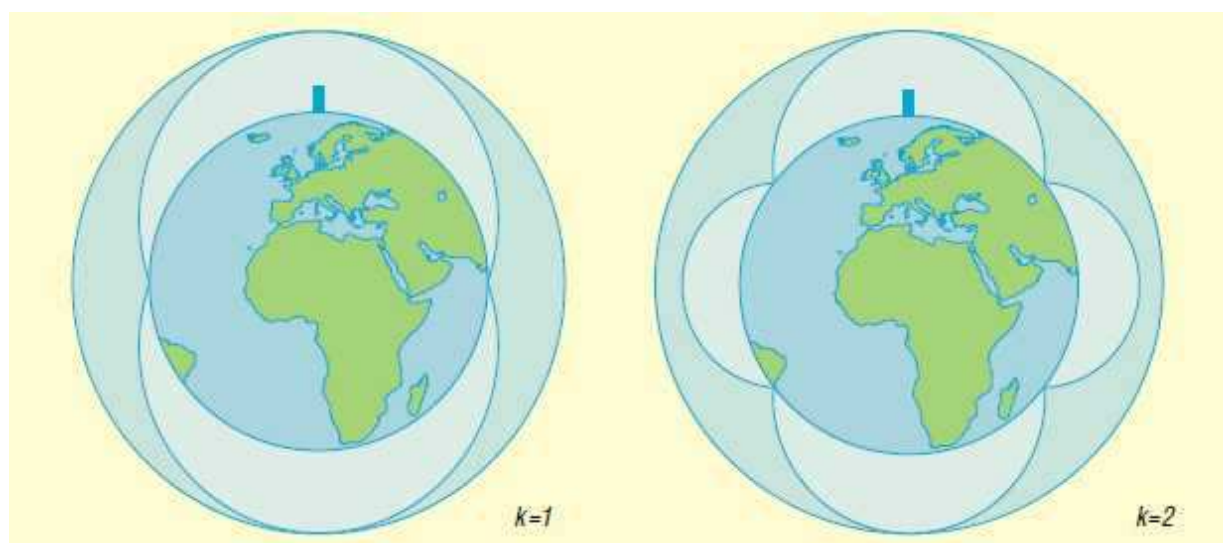
Wstęp do wydania 1

Oprócz stworzonych przez człowieka źródeł promieniowania elektromagnetycznego istnieje szeroka gama źródeł naturalnych. Źródła te można podzielić na dwie grupy. Do pierwszej z nich należą źródła ziemskie, a do drugiej pozaziemskie czyli kosmiczne. Badaniem sygnałów wytwarzanych przez źródła drugiej grupy zajmuje się od lat 1930-tych radioastronomia. Temat ten był szczegółowo poruszony w 14 tomie „Biblioteki polskiego krótkofalowca” i dlatego też w obecnym opracowaniu zajmiemy się źródłami pochodzenia ziemskiego.

Należą do nich w pierwszym rzędzie wyładowania burzowe czyli pioruny. Jest to sprawa stosunkowo najbardziej znana nie tylko wśród osób zajmujących się radiotechniką. Drugim, już znacznie mniej znanym źródłem są tzw. ciche wyładowania atmosferyczne. Odbywają się one bez widocznych błyskawic i dlatego też przykładowo w literaturze niemieckojęzycznej są nazywane wyładowaniami ciemnymi (niem. *Dunkelfeldentladung* – *DFE*). Ich występowanie wiąże się nie tylko ze stanami przedburzowymi ale także z innymi zjawiskami meteorologicznymi związanymi z ruchem większych mas powietrza takimi jak przesuwanie się frontów atmosferycznych – a zwłaszcza frontów zimnych i zokludowanych.

Zróżnymi fal elektromagnetycznych o bardzo niskich częstotliwościach mogą być także zjawiska poprzedzające trzęsienia ziemi i smugi powietrza zjonizowanego przez wpadające do atmosfery meteoryty. To, że smugi te odbijają fale radiowe (zwłaszcza w zakresie UKF) jest już od dawna znane krótkofalowcom i nie tylko. Fakt, że mogą one stanowić same źródła fal radiowych jest nie tylko mało znany ale też zjawiska te wymagają jeszcze dokładniejszego zbadania.

Obecne opracowanie poświęcone jest źródłom fal elektromagnetycznych związanym ze zjawiskami meteorologicznymi i ich obserwacjom dlatego też pominięto w nim tematy związane z trzęsieniami ziemi, meteorytami, a także fascynujące wprawdzie ale nie związane z pobliskimi zjawiskami meteorologicznymi sprawy obserwacji rezonansów Schumanna. Mówiąc w dużym skrócie powierzchnia ziemi i jonosfera stanowią swego rodzaju ścianki olbrzymiego rezonatora wnękowego, którego podstawowa częstotliwość rezonansowa leży w okolicach 7,8 Hz, a wyższe w pobliżu jej harmonicznych. Drgania w rezonatorze są pobudzone przez wyładowania burzowe ale jest to zjawisko o skali światowej, a nie lokalnej, a ponieważ w każdym momencie na świecie dochodzi do znacznej liczby wyładowań (od ok. 100 na sekundę) więc trudno mówić o jakichś szczególnych powiązaniach z pogodą panującą w tym czy innym rejonie ziemi.



Rys. 1.1. Powstawanie rezonansów Schumanna dla częstotliwości podstawowej i drugiej harmonicznej. Źródło „Funkamateur” 11/2004 str. 1111.

Według niektórych teorii powstające w wyniku wyładowań burzowych lub innych zjawisk meteorologicznych fale bardzo długie mogą wywierać wpływ na organizmy żywe i być nawet przyczyną wrażliwości na nadchodzące dopiero zmiany pogody. Mogą one być też odbierane przez niektóre zwierzęta w sposób zmieniający ich zachowanie, powodujący np. chowanie się ich w bezpiecznych miejscach (przykładowo mrówek w mrowiskach) albo wychodzenie na powierzchnię lub chowanie się w wodzie żab. Fale te mogą mieć także wpływ na strukturę i konsystencję niektórych materiałów chemicznych. Zarówno jeden jak i drugi zespół spraw nie jest jeszcze dostatecznie zbadany i trudno jest też powiedzieć coś dokładniejszego na temat mechanizmów oddziaływania fal radiowych zarówno na organizmy żywe jak i na materię nieożywioną. Dlatego też autor, nie będący specjalistą w ani dziedzinie biologii ani medycyny zrezygnował z omawiania tej grupy tematów.

Oddziaływanie fal elektromagnetycznych na organizmy żywe budzi naogół negatywne skojarzenia – obawy przed ich szkodliwością – i nieraz silne emocje ale bez względu na to czy obawy te okażą się uzasadnione czy też nie i ewentualnie w jakim stopniu może dotyczyć to jedynie sztucznych źródeł promieniowania elektromagnetycznego skonstruowanych przez człowieka. Naturalne źródła fal radiowych istniały natomiast od przysłowiowego początku świata i zarówno organizmy ludzkie jak i zwierzęce miały dosyć czasu aby przystosować się w toku ewolucji do tych naturalnych i wszechobecnych pól i ich zmienności. Dlatego też jeżeli nawet zostanie udowodnione, że mają one wpływ na funkcjonowanie organizmów żywych to nie można będzie uważać go za negatywny.

Zarówno w badaniach profesjonalnych jak i amatorskich dominują obecnie od wielu dziesiątków lat obserwacje wyładowań pochodzenia burzowego i ich lokalizacja. Obserwacje sygnałów pochodzących od innych zjawisk meteorologicznych stopniowo dopiero zaczynają budzić zainteresowanie po dłuższym zapomnieniu. Były one prowadzone niemal od początków radiotechniki do około połowy XX w. a sprawami radiometeorologii interesowało się wówczas wielu uczonych i praktyków. W zasadzie trudno powiedzieć co było przyczyną takiego stanu rzeczy, ale być może nie przynosiły one tak szybkich i zdecydowanych korzyści dla gospodarki.

Bezpośrednie zależności natury ekonomicznej wywierają jednak znacznie słabszy wpływ na działalność amatorską – środki własne inwestowane są dla zaspokojenia określonych zainteresowań, a nie w oczekiwaniu materialnego zysku – dlatego też warto aby właśnie amatorzy (radioamatorzy, krótkofalowcy i osoby zainteresowane amatorsko meteorologią) zajęli się tymi mniej modnymi albo zaniedbanymi tematami w nadziei, że może to właśnie oni odkryją coś ciekawego albo przypomną odłożoną do lamusa wiedzę.

Zaprezentowane dalej stosunkowo nieskomplikowane odbiorniki radiowe, sygnalizatory burz i czujniki zmian pola elektrostatycznego mogą znaleźć zastosowanie nie tylko wśród krótkofalowców, ale także w szkołach na lekcjach fizyki lub zajęciach dodatkowych. Być może niektóre z poruszonych tematów staną się inspiracją dla studenckich lub uczniowskich prac przejściowych i dyplomowych.

Krzysztof Dąbrowski OE1KDA

Wiedeń

Kwiecień 2013

Wstęp do wydania 2

Radiometeorologia nie jest dziedziną, w której daje się zaobserwować szybki postęp i istotne zmiany stanu wiedzy w krótkim czasie. W drugim wydaniu rozszerzono niektóre tematy w oparciu o trudniej dostępną literaturę i dokonano drobnych korekt. Dodano także krótkie omówienie najważniejszych (dla tematyki skryptu) zjawisk meteorologicznych.

*Krzysztof Dąbrowski OE1KDA
Wiedeń
9 marca 2017*

Zjawiska fizyczne

Promieniowanie kosmiczne i resztkowe promieniowanie Ziemi prowadzi do tworzenia się w atmosferze ziemskiej swobodnych nośników prądu - ciężkich jonów dodatnich i elektronów. Unoszone przez prądy powietrzne drobiny kurzu i opadów atmosferycznych przyczyniają się do procesu koncentracji jonów, który jest szczególnie silny w dolnych warstwach atmosfery, gdzie na skutek silnego zapylenia istnieje dużo jąder koncentracji. Zmiany stężenia jonów oraz własności samej atmosfery powodują, że przewodnictwo powietrza szybko rośnie z wysokością, przy czym decydujący wpływ mają tutaj następujące czynniki:

- jonizacja powietrza silnie rośnie z wysokością,
- zmniejszenie gęstości atmosfery powoduje wydłużenie średniej drogi swobodnej nośników prądu,
- na skutek łączenia się jonów w dolnych warstwach atmosfery nośnikami prądu są ciężkie jądra koncentracji.

Wzrost przewodnictwa jest tak silny, iż atmosferę na wysokościach powyżej 50 km można traktować jako dobry przewodnik.

Istnienie swobodnych nośników w obecności stałego, naturalnego pola elektrycznego powoduje przepływ prądu elektrycznego niosącego do ziemi ładunek dodatni. W warunkach normalnych, tzn. przy bezchmurnym niebie i bezwietrznej pogodzie, prąd ten - nazywany *prądem ładnej pogody* - ma gęstość rzędu 10 pA/m^2 . Stale dopływający do Ziemi ładunek dodatni szybko powinien zrównoważyć nadmiar jej ładunku ujemnego. Tak się jednak nie dzieje, a fakt ten długo pozostawał niewyjaśniony. Obecnie zachowanie ładunku ujemnego Ziemi przypisuje się wyładowaniom atmosferycznym. Ocenia się, że w każdej sekundzie burze przenoszą do Ziemi ładunek rzędu 2000 C.

Obłoki burzowe powstają podczas szybkiego wznoszenia się ciepłych, wilgotnych mas powietrza.

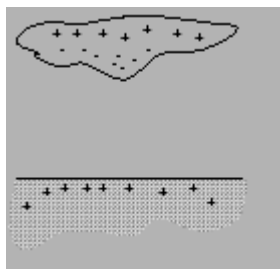
Analizy meteorologiczne wykazują, że szczególnie korzystne warunki tworzenia się obłoków burzowych występują wzdłuż frontów atmosferycznych oraz na terenach, których topografia sprzyja ogrzewaniu się dolnych warstw atmosfery.

Dzięki silnym prądom wznoszącym, ciepłe i wilgotne powietrze wznosi się z prędkością dochodzącą do 90 km/h, osiągając wysokości, na których temperatura otoczenia jest niższa od $0 \text{ }^\circ\text{C}$. W czasie ochładzania para wodna zawarta w powietrzu skrapla się, wydzielając ciepło, co powoduje, iż unoszące się masy powietrza mogą mieć temperaturę wyższą niż otoczenie. Ze wzrostem wysokości następuje stopniowe schładzanie powietrza a zawarta w nim para wodna skrapla się i zamarza. Proces wznoszenia jest przerywany, gdy powstające drobiny lodu i wody są już zbyt ciężkie i zaczynają opadać porywając za sobą otaczające powietrze. W tej fazie w chmurze burzowej następuje separacja ładunków ujemnych i dodatnich.

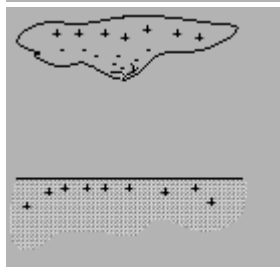
Mechanizmem odpowiedzialnym za elektryzację chmury burzowej jest różnicowanie się małych i dużych drobin lodu, prowadzące do przestrzennej separacji ładunków. Obecnie uważa się, że za rozdział ładunku między dużymi i małymi drobinami lodu odpowiedzialny jest tzw. *proces elektryzowania się krupy lodowej*. Krople przechłodzonej wody zamarzają przy zetknięciu z krupą lodową i na skutek powstających naprężeń dają mikroskopijne, naładowane dodatnio odpryski lodu. Przewaga ładunku dodatniego w zewnętrznych warstwach kropli występuje dzięki zależności stopnia jonizacji wody od temperatury. W zamarzającej kropli występuje gradient temperatury, w związku z czym liczba par jonów H^+ i OH^- jest w środku kropli większa niż na jej obrzeżach. Lekkie jony H^+ mają większą ruchliwość i wskutek dyfuzji szybciej wyrównują swoje stężenia we wnętrzu kropli. Taki proces prowadzi do nadmiaru ładunku dodatniego w zewnętrznych warstwach kropli i stąd powstające odpryski lodowe są naładowane dodatnio. Prądy wznoszące unoszą lekki pył lodowy do górnych warstw chmury burzowej, pozostawiając ciężkie, naładowane ujemnie krupy lodowe w jej dolnej części. Rozdzielone przestrzennie ładunki tworzą wewnątrz chmury tzw. *komory burzowe*. Komory z ładunkiem ujemnym znajdują się w dolnej części chmury, powodując lokalną inwersję pola elektrycznego, przy czym różnica potencjałów może dochodzić do 160 MV.

Po przekroczeniu wartości progowej pola (rzędu 10 – 15 kV/m) wewnątrz chmury dochodzi do tzw. *przedwyładowań* pomiędzy centrami ładunków ujemnych i dodatnich. W trakcie tych wyładowań ujemne ładunki elektryczne z dna obłoku burzowego uzyskują pęd niezbędny do rozpoczęcia procesu tworzenia kanału wyładowania.

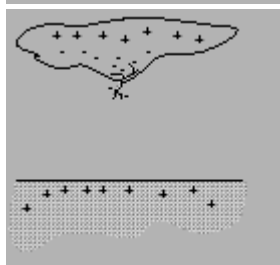
Na ilustracjach poniżej podano orientacyjny przebieg wyładowania składający się z jego najważniejszych faz. Podane czasy należy również traktować orientacyjnie.



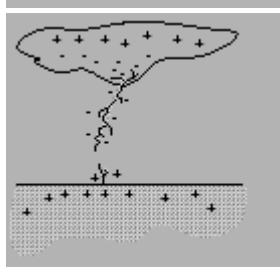
Rys. 3.1. Typowy rozkład ładunku w chmurze burzowej, czas: 0,0 ms. W dolnej części chmury znajdują się komory z ładunkiem ujemnym, a w górnej – z dodatnim.



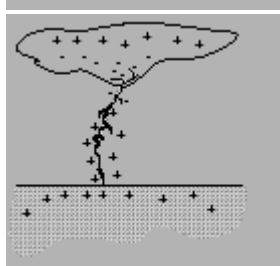
Rys. 3.2. Przedwyładowanie (wyładowanie wewnątrz chmury burzowej), czas: 1,0 ms.



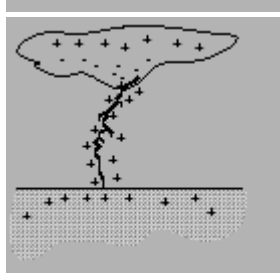
Rys. 3.3. Wyładowanie wstępne, wyładowanie pilotujące, prekursor krokowy, czas: 1,1 ms. Poszczególne kroki mają długość 10 – 200 m a szybkość rozprzestrzeniania się wyładowania dochodzi do 300 km/s (0,1 – 3 m/μs). Odstępy pomiędzy krokami wynoszą typowo od 37 do 124 μs. Prekursor jest rozgałęziony a kierunek jego ruchu zależy od lokalnego stopnia jonizacji powietrza.



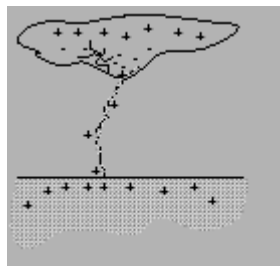
Rys. 3.4. Wyznacznik połączenia, czas: 20 ms. W miarę zbliżania się prekursora do ziemi lub obiektów znajdujących się na jej powierzchni takich jak zabudowania, drzewa, maszty wzrasta nateżenie pola elektrycznego a po przekroczeniu wartości granicznej w kierunku chmury narasta ładunek dodatni zwany wyznacznikiem połączenia. Możliwe jest powstawianie wielu wyznaczników związanych z różnymi obiektami znajdującymi się w pobliżu.



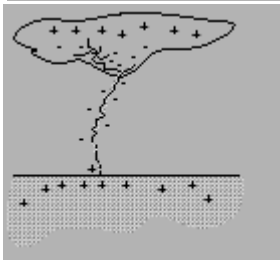
Rys. 3.5. Pierwszy powrotny impuls prądowy (w kierunku od ziemi do chmury), czas: 20,15 ms. Średnia szybkość dochodzi do 130 m/μs. Fazę tą nazywa się także wyładowaniem głównym.



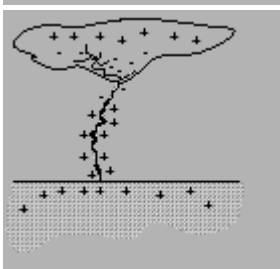
Rys. 3.6. Koniec pierwszego powrotnego impulsu prądowego, czas: 20,2 ms.



Rys. 3.7. Wyładowania wewnątrz chmury, czas: 40 ms.



Rys. 3.8. Ciemny prekursor, czas: 62 ms.



Rys. 3.9. Kolejny wtórny impuls prądowy, czas: 62,05 ms.

Strumień ładunków, zwany wyładowaniem pilotującym lub prekursorem i widoczny w postaci małego świecącego punktu, jonizując powietrze na swej drodze, porusza się skokowo w kierunku ziemi. Długość skoków wynosi od 10 do 200 m (często w literaturze podawane są długości 30 – 50 m), a cały proces trwa przeważnie od ok. 10 do ok. 100 ms.

Fakt, iż prekursor krokowy nie porusza się wzdłuż najkrótszej drogi, a jego kanał jest silnie rozgałęziony, tłumaczy się tym, że główka prekursora wybiera kierunek lokalnie największej jonizacji powietrza. W czasie ruchu prekursora część ładunku komory burzowej spływa wzdłuż częściowo już utworzonego kanału wyładowania dając przestrzenny liniowy rozkład. Ładunek ten może stanowić do 20% całkowitego ładunku centrum wyładowania. Ładunek zgromadzony na czole prekursora powoduje lokalny wzrost natężenia pola elektrycznego.

Według hipotezy zaproponowanej przez Aleksandra Gurewicza z Instytutu Lebedewa w Rosji drogę wyładowania pilotującego wytyczają wysokoenergetyczne cząstki promieniowania kosmicznego. Zderzenie kosmicznego przybysza z atomem powietrza prowadzi do powstania kaskad cząstek wtórnych wytwarzających strumienie elektronów. W ten sposób w górnej naładowanej ujemnie części chmury rozpoczyna się wyładowanie pilotujące.

Gdy wartość pola przekroczy ok. 500 kV/m tworzy się tzw. *wyznacznik połączenia*. Jest to kanał zjonizowanego powietrza wybiegający od powierzchni ziemi w kierunku czoła prekursora. Wyznaczniki połączenia powstają w miejscach, gdzie powierzchnia ziemi sprzyja zagęszczeniu linii sił pola elektrycznego. Można do nich zaliczyć wysokie wolno stojące drzewa, dzwonnice, maszty i anteny telekomunikacyjne, słupy sieci energetycznej i trakcyjnej. Możliwe jest powstanie wielu wyznaczników związanych z różnymi obiektami znajdującymi się w pobliżu. O miejscu uderzenia pioruna decyduje ten z wyznaczników, który pierwszy zetknie się z prekursorem. Długość wyznaczników może dochodzić do kilkudziesięciu metrów.

W momencie zetknięcia wyznacznika z czołem prekursora gwałtownie wzrasta prąd płynący przez kanał wyładowania, powodując zwiększenie jasności kanału. Fazę gwałtownego zubożania ładunku określa się terminem *wyładowania powrotnego* lub też *wyładowania głównego*. Impuls prądowy porusza się wzdłuż kanału z prędkością ok. jednej trzeciej prędkości światła (do 100000 km/s) i może mieć amplitudę dochodzącą do setek kiloamperów. Czas narastania typowego impulsu jest rzędu kilku mikrosekund (przykładowo 5,5 μ s dla prądu 2 kA), a wartość prądu spada do połowy jego wartości szczytowej po czasie mierzonym w dziesiątkach mikrosekund. Po pewnym czasie od zainicjowania

impulsu prądowego (40 – 70 ns), wzdłuż kanału wyładowania schodzi następny prekursor, zwany *prekursorem ciągłym*, „załączając” kolejne wyładowanie powrotne. Proces wyzwala kolejnych impulsów prądowych w tym samym kanale wyładowania trwa aż do rozładowania centrum burzowego, przy czym jego ujemny ładunek może być uzupełniany z sąsiednich komórek poprzez wyładowania wewnętrzne. Ładunek przeniesiony w trakcie jednego wyładowania wynosi ok. 20 C przy czym na jeden impuls prądowy przypada ok. 1/3 C. Czas rozładowania może dochodzić do 1 s. Temperatura w kanale wyładowania może dochodzić do 30000 °K. Powoduje to gwałtowne rozszerzanie się nagrzanego powietrza w postaci fali głosowej zwanej grzmotem.

Oprócz wyładowania w kierunku ziemi występują także wyładowania do jonosfery. Pierwszy raz wzmianki o wyładowaniu z chmury burzowej do góry pojawiły się w roku 1886, ale potwierdzenie znalazły dopiero ostatnio.

Wyładowanie do jonosfery pojawia się tylko w kłębiastych chmurach deszczowych (cumulonimbus) wznoszących się wysoko do góry. Ma ono zwykle kolor czerwono-pomarańczowy, podobny do światła lamp neonowych i trwa dłużej niż zwykły piorun. Zwykle jest widoczne przez 17 ms. Jego źródłem jest bardzo silny piorun w kierunku ziemi, który pozbawia chmurę ładunku dodatniego. Wyładowanie w kierunku jonosfery może mieć wysokość do 50 km i pojawia się około 100 ms później. Często wyładowanie jest podwójne, a wokół niego na skutek rozgrzania plazmy powstaje poświata.

Pierwsze zdjęcia wyładowania do jonosfery wykonali 6 czerwca 1989 roku naukowcy z *Uniwersytetu stanu Minnesota*. Nazwali to zjawisko angielskim słowem *sprites* nawiązującym do postaci ze sztuki Szekspira i oznaczającym duszka.

Pioruny kuliste

Rzadkim zjawiskiem meteorologicznym są natomiast pioruny kuliste. Według relacji świadków, objawiają się jako świecąca i poruszająca się kula o promieniu od kilku do kilkudziesięciu centymetrów, czasami wydająca głos podobny do syczenia. Uważa się, że jest rodzajem wyładowania atmosferycznego. Naukowcy nie są zgodni co do określenia faktycznej istoty pioruna kulistego.

Piorun kulisty wyglądem przypomina świetlistą kulę o średnicy od kilku do kilkudziesięciu centymetrów, poruszającą się w różnych kierunkach i wydającą dźwięki, takie jak warczenie czy syczenie. Może mieć różne barwy (najczęściej białą, żółtą lub bładoniebieską). Trwa zwykle od kilkunastu do kilkudziesięciu sekund. Występuje przeważnie w trakcie burz, ale istniały przypadki pojawiania się tego zjawiska w słoneczną pogodę. Świeci w przybliżeniu jak 100 watowa żarówka. Największy zauważony piorun kulisty miał ok. 1,5 m, najmniejszy – 1 cm.

Naukowcy nie znają mechanizmów rządzących procesem jego powstawania. Główne koncepcje głoszą, że jest to rodzaj wyładowania elektrycznego, ale autorzy tych koncepcji nie potrafili wytłumaczyć szczegółów funkcjonowania tego wyładowania.

John Abrahamson i James Dinniss z Uniwersytetu Cattenbury wymyślili potencjalne wyjaśnienie zjawiska. Według nich piorun kulisty powstaje, gdy zwykły piorun uderza w ziemię, unosząc nieco rozgrzanego krzemu – powszechnego składnika skorupy ziemskiej. W wyniku wysokiej temperatury i przetopienia skał glebowych opary krzemu wydostają się ze szczelin w glebie i wznoszą się, przyjmując najpierw kształt pierścienia, a potem kuli. Atomy krzemu wchodzi w reakcję z tlenem, a ich spalaniu towarzyszy wydzielanie energii w postaci promieniowania elektromagnetycznego – światła. Badania przeprowadzone w 2008 r. przez Eli Jerby i Władimira Dichytara z Uniwersytetu Tel Awiwu wskazują na to, iż hipoteza ta jest poprawna. Gdy prześwietlili oni wytworzone laboratoryjnie w ten sposób pioruny kuliste wiązkami promieni rentgenowskich i protonów, okazało się, że głównym ich budulcem są cząstki o rozmiarach 25-50 nm.

Prowadzono próby wywołania efektu w laboratorium, które zweryfikowałyby hipotezy dotyczące funkcjonowania pioruna kulistego. Efekt podobny do obserwowanego w naturze osiągnięto w laboratorium na różne sposoby:

- odparowując różne substancje lub jonizując powietrze za pomocą mikrofal i zasilając zjonizowany obszar mikrofalami;
- przykładając napięcie 5000 V do wody, prowadząc w ten sposób do jej gwałtownego odparowania.

Trwające dłużej zjawisko przypominające piorun kulisty powstaje jedynie w przypadku doprowadzenia do wyładowania elektrycznego w stosunkowo niewielką, odpowiednio dobraną ilość wody. To również może tłumaczyć rzadkość występowania tego zjawiska w przyrodzie, gdyż wymagałoby ono uderzenia pioruna w odpowiedniej wielkości kałużę lub inny niewielki zbiornik wody.

Ostatnie badania Josefa Peera i Alexandra Kendla z Uniwersytetu w Innsbrucku wskazują na to, że piorun kulisty może być złudzeniem optycznym. Jeśli czas trwania zwykłego pioruna jest dostatecznie długi (wielokrotne wyładowania przez ten sam kanał), to obserwator znajdujący się wystarczająco blisko może odnieść wrażenie, że widzi kulę światła trwającą nawet kilkadziesiąt sekund. Silne zmienne pole magnetyczne indukowane przepływem ładunków powoduje stymulację magnetyczną neuronów podobnie jak w TMS (*Transcranial Magnetic Stimulation*). Uczestnicy doświadczeń polegających na przykładaniu aparatury TMS w pobliżu kory wzrokowej twierdzili, że widzieli kolorowe linie, plamy i kuliste obiekty różnych rozmiarów.

Gerald Cooray z Karolinska Institutet w Sztokholmie i Vernon Cooray z *Uppsala Universitet* twierdzą, że piorun kulisty to złudzenie towarzyszące epilepsji. Uważają oni, że przynajmniej część doniesień o obserwacji piorunów kulistych pochodzi od osób, które doznały napadów padaczkowych, obejmujących płat potyliczny kory mózgowej. Jedną z ich konsekwencji są halucynacje wzrokowe. Podczas napadu padaczkowego zlokalizowanego w płacie potylicznym pacjent obserwuje kolorowe błyski i plamy, w tym kuliste obiekty. Kule te mogą wirować i przemieszczać się, powiększać i eksplodować. Złudzenia takie trwają zwykle do 30 sekund. Naukowcy uważają, że napady padaczki mogą być wywołane zmiennym polem magnetycznym, towarzyszącym silnym wyładowaniom.

Sygnaly

Do najważniejszych źródeł sygnałów pochodzenia naturalnego należą sygnały powstające w wyniku wyładowań burzowych (piorunów) oraz wyładowań cichych spowodowanych innymi zjawiskami meteorologicznymi j.np. ścieranie się mas powietrza o różnych właściwościach w wyniku ruchu frontów atmosferycznych, wyładowaniami albo mikrowyładowaniami wewnątrz chmur lub między chmurami itp. Wyładowania takie nie muszą wcale poprzedzać burzy i mogą być całkowicie niezależne od jej wystąpienia.

Oprócz tego źródłem sygnałów radiowych mogą być zjawiska związane ze spalaniem się atmosfery ziemskiej meteoroidów albo związane z trzęsieniami ziemi.

W zależności od przyczyn powstania sygnały takie różnią się między sobą przebiegami elektrycznymi i kształtem, widmem częstotliwości, ich siłą i częstością występowania.

Kształt odbieranego sygnału zależy między innymi od odległości od miejsca wyładowania. O ile w jego pobliżu ma on charakter impulsowy o tyle w większych odległościach nabiera on coraz bardziej charakteru okresowego (oscylacyjnego). Drugim czynnikiem wpływającym na kształt odbieranego sygnału są warunki propagacji panujące na jego trasie. Na trasie propagacji sygnały te ulegają w mniejszym lub większym stopniu dyspersji czyli zależnemu od częstotliwości rozciągnięciu w czasie. Składowe o pewnych częstotliwościach docierają do odbiornika później niż inne – w tym przypadku są to składowe o niższych częstotliwościach.

Kształt widma sygnału jest natomiast w znacznym stopniu zależny od jego pochodzenia. Maksimum widma dla sygnałów pochodzących od wyładowań burzowych leży w okolicach 10 kHz chociaż są one odbieralne i w zakresie wielu MHz (choć oczywiście słabiej). Dla sygnałów pochodzących od wyładowań cichych (o charakterze meteorologicznym a nie burzowym) maksimum to leży znacznie wyżej – w zakresach fal długich, średnich lub nawet krótkich. Burze są oczywiście także zjawiskami meteorologicznymi ale w określeniu powyższym chodzi o odróżnienie sygnałów powstających w wyniku innych zjawisk niż burzowe.

Również siła sygnału zależy od jego pochodzenia (oczywiście również i od odległości od źródła).

Sygnały związane z bliskimi wyładowaniami burzowymi są silniejsze od pozostałych. Pomimo, że burzowe wyładowania wielokrotnie nie są rzadkością, wyraźną cechą sygnałów pochodzących od wyładowań cichych jest częste występowanie ich serii.

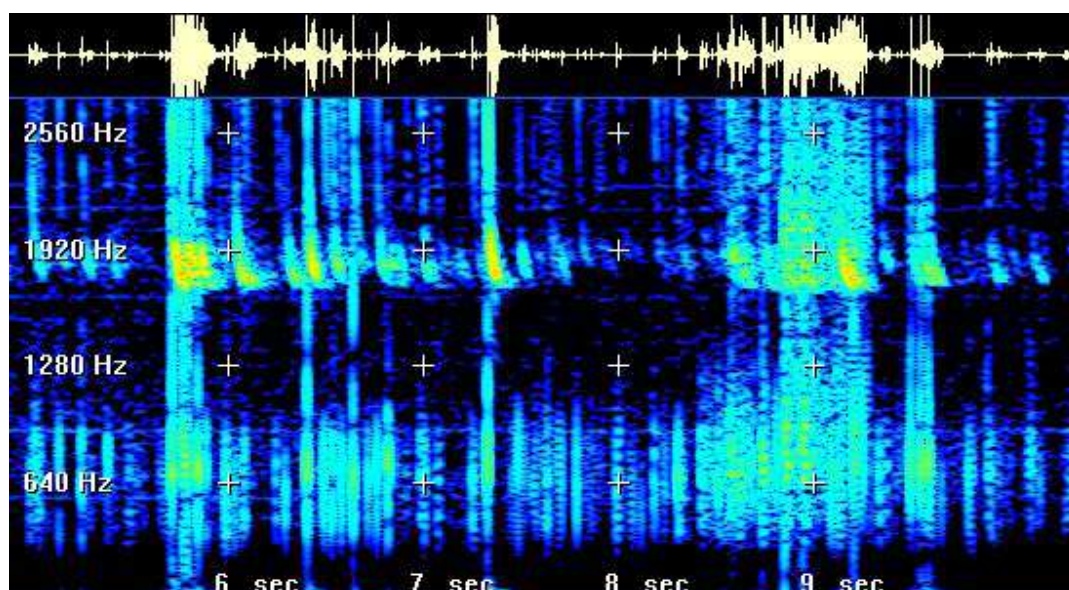
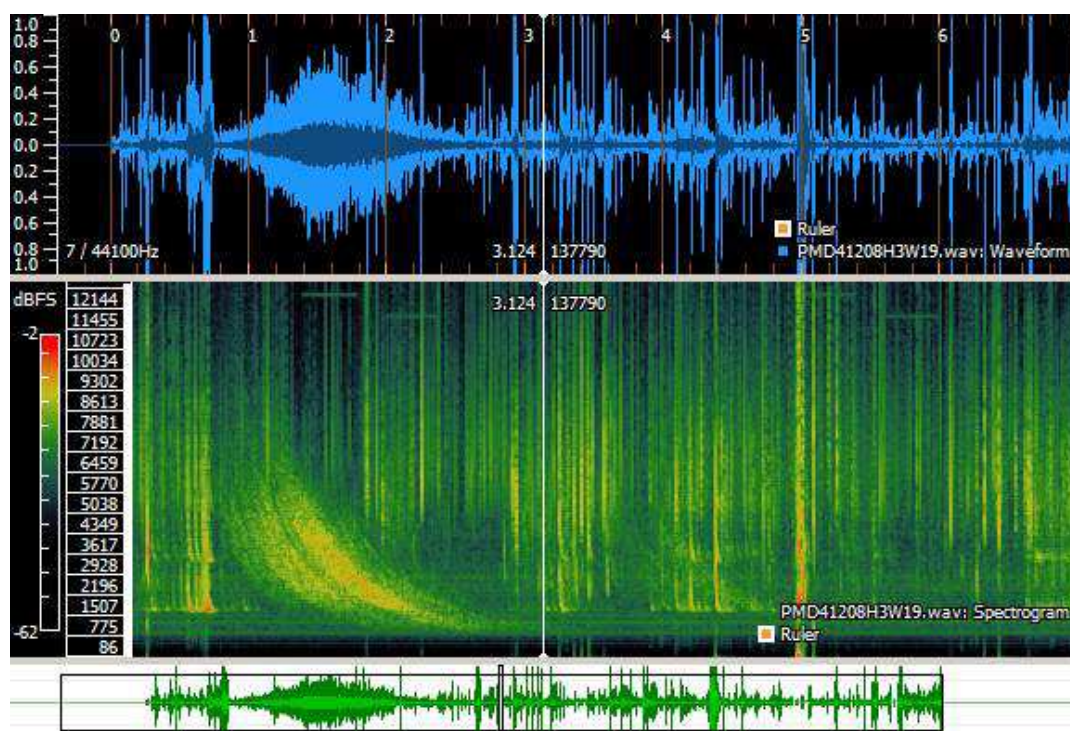
Warto też zauważyć, że sygnały pochodzące burzowego docierające z większych odległości (np. z drugiej półkuli) bywają w okresie większej aktywności burzowej, czyli w miesiącach letnich zamaskowane przez bliskie sygnały burzowe i sygnały pochodzące od niedalekich wyładowań cichych. Ich obserwacja udaje się natomiast znacznie lepiej z okresie zimowym o ile nie przeszkadzają w tym lokalne zakłócenia techniczne.

Inną cechą charakterystyczną sygnałów burzowych jest zależność ich intensywności od pory doby – najczęściej burz występuje po południu i dodatkowo dla sygnałów odległych należy uwzględnić zmienność warunków propagacji. Natomiast dla bliskich sygnałów o charakterze innym niż burzowy nie obserwuje się zasadniczo wyraźnych zmian. Dla sygnałów dalszych należy uwzględnić oczywiście zmiany warunków propagacji – w pierwszym rzędzie w cyklu dobowym..

Do najważniejszych typów sygnałów związanych z wyładowaniami burzowymi należą oprócz zwykłych („bliskich”) sygnałów także gwizdy atmosferyczne, ćwierkania i chóry. Ich klasyfikacja jest związana z kształtem sygnału odbieranego, a nie nadawanego w miejscu jego powstania.

Źródłem sygnałów ćwierkających (ang. *tweaks*) są odległe wyładowania burzowe. Rozchodzenie się sygnałów w rezonatorze ograniczonym powierzchnią ziemi i jonosferą prowadzi do ich dyspersji. Składowe o wyższych częstotliwościach rozchodzą się z trochę większą szybkością aniżeli składowe niskoczęstotliwościowe co jest przyczyną powstania ich charakterystycznego dźwięku. Na końcu lekko muzycznego tonu słyszalne jest wyraźne ćwierkanie odróżniające go od zwykłych trzasków atmosferycznych. Na spektrogramie widoczny jest uskok w okolicy 1800 Hz na granicy rodzajów fali. Uskok ten stanowi najważniejszą cechę charakterystyczną sygnałów ćwierkających.

Przyczyną powstawania sygnałów tego typu może być w okresach większej aktywności słonecznej promieniowanie korpuskularne (wiatr słoneczny) docierające do Ziemi.

Rys. 4.1. Ćwierkanie (ang. *tweeks*)Rys. 4.2. Gwizdy atmosferyczne (ang. *whistler*)

Ich cechą charakterystyczną jest trwający stosunkowo długo gwizdzący ton o obniżającej się częstotliwości. Przyczyną jego powstania jest silna dyspersja jakiej ulega odebrany sygnał. Mogą one występować seriami i doznawać jedno- lub dwukrotnego odbicia od jonosfery. Źródłem sygnałów podlegających pojedynczemu odbiciu są wyładowania burzowe na przeciwległej półkuli (południowej), natomiast źródłem sygnałów ulegających podwójnemu odbiciu są burze trwające w niedalekiej odległości od obserwatora.

W pierwszym przypadku fale rozchodzą się w pasach plazmy powyżej jonosfery w kierunkach linii ziemskiego pola magnetycznego. Są one stosunkowo w nich słabo tłumione ale ulegają silnej dyspersji

– wyraźnie silniejszej aniżeli w przypadku ćwierkania. Stopień dyspersji zależy nie tylko od przebytej odległości, ale także od gęstości elektronów w warstwach plazmy.

Czas trwania gwizdów może przekraczać sekundę, a zmiana częstotliwości może wynosić kilka kHz. W przypadku drugim fale z półkuli północnej poruszając się wzdłuż linii pola ziemskiego docierają do antypodów gdzie ulegają odbiciu i powracają w okolice ich źródeł. W przybliżeniu dwa razy dłuższa trasa powoduje powstanie dwukrotnie silniejszej dyspersji co oznacza zarówno dłuższy czas trwania jak i większą obniżkę częstotliwości w porównaniu z gwizdami pierwszego rodzaju.

Przyczyny, dla których sygnały rozchodzą się właśnie wzdłuż linii ziemskiego pola magnetycznego nie są jeszcze dostatecznie wyjaśnione. Rozchodzenie się sygnału wzdłuż linii pola magnetycznego oznacza natomiast, że odbiór gwizdów nie jest możliwy w rejonach równikowych.

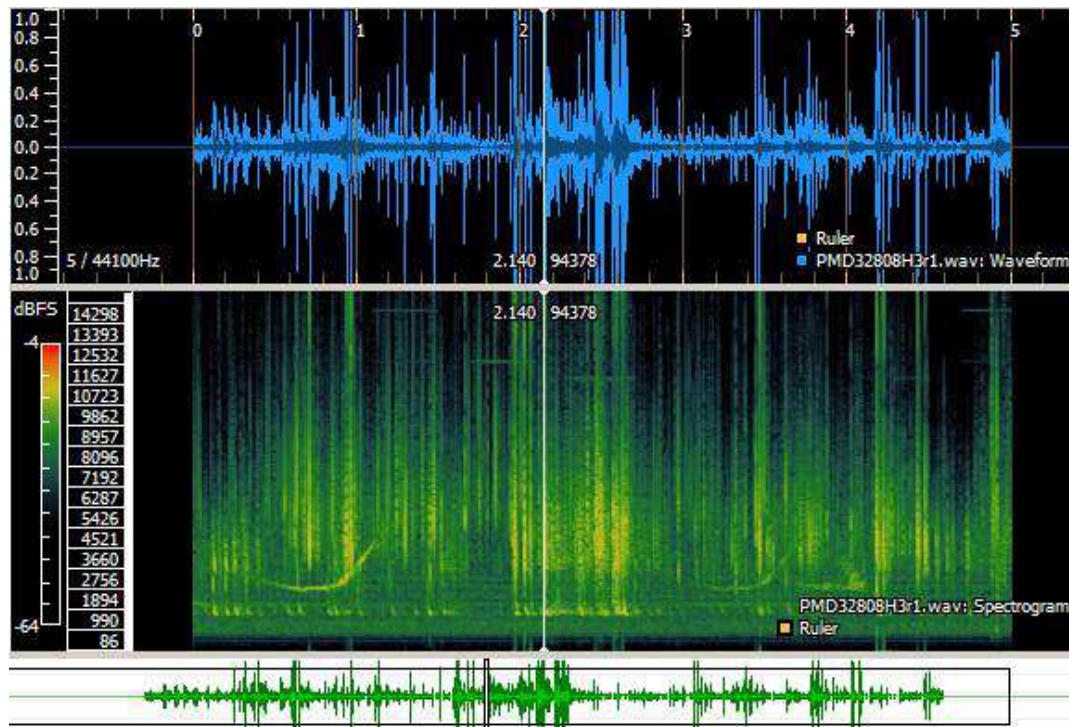
Sygnały te mogą występować także w postaci ciągów ech powstałych w wyniku pojedynczych i podwójnych odbić. Oczywiście każde z kolejnych ech ulega coraz silniejszej dyspersji. Dla sygnałów pierwszego rodzaju (podlegających początkowo pojedynczemu odbiciu dyspersja kolejnych ech wzrasta w stosunku 1:3:5... natomiast dla sygnałów drugiego rodzaju (podlegających początkowo podwójnemu odbiciu) – w stosunku 2:4:6...

Ciąg gwizdów może powstać także w wyniku odbioru wielodroźnego ale odstęp czasu między nimi jest wówczas mniejszy aniżeli w przypadku odbioru serii sygnałów odbitych wielokrotnie, a dyspersja kolejnych sygnałów nie ulega wówczas zmianie. Wrażenie pozornego ciągu gwizdów mogą dać też odbierane w niewielkich odstępach czasu sygnały pochodzące z różnych źródeł. Ich dyspersje nie różnią się zasadniczo między sobą.

Źródłem gwizdów może oprócz wyładowań burzowych być także promieniowanie korpuskularne (wiatr słoneczny) docierające do Ziemi w okresach zwiększonej aktywności słonecznej.

Wzdłuż linii pola magnetycznego może rozchodzić się tylko część energii sygnału co oznacza, że przed odebraniem gwizdu odbitego dwukrotnie może wystąpić sygnał wyładowania (trzask) odebrany bezpośrednio.

Chóry (ang. *chorus*) powstają natomiast w wyniku zmian w magnetosferze ziemskiej. Występują one w połączeniu z zorzą polarną i mogą być odbierane w rejonach wokółbiegunowych. Chóry są związane z silniejszymi wybuchami słonecznymi i zwiększoną aktywnością Słońca. Zorzy polarnej towarzyszą także charakterystyczne sygnały syczące.



Rys. 4.3. Chóry (ang. *chorus*)

Burze

Zjawiska fizyczne

Szybki rozwój ogromnych gęstych kłębiastych chmur burzowych (cumulonimbusów) o wysokości 10-16 km i szerokości ok. 8 km i wilgotny, chłodny wiatr, zwiastujący zbliżającą się burzę, są dobrze znane w większości regionów świata strefy tropikalnej i umiarkowanej. Na całym świecie w tym samym czasie ma miejsce około 1800 burz i około 100 wyładowań w ciągu sekundy. Powietrze w górnych warstwach atmosfery jest o wiele zimniejsze niż przy powierzchni Ziemi. Ciepłe powietrze jest lżejsze od zimnego i unosi się do góry. W trakcie wznoszenia powietrze się rozpręża oraz ochładza się. Wznoszące się powietrze w trakcie rozprężania staje się chłodniejsze od otoczenia, a więc cięższe i opada na dół.

Inaczej przebiega ten proces, gdy wznoszące się powietrze zawiera dużo pary wodnej. W miarę ochładzania się powietrza, zawarta w nim para się skrapla. W trakcie kondensacji wydzielona się dużo ciepła. Uwalniające się ciepło powoduje, że powietrze wilgotne stygnie wolniej i jest stale cieplejsze, a więc lżejsze od otoczenia. To jest właśnie mechanizm, który powoduje, że w obszarze burzy powietrze bardzo gwałtownie wznosi się do góry i osiąga wysokość powyżej 16 km. Na tej wysokości temperatura jest bardzo niska (około $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$). Dość chłodne powietrze, jak tylko dotrze do powierzchni ziemi, zaczyna rozchodzić się na boki, dlatego zwykle przed burzą wieje chłodny wiatr. Wkrótce potem niebo przeszywa błysk (który może mieć ponad kilkadziesiąt km długości), rozlega się grzmot i spada ulewny deszcz. W pojedynczej komórce burzowej po 20-30 minutach zaczyna dominować prąd zstępujący i chmura "wyparowuje się".

Pojedyncze komórki burzowe często łączą się tworząc multikomórki burzowe lub układają się w linię szkwału (wzdłuż frontów zimnych). Jeśli istnieją ku temu odpowiednie warunki (zmiany kierunków lub prędkości wiatru na różnych wysokościach czyli tzw. uskoki wiatru), które spowodują odseparowanie prądu wstępującego od zstępującego, to wówczas pojedyncza chmura burzowa może przemienić się w superkomórkę i istnieć nawet przez wiele godzin.

W odróżnieniu od burz pochodzenia termicznego burze związane z przejściem frontów atmosferycznych mogą wystąpić o każdej porze roku, a nie tylko w lecie. Oprócz tego w rejonach górskich przyczyną powstawania burz jest powietrze wznoszące się po napotkaniu przeszkody – łańcucha górskiego. W środkowej Europie przeważają jednak burze spowodowane przejściem frontów atmosferycznych. Mechanizm powstawania wyładowań atmosferycznych został już uprzednio dokładnie omówiony dlatego tutaj ograniczymy się jedynie do przypomnienia rodzajów występujących wyładowań. W początkowej fazie burzy występują wyładowania wewnątrz chmury i czasami po nich także wyładowania do otaczającej chmurę atmosfery i między chmurami. Dopiero później dochodzi do wyładowań skierowanych do powierzchni ziemi prowadzących do wyrównania potencjałów ziemi i chmur.

Wyładowania między chmurą, a ziemią można podzielić na grupy w zależności od ich polaryzacji i kierunku wyładowania wstępnego. Ich rodzaj zależy od rozmaitych czynników takich jak wysokość pokrywy chmur, ukształtowanie terenu czy warunki meteorologiczne. Wyładowanie w górę zdarza się tylko w przypadku wysokich obiektów takich jak wieże czy szczyty górskie. Do najczęściej występujących rodzajów wyładowań należą ujemne wyładowania w kierunku od chmury do ziemi. Typowy przebieg takiego wyładowania został opisany w rozdziale 1. Bardzo często są to też wyładowania wielokrotne. W skrajnych przypadkach liczba wyładowań wtórnych dochodzi nawet do 30. Badania przeprowadzone w ramach systemu ALDIS wykazały, że udział wyładowań wielokrotnych wynosi około 50 %. W niektórych przypadkach występuje także faza końcowa ciągłego przepływu prądu o wyraźnie niższym natężeniu niż w trakcie głównego wyładowania trwająca do kilkuset milisekund.

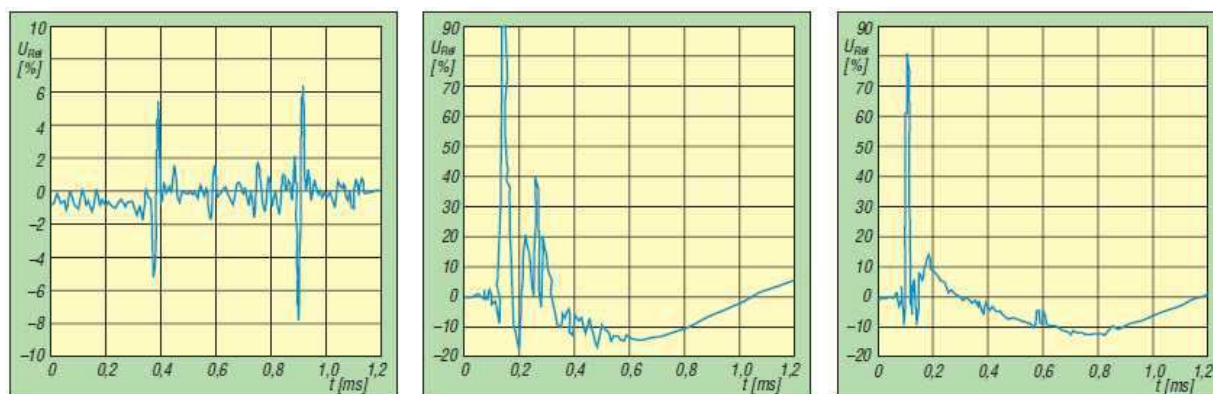
Wyładowania między chmurami zdarzają się natomiast znacznie częściej w strefie tropikalnej niż umiarkowanej. Również liczba zjawisk burzowych jest znacznie wyższa w rejonach równikowych aniżeli podbiegunowych. Odkrycie wyładowań w kierunku jonosfery jest natomiast sprawą dość niedawną. W zależności od kształtu wyładowań noszą one nazwy elfów (ang. *Elves*, niem. *elfen*), duszków (ang. *sprites*) lub fontann (ang. *jets*).

Kanał wyładowania stanowi gigantyczną antenę nadawczą, w której płynie impulsowo prąd o natężeniu dochodzącym nawet do 100 kA. Antena ta stanowi źródło szerokopasmowego promieniowania elektromagnetycznego. Maksimum jego amplitud leży w okolicach 10 kHz ale jego składowe dają się zaobser-

wować zarówno w zakresie wysokich częstotliwości do kilkuset MHz jak i niskich do częstotliwości kilku Hz (a więc również w zakresie rezonansów Schumanna).

Zgodnie z teorią Maxwella o natężeniu pola elektromagnetycznego w miejscu odbioru decydują trzy składowe: składowa elektrostatyczna, składowa indukcyjna i składowa promieniowania elektromagnetycznego. W większych odległościach od źródła występuje w praktyce wyłącznie składowa elektromagnetyczna natomiast w mniejszych natężeniu pola decydują składowe elektrostatyczna i indukcyjna. Natężenie składowej elektrostatycznej maleje z trzecią potęgą odległości od źródła, a składowej indukcyjnej – z drugą tak, że składowa promieniowania elektromagnetycznego stosunkowo szybko zaczyna przeważać nad nimi. Pomiary dokonywane w pobliżu uderzeń błyskawic powinny jednak uwzględniać obydwie pierwsze składowe.

Przy należytnym wyposażeniu możliwe jest zaobserwowanie najważniejszych cech charakterystycznych poszczególnych rodzajów wyładowań. Przykłady przedstawiają poniższe ilustracje [FRFA405].



Rys. 5.1.a – c. Przebiegi wyładowań

Przebieg wyładowań od lewej do prawej: wyładowania w chmurach przed wyładowaniem głównym, ujemne wyładowanie główne o dużej szerokości impulsu i poszarpanym zboczu tylnym, ujemne wyładowanie wtórne o stromym zboczu tylnym.

Wyładowania atmosferyczne są określane w terminologii angielskiej słowem *sferics* (skrót od *atmosferics*) a w terminologii niemieckiej *Atmosphärische Impulsstrahlung*, w skrócie *AIS* co oznacza atmosferyczne promieniowanie impulsowe. W języku francuskim noszą one nazwę *atmosphériques*.

Nowoczesne systemy obserwacji burz przeprowadzają analizę cech charakterystycznych sygnału takich jak szybkość narastania itp. w celu odróżnienia przykładowo wyładowań doziemnych od międzychmurowych.

Wyładowania poprzedzające burzę i wyładowania wstępne mogą być odbierane w zakresach fal długich i średnich.

Za powstawanie składowej elektromagnetycznej wyładowania głównego odpowiedzialne są w pierwszym rzędzie pionowe odcinki kanału. Pozwalają one na optymalne rozchodzenie się fali przyziemnej na duże odległości. Powstała w ten sposób fala może się także rozchodzić w falowodzie kulistym ograniczonym z jednej strony powierzchnią ziemi a z drugiej jonosferą (dokładniej rzecz biorąc warstwą D jonosfery). Uzyskiwane są dzięki temu bardzo duże zasięgi przy czym jednocześnie następuje zmiana charakteru widma częstotliwości w większych odległościach od źródła w wyniku dyspersji.

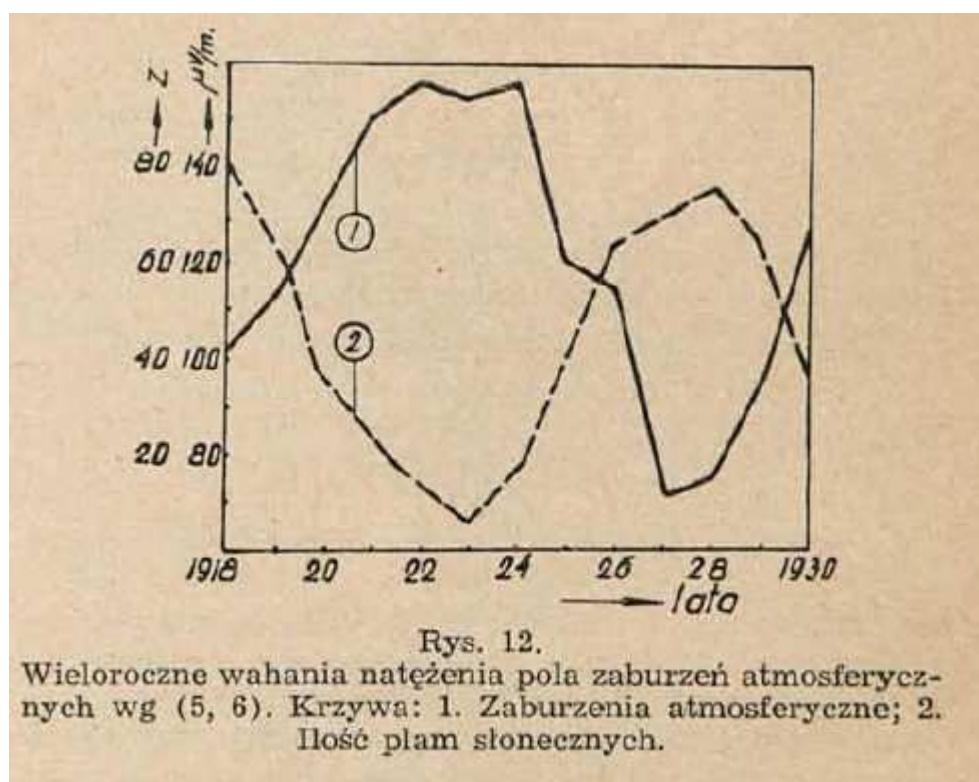
Inną z przyczyn wywołujących zmiany widma częstotliwościowego sygnału wyładowania jest wzbudzenie się w falowodzie kulistym także fal wyższych rodzajów [CUDI]. W zakresie niskich częstotliwości do ok. 3 kHz w falowodzie rozchodzi się wyłącznie fala TEM natomiast powyżej wzbudzają się wyższe rodzaje fal TE i TM, a ich nakładanie się na siebie powoduje powstanie zakresów o większym lub mniejszym natężeniu pola niż w widmie obserwowanym w pobliżu wyładowania. Zmiany charakteru widma są w pewnym stopniu zależne od odległości, a możliwe, że także i od czynników przypadkowych. Być może jest to jedną z przyczyn, dlaczego niektórzy obserwatorzy (Baumer i in.) wyróżniają w zakresie poniżej 100 kHz szereg pasm częstotliwości, którym przypisują powiązanie z pewnymi zjawiskami meteorologicznymi (podczas gdy inni nie mogli zaobserwować takich zależności).

W wyniku dyspersji w większych odległościach od źródeł wyładowań dają się zaobserwować takie rodzaje sygnałów jak gwizdy (ang. *whistler*) lub ćwierkania (ang. *tweeks*).

Duża liczba burz trwających równolegle (w skali globalnej) powoduje oczywiście znaczne natężenie radiowych sygnałów wyładowań. Szczególnie silne są one w obszarach o dużej intensywności burz czyli w rejonach tropikalnych. W rejonach tych poziom zakłóceń na falach długich i średnich jest tak wysoki, że uniemożliwia ich wykorzystanie przez radiofonie. Transmisje radiowe odbywają się tam w specjalnie do tego celu wyznaczonych pasmach krótkofalowych pasmach tropikalnych 60 – 120 m. Cechą charakterystyczną sygnałów radiowych pochodzenia burzowego jest zależność ich poziomu od pory dnia, roku i aktywności słońca – dotyczy to głównie sygnałów pochodzących z większych odległości. W porze zachodu słońca i w nocy (około północy) występują tutaj maksima poziomu natomiast nad ranem (w porze wschodu słońca) ich minima. Amplituda wahań jest zależna od częstotliwości sygnału przy czym najmniejsze wahania występują dla fal bardzo długich – rzędu kilku do kilkunastu km, i rosną dla fal krótszych np. rzędu kilkuset m.

Roczny rozkład zaburzeń wykazuje szerokie minimum w miesiącach zimowych podczas gdy w lecie ich nasilenie jest największe.

Dla fal długich zaobserwowano [JAPR] także pewną powtarzalność w okresach wieloletnich. Ma ona fazę przeciwną do przebiegu liczby plam słonecznych.



Rys. 5.2

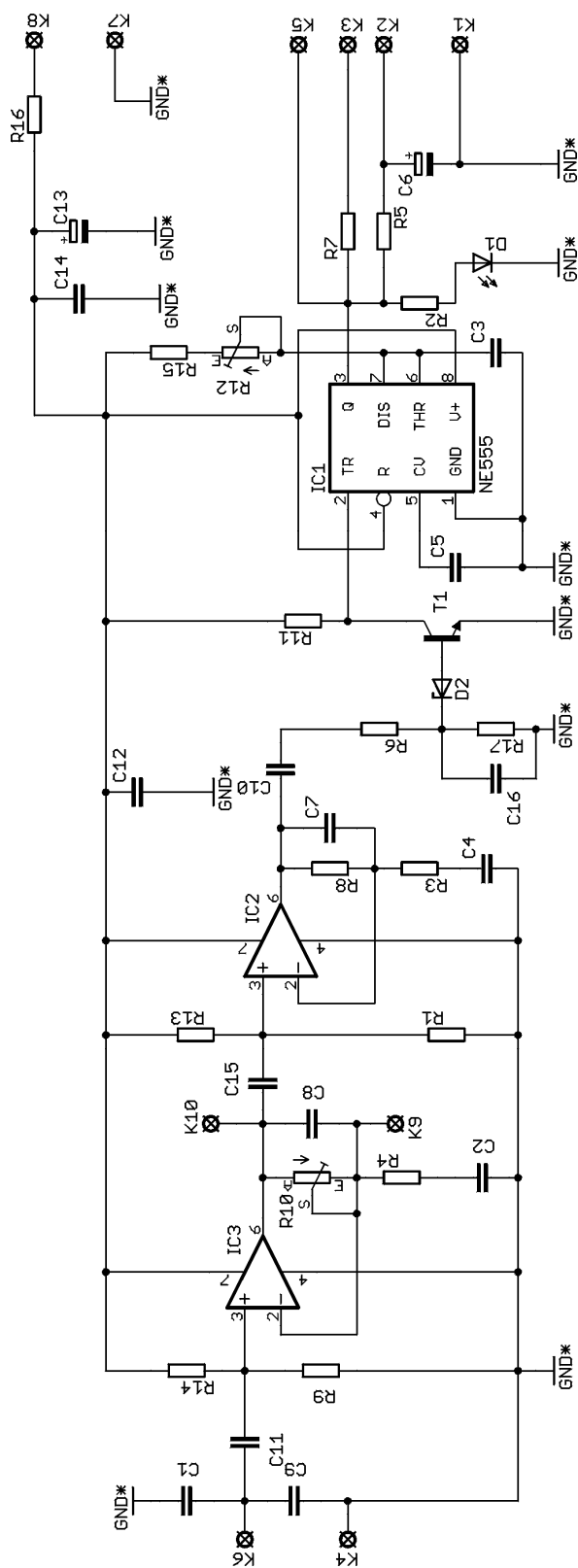
Rozkład widma sygnałów wynika z ich kształtu, czasu trwania i stromości zboczy z jednej strony a z drugiej z warunków propagacji fal radiowych. Jak łatwo przewidzieć natężenie pola maleje ze wzrostem częstotliwości. W związku z zależnością od warunków propagacji charakter tych zmian jest różny w porach dziennej i nocnej, przy czym natężenia pola w porze nocnej są zasadniczo wyższe. Ich zmiany w funkcji długości fali są w [JAPR] opisane funkcją $E \sim \lambda$ lub $E \sim \lambda^{0,72}$. Poziomy dzienne są znacznie niższe a przebieg ich natężenia w funkcji częstotliwości jest bardziej skomplikowany. Niektóre obserwacje wykazywały nawet istnienie minimum dla fal o długościach rzędu 150 m.

Biorąc pod uwagę znaczne zasięgi fal zwłaszcza na falach długich i średnią liczbę wyładowań burzowych ok 100 na sekundę przyjmuje się, że ok. 35 % wszystkich odbieranych sygnałów naturalnych ma pochodzenie burzowe.

Dla zorientowania się w rzędach wartości zastępczej mocy wypromieniowanej posłużmy się jednym z dawniejszych przykładów pomiarów dla lokalnej burzy wykonanych w odległości ok. 5 m. Po przeliczeniu otrzymano dla fali 20000 m zastępczą moc ok. 275 kW natomiast dla fali 30 m – rzędu $2,75 \times 10^{-6}$ kW.

Układy odbiorcze

Odbiornik DG9WF



Odbiornik AWP12 (rys. 6.1) został opracowany przez Wolfganga Friese DG9WF specjalnie do celów obserwacji i zliczania wyładowań burzowych lub do celów ostrzegawczych. Jest to więc prosty ale skuteczny odbiornik burzowy. Może on pracować jako odbiornik przenośny albo stacjonarny. Układ zawiera dwustopniowy wzmacniacz o regulowanym wzmacnieniu, w którym zastosowano wzmacniacze operacyjne TL071, OP-27 albo OP-37 (IC2, IC3), prosty układ wyzwalający na tranzystorze T1 i ewentualnie diodzie D2 (jest ona zasadniczo zbędna i można bazę tranzystora podłączyć bezpośrednio do dzielnika napięcia) oraz przerzutnik monostabilny na układzie NE555 (IC1).

Do regulacji wzmacnienia służy potencjometr montażowy R10 natomiast R2 do regulacji długości impulsów przerzutnika monostabilnego.

Do zacisków K9 i K10 można też dołączyć potencjometr 100 k do regulacji wzmacnienia umieszczony na płycie czołowej odbiornika.

Do zacisków K4 i K6 dołączana jest antena ferrytowa dostrojona za pomocą kondensatora C9 do pasma 12 (10) lub 30 kHz. Możliwe jest oczywiście dostrojenie odbiornika w miarę potrzeby i do innych zbliżonych podzakresów.

Do wyjścia przerzutnika mostabilnego można podłączyć licznik impulsów (zacisk K5) diodę świecącą o poborze prądu do 10 mA sygnalizującą wyładowania (zacisk K3) – tą samą funkcję pełni znajdująca się na płycie drukowanej dioda D1 – lub miernik wychyłowy wskazujący średnią wartość napięcia impulsów po ich scałkowaniu za pomocą obwodu R5C6 (zacisk K2). Zamiast miernika można także podłączyć wskaźnik paskowy na diodach świecących np. oparty o LM3914. Napięcie zasilania 12–15 V jest doprowadzone do zacisku K8. Do zacisku K5 można zamiast licznika podłączyć rejestrator impulsów, a zamiast dodatkowej diody świecącej do sygnalizacji wyładowań może służyć brzęczyk np. piezoelektryczny podłączony do zacisku K3.

Antena ferrytowa może być umieszczona z dala od odbiornika i połączona z nim za pomocą kabla koncentrycznego 50 Ω lub 75 Ω . Maksymalna długość kabla nie powinna przekraczać 25 m dla anteny dostrojonej do pasma 10 kHz.

Po dostrojeniu do wyższych częstotliwości (powyżej 30 kHz) odbiornik ten może służyć do obserwacji wyładowań meteorologicznych (cichych).

Spis elementów

R1	20 k	R2	6,8 k	R3	1 k		
R4	1 k	R5	470 k	R6	4,7 k		
R7	1,5 k	R8	47 k	R9	20 k		
R10	50 k	R11	20 k	R12	1 M		
R13	20 k	R14	20 k	R15	20 k		
R16	4,7	R17	20 k	D1	świecąca		
D2	nie używana	C1	10 nF	C2	22 nF		
C3	1 μ F	C4	22 nF	C5	100 nF		
C6	470 μ F	C7	220 p	C8	220 p		
C9	10 nF	C10	100 nF	C11	100 nF		
C12	100 nF	C13	470 μ F	C14	100 nF	C15	100 nF
IC1	NE555	IC2	TL071	T1	BC550		

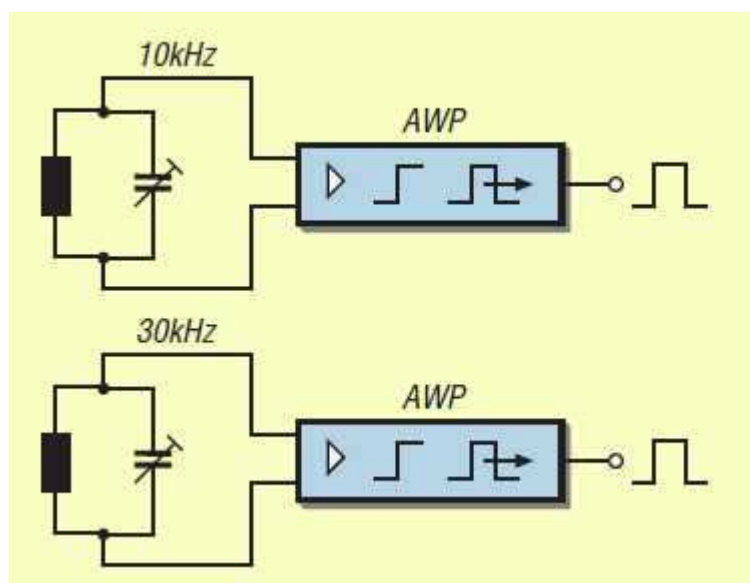
Uwagi: R10, R12 – precyzyjne potencjometry montażowe. Dioda D1 o niskim poborze prądu (2 mA). C9 – 10 nF dla oferowanej przez konstruktora anteny A15 na pasmo 12 kHz.

Odbiornik ten jest przez dłuższy czas w użyciu u OE1KDA jako odbiornik stacjonarny w połączeniu z licznikiem impulsów i miernikiem wychyłowym wskazującym wartość napięcia scałkowanego.

Ogólnie rzecz biorąc układ ten można zastosować jako:

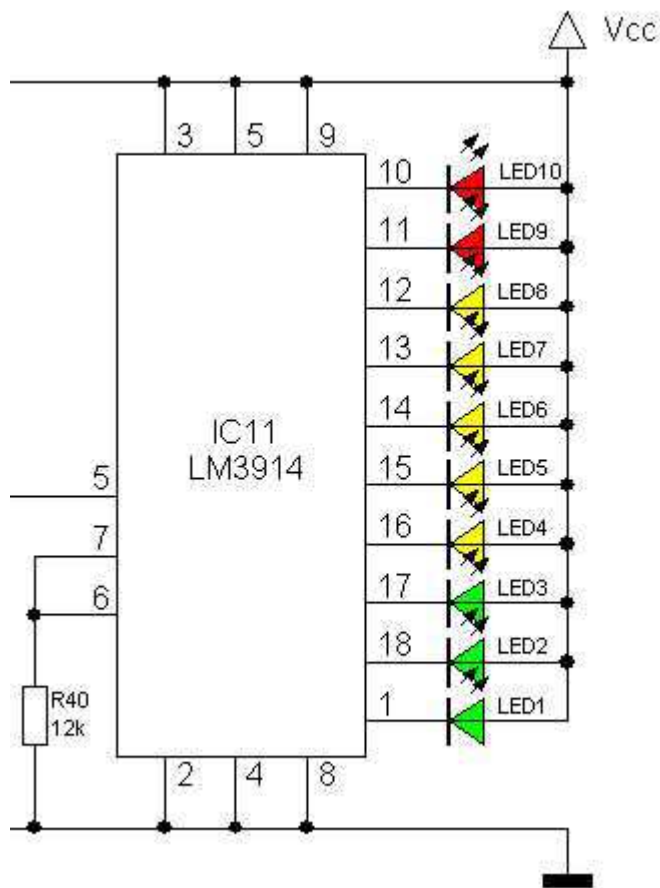
1. prosty sygnalizator burz informujący o wyładowaniach za pomocą diody świecącej lub brzęczyka;
2. prosty odbiornik burzowy wskazujący siłę wyładowań za pomocą paskowego wskaźnika na diodach świecących lub miernika;
3. układ zliczający wyładowania za pomocą dodatkowego licznika lub rejestratora;
4. część bardziej rozbudowanego układu rejestrującego wyładowania. Układ taki może być złożony z kilku modułów odbiorczych różniących się czułością (ustawionym wzmocnieniem). Ich wejścia można połączyć równolegle ze wspólną anteną ferrytową ale tylko jeden z nich może zawierać kondensator C9.
5. Wielokanałowe urządzenie rejestrujące burze w różnych pasmach częstotliwości i ewentualnie sygnały przychodzące z różnych kierunków (przykład dla kanałów 10 i 30 kHz na ilustracji 6.2).

Dla rejestracji wyładowań pochodzących z najbliższej okolicy należy odpowiednio zmniejszyć wzmocnienie (czułość) za pomocą potencjometru R10.



Rys. 6.2. Odbiornik dwukanałowy

Paskowy wskaźnik napięcia



Zamiast miernika wychyłowego w odbiorniku AWP12 i wielu innych przedstawionych rozwiązaniach można użyć wskaźnika na diodach świecących sterowanych przez układ scalony LM3914 lub LM3915.

W poniższym układzie napięcie mierzone z układu całkującego jest doprowadzone do nóżki 5 LM3914.

Układ sterujący typu LM3915 daje skalę logarymiczną zamiast liniowej.

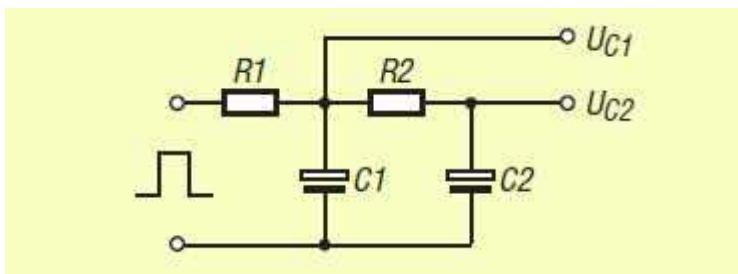
Każde jego kolejne wyjście sygnalizuje poziom napięcia o 3 dB wyższy w stosunku do poprzedniego. Dobór kolorów diod może się oczywiście różnić od przykładu pokazanego na schemacie 6.3.

Układ ten jak i przedstawiony poniżej wskaźnik tendencji mogą współpracować z dowolnymi innymi rozwiązaniami odbiorników.

Rys. 6.3. Wskaźnik paskowy

Wskaźnik tendencji

Zastosowanie dwuczłonowego obwodu całkującego w połączeniu z pojedynczym lub kilkustopniowym komparatorem daje możliwość wskazywania tendencji zmian – wzrostu lub osłabienia siły wyładowań. W przedstawionym na ilustracji układzie napięcie na drugim komparatorze (U_{c2}) jest niższe od napięcia U_{c1} w przypadku tendencji wzrostowej natomiast wyższe w fazie obniżania się intensywności. Napięcia te mogą być porównywane za pomocą komparatorów sterujących wskaźnikiem optycznym.



Rys. 6.4. Układ wskaźnika tendencji

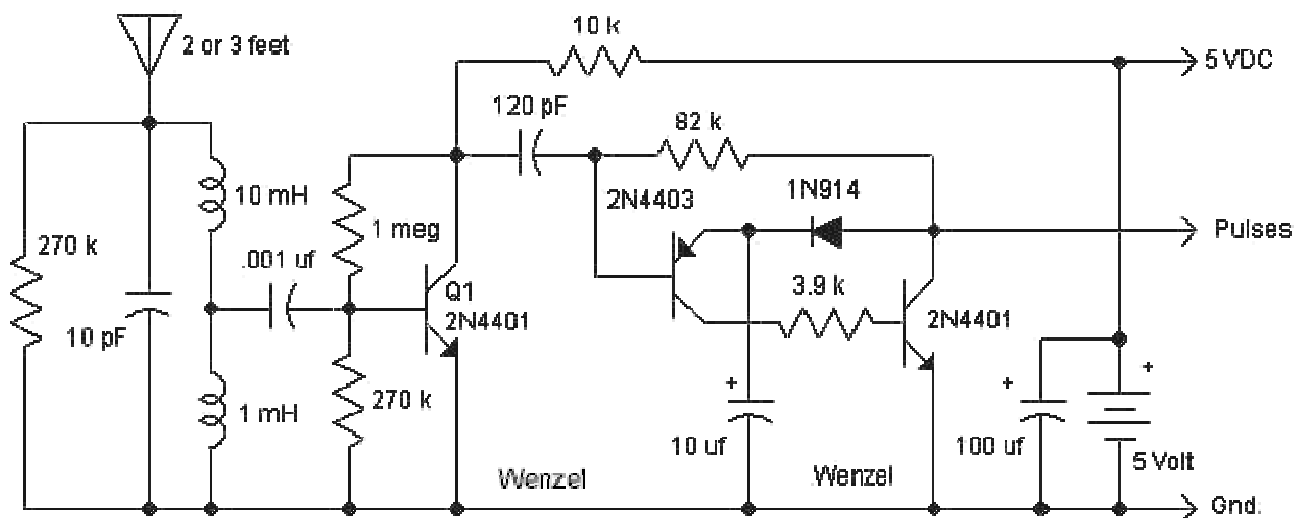
Prosty sygnalizator burz na pasmo 300 kHz

Układ odbiornika składa się z selektywnego wzmacniacza w.cz. na tranzystorze Q1 i przerzutnika monostabilnego na tranzystorach Q2 i Q3. W obwodzie wejściowym można użyć gotowych dławików zamiast specjalnie nawijanych cewek. Indukcyjności na schemacie podane są w mH (nie w μH !!).

Obwód wejściowy jest dostrojony do wolnej częstotliwości w paśmie ok. 300 – 400 kHz. Opornik 270 k Ω tłumí w pewnym stopniu obwód wejściowy w celu zapewnienia dostatecznej szerokości pasma i zapobieżeniu przed wzbudzeniem się układu. W razie potrzeby można obniżyć jego wartość. Jako anteny użyto zwykłej anteny teleskopowej o długości ok. 0,5 – 1 m.

Impulsy z przerzutnika monostabilnego mogą sterować pokazane na następnych ilustracjach wskaźniki optyczne (z żaróweczką lub diodą świecącą), miernik wychyłowy (z układem całkującym umożliwiającym pomiar napięcia średniego zależnego od częstotliwości impulsów wyładowań) lub głośnika.

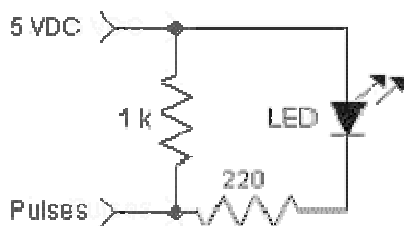
Zamiast podanych na schematach tranzystorów można użyć zbliżonych typów europejskich.



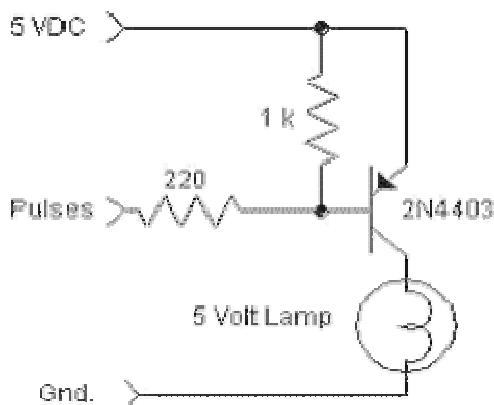
Basic lightning receiver.

Rys. 6.5. Schemat prostego odbiornika na pasmo 300 kHz

Jeśli zamiast jednego z podanych poniżej układów sygnalizacyjnych do odbiornika dołączony jest jakiś inny przyrząd np. licznik impulsów lub rejestrator wyjście impulsów należy podłączyć do zasilania przez opornik 1 k Ω .

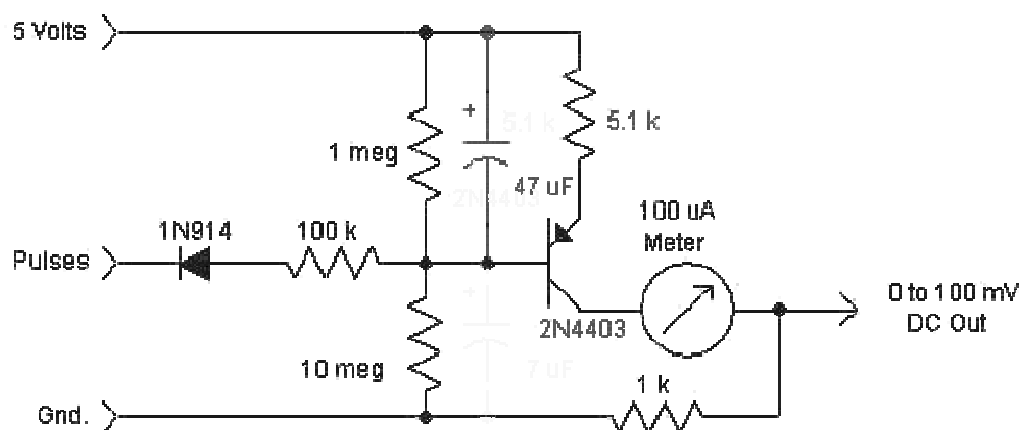


Rys. 6.6. Sygnalizator diodowy

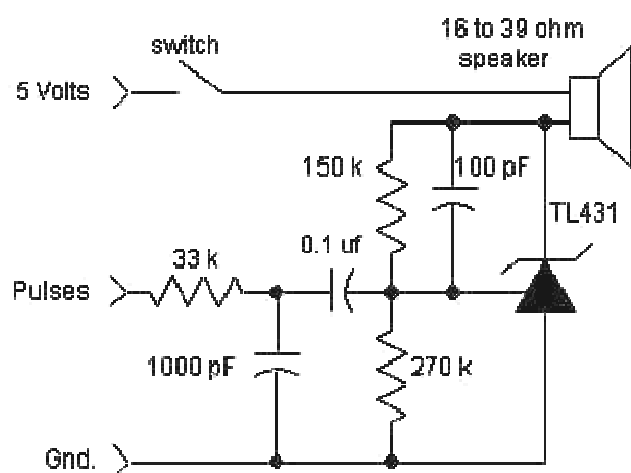


Rys. 6.7. Sygnalizator z żarówką

W podanym poniżej układzie miernika należy w zależności od czułości miernika dobrać wartość opornika w emiterze tranzystora. Wyjściowe napięcie stałe 0 – 100 mV może służyć do włączania urządzeń alarmowych lub innych np. za pośrednictwem komparatora.

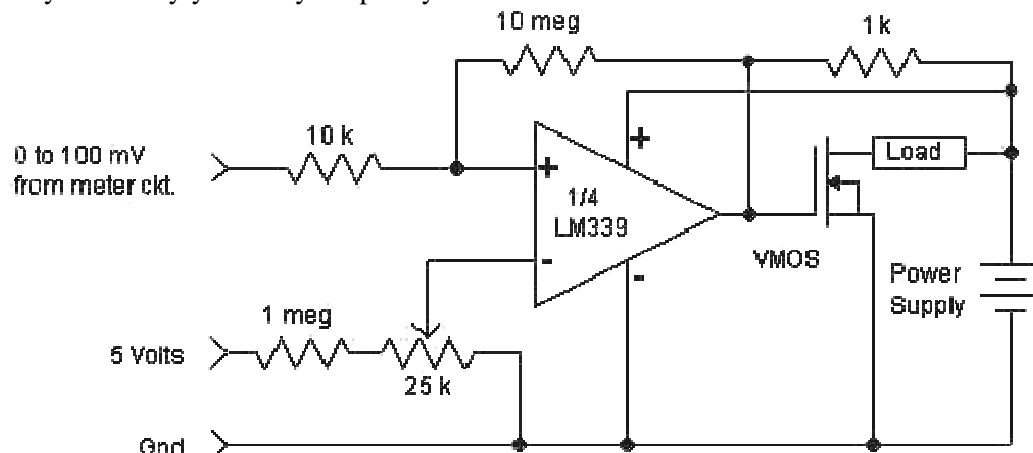


Rys. 6.8. Schemat miernika



Rys. 6.9. Sygnalizator dźwiękowy

Schemat poniżej przedstawia przykładowe rozwiązanie komparatora włączającego (1/4 LM339) dowolne urządzenie alarmowe lub inne za pomocą tranzystora polowego VMOS (np. BS170, 2N7000 lub w razie potrzeby tranzystorów większej mocy). Urządzenie to jest włączone w obwód drenu tranzystora. Na wejście dodatnie podawane jest stałe napięcie z obwodu miernika, a wejście ujemne jest połączone z suwakiem potencjometru 25 kΩ służącego do ustawienia progu czułości. Układ ten może być oczywiście użyty i w innych opisanych odbiornikach.



Rys. 6.10. Układ wykonawczy

Kombinowany odbiornik do pomiaru wyładowań atmosferycznych i pól elektrostatycznych

Układ opracowany przez AB7IF składa się z dwóch torów obiorczych: górnego dla pomiaru wyładowań atmosferycznych i dolnego dla pomiaru pól elektrostatycznych i ich zmienności. Każdy z torów jest wyposażony we własny miernik, a oprócz tego ich wyjścia są doprowadzone na wejście wzmacniacza głośnikowego pracującego na obwodzie scalonym LM380 (IC4). Sygnał sumaryczny jest też doprowadzony do gniazdka J2 służącego do podłączenia licznika lub rejestratora. Gniazdo J1 służy do podłączenia słuchawek.

Tor odbiorczy wyładowań atmosferycznych zawiera trzystopniowy wzmacniacz z filtrem dolnoprzepustowym na LF355 i dwóch LM741. Potencjometr VR1 służy do regulacji wzmocnienia (czułości), VR2 – do regulacji wzmocnienia w układzie miernika wychyłowego M1 (500 μ A, oporność wewnętrzna 1,2 k Ω), VR3 – do ustawienia maksymalnego wychylenia (zakresu) a VR4 do regulacji siły sygnału dla toru wzmacniacza m.cz. (głośnikowego). Diody D1 i D2 służą do zabezpieczenia miernika przed napięciami o odwrotnej polaryzacji.

Cewka L1 jest nawinięta na rurze z PCV o długości ok. 1,2 m i średnicy ok. 15 cm i zawiera 3000 zwojów drutu nr 24. Cewkę tą można pominąć i użyć zwykłej anteny prętowej. Dzięki zastosowaniu cewki o dużej dobroci konstruktor pragnął z jednej strony uzyskać możliwie dużą czułość, a z drugiej tłumienie składowych częstotliwości sieci i jej harmoniczych.

Tor dolny służący do pomiaru pola elektrostatycznego zawiera pojedynczy stopień wzmocnienia na wzmacniaczu operacyjnym LM741 lub odpowiedniku i stopień dopasowujący do wysokiej impedancji anteny na złączowym tranzystorze polowym J176 (typ tranzystora nie jest krytyczny). Impedancja wejściowa tego stopnia powinna być możliwie wysoka dlatego też w obwodzie bramki zastosowano oporność o wartości co najmniej 4000 M Ω . Dla silnych pól jest ona bocznikowana potencjometrem lub opornikiem 10 M Ω . Jako wyłącznika użyto wysokonapięciowego wyłącznika ceramicznego dla zminimalizowania prądów upływu ale również prostsze i tańsze rozwiązania okazują się dostatecznie dobre. Potencjometr VR8 służy do regulacji czułości (wzmocnienia toru), VR7 do ustawienia zakresu pomiarowego, VR9 – do ustawienia zera miernika M2 (+/- 250 μ A, oporność wewnętrzna 450 Ω) co może być dość często konieczne, VR5 do regulacji siły głosu pochodzącej z tego toru a VR6 do regulacji całkowitej siły głosu.

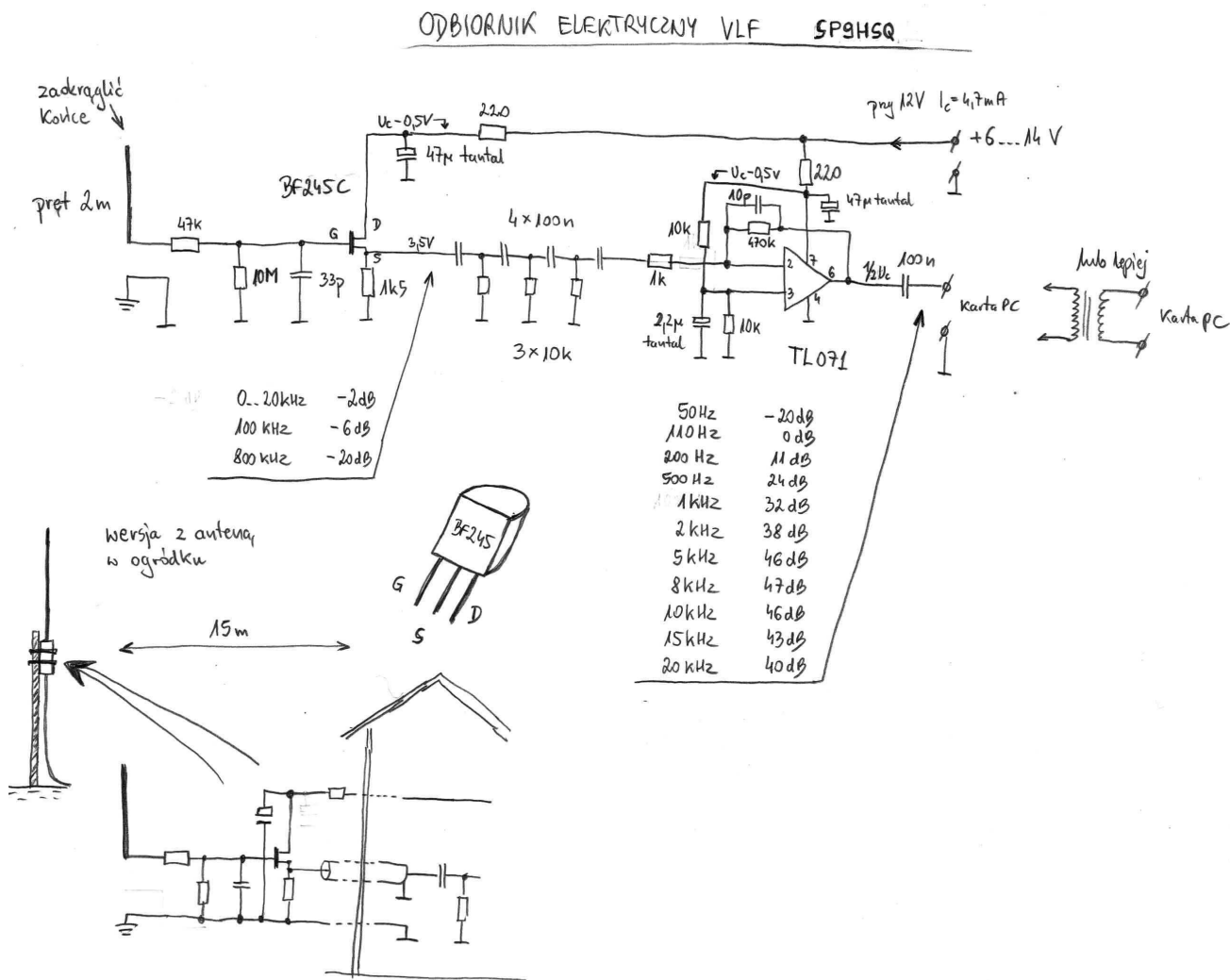
Sposób wykonania anteny dla pomiarowej dla pola elektrostatycznego przedstawiono w ramce. Składa się ona z denka od puszki do kawy przykręconego nakrętkami do nagwintowanego bolca o długości ok. 60 cm. W połowie jego długości przymocowana jest plastikowa osłona zabezpieczająca przed opadami gniazdo antenowe. To ostatnie może być typu N lub PL. Całość umocowano na uchwycie od samochodowej anteny nadawczej.

Napięcia zasilające +/-5 V do +/-9 V dla wzmacniaczy operacyjnych powinny być dobrze stabilizowane. Pobór prądu nie przekracza 100 mA. Napięcie 12 V może nie być stabilizowane, a pobór prądu wynosi 1 – 2 A.

Mierniki wychyłowe można zastąpić przez uniwersalne mierniki cyfrowe, które w zależności od typu mogą być podłączane do komputera PC w celu prowadzenia rejestracji wyników.

Konstrukcje doskonalszych technicznie elektrometrów zamieszczono w dalszej części skryptu.

Odbiornik długofalowy SP9HSQ na pasmo do 20 kHz



Rys. 6.12. Schemat odbiornika i połączenie z anteną

Układ odbiornika opracowanego przez Marcina SP9HSQ został opublikowany w witrynie internetowej <https://sites.google.com/site/sp9hsq/home/vlf/odbiornik-skladowej-elektrycznej>.

Sygnal z anteny (początkowo autor używał dipola otwartego 2 x 2,5m, następnie rurka aluminiowa o długości 22m) jest filtrowany w prostym układzie opornika szeregowego 47 kΩ i kondensatora 33 pF (plus pojemność wejściowa tranzystora) – obcinane są częstotliwości radiowe. Opornik 10 MΩ rozładowuje ładunki gromadzące się na bramce tranzystora polowego (FET). Świadomie nie zastosowano żadnych innych zabezpieczeń tranzystora (jak np. neonówka czy przeciwsobnie połączone diody), ponieważ autor chciał sprawdzić, w jakich warunkach atmosferycznych tranzystor ulegnie uszkodzeniu. Tranzystor polowy transformuje sygnał z wysokiej oporności wyjściowej anteny i podaje na opornik 1,5 kΩ ze stratą 2 dB w zakresie 0..20 kHz (dla 800 kHz tłumienie wynosi już 20 dB). Napięcie stałe na tym oporniku przy zastosowaniu BF245C wynosi około 3,5 V (można oczywiście zastosować inne typy tranzystorów dobierając oporność obciążenia tak, aby napięcie miało podobną wartość). Przy antenie prętowej umieszczonej w pokoju (obecność silnego pola elektrycznego od sieci) na obciążeniu tranzystora autor zmierzył napięcie zmienne (głównie 50 Hz z harmonicznymi) o wartości ok. 2 V_{pp}. Oznacza to, że wtórnik nawet w takich warunkach nie był przesterowany.

Za wtórnikiem znajduje się filtr górnoprzepustowy eliminujący sygnał sieci energetycznej, który z pewnością przesterowałby wzmacniacz. Ten prosty filtr na częstotliwości 50 Hz ma tłumienie 34 dB (dla 5 kHz tylko 3 dB).

W układzie wzmacniacza zastosowano popularny i tani układ scalony TL071. Bardzo ważne jest, aby kondensator 2,2 µF (może być oczywiście inna wartość) w dzielniku napięcia (nóżka 3) był tantalowy –

zwykły elektrolityczny wnosi tu bardzo duże szумы. Wzmocnienie całego układu dla różnych częstotliwości jest podane pod schematem. Jak widać, odbiornik wzmacnia sygnał z anteny o częstotliwości powyżej 110 Hz, osiągając maksymalne wzmocnienie w okolicach 7 kHz. Powyżej 15 kHz wzmocnienie powoli spada. Podczas normalnej pracy odbiornika na jego wyjściu otrzymuje się sygnał o amplitudzie ok. 100 mVpp.

Odbiornik można podłączyć bezpośrednio do wejścia systemu dźwiękowego komputera ale korzystniej jest zastosować na jego wyjściu transformator separujący.

Całość może być zmontowana nawet na płycie uniwersalnej.

Odbiór przy użyciu systemu dźwiękowego komputera

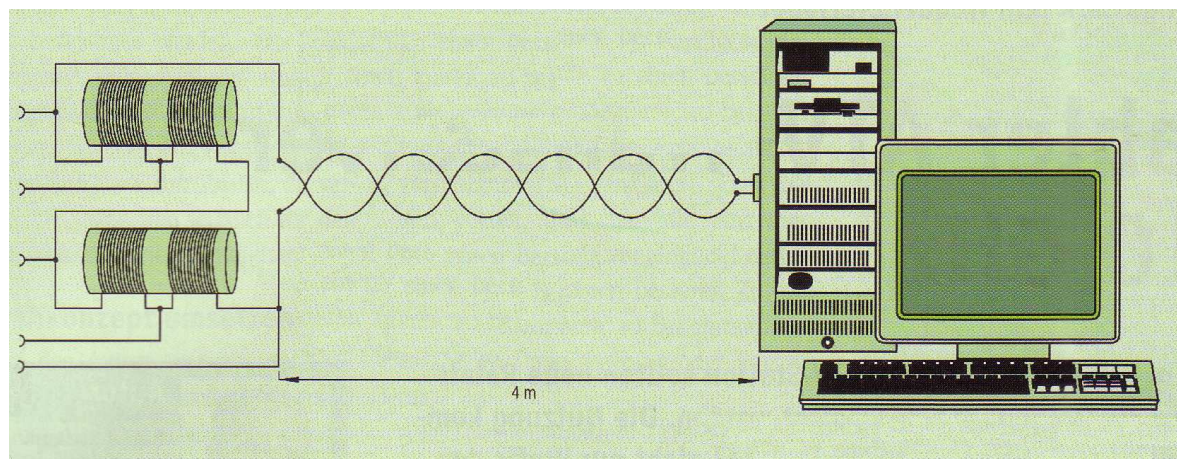
Do tego celu można wykorzystać nawet starsze i powolne komputery o częstotliwości zegarowej powyżej 100 MHz. Przy częstotliwości próbkowania dźwięku 48 kHz możliwy jest teoretycznie odbiór w zakresie do 24 kHz lub do 22 kHz przy częstotliwości próbkowania 44,1 kHz. Dla częstotliwości próbkowania 96 lub 192 kHz zakres odbioru jest odpowiednio szerszy.

Wykorzystanie komputera jako odbiornika wymaga w najprostszym przypadku jedynie dołączenia anteny do wejścia akustycznego komputera (wejścia linii lub mikrofonowego). Odbierane sygnały są wyświetlane na ekranie przy użyciu programu analizującego ich widmo.

Praktycznym rozwiązaniem anteny na zakres długofalowy jest antena indukcyjna czyli cewka o możliwie dużej średnicy i liczbie zwojów. Dokładna wartość indukcyjności, liczba zwojów i oporność cewki nie są istotne. Rys. 6.14 przedstawia przykład anteny złożonej z czterech rolek przewodu. Każda z nich ma średnicę 10,3 cm i zawiera 309 zwojów, ich liczba nie jest krytyczna. Cewki są połączone szeregowo przy czym należy zwrócić uwagę na zgodność kierunków ich nawinięcia. Opis anteny i doświadczeń jej konstruktora opublikowano w nr. 02/2004 i 03/2004 CQ/DL oraz w nr 06/2002 i 07/2002 miesięcznika "Funkamateur".

Spinacze umieszczone na końcach przewodów pozwalają na zwieranie poszczególnych cewek w trakcie eksperymentów.

Antena nie powinna znajdować się zbyt blisko komputera i innych urządzeń elektrycznych aby zminimalizować wpływ wytwarzanych przez nie zakłóceń. Odległość anteny od komputera powinna wynosić co najmniej 2 m.



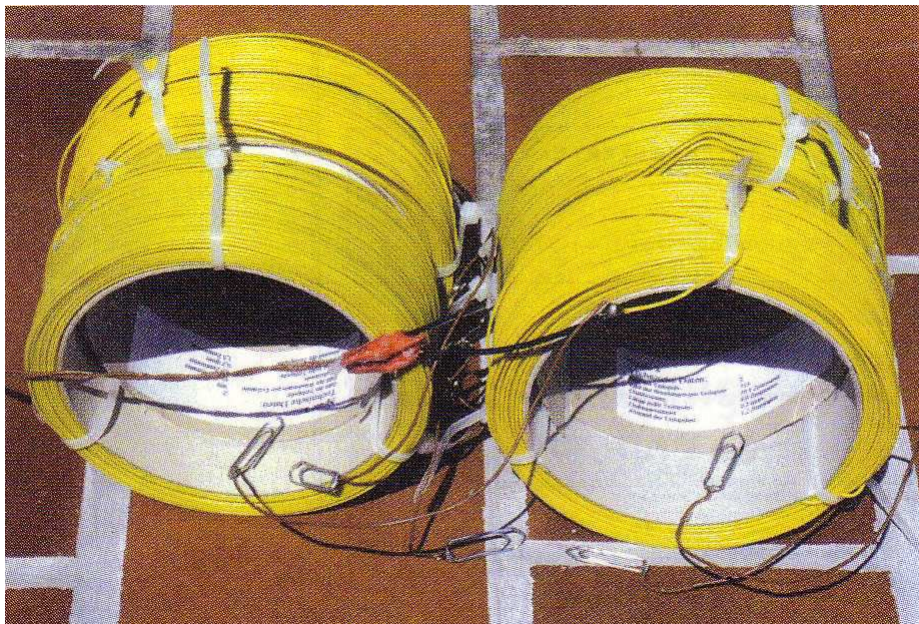
Rys. 6.13. Zasada odbioru

Do połączenia anteny z gniazdkiem wejściowym komputera można użyć nieekranowanej skrętki a sposób połączenia przedstawia rys. 1. Dla poprawienia czułości systemu można między anteną i wejście komputera włączyć wzmacniacz akustyczny. Do pracy z terenowego QTH można oczywiście korzystać z przenośnego komputera.

Przed rozpoczęciem obserwacji należy mieszaczu Windows włączyć wybrane wejście i dobrać poziom wzmocnienia. Okno mieszacza najwygodniej wywołuje się przez naciśnięcie myszą na symbol głośniczka w pasku zadań Windows.

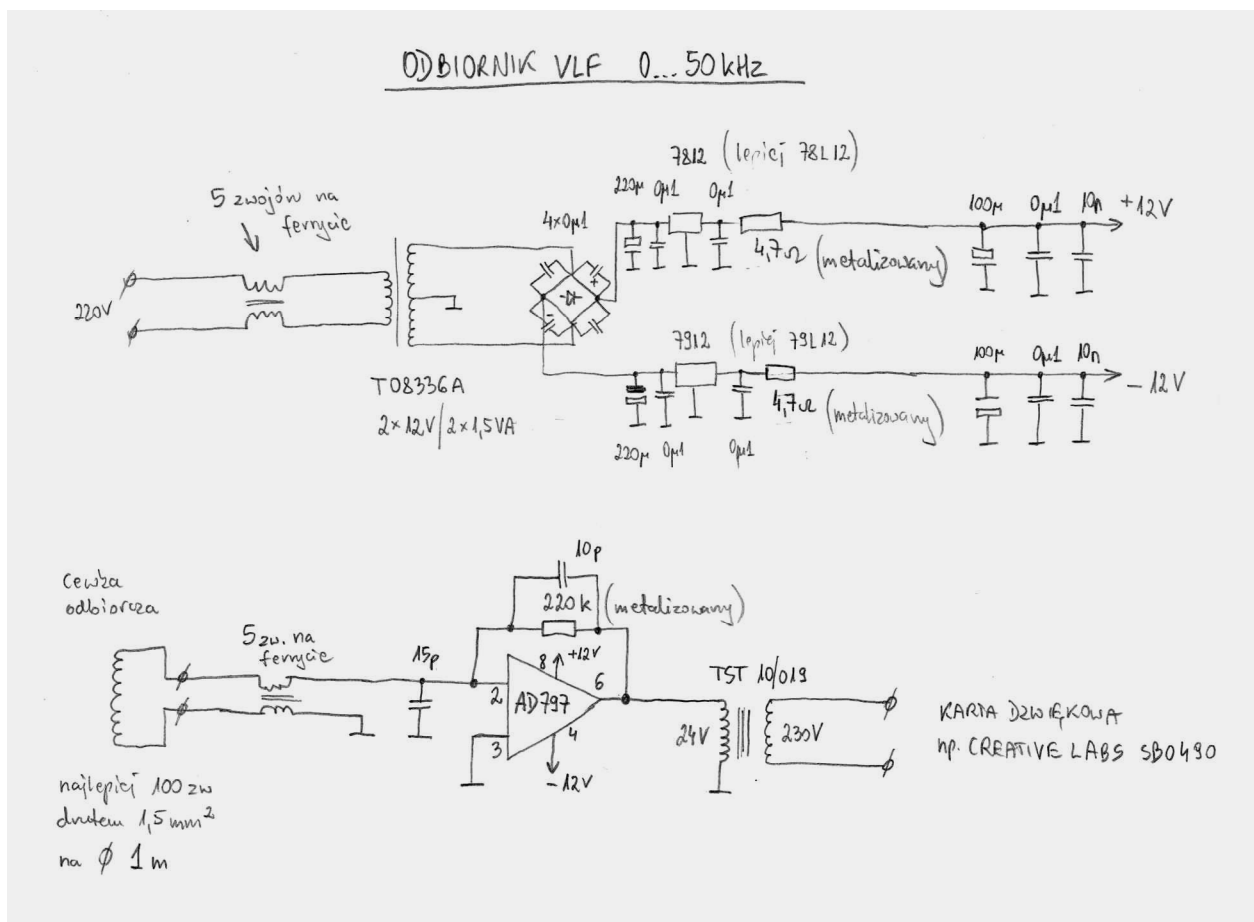
Niektóre programy j.np. SpecLab pozwalają na automatyczną rejestrację spektrogramów w wybranych odstępach czasu. Pozwala to nie tylko na wyłączenie monitora i zmniejszenie przez to poziomu zakłó-

ceń powodowanych przez komputer ale i na prowadzenie obserwacji w dowolnych porach np. nieobecności operatora, nocnych kiedy poziom zakłóceń wytwarzanych przez urządzenia gospodarstwa domowego jest najniższy. Zarejestrowane spektrogramy można następnie przeglądać i analizować w dogodnym czasie.



Fot. 6.14. Wykonanie cewek

Odbiornik SP9HSQ na pasmo do 50 kHz



Rys. 6.15. Schemat odbiornika

Układ odbiornika składa się z przedstawionej dalej cewki odbiorczej, wzmacniacza operacyjnego AD797 i transformatora separującego i jest zasilany napięciem symetrycznym +/-12 V. Sygnał wyjściowy jest doprowadzony do wejścia systemu dźwiękowego komputera. W oryginalnym wykonaniu autor zastosował na wyjściu transformator 24/220 V nawinięty na rdzeniu pierścieniowym, ale można tutaj użyć innych typów transformatorów. Sygnał wyjściowy odbiornika jest doprowadzony do wejścia systemu dźwiękowego komputera.

Antena (cewka) odbiorcza może składać się ze 100 zwojów przewodu izolowanego o przekroju $1,5 \text{ mm}^2$ nawiniętych na średnicy ok. 1 m, ale w najprostszym przypadku może to być pojedynczy zwój lub kilka. Dla anteny 100-zwojowej konieczne jest ok. 350 m przewodu.



Fot. 6.16. Wykonanie anteny

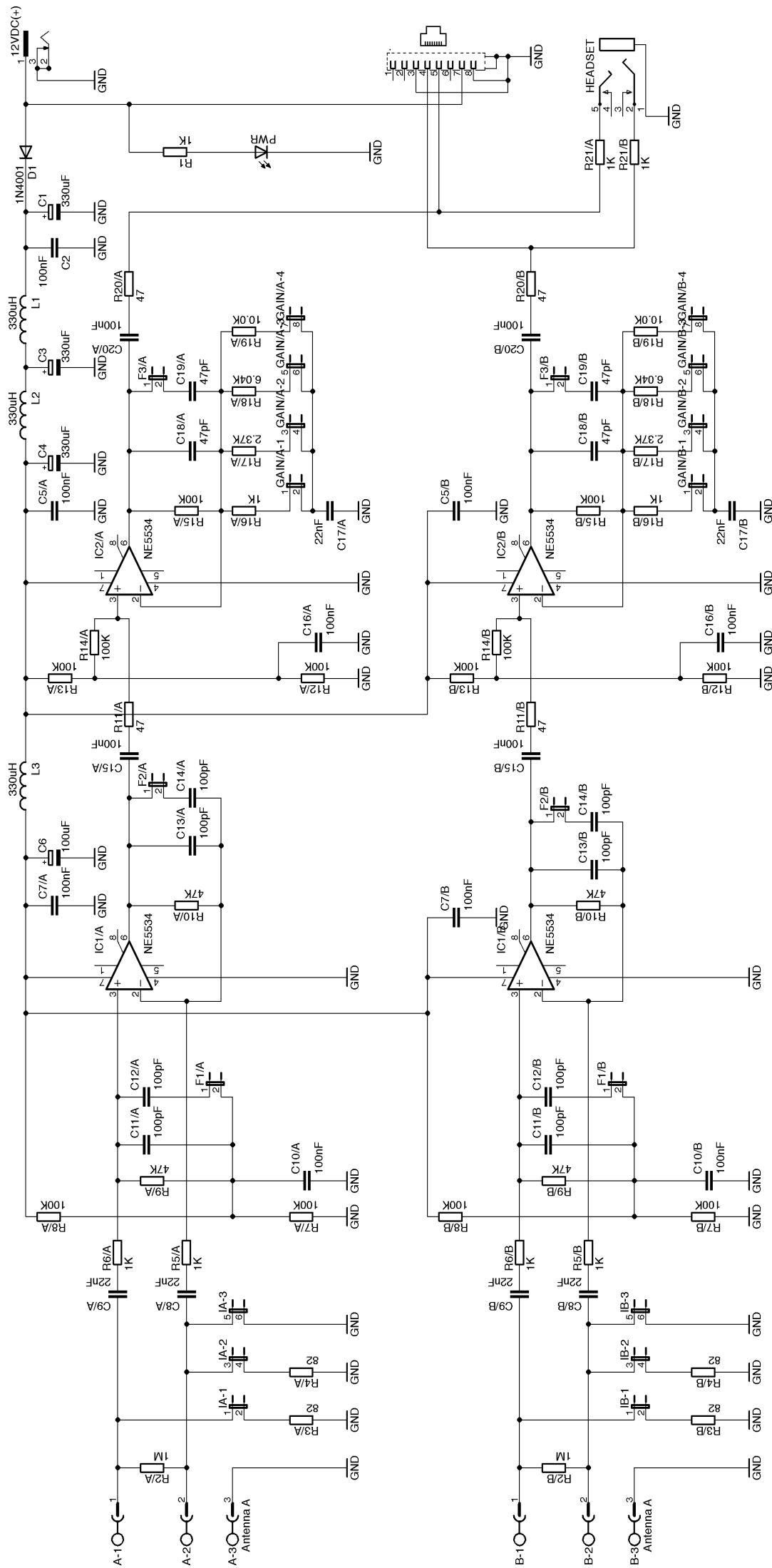
Odbiornik „Blitzortung”

Dwukanałowy odbiornik na zakres 3 – 30 kHz (rys. 6.17) zawiera dwustopniowe wzmacniacze pracujące na zasilanych niesymetrycznie – dla uproszczenia układu – wzmacniaczach operacyjnych NE5534 i filtry dolnoprzepustowe o częstotliwości granicznej 17 kHz dla anten ferrytowych lub 34 kHz dla anten pętlowych. Dla częstotliwości granicznej 17 kHz kontakty F1, F2 i F3 w obu kanałach powinny być zwarte, a dla 34 kHz – otwarte.

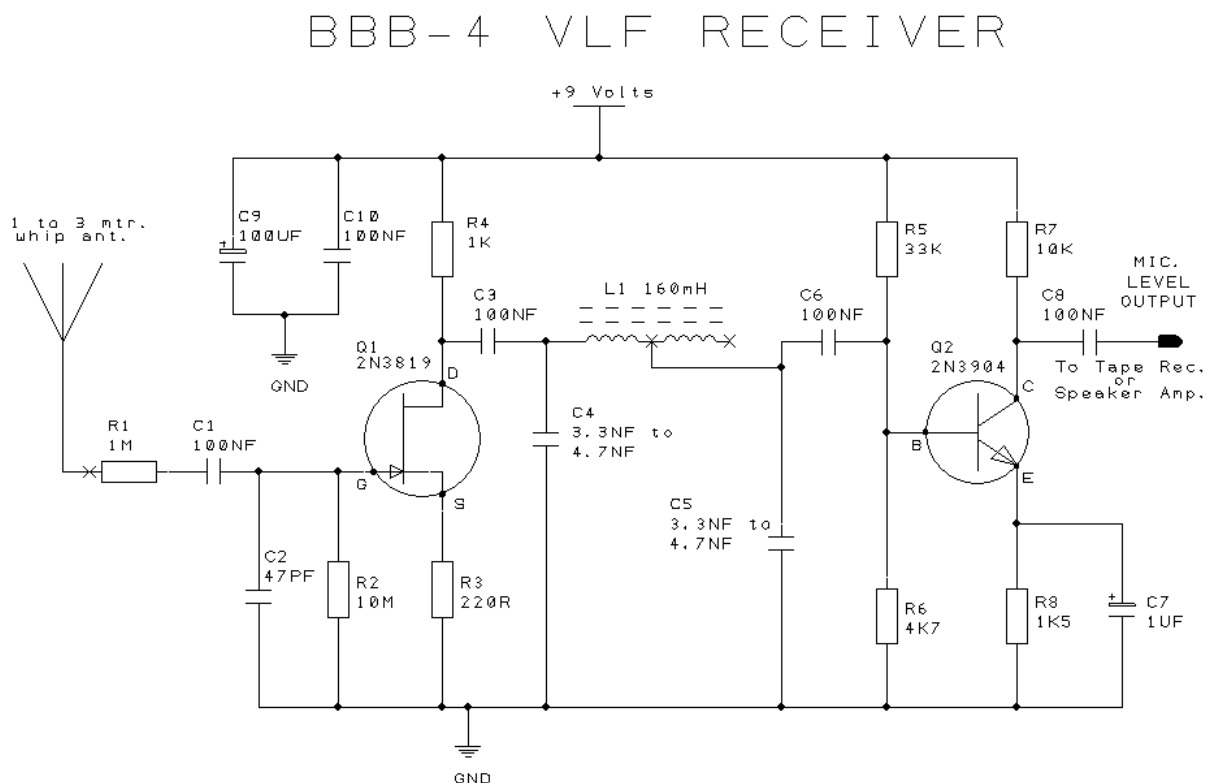
Tabela 6.1. Kontakty „Gain” służą do ustawienia wzmocnienia torów:

Wzmocnienie	Kontakt 1	Kontakt 2	Kontakt 3	Kontakt 4
170	zwarty	zwarty	zwarty	zwarty
111	zwarty			zwarty
70		zwarty	zwarty	zwarty
43		zwarty		
28			zwarty	zwarty
18			zwarty	
11				zwarty

Dla napięcia zasilania 12 V opornik w obwodzie diody świecącej ma wartość 1 k Ω . Zworki IA1 – IA3 oraz IB1 – IB3 służą do ewentualnego zwarcia odpowiednich wejść wzmacniaczy operacyjnych do masy w zależności od rodzaju anten (symetrycznych lub niesymetrycznych) i sposobu ich podłączenia. Odbiornik ten w połączeniu z układem mikrokontrolera i odbiornikiem GPS jest wykorzystywany w sieci „Blitzortung”, ale bez tych dodatków można korzystać z niego do prowadzenia lokalnych obserwacji burz po podłączeniu jednego z opisanych układów pomiarowych lub sygnalizacyjnych.



Odbiornik BBB-4



Rys. 6.18. Schemat odbiornika BBB-4

Odbiornik BBB-4 jest przeznaczony do odbioru pasma 0,2 – 12 kHz. Maksimum charakterystyki przenoszenia zawartego w układzie filtra pasmowego leży w zakresie około 1,5 – 2 kHz. Filtr dolno-przepustowy R1C2 tłumi sygnały o częstotliwościach przekraczających 20–30 kHz co zapobiega przesterowaniu odbiornika przez pracujące w tym zakresie stacje. Filtr PI C4L1C5 (2 x 3,3 – 4,7 nF, 160 mH) tłumi sygnały o częstotliwościach powyżej 7 kHz zapobiegając przesterowaniu przez stacje pracujące w zakresie ok. 13-14 kHz. Zastąpienie opornika R1 (1 MΩ) przez szeregowe połączenie opornika 200 kΩ i cewki o indukcyjności 150 mH daje zauważalne obniżenie poziomu szumów własnych. Podłączenie równolegle do kondensatora C5 cewki o indukcyjności 150 – 200 mH powoduje powstanie filtra górnoprzepustowego skutecznie tłumiącego przydźwięk sieci i jej harmonicznym. Odbiornik może być używany jako przenośny lub stacjonarny, a w zależności od potrzeb do jego wyjścia można podłączyć wzmacniacz głośnikowy, magnetofon lub inne urządzenie do zapisu dźwięku. Do odbioru sygnałów używana jest antena prętowa o długości 1 – 2 m.

Spis części

Kondensatory: 6 x 0,1 μF, 47 pF, 2 x 3,3 – 4,7 nF, 1 μF elektrolit, 2,2 μF elektrolit, 100 μF elektrolit.

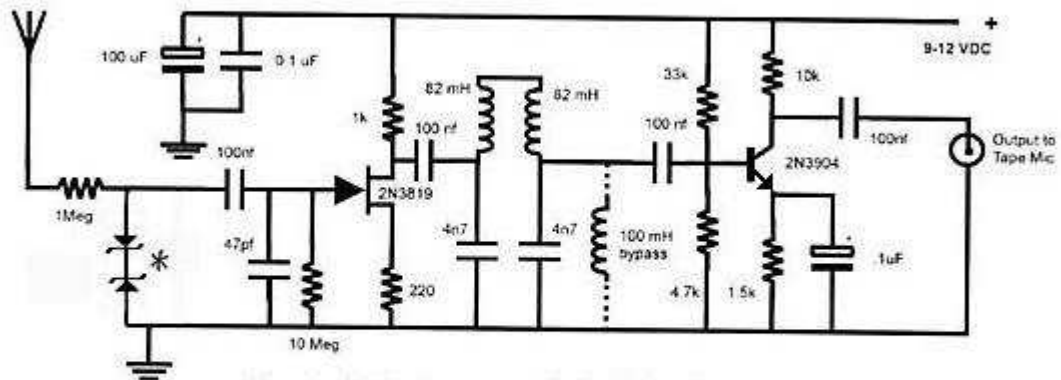
Oporniki: 1 MΩ, 10 MΩ, 220 Ω, 33 kΩ, 10 kΩ, 4,7 kΩ, 1,5 kΩ.

Cewka: 160 mH.

Europejskie odpowiedniki podanych na schemacie tranzystorów (2N3819, 2N3904) np. J310 i BC107 albo BC548 lub podobnymi.

W udoskonalonym rozwiązaniu (rys. 6.19) na wejściu zastosowano dwie diody Zenera o napięciach 3–6 V jako zabezpieczenie przed przepięciami. Na schemacie zaznaczono także sposób podłączenia dodatkowej cewki tłumiącej przydźwięk sieci i jej harmonicznym. Indukcyjność ok. 160 mH uzyskano przez szeregowe połączenie dwóch gotowych miniaturowych dławików po 82 mH.

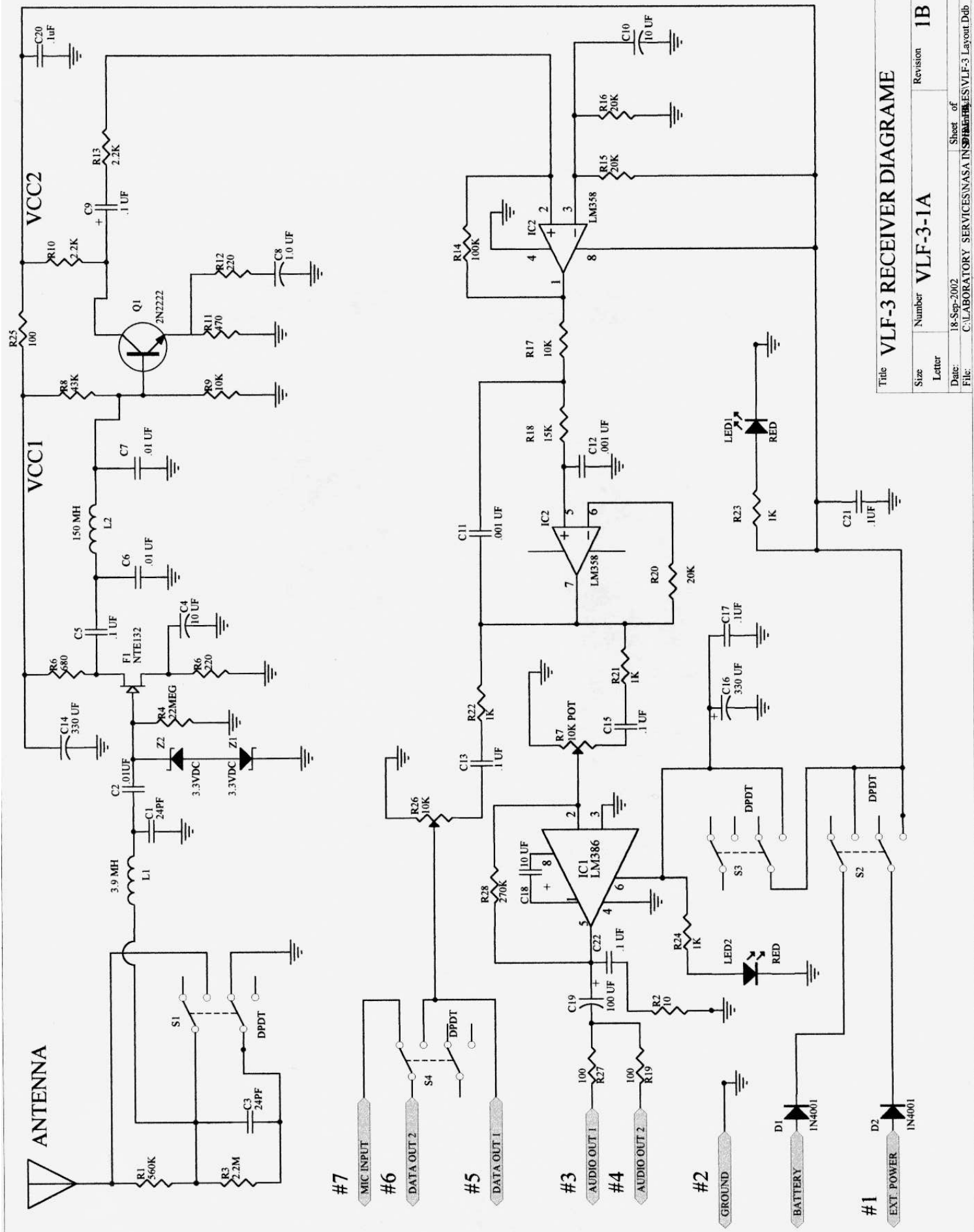
The McGreevy BBB-4 Rx



The * indicates two zener diodes 3-6 volts

This is the schema for the McGreevy 'Bare Bones Basic' ELF Rx. It is simple to build and excellent in performance. This is still one of the best receivers I have built and continues to be preferable in use. A good friend of mine, another Dave, has and is doing extensive testing of different Rx's for these frequencies and is coming up with some surprising results. By changing the values of the chokes, and the 4 7nF caps one can change the Rx frequency coverage slightly and influence the filter values. Output goes to MIC input of a cassette rec, make sure the recorder has the wider bandwidth. Also make sure of a GOOD earth connection.

Rys. 6.19. Schemat w wersji 2



Title		VLF-3 RECEIVER DIAGRAM	
Size	Number	Revision	1B
Letter	VLF-3-1A		
Date:	18-Sep-2002		
File:	C:\LABORATORY SERVICES\NASAS INSTRUMENTS\ES\VLF-3 Layout.Ddb		

Rys. 6.20. Schemat odbiornika uzupełnionego o wzmacniacz m.cz. i głośnikowy na LM358 i LM386

Pętlowa antena odbiorcza IK1QFK

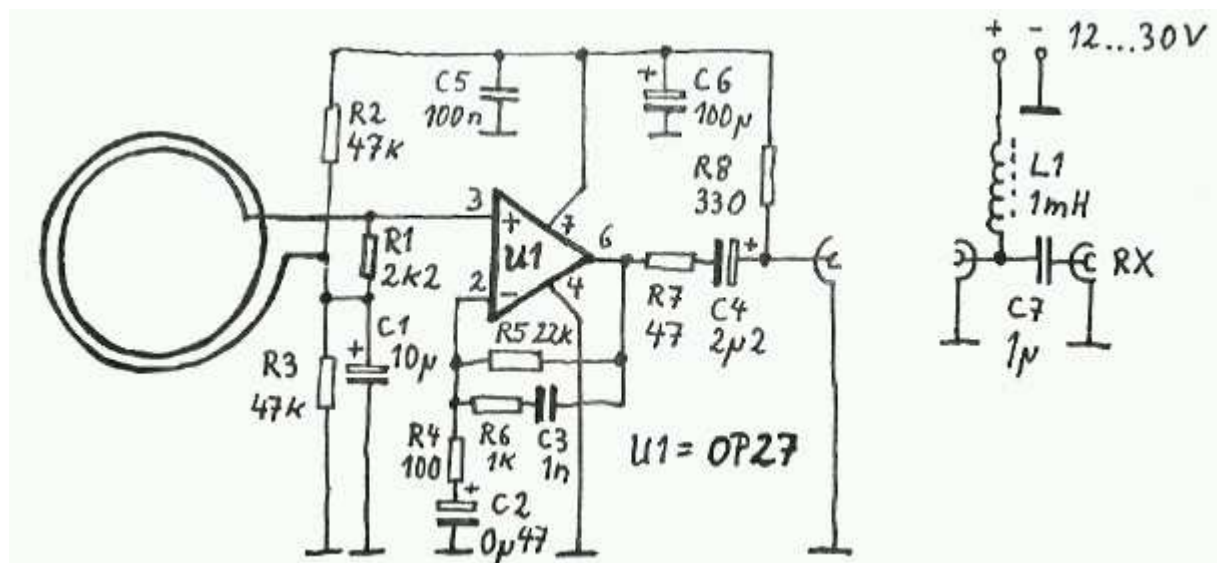
Antena, pracująca w zakresie 10 – 150 kHz (a nawet do 600 kHz przy nieco gorszych parametrach) składa się z 40-zwojowej pętli wykonanej z przewodu od instalacji elektrycznych i układu wzmacniającego na wzmacniaczu operacyjnym. Antena reaguje na składową magnetyczną dzięki czemu jest mniej wrażliwa na lokalne zakłócenia elektryczne i może być używana w pomieszczeniu. Dla podanych na ilustracji wymiarów pętla ma indukcyjność ok. 1,2 mH i rezonans własny ok. 350 kHz. Zastosowanie na wejściu wzmacniacza opornika tłumiącego 2,2 k Ω antena nie wykazuje właściwości rezonansowych. Obwód sprzężenia zwrotnego R5, R6 i C3 wyrównuje charakterystykę przenoszenia w zakresie niskich częstotliwości.

Pętla składa się z 40 zwojów przewodu instalacyjnego w izolacji o przekroju 1,5 mm² i ma średnicę ok. 40 cm co oznacza, że całkowita długość przewodu wynosi ok. 50 m. Uzwojenie pętli jest związane zwykłymi wiązaniami do kabli jak to pokazano na zdjęciu. Średnica przewodu nie jest w zasadzie istotna ale w przypadku zbyt cienkiego przewodu może być konieczne dodanie wsporników.

W układzie użyto wzmacniacza operacyjnego OP27, ale można go zastąpić wieloma innymi typami np. LT1028 lub tzw. Akustycznymi jak LM833 albo innymi po ew. Zmodyfikowaniu układu. Należy tylko zwrócić uwagę aby poziom szumów własnych wzmacniacza był możliwie niski. Do zasilania wzmacniacza należy użyć dobrze stabilizowanego napięcia o niskim poziomie składowych zakłócających. Niewskazane jest więc stosowanie stabilizatora impulsowego a stabilizatory liniowe powinny być dobrze zablokowane. Na wejściu scalonych stabilizatorów LM317, 78xx należy włączyć kondensator o pojemności 1000 μ F.



Fot. 6.21. Wykonanie anteny

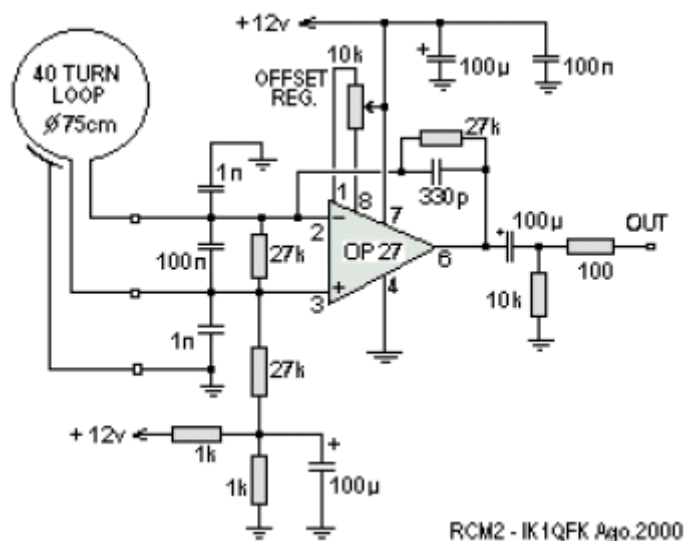


Rys. 6.22. Schemat wzmacniacza

Dla zakresu poniżej ok. 250 kHz antena ma dość ostrą charakterystykę kierunkową.

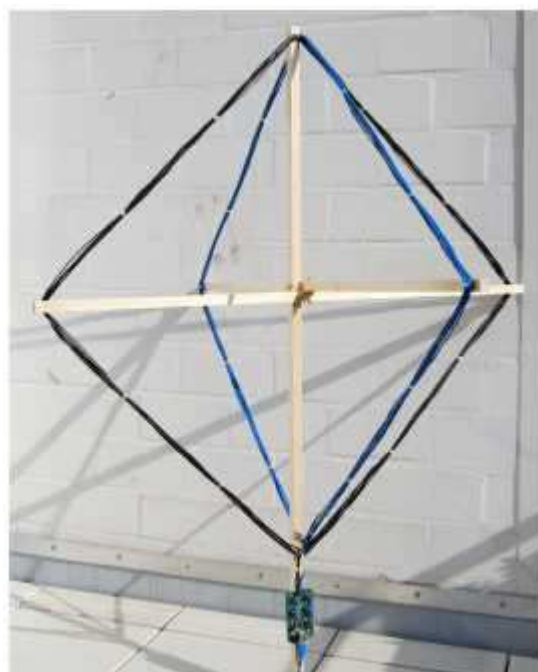
Przedstawiona antena może być użyta zarówno do odbioru w zakresie fal bardzo długich przy użyciu komputera PC jak i w połączeniu z dowolnym odbiornikiem długofalowym.

Drugi schemat (rys. 6.23) przedstawia alternatywne rozwiązanie: pętla ma średnicę 75 cm i składa się również z 40 zwojów.



Rys. 6.23

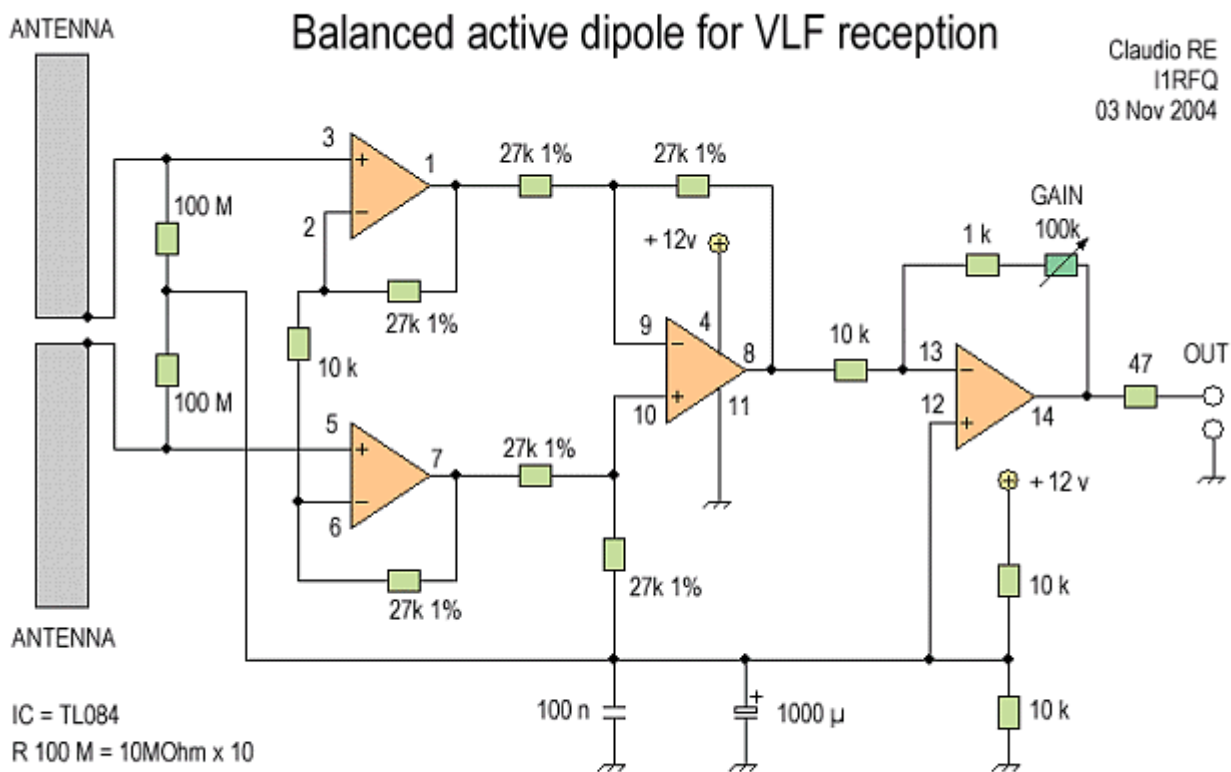
Podwójna antena ramowa „Blitzortung”



Aperiodyczna (niestrojona) antena składa się z dwóch umieszczonych prostopadle kwadratowych pętli o przekątnej 1 metra. Każde z jej uzwojeń składa się z 8 zwojów przewodu izolowanego. Antena pracuje w zakresie 3 – 30 kHz i została skonstruowana do współpracy z odbiornikiem „Blitzortung”. Jej rezonans własny leży w zakresie ok. 1 MHz.

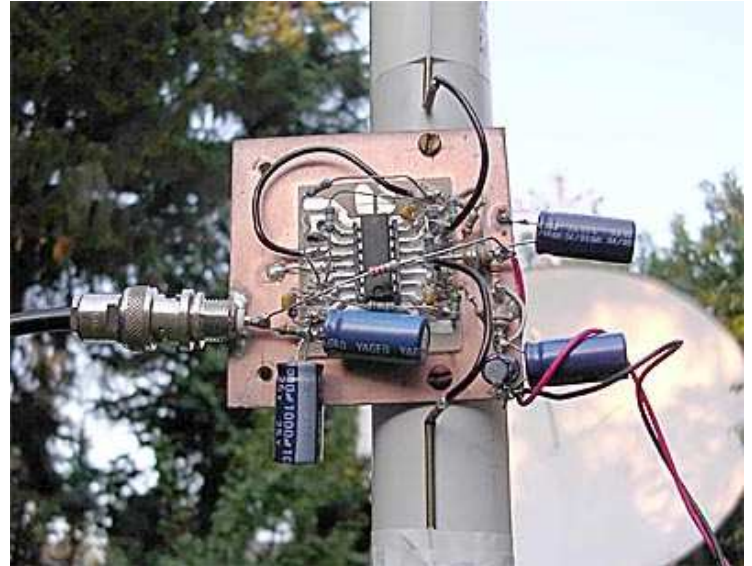
Fot. 6.24.

Symetryczna antena aktywna na zakres 5 Hz – 500 kHz

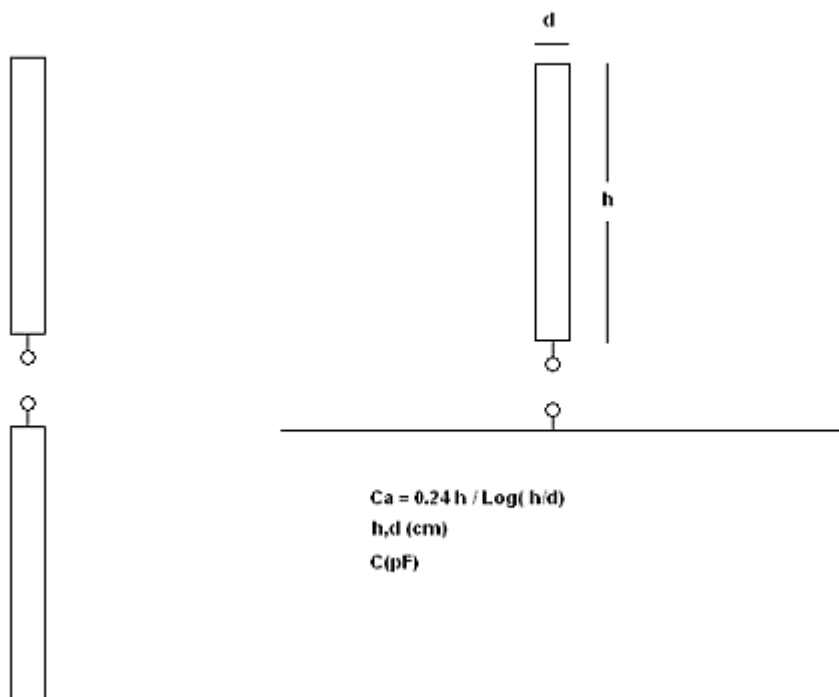


Rys. 6.25. Schemat anteny symetrycznej

Antena „ADA” opracowana przez IIRFQ została opublikowana w internecie (www.vlf.it) i w [RRRN]. Ramiona dipola wykonane są z folii aluminiowej owijającej rurkę plastikową o średnicy 2,5 – 30 cm i długości ok. 2 m. Obliczona przez konstruktora pojemność anteny dla średnicy 2,5 cm wynosiła 15 pF, a dla średnicy 30 cm – 46 pF.



Fot. 6.26. Konstrukcja anteny „ADA”.

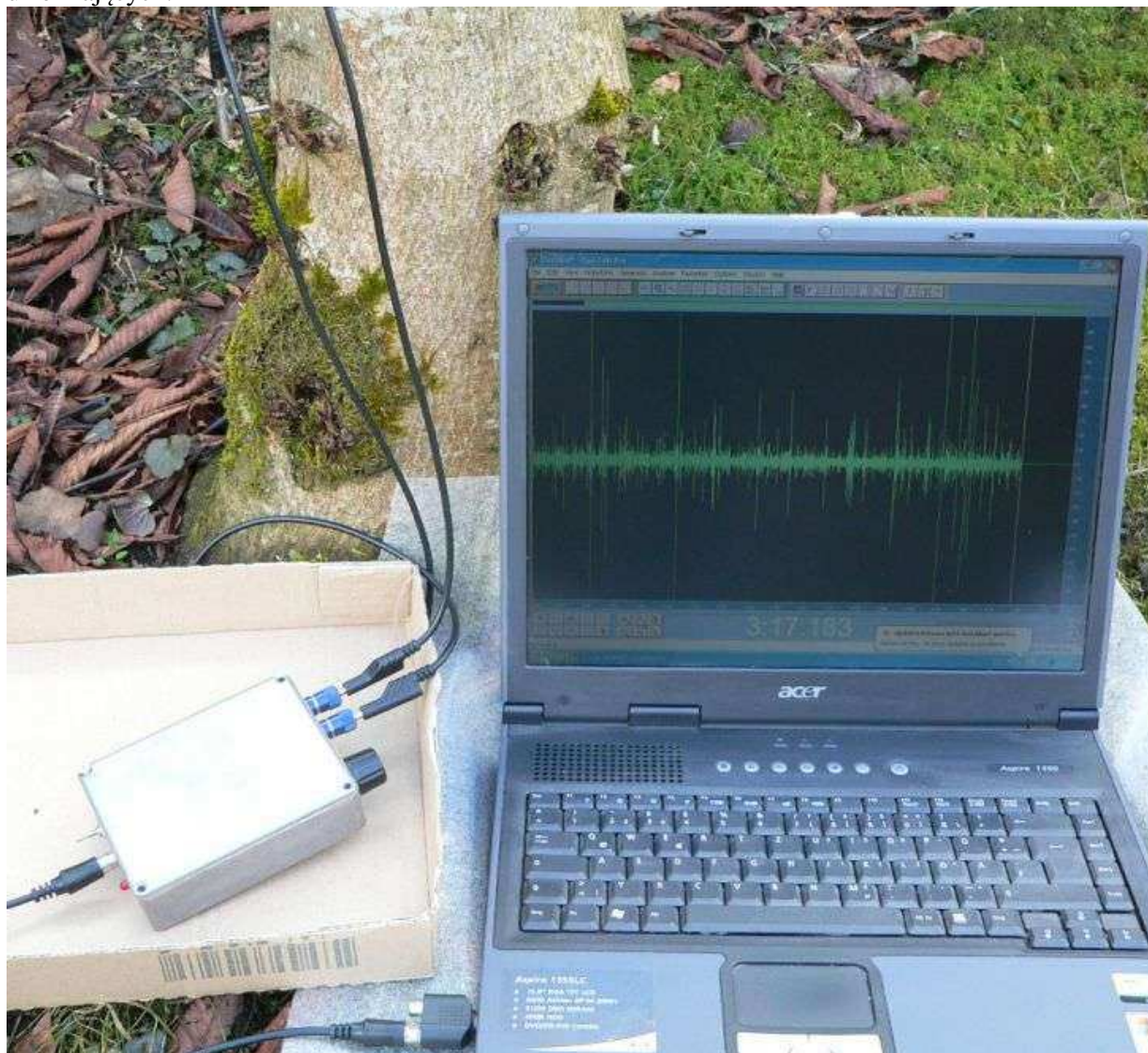


Rys. 6.27. Sposób obliczenia pojemności anteny krótkiej.

Drzewa jako anteny

Jako anten do odbioru sygnałów pochodzących od wyładowań atmosferycznych lub spowodowanych innymi zjawiskami meteorologicznymi można użyć drzew. Anteny takie mogą nawet dawać lepsze rezultaty aniżeli anteny prętowe, ale jest to w pewnym stopniu zależne od najbliższego otoczenia drzewa. Pień drzewa jest w okresie wegetacji nasycony sokami, a więc stanowi stosunkowo dobry przewodnik elektryczny. Wystarczy więc wbicie do niego lub wkręcenie dwóch elektrod metalowych (śrub, gwoździ, spiczastych końcówek kabli pomiarowych itp.) i połączenie ich odpowiednio z gniazdem antenowym i masą odbiornika. Elektroda masy może znajdować się na niedużej wysokości nad ziemią natomiast druga z nich na wysokości ok. 2 m lub większej. Jako antena może służyć drzewo rosnące w pobliżu innych, nie musi być to drzewo rosnące samotnie. Sprawność takiej anteny zależy od wysokości drzewa, głębokości jego korzeni a także rodzaju i wilgotności gruntu. Dla drzew liściastych maleje ona po opadnięciu liści w jesieni.

Napięcie uzyskiwane na zaciskach anteny przewyższa napięcia dawane przez anteny prętowe a impedancja anteny jest znacznie niższa od impedancji anteny prętowej. Ponieważ drzewo jest połączone z ziemią poprzez korzenie nie należy dodatkowo uziemiać odbiornika aby nie doprowadzić do powstania pętli masy służącej jako doskonała antena dla pobliskich sygnałów zakłócających. Nie może on też być uziemiony przez podłączone do niego urządzenia pomiarowe i rejestratory. Dla zapobieżenia tym niekorzystnym efektom można zastosować na wejściu odbiornika obwód sprzężony transformatorowo. Negatywnym efektem jest natomiast wyższy poziom zakłóceń pochodzących od pobliskich obwodów uziemiających.



Fot. 6.28. Zdjęcie: www.sfericsempfang.de

Obserwacje

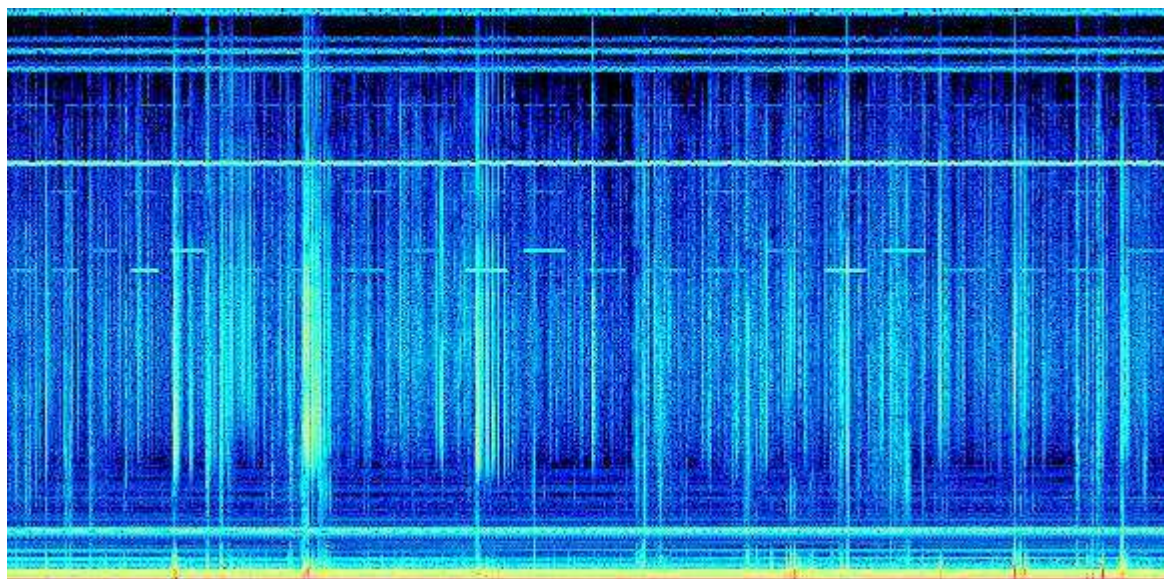
Zarówno w badaniach profesjonalnych jak i amatorskich dominują obecnie od wielu dziesiątków lat obserwacje wyładowań pochodzenia burzowego i ich lokalizacja. Obserwacje sygnałów pochodzących od innych zjawisk meteorologicznych stopniowo dopiero zaczynają budzić zainteresowanie po dłuższym zapomnieniu. Były one prowadzone niemal od początków radiotechniki do około połowy XX w., a sprawami radiometeorologii interesowało się wówczas wielu uczonych i praktyków. W zasadzie trudno powiedzieć co było przyczyną takiego stanu rzeczy, ale być może nie przynosiły one tak szybkich i zdecydowanych korzyści dla gospodarki.

W celu ustalenia dokładnego miejsca wyładowań można posłużyć się metodą radiopelengacji (namiaru kierunkowego) lub metodą pomiaru różnicy czasów propagacji (ang. *time of arrival* – TOA). W pierwszym przypadku do określenia położenia wystarczą dwie stacje odbiorcze z antenami kierunkowymi (ramowymi, ferrytowymi itp.), natomiast w drugim – minimum cztery wyposażone w pionowe anteny prętowe (dookólne). Konieczna jest wówczas dokładna synchronizacja czasu np. w oparciu o wzorzec GPS. Po obliczeniu trzech różnic czasowych wykreślane są odpowiadające im trzy hiperbole, a ich punkt przecięcia odpowiada położeniu źródła sygnału (miejscu wystąpienia wyładowania).

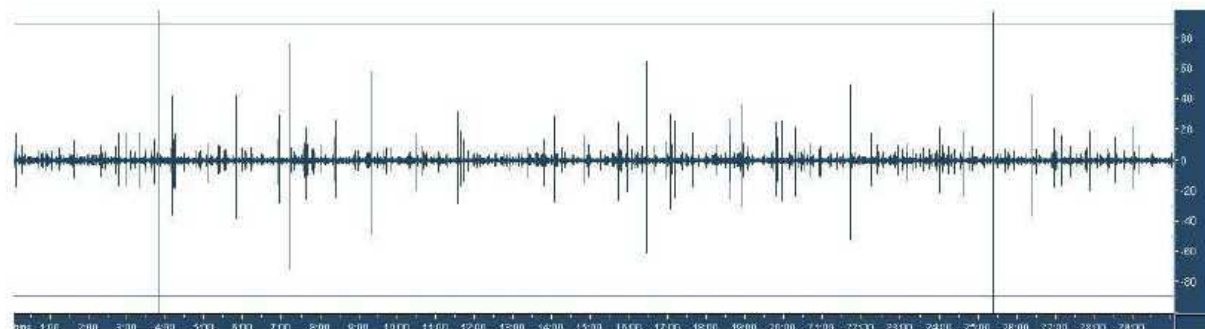
W przypadku pierwszym dodatkowa antena prętowa umożliwia rozpoznanie polaryzacji wyładowania. Na zasadzie pomiaru różnicy czasów propagacji pracuje opisana dalej amatorska sieć *blitzortung.org*. Amatorskie obserwacje mogą też polegać na rejestracji i analizie oscyloskopowej przebiegów wyładowań i zmian ich natężenia w funkcji czasu albo obserwacji ich widm częstotliwościowych. Metoda pierwsza jest szczególnie korzystna do obserwacji wyładowań cichych (meteorologicznych) natomiast druga – do obserwacji takich sygnałów jak gwizdy i ćwierkanie. Możliwe jest także prowadzenie wielokanałowych obserwacji i rejestracji w różnych pasmach częstotliwości i dla różnych progów czułości. W najprostszym przypadku amatorskie odbiorniki burzowe mogą służyć do dźwiękowej lub optycznej sygnalizacji wyładowań i ostrzegać w ten sposób przed zbliżającymi się burzami.

Obserwacją lokalizacją i badaniami burz zajmują się w pierwszym rzędzie takie systemy profesjonalne jak BLIDS czy ALDIS. Jednym z ich amatorskich odpowiedników jest *blitzortung.org*.

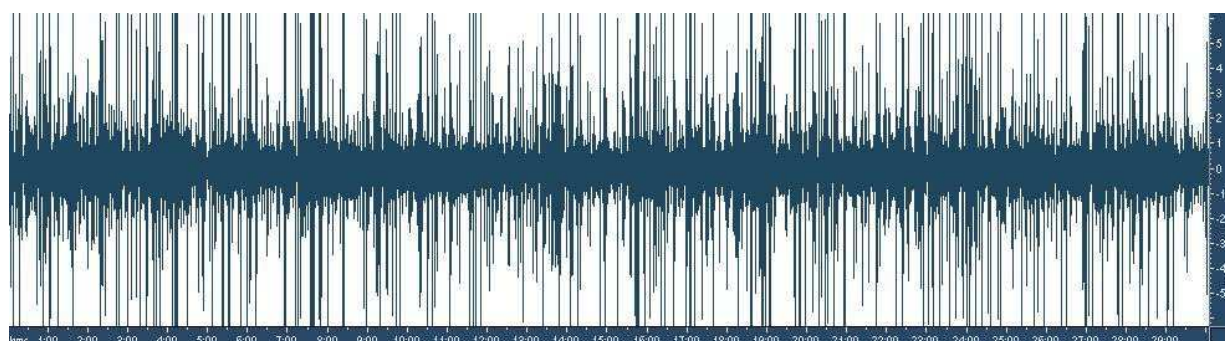
Niemiecki system BLIDS (niem. *Blitzinformationsdienst Siemens*) zapewnia dzięki gęstej sieci stacji pomiarowych dokładność lokalizacji 300 – 800 m. Austriacki system ALDIS (ang. *Austrian Lighting Detection and Information System*) korzysta z metody kombinowanej – radiopelengacji i pomiaru różnicy czasów propagacji dzięki czemu do lokalizacji wyładowania wystarczą tylko dwie stacje. System analizuje także czas narastania i trwania impulsu, jego polaryzację, natężenie prądu i liczbę kolejnych wyładowań cząstkowych. Obydwa systemy należą do europejskiej sieci EUCLID.



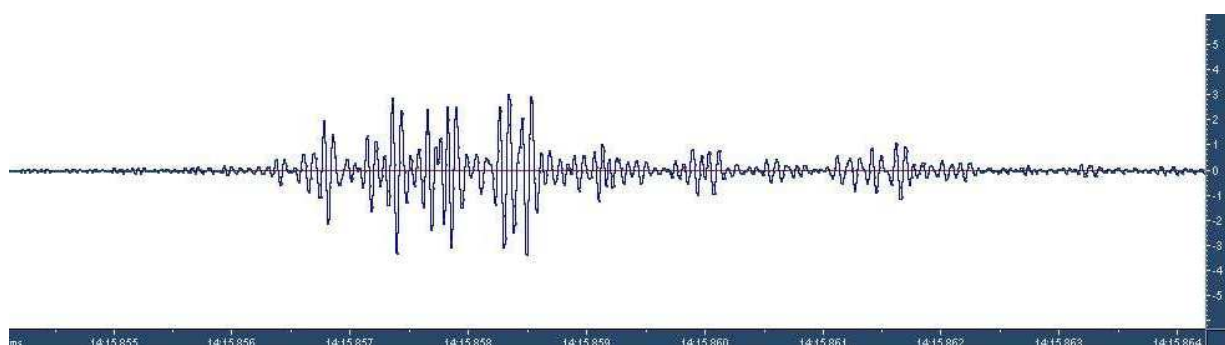
Rys. 6.29. Wyładowania burzowe na wskaźniku wodospadowym programu Spectrum Lab. W zakresie 0 – 22 kHz widoczne są dodatkowo sygnały stacji pracujących różnymi emisjami, a u dołu częstotliwość sieci i jej harmoniczne. Źródło: www.vlf.it.



Rys. 6.30. Przebieg napięcia wyjściowego odbiornika w skali czasu. Źródło: www.sfericsempfang.de.



Rys. 6.31. Ten sam przebieg przy wykorzystaniu drzewa jako anteny. Źródło: www.sfericsempfang.de.



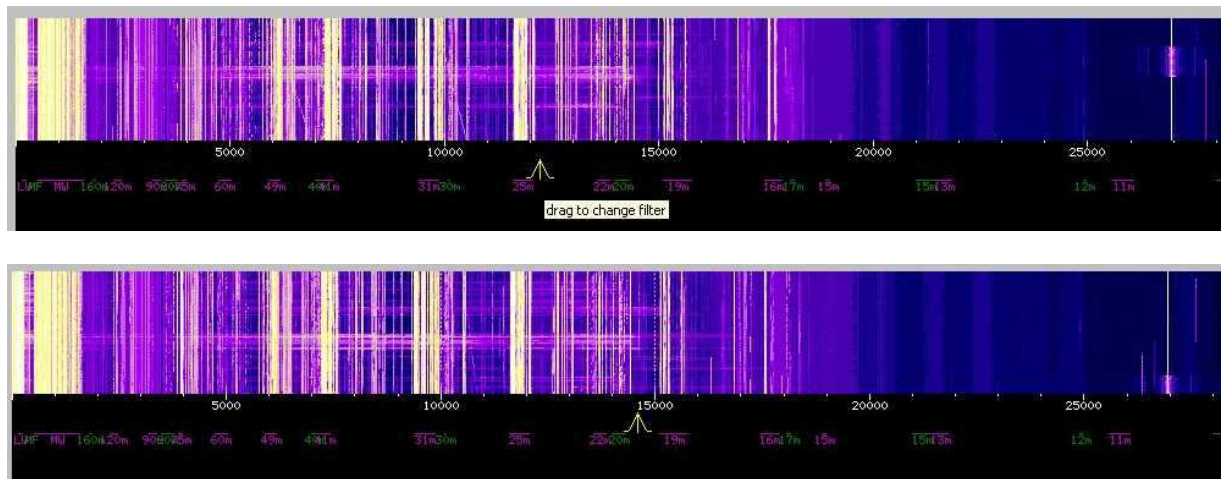
Rys. 6.32. Przebieg wyładowania w chmurze rozciągnięty w czasie. Źródło: www.sfericsempfang.de.

Na ilustracjach poniżej przedstawiono kilka przykładowych widm sygnału odebranych za pomocą odbiorników programowalnych (SDR) w różnych warunkach meteorologicznych. Dla uproszczenia autor wybrał odbiorniki znajdujące się w różnych miejscach Europy oszczędzając sobie w ten sposób oczekiwania na możliwość odbioru tych sygnałów za pomocą lokalnego odbiornika szerokopasmowego. W trakcie prowadzonych systematycznie obserwacji bardziej sensowne są obserwacje odbioru z odbiornika lokalnego i ograniczenie jego zasięgu do terenu kraju, krajów ościennych lub bliższej części kontynentu.

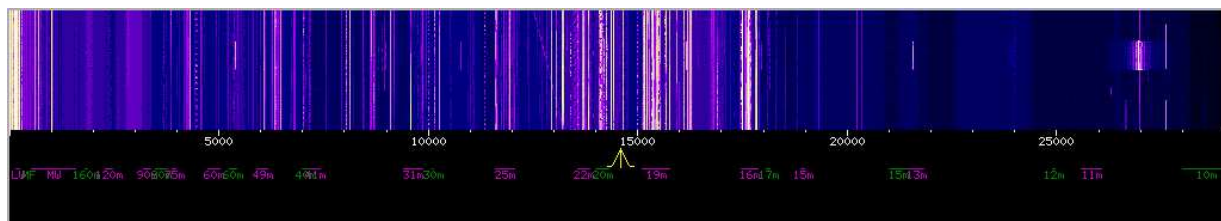
Do użytku domowego dobrze nadają się odbiorniki złożone ze zwykłego, taniego odbiornika DVB-T i konwertera na fale krótkie, średnie i długie. Przykładem takiego gotowego rozwiązania fabrycznego może być odbiornik „DX Patrol”, ale zasadniczo samodzielna konstrukcja konwertera nie powinna też przysporzyć większych trudności. Może być to prosty konwerter jedno- lub dwutranzystorowy ze sterowaną kwarcem heterodyną, konwerter na obwodzie NE612 albo z wykorzystaniem diodowego mieszacza zrównoważonego takiego jak IE-500 lub dowolnego podobnego. Z innych gotowych rozwiązań interesujący jest też odbiornik „Fun Cube Dongle Pro plus”. Oczywiście na rynku dostępnych jest wiele innych droższych modeli odbiorników programowalnych ale podniosłoby to niepotrzebnie koszty

wyposażenia. Do obsługi odbiorników i do wyświetlania odebranych sygnałów mogą służyć dowolne programy takie jak SDRsharp, HSDR itd.

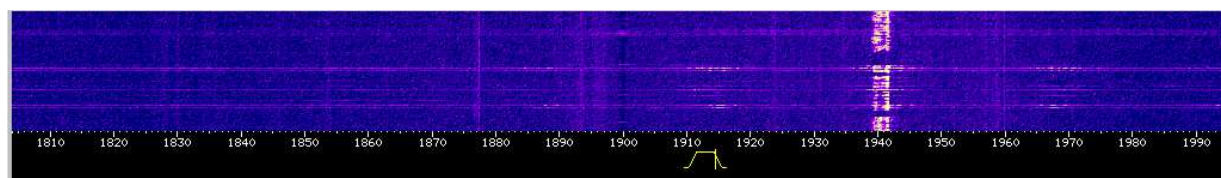
Pod adresem www.websdr.org znajduje się wybór odnośników do odbiorników programowalnych pozwalający na szybsze zdobycie własnych doświadczeń w obserwacjach optycznych i akustycznych.



Rys. 6.33a. Widma sygnałów wyładowań radiometeorologicznych (poprzeczne linie) na wskaźniku wodospadowym szerokopasmowego odbiornika internetowego SDR w nocy 23 maja 2013 roku (<http://websdr.ewi.utwente.nl:8901/>). Odbiornik pokrywa zakres 0 – 29,1 MHz. Jak z nich wynika dobrymi zakresami obserwacji takich sygnałów mogą być także okolice 9 lub 11 MHz. W momencie obserwacji mapa „Blitzortung.org” nie wykazywała żadnych wyładowań burzowych na terenie Holandii ani krajów ościennych



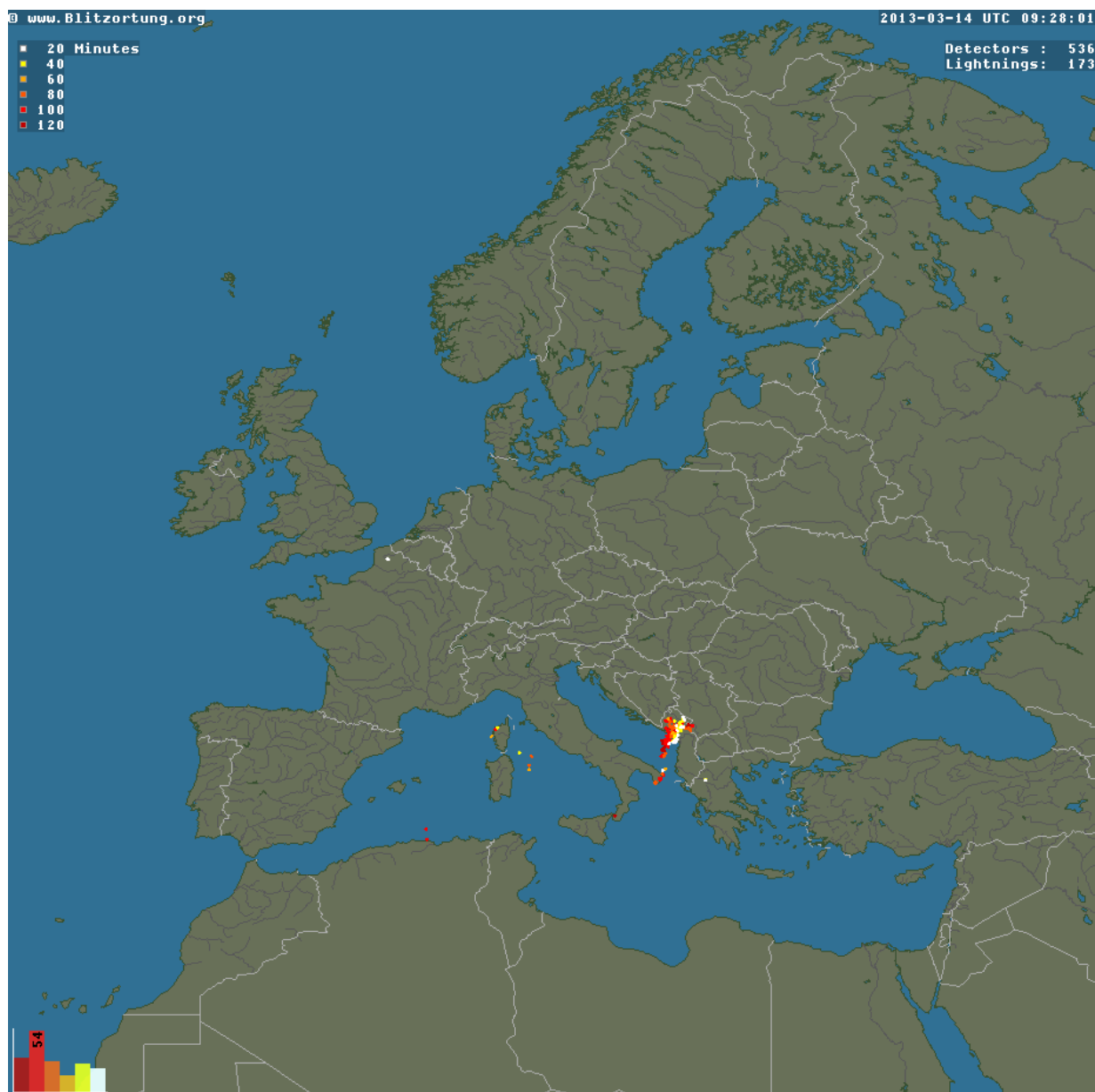
Rys. 6.33b. Widmo przy braku wyładowań – w południe 20 marca 2017 (źródło jak wyżej). W pobliżu Holandii przechodzi front ciepły, cała Europa znajduje się w zasięgu mniej lub bardziej głębokich niżów. Nie występują burze



Rys. 6.33c. Przejście frontu zimnego. Odbiór w pasmie 160 m na odbiorniku w Anglii, nad którą w tym samym czasie – w południe 20 III 2017 – przechodził front zimny. Zauważalne nieregularnie występujące pojedyncze wyładowania (źródło <http://hackgreensdr.org:8901/>)

Mapy w internecie

Blitzortung



Rys. 6.34. Burzowa mapa Europy wyświetlana w witrynie www.blitzortung.org [BLOR]. Przykład z dn. 14 III 2013 r. Mapa zawiera dane z ostatnich dwóch godzin i jest aktualizowana w rytmie minutowym.

„Blitzortung” jest prywatną (amatorską) siecią zajmująca się lokalizowaniem burz i wyładowań atmosferycznych i odostępnianiem tych informacji osobom zainteresowanym. Wchodzące w skład sieci stacje prowadzą obserwacje głównie w zakresie 3 – 30 kHz. Rejestrują one sygnały o czasie trwania 200 – 400 μ s próbując je z częstotliwością 350 kHz. Informacje te wraz z czasem odbioru podawany z dokładnością rzędu mikrosekund (w opraciu o czas odebrany przez odbiornik GPS) są przekazywane do centralnego serwera, który na ich podstawie może zlokalizować rejon wyładowania (burzy). Zasada pracy polegająca na lokalizacji wyładowań na podstawie różnicy czasów wymaga dla każdego z nich otrzymania danych od co najmniej czterech stacji odbiorczych. Wszystkie niezbędne obliczenia przeprowadzane są na centralnym serwerze sieci.

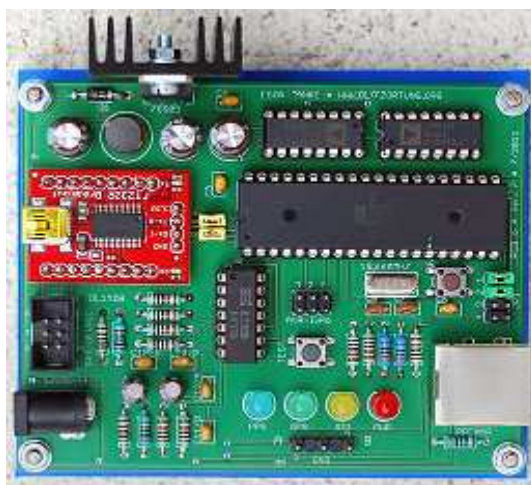
Obecnie w sieci pracuje ponad 500 stacji z różnych krajów europejskich, w tym także i stacje z Polski.

Tabela 6.2. Przykładowo w dniu 17 maja 2013 r. na stronie sieci wymieniane były następujące stacje polskie:

Numer	Lokalizacja	Adres internetowy
201	Pełczyce	
209	Kościerzyna	
214	Ciechocinek	
293	Warszawa	sp5mnc.e3p.pl/index.php/lokalizacja-wyladowan-atmosferycznych
336	Bolesławiec	instytutmeteo.pl
361	Łódź	www.rbalejameteo.pl
395	Lublin	burza.umcs.lublin.pl
415	Łochów	burze.dzis.net
454	Niepołomice	sites.google.com/site/sp9hsq/
455	Mysłowice	www.serwismyslowice.pl

Zainteresowani udziałem mogą zakupić zestaw konstrukcyjny standardowego odbiornika po skontaktowaniu się z podanymi w witrynie osobami odpowiedzialnymi za prowadzenie projektu. Członkostwo w sieci jest bezpłatne i dostępne dla wszystkich zainteresowanych.

Na fotografiach 6.35 – 6.37 przedstawiono wygląd odbiornika głównego z antenami, odbiornika GPS i mikrokontrolera.



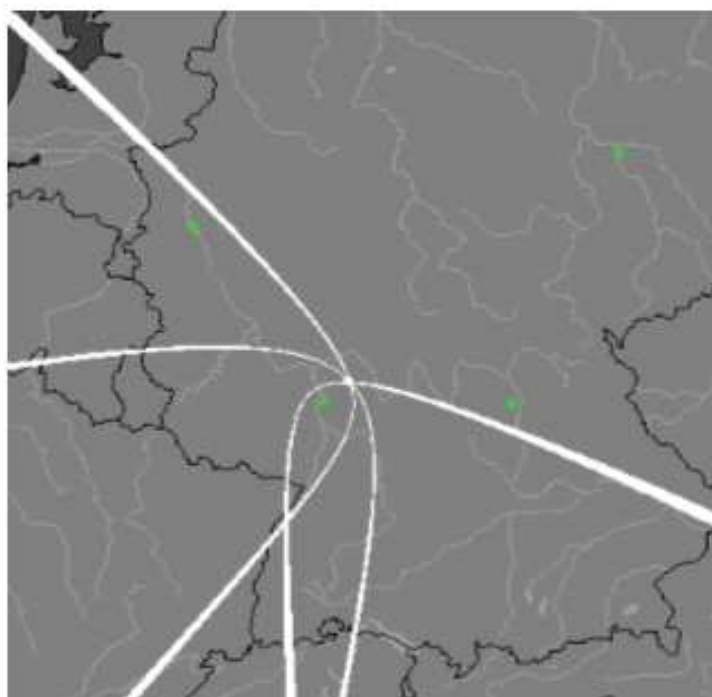
Wyposażenie stacji składa się z dwóch niestrojonych (nie będących w rezonansie; zniekształcenie przebiegu w wyniku rezonansu uniemożliwia dokładne określenie czasu wyładowania) anten ferrytowych lub pętlowych, wzmacniacza odbieranych sygnałów, modułu mikrokontrolera opracowanego przez *Blitzortung*, odbiornika GPS i komputera PC połączonego stale z internetem. Dwukanałowy odbiornik (do każdego z kanałów podłączona jest jedna z anten kierunkowych) zawiera dwustopniowy wzmacniacz na zasilanych niesymetrycznie wzmacniaczach operacyjnych NE5534 i filtr dolnoprzepustowy o częstotliwości granicznej 17 kHz dla anten ferrytowych lub 34 kHz dla anten pętlowych.

Fot. 6.35 – 6.37

W module kontrolera pracuje mikroprocesor firmy Atmel typu Atmega644, a do odczytu danych z odbiornika służą dwa 10-bitowe przetworniki analogowo-cyfrowe.

Metoda lokalizacji wyładowania na podstawie różnicy czasów odbioru fali przez poszczególne stacje polega (podobnie jak w systemie nawigacji Loran i podobnych) na wykreśnianiu hiperbol będących miejscem geometrycznym punktów odpowiadających danej różnicy czasów. Fale radiowe rozchodzą się z szybkością 300000 km/h, co oznacza przykładowo, że różnica czasu 100 μ s odpowiada odległości 30 km.

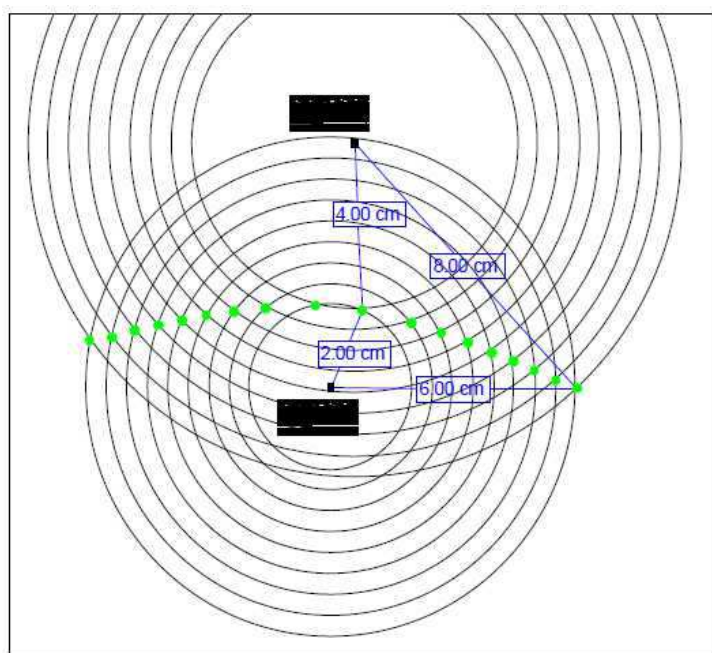
Dla czterech stacji możliwe jest wykreślenie trzech hiperbol odpowiadających możliwym do obliczenia trzem różnicom czasów. Punkt przecięcia tych trzech hiperbol odpowiada miejscu wystąpienia wyładowania. Obliczenia te są przeprowadzane na centralnym serwerze sieci.



Na ilustracji 6.38 widoczne są cztery zielone punkty odpowiadające stacjom odbiorczym i otrzymane na podstawie otrzymanych od nich danych trzy hiperbole. Wyładowanie wystąpiło w miejscu ich przecięcia.

Zasadę powstawania hiperboli ilustruje rysunek 6.39 poniżej [SCGE]. Widoczne na nim koncentryczne kręgi wokół stacji odpowiadają miejscom o określonej odległości (na rysunku podano symbolicznie odległości w cm, w rzeczywistości chodzi o czas w μ s). Punkty paraboli (na rysunku w kolorze zielonym) znajdują się w miejscach przecięcia się kręgów o danej różnicy odległości (czasu).

Rys. 6.38



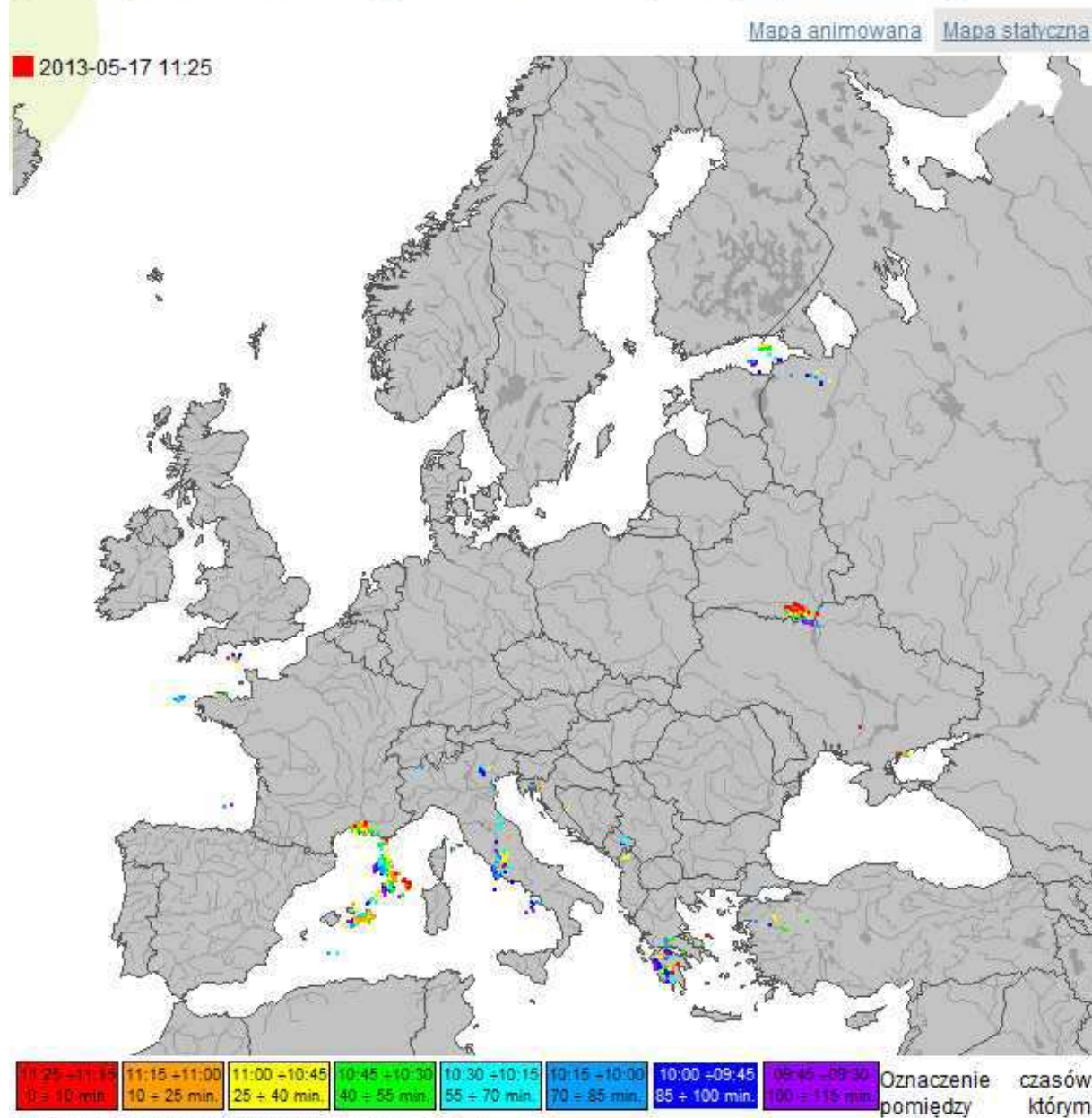
Rys. 6.39. Zasada powstawania hiperboli

Burze.dzis.net

Burzowe mapy Polski i Europy dostępne są też w witrynie *burze.dzis.net* [BUDZ]. Mapa obejmuje okres ostatnich dwóch godzin i jest odświeżana co 5 minut. Oprócz map statycznych dostępne są także mapy animowane. Autor strony korzysta z danych udostępnianych przez *blitzortung.org* i *blids.de*.

Mapa burzowa Europy

Na mapie zaznaczono miejsca zarejestrowanych doziemnych wyładowań atmosferycznych z ostatnich dwóch godzin. Mapa odświeżana co 5 minut, generowana w dwóch wersjach statycznej oraz animowanej.



wystąpiło doziemne wyładowanie atmosferyczne.

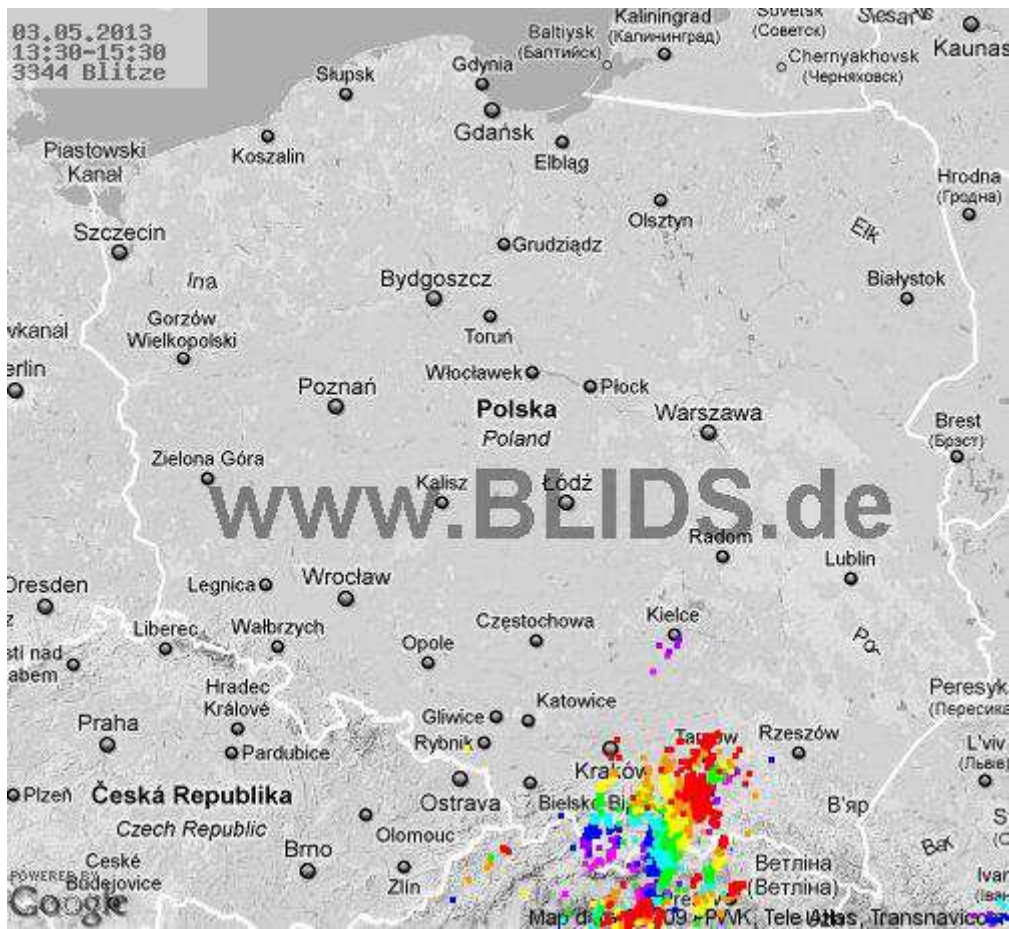
Oznaczenie w górnym lewym rogu mapy:

■ zarejestrowano doziemne wyładowania atmosferyczne

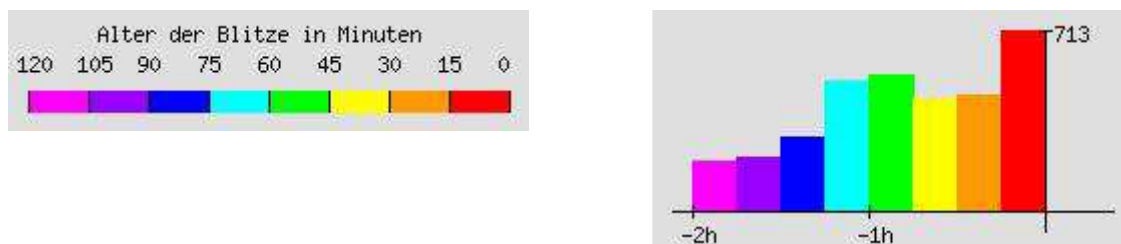
■ brak doziemnych wyładowań atmosferycznych

Rys. 6.40. Przykładowa mapa występowania burz

BLIDS



Rys. 6.41. Przykład mapy wyładowań z 3 V 2013 r. ze strony www.blids.de. Znaczenie skali kolorów przedstawia ilustracja 6.42 po lewej stronie, a po prawej – przebieg liczby wyładowań w funkcji czasu.



Rys. 6.42

Wyładowania ciche

Zjawiska fizyczne

Głównym źródłem naturalnego promieniowania elektromagnetycznego są wyładowania burzowe, ale oprócz nich występują także sygnały, których źródłem są inne zjawiska atmosferyczne jak ciche wyładowania w chmurach, pole elektryczne powstające w wyniku ścierania się ze sobą mas powietrza o różnych własnościach fizycznych, np. w przypadku ruchu frontów atmosferycznych, turbulencji atmosferycznych np. o charakterze termicznym, na pograniczach rejonów wiatrów itp.

W wyniku rozdziału ładunków podczas rozpryskiwania się kropli padającej wody (deszczowej itp.) pył wodny ładuje się ujemnie, a unoszący się dzięki temu ładunek staje się w rezultacie również źródłem promieniowania elektromagnetycznego o charakterze szumowym.

Przyczyną jonizacji powietrza (powstawania ładunków przestrzennych w powietrzu) mogą być, oprócz tarcia się mas powietrza o siebie, promieniowanie ultrafioletowe Słońca, promieniowanie rentgenowskie, naturalna radioaktywność (promieniowanie alfa i beta) itp. W zjonizowanych warstwach atmosfery dodatkowym źródłem są zderzenia jonów lub elektronów z niezjonizowanymi jeszcze cząsteczkami lub istniejącymi już jonami. Ziemskie pole elektryczne wspomagane przez pionowe ruchy mas powietrza powoduje ruch powstałych w wyniku jonizacji ładunków czyli ciągły (zależny od wielu czynników m.in. od wpływów meteorologicznych) przepływ prądu elektrycznego będącego w ostatecznym efekcie źródłem pola elektromagnetycznego.

Zasięg promieniowania radioaktywnego pierwiastków zawartych w skorupie ziemskiej jest zbyt krótki, aby mógł spowodować jonizację atmosfery poza cieniutką warstewką tuż nad powierzchnią ziemi. Jonizację wywołaną ziemską radioaktywnością prawie w całości powoduje wydzielający się ze szczelin ziemi radon – szlachetny gaz będący jednym z elementów ciągu rozpadu pierwiastków radioaktywnych uranu i toru. Koncentracja radonu podlega zmianom dobowym, przy czym w terenie płaskim i w dolinach maksymalne stężenie występuje w nocy i nad ranem, a minimalne w godzinach popołudniowych [ATEL]. W terenach górskich cykl ten nie jest dokładnie określony. Przebieg krzywej stężenia radonu w skali rocznej nie daje się natomiast określić jednoznacznie ze względu na różnorodność czynników na niego wpływających. Podstawowym izotopem radonu jest izotop o liczbie atomowej 222, pozostałe jego izotopy j.np. toron mają zbyt krótki czas połowicznego rozpadu aby wywierać jakikolwiek wpływ na jonizację atmosfery.

Samo wydzielanie radonu nie odbywa się również z jednakową intensywnością. Jego maksimum daje się przeważnie zaobserwować we wczesnych godzinach przedpołudniowych ale ogólnie rzecz biorąc proces jest zależny od stanu pogody i pory roku. W skali rocznej maksimum przenikania radonu do atmosfery występuje późnym latem. Obniżenie szybkości przenikania jest powodowane przez opady i wzrost ciśnienia atmosferycznego. Naświetlenie słoneczne, wzrost temperatury i spadek ciśnienia atmosferycznego powodują zwiększenie tej szybkości, mróz może spowodować nawet całkowite jego zahamowanie.

Wyładowania powierzchniowe między dwoma masami ruchomego powietrza są najczęściej wyładowaniami wielokrotnymi o sumarycznym czasie trwania rzędu milisekund i są przeważnie słyszane jako bulgotanie lub jako łagodnie brzmiące i przeważnie niezbyt głośne trzaski albo ich serie. Ich zasięg jest naogół niewielki i jak podaje Jellonek [JAPR] może wynosić nawet tylko kilkanaście km natomiast inne źródła podają kilkaset do 1000 km. Najprawdopodobniej jest to zależne od rodzaju wyładowań (ich przyczyny) i obserwowanego zakresu częstotliwości i dlatego podawane w różnych źródłach zasięgi nie stoją ze sobą w sprzeczności.

Odgłosy bulgotania mogą jednak dawać także dalekie wyładowania burzowe odbierane w odległościach rzędu tysięcy km jeżeli wyładowania powtarzają się wielokrotnie dając grupy sygnałów w odstępach czasu rzędu dziesiątków lub setek μ sek. Na falach krótkich jako bulgotanie objawiają się również zaburzenia pochodzące od frontów meteorologicznych.

Już w dawniej prowadzonych badaniach starano się powiązać zaburzenia atmosferyczne ze zjawiskami meteorologicznymi (w przypadku burz obfitujących w wyładowania elektryczne istnienie takiego związku nigdy nie budziło wątpliwości). Znacznie później spostrzeżono, że również zmiany typu cyklonoidalnego wywołują podobne zjawiska. Bliższe badania doprowadziły do przekonania, że źródłem pewnej części zaburzeń są fronty meteorologiczne i to naogół zimne lub zokludowane, podczas gdy ciepłe takiej właściwości nie wykazują (oznacza to, że nie każda zmiana pogody wiąże się z występo-

waniem wyładowań elektromagnetycznych, jednak występowanie stosunkowo silnych wyładowań oznacza zbliżanie się tej zmiany). Fronty te powodują wypieranie do góry mas ciepłego powietrza, a z nimi razem ruch ładunków elektrycznych powstałych w wyniku jonizacji.

Fronty zimne poruszają się naogół szybciej od ciepłych i w przypadku dogonienia tych ostatnich nakładają się na nie tworząc wspólny front tzw. front zokludowany. Fronty zimne otoczone są naogół chmurami w sektorze ciepłym, jest też często miejscem występowania znacznej konwekcji, a przed frontem powierzchniowym często występuje pas (rzęsiatego) deszczu. Po przejściu frontu zimnego wiatr ponownie skręca w prawo (na naszej półkuli), temperatura spada, a ciśnienie rośnie. Zimne powietrze polarne za frontem przynosi dobrą widoczność, ale często jest niestabilne szczególnie jeśli przemieszczało się nad ciepłym morzem. Ta niestabilność powoduje powstanie wielu kłębiastych chmur deszczowych (cumulonimbusów) i powoduje towarzyszące im przelotne deszcze. Nad kontynentami powietrze za frontem zimnym rzadko jest ogrzewane przy powierzchni ziemi, a więc nie doprowadza do przelotnych opadów.

Front zokludowany powstaje w wyniku dogonienia frontu ciepłego przez zimny. Następuje wówczas wyparcie masy ciepłego powietrza. Oba fronty są ze sobą powiązane, a w chmurach związanych z frontem ciepłym występują też chmury konwekcyjne związane z frontem zimnym. Rozróżniane są okluzja zimna (gdy masy nacierającego z zachodu powietrza są chłodniejsze i wypierają dotychczasowe zimne powietrze na wschód) i okluzja ciepła gdy napierające masy powietrza są cieplejsze od dotychczasowych zimnych przy powierzchni ziemi.

Izolowane fronty ciepłe lub zimne dzielące masy powietrza różniące się między sobą temperaturą i wilgotnością mogą pojawić się też z dala od centrum niżu. Wyizolowane zimne fronty charakteryzują się znacznym spadkiem ciśnienia sygnalizującym jego nadejście i wyraźnym jego wzrostem później.

Fizycznie biorąc zjawisko powstawania wyładowań jest łatwe do zrozumienia jeśli uświadomimy sobie, że fronty meteorologiczne stanowią masy powietrza o różnych właściwościach fizycznych poruszające się w dodatku względem siebie. Możliwość zmian stanu elektryczności atmosferycznej w takich warunkach jest całkiem oczywista. Jak wynika z podanych powyżej cech charakterystycznych frontów zimnego i zokludowanego wiąże się z nimi występowanie prądów konwekcyjnych i to one właśnie mogą być przyczyną powstawania wyładowań cichych.

Źródłem sygnałów o szerokim widmie rozciągającym się do ponad 300 kHz) jest także wiatr halny i wogóle wiatry typu fenowego ponieważ również i one powodują wznoszące ruchy mas powietrza. Bliskie i dostatecznie silne sygnały wyładowań „meteorologicznych” dają się zaobserwować także w paśmie akustycznym czyli za pomocą odbiorników przewidzianych zasadniczo do obserwacji wyładowań burzowych.

Trudność w badaniu stanowi tylko wydzielenie zaburzeń pochodzących z takiego właśnie źródła z sumy odbieranych zakłóceń. Jedną z metod opiera się na spostrzeżeniu, że sygnały tego typu mają widmo obejmujące zakres krótkofalowy (nawet do 15 – 18 MHz) w przeciwieństwie do sygnałów pochodzenia burzowego lub innych (przyczyną tego są znacznie krótsze kanały wyładowań aniżeli ma to miejsce w przypadku burz). Poza tym wg [JAPR] wykazują one prawie stałą intensywność podczas gdy pozostałe wykazują wyraźne wahania dzienne. Należałoby jednak spodziewać się pewnych wahań poziomu spowodowanych różnicami w warunkach propagacji w zależności od pory doby, a w związku z tym różnicami w zasięgu odbioru (nie dotyczy to oczywiście tych sygnałów, które pochodzą z odległości kilkunastu km). I rzeczywiście różnice takie dają się zaobserwować nawet na słuch jak wykazały obserwacje prowadzone przez OE1KDA o różnych porach w pasmach 300 i 3000 kHz – wieczorem i w nocy do sygnałów lokalnych dodawały się nadchodzące z większych odległości.

Oczywiście wyniki tych obserwacji były porównywane z sytuacją przedstawianą na dostępnych w internecie mapach synoptycznych tzn. zawierających w pierwszym rzędzie izobary i położenie frontów atmosferycznych oraz z mapami burz.

Obserwacje prowadzone w ogólnym minimum dziennym (około wschodu słońca) dają najlepsze pojęcie o poziomie sygnałów tego typu. Wyładowania typu meteorologicznego (nieburzowego) mają naogół większą częstotliwość występowania (powtarzania) aniżeli wyładowania burzowe i właśnie ich częstotliwość występowania stanowi główne kryterium oceny intensywności. Siła sygnału (natężenie pola) jest natomiast wyraźnie mniejsza aniżeli w przypadku wyładowań burzowych.

Dodatkową możliwość prowadzenia badań radiometeorologicznych dają fale metrowe. Ich ograniczony zasięg i niski poziom zakłóceń atmosferycznych z także zależność propagacji od warunków fizycznych panujących w dolnych warstwach atmosfery predystynują je do tego celu.

W odróżnieniu od wyników cytowanych przez A. Jellonka i obserwacji prowadzonych przez Wolfganga Friese DG9WF Baumer i Sönning podkreślając impulsowy charakter wyładowań nie związanych z burzami (pochodzenia meteorologicznego) rozróżniają szereg pasm częstotliwości w zakresie fal bardzo długich i długich i przypisują im powiązania z konkretnymi zjawiskami meteorologicznymi.

Analizują oni także zmienność natężenia sygnałów w rytmie dobowym i pokreślają ich wpływ na organizmy żywe i ich samopoczucie, a nawet na materiały organiczne (badania Baumera rozpoczęły się od poszukiwania przyczyn niespodziewanych zmian jakości żelatyny stosowanej w procesie czterokolorowego druku – zmiany te dawały się zauważyć w pewnych sytuacjach przed wystąpieniem zmian pogody). Sprawy te nie należą jednak do tematu niniejszego opracowania i nie będą szczegółowo omawiane. Autor nie posiadając w tym kierunku dostatecznego wykształcenia i doświadczenia nie podejmuje się dyskusji na temat tego rodzaju wpływu fal elektromagnetycznych na człowieka i jego zdrowie – nie negując wyników badań i rozważań innych osób ani ich nie popierając.

Pamiętając o występowaniu takich zjawisk jak pogorszenie samopoczucia u niektórych ludzi poprzedzające zmianę pogody lub zmianie zachowania przynajmniej niektórych zwierząt (przykładowo żaby, mrówki) pozwalająca przypuszczać, że wyczuwają one nadchodzącą zmianę pogody nie można wykluczyć oddziaływania fal elektromagnetycznych, w tym również lub szczególnie fal bardzo długich i długich na organizmy żywe w ten sposób, że przekazują one istotom żywym pewne informacje o zbliżających się zjawiskach fizycznych. Chodziłoby tutaj o rodzaj oddziaływania, które trudno zaliczyć do kategorii szkodliwych, a raczej o oddziaływania, do których organizmy żywe przystosowały się w ramach ewolucji od bardzo dawnych czasów i czerpią z tego określone, mniejsze lub większe korzyści. Poza tym dobowe wahania siły sygnałów długofalowych miałyby oddziaływać synchronizująco na wewnętrzne zegary organizmów żywych i aktywność ich mózgu.

Wspomniane wyładowania impulsowe zapewniają wg Baumera neutralizację ładunków między dodatnio i ujemnie naładowanymi zjonizowanymi chmurami znajdującymi się w dolnych warstwach atmosfery. Ładunki te (chmury wolnych elektronów i dodatnio naładowanych jonów) powstają w wyniku różnorodnych procesów naturalnych. Jedną z przyczyn ich powstawania jest promieniowanie kosmiczne, do innych należą radioaktywność ziemską, słoneczne promieniowanie ultrafioletowe, separacja ładunków w wyniku podziału kropli deszczu lub płatków śniegu w wyniku turbulencji i opadów atmosferycznych. Powstawaniu większych skupisk jonów sprzyjają zanieczyszczenia trafiające do atmosfery w wyniku wybuchów wulkanów albo działalności człowieka.

Powstawaniu różnie naładowanych chmur i ich ruchowi sprzyjają prądy atmosferyczne (poziome i pionowe) i ścieranie się ze sobą warstw powietrza o różniących się właściwościach. Przyczynami tych ruchów warstw powietrza mogą być fronty atmosferyczne (nasuwanie się na siebie warstw powietrza różniących się temperaturą) i wydarzenia lokalne takie jak wiatry wznoszące w rejonach wysokich przeszkód (gór), turbulencje termiczne, rejony opadów itp. Autorzy określają zespół wymienionych zjawisk mianem powietrznego (lub atmosferycznego) generatora elektrycznego.

Powstające w ich wyniku ciche i niewidoczne gołym okiem wyładowania nazywane są w literaturze niemieckojęzycznej wyładowaniami ciemnymi (niem. *Dunkelfeldentladungen* – DFE). Każde z nich powoduje powstanie pierwotnego impulsu elektromagnetycznego stanowiącego źródło rozchodzących się dalej fal elektromagnetycznych. Rodzaj i siła turbulencji atmosferycznych decyduje o sile, przebiegu, częstotliwości występowania i polaryzacji tych impulsów pierwotnych.

Długość tych elementarnych wyładowań wynosi w zależności od gęstości ładunku, przewodności powietrza, ruchliwości jonów, temperatury i wilgotności powietrza leży przeważnie w zakresie od 40 do 100 m. Fronty wyładowań poruszają się znacznie wolniej aniżeli w przypadku wyładowań burzowych – są to szybkości rzędu 200 km/s. Również średnice kanałów wyładowań są wyraźnie mniejsze – rzędu kilkudziesięciu cm. Także energia tych wyładowań stanowi ułamek energii uwalnianej w trakcie wyładowań burzowych lub widzialnych wyładowań między chmurami. Czas trwania wyładowań ciemnych jest natomiast zdecydowanie dłuższy niż dla wyładowań burzowych.

Przebiegi pochodne od nich podlegające przekształceniom w trakcie rozchodzenia się fal określane są też w literaturze anglojęzycznej jako *Convective Discharge-Sferics* (CD-Sferics). W miarę oddalania się od źródła impulsu tracą one stopniowo charakter impulsowy i nabierają cech fali o przebiegu okresowym. Formy sinusoidalne pojawiają się w odległościach 50 – 100 km od źródła.

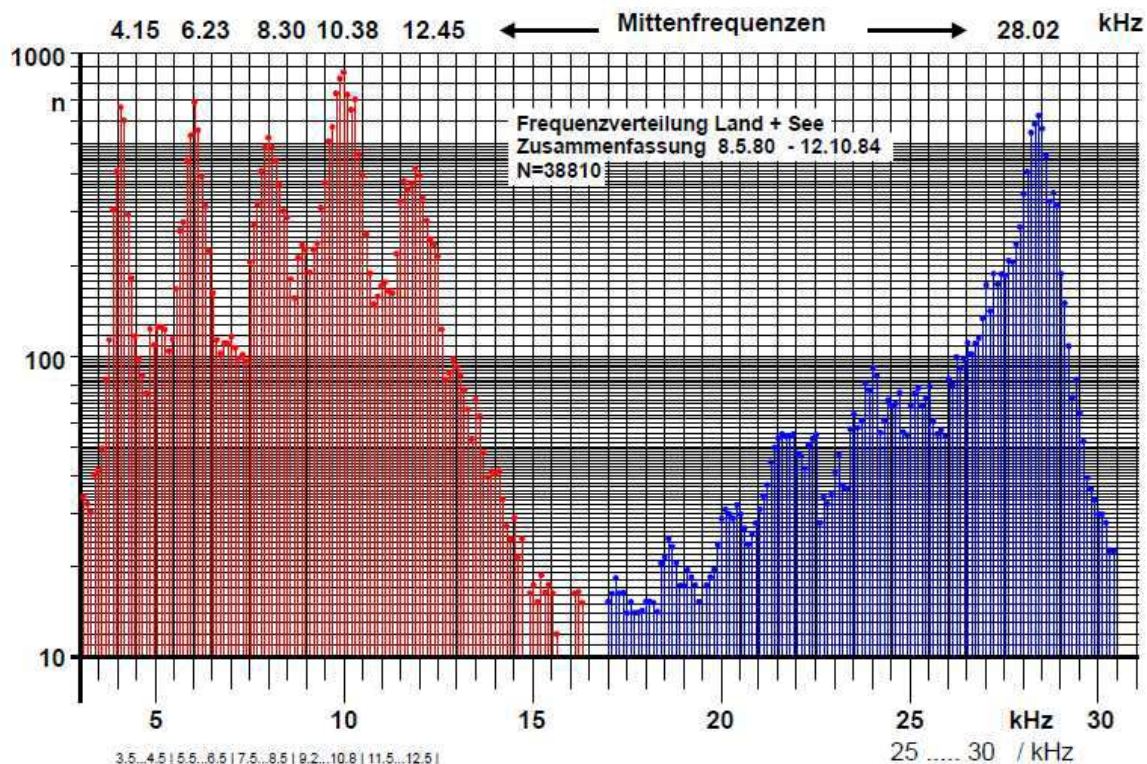
Główne widmo częstotliwości rozciąga się wg Baumera i sp. od ok. 3 do ok. 60 km i można w nim wyróżnić dwa zasadnicze podzakresy, których granica leży ok. 16 kHz. Całkowite widmo częstotliwości jest jednak znacznie szersze i dochodzi nawet do gigaherców.

Fale podzakresu dolnego dają się skuteczniej odebrać za pomocą poziomo umieszczonej anteny ferrytowej a fale podzakresu górnego (17 – 30 kHz) – anteny umieszczonej pionowo. W podzakresie dolnym Baumer w odróżnieniu od innych wyróżnia pasma 4, 6, 8, 10 i 12 kHz (o szerokościach 800 – 1000 Hz) z dominującym pasmem 10 kHz, natomiast w górnym podkreśla znaczenie pasma 28 kHz. Pomiędzy nimi w zakresie 14 – 20 kHz ma leżeć wyraźnie zauważalne minimum. Na wskaźnikach wodospadowych programów stosowanych powszechnie do obserwacji fal b. długich trudno jednak dostrzec ich istnienie. Pewne zmiany kształtu widma można wytłumaczyć też (Cummer) wzbudzeniem się wyższych rodzajów fali w rezonatorze wokółziemskim i ich superpozycji. Oznaczałoby to jednak niezależność (przynajmniej w znacznym stopniu) rozkładu widma od czynników meteorologicznych, a pewną zależność od dobowych zmian stanu jonosfery.

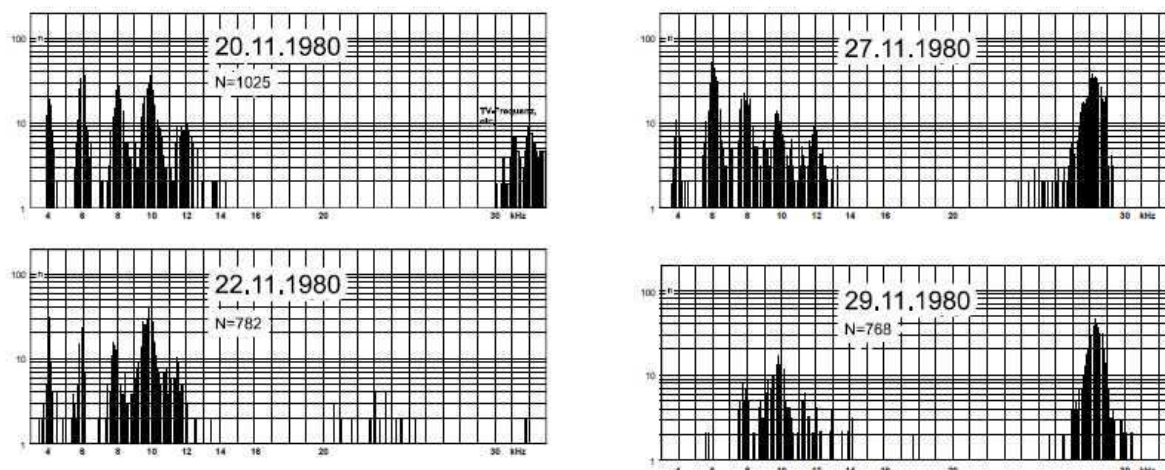
Poszczególnym podzakresom przypisuje Baumer następujące znaczenia:

- 10 kHz powiązanie z poziomymi ruchami powietrza przy stabilnym uwarstwieniu;
- 28 kHz powiązanie z turbulencjami pionowymi przy niestabilnym uwarstwieniu;
- 10 + 8 kHz powiązanie z dopływem ciepłego powietrza np. ogrzanego polarnomorskiego;
- 10 + 8 + 4 kHz z silnym dopływem gorącego, tropikalnego powietrza, np. przed frontami ciepłymi;
- 10 + 12 kHz z dopływem chłodnego powietrza np. polarnomorskiego na tyłach frontów;
- 10 + 6 + 12 kHz z dopływem niestabilnie uwarstwionych mas zimnego powietrza podbiegunowego;
- 48 kHz z tyłami frontów atmosferycznych.

Z zestawienia tego wynikałoby, że częstotliwości niższe (poniżej i do 10 kHz włącznie) związane są orientacyjnie z dopływem ciepłych warstw powietrza natomiast wyższe (10 i 12 kHz) – zimnego. Zależności te Baumer określa nawet mianem alfabetu meteorologicznego atmosfery pozwalającego na prowadzenie dokładniejszych badań pogody i sporządzanie prognoz krótkoterminowych. Zgodnie z poprzednimi zastrzeżeniami autor pomija podkreślane przez Baumera wpływy biologiczne fal powstających w wyniku cichych wyładowań i ich oddziaływanie na samopoczucie istot żywych.



Rys. 7.1. Widmo sygnałów w paśmie 3 – 30 kHz uzyskane w wyniku obserwacji Baumera prowadzonych w latach 1980 – 1984. Jest to sumaryczny wynik z prawie 39 tysięcy analiz. Źródło [HBFS].



Rys. 7.2. Przykłady widm uzyskanych przez Baumera w wyniku dziennych obserwacji i zapisów wyładowań. Wyniki dla pierwszych dwóch dni mają wg Baumera odpowiadać napływowi ciepłego powietrza i występowaniu fenu po północnej stronie Alp (znaczny poziom składowych w pasmach 4 – 12 kHz) natomiast rejestracje dla dwóch ostatnich dni odpowiadać nadejściu zimy i związanego z tym napływu zimnego i mroźnego powietrza. Widoczny jest na nich wyraźny wzrost poziomu składowych w okolicach 28 kHz. Źródło [HBFS].

Baumer wiąże intensywność sygnałów w paśmie 28 kHz z pionowymi ruchami niestabilnie uwarstwionego powietrza w troposferze np. z dopływem zimnego powietrza na tyłach frontów powiązanych z występowaniem opadów albo burz. Występowanie pionowych przesunięć warstw powietrza lub turbulencji związane jest z ogrzewaniem powierzchni ziemi przez promieniowanie słoneczne. Również i kierunek wyładowań miałyby wg Baumera być w zasadzie przeważnie pionowe. Składowe pasm niższych reprezentowanych przez najsilniejsze z nich pasmo 10 kHz są powiązane z poziomymi ruchami warstw powietrza i wyładowaniami przebiegającymi w kierunku zasadniczo poziomym.

Baumer zaobserwował także cykl dobowy wahań siły sygnałów. I tak dla pasma 10 kHz (reprezentującego wszystkie niższe podzakresy) maksima miałyby leżeć późnym przedpołudniem i około północy, a minima około 4.00 – 8.00 i 13.00 – 15.00 czasu lokalnego. Dla pasma 28 kHz długie minimum miałyby występować w drugiej połowie nocy a maksimum w okolicach 22.00 czasu lokalnego. Stoi to w pewnej sprzeczności z obserwacjami innych autorów podkreślających niezależność poziomu sygnałów radiometeorologicznych od pory doby. W pewnym zakresie wahania te można wytłumaczyć zmianami warunków propagacji w cyklu dobowym i związanymi z tym zmianami zasięgi stacji odbiorczych (obszaru pochodzenia rejestrowanych sygnałów).

Wieloletnie obserwacje prowadzone przez Wolfganga Friese DG9WF [FRBA] nie potwierdziły natomiast występowania opisanych przez Baumera szczególnych pasm częstotliwości wyróżniających się intensywnością zakłóceń od reszty zakresu.

Układy odbiorcze

Odbiornik radiometeorologiczny „Żabka”

Obserwacje amatorskie mogą pozwolić na orientacyjne przewidywanie zbliżających się zmian pogody i gwałtownych zjawisk meteorologicznych jak burze, silne ulewy itp. W niektórych przypadkach mogłyby też sygnalizować prawdopodobieństwo wystąpienia inwersji troposferycznych (powstających m.in. wskutek nachodzenia ciepłych warstw powietrza na zalegające tuż nad powierzchnią ziemi warstwy zimne) i związanych z nimi dalekich zasięgów w pasmach UKF – w pierwszym rzędzie w paśmie 2 m.

Grupa krótkofalowców niemieckich [www.df5ai.net, www.dl1dbc.net, www.vhfdx.net i www.gooddx.net] prowadzi od lat badania wpływu burz na propagację fal ultrakrótkich za pośrednictwem warstw E i Es i zbiera informacje o łącznościach DX-owych, które być może doszły dzięki temu do skutku (sprawa nie jest jeszcze udowodniona i dlatego potrzebna jest możliwie duża liczba obserwacji). Wcześniejsze ostrzeżenie o nadchodzącej burzy mogłoby więc zachęcić do dokładniejszego przesłuchania pasma 2 m i zebraniu ewentualnych własnych doświadczeń.

Opisane poniżej rozwiązania mogą stanowić świetny temat projektów szkolnych łączących zainteresowanie radiotechniką z obserwacjami środowiska naturalnego.

Najkorzystniejszym zakresem do prowadzenia obserwacji jest, jak wynika z poprzednich rozważań, zakres fal bardzo długich np. 4 – 12 kHz lub jego część. Stosunkowo prostym rozwiązaniem jest użycie do tego celu komputera PC z anteną magnetyczną w postaci cewki. Ma ono jednak tę niedogodność, że wymaga stałej pracy komputera. Praktyczniejszym rozwiązaniem może być więc użycie autonomicznego odbiornika długofalowego wyposażonego np. we wskaźniki wychyłowe informujące o częstotliwości odbieranych impulsów elektromagnetycznych i o sile sygnału. Autor opracowania wybrał rozwiązanie opracowane przez AATiS [www.aatis.de]. Jest to odbiornik z anteną ferrytową dostrojony do zakresu 12 kHz i wyposażony w obydwa wymienione wskaźniki. Ze względu na trudność w zdobyciu zastosowanego tam wzmacniacza operacyjnego TS925 o wyjściu pełnozakresowym (*ang. rail-to-rail*) wprowadzono w nim drobne zmiany: w torze odbiorczym został zastosowany łatwo dostępny niskoszumny wzmacniacz operacyjny TL071 (może to być również 1/2 TL072 lub 1/4 TL074 ale wówczas reszta obwodu pozostanie niewykorzystana), a w części pomiarowej poczwórny wzmacniacz operacyjny LM324. Napięcie wyjściowe tego wzmacniacza może leżeć w zakresie od zera do 1,5 V poniżej napięcia zasilania dlatego też LM324 jest zasilany napięciem 9 V, co zapewnia jego prawidłową pracę dla napięć wejściowych dochodzących (przynajmniej teoretycznie) do 5 V.

Zamiast użytego w oryginalnym rozwiązaniu licznika CD4520 zastosowano dwa popularne liczniki 74HC93. Całkowity pobór prądu wynosi ok. 10 mA co pozwala na zasilanie odbiornika z baterii.

W przypadku gdy odbiornik ma być zasilany wyłącznie z zasilacza sieciowego można w nim użyć nawet liczników TTL np. 74LS93.

W wykonanym rozwiązaniu zrezygnowano z przewidzianej w pierwotnym układzie możliwości przyłączenia odbiornika do złącza drukarki komputera PC. Przyczyny tej decyzji zostaną przedstawione później.

Obwód wejściowy odbiornika składa się z cewki L1 nawiniętej na pręcie ferrytowe od dowolnego odbiornika radiofonicznego – jego wymiary nie są krytyczne – i kondensatora C9 o pojemności 10 nF. Cewka zawiera ok. 500 – 550 zwojów przewodu w emalii (średnica przewodu nie jest krytyczna i może wynosić ok. 0,2 – 0,3 mm) nawiniętego na rurce papierowej nałożonej na antenę ferrytową. W razie braku rurki o pasującej do pręta średnicy można ją wykonać samemu nawijając na antenie pasek papieru posmarowany klejem (najlepiej zwykłym klejem do papieru). Przed rozpoczęciem nawijania papieru na antenę ferrytową warto podłożyć pod niego dwa kawałki dowolnego przewodu np. tego samego drutu nawojowego, z którego będzie wykonana cewka. Po wyschnięciu kleju druty te należy usunąć dzięki czemu pomiędzy rurką a anteną uzyskuje się trochę luzu ułatwiającego przesuwanie rurki na pręcie. Obwód powinien być dostrojony do częstotliwości ok. 12 kHz. Pierwszy stopień wzmocnienia pracuje na tranzystorze polowym BF245 ale można zamiast niego zastosować np. BF244 lub BF256. Następnie odebrany sygnał jest wzmacniany za pomocą wzmacniacza operacyjnego TL071, przy czym do regulacji wzmocnienia służy potencjometr montażowy P1 (10 k). Wzmacniacz TL071 charakteryzuje się maksymalnym wzmocnieniem i poziomem szumów własnych zbliżonymi do parametrów stosowanego w pierwotnym rozwiązaniu TS925. Wejście nieodwracające fazy (+) jest podłączone do napięcia 2,5 V

uzyskiwanego z dzielnika oporowego 2 x 10 k. Następny stopień na tranzystorze T2 (BC557, BC177 lub innym dowolnym tranzystorze pnp) jest układem formującym impulsy służące do wyzwalań przerzutnika monostabilnego 4047. Dioda D1 zabezpiecza tranzystor przed przepięciami mogącymi spowodować przebicie złącza baza-emiter. Wartość opornika R2 w obwodzie bazy T2 można zmniejszyć z podanych na schemacie 22 k Ω do ok. 5 k Ω dzięki czemu wzrasta amplituda impulsów na kolektorze tranzystora a więc przerzutnik jest wyzwalany już przez słabsze sygnały.

Przerzutnik monostabilny wytwarza impulsy prostokątne o długości ok. 12 – 15 ms, z których po scałkowaniu uzyskuje się napięcie stałe o wartości proporcjonalnej do częstotliwości odbieranych impulsów wyładowań. Impulsy z przerzutnika poprzez diodę D2 i potencjometr P5 ładują kondensator C6. Jego powolne rozładowanie zapewnia opornik R13. Napięcie z kondensatora jest podawane przez wtórnik napięciowy (1/4 LM324) i potencjometr P3 na dowolny miernik wychyłowy o zakresie 0,1 – 1 mA. Dla podanych na schemacie wartości elementów C4 i P2 wystarczy ustawienie suwaka potencjometru P2 w połowie dla uzyskania w przybliżeniu pożądanej długości impulsu. Dysponując oscyloskopem można ją oczywiście dobrać dokładniej ale w praktyce nie jest to konieczne.

Układ pomiaru siły sygnału tylko na pozór wygląda skomplikowanie. Jego zasada działania jest w rzeczywistości prosta: silne impulsy odebrane pobudzają obwód wejściowy do drgań gasnących, których czas trwania jest zależny od siły impulsu. Liczba drgań jest zliczana przez liczniki 74HC93 w czasie trwania impulsu wyjściowego przerzutnika monostabilnego (12 – 15 ms). Na początku tego impulsu licznik jest zerowany za pomocą impulsu szpilkowego uzyskiwanego w wyniku różniczkowania przedniego zbocza impulsu multiwibratora przez obwód C5R4. Dioda D5 zabezpiecza wejście licznika przed ujemnymi przepięciami powstającymi w wyniku różniczkowania jego tylnego (opadającego) zbocza.

Obwód R-2R (oporniki R17 – R26) stanowi prosty przetwornik cyfrowo-analogowy, na wyjściu którego uzyskiwane jest napięcie stałe zależne od stanu licznika, a więc od siły odebranego sygnału. Napięcie wyjściowe przetwornika ładuje poprzez separator (wtórnik napięciowy) kondensator C8. Diody D3 i D4 połączone odpowiednio z opornikami R27 i R28 pozwalają na uzyskanie stałej czasu ładowania krótszej od stałej czasu rozładowania kondensatora. Zapobiega to wahaniom wskazań po wyzerowaniu licznika i w trakcie kolejnego cyklu zliczania. Podobnie jak we wskaźniku częstotliwości impulsów napięcie z kondensatora jest podawane na miernik przez wtórnik napięciowy zapewniający separację kondensatora od obciążenia.

Odbiornik jest zasilany z baterii 9 V (6 ogniw paluszków AA), a napięcie 5 V jest uzyskiwane ze stabilizatora 78L05. Całość została wykonana na uniwersalnej dziurkowanej płytce drukowanej o wymiarach 10 x 16 cm ale przy gęstszym rozmieszczeniu elementów można łatwo zmniejszyć jej rozmiar. Uruchomienie odbiornika jest nieskomplikowane. Po wlutowaniu elementów i sprawdzeniu optycznym punktów lutowniczych (zwarcia, zimne luty), a przed włożeniem obwodów scalonych do podstawek należy włączyć zasilanie i sprawdzić napięcia w najważniejszych punktach układu. Jeżeli wszystko jest w porządku należy następnie połączyć kontakt 8 podstawki LM324 z napięciem 5 V i za pomocą potencjometru P4 ustawić pełne wychylenie miernika siły sygnału. Analogicznie po połączeniu kontaktu 14 tej samej podstawki należy za pomocą potencjometru P3 ustawić pełne wychylenie miernika częstotliwości impulsów. Suwaki potencjometrów P2 (długość impulsu) i P5 (stała czasu ładowania C6) wystarczy na początek ustawić w położeniu środkowym. Do zestrojenia obwodu wejściowego najlepiej posłużyć się generatorem sygnałowym.

Kolejnym krokiem jest włożenie obwodów scalonych do podstawek, oczywiście po wyłączeniu zasilania. Następnie można już sprawdzić funkcjonowanie odbiornika korzystając z generatora sygnałowego. W tym celu wystarczy umieszczenie przewodu podłączonego do gniazda wyjściowego generatora w pobliżu anteny ferrytowej. Zmiana napięcia generatora lub odległości przewodu od anteny powinna powodować odpowiednie zmiany wskazań mierników. Zamiast sygnału z generatora można też posłużyć się dowolnym urządzeniem wytwarzającym iskry elektryczne np. piezoelektryczną zapalniczką do gazu albo wiertarką elektryczną. Autor posłużył się w tym celu akumulatorem śrubokrętem elektrycznym. Później, ze względu na planowaną publikację, działanie odbiornika zostało dokładnie zbadane przy użyciu generatora sygnałowego i oscyloskopu.

Natężenie pola naturalnych fal elektromagnetycznych maleje wprawdzie stosunkowo szybko wraz ze wzrostem częstotliwości jednak różnice siły i częstotliwości wyładowań w zależności od sytuacji meteorologicznej można również wyraźnie obserwować także w długofalowym zakresie radiofonicznym dostrajając zwykły odbiornik radiowy do wolnej częstotliwości w tym paśmie np. w okolicach 150 albo

290 – 300 kHz. Oprócz obserwacji słuchowych (z natury rzeczy subiektywnych) można przy użyciu odbiornika radiowego prowadzić także pomiary – po dołączeniu do wyjścia magnetofonowego lub słuchawkowego odbiornika obwodu całkowitego i miernika. W przypadku korzystania z gniazda słuchawkowego dla zapewnienia porównywalności wyników konieczne jest ustawienie zawsze takiej samej siły głosu.

Alternatywą może być oczywiście konstrukcja odbiornika radiometeorologicznego na zakres ok. 300 kHz.

Opisany powyżej odbiornik na pasmo 12 kHz jest przeznaczony do pracy autonomicznej, dlatego też zrezygnowano z uzupełnienia go o złącze LPT i możliwość połączenia z komputerem. Sygnały analogowe z nóżek 7 i 8 wzmacniacza LM324 są natomiast doprowadzone do gniazdka diodowego (DIN) znajdującego się na tylnej ścianie obudowy służące do podłączenia mikroprocesowego układu pomiarowego generującego odpowiednie meldunki dla ostrzegawczej radiolatarni amatorskiej APRS lub PSK31.

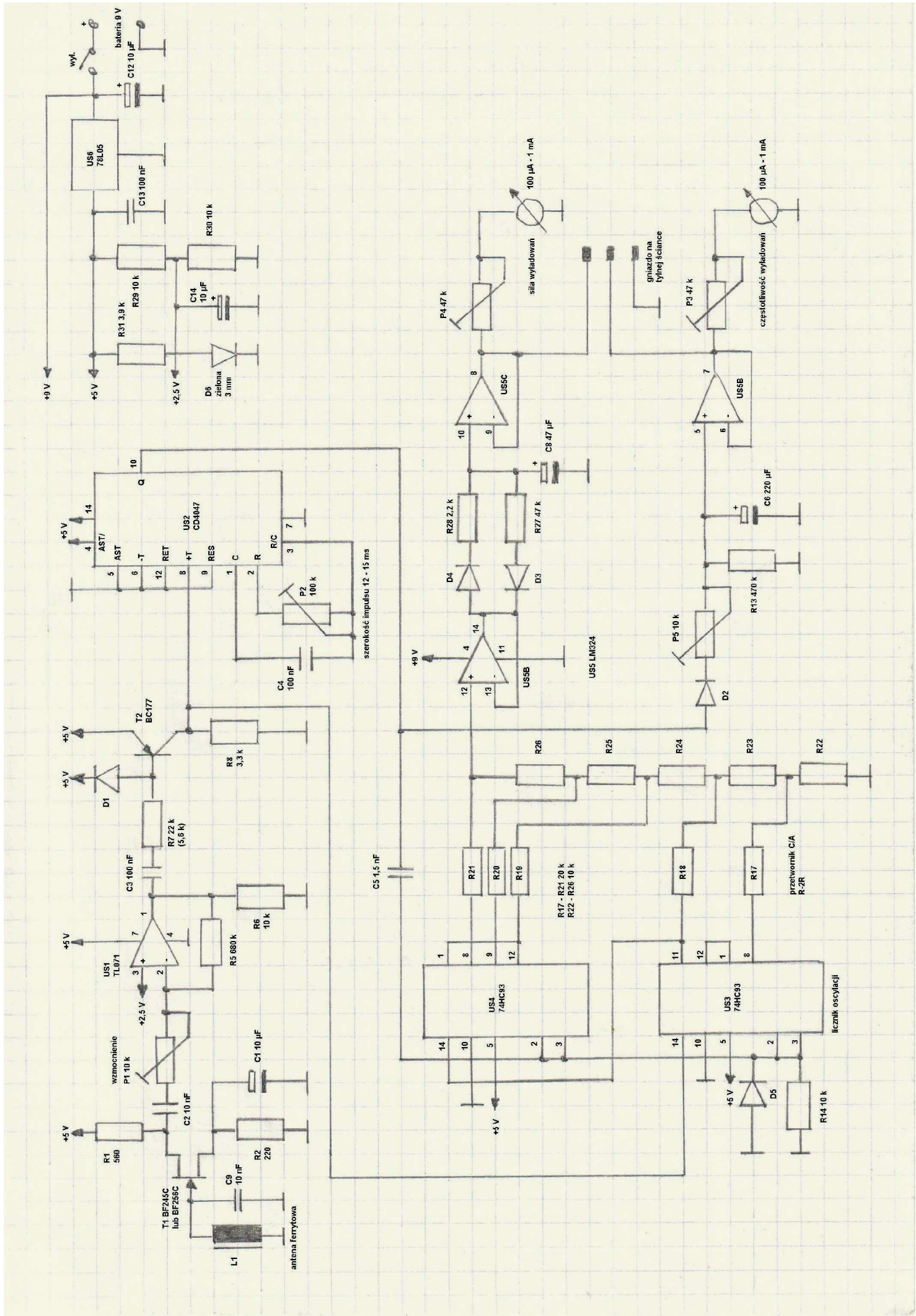
I na zakończenie opisu jeszcze jedna ciekawostka: jeden ze starszych krótkofalowców austriackich opowiedział autorowi, że dawniej u wielu optyków w Austrii były zainstalowane odbiorniki-ostrzegacze burzowe wyposażone w ustawioną pionowo antenę ferrytową. Zamiast wskaźnika wychyłowego stosowano w nich obrotowe walce poruszane przez cewkę miernika. Na temat schematu, zakresu częstotliwości i wyglądu walca (np. czy był on pomalowany na skos w różne kolory czy też znajdowały się na nim jakieś symbole) nie udało się na razie znaleźć bliższych informacji. Ciekawe czy tego typu urządzenia były używane również i w Polsce.



Fot. 7.3. Wygląd odbiornika, po lewej stronie wskaźnik częstotliwości, a po prawej siły impulsów

Następna strona:

Rys. 7.4. Schemat ideowy „Żabki”



Transmisja danych pomiarowych

Zgodnie z założeniem przyjętym przez autora transmitowane dane powinny być łatwo zrozumiałe dla szerokiego rzesz odbiorców i dlatego też powinny być nadawane mniej lub bardziej otwartym tekstem (z użyciem co najwyżej ogólnie znanych skrótów), a nie w postaci ciągów liczb, do dekodowania których konieczny byłby specjalny program. Analiza wielkości mierzonych i ich przetworzenie na tekst – złożenie tekstu ze standardowych bloków – jest typowym zadaniem dla komputera, ale w wielu prostszych przypadkach nie musi to być koniecznie komputer PC.

Rozwiązaniem znacznie tańszym, zajmującym mniej miejsca i na dodatek energooszczędnym jest użycie w tym celu mikrokontrolera. W przykładowym przedstawionym poniżej rozwiązaniu (rys. 7.5) pracuje mikrokontroler PIC firmy Microchip typu 16F627A. Mikrokontrolery te wykonane w technologii CMOS charakteryzują się niskim poborem prądu – rzędu kilku mA i są (w zależności od typu) wyposażone w mniej lub więcej przydatnych układów peryferyjnych takich jak przetworniki analogowo-cyfrowe, komparatory, złącza szeregowo (USART), generatory impulsów o modulowanej szerokości, wejścia i wyjścia logiczne itp. Pojemność ich pamięci jest wystarczająca do zmieszczenia zarówno programu jak i potrzebnych bloków tekstowych, a pamięć nieulotna EEPROM pozwala na łatwe uzupełnienie ich o człony indywidualne takie jak np. znak wywoławczy stacji czy jej współrzędne geograficzne – i to bez konieczności ponownej kompilacji programu.

Układ skonstruowany przez autora stanowi stopień pośredniczący pomiędzy odbiornikiem radiometeorologicznym na pasmo 12 kHz i jedną z opisanych w „Świecie Radio” w 2007 r. radiolatarni: PSK31 pracującej na mikrokontrolerze 16F872, Hella – na 16F627A lub APRS – na TNC-2. Wyboru formatu i zawartości komunikatu dokonuje się za pomocą zwieracza podłączonego do wejścia RB3. Jego zwarcie do masy powoduje przygotowywanie komunikatów APRS dla TNC-2 natomiast otwarcie – komunikatów dla radiolatarni PSK31. Komunikaty te są następnie nadawane przez złącze szeregowo. Być może w przyszłości autor uzupełni program o transmisję komunikatów D-PRS.

Napięcia pochodzące z odbiornika i odpowiadające częstotliwości wyładowań (kanał 1) oraz ich sile (kanał 2) są podawane na scalony przełącznik CMOS typu 4016 służący do wyboru odczytywanego kanału. Przełącznik ten jest sterowany przez mikrokontroler za pomocą sygnałów logicznych na wyjściach RB7 i RB6. Następnie napięcie z wybranego kanału jest podawane na przetwornik analogowo-cyfrowy i przetwarzane na 10-bitową liczbę dwójkową. Ponieważ mikrokontrolery 16F627/628 nie są wyposażone w scalony przetwornik a/c, tak jak np. 16F872-877, zastosowano tutaj przetwornik sigma-delta korzystający z zawartego w kontrolerze komparatora i wymagający jedynie dodania trzech elementów zewnętrznych: dwóch oporników i kondensatora podłączonych do wyprowadzeń RA0 i RA3. Wartości elementów nie są krytyczne, ale oporności obydwu oporników powinny być sobie równe dla uzyskania zakresu 0-5 V. Podprogram konwersji analogowo-cyfrowej pochodzi z dokumentu AN700 firmy Microchip [www.microchip.com].

Mikrokontroler dokonuje w rytmie sekundowym serii 256 pomiarów napięć w obydwu kanałach a następnie po obliczeniu i przeanalizowaniu ich średnich zestawia i nadaje przez złącze szeregowo odpowiednie teksty komunikatów wraz z poleceniami wprowadzającymi (**B** dla radiolatarni PSK31 i Hella lub **BT** dla TNC-2 wyposażonego w oprogramowanie TAPR). Zarówno liczba uśrednianych pomiarów jak i odstępy czasowe pomiędzy nimi zostały wybrane dowolnie przez autora ale ich zmiana wymaga jedynie dokonania nieskomplikowanych modyfikacji programu (i oczywiście jego ponownej kompilacji).

Dla oceny częstotliwości wyładowań przyjęto pięciostopniową skalę logarytmiczną, która po przeprowadzeniu serii obserwacji okazała się praktyczna – oba najwyższe stopnie osiągnęte są dopiero w czasie silniejszej burzy. Siła sygnału podawana jest w (raczej umownej niż skalibrowanej) logarytmicznej skali S od S1 do S9, ale informacja ta łatwo przemawia do odczytujących ją krótkofalowców. Również i ta wielkość osiąga dwa najwyższe stopnie dopiero w czasie burzy.

Pierwszy komunikat po włączeniu urządzenia jest nadawany zawsze, natomiast następne tylko w przypadku gdy któraś z mierzonych wielkości różni się w stosunku do poprzedniego cyklu.

Układ na tranzystorze T1 służy do częściowego dopasowania poziomu sygnału nadawanego TxD z mikrokontrolera – logiki TTL – do standardu RS232 (ponieważ zero logiczne jest już rozpoznawane przy napięciach poniżej 3 V zrezygnowano tutaj ze stosowania napięć ujemnych) i do odwrócenia jego logiki na zgodną ze standardem RS232. Tą samą funkcję dla sygnału odbieranego RxD pełni układ na

tranzystorze T2. Dioda D1 zabezpiecza jego bazę przed napięciami ujemnymi panującymi na złączu. W obecnej wersji oprogramowania wykorzystywany jest jedynie kierunek nadawczy (TxD) i dlatego tranzystor T2 wraz z przynależnymi elementami można w ogóle opuścić – być może jednak zmieni się to w przyszłych wersjach. Zgodna z normą realizacja złącza RS232 wymagałaby zastosowania obwodu scalonego MAX232 co się w tym przypadku raczej nie opłaca.

Szybkość transmisji w złączu szeregowym wynosi 9600 bitów/s, a jej ewentualna zmiana wymagałaby niewielkiej modyfikacji programu. Ponieważ jest ona jednak dostosowana do szybkości używanej przez wspomniane radiolatarnie PSK31 lub Hella i leży w zakresie używanym przez kontrolery TNC-2 zasadniczo nie ma powodów do jej zmieniania. Parametr decydujący o stosowanej przez mikrokontroler szybkości transmisji jest także zależny od jego częstotliwości zegarowej dlatego też zastosowanie kwarcu o częstotliwości różniącej się od przyjętej – 4 MHz – wymaga dokonania odpowiedniej zmiany w programie. Zmiana częstotliwości zegarowej spowoduje dodatkowo proporcjonalną zmianę długości cyklu pomiarowego i w miarę potrzeby należy ją skorygować w kodzie źródłowym programu.

Obwód 4016 (4066) zawiera cztery scalone przełączniki, a ponieważ mikrokontroler dysponuje jeszcze niewykorzystanymi wyjściami (RB4, RB5) i ok. 1/2 kB wolnej pamięci programu układ można bez większych trudności przystosować do obsługi czterech kanałów pomiarowych – po odpowiednim uzupełnieniu programu i bloków tekstowych. Mierzone napięcia powinny leżeć w zakresie od 0 do 5 V. Zmianę zakresu pomiarowego uzyskuje się poprzez odpowiedni dobór opornika R1 (rys. 2) wg wzoru: $Zakres = U_{zas} \times R1 / R2$.

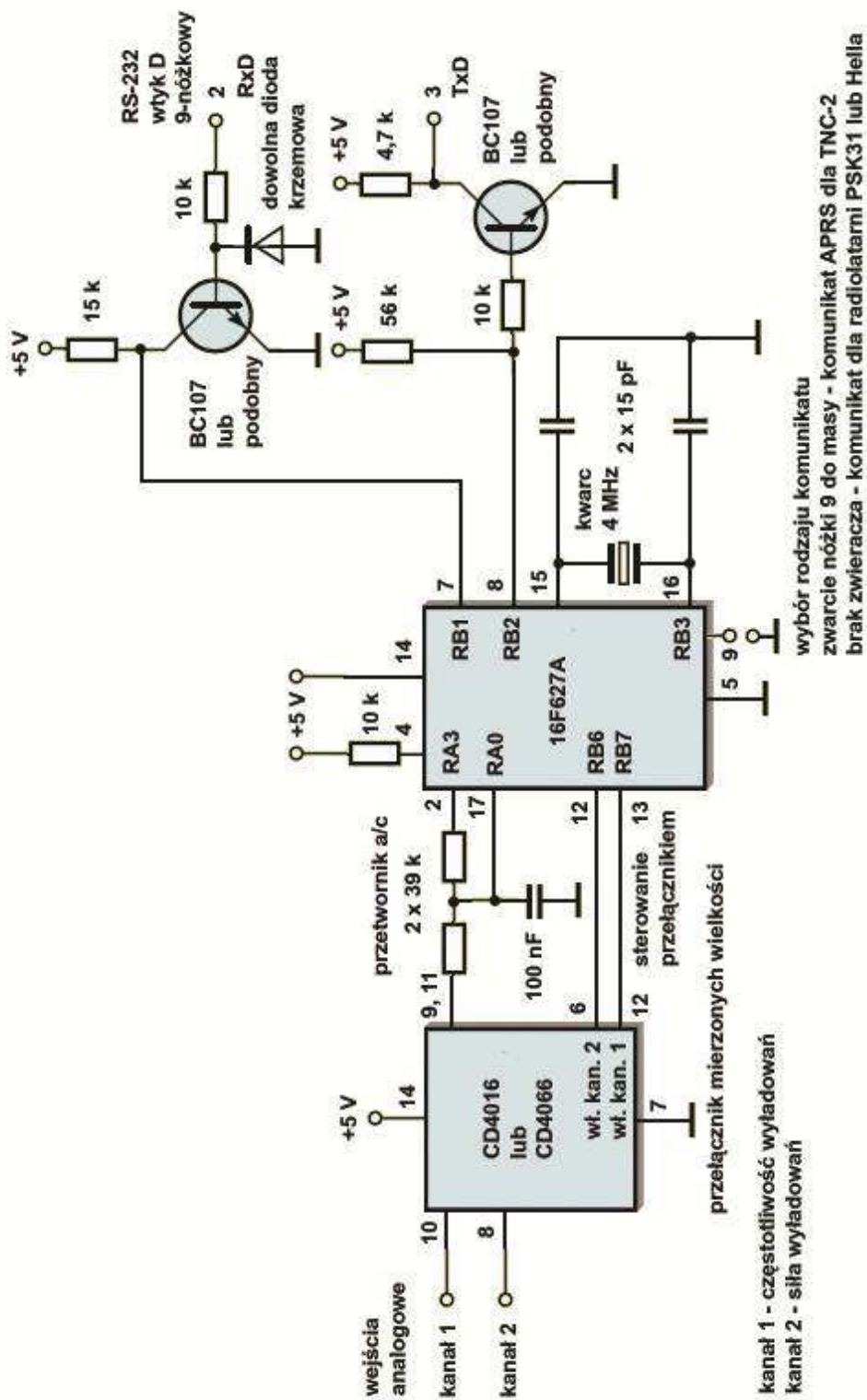
Dla otrzymania zakresu 10 V oporność R1 powinna być więc równa $2 \times R2$. Zakres pomiarowy rozciąga się wówczas od -2,5 V do +7,5 V (jest on symetryczny względem napięcia odniesienia komparatora równego 2,5 V). Przesunięcie zakresu uzyskuje się przez dodanie opornika R3 pomiędzy górną elektrodą kondensatora a masą lub napięciem zasilania (rys. 2).

W przypadku pierwszym (opornik do masy) obowiązuje zależność $U_{sr} = U_{odn} \times (1 + R1/R3)$, natomiast w drugim (opornik do napięcia zasilania) – zależność $U_{sr} = U_{odn} \times (1 - R1/R2)$, gdzie U_{sr} oznacza środek zakresu pomiarowego a U_{odn} jest równe 2,5 V i jest ustawione w programie. Programowa zmiana napięcia odniesienia odbija się niekorzystnie na liniowości przetwornika dlatego też nie jest zalecana. Przesunięcie zakresu pomiarowego z poprzedniego przykładu (-2,5 – 7,5 V) do poziomu 0-10 V wymaga więc podłączenia do masy opornika R3 o wartości równej R1. Natomiast podłączenie opornika R3 o tej samej wartości do napięcia zasilania daje zakres pomiarowy -5 – +5 V.

Oprogramowanie mikrokontrolera (plik szesnastkowy dla programatora i kod źródłowy w asemblerze) jest dostępne w witrynie „Świata Radio” i w niektórych innych zawierających „Bibliotekę” lub bezpośrednio od OE1KDA – pocztą elektroniczną. Przed zaprogramowaniem mikrokontrolera należy koniecznie, korzystając z programatora, zmodyfikować zawartość jego pamięci EEPROM (adresem początkowym jest 2100h), ponieważ zawiera ona znak OE1KDA i współrzędne geograficzne jego stacji. Dane te pozostawiono jako przykład mający ułatwić ich zmianę. Własne dane należy wpisać w tych samych miejscach i w tym samym formacie.

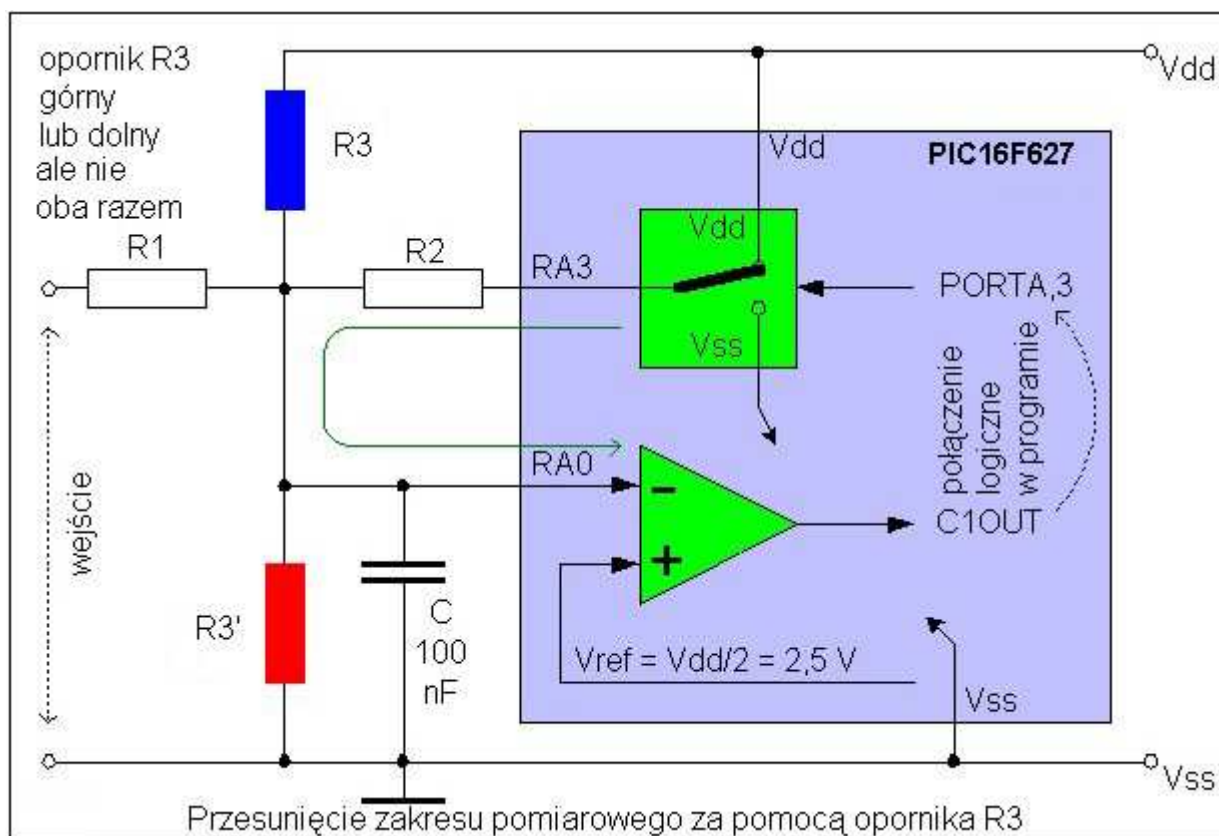
Czytelnicy pragnący samodzielnie dokonać usprawnień lub modyfikacji pracy programu albo dostosowania go do pomiarów innych wielkości mogą zaopatrzyć się w internecie [www.microchip.com] w bezpłatne środowisko programowania firmy Microchip. Pozwala ono na opracowywanie i uruchamianie programów dla wszystkich mikrokontrolerów tej firmy (po wybraniu pasującego wariantu). Zamiast mikrokontrolera 16F627(A) można zastosować typ 16F628(A) – różni on się od pierwszego z nich jedynie dwukrotnie większą pojemnością pamięci przy zachowaniu identycznych wyprowadzeń. Mikrokontroler 16F84(A) nie posiada ani komparatora używanego w przetworniku a/c sigma-delta ani złącza szeregowego i dlatego nie można go zastosować w tym układzie.

W bardziej rozbudowanych rozwiązaniach tego typu można zastosować procesory typów 16F873(A) lub 16F876(A) – w obudowach 28-nóżkowych. Są one wyposażone zarówno w złącze szeregowe jak i w 5-kanałowy przetwornik a/c, a poza tym dysponują większą pojemnością pamięci programu – odpowiednio 4 lub 8 kB. Natomiast mikrokontrolery 16F874(A) i 16F877(A) dzięki obudowom 40-nóżkowym dysponują ośmioma wejściami analogowymi. Wymaga to jednak opracowania programu pomiarowego praktycznie od nowa. Zastosowanie mikrokontrolerów z serii 16F87x pozwoliłoby na uproszczenie układu elektrycznego dzięki pominięciu przełącznika 4016 oraz elementów RC przetwornika analogowo-cyfrowego przy jednoczesnym zwiększeniu liczby mierzonych wielkości.



Rys. 7.5

Zdalny miernik intensywności wylądowań atmosferycznych



Rys. 7.6. Zasada pracy przetwornika analogowo-cyfrowego

Odbiornik radiometeorologiczny „Żabka 3” na zakres 300 kHz

Obserwacje wyładowań atmosferycznych prowadzone za pomocą odbiornika własnej konstrukcji na pasmo 12 kHz i na słuch w zakresie fal długich za pomocą zwykłego odbiornika radiowego zachęciły autora do skonstruowania pomiarowego układu odbiorczego na zakres długofalowy (rys. 7.9). Podzakres 283,5-435 kHz, a więc leżący powyżej pasma radiofonicznego, przeznaczony do celów radionawigacji lotniczej i częściowo morskiej nadaje się dobrze do prowadzenia tego typu obserwacji ponieważ łatwo znaleźć w nim wolną częstotliwość leżącą pomiędzy sygnałami radiolatarni (zasadniczo do prowadzenia obserwacji nadaje się zakres nawet do początku fal średnich czyli do 520 kHz). Odbiornik wykonany przez autora jest dostrojony do częstotliwości ok. 320 kHz. Częstotliwość graniczna scalonego układu odbiorczego pozwalałaby nawet na użycie odbiornika w paśmie 2 – 3 MHz.

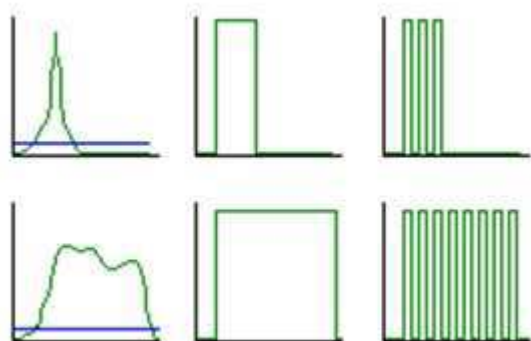
W części odbiorczej zastosowano obwód scalony TA7642 (odpowiadający MK484 lub starszemu – ZN414) zawierający wzmacniacz w.cz. oraz detektor amplitudy przeznaczone do pracy w zakresie od 150 kHz do ok. 2 lub nawet 4 MHz i antenę ferrytową – z cewką długofalową L1 – od odbiornika radiofonicznego. Obwód antenowy jest dostrajany do częstotliwości odbioru za pomocą trymera ceramicznego o pojemności maksymalnej 100 pF. W przypadku zastosowania cewki średniofalowej (np. 65 zw. na przecie ferrytowym o średnicy 7 mm) pojemność obwodu powinna wynosić ok. 1000 pF. Sygnał wyjściowy z TA7642 jest filtrowany za pomocą filtra dolnoprzepustowego (R4, C4, C5) o częstotliwości granicznej ok. 1,5 kHz i wzmacniany 100-krotnie w następnym stopniu pracującym na wzmacniaczu operacyjnym LM324. Drugi z zawartych w obwodzie wzmacniaczy pracuje w układzie komparatora i dostarcza na wyjściu impulsów prostokątnych o czasie trwania zależnym m.in. od siły odbieranych wyładowań. Napięcie progowe dla komparatora jest ustawione za pomocą potencjometru montażowego P1 na wartość niewiele wyższą od napięcia wyjściowego wzmacniacza przy braku sygnału – np. o ok. 50 mV. W praktyce należy ustawić napięcie progowe komparatora tak, aby przy braku wyładowań szumy własne układu i ewentualne zakłócenia pochodzące z części logicznej nie powodowały wychylenia się wskazówki miernika.

Impulsy z wyjścia komparatora są następnie podawane przez diodowy układ ograniczający napięcie i zabezpieczający mikrokontroler przed uszkodzeniem na wejście RA0 mikrokontrolera 16F627A. Wzmacniacz i komparator są zasilane napięciem stabilizowanym 5 V. Widoczne na schemacie wyjście analogowe z nóżki 7 wzmacniacza służy jedynie do celów pomocniczych i nie jest obecnie wykorzystywane.

Zadaniem mikrokontrolera jest pomiar sumarycznej długości impulsów w ustalonym okresie czasu i – po przeliczeniu wyniku na postać logarytmiczną – wydanie jej na przetwornik cyfrowo-analogowy. Jest to zasada nieco różniąca się od najczęściej stosowanej, gdzie zliczana jest liczba impulsów (w jednostce czasu lub wybranym odcinku czasu) i uwzględnia w pewnym stopniu także siłę wyładowań ponieważ najczęściej silniejsze wyładowania trwają też dłużej aniżeli słabsze.

Jako okres pomiaru autor przyjął dowolnie czas 1 minuty ale jego zmiana wymaga jedynie prostych modyfikacji programu lub (w ograniczonym zakresie) wymiany kwarcu w generatorze zegarowym. Przyjęcie skali logarytmicznej powoduje rozciągnięcie dolnej części zakresu wskazań i pewną kompresję jego górnej części. Ułatwia to prowadzenie obserwacji słabszych wyładowań atmosferycznych powodowanych przez takie zjawiska meteorologiczne jak ścieranie się mas zimnego i ciepłego powietrza

(w wyniku zbliżania się frontów atmosferycznych) lub wykrywanie nadciągających burz na większą odległość.



Zasadę pomiaru przedstawia ilustracja 7.7 po lewej stronie. Wyładowanie o krótszym czasie trwania (górne) daje krótszy impuls na wyjściu odbiornika i w tym czasie mikroprocesor zlicza mniejszą liczbę impulsów pomiarowych (przerwań) natomiast wyładowanie o dłuższym czasie trwania (także wiele wyładowań o większej amplitudzie) – dłuższy impuls na wyjściu odbiornika, a co za tym idzie większą liczbę zliczonych przerwań – impulsów pomiarowych.

Rys. 7.7. Zasada pomiaru czasu

Zliczanie impulsów wyjściowych odbiornika bez pomiaru czasu dałoby w obu przypadkach taki sam wynik.

Wynik pomiaru w postaci dwójkowej jest wydawany z wyjść RB0-RB4 mikrokontrolera na przetwornik c/a typu R-2R, a otrzymany na wyjściu przetwornika sygnał analogowy jest następnie podawany przez wtórnik napięciowy (1/4 LM324) na miernik wychyłowy o czułości 100 μ A-1 mA. Potencjometr montażowy P2 należy ustawić tak aby dla napięcia 5 V uzyskać pełne wychylenie wskazówki. Ze względu na to, że maksymalne napięcie wyjściowe wzmacniacza LM324 jest o 1,5 V niższe od jego napięcia zasilania, w członie pomiarowym zastosowano drugi obwód scalony zasilany z niestabilizowanego napięcia 9 V – czyli bezpośrednio z baterii. W celu ustawienia czułości miernika wychyłowego najprościej jest wyjąć obwód LM324 z podstawki, doprowadzić napięcie 5 V do jej kontaktu 14 i ustawić odpowiednio suwak potencjometru P2.

Wzmacniacz LM324 został zastosowany w tym miejscu nie tylko ze względu na jego korzystną cenę i łatwą dostępność ale również i dlatego, że jego minimalne napięcie wyjściowe leży na poziomie masy przy zasilaniu niesymetrycznym.

Napięcie z wyjścia wtórника jest również doprowadzone do gniazda DIN (diodowego) znajdującego się na tylnej ścianie obudowy. Ma to umożliwić prowadzenie pomiarów za pomocą innych bardziej precyzyjnych mierników lub wykorzystanie odbiornika do pomiarów zdalnych.

Oba człony odbiornika zostały zbudowane na oddzielnych uniwersalnych dziurkowanych płytkach drukowanych.

Napięcia zasilające odbiornik właściwy i układ pomiarowy są stabilizowane za pomocą dwóch scalonych stabilizatorów LM78L05. Obwód odbiorczy TA7642 jest, zgodnie z typowymi rozwiązaniami zalecanymi przez producenta zasilany napięciem 1,25 V z oddzielnego stabilizatora – LM317(L). Dla prawidłowej pracy tego stabilizatora konieczne jest jego pewne minimalne obciążenie, które zapewnia opornik R3.

Ze względu na niebezpieczeństwo przenikania zakłóceń pochodzących z części logicznej układu (czyli mikrokontrolera) należy zadbać o dobre zablokowanie napięć zasilających oba czony za pomocą równolegle połączonych kondensatorów elektrolitycznych i ceramicznych np. 47 μF i 33 nF.

Napięcie progowe dla komparatora jest również zablokowane do masy za pomocą kondensatora tantalowego 15 μF .

Dzięki temu, że odbiornik jest zasilany z baterii (6 ogniw paluszków AA; 9 V) i wyposażony jedynie w antenę ferrytową korzystanie z niego w czasie burzy – w pomieszczeniu – nie grozi żadnym niebezpieczeństwem.

W przypadku podłączenia anteny zewnętrznej należy przestrzegać przepisów bezpieczeństwa, zadbać o należyte uziemienie anteny w czasie burzy, a wejście odbiornika zabezpieczyć przed przepięciami. W odróżnieniu od anteny ferrytowej reagującej na składową magnetyczną fali antena prętowa lub drutowa reaguje na składową elektryczną. Ponieważ większość zakłóceń powodowanych przez domowe urządzenia ma charakter elektryczny (składowa magnetyczna jest znacznie słabsza) jako anteny wewnętrzne lepiej nadają się anteny ferrytowe lub pętlowe reagujące na składową magnetyczną. Anteny elektryczne (prętowe itp.) powinny być natomiast umieszczone możliwie z dala od domowych zakłóceń – poza domem lub możliwie wysoko na dachu. Należy wtedy zadbać o ich należyte zabezpieczenie odgromowe i nie prowadzić obserwacji w czasie burzy.

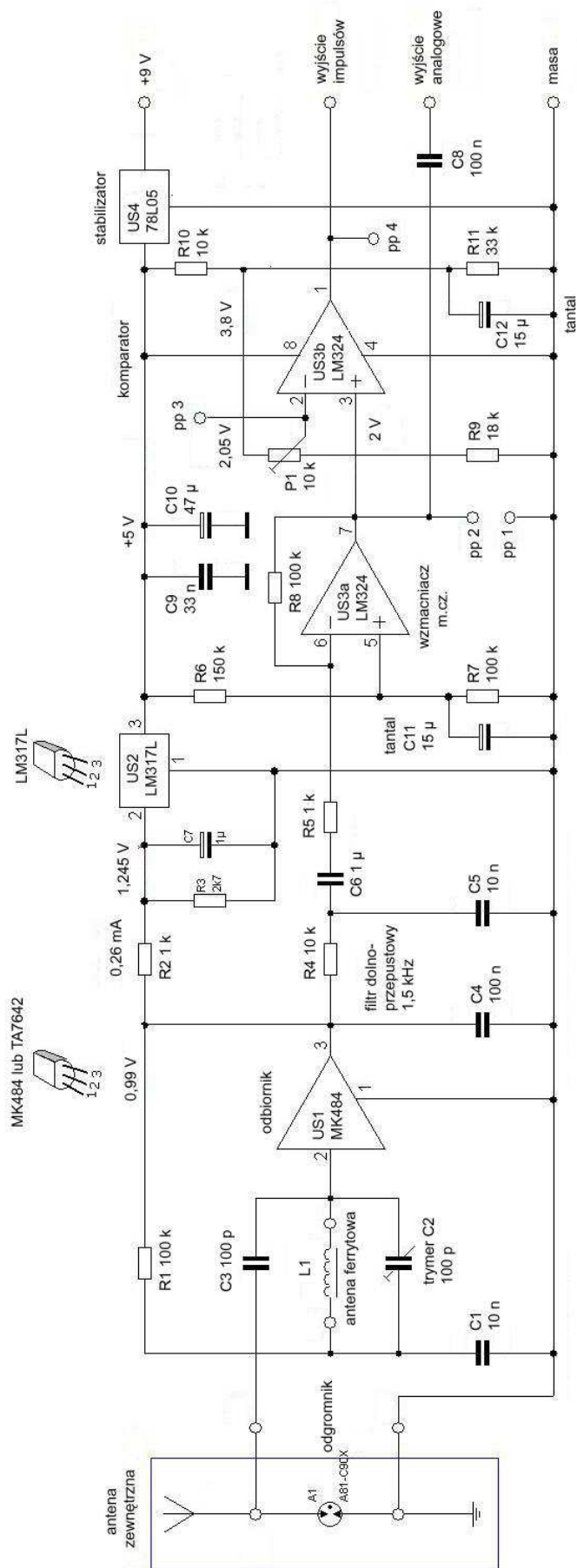
Oprogramowanie mikrokontrolera (plik szesnastkowy dla programatora i kod źródłowy w assemblerze) jest dostępne w niektórych witrynach internetowych zawierających „bibliotekę” bezpośrednio od OE1KDA – pocztą elektroniczną. Czytelnicy pragnący samodzielnie dokonać usprawnień lub modyfikacji pracy programu mogą zaopatrzyć się w internecie [www.microchip.com] w bezpłatne środowisko programowania firmy Microchip. Pozwala ono na opracowywanie i uruchamianie programów dla wszystkich mikrokontrolerów tej firmy (po wybraniu pasującego wariantu). Assembler mikrokontrolerów z serii 16F... zawiera jedynie 35 rozkazów i jest stosunkowo łatwy do nauczenia się ale wygodniej jest skorzystać z któregoś z dostępnych bezpłatnie kompilatorów wyższych języków np. z kompilatora CCX dla języka C.

Zamiast mikrokontrolera 16F627A można zastosować typ 16F628A (różni on się od pierwszego z nich dwukrotnie większą pojemnością pamięci programu). Program pomiarowy powinien zasadniczo pracować również na mikrokontrolerze 16F84A, jednak nie zostało to praktycznie wypróbowane przez autora.

Po skonstruowaniu i wstępnym uruchomieniu układu o jego prawidłowej pracy można się przekonać zbliżając do niego włączoną akumulatorową wiertarkę elektryczną lub śrubokręt elektryczny. Niskie napięcie zasilania tych narzędzi powoduje, że w obwodzie silnika płynie znaczny prąd, a jego kolektor jest idealnym (dla naszego celu) źródłem iskrzeń. Wskazania miernika powinny się wahać w zależności od czasu włączenia silnika (dłuższa lub krótsza część minuty) lub - od jego odległości od anteny ferrytowej. Obserwując wskazania należy pamiętać, że zmieniają się one w rytmie minutowym a nie natychmiast.

Opisana konstrukcja jest jedynie rozwiązaniem przykładowym i tak zamiast odbiornika na TA7642 można zastosować dowolny układ odbiorczy na innym obwodzie scalonym lub na tranzystorach albo też podłączyć tor niskiej częstotliwości (filtr dolnoprzepustowy, wzmacniacz i komparator) wraz z człosem pomiarowym (mikrokontrolerem) do wyjścia detektora – gniazda diodowego, magnetofonowego – przenośnego długofalowego odbiornika radiowego, po jego ewentualnym lekkim przestrojeniu tak, aby pokrywał zakres powyżej 300 kHz. Jako alternatywę można też wybrać wolną częstotliwość leżącą poniżej zakresu radiofonicznego na przykład w pobliżu 150 kHz. W niektórych przypadkach może się okazać konieczne dobranie wzmocnienia (poprzez zmianę oporności R8) lub progę czułości komparatora (ustawienie P1).

Oprogramowanie mikrokontrolera w obecnej wersji zajmuje jedynie ok. 1/4 pojemności jego pamięci dlatego też nie ma przeszkód w uzupełnieniu go o dodatkowe funkcje lub w usprawnieniu algorytmu pomiaru. Przykładowymi uzupełnieniami mogą być: obliczanie średniej z kilku kolejnych pomiarów (czyli z kilku kolejnych minut), wybór czasu pomiaru za pomocą zwieraczy podłączonych do niewykorzystywanych obecnie wejść mikrokontrolera lub wydawanie wyników równolegle przez złącze szeregowe do ich zdalnego wykorzystania – w postaci liczbowej w kodzie ASCII lub w postaci gotowych tekstów dla radiolatarni czy komunikatów APRS albo D-PRS. Procesory 16F627/628(A) są wyposażone w złącze RS232, które może być w prosty sposób obsługiwane przez program.

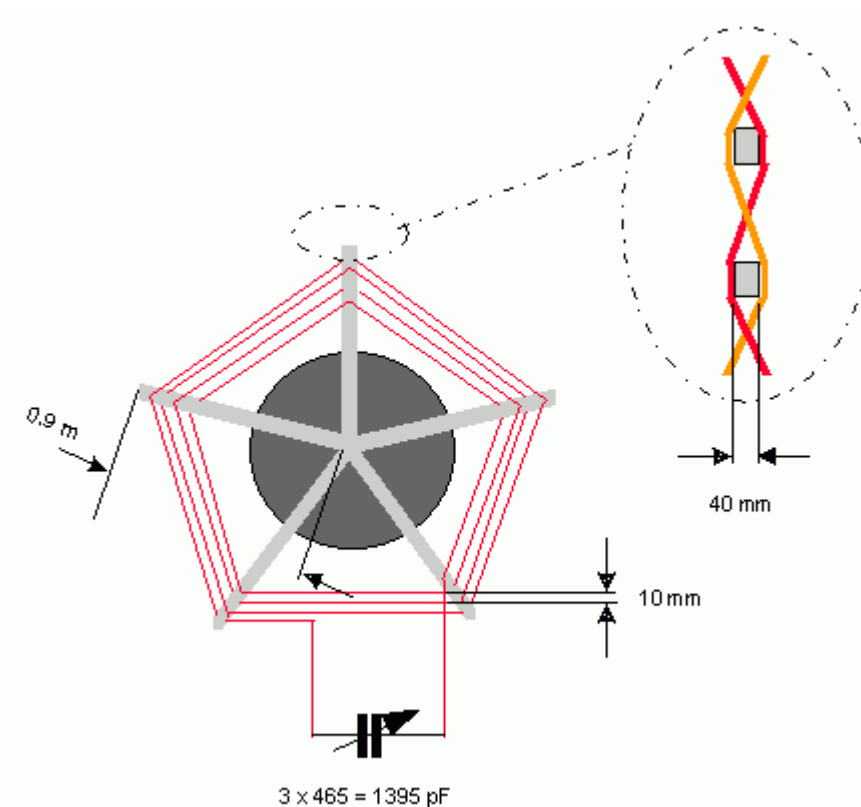


Odbiornik radiometeorologiczny na zakres 280-300 kHz

Rys. 7.9

Antena pętlowa na zakres długofalowy

Zamiast anten ferrytowych do odbioru sygnałów wyładowań można użyć innych rozwiązań. Często stosowane są strojone anteny anteny pętlowe naciągnięte na ramie drewnianej lub złożonej z elementów plastikowych.



Przykład rozwiązania anteny ramowej przedstawia ilustracja 7.10. Antena składa się z 35 zwojów przewodu umieszczonych na listwach drewnianych w odstępach 10 mm. Dla zmniejszenia pojemności własnej uzwojenia jest ono nawinięte komórkowo tzn. przewody sąsiednich uzwojeń przechodzą po przeciwnych stronach listwek (patrz rysunek) i krzyżują się między nimi. Do nawinięcia anteny użyto przewodu miedzianego o średnicy 1 mm w izolacji PCV. Całkowita długość przewodu wynosi 167 m. Przy zastosowaniu trzysekcyjnego kondensatora powietrznego o pojemności 3×465 pF antena pokrywa zakres 93 – 315 kHz.

Rys. 7.10

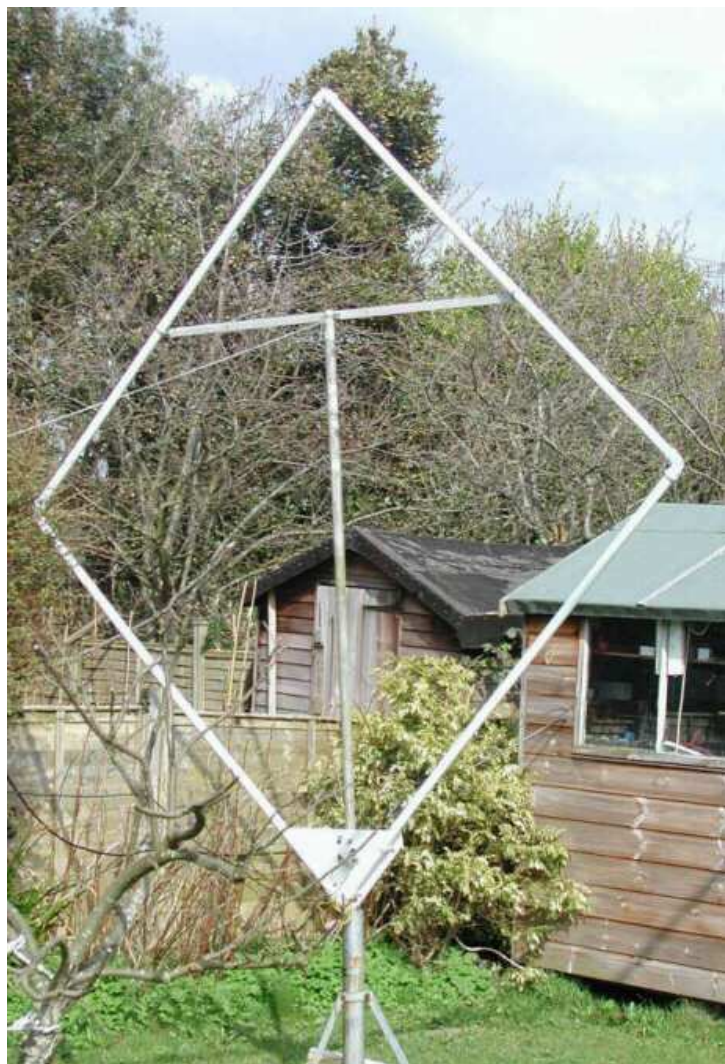
Dobroć obwodu wynosi 53, a szerokość pasma na poziomie -3 dB – 3 kHz. Do prowadzenia obserwacji radiometeorologicznych nie jest potrzebny tak szeroki zakres strojenia dlatego też znaczną część pojemności można zastąpić przez kondensatory stałe, a kondensatorem zmiennym dostroić antenę w wąskim zakresie do częstotliwości wolnej od zakłóceń. Liczbę zwojów i pojemność obwodu można dobrać tak aby antena pracowała w pożądanym zakresie częstotliwości.

Antena pętlowa wykonana z rurek plastikowych

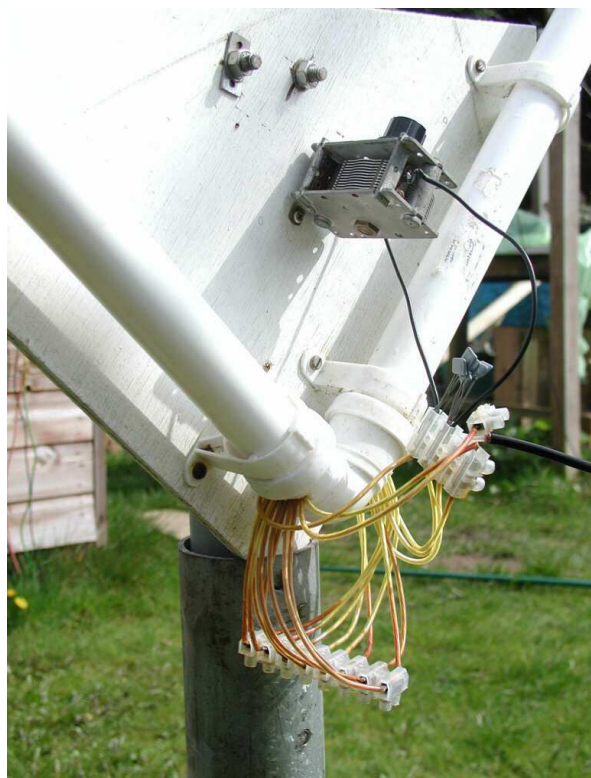
Ilustracje 7.11 i 7.12 poniżej przedstawiają sposób wykonania anteny ramowej z użyciem rurek plastikowych od instalacji elektrycznych.

Konstrukcja anteny jest wykonana z czterech rurek plastikowych o średnicy 34 mm i długości 2 m połączonych za pomocą kolanek. Pętla anteny składa się z 10 zwojów przewodu (licy) w izolacji PCV o grubości 2,5 mm (z izolacją; średnica przewodu ok. 1,5 mm) i jedenastego uzwojenia sprzęgającego. Przewód należy podzielić na odcinki o długości 8,3 m i przewlec je przez rurki, a końce uzwojeń połączyć ze sobą u dołu anteny, jak to przedstawiono na fotografii. Zamiast przedstawionych na zdjęciu łączówek można końce przewodów zlutować ze sobą.

Kondensator strojeniowy o pojemności – w położeniu środkowym – 1200 pF (składa się on z kondensatora zmiennego o pojemności 500 pF i 6 kondensatorów stałych 150 pF) jest umieszczony na płycie drewnianej umocowanej u dołu anteny. Ostatnie – jedenaste – uzwojenie jest połączone z kablem antenowym. Konstrukcja ta jest przewidziana wprawdzie do odbioru w amatorskim paśmie 136 kHz ale bez trudności można dostosować ją do odbioru w zakresie 300 kHz lub w innym, w którym mają być prowadzone obserwacje.



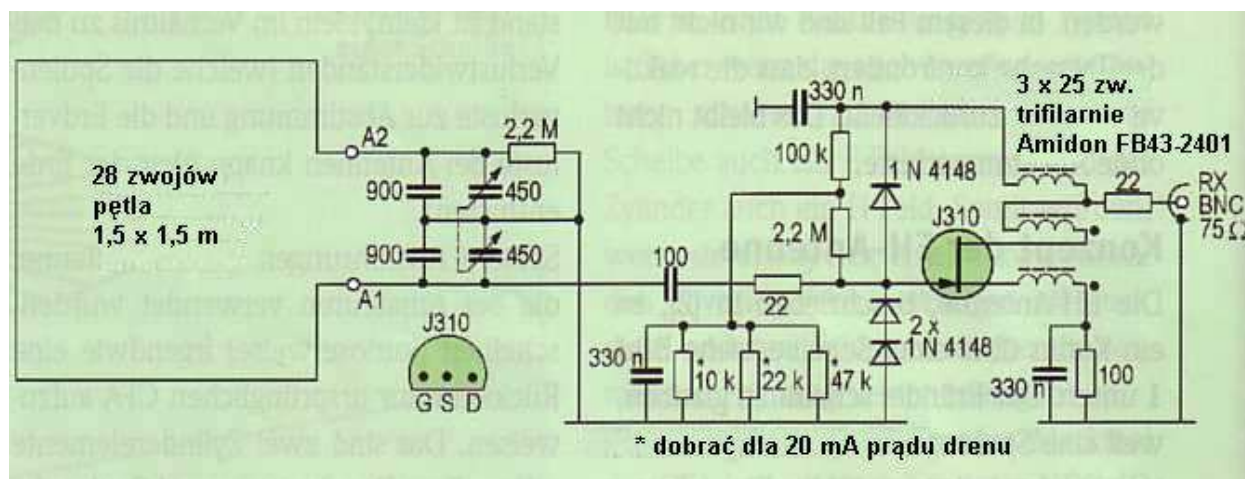
Rys. 7.11



Rys. 7.12

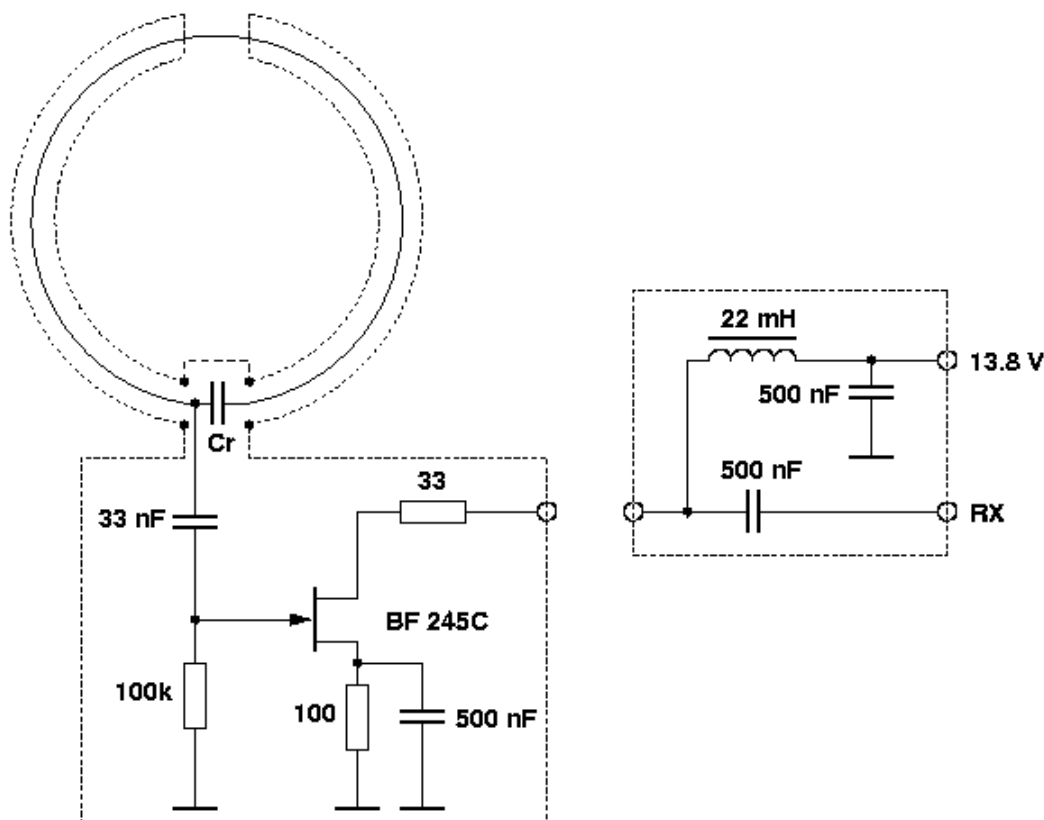
Aktywna antena pętlowa

Pętla anteny składa się z 28 zwojów i ma kształt kwadratu o boku 1,5 m. Uzwojenie powinno być nawinięte z odstępem między zwojami. Autor opracowania osiągnął dobroć obwodu wynoszącą ok. 50. Polaryzację bramki tranzystora polowego J310 (wartości oporników oznaczonych gwiazdką) należy dobrać tak aby uzyskać prąd drenu równy 20 mA. Transformator wyjściowy jest nawinięty trifilarnie (3 x 25 zw.) na rdzeniu FB43-2401 firmy Amidon. Dla wartości podanych na rysunku jest ona dostosowana do odbioru w amatorskim paśmie długofalowym ale można ją bez trudności dostosować do pracy w paśmie 300 kHz lub innym pożądanym zakresie. Zamiast tranzystora J310 można użyć BF245 lub innego podobnego po odpowiednim dobraniu wartości oporników w obwodzie polaryzacji bramki. Rozwiązanie pochodzi z numeru specjalnego CQ/DL "Welt der Schaltungen".



Rys. 7.13

Antena magnetyczna



Rys. 7.14

Opracowana przez DF3LP antena magnetyczna ma średnicę ok. 2,2 m i jest wykonana z 7 m odcinka kabla Flexwell, RG213 lub podobnego. U góry pętli usunięto ekran kabla na odcinku 1 cm, a na końcach kabla zamontowano wtyki koncentryczne służące do połączenia anteny ze wzmacniaczem. Indukcyjność pętli wynosi ok. 8 μ H co oznacza, że pojemność obwodu dla pasma 136 kHz powinna wynosić 168 nF, a dla okolic 300 kHz odpowiednio mniej. Szerokość pasma wynosi ok. 15 kHz. Wzmacniacz i kondensator pętli znajdują się w metalowej obudowie ekranującej. Przy użyciu popularnego tranzystora BF245C uzyskuje się wzmocnienie ok. 15 dB. Wzmacniacz jest zasilany napięciem doprowadzonym przez kabel antenowy, którego długość może dochodzić nawet do kilkudziesięciu metrów.

Obserwacje

W początkowych dziesięcioleciach XX w. prowadzone były mniej lub bardziej regularne badania radiometeorologiczne ale od lat 1960-tych stopniowo zaczęły dominować obserwacje i badania dotyczące wyładowań pochodzenia burzowego. Obecnie istnieje na świecie wiele profesjonalnych i amatorskich sieci obserwacji i lokalizacji burz publikujących również mapy burzowe w internecie.

Wiedza o zależnościach i zjawiskach radioeomeorologicznych została stopniowo zepchnięta na margines, a sprawa obserwacji wyładowań cichych związanych ze zjawiskami meteorologicznymi zaczyna dopiero powoli znowu przyciągać uwagę. Tym bardziej jest w tej dziedzinie dosyć miejsca dla obserwacji amatorskich i przypomnienia lub ponownego odkrycia dawnej wiedzy i oczywiście jej rozszerzenia.

Obserwacje amatorskie mogą polegać z jednej strony na rejestracji przebiegów sygnałów i ich późniejszej analizie za pomocą obserwacji oscyloskopowej, a z drugiej na pomiarze ich intensywności. Jako główne kryterium intensywności przyjmuje się częstość wyładowań (liczbę wyładowań w jednostce czasu). Jest to zasadniczo kryterium wystarczające jednak autor wypróbował także metodę uwzględniającą zarówno liczbę jak i siłę wyładowań poprzez pomiar czasu, w którym sygnał odbierany przekracza ustawiony próg czułości (komparatora). W ten sposób zliczane jest nie tylko każde wyładowanie ale dla wyładowań dłużej trwających brany jest pod uwagę jego czas trwania. Metoda ta została użyta w odbiorniku „Żabka 3”, ale mikroprocesorowy układ pomiarowy można połączyć z dowolnymi odbiornikami, także przeznaczonymi do odbioru wyładowań burzowych lub radiofonicznymi posiadającymi podane poniżej zaakresy. Odbiornik „Żabka” posiada natomiast dwa oddzielne tory do pomiaru częstotliwości i siły wyładowań. Jest on zasadniczo przeznaczony do obserwacji wyładowań burzowych, ale w praktyce można używać go też i do obserwacji sygnałów meteorologicznych zwłaszcza po przestrojeniu na pasmo ok. 30 kHz lub wyżej.

Obserwacje można też prowadzić na słuch korzystając z odbiornika radiowego posiadającego zakresy ok. 300 kHz i ewentualnie ok. 3 MHz. Obserwacje prowadzone przez autora potwierdziły, że sygnały wyładowań zarówno meteorologicznych jak i burzowych można odbierać w zakresie do kilku MHz. Stąd też bierze się propozycja prowadzenia obserwacji w zakresie ok 3 MHz (2 – 3 MHz). Przynajmniej część dostępnych na rynku anten ferrytowych pracuje jeszcze stosunkowo dobrze na tych częstotliwościach, a więc możliwe jest stosowanie nieskomplikowanych anten wewnętrznych mniej wrażliwych na zakłócenia domowe (patrz dodatek C). Obserwacje na odbiorniku panoramicznym o zakresie do 30 MHz wskazują, że widma dochodzą nawet do 15 – 18 MHz i że korzystny zakres obserwacji mógłby leżeć nawet ok. 9 – 11 MHz. Również i na ten zakres można zdobyć anteny ferrytowe chociaż nie są one już tak popularne jak dla niższych częstotliwości krótkofalowych. W związku z rozpowszechnieniem się odbiorników programowalnych (ang. SDR) wygodnym sposobem stała się obserwacja sygnałów w wybranych podzakresach na wskaźnikach wodospadowych. Ułatwia to nie tylko analizę ich charakteru, ale także odróżnianie sygnałów pochodzenia naturalnego od zakłóceń technicznych, których niestety ciągle przybywa.

Proponowaną przez autora metodą jest liczenie wyładowań w ciągu minuty lub innego wybranego odcinka czasu i przeliczanie ich na częstotliwość na minutę. Dla ciągów, w których trudno wyróżnić pojedyncze wyładowania lub gdy następują one zbyt szybko żeby nadażyć z ich liczeniem proponowane jest przyjęcie liczby zastępczej 10. Jest to ta sama zasada jaka obowiązuje przy obliczaniu liczby plam słonecznych przez obserwację wzrokową. Metoda ta zawiera w sobie wprawdzie pewien element subiektywnej oceny (dowolność uznania wyładowania za ciąg lub za pojedyncze, tak samo jak w przypadku plam słonecznych uznania plamy za pojedynczą lub za grupę) ale skoro sprawdziła się już przez długi czas można ją zastosować także w obserwacji wyładowań meteorologicznych.

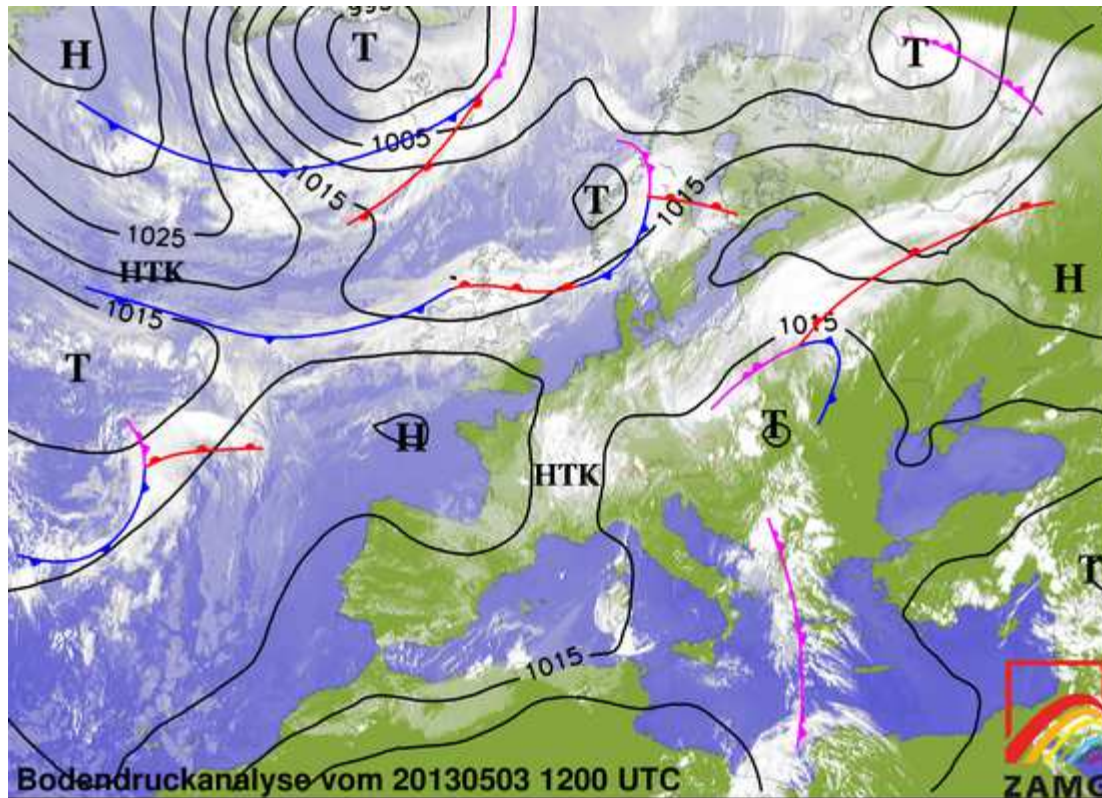
Wypadkowa liczba wyładowań obliczana jest ze wzoru:

$L_w = 10 L_c + L_1$ gdzie L_c jest liczbą ciągów wyładowań w czasie pomiaru a L_1 liczbą wyładowań pojedynczych. W przypadku pomiarów dłuższych należy L_w przeliczyć tak aby odpowiadała ona liczbie wyładowań na minutę.

Metoda ta chociaż trochę bardziej pracochłonna aniżeli pomiar elektroniczny ma jednak tą zaletę, że pozwala na wyeliminowanie wpływu zakłóceń technicznych lub innych poprzez lekką zmianę częstotliwości odbioru, kierunku anteny i pominęciem w zliczaniu silnych wyładowań burzowych jeśli akurat są odbierane. Metoda ta daje się również wygodnie zastosować w obserwacjach optycznych na wskaźnikach wodospadowych.

Dla zdobycia odpowiedniego doświadczenia konieczne jest porównywanie wyników pomiarów z wydaniami meteorologicznymi i aktywnością burzową w bliskich rejonach. Do tego celu dobrze nadają się mapy synoptyczne z zaznaczonymi izobarami i przebiegiem frontów atmosferycznych oraz mapy aktywności burzowej – dostępne pod adresem www.blitzortung.org lub innymi.

Przykład synoptycznej mapy Europy z dn. 3 V 2013 dostępnej pod adresem www.zamg.ac.at przedstawia poniższa ilustracja.



Rys. 7.15. Na mapie kolorem niebieskim zaznaczono fronty zimne, czerwonym – ciepłe, a fioletowym zokludowane powstałe przez nałożenie się na siebie frontu zimnego i ciepłego. Na mapie (niemieckojęzycznej) wyżej podpisane są literą **H** a niżej – literą **T** (**HTK** jest obszarem niżów wysokościowych), małe litery **h** i **t** oznaczają lokalne ekstrema ciśnienia. Dodatkowo mapa ta przedstawia stan zachmurzenia, a kształt pokrywy chmur pozwala się zorientować w kierunkach wiatrów. Nie pokazane w tym przykładzie litery **EC** oznaczają obszary o wzmożonej gęstości chmur kłębiastych.

W celu dojścia do mapy synoptycznej ze strony głównej należy wejść na zakładkę „**Wetter**” do punktu „**Wetterkarte**” jak to widać na ilustracji poniżej.

	Aktuell	Wetter	Klima	Umwelt	Geophysik	Forschung	Produkte
Wetterwarnungen	Wetter / Wetter	Wetterwarnungen					
Wettervorhersage		Wettervorhersage					
Eventwetter	Aktuelle	Eventwetter					archiv
Wetter aktuell		Wetter aktuell					
Wetterkarte	Wetterla	Wetterkarte					zur Wetterkarte mit Stations
Wetteranimation	An der Vor	Wetteranimation					
Satellitenbilder/Animation	Alpenraum	Satellitenbilder/Animation					Wirbels mit dem Kern über der Norwegischen-See
Produkte und Services	Die Temp	Produkte und Services					strömung. Mit ihr erreicht warme Mittelmeerluft Ö
News	Genau ein	News					weiter. Zusätzlich entwickelt sich aber über dem Gol
Team und Kontakte	Niedersch	Team und Kontakte					ersten Österreichs für viele Wolken und teils intensi
	ebenfalls für Regen. Auch über der Ostalpe steigt im Vorfeld dieser Störung die Gewitterneig						reicht eine Störung von Westen das Land und sorg
	deutlich. Zweigeteiltes Wetter mit verbreitet Regen im Westen und Süden sowie Sonnenschein						einige lokale Gewitter im Osten verspricht der Pfingstsonntag. Insgesamt bleibt es warm.

Rys. 7.16. Sposób odszukania mapy

Pole elektrostatyczne

Zjawiska fizyczne

Ziemia wraz ze swoim otoczeniem tworzy coś w rodzaju kondensatora kulistego, w którym gromadzi się ładunek elektryczny, przy czym naogół ładunek ziemi ma znak ujemny. Jego wielkość wynosi ok. $4,5 \times 10^5$ C. W otoczeniu tego, jak i każdego zresztą ładunku tworzy się pole elektryczne. Jego natężenie w kierunku pionowym zmienia się znacznie w zależności od ukształtowania terenu, pory dnia i roku pogody itp. Przeciętnie jednak w czasie ładnej pogody natężenie pola wynosi na powierzchni ziemi ok. 100 V/m. Wartość ta zależy od ukształtowania topograficznego i przyjmuje mniejsze wartości w głębokich dolinach a większe na otaczających je grzbietach. W terenie płaskim większe wartości występują w środku ładu niż na jego brzegach, większe również w średnich szerokościach geograficznych aniżeli w okolicach podzwrotnikowych. Wahania dzienne zależą od położenia geograficznego, pory roku i wysokości punktu obserwacyjnego, przy czym są one największe w zimie.

Wahania roczne wykazują maksima dochodzące do ok. 250 V/m z początkiem i końcem zimy z szerokim minimum ok. 100 V/m w lecie. Stan pogody ma naturalnie największy wpływ na ukształtowanie pola ziemi. Wzrost natężenia pola spowodowany jest nie tylko zjawiskami burzowymi ale przymuje się, że jest to związane wogóle z powstawaniem chmur.

Zmiany natężenia w funkcji wysokości są w warstwie najbliższej ziemi dosyć nieregularne prawdopodobnie wskutek dużej zawartości cząstek obcych takich jak pyły, aerozole itp. Natomiast na wysokości rzędu 1,5 km natężenie pola wynosi już tylko 25 V/m, a na wysokości 5 km maleje do ok. 10 V/m. Całkowita różnica potencjałów między ziemią, a wysokimi warstwami atmosfery jest szacowana przeważnie na ok. 1000000 V.

Pole elektryczne ziemi nie jest jak wiadomo statyczne. Płyną w nim prądy o charakterze wyładowań burzowych (ok. 100 wyładowań/sek w skali globalnej); prądy unoszenia jako ładunki przenoszone przez cząstki stałe jak śnieg, deszcz, pyły itp. (ładunek przenoszony przez zwykły deszcz jest rzędu 10^{16} A/cm², w czasie opadów burzowych ok. 10^{12} A/cm²); w końcu prądy spowodowane ruchem jonów w polu ziemskim względnie ruchem zjonizowanych cząstek atmosferycznych (rzęd wielkości 2×10^{16} do 1×10^{15} A/cm² dla wiatru o prędkości 1 m/sek).

Każdy z tych prądów ma wartość dostatecznie dużą do rozładowania pełnego ładunku ziemi w bardzo krótkim czasie. Utrzymanie mniej więcej stałej wartości ładunku ziemi nie jest całkowicie wyjaśnione; przypisuje się je wyładowaniom burzowym, zawartości związków radioaktywnych w atmosferze, przenikaniu promieniowania z zewnątrz, działaniu fal morskich itp.

Drugim rodzajem zjawisk elektrostatycznych zauważalnych w trakcie odbioru radiowego jest ładowanie samej anteny ładunkami elektrycznymi unoszonymi lub wytwarzanymi przy zetknięciu się z nią kropel deszczu, płatków śniegu, ruchomych mas powietrza, ziaren piasku itp. W tym przypadku sygnały powstają w samej antenie, a więc odpada wpływ warunków rozchodzenia się fal. Dotyczy to oczywiście tylko anten zewnętrznych nie osłoniętych przed wyżej wymienionymi wpływami.

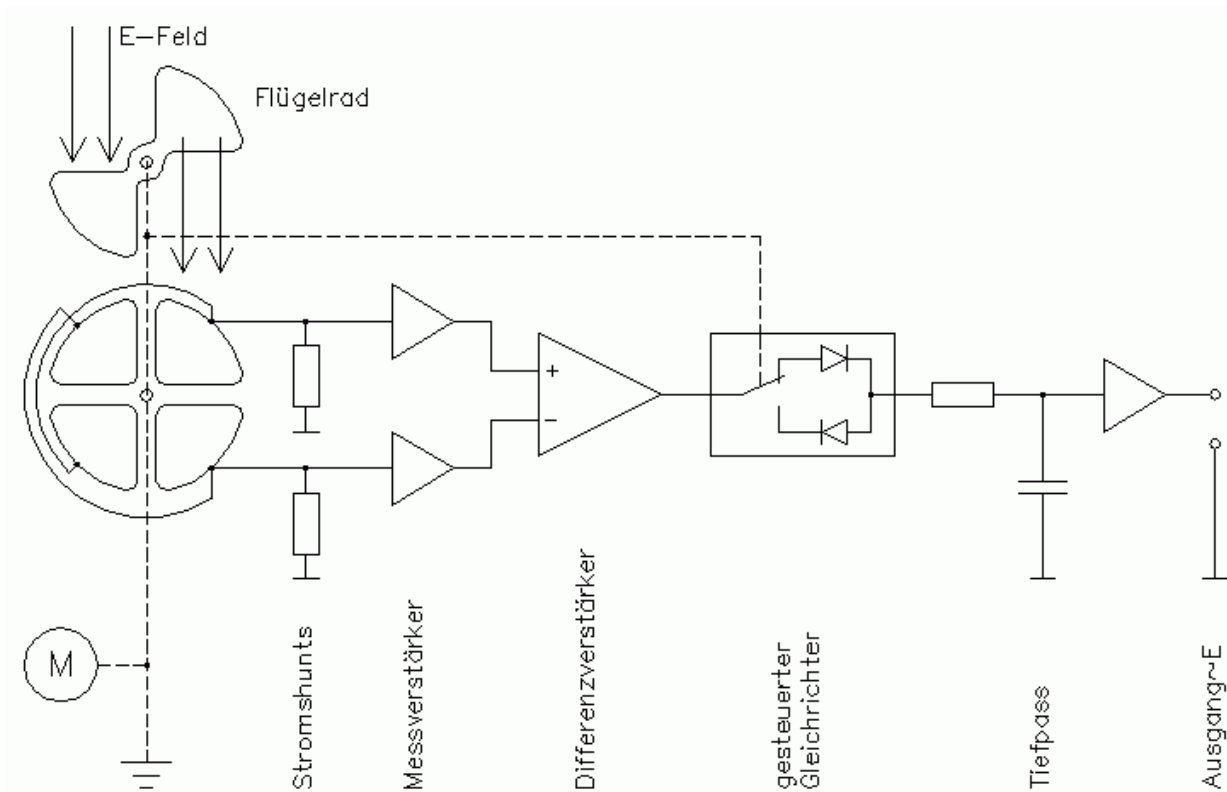
Elektrometr parametryczny

Elektrometr parametryczny (niem. *Feldmühle*, ang. *field mill*) jest przyrządem służącym do pomiaru natężenia pola elektrostatycznego. Zasadniczo pomiar natężenia pola jest stosunkowo prosty. W tym celu wystarczy umieszczenie w nim w pewnej odległości od siebie dwóch elektrod pomiarowych i po dokonaniu pomiaru napięcia przeliczenie otrzymanej wartości na V/m. Skończona wartość oporności wejściowej woltomierza (nawet dość wysoka, jak w przypadku woltomierzy elektronicznych) powoduje jednak przepływ prądu pomiędzy elektrodami i ich rozładowanie, co w stosunkowo krótkim czasie w zdecydowany sposób zmienia wynik pomiaru i odbija się ujemnie na jego dokładności (do czysto elektrostatycznego pomiaru napięcia można użyć elektrometru). Problem ten występuje również w opisanym powyżej odbiorniku elektrostatycznym i dlatego należy dążyć do uzyskania jego możliwie najwyższej oporności wejściowej.

Jednym ze sposobów uniknięcia tych trudności jest zastosowanie elektrometru parametrycznego.

Zawiera on w najprostszym przypadku elektrodę pomiarową i uziemiony wiatraczek, który obracając się naprzemian przysłania ją i odsłania. W momencie gdy elektroda pomiarowa jest przysłonięta zgromadzone na niej ładunki odpływają do ziemi, a po jej odsłonięciu napływają ponownie w wyniku in-

dukcji elektrostatycznej (influencji). Płynący w obwodzie elektrody pomiarowej prąd jest proporcjonalny do natężenia pola elektrostatycznego. Dla zminimalizowania wpływu zakłóceń (zwłaszcza sieciowych) stosuje się najczęściej układ z wejściem różnicowym wyposażony w dwie elektrody pomiarowe. Jedna z nich jest więc bardziej lub całkiem odsłonięta, a druga analogicznie zasłonięta przez wiatraczek. W miarę jego obrotu sytuacja zmienia się cyklicznie.

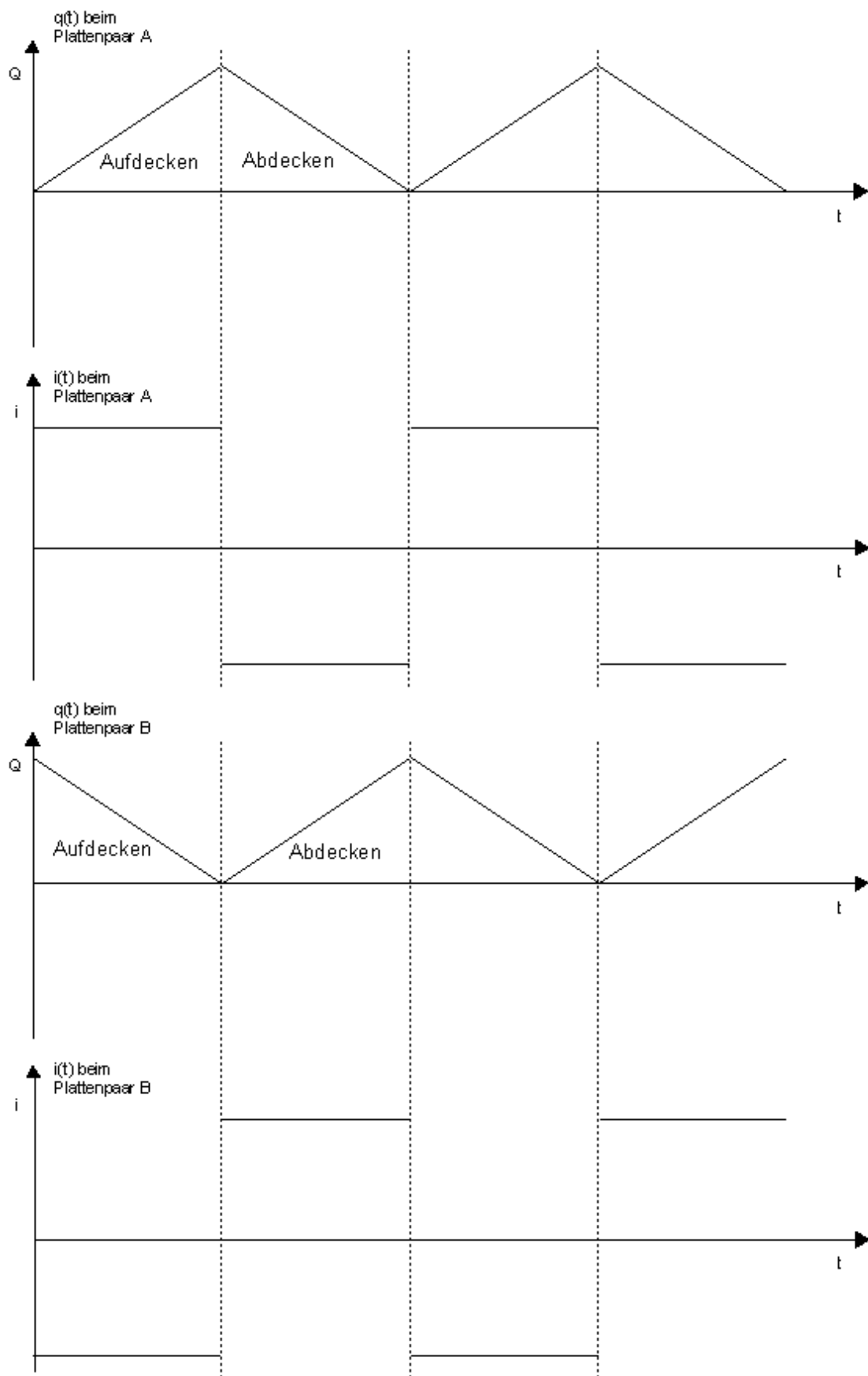


Rys. 8.1. Schemat blokowy elektrometru parametrycznego

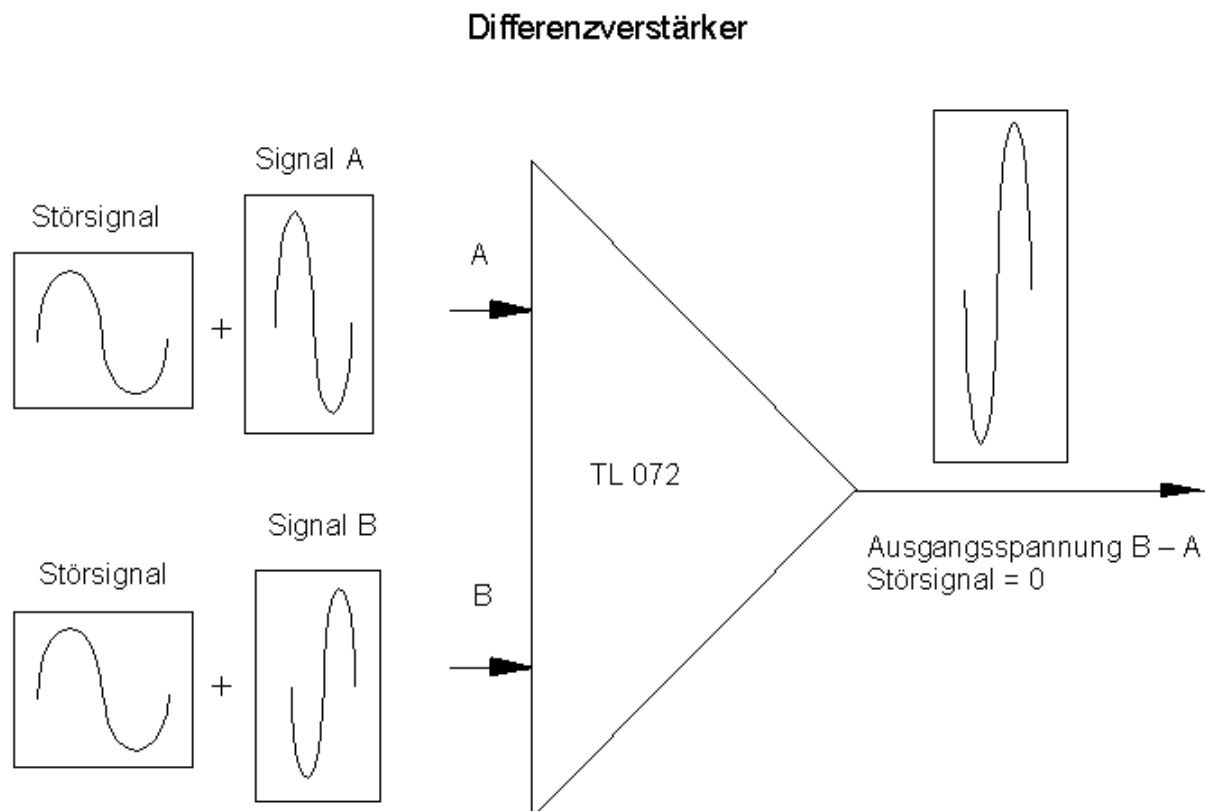
Zasadę pracy ilustruje powyższy schemat blokowy. Po jego lewej stronie widoczny jest wiatraczek i dwie pary elektrod odpowiednio ze sobą połączonych i doprowadzonych do wejść wzmacniaczy pomiarowych (w dalszym ciągu tekstu noszą one oznaczenia A i B). Znajdujące się na ich wejściach oporniki umożliwiają przepływ ładunków do ziemi i z powrotem. Wyjścia wzmacniaczy pomiarowych są połączone ze wzmacniaczem różnicowym. Wzmocniony w nim sygnał podlega prostowaniu w detektorze synchronicznym sterowanym sygnałem pochodzącym z wiatraczka. Najczęściej stosuje się do tego celu dodatkowy wiatraczek osadzony na wspólnej osi z głównym i przerywający w takt obrotu oświetlenie fotodiody. Napięcie z detektora po scałkowaniu i ewentualnym wzmocnieniu jest podawane na woltmierz.

Napięcie wyjściowe układu jest proporcjonalne do natężenia pola elektrostatycznego a dzięki detekcji synchronicznej jego znak odpowiada polaryzacji pola. Zastosowanie zwykłego detektora amplitudy pozwalałoby jedynie na pomiar wartości bezwzględnej natężenia pola i uniemożliwiłoby pomiar jego polaryzacji.

Ilustracja 8.2 poniżej przedstawia przebiegi prądów płynących między elektrodami, a ziemią w zależności od stopnia ich zakrycia. Fazy odkrywania (na rysunku „Aufdecken”) i zakrywania (na rysunku „Abdecken”) par elektrod („Plattenpaar”) A i B przebiegają zgodnie z przebiegami trójkątnymi $q(t)$ (przebiegi 1 i 3) natomiast przebiegi 2 i 4 są odpowiednio przebiegami prądu $i(t)$ w obwodach obu elektrod (a właściwie ich par).

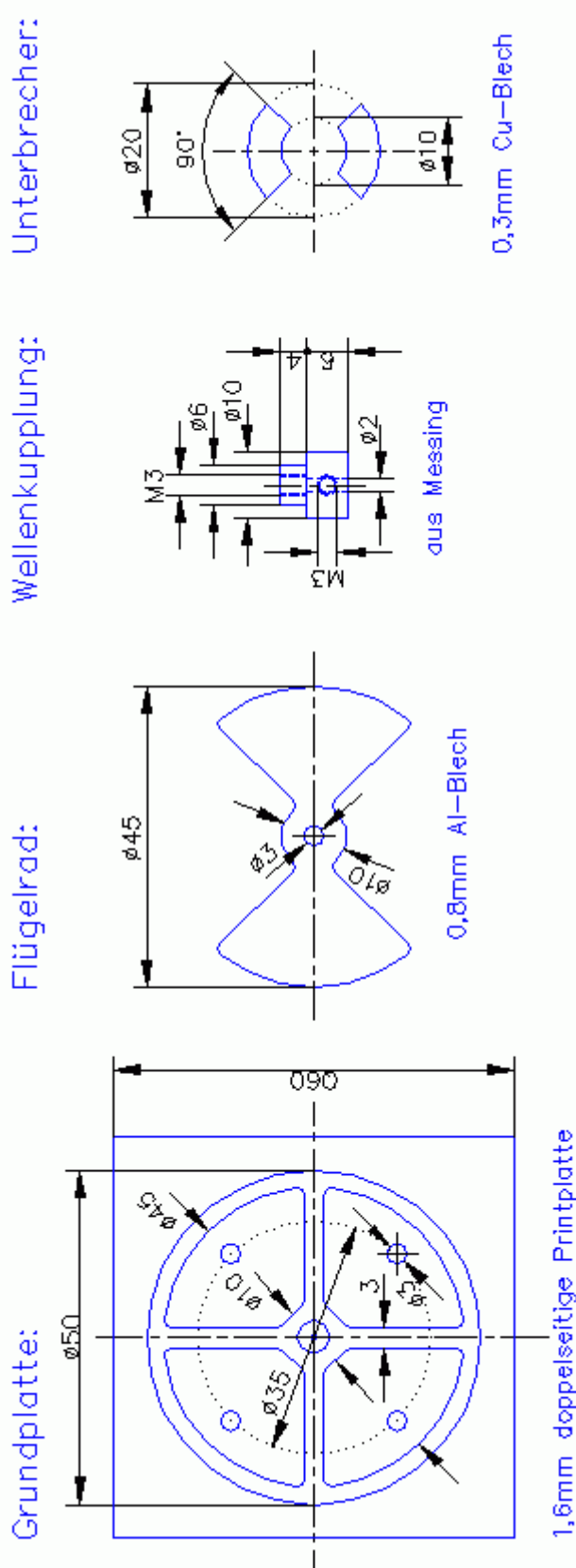


Rys. 8.2. Przebiegi prądów w poszczególnych fazach pracy



Rys. 8.3. Dzięki zastosowaniu wzmacniacza różnicowego synfazowe sygnały zakłóceń (niem. *Störsignal*) kompensują się na jego wyjściu (napięcie równe zero) natomiast podwaja się amplituda sygnału użytecznego ($B - A$). Do wejść A i B wzmacniacza doprowadzone są odpowiednio sygnały z elektrod o tych samych oznaczeniach (podpisane na ilustracji jako *Signal A* i *Signal B*).

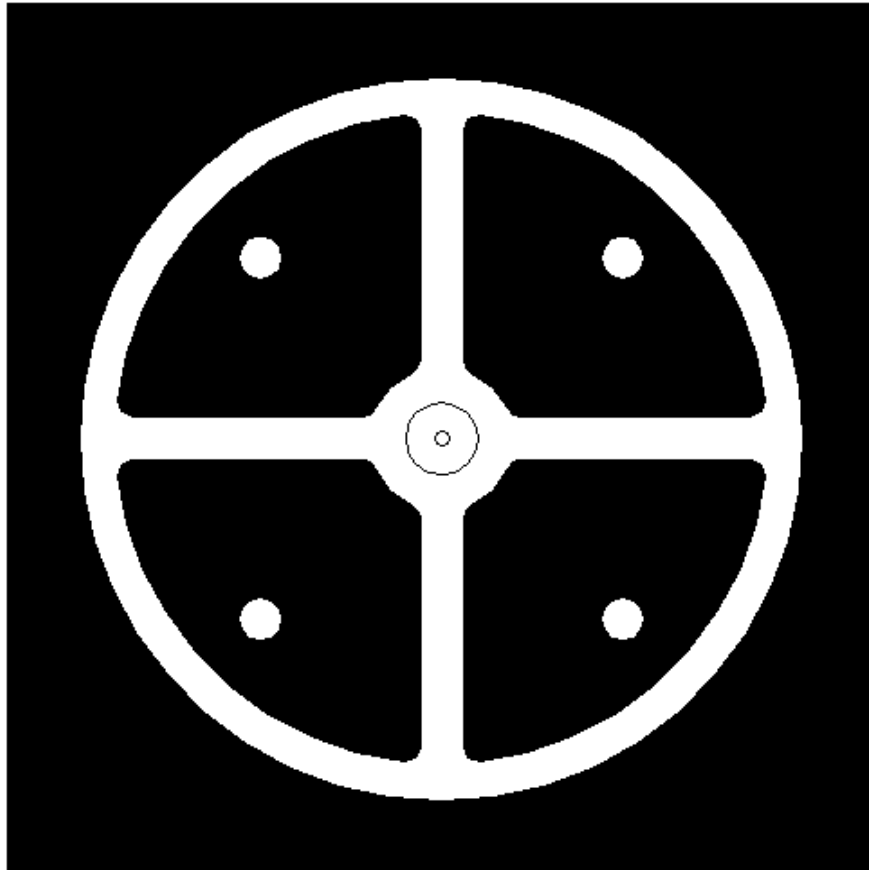
Konstrukcja elektrometru DH1STF



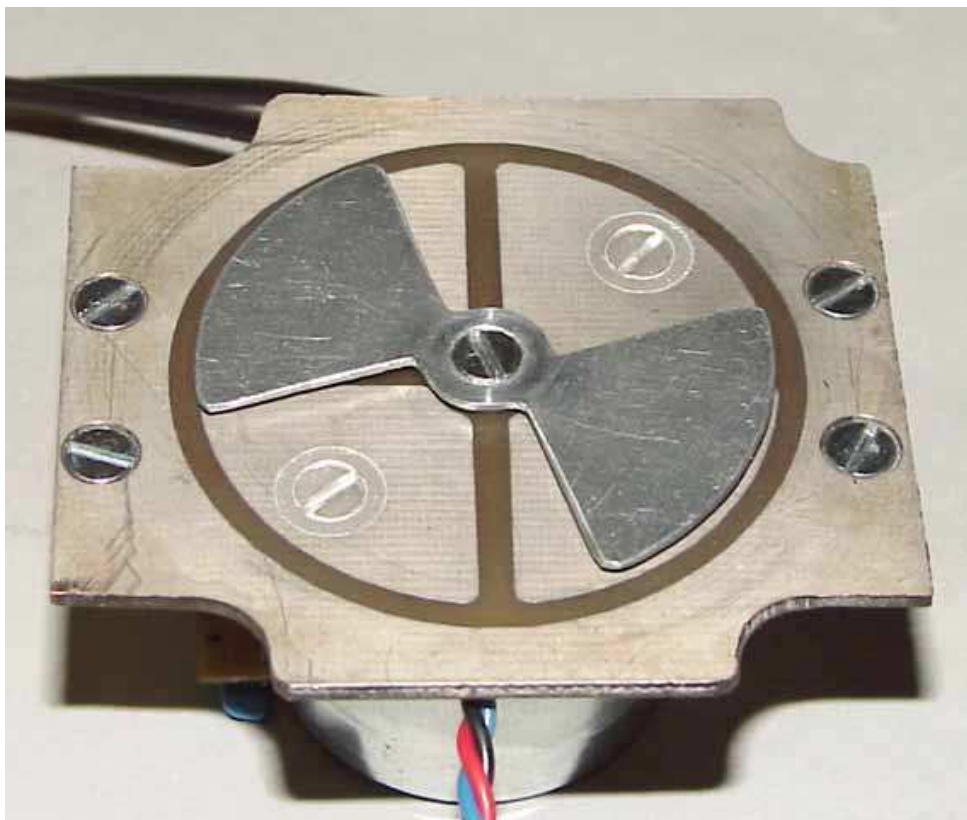
Konstrukcja elektrometru DH1STF została opublikowana w internecie (www.qsl.net/dh1stf) i w numerze 12 „Zeszytu AATIS” („Praxisheft” AATIS). Pierwsza z ilustracji przedstawia sposób wykonania elektrod pomiarowych i wiatraczka. Elektrody pomiarowe wykonano na płytce z dwustronnego laminatu o grubości 1,6 mm i wymiarach 60 x 60 mm a wiatraczek z blachy aluminiowej o grubości 0,8 mm. Elektrody pomiarowe są wykonane po jednej stronie laminatu a druga pozostaje nienaruszona jeśli nie liczyć otworów na oś i śrubki mocujące. Jest ona połączona z masą i uziemiona, co zapewnia nie tylko stałość położenia elektrod pomiarowych w stosunku do ziemi ale także ekranuje od zakłóceń pochodzących z silnika. Elektrody są połączone z układem pomiarowym za pomocą czterech śrub M3 o stożkowych główkach. Śruby te można dodatkowo przylutować do elektrod dla zapewnienia lepszego kontaktu.

Widoczne na trzecim rysunku sprzęgiełko jest wykonane z mosiądzu. Rysunek czwarty obrazuje sposób wykonania pomocniczego wiatraczka – przerywającego strumień świetlny oświetlający fotodiode. Skrzydełka przerywacza są przylutowane po przeciwnych stronach sprzęgiełka i dlatego powinny być wykonane albo z miedzi albo również z mosiądzu. Szerokość kątowa skrzydełek obu wiatraczków powinna wynosić 90 stopni.

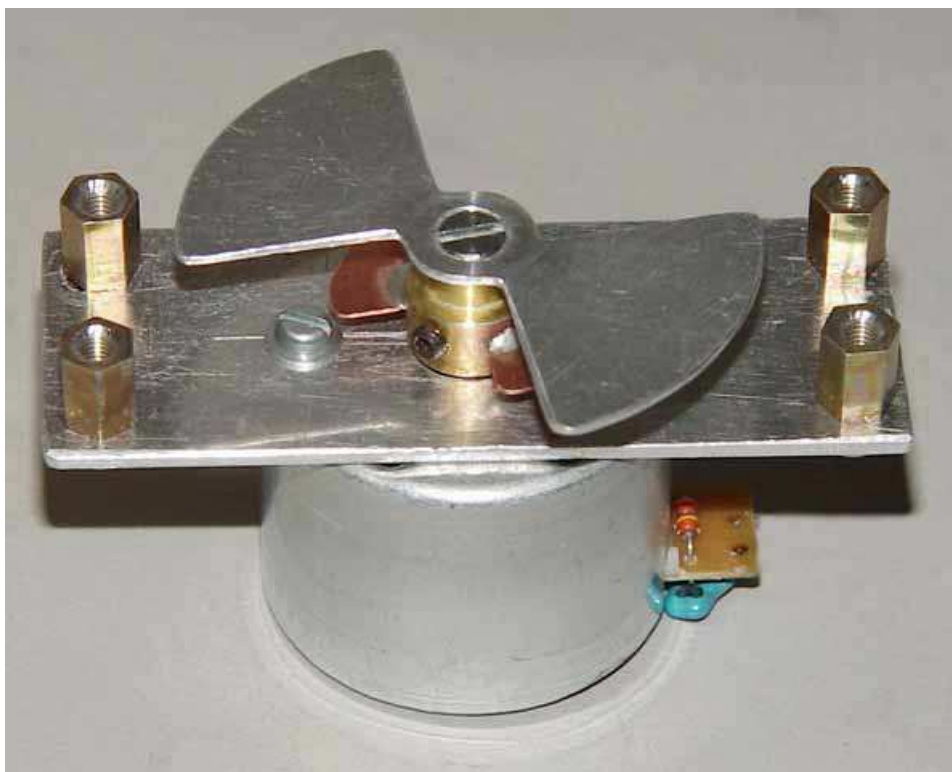
Rys. 8.4



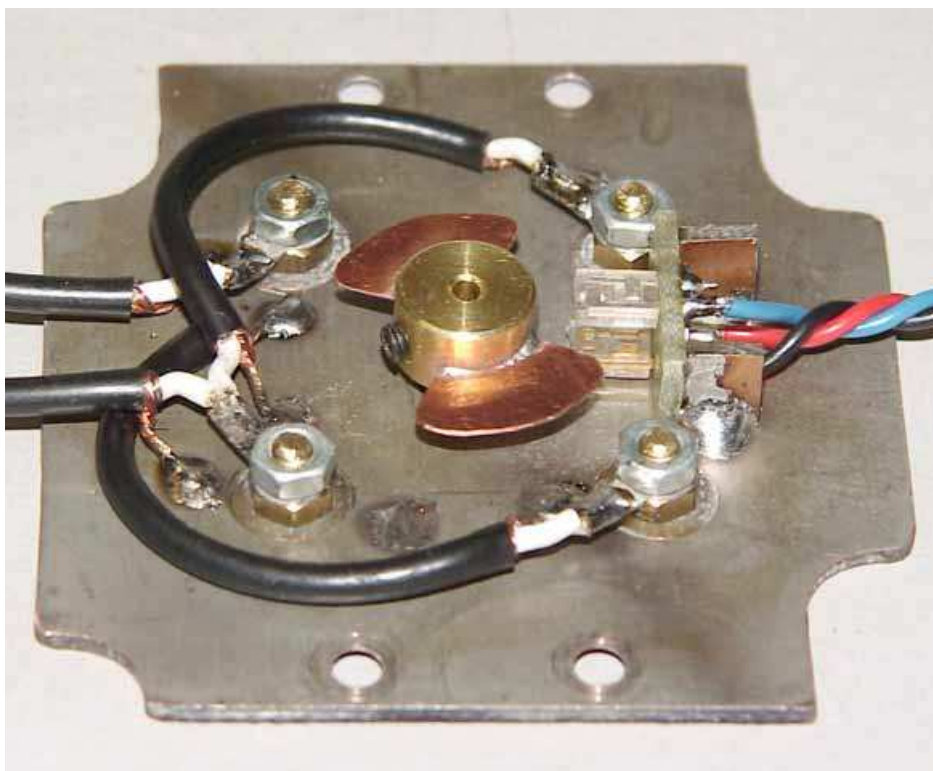
Rys. 8.5. Wykonanie elektrod na płytce



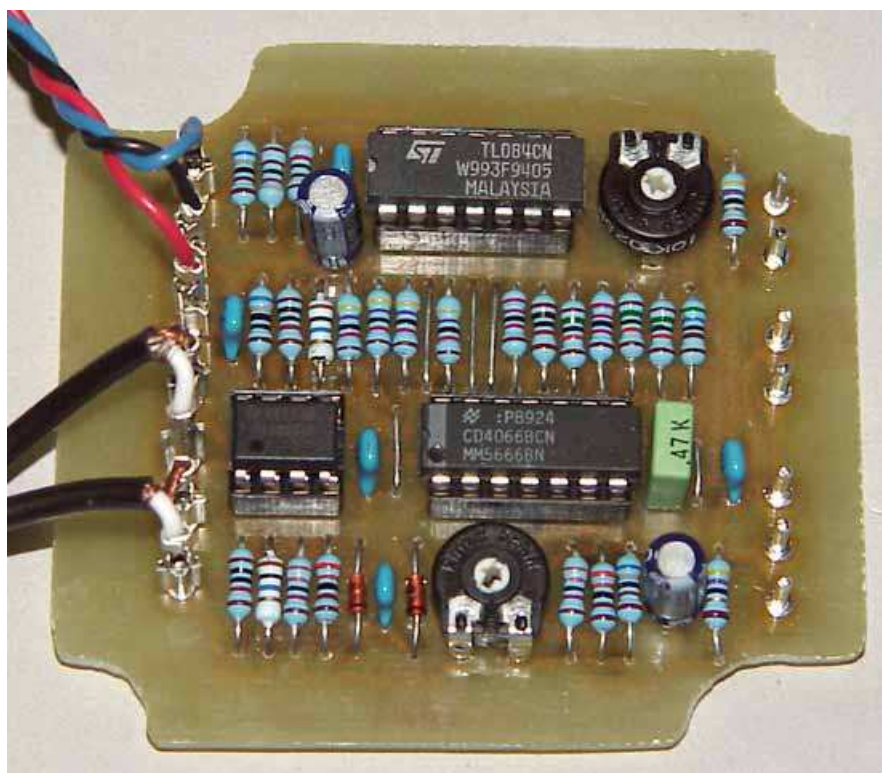
Fot. 8.6. Gotowe elektrody wraz z wiatraczkiem i silnikiem u dołu



Fot. 8.7. Konstrukcja mechaniczna bez zamontowanej płytki drukowanej. Pod wiatraczkiem głównym widoczny jest pomocniczy wiatraczek-przerywacz a u dołu 12-woltowy silnik elektryczny od magnetofonu kasetowego z filtrem przeciwzakłóceniovym (złożonym z dwóch kondensatorów połączonych do masy). Zasilanie silnika jest doprowadzone przez oporniki R25 i R26, aby dodatkowo zminimalizować niebezpieczeństwo zakłóceń



Fot. 8.8. Widok płytki drukowanej od dołu z podłączonymi do elektrod kablami. Po prawej stronie wiatraczka pomocniczego widoczny jest czujnik światła złożony z podczerwonej diody świecącej i fototranzystora.



Fot. 8.9. Układ pomiarowy na płytce drukowanej.

Na ilustracji 8.10 na następnej stronie przedstawiony jest schemat ideowy układu pomiarowego opracowanego przez DH1STF. Jest on stosunkowo prosty i łatwy w realizacji.

Elektrody pomiarowe są podłączone do styków SIGNAL_A i SIGNAL_B połączonych z masą odpowiednio przez oporniki R1 i R3. Do ich podłączenia służą kable ekranowane.

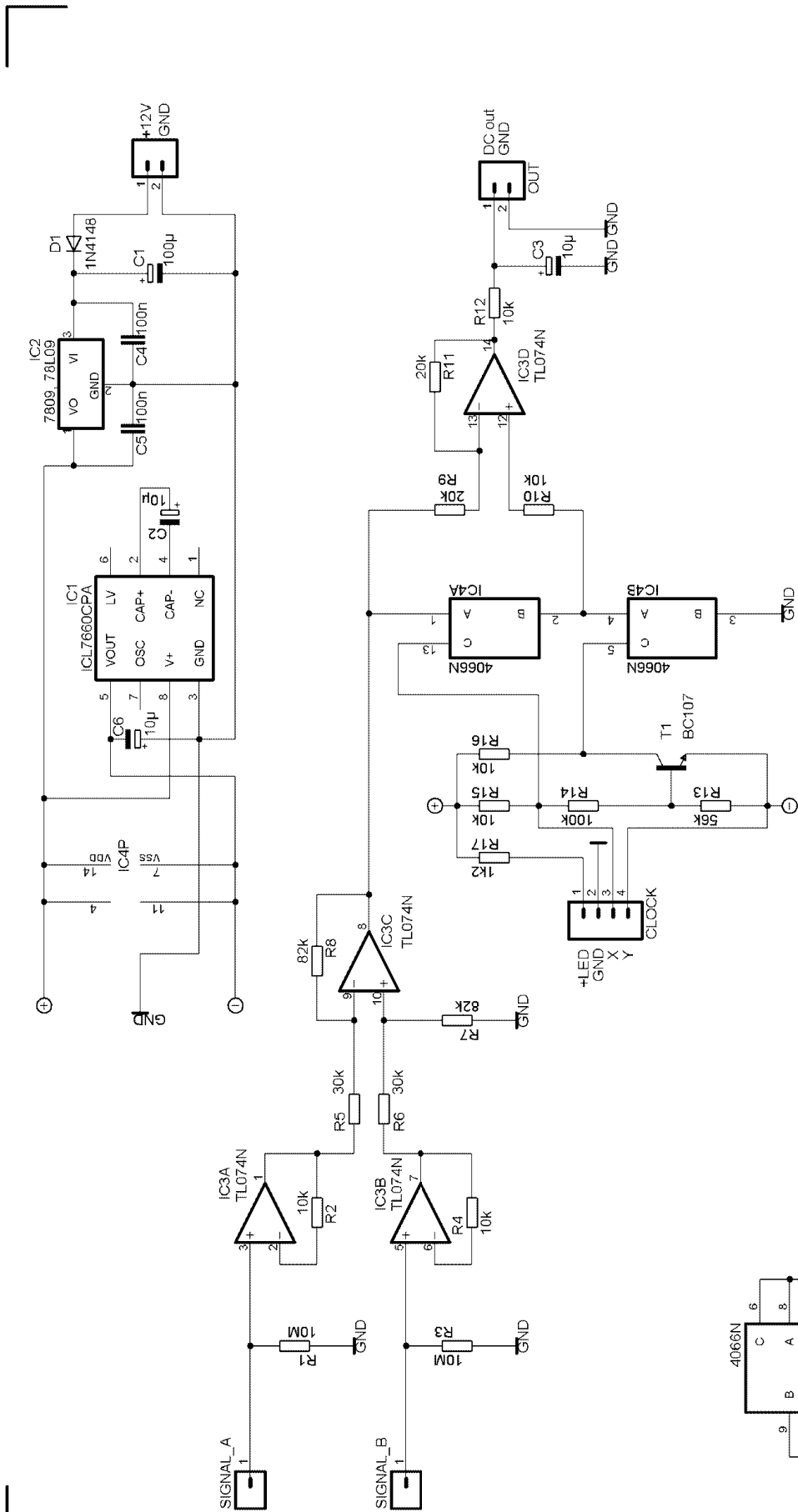
We wzmacniaczach pomiarowych i wzmacniaczu różnicowym (o wzmocnieniu równym 1) zastosowano poczwórny wzmacniacz operacyjny TL074. Czwarty z zawartych w układzie scalonym wzmacniaczy pracuje jako stopień wyjściowy po detektorze synchronicznym. Detektor synchroniczny sterowany sygnałem z czujnika oświetlenia pracuje na scalonych przełącznikach 4066. Jego sygnał wyjściowy jest całkowany w obwodzie filtra dolnoprzepustowego R12C3 i następnie doprowadzony do nóżki 1 gniazdka wyjściowego („OUT”).

Sygnał sterujący z czujnika oświetlenia jest doprowadzony do jednego z przełączników bezpośrednio, a do drugiego przez stopień odwracający fazę pracujący na tranzystorze T1. Dioda świecąca czujnika jest zasilana poprzez opornik R17 (kontakt 1 gniazda „CLOCK”), a fototranzystor – do kontaktów 3 (kolektor) i 4 (emiter) tego samego gniazda.

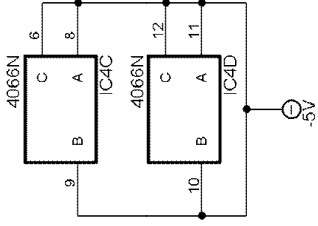
Układ jest zasilany napięciem stabilizowanym 9 V pochodzącym ze stabilizatora 7809 (IC2). Ujemnego napięcia dla wzmacniaczy operacyjnych dostarcza przetwornica pracująca na układzie scalonym ICL7660 (IC1). Dioda D1 służy jako zabezpieczenie przed odwrotnym podłączeniem zasilania.

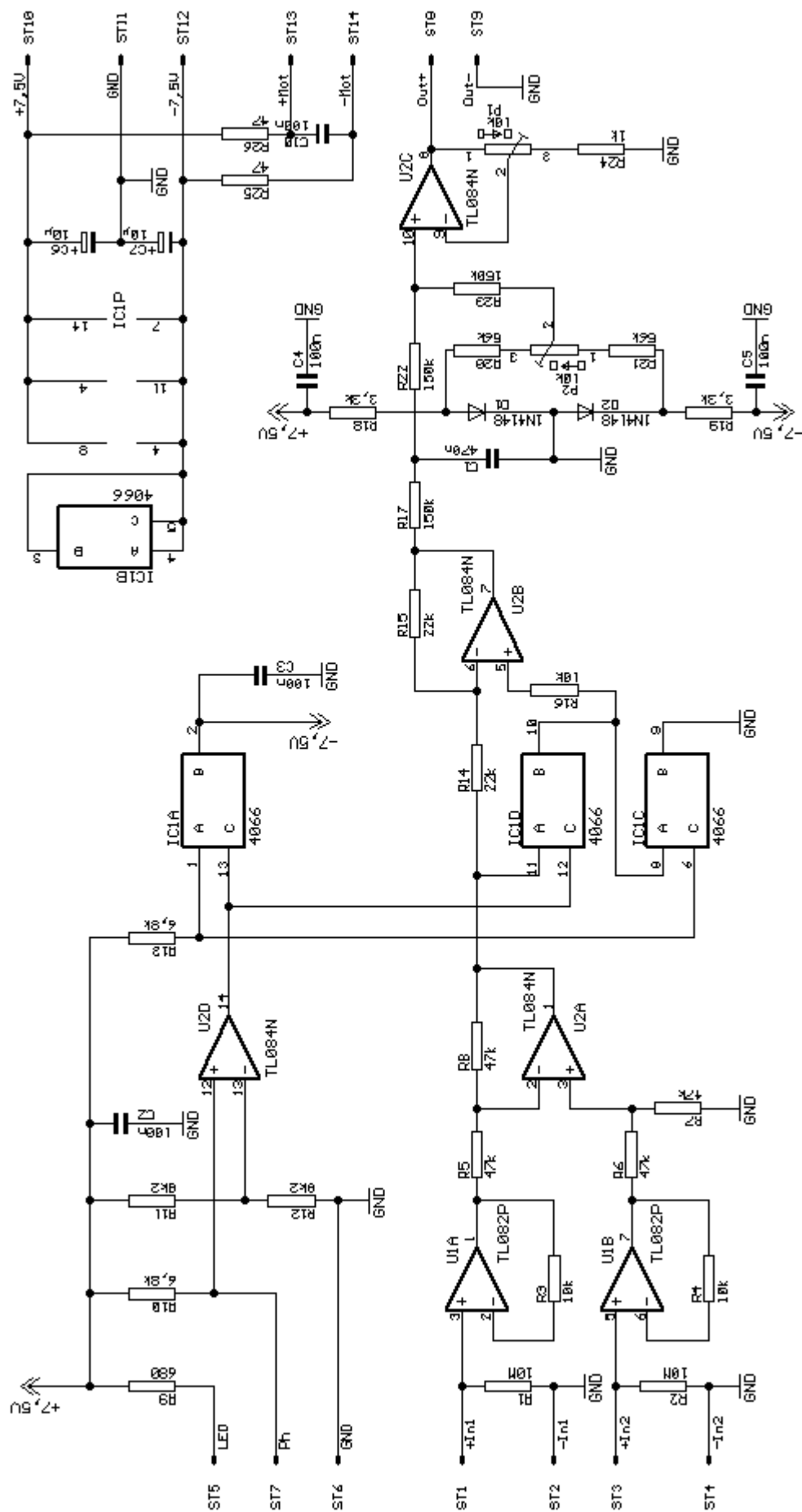
W zmodyfikowanym układzie przedstawionym na drugim schemacie dodano stopień wyjściowy z możliwością ustawienia zera wskazań za pomocą potencjometru P2. Elektrody pomiarowe dołączone są odpowiednio do kontaktów ST1 i ST3, dioda świecąca do kontaktu ST5, a fototranzystor (jego emiter i kolektor) do kontaktów ST6 i ST7. W stopniu odwracającym fazę pracuje przełącznik IC1A (4066) a jako wzmacniaczy operacyjnych użyto TL084. Całość jest zasilana napięciem symetrycznym +/- 7,5 V.

Następna strona: rys. 8.10

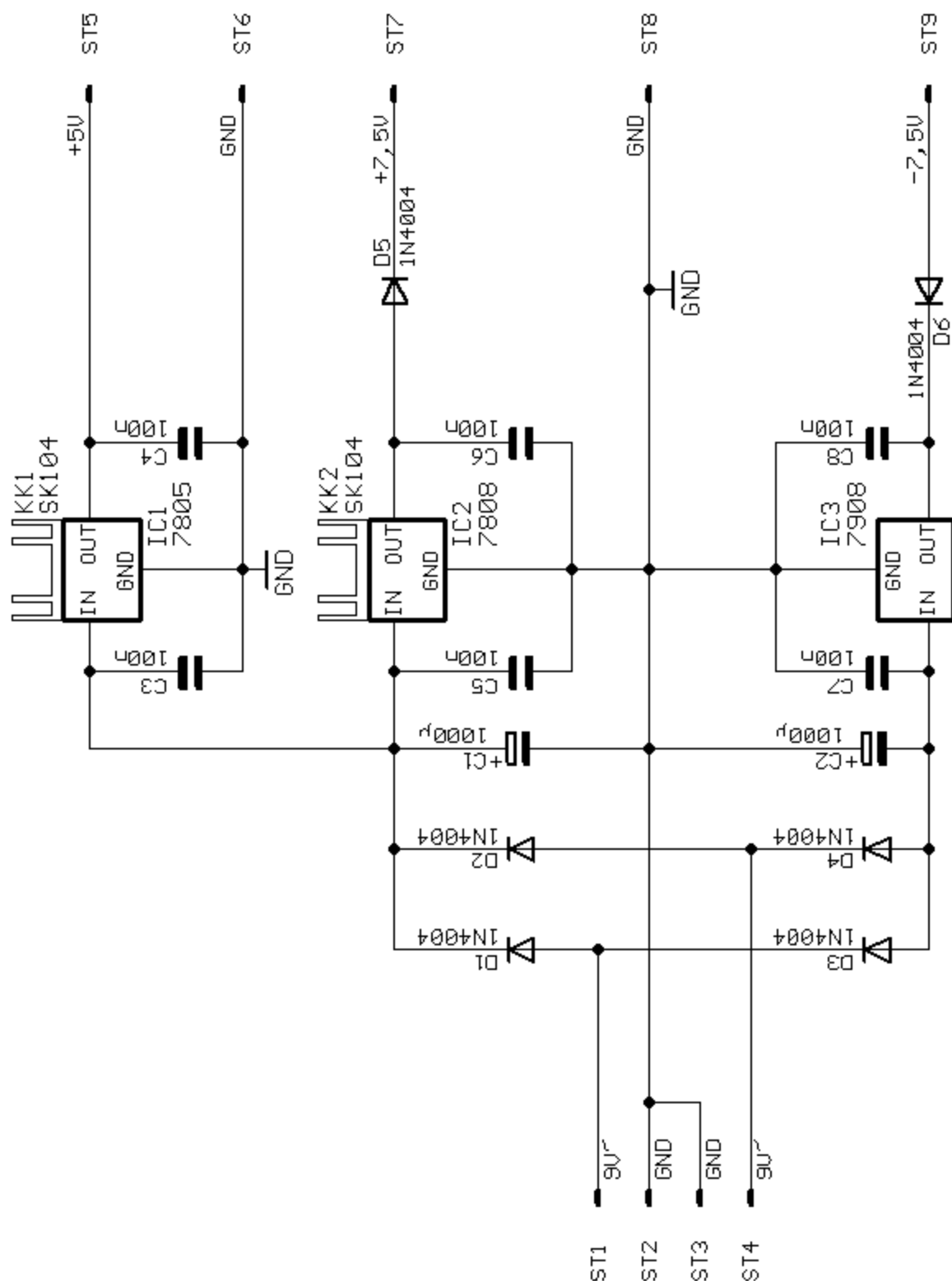


Auswertelektronik (DH1STF)	
TITLE: AS529_2	
Helmut Berka, DL2MAJ	REV: 1.0
Dornbuschweg 11, 86836 Obermeitingen	
Date: 11.12.2001 16:22:14	Sheet: 1/1

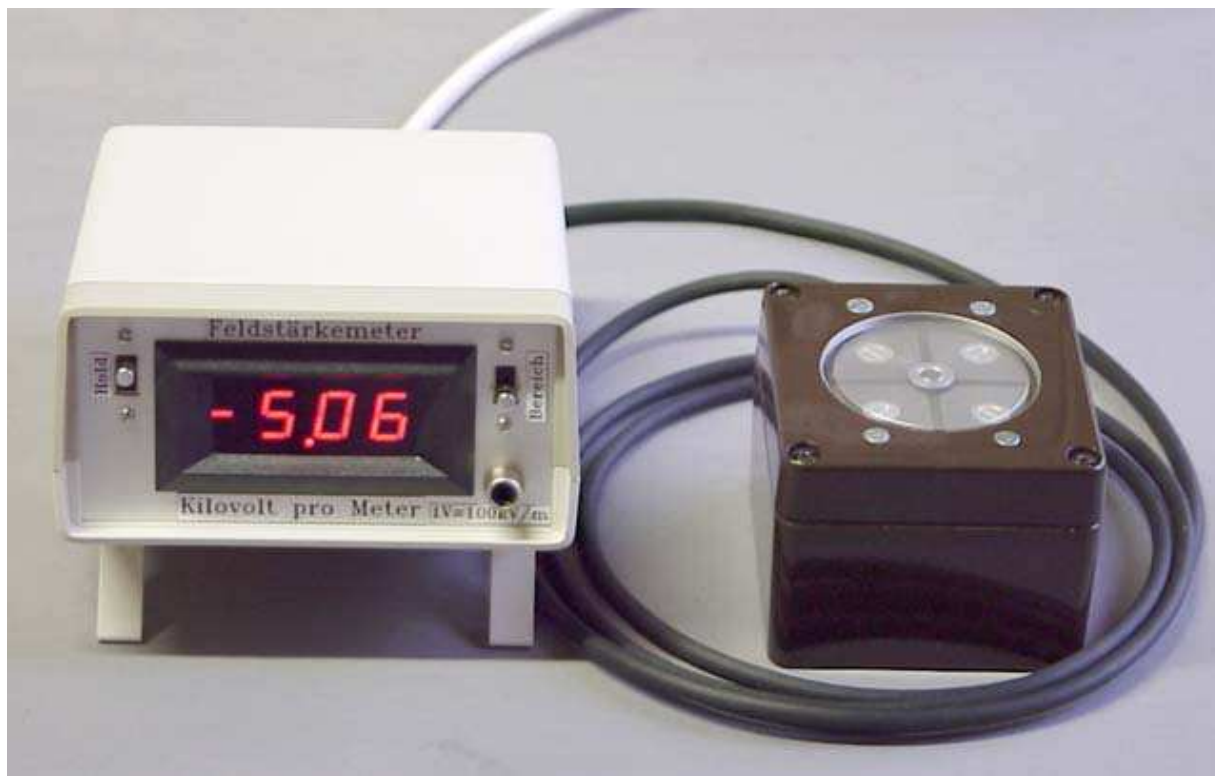




Rys. 8.11



Rys. 8.12. Schemat zasilacza do drugiego wariantu układu pomiarowego. Jest on konstruowany na standardowych scalonych stabilizatorach i nie wymaga szczegółowego omówienia. Napięcie 5 V służy do zasilania wbudowanego cyfrowego woltomierza. Ponieważ zmiany szybkości obrotu silnika (a w konsekwencji wiatraczka elektrometru) odbijają się ujemnie na dokładności pomiaru również napięcie zasilania silnika powinno być stabilizowane.



Fot. 8.13. Przykład konstrukcji mechanicznej przyrządu. Elektrometr umieszczony jest w obudowie aluminiowej o wymiarach 80 x 70 x 60 mm z wyciętym u góry okrągłym otworem. Powinna być ona połączona z przewodem uziemiającym w gniazdku sieciowym nie tylko ze względu na bezpieczeństwo użytkownika ale przede wszystkim ze względu na zapewnienie dobrego poziomu odniesienia (masy) dla elektrometru. Elektrometr nie powinien być umieszczony w obudowie plastikowej ponieważ wówczas zbliżenie ręki lub ciała ludzkiego powodowałoby zafałszowanie wyników pomiaru. Układ elektroniczny, zasilacz i woltmierz umieszczono w oddzielnej obudowie plastikowej.

Uruchomienie elektrometru

Prawidłowa praca detektora synchronicznego wymaga zapewnienia synchronizmu wiatraczków głównego i pomocniczego.

W celu dokonania kalibracji należy posłużyć się dwukanałowym oscyloskopem. Kanał pierwszy jest podłączony do nóżki 1 obwodu scalonego U2 (górny sygnał na ilustracji poniżej), a drugi z nóżką 14 U2 (wejściem sygnału z czujnika fotoelektrycznego) – przebieg środkowy na ilustracji. Zamiast tego można obserwować sygnał na nóżce 7 U3 (dolny na ilustracji).

Elektrody należy umieścić w polu elektrostatycznym wytworzonym na przykład przez potarcie (naelektryzowanie) plastikowej linijki. Sygnał pomiarowy w kanale górnym ma przebieg z grubsza zbliżony do sinusoidalnego. Położenie wiatraczka pomocniczego należy dobrać tak, aby przebieg w kanale 2 zmienił polaryzację dokładnie w momencie przejścia przebiegu pomiarowego przez zero.

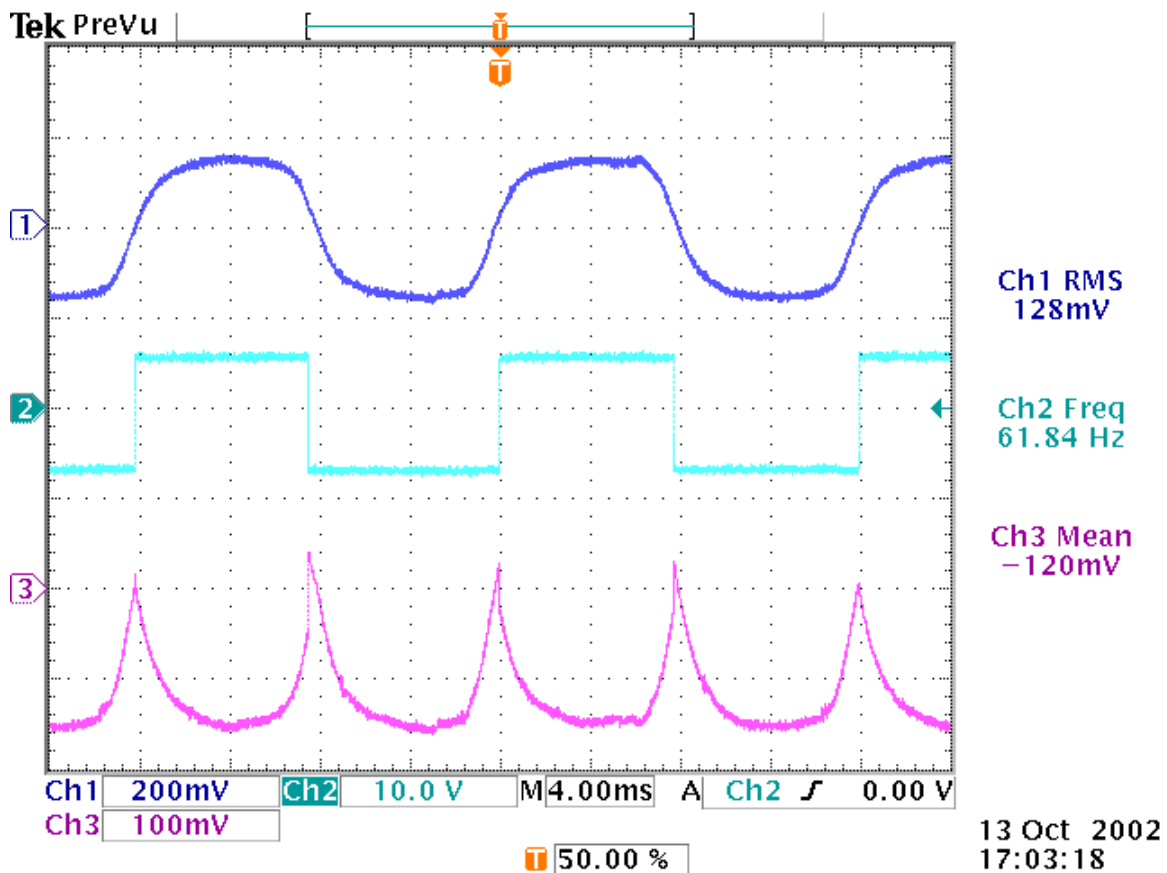
Napięcie wyprostowane (kanał 3 na ilustracji) musi być przy prawidłowym ustawieniu zawsze lub prawie zawsze ujemne.

Następnym krokiem jest ustawienie zera wskazań. W tym celu należy przykryć elektrometr metalową uziemioną płytką i ustawić potencjometrem P2 zero wskazań.

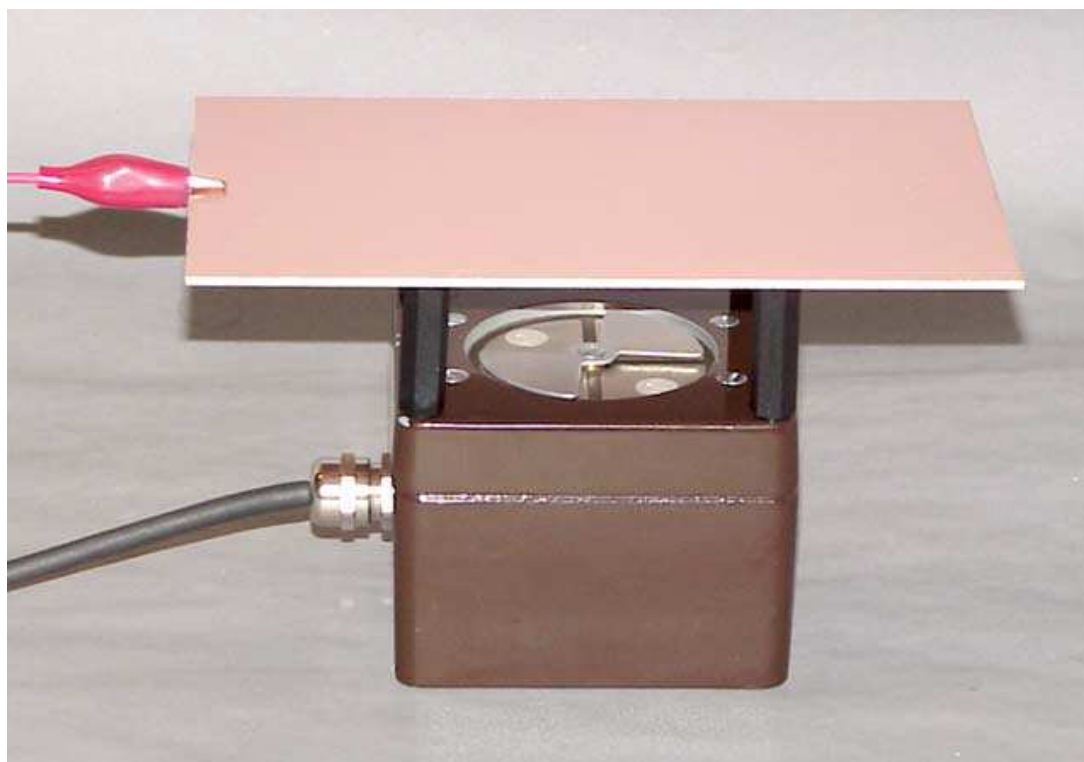
Dla sprawdzenia prawidłowości wskazań polaryzacji pola należy w pobliżu elektrometru umieścić płytkę metalową podłączoną do źródła napięcia stałego ok. 30 V. Jeżeli płytka jest podłączona do plusa źródła a jego minus jest połączony z masą wskazania woltmierza powinny być dodatnie. W przypadku błędnych wskazań należy zamienić ze sobą wejścia elektrod pomiarowych (ST1/2 z ST3/4).

W celu wykalibrowania miernika należy umieścić go w możliwie równomiernym polu elektromagnetycznym. Można je uzyskać kładąc na elektrometrze płytkę z laminatu na słupkach o wysokości 3 cm. Płytkę tę powinna być połączona z napięciem stałym 300 V (należy bezwzględnie zachować ostroż-

ność). Elektrometr znajduje się w polu o natężeniu 10 kV/m. Potencjometr P1 należy ustawić tak aby napięcie na wyjściu układu wynosiło dokładnie 100 mV.



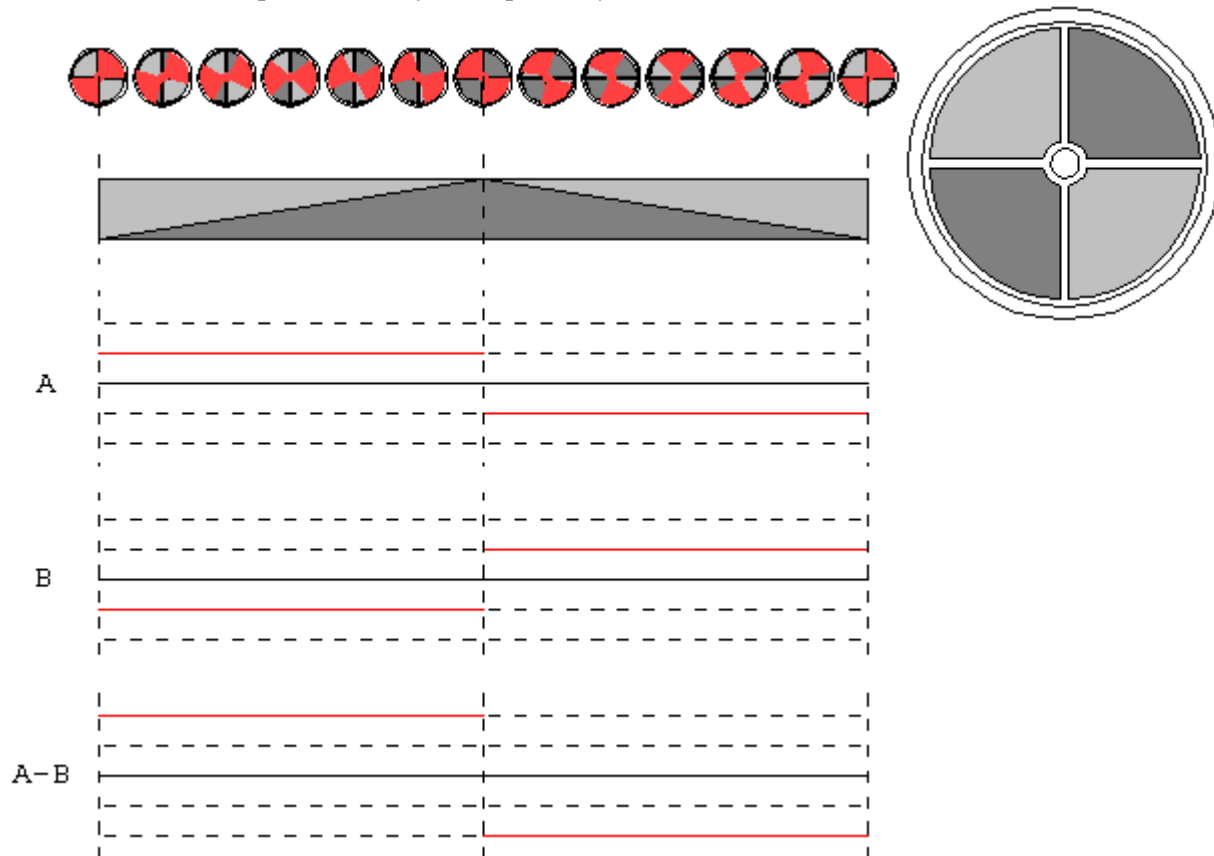
Rys. 8.14. Przebiegi napięć na oscyloskopie.



Fot. 8.15. Układ kalibracji wskazań

Udoskonalenie elektrometru

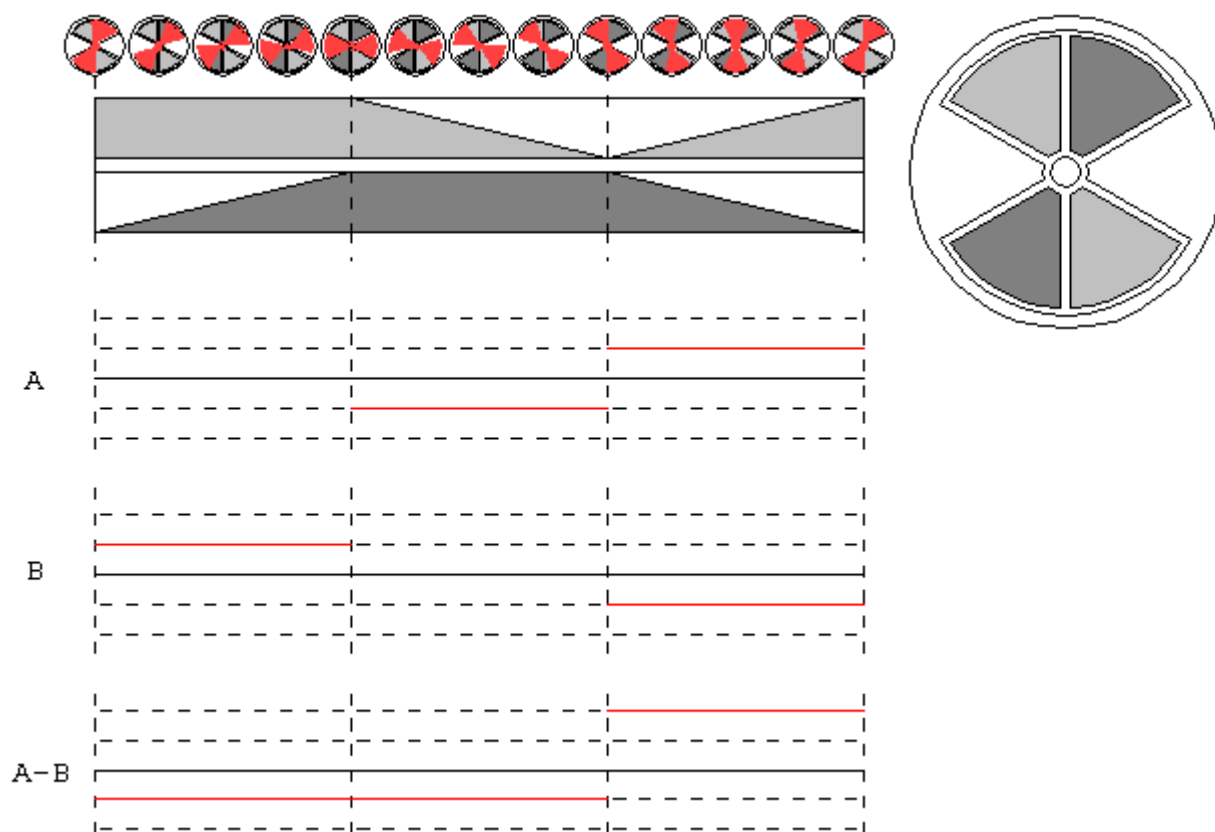
Klasyczne rozwiązania elektrometru parametrycznego zawierają dwie pary elektrod o szerokości kątowej po 90 stopni. Skrzydła wiatraczka mają oczywiście ten sam wymiar kątowy. Stopień zakrycia elektrod przez wiatraczek i przebiegi prądu w funkcji czasu na parach elektrod A i B oraz ich różnicę A–B przedstawia rysunek pierwszy.



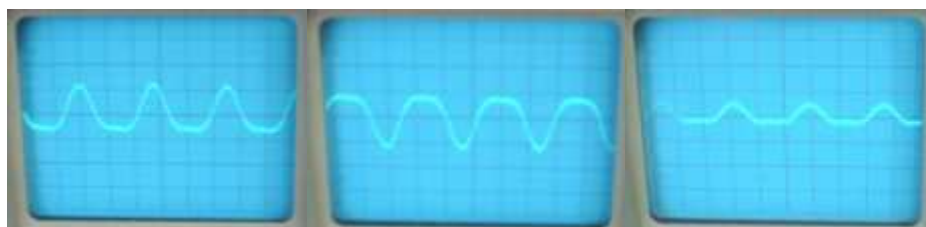
Rys. 8.16

Na ilustracji kolorem czerwonym zaznaczone jest położenie skrzydeł wiatraczka w kolejnych momentach czasu a kolorami jasno- (B) i ciemnoszarym (A) obie pary elektrod. Poniżej widoczny się wykres trójkątny przedstawiający zmiany stopnia zasłonięcia elektrod w funkcji czasu. Pomimo trochę różniącego się wyglądu odpowiada on wykresowi z poprzedniego podrozdziału. Również wykreślone poniżej przebiegi prądów w obwodach elektrod są identyczne.

Thomas Fischl (www.fischl.de) proponuje natomiast alternatywne rozwiązanie elektrometru, w którym obie pary elektrod i skrzydła wiatraczka mają szerokości kątowe po 60 stopni (trzeci sektor jest pusty). Podobnie jak na poprzednim rysunku kolorem czerwonym zaznaczono położenie skrzydeł wiatraczka w poszczególnych momentach czasu, a poniżej na dwóch wykresach widoczne są stopnie odsłonięcia względnie zasłonięcia elektrod w funkcji czasu oraz przebiegi prądów w ich obwodach. Dla stwierdzenia polaryzacji pola wystarczy w tym rozwiązaniu obserwacja przebiegu prądu bez konieczności jego prostowania w detektorze synchronicznym. Elektrometr w tym wydaniu nie musi posiadać więc ani pomocniczego wiatraczka ani czujnika światła co upraszcza w znacznym stopniu jego konstrukcję mechaniczną.



Rys. 8.17



Fot. 8.18. W zależności od polaryzacji pola elektrycznego większa część przebiegu obserwowanego na oscyloskopie ma wartość dodatnią lub ujemną, ale o polaryzacji pola informuje wartość napięcia w impulsach. Zautomatyzowana analiza przebiegu wymagałaby jednak użycia mikroprocesora.

Przykład fabrycznej konstrukcji elektrometru EFM-100 firmy Boltek

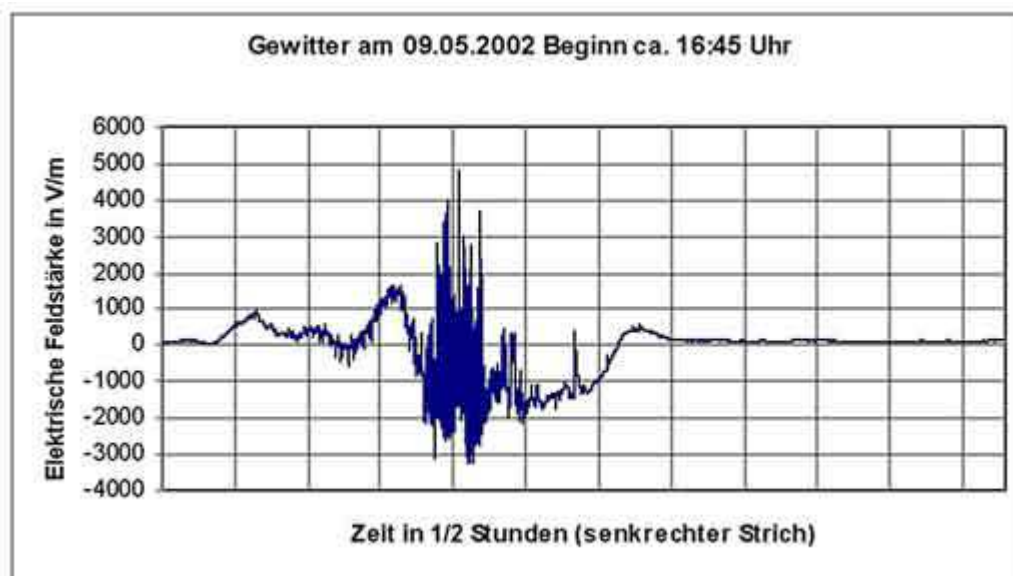


Fot. 8.19. Elektrometr produkcji fabrycznej

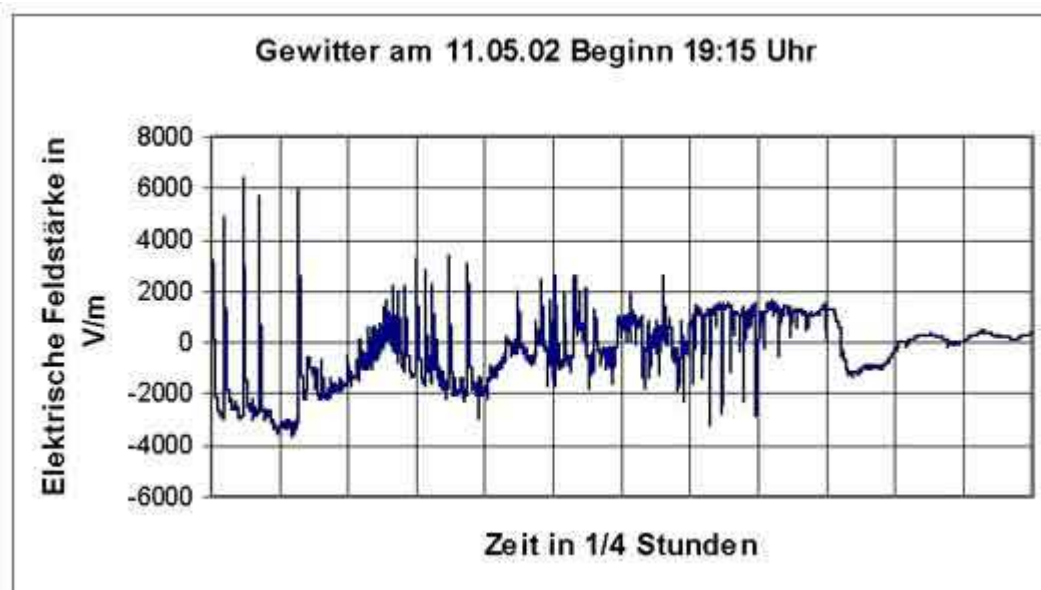
Obserwacje

Natężenie pola elektrostatycznego przy ładnej pogodzie wynosi ok. 200 – 300 V/m, a w trakcie burzy może dochodzić do kilku kV/m lub więcej. Opisany powyżej elektrometr może służyć do obserwacji zmian pola elektrostatycznego w wyniku nadciągających chmur lub burzy. Interesujące rezultaty dają obserwacje w trakcie zbliżania się niskich chmur deszczowych lub niosących opady śniegu (stratusów) a także obserwacje wyładowań wewnątrz chmur albo takich zjawisk meteorologicznych jak przejście frontu lub opady. Natomiast znajdujące się wysoko chmury pierzaste (cirrusy) lub kłębiaste (cumulusy) nie wywierają istotnego wpływu na elektrostatyczne pole ziemskie.

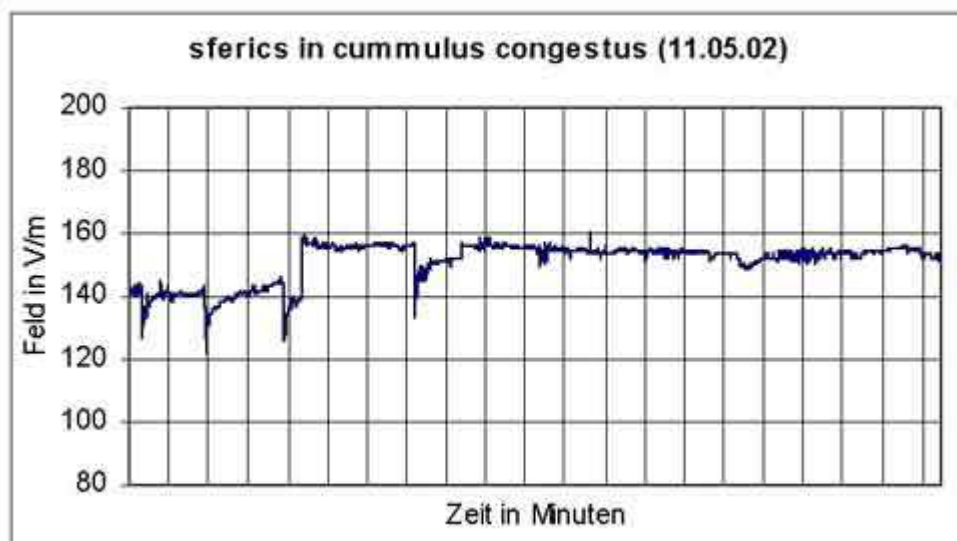
W trakcie obserwacji elektrometr powinien znajdować się na zewnątrz budynku możliwie oddalony od źródeł zakłóceń.



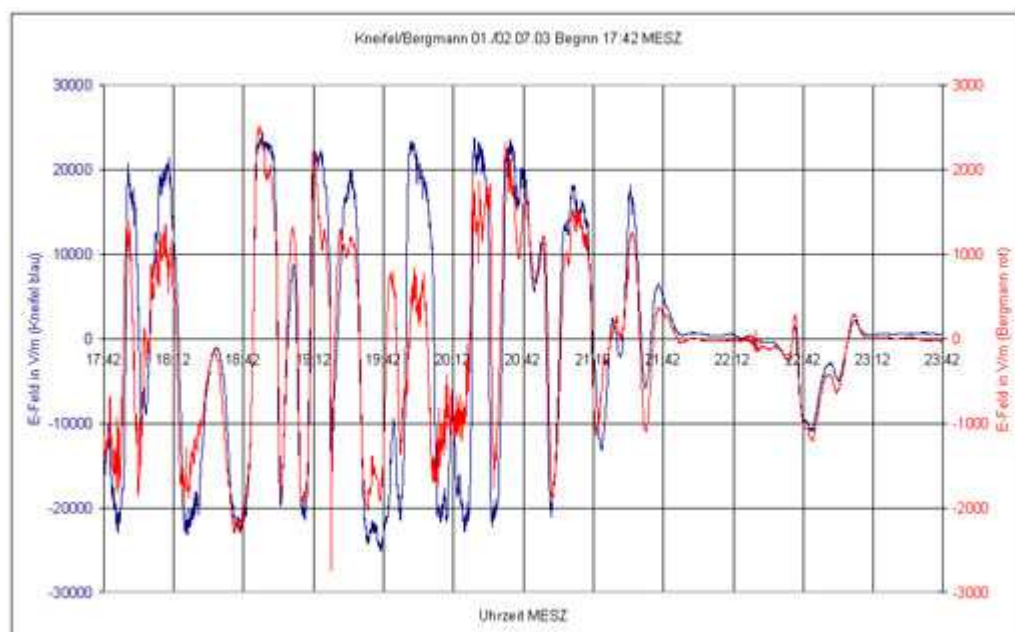
Rys. 8.20. Przykładowy przebieg zmian natężenia pola w trakcie burzy. Działka skali odpowiada pół godzinie. Natężenie pola w V/m. Pomiarów dokonywano w odstępach 5-sekundowych. Zmiany natężenia pola dały się zaobserwować jeszcze przed wystąpieniem burzy. Źródło DH1STF.



Rys. 8.21. Pomiar w trakcie burzy: skala czasu dwukrotnie rozciągnięta (15 min./działkę) w porównaniu z przebiegiem pierwszym. Pomiarów dokonywano w odstępach sekundowych. Źródło DH1STF.



Rys. 8.22. Wyładowania wewnętrzne w chmurach kłębiastych (cumulusach). Skala czasu: 1 min/działkę. Pomiary dokonywane w odstępach sekundowych. Wyładowania te można odbierać również za pomocą odbiornika średnioletowego. Zmiany natężenia pola występowały z opóźnieniem rzędu $\frac{1}{2}$ sekundy w stosunku do odbieranego przez radio trzasku. Źródło DH1STF.



Rys. 8.23. Przykładowy pomiar zmian pola spowodowanych przejściem frontu zimnego w połączeniu z następującą po nim falą opadów – wyniki z dwóch stacji pomiarowych oddalonych od siebie o ok. 1,5 km. Skala czasu: 30 min./działkę. Źródło DH1STF. Widoczna jest tutaj charakterystyczna cykliczność zmian o okresie poniżej 30 min. Przebiegi tego rodzaju były obserwowane i badane już w latach 1930-tych.

Dodatek A

Wpływ pogody na odbiór fal średnich

Interesujące zależności między sytuacją meteorologiczną i propagacją fal średnich przedstawiono w poz. [MITW]. Z wieloletnich obserwacji amerykańskich z końca XX w. wynika, że sytuacja meteorologiczna może wywierać duży wpływ na siłę odbieranych sygnałów średnio- i przynajmniej częściowo także długofalowych.

1. Grunt wilgotny lub pokryty śniegiem powoduje znacznie słabsze tłumienie fali przyziemnej dzięki jego większej przewodności. Różnicy w sile odbieranych sygnałów nie zaobserwowano jednak przy zamrożonym gruncie.

2. Występowanie anomalii jest szczególnie prawdopodobne w obszarach niżowych, natomiast w obszarach wyżowych panują warunki zwykłe.

3. Silne, przeważnie trudne do przewidzenia różnice w warunkach odbioru powodowane są przez fronty atmosferyczne, a szczególnie przez fronty zimne. Można liczyć się z tym, że będą to różnice krótkotrwałe i selektywne, ich mechanizm występowania nie jest jeszcze wyjaśniony, ale mogłoby to oznaczać wpływ zjawisk atmosferycznych na jonosferę.

Zbliżanie się frontu powodowało odbiór stacji średniofalowych nieodbieralnych normalnie lub wyraźny wzrost siły odbieranych sygnałów, przy czym nie musi to dotyczyć odbioru stacji z kierunku nadchodzącego frontu.

4. Niż panujący w miejscu odbioru lub w jego pobliżu powodował znaczący wzrost siły sygnałów radiofonicznych stacji średniofalowych w porze nocnej. Obserwacje prowadzone na Uniwersytecie stanu Wirginia wykazały w przybliżeniu 95% korelację pomiędzy wzrostem siły sygnału po zmierzchu w stosunku do stanu przecietnego, a zbliżaniem się niżu. Obniżenie jej oznaczało natomiast nadejście wyżu. Podobną tendencję zaobserwowano również na falach długich.

Z obserwacji prowadzonych we Włoszech wynikało, że czasie niżu lub zbliżania się go od strony północnej wzrasta niespodziewanie stopień jonizacji warstwy E, tak że zaczyna ona w nocy ponownie odbijać sygnały średniofalowe.

W trakcie innych obserwacji amerykańskich zaobserwowano wzrost częstotliwości krytycznej warstwy F2 w czasie spadku ciśnienia przed nadejściem huraganu z maksimum zbiegającym się z minimalnym ciśnieniem. Oznaczało to oczywiście wzrost stopnia jonizacji warstwy.

Przedstawione powyżej zależności nie można uznać mimo to za w pełni potwierdzone. Być może warunki meteorologiczne są tylko jedną z przyczyn powstawania nietypowych warunków propagacji.

Dalsze systematyczne obserwacje z uwzględnieniem poziomu aktywności geomagnetycznej i słonecznej mogą w każdym wypadku przynieść interesujące wyniki.

Oprócz prądów konwekcyjnych związanych z frontami atmosferycznymi i obszarami niżowymi i odbijających się na natężeniu prądów płynących w wyniku ruchu ładunków elektrycznych w jonosferze na jonizację atmosfery mogą mieć wpływ także zmiany steżenia wydzielanego radonu – intensywności wydzielania.

Prąd powodujący w nocy wzrost, szcztkowej w tym czasie, jonizacji warstwy E – przez co zaczyna ona ponownie w jakimś stopniu odbijać fale średnie – w dzień powinien by przyczyniać się do wzrostu stopnia jonizacji warstwy D. Wpływ na warstwę D może być jednak pomijalny i nie powodować zauważalnego pogorszenia odbioru fal średnich, ponieważ warstwa ta jest wówczas i tak silnie zjonizowana.

Różnice w sile sygnałów średniofalowych w warunkach niżowych autor zaobserwował m.in. przy odbiorze stacji z Mediolanu (900 kHz) i z Barcelony (738 kHz) w Wiedniu w godzinach porannych w końcowej fazie propagacji nocnej. Stacje te nie są w Wiedniu odbierane w dzień.

Dodatek B

Barometr chemiczny

Barometr chemiczny (niem. *Sturmglas*; ang. *Fitzroy storm glass*) to szklane naczynie (najczęściej probówka) wypełniona (nasyconym) roztworem soli i kamforą, który w zależności od zbliżającej się pogody zmienia wygląd – pojawiają się kryształki, płatki itd.

Przyrząd został rozpowszechniony przez admirała Roberta Fitzroya chociaż wcześniejsze konstrukcje były znane już w połowie XVIII w. lub nawet w XVII w. W XIX w. obowiązkowo znajdował się w każdym porcie i na większości statków gdyż przewidywanie pogody poprawiło bezpieczeństwo marynarzy.

Według niektórych teorii metoda wykorzystuje oddziaływanie temperatury i ciśnienia na rozpuszczalność substancji, a odpowiednie wyniki pozwalają odczytać zbliżającą się pogodę z wyprzedzeniem 12-48 godzin. Inne z teorii rozważają wpływ oświetlenia, fal radiowych lub pól elektrostatycznych, ale zasada działania instrumentu nie została dostatecznie wyjaśniona do chwili obecnej.

Składniki:

- 2,5 g azotanu potasu, KNO_3
- 2,5 g chlorku amonu, NH_4Cl
- 33 ml wody destylowanej H_2O
- 40 ml alkoholu etylowego $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$
- 10 g kamfory (naturalnej) $\text{C}_{10}\text{H}_{16}\text{O}$

Według jednego z przepisów należy najpierw wlać do naczynia spirytus i rozpuścić w nim kamforę, następnie dodać sole o ciepłą wodę i dobrze wymieszać. Naczynie należy zamknąć hermetycznie. Uzasadnieniem dla tak przyjętej kolejności postępowania jest fakt, że kamfora źle się rozpuszcza w wodzie natomiast dobrze w alkoholu.

Wyniki obserwacji:

1. Roztwór przejrzysty – piękna pogoda
2. roztwór mętny – pochmurno z możliwymi opadami
3. małe kuleczki w roztworze – mgła
4. szkło zamglone zapowiada burzę z piorunami
5. jeżeli w roztworze unoszą się małe gwiazdki podczas słonecznego zimowego dnia – zapowiada śnieg
6. duże płatki w roztworze oznaczają zachmurzenie w klimacie umiarkowanym lub śnieg zimą
7. kryształki na dnie zapowiadają mróz
8. igiełki i nitki na powierzchni zapowiadają wietrzną pogodę

Zasada działania instrumentu i powiązanie jej z jakimiś zjawiskami meteorologiczno-fizycznymi nie są do dzisiaj dostatecznie wyjaśnione.

Analizując dokładniej działanie instrumentu trzeba zauważyć, że naczynie szklane jest zamknięte hermetycznie aby roztwór nie wyparował, a więc można od razu wykluczyć wpływ ciśnienia atmosferycznego i jego zmian. Aby mógł on reagować na zmiany temperatury zewnętrznej musiałby być stale umieszczony na zewnątrz co chyba na dawniejszych statkach było niemożliwe ze względu na niebezpieczeństwo zniszczenia, a poza tym obserwacja byłaby wygodniejsza gdyby znajdował się on na mostku lub w kajucie kapitana albo któregoś z oficerów. W takim przypadku reagowałby on jednak na zmiany temperatury w pomieszczeniu tylko bardzo luźno związane z wydarzeniami meteorologicznymi.

Przeciwno teorii sugerującej reakcję na zmiany temperatury przemawia także fakt, że barometr taki reagowałby na dobowy cykl zmian temperatury powodując w rzeczywistości tylko fałszywe alarmy. W takim przypadku byłby on zresztą zbędny ponieważ zmiany temperatury można odczytać z termometru. Trudno też wytłumaczyć dlaczego mógłby on służyć do przepowiadania pogody z takim wyprzedzeniem.

Zasadniczo brakuje także uzasadnienia dla zależności od oświetlenia z podobnych przyczyn jak w przypadku temperatury.



Fot. B.1. Przykłady rozwiązań współczesnych barometrów chemicznych. Źródło: internet.

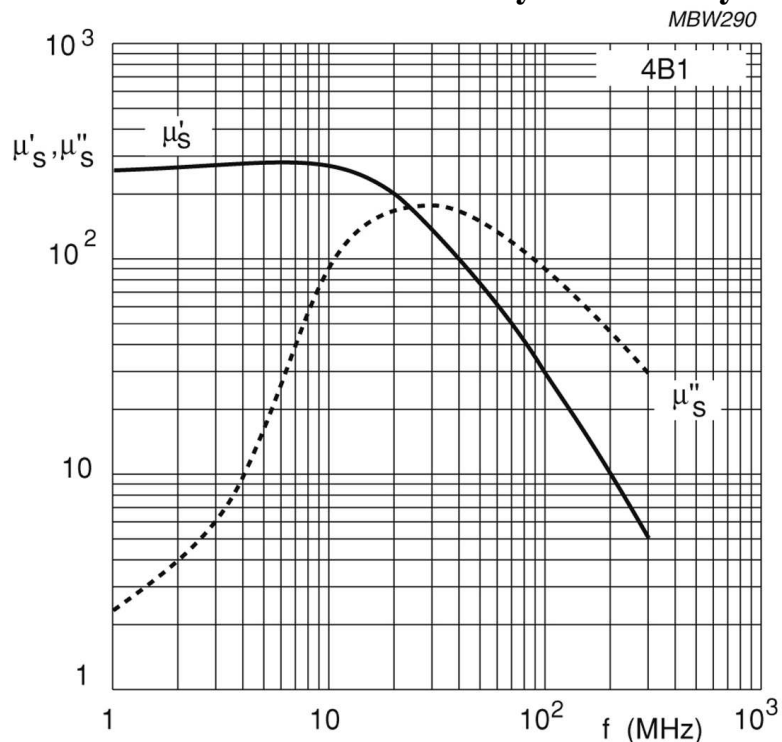
Do prawdopodobnych teorii należy natomiast teoria wpływu fal elektromagnetycznych związanych z wyładowaniami burzowymi lub spowodowanymi innymi zjawiskami meteorologicznymi albo też związanych z nimi pól elektrostatycznych. Wyjaśnienie procesów powodujących zmianę stanu roztworu wymagałoby z pewnością szczegółowych badań, ale teoria ta wyjaśniałaby dlaczego instrument reaguje na nadchodzące zmiany z pewnym wyprzedzeniem, a na dodatek nie musiałby on wówczas być umieszczony wyłącznie na zewnątrz ponieważ fale radiowe o wchodzących w grę częstotliwościach wnikają bez trudu do pomieszczeń. Autorem jednej z takich teorii opierającej się na wpływie fal długich i bardzo długich jest Hans Baumer [HBSF].

Oznaczałoby to jednocześnie, że wszechobecne zakłócenia radiowe mogą współcześnie uniemożliwić przepowiadanie pogody w ten sposób na znacznej części obszarów rozwiniętych technicznie krajów. Mogły by to sugerować także dawniejsze opisy, z których wydaje się wynikać, że barometr chemiczny dawniej funkcjonował lepiej aniżeli da się to stwierdzić obecnie. W odróżnieniu od odbiorczych układów elektronicznych instrument chemiczny nie dysponuje przecież dostateczną selektywnością aby wyeliminować wpływ zakłóceń elektromagnetycznych.

W żadnym ze znanych autorowi źródeł nie poruszano sprawy wpływu pól elektrostatycznych. Ważne byłoby jednak sprawdzenie tej hipotezy.

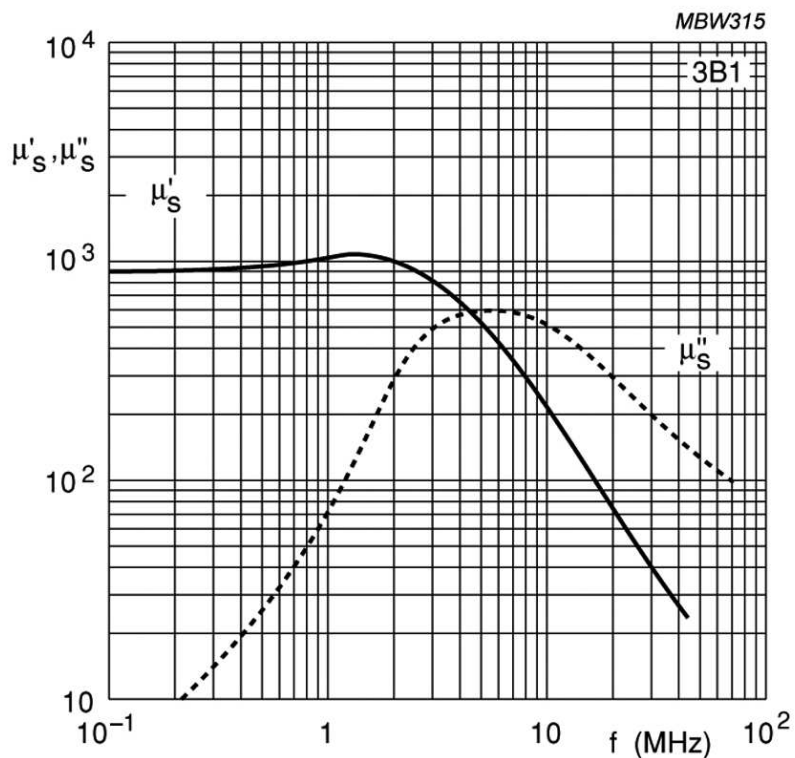
Dodatek C

Właściwości częstotliwościowe niektórych materiałów ferromagnetycznych stosowanych na anteny ferrytowe



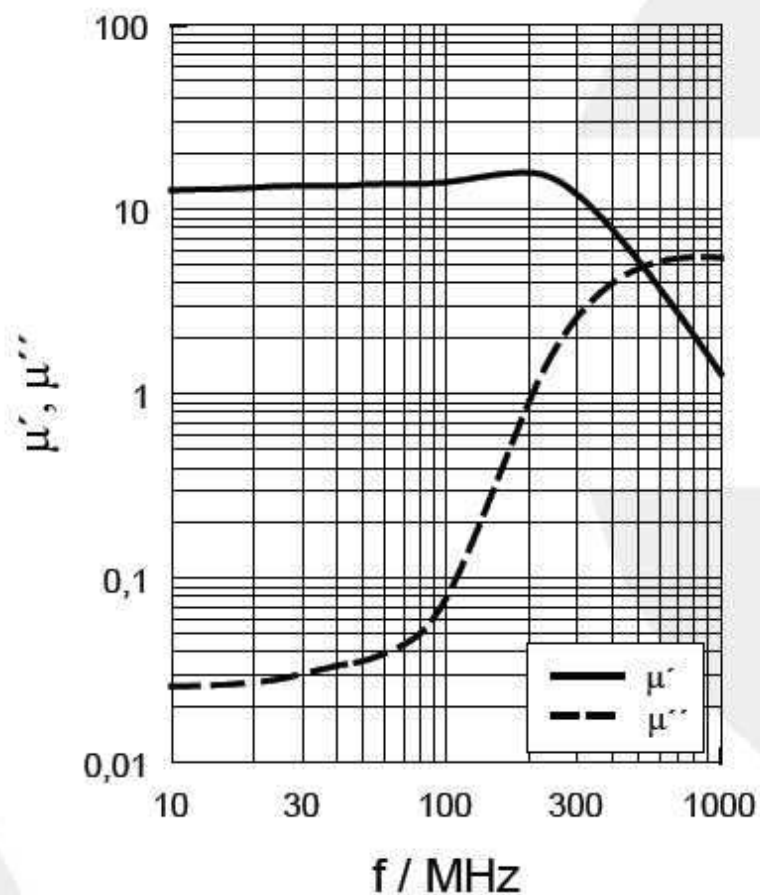
Źródła: katalogi producentów.

Rys. C.1. Materiał 4B1 (Amidon).
Ferryt niklowo-cynkowy

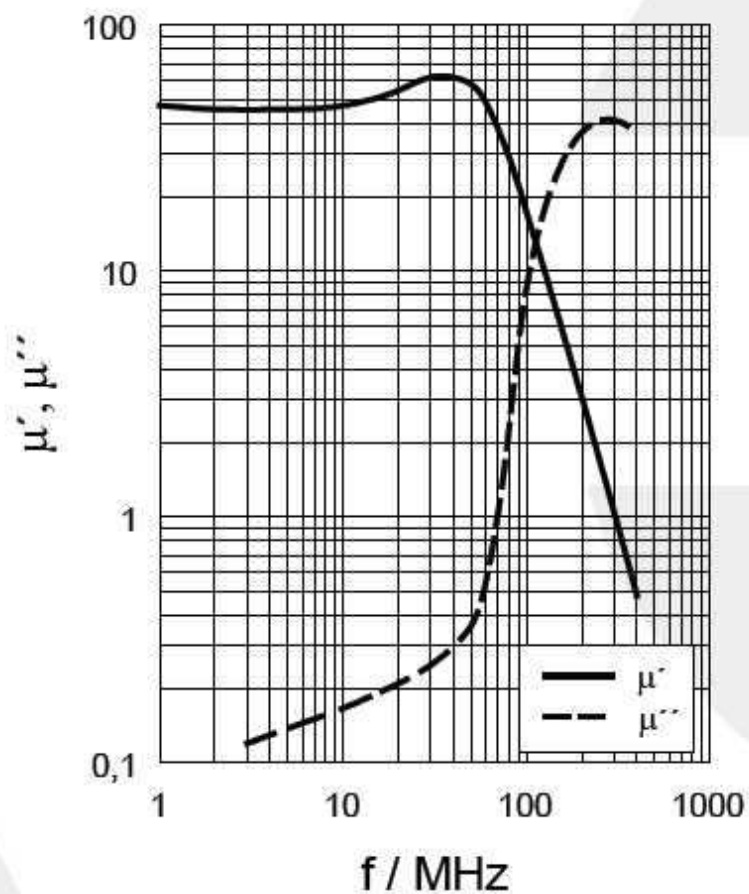


(Amidon). Ferryt manganowo-cynkowy

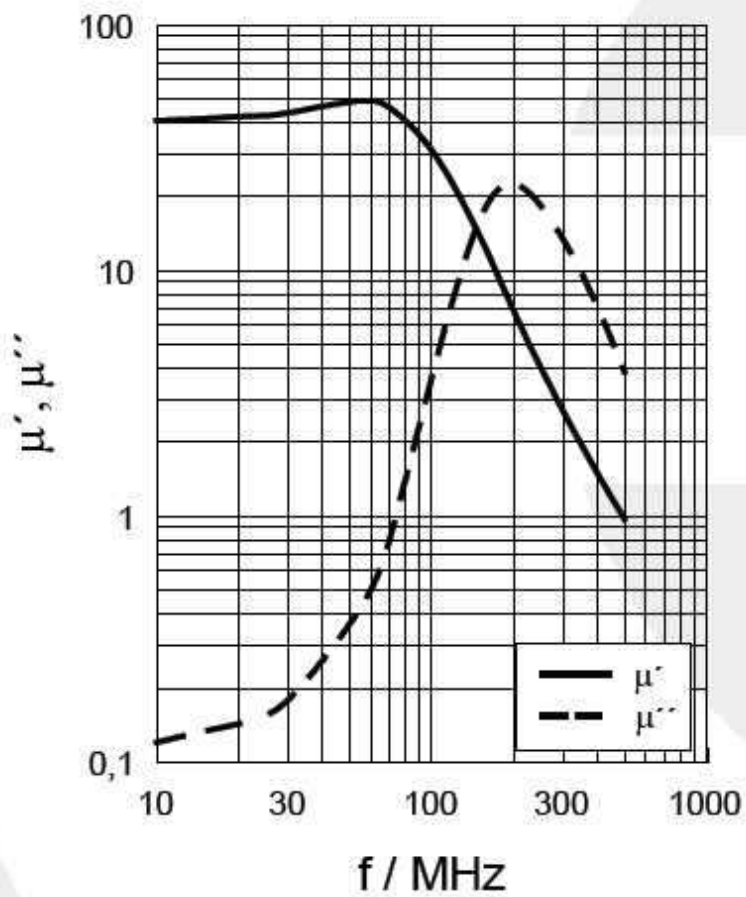
Rys. C.2. Materiał 3B1



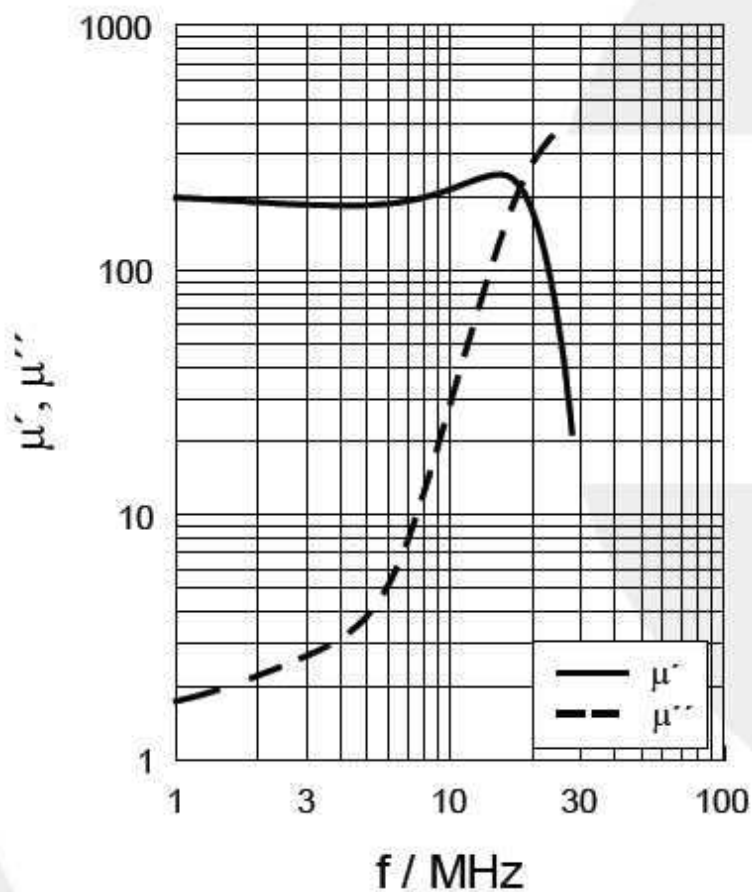
Rys. C.3. Materiał K14 (Kaschke)



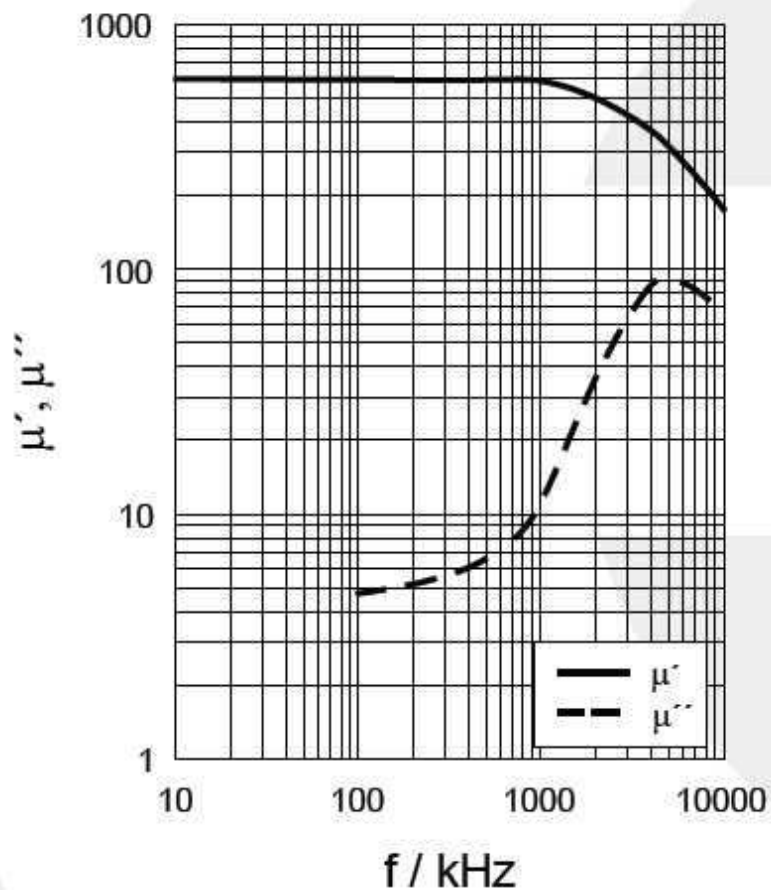
Rys. C.4. Materiał K41 (Kaschke)



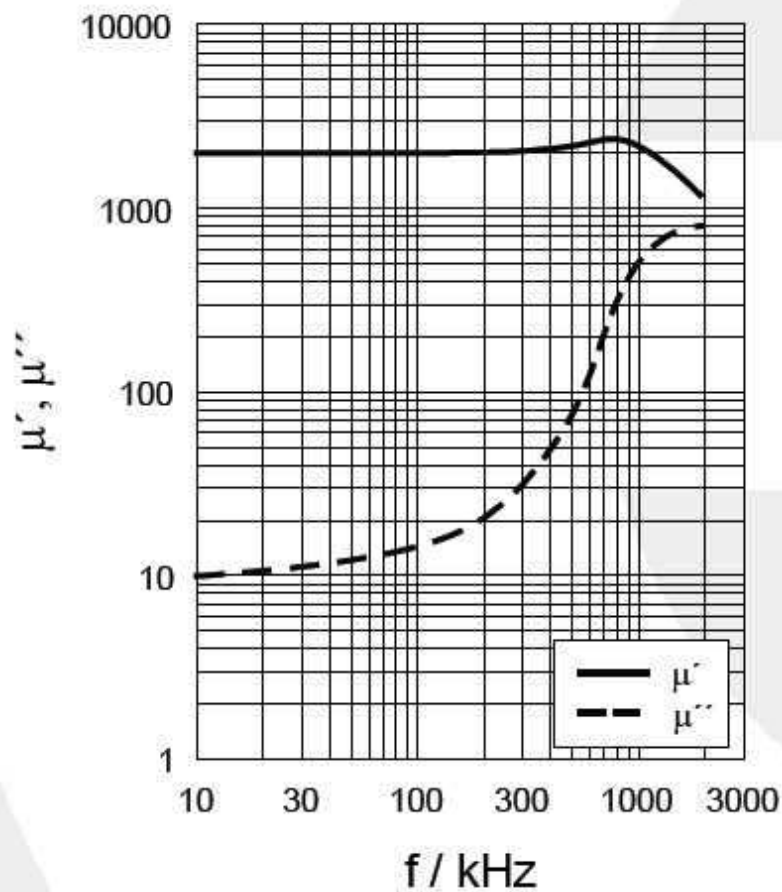
Rys. C.5. Materiał K40 (Kaschke)



Rys. C.6. Materiał K250 (Kaschke)

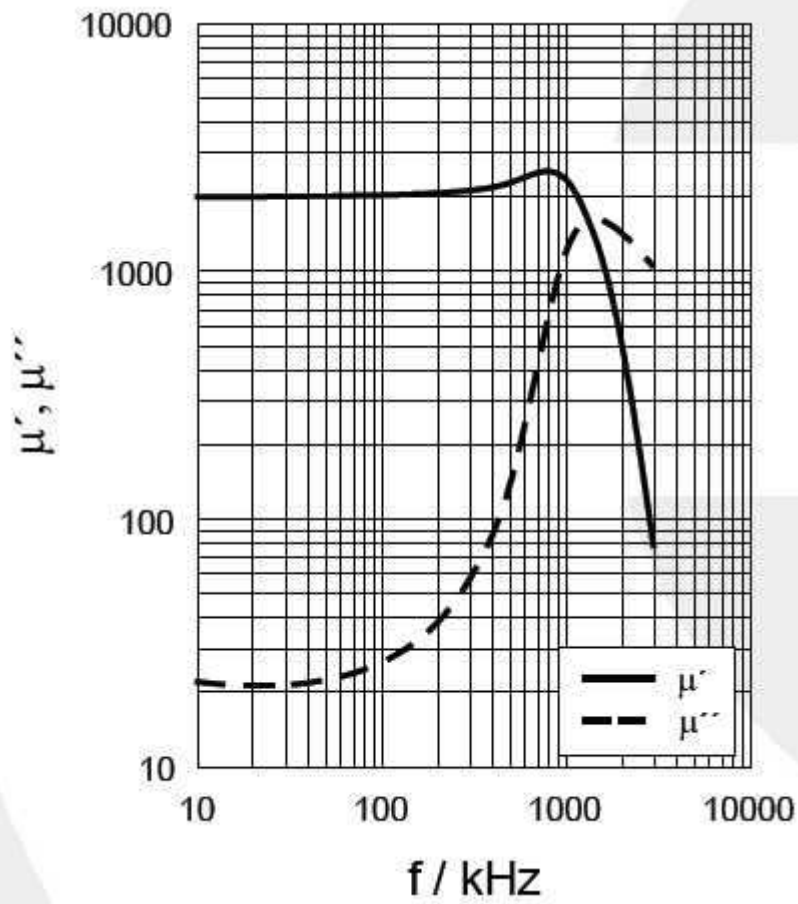


Rys. C.7. Materiał K600 (Kaschke)



Rys. C.8. Materiał K2006

(Kaschke)



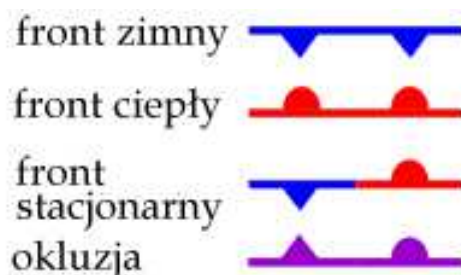
(Kaschke)

Rys. C.9. Materiał K2004

Dodatek D

Fronty atmosferyczne

W meteorologii granica mas powietrza o różnych właściwościach (a więc i różnych gęstościach) jest nazywana frontem. Z frontami wiążą się przeważnie gwałtowne zmiany ciśnienia powietrza, jego temperatury i kierunków wiatrów, a także występowaniem charakterystycznych dla każdego z nich formacji chmur i gwałtownymi zmianami pogody oraz możliwością występowania burz. Fronty są zjawiskami związanymi z obszarami niżowymi. Rozróżniane są ich trzy rodzaje: fronty zimne, ciepłe i zokludowane. W przypadku frontu zimnego chłodne masy powietrza poruszają się w kierunku mas ciepłych, w przypadku frontu ciepłego panuje sytuacja odwrotna, natomiast front zokludowany powstaje w wyniku dogonienia frontu ciepłego przez zimny. W przypadku frontu stacjonarnego masy powietrza poruszają się równoległe do niego lub też znajdują się w bezruchu.



Rys. D.1. Symbole frontów na mapach meteorologicznych

Na granicach mas powietrza dochodzi do ich wymieszania, a ponieważ różnice temperatur po obu stronach frontu są przeważnie znaczne może także dojść do przesylenia powietrza parą wodną (wilgotność względna przekracza 100%), jej kondensacji, powstawania w wyniku tego chmur i opadów (a także mgieł i burz).

Powiązanie frontów z obszarami niskiego ciśnienia (niżami) oznacza, że na półkuli północnej zimne masy powietrza polarnomorskiego docierają od strony zachodniej dążąc w kierunku południowym, natomiast ciepłe masy powietrza z tropiku – od strony wschodniej i dążą w kierunku północnym. Rozróżnia się fronty stacjonarne i dynamiczne. Pierwsze z nich nie zmieniają swojego położenia lub zmieniają je tylko nieznacznie, natomiast fronty dynamiczne poruszają się stosunkowo szybko.

W przypadku frontów zimnych:

- Zimne powietrze wsuwa się pod warstwy ciepłego z szybkościami rzędu 30–40 km/h.
- W przekroju pionowym nachylenie linii frontu rzędu 1:50.
- Przed frontem wyższa temperatura powietrza, za nim chłodniejsze.
- Szybkie ochładzanie wstępującego powietrza, wstępowanie na znaczne wysokości, kondensacja pary wodnej, opady, burze.
- Obszar opadów ograniczony do okolicy frontu i obszaru za nim.

W przypadku frontów ciepłych:

- Ciepłe masy powietrza nasuwają się na zimne z szybkościami rzędu 10–20 km/h.
- Niewielkie nachylenie linii frontu w przekroju pionowym rzędu 1:200.
- Szybkość ruchu frontu w przybliżeniu o połowę niższa niż dla frontów zimnych.
- Temperatury chłodne przed frontem, ciepłe – za nim.
- Powietrze ochładza się co prowadzi do kondensacji pary wodnej i opadów.
- Szeroki obszar opadów rozpoczyna się daleko przed frontem.
- Przed frontem występują chmury pierzaste (cirrusy, Ci) pędzone przez silne wiatry na dużych wysokościach.
- W miarę zbliżania się frontu następuje obniżenie dolnej granicy chmur.

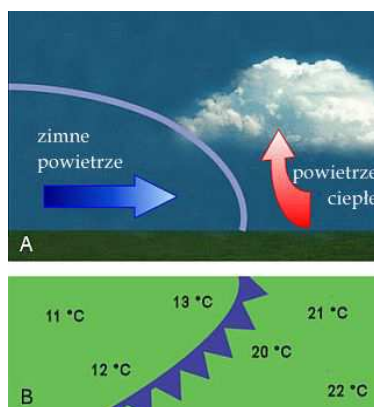
W przypadku frontów stacjonarnych”

- Zderzają się dwie masy powietrza.
- Prawie całkowity brak ruchów powietrza w kierunku frontu.

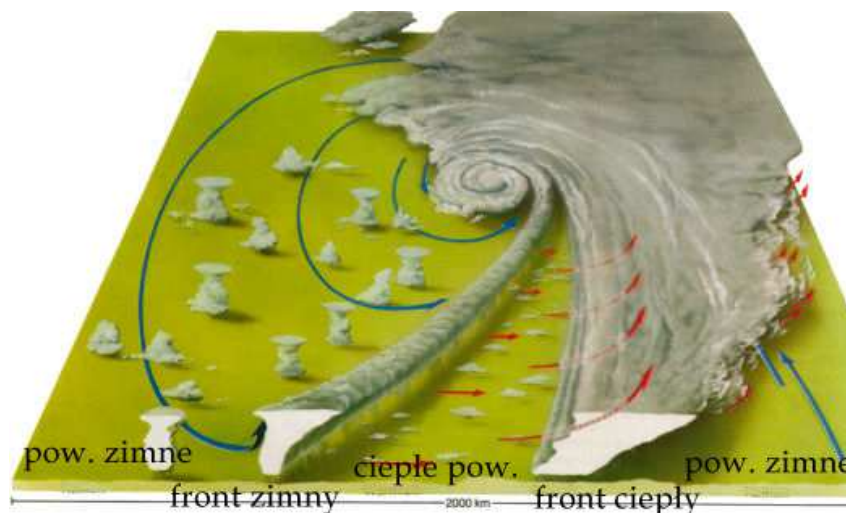
- Na powierzchni ziemi wiatry równoległe do linii frontu, w kierunkach przeciwnych do siebie po każdej ze stron.
- Wiatry na dużych wysokościach wieją równoległe do linii frontu.
- W przypadku dostatecznej zawartości wilgoci w powietrzu opady jak w warunkach frontu ciepłego.
- Fronty stacjonarne mogą przebywać bez ruchu lub prawie bez ruchu przez kilka dni.

Fronty zokludowane:

- Powstają gdy front zimny dogania front ciepły lub zderza się z innym frontem zimnym.
- Ciepłe masy powietrza unoszą się w górę i oddalają od powierzchni ziemi.
- Ochłodzenie powietrza i kondensacja pary wodnej prowadzą do opadów.
- Pogoda burzowa w przypadku dogonienie frontu ciepłego przez zimny.
- Okluzja zimna występuje gdy chłodne powietrze doganiającego frontu jest zimniejsze od powietrza przed linią frontu ciepłego. Przeważnie prowadzi to do występowania burz.
- Okluzja ciepła występuje gdy zimne powietrze za frontem zokludowanym jest cieplejsze niż zimne przed doganianym frontem ciepłym.



Rys. D.2. Front zimny w przekroju pionowym i na powierzchni ziemi



Rys. D.3. Niż na półkuli północnej

Niżem nazywany jest obszar atmosfery, w którym panuje ciśnienie niższe niż w szerszym obszarze otaczającym go. Jako granicę między obszarami niżowymi i wyżowymi przyjęto ciśnienie 1013 hPa. Rozróżnia się niży termiczne i dynamiczne zwane też cyklonami (nie należy mylić tego pojęcia z pojęciem cyklonów tropikalnych).

Zmiany gęstości powietrza w obszarze niżu termicznego powstają w wyniku ogrzania promieniowaniem słonecznym lub ochłodzenia mas powietrza.

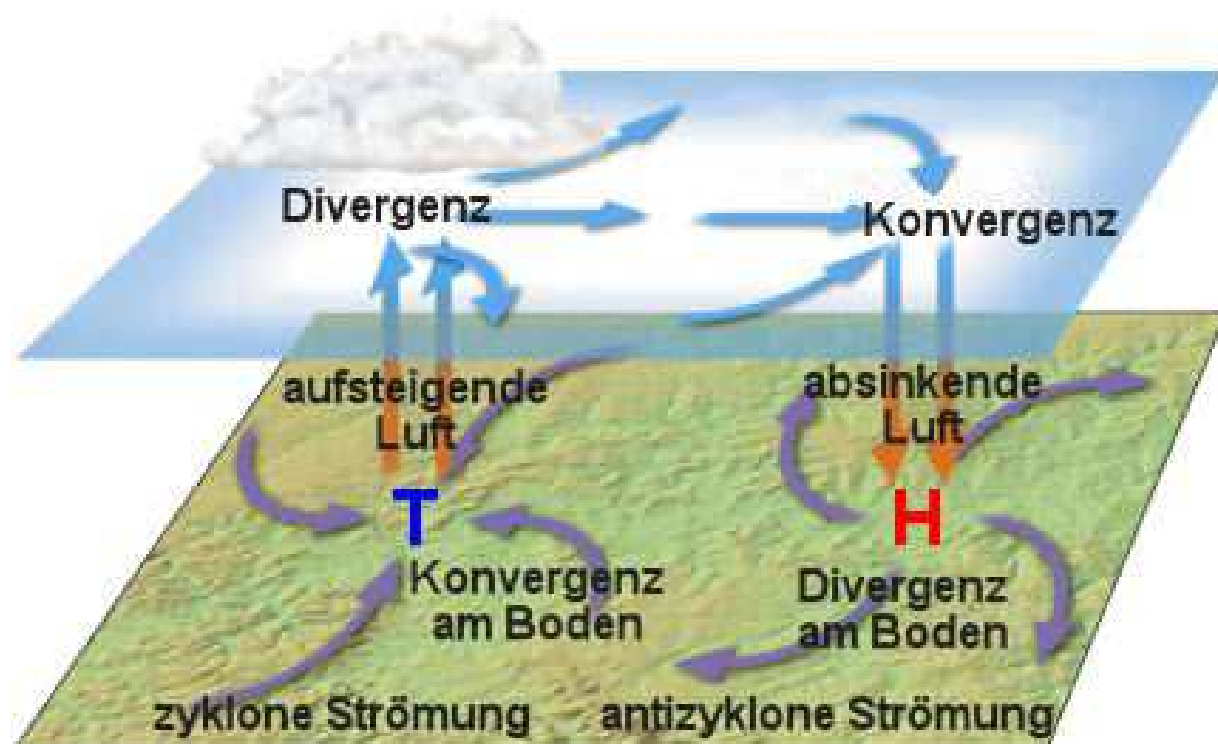
Niż przyziemny powstaje w wyniku ogrzania mas powietrza przez promieniowanie słoneczne. Ogrzane powietrze o mniejszej gęstości odrywa się od ziemi i unosi w górę. Powoduje to obniżenie ciśnienia

w pobliżu powierzchni ziemi i dopływ powietrza z obszarów otaczających – czyli zjawiska określane jako termika.

Niż wysokościowy powstaje na dużych wysokościach (kilku kilometrów, często na wysokościach około 5 km) w wyniku opadania zimnego powietrza co powoduje obniżenie ciśnienia w tym obszarze i podwyższenie ciśnienia w pobliżu powierzchni ziemi. W obszarze tym panują temperatury niższe aniżeli w obszarach otaczających. Często wpływ na sytuację na powierzchni ziemi jest niewielki lub wogóle niezauważalny.

Niże dynamiczne powstają gdy prądy powietrza w pobliżu ziemi dążą do wspólnego środka i rozchodzą się na dużych wysokościach. Powietrze w środkowym obszarze unosi się w górę powodując obniżenie ciśnienia.

Średnice obszarów niżowych mogą dochodzić nawet do 2000 km.



Rys. D.4. Cyrkulacja powietrza w obszarach niżowych i wyżowych (T – obszar niżowy, H – obszar wyżowy, *divergenz* – rozchodzenie się prądów powietrznych, *konvergenz* – ich schodzenie się; w górze lub na powierzchni ziemi – *am Boden*). W obszarze niżowym występują prądy wznoszące (*aufsteigende Luft*), a w wyżowym – opadające (*absinkende Luft*).

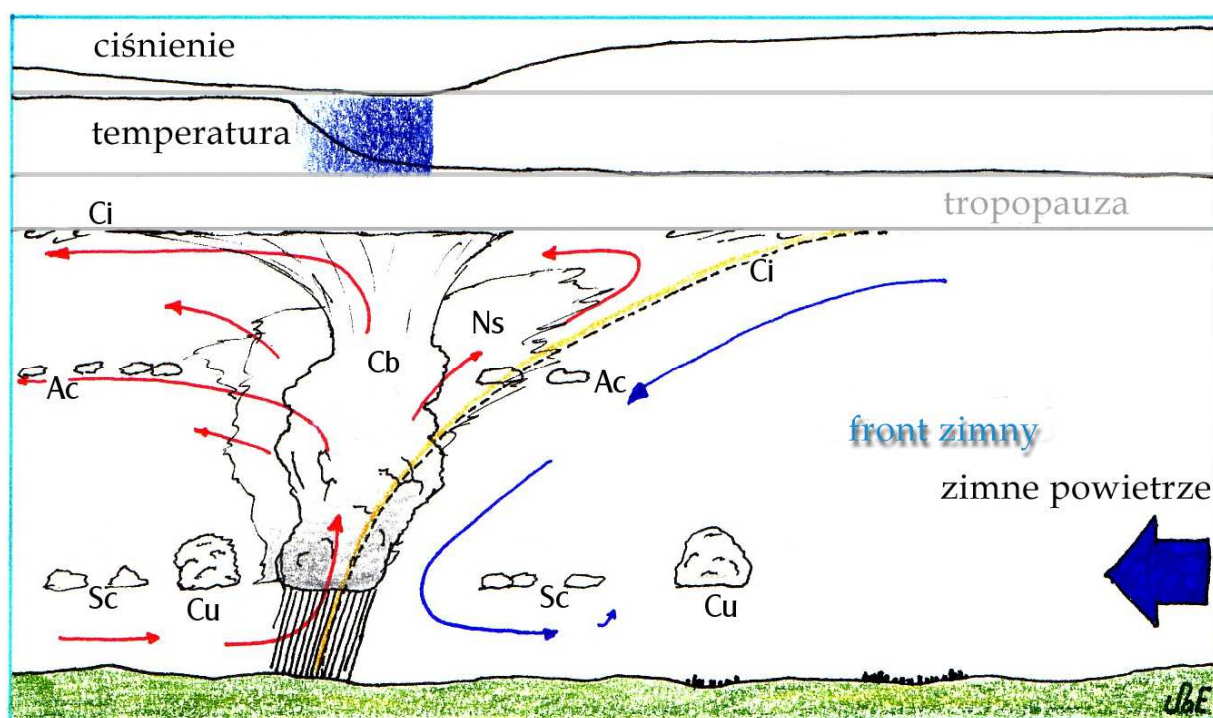
Ilustracje w dodatkach D-G pochodzą z wikipedii.

Dodatek E

Fronty zimne

Front zimny jest czołem poruszającej się masy zimnego powietrza. Masa ta zastępuje stopniowo znajdujące się przed nim w pobliżu powierzchni ziemi powietrze cieplejsze powodując jego unoszenie się w górę i odpływ. W obszarze frontu obserwuje się obniżenie ciśnienia powietrza, wzrost prawdopodobieństwa opadów i zagęszczenie się pokrywy chmur. Wpływ frontu zimnego na pogodę jest zależny od pory roku i powoduje przykładowo w lecie występowanie burz. Fronty zimne mogą powodować krótkotrwałe lub dłuższe zmiany pogody.

Fronty zimne poruszają się najczęściej z szybkościami 30–80 km/h i powodują albo wsuwanie się zimnych mas powietrza pod cieplejsze i jego wznoszenie się w górę albo też nasuwają się na nie od góry powodując jego ochłodzenie. Z frontami zimnymi wiąże się występowanie pionowych prądów powietrza w atmosferze. W rejonie frontu występują chmury kłębiaste (cumulusy, Cu) i obserwowany jest spadek temperatury rzędu kilku stopni. Ochłodzenie jest obserwowane we wszystkich warstwach powietrza.



Rys. E.1. Zjawiska fizyczne w czasie przejścia frontu zimnego

Cechy charakterystyczne frontów zimnych:

- Zimne powietrze wsuwa się pod warstwy ciepłego z szybkościami rzędu 30–40 km/h.
- W przekroju pionowym nachylenie linii frontu rzędu 1:50.
- Przed frontem wyższa temperatura powietrza, za nim masy chłodniejsze.
- Szybkie ochładzanie wstępującego powietrza, wstępowanie na znaczne wysokości, kondensacja pary wodnej, opady, burze.
- Obszar opadów ograniczony do okolicy frontu i obszaru za nim.
- Pionowe ruchy powietrza i związane z nimi promieniowanie elektromagnetyczne.
- Przed czołem frontu zmiana kierunku wiatru na równoległy do frontu, w czasie jego przejścia zmiana kierunku w prawą stronę.
- Spadek ciśnienia atmosferycznego przed nadejściem frontu i wyraźny szybki wzrost zaraz po jego przejściu. Nie oznacza to jednak automatycznie nadejścia dłużej trwającego wyżu.
- Wyraźne ochłodzenie po przejściu frontu.

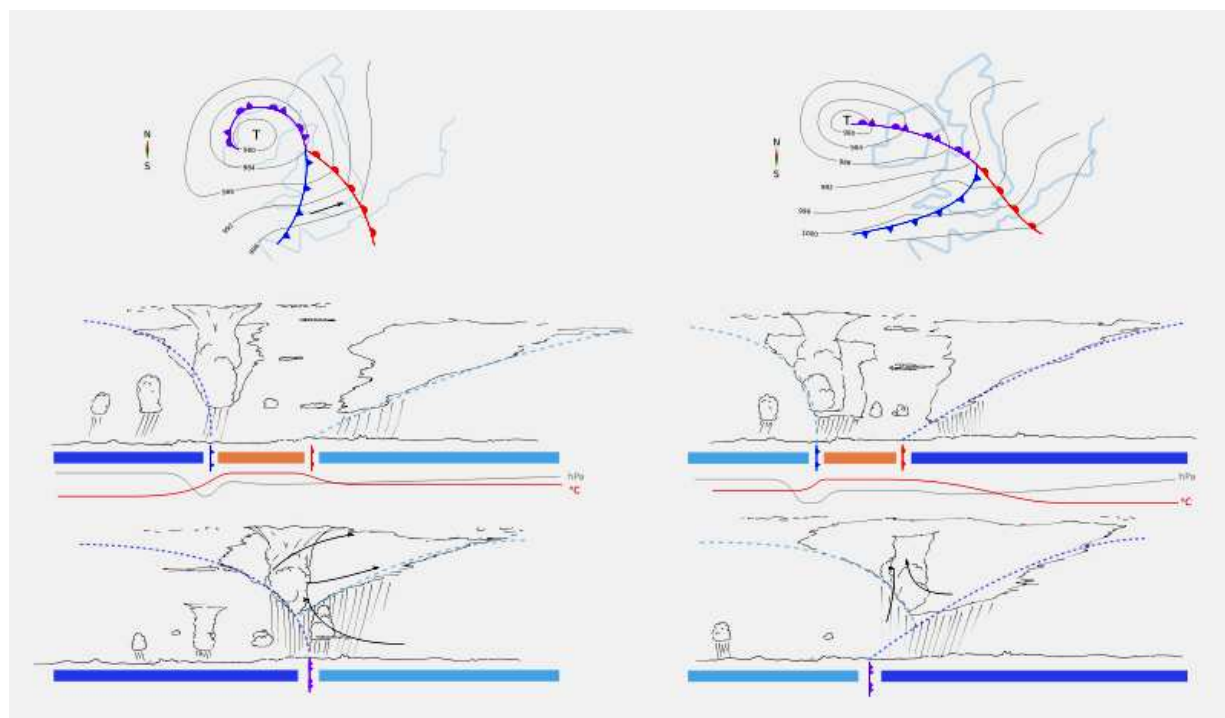
Dodatek F

Okluzja

Okluzja jest zjawiskiem występującym w obszarze dynamicznego niżu polegające na połączeniu się dwóch frontów. Rozróżniane są dwa podstawowe typy okluzji: zimna i ciepła. W obu przypadkach front ciepły (czerwona linia na ilustracji) jest doganiany przez szybciej poruszający się front zimny (linia niebieska). Punkt połączenia obu frontów nazywany jest punktem okluzji. Poczynając od niego występuje już jedynie wspólny front – front zokludowany, oznaczony na ilustracji linią fioletową. W pobliżu punktu (jądra) okluzji mogą występować słabe wiatry wirowe, mogące na skraję przyjąć siłę sztormu.

W przypadku okluzji zimnej powietrze za frontem zimnym ma temperaturę niższą niżeli powietrze przed frontem ciepłym. Warstwy powietrza przed frontem ciepłym i pomiędzy frontami zostają uniesione przez powietrze zimne, a prądy wznoszące są źródłem sygnałów radiometeorologicznych. Na mapach meteorologicznych widoczne jest wyraźne załamanie linii frontu ciepłego w stosunku do linii frontu zokludowanego (na ilustracji po lewej stronie).

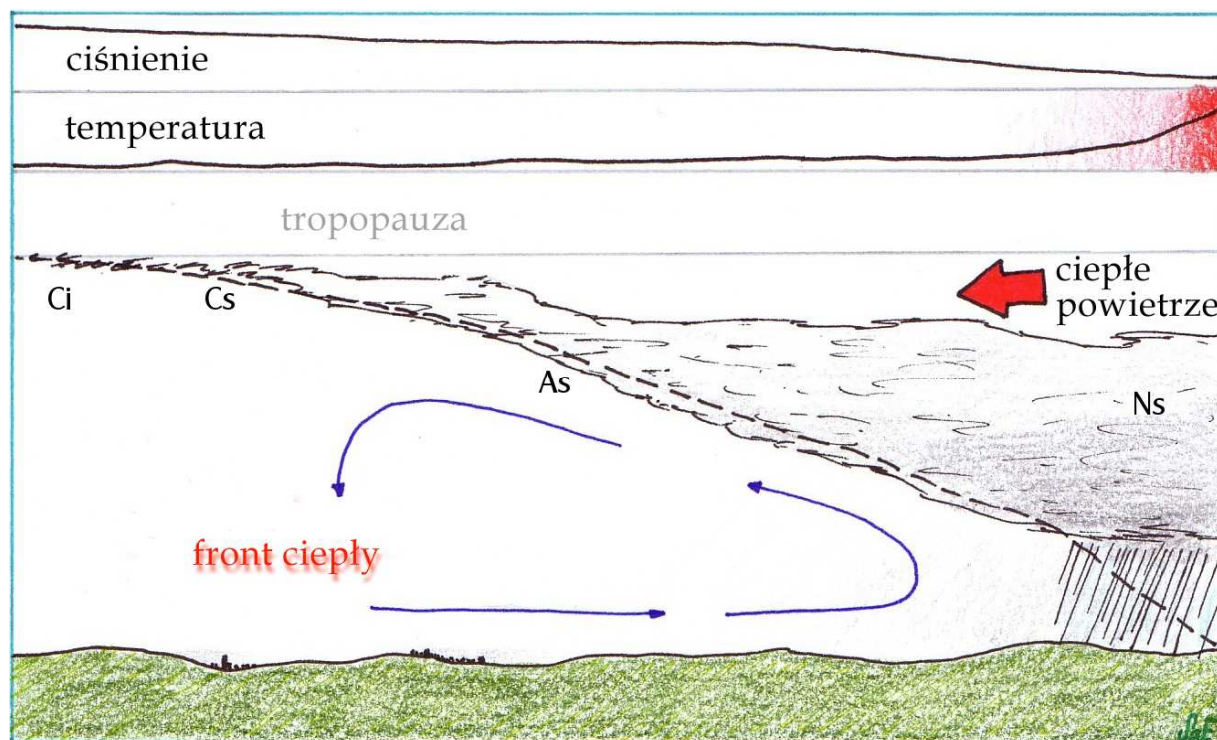
W przypadku okluzji ciepłej powietrze przed frontem ciepłym ma niższą temperaturę niżeli powietrze za doganiającym go frontem zimnym. Zimne powietrze zza frontu zimnego nasuwa się więc na warstwy jeszcze zimniejszego sprzed frontu ciepłego i front ciepły nie zmienia swojego kierunku. Na mapach meteorologicznych nie występuje załamanie linii frontu ciepłego (na ilustracji widoczne po prawej stronie). Zimne powietrze przed linią frontu ciepłego powoduje ochłodzenie powierzchni ziemi i w związku z tym zjawiska konwekcji są słabe.



Rys. F.1. Okluzja frontów: zimna (po lewej) i ciepła (po prawej stronie). U góry sytuacja przedstawiona na mapach synoptycznych, poniżej przekroje pionowe obszaru frontów. Ciemnoniebieski obszar ma temperaturę niższą niżeli jasnyniebieski, kolor czerwony oznacza powietrze ciepłe. Przekroje na środku obrazują sytuację pomiędzy frontami, a u dołu – po ich połączeniu się

Dodatek G

Fronty ciepłe



Rys. G.1. Zjawiska fizyczne w czasie przejścia frontu ciepłego

Front ciepły jest również zjawiskiem związanym z obszarami niżowymi. Ciepłe i z tego powodu lżejsze masy powietrza nasuwają się na warstwy zimne. Występują przeważnie zjawiska meteorologiczne spokojniejsze aniżeli w rejonie frontu zimnego. W obszarze nasuwających się warstw ciepłego powietrza tworzą się chmury pierzaste (cirrusy, Ci). Możliwe jest występowanie równomiernych i długotrwałych opadów. Ciśnienie powietrza lekko opada w obszarze przedfrontowym i silniej po przejściu frontu. Począwszy od obszaru frontowego obserwuje się wzrost temperatury. Wiatr przeważnie zmienia kierunek na odfrontowy przed jego nadejściem, a po przejściu frontu następuje zmiana kierunku w prawą stronę (na półkuli północnej).

W miarę nasuwania się warstw ciepłych fronty ciepłe tracą energię i spowalniają swój ruch, natomiast fronty zimne poruszają się z niezmienną szybkością co staje się przyczyną okluzji.

Dodatek H

Radon

Radon jest gazem szlachetnym – z ósmej grupy w układzie okresowym pierwiastków – o liczbie atomowej 86, masie atomowej podstawowego (najbardziej rozpowszechnionego) izotopu 222 i symbolu Rn. Wszystkie izotopy radonu są radioaktywne przy czym izotop 222 ma czas połowicznego rozpadu 3,8 dnia, a wszystkie pozostałe – wyraźnie krótsze. Dwa pozostałe naturalne izotopy 219 i 220 noszą potoczne nazwy toron (Tn) i aktinon (An) i z powodu krótkich czasów połowicznego rozpadu nie odgrywają praktycznie żadnej roli w jonizacji atmosfery. Dalsze izotopy radonu 218 i 223 praktycznie występują w atmosferze w ilościach śladowych i mają bardzo krótkie czasy połowicznego rozpadu. Syntetycznie uzyskano jego dalsze izotopy charakteryzujące się również krótkimi lub bardzo krótkimi czasami połowicznego rozpadu.

Radon 222 jest produktem rozpadu radu w szeregu uranowo-radowym, natomiast izotop 220 – rozpadu radu w szeregu torowym, a izotopy 219 i 223 – w szeregu uranowo-aktynowym. W wyniku rozpadu radonu 222 powstają izotopy polonu 214 i 218, a także izotopy ołowiu i bizmutu. Również w wyniku rozpadu radonu 220 powstają izotopy polonu – polon 216 i 212 oraz izotopy ołowiu i bizmutu.

Wydzielający się ze szczelin ziemi radon może gromadzić się w zamkniętych pomieszczeniach (szczególnie w piwnicach i na dolnych piętrach budynków) i stanowić zagrożenie dla organizmów żywych. W rzeczywistości zagrożenie stanowi nie sam radon, a produkty jego rozpadu, wśród nich szczególnie izotopy polonu i ołowiu.

Średnie stężenie radonu w atmosferze ziemskiej wynosi 1 do 10^{21} .

Radon jest w warunkach naturalnych substancją bezwoną, bez smaku i koloru i praktycznie jak wszystkie gazy szlachetne nie reaguje z innymi pierwiastkami. Zaobserwowano występowanie związków z fluorem, natomiast istnienie tlenków nie zostało udowodnione. W lampach neonowych radon świeci na czerwono. Ma on również pewne znaczenie w medycynie, ale jest to sprawa dość dyskusyjna. Pomiary stężenia radonu w atmosferze są w strefach sejsmicznych wykorzystywane również do ostrzegania o zbliżających się trzęsieniach ziemi ponieważ nawet lekkie wstrząsy skorupy ziemskiej powodują jego silniejsze wydzielanie się do atmosfery.

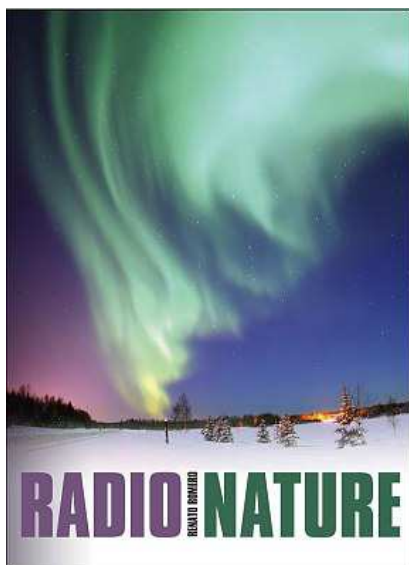
Radon jest głównym źródłem naturalnego promieniowania radioaktywnego (jonizującego) – średnia dawka otrzymywana przez człowieka w Europie środkowej wynosi około 1,1 mSv/rok (milisiewerta), na dalszych miejscach są bezpośrednie promieniowanie wydobywające się z ziemi – ok. 0,4 mSv/rok i promieniowanie kosmiczne – 0,3 mSv/rok.

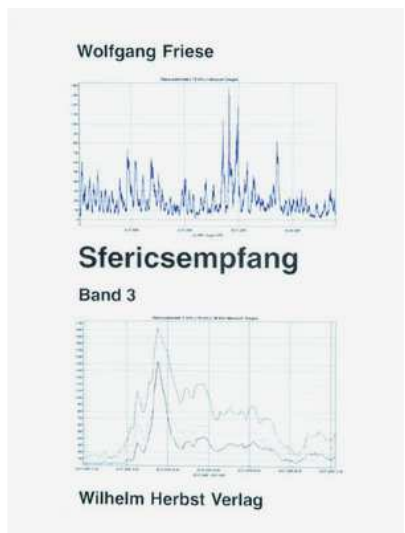
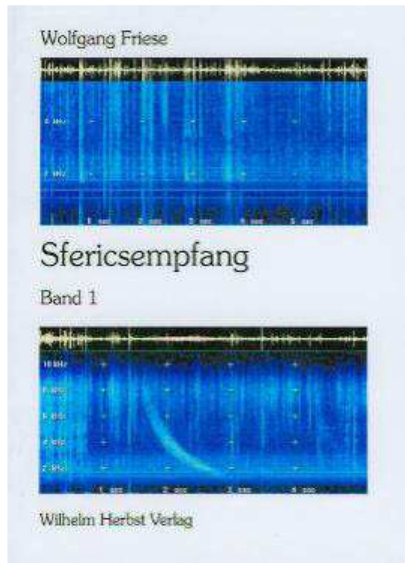
O ile naturalne promieniowanie skorupy ziemskiej jest promieniowaniem gamma, o tyle w przypadku obecnego w atmosferze radonu jest to również promieniowanie alfa i beta.

Literatura i adresy internetowe

- [ALDIS] www.aldis.at – austriacki system obserwacji burz,
- [ATEL] Israël, H., „Atmosphärische Elektrizität. Teil 1“, Akademische Verlagsgesellschaft, Lipsk 1956
- [BEAIM], Betz, H.-D, Kulzer, R, i in. „Erfassung von Blitzereignissen mittels Messung atmosphärischen Impulsstrahlung“, Sekcja Fizyki Uniwersytetu Monachijskiego, Mannheim 1997,
- [BLOR] www.blitzortung.org – amatorska organizacja zajmująca się obserwacją burz,
- [BUDZ] www.burze.dzis.net – witryna poświęcona obserwacji burz,
- [CUDI] Cummer, Steven Andrew, „Lighting and ionospheric remote sensing using VLF/ELF radio atmospheric”, praca doktorska na Uniwersytecie Stanford, 1997
- [FIEL] www.fischl.de – udoskonalenia elektrometru
- [FRBA] Friese, Wolfgang, DG9WF, „Sferics – Basis für Wetterprognosen und Auslöser der Wetterfülligkeit?“, ISBN: 978-3-939197-36-2, Bernhard Hein Funk Verlag 2009,
- [FREK] Friese, Wolfgang, DG9WF, „Von Elfen und Kobolden – Gewitter mal anders betrachtet“, „Funkamateure“ 10/2007,
- [FREM] Friese, Wolfgang, DG9WF, „Empfangssysteme zum detektieren von Gewittern“, „Funkamateure“ 2/2008,
- [FRES] Friese, Wolfgang, DG9WF, „Empfangssysteme zum detektieren von Gewittern“, ISBN: 3-910159-18-4, Funkamateure Bibliothek nr 19, Berlin 2007,
- [FRFA] Friese, Wolfgang, DG9WF, „Funkamateure“ 2002 – 2013, artykuły,
- [FRFA405] Friese, Wolfgang, „Blitze und Gewitter funktechnisch betrachtet“, Funkamateure 4/2005 i 5/2005,
- [FRSA] Friese, Wolfgang, DG9WF, „Sfericsanalyse und Blitzortung“, ISBN: 978-3-939197-50-8, Bernhard Hein Funk Verlag 2010,
- [FRSE] Friese, Wolfgang, DG9WF, „Sfericsempfang Band 1“, ISBN-13: 978-3-923925-72-8, Wilhelm Herbst Verlag 2004; „Sfericsempfang Band 2“, ISBN-13: 978-3-923925-75-9, Wilhelm Herbst Verlag 2007; „Sfericsempfang Band 3“, ISBN: 978-3-923925-76-6, Wilhelm Herbst Verlag 2007,
- [FRSF] Friese, Wolfgang, DG9WF, „Sferics – faszinierende natürliche Radiowellen“, Funkamateure Bibliothek nr 18, Berlin 2007,
- [HBFS] Baumer, Hans, Sönning, Walter, „Das natürliche Impuls-Frequenzspektrum der Atmosphäre und seine biologische Wirksamkeit“, www.e-smog.ch, 2002,
- [HBSF] Bauner, Hans, „Sferics, die Entdeckung der Wetterstrahlung“, Rowohlt, 1987.
- [IMGW] www.imgw.pl – Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej,
- [JAPR] Jellonek, A. „Zaburzenia atmosferyczne w radiotechnice“, „Przegląd Radiotechniczny” nr 23-24/1937, str 139, 1-2/1938, str. 1, 3-3/1938, str. 12,
- [MITW] Herbst, Wilhelm, „Mittelwelle. Band 1. Grundlagen“, ISBN: 978-3-923 925-61-2, Wilhelm Herbst Verlag, Kolonia 1997
- [PSPZ] Piotr Zawadzki, <http://minibo.iele.polsl.gliwice.pl/~pz/>,
- [RRRN], Romero, Renato, IK1QFK, „Radio Nature” (ang.), ISBN 9781-9050-8637-5, RSGB; „Radio Natura. La ricezione e lo studio die segnali radio di origine naturale“ (wł.), wyd. Sandit Libri,
- [SCGE] Schweizer, Christian, „Gewitterdetektion und Blitzortung“, praca maturalna, 2002 r.
- [SEDE] www.sfericsempfang.de – witryna Wolfganga Friese,
- [SGELF] Golden, Steven „Messung der Absorbition atmosphärischer ELF-Impulse“, praca dyplomowa w Instytucie Meteorologii i Geofizyki Uniwersytetu Johanna Wolfganga Goethego, Frankfurt n. Menem, 2001,
- [SR6_2007] Dąbrowski, Krzysztof, OE1KDA, "Odbiornik radiometeorologiczny "Żabka"", Świat Radio 6/2007,
- [VLFIT] www.vlf.it,

- [WSAIS] Sönning, Walter, „Die natürliche elektromagnetische Strahlung der Atmosphäre”, *www.e-smog.ch*, 2001,
- [WSBIO] Sönning, Walter, „Die Bedeutung der natürlichen atmosphärischen Impulsstrahlung für die Biometeorologie/Medizinmeteorologie”, *www.e-smog.ch*, 2001,
- [WSFO] Sönning, Walter „Zur 100-Jährigen Forschungsgeschichte der natürlichen elektromagnetischen Impulsstrahlung der Atmosphäre aus meteorologischer Sicht”, *www.e-smog.ch*, 2001,
- [WSVLF] Sönning, Walter, „Die natürliche elektromagnetische Impulsstrahlung der Atmosphäre im Frequenzbereich VLF (ca. 3 bis 50 kHz)”, *www.e-smog.ch*, 2001,
- [ZAMG] *www.zamg.ac.at* – austriacki instytut meteorologiczno-geofizyczny.





W serii „Biblioteka polskiego krótkofalowca” dotychczas ukazały się:

- Nr 1 – „Poradnik D-STAR”, wydanie 1 i 2
- Nr 2 – „Instrukcja do programu D-RATS”
- Nr 3 – „Technika słabych sygnałów” Tom 1
- Nr 4 – „Technika słabych sygnałów” Tom 2
- Nr 5 – „Łączności cyfrowe na falach krótkich” Tom 1
- Nr 6 – „Łączności cyfrowe na falach krótkich” Tom 2
- Nr 7 – „Packet radio”
- Nr 8 – „APRS i D-PRS”
- Nr 9 – „Poczta elektroniczna na falach krótkich” Tom 1
- Nr 10 – „Poczta elektroniczna na falach krótkich” Tom 2
- Nr 11 – „Słownik niemiecko-polski i angielsko-polski” Tom 1
- Nr 12 – „Radiostacje i odbiorniki z cyfrową obróbką sygnałów” Tom 1
- Nr 13 – „Radiostacje i odbiorniki z cyfrową obróbką sygnałów” Tom 2
- Nr 14 – „Amatorska radioastronomia”
- Nr 15 – „Transmisja danych w systemie D-STAR”
- Nr 16 – „Amatorska radiometeorologia”, wydanie 1 i 2
- Nr 17 – „Radiolatarnie małej mocy”
- Nr 18 – „Łączności na falach długich”
- Nr 19 – „Poradnik Echolinku”
- Nr 20 – „Arduino w krótkofalarstwie” Tom 1
- Nr 21 – „Arduino w krótkofalarstwie” Tom 2
- Nr 22 – „Protokół BGP w Hamnecie”
- Nr 23 – „Technika słabych sygnałów” Tom 3, wydanie 1 i 2
- Nr 24 – „Raspberry Pi w krótkofalarstwie”
- Nr 25 – „Najpopularniejsze pasma mikrofalowe”
- Nr 26 – „Poradnik DMR” wydanie 1 i 2, nr 326 – wydanie skrócone
- Nr 27 – „Poradnik Hamnetu”
- Nr 28 – „Budujemy Ilera” Tom 1
- Nr 29 – „Budujemy Ilera” Tom 2
- Nr 30 – „Konstrukcje D-Starowe”
- Nr 31 – „Radiostacje i odbiorniki z cyfrową obróbką sygnałów” Tom 3
- Nr 32 – „Anteny łatwe do ukrycia”

