

Whistler 分散値の簡易計測

江口 博之* 太田 健次*

The Simplified Measurement of the Dispersion of Whistler

Hiroyuki EGUCHI* and Kenji OTA*

(Received August 22, 1973)

The group delay of whistlers is influenced by the number of electrons along the path of propagation, and therefore its dispersion is an important quantity to get the information about the electron density distribution in the ionosphere and magnetosphere. To evaluate the dispersion, the Sonograph is used in general, but it is rather difficult to analyse whistler data continuously without delay.

Observing the change in frequency (F) or the period ($t_2 - t_1$) of whistlers, passing through the audio discriminator ($f_1 \sim f_2$) as a function of dispersion, D is given by

$$D = \frac{t_2 - t_1}{\frac{1}{\sqrt{f_2}} - \frac{1}{\sqrt{f_1}}} = k(t_2 - t_1) = k \frac{1}{F}$$

Consequently it is possible to obtain the dispersion with many band pass filters to measure F or with wave memory equipments to measure ($t_2 - t_1$). The results of measurement are satisfactory and the time to analyse whistlers is remarkably reduced.

1 まえがき

Whistler 分散値 D の測定法は一般にソナグラフ装置によって放電紙に描かれたカーブとあらかじめ計算によって求めたカーブ群より重ね合せて最もよく合うカーブの分散値を見つける fit on 形式が用いられている。しかしテープレコーダに録音されている Whistler を聞き出し、ソナグラフで解析し、分散値を求めるまでに 1 回につき 5 分前後の時間を必要とし時として一日のルーチン観測（毎時 20～22 分と 50 分～52 分の 4 分間で計 96 分間の Whistler を解析するのに一週間も要する場合がある。我々は Whistler の連続観測を計画しているが、分散値を求めるのに fit on 形式では時間がかかり過ぎるので各種の解析法を実験している。¹⁾

今回低周波フィルター群を利用したものと、波形記憶装置 (Wave Memory) を利用した 2 種類の形式で分散

値をきわめて短時間に求めることができたのでその方式を報告する。

2 測定原理

Whistler をソナグラフで解析すると第 1 図(a)のようなパターン図が得られる。適当な周波数 $f_1 \sim f_2$ 間の出力をディスクリミネーター回路を用いて第 1 図(b)のごとく $t_1 \sim t_2$ の時間で 1 サイクルの出力波形を生ずるようにする。²⁾

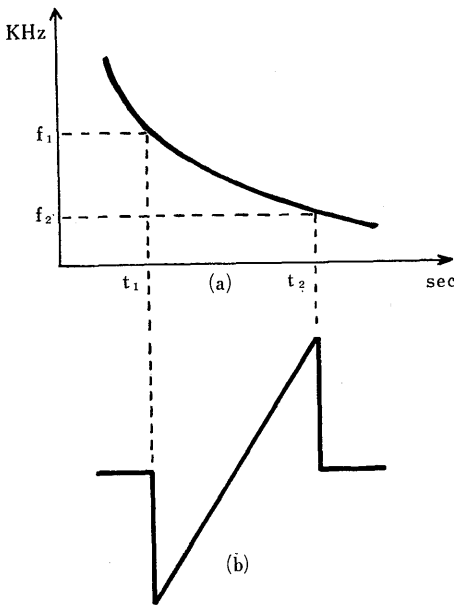
ここで f_1 , f_2 , t_1 , t_2 と分散値の関係は

$$D = \frac{t_2 - t_1}{\frac{1}{\sqrt{f_2}} - \frac{1}{\sqrt{f_1}}} \quad \text{--- ①}$$

で与えられ、 f_1 , f_2 はディスクリミネーター回路によってあらかじめ任意に取れるので、①式において $t_2 - t_1$ を測定すれば分散値 D が求まる。

$t_2 - t_1$ を測定するのに $t_2 - t_1$ で 1 サイクルする波形をバンドパスフィルターより周波数すなわち $t_2 - t_1$ の時

* 電子工学科 (Department of Electronic Engineering)

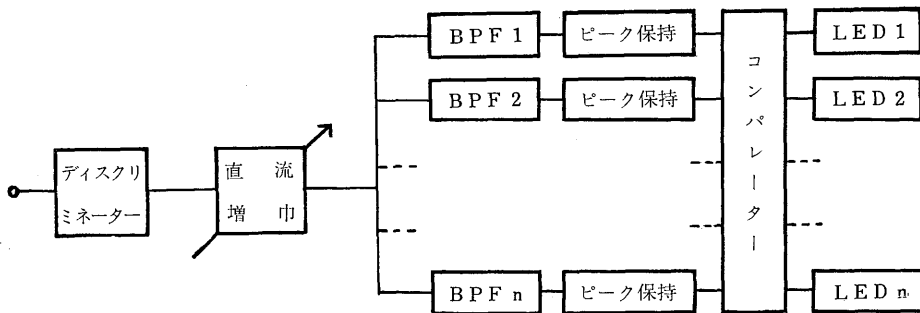


第1図 ソナグラフと出力波形の関係

間を求める方式とディスクリミネーター回路の出力波形そのものをオシロスコープに描かせて $t_2 - t_1$ を読み取る方式を研究した。

3 回路構成

A バンドパスフィルター群による分散値の測定³⁾



第3図 A方式による装置のブロック図

0.20sec 周波数で4.98Hz, 同様に $D=40$ で3.73Hz, $D=50$ で2.99Hzとなる。それゆえ, 4.98Hz, 3.73Hz, 2.99Hzの各BPFを作りその出力を比較すると $D=30$ では4.98Hz, $D=40$ で3.73Hz, $D=50$ で2.99Hzが最大出力のBPFになる。したがって分散値を出力波形の基本周波数 F に対応させ多数のBPFを並列に接続しその最大出力電圧のBPFを見つけることによって分散値が求

(1) $f_1 \sim f_2$ の低周波ディスクリミネーター出力波形の基本周波数 F は

$$F = \frac{1}{t_2 - t_1} = \frac{1}{T} \quad \text{--- ②}$$

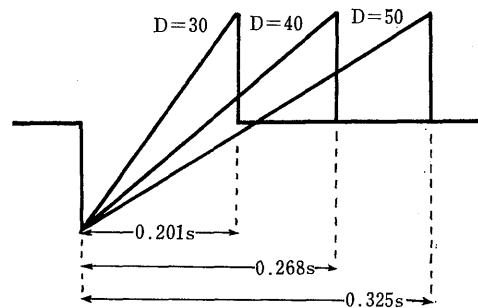
①式と②式より

$$D = \frac{1}{F} \cdot \frac{1}{\frac{1}{\sqrt{f_2}} - \frac{1}{\sqrt{f_1}}}$$

ここで f_1, f_2 はディスクリミネーター回路のBPFで定まるので

$$D = \frac{K}{F} \quad \text{--- ③}$$

となり, ディスクリミネーター出力波形の基本周波数 F を知ることによって Whistler 分散値が求められる。



第2図 各分散値による出力波形の周期

一例として f_1, f_2 をそれぞれ 4.27KHzと2.07KHz (ディスクリミネーターの中心周波数2.89KHz) とすると第2図のごとく $D=30$ の Whistler は1サイクルに

まる。

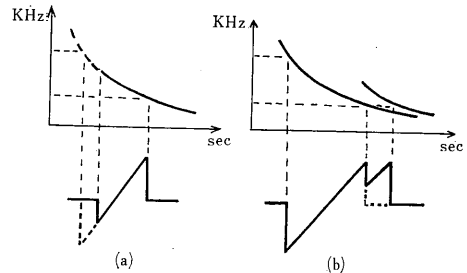
(2) 上記の考え方に基づいた装置のブロック図が第3図である。

ディスクリミネーター回路を通った Whistler は各BPFによって各々の周波数成分の出力電圧に区分され Peak 値保持回路でその最大電圧を保持したままコンパレーター回路で比較する。これは各BPFで最大電圧に

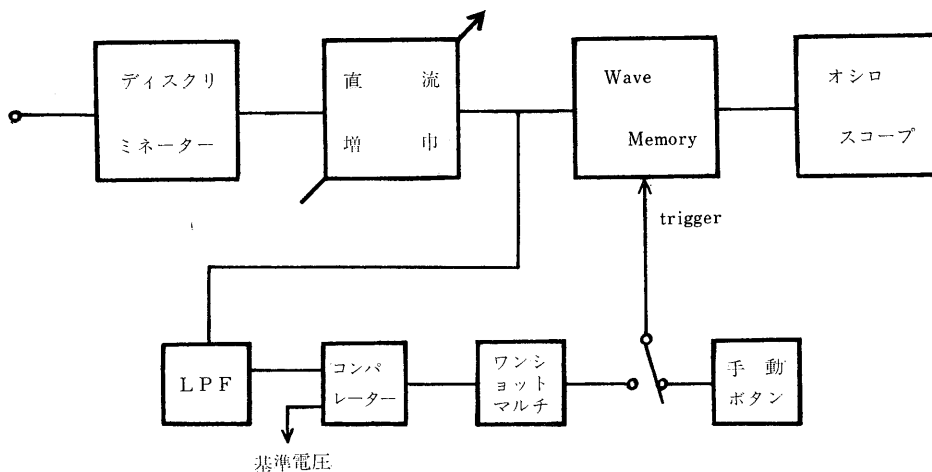
達するまでに時間差があるので一定時間保持する必要がある。Whistler 分散値を求めるには全部のBPF中で最大出力電圧がどれであるかを見い出せばよいからコンパレータ回路によって求め、そのBPFのみに発光ダイオードを点灯し表示するようにした。測定分散値の精度はBPFの個数に依存するので多いほどよいが技術的、経済的な面より現在のところ分散値15~80まで各5間隔で作っているので測定された分散値の誤差は ± 2.5 である。

(3) この方式によって分散値が正しく求まらないのは(a) $f_1 \sim f_2$ の全域に Whistler 成分がない場合は当然であるがその一部分が欠けているときでそのディスクリミネーター出力波形は第4図(a)のようになり時間差は短くなるので基本周波数は高くなり分散値は正しい値より

小さくなる。(b) $f_1 \sim f_2$ の一部で Whistler が重なっている場合でその出力波形は第4図(b)のようになり基本周波数が低くなるので正しい分散値より大きくなる。



第4図 測定誤差を生じる出力波形



第5図 B方式による装置のブロック図

しかしこれ以外の Whistler, すなわち $f_1 \sim f_2$ 間の全域に Whistler 成分があり、その $f_1 \sim f_2$ 間に同時に他の Whistler がない場合なら Whistler の通過と同時に分散値が求まりまた発光ダイオードの代りにその出力をデジタル化すればそのまま分散値をプリントアウトできる。

B 波形記憶装置による分散値の測定⁴⁾

(1) この方式は前記のフィルター群による測定の精度を上げる目的で研究したもので Whistler のディスクリミネーター出力波形は第1図と同じである。

ただし、出力波形の立ち上り、立ち下りはディスクリミネーター回路にあるBPFのしゃ断特性によるので正確には Peak 値と零点を切る時間にわずかなずれがある。また出力波形は Whistler のみでなく、一般空電や60Hz の高調波などのノイズにも影響されるので零点を

切る時間を測定すると誤差が生じる。などにより測定容易な Peak 値の周波数を f_1, f_2 とした。

(2) この方式のブロック図が第5図である。

テープレコーダに録音されている Whistler をディスクリミネーター回路で1サイクルの波形にし、その波形を直接 Wave Memory に記憶させオシロスコープかペンレコーダで描かせ、Peak 値の時間差を測定する。Wave Memory の Start trigger は観測者が Whistler を耳で聞いてから手動でボタンを押して行ってもよいし、ディスクリミネーターの出力波形をLPFとワンショットマルチによって Auto trigger にもできる。

(3) 実測例

$$\text{①式, ②式より } D = \frac{T}{\frac{1}{\sqrt{f_2}} - \frac{1}{\sqrt{f_1}}} \quad \text{————— ④}$$

ここで $f_1=3.88\text{KHz}$, $f_2=2.18\text{KHz}$ とすると④式は

$$D=185.7 \cdot T_{(\text{sec})} \quad \text{---⑤}$$

一例として $D=40$ (誤差 ± 1.5) の Whistler を解析したものを写真1に示す。ただし Wave Memory の書込み速度は 0.5ms , 読み出し速度は $20\mu\text{s}$ であるので⑤式は

$$D=4.64 \cdot T_{(\text{ms})} \quad \text{---⑥}$$

またオシロスコープは ms/div の掃引であるので T は 8.6ms となり $D=39.8$ となる。

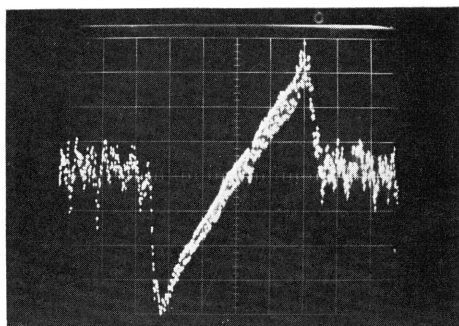
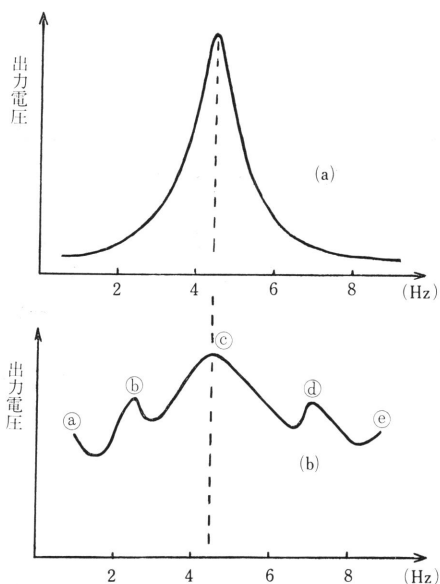


写真1 $D=40$ の出力波形

このようにオシロスコープでの読み取りは簡単でテープレコーダより Whistler を聞き出し分散値を求めるまでに要する時間は10秒前後であり、その精度も現在の fit on 形式に劣らない。

4 検討

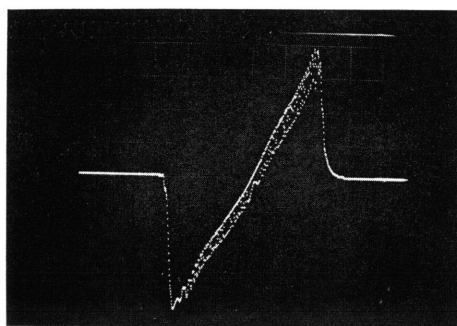
Aの方式によるものはすべてを自動化できるが分散値の測定誤差は ± 2.5 より低くするのは困難でありまた、



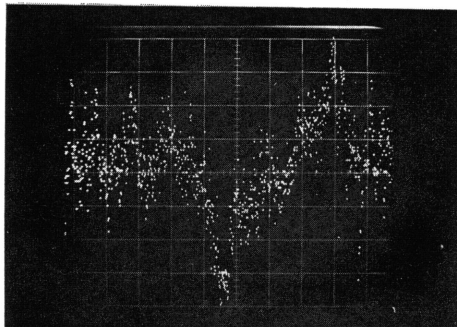
第6図 出力波形のスペクトル図

Whistler 強度と雑音強度の比 (S/N) が $+5\text{db}$ より悪い場合はディスクリミネーター回路の出力波形はノイズのため Peak 値と零点を切る時間に差が生じ第1図(b)の波形とかなり異なったものになる。(写真2の(b)を参照) よってフィルターの個数を多くすることで精度を上げるには無理がある。またこのままでは求めた分散値が正しいかどうかを確認する方法がないので現在各BPFの最大出力電圧をオシロスコープに描かせ Whistler 成分が $f_1 \sim f_2$ 間の一部にしかない場合、Whistler が重なって到来した場合、外部雑音による誤測定を発見できるように改良を進めている。

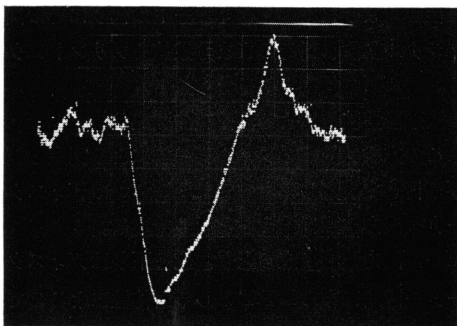
第6図にノイズのない場合の Whistler (pure tone type) と誤測定の原因となりうる要素を含んだ Whi-



(a) $S/N=20\text{db}$



(b) $S/N=0\text{db}$



(c) (b)で時定数を10倍に調整

写真2 時定数を変えた場合の出力波形

stler の場合とで各 BPF の最大出力電圧がどのようになるかをスペクトルアナライザ形式で示す。

④は送電線の負荷変動によって発生する低周期のドリフトである。⑤は multi-Whistler など $t_1 \sim t_2$ 間に 2 個の Whistler が同時に来た場合。⑥は正規の Whistler による Peak 値であるが pure tone でない場合は Peak がなだらかなになる。⑦は $f_1 \sim f_2$ 間の一部分にのみ Whistler がある場合。⑧は tweek, clink などパルス性ノイズによるものである。⑨と⑩は分散値の測定範囲を 15 ~ 80 までに設計してあるので周波数はそれぞれ 10Hz ~ 1.8Hz となりこれが⑩を越すことはない。しかし⑤と④は第 4 図のように正規の時間差すなわち周波数とは異なるところで Peak 値を示し誤測定となるので著しく通常の分散値と異なる場合はスペクトル化し確認する必要があるので今後研究したいと思っている。

B 方式によるものは自動化はできないが分散値の測定誤差を fit on 形式よりも低くすることが可能であり記録が必要なときはペンレコーダでディスクリミネーターの出力波形を描かせればよいし、この場合でも 1 分以内に分散値が求まる。また S/N が 0 dB でも出力の時定数を調整することでピーク値を簡単に読み取れる。ただし時定数を変えると $t_2 - t_1$ も変わるので⑥式の係数を実験

もしくは計算で求めておく必要がある。

写真 2 に S/N が 20 dB のときの出力波形(a)と、(a)と同じ時定数で S/N が 0 dB のとき、および(b)の場合で時定数を 10 倍にした場合(c)を示す。

この方式は Wave Memory を必要とするが測定誤差が少なく、解析の時間が今までの方式より数十倍も短縮でき有効な測定方式だと考えられるのでさらに一層の改良を進めたいと思っている。

5 謝 辞

この研究は本学の特別研究費と奨励研究費の御援助によるもので、大学当局と金原 淳主任教授の御尽力に厚く感謝します。

また Wave Memory 装置の便宜を与えて頂いた中野伸平教授に感謝します。

なお本装置の試作で 47 年度卒研生の河合君、加藤君、酒井君、塩田君、不破君らの協力に謝意を表します。

文 献

- 1) 江口, 栗本: 中部工大紀要第 3 巻 (1967)
- 2) 太田: 中部工大紀要第 8 巻・A (1972)
- 3) 江口, 太田: 大気電気研究第 8—B 号 (1973)
- 4) 江口, 太田: 大気電気研究第 9 号 (1973)