

Whistler 検出装置の試作

太 田 健 次*

The Trial Production of the Detection Equipment for Whistler Waves

Kenji Ota*

(Received August 23, 1972)

We can not get the sufficient data of whistler waves by only the routine observation during the short time, because of the low latitudes. Therefore, the trial production of the equipment for the automatic observation of whistler waves have been tried in our laboratory, which is to economize our task considerably. It is, however, difficult to obtain the good results because atmospheric noises have the variation of both the intensity and the frequency at the same time.

After many considerations, we have introduced the detection equipment by taking notice of the FM character in whistler waves. This equipment consists of an audio discriminator and the band pass filter for the very low frequency. The results are good even if the atmospheric conditions are not appropriate.

1. ま え が き

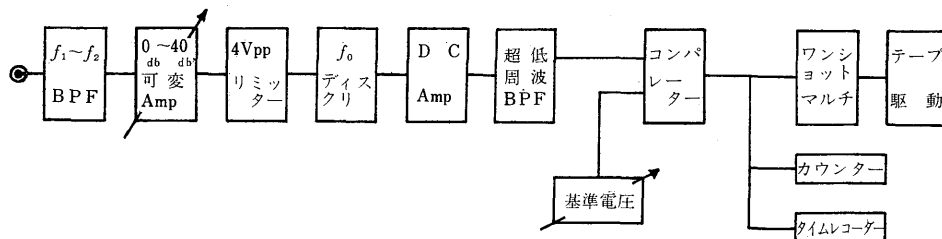
現在行なわれている Whistler のデーターはルーチン観測によるもので、毎時20分～22分と50分～52分の合計4分間の間に発生する空電現象をテープレコーダーに録音し、後に人間の耳で Whistler を確認し、分析を行ない、発生回数と分散値Dを記録している。わが国のような低緯度では Whistler の発生頻度が少なく、ルーチン観測では十分なデータがえられない。

そこで筆者らは Whistler の自動観測を行なうために各種装置の開発をしてきた。¹⁾ しかし空電雑音は時間変

化に対し、周波数変化と強度変化を同時に合わせ持った雑音であり、これを同時に解決しないことには十分な成果がえられない。それゆえ、Whistler 検出装置は自動観測を進める上で一番の難点とされてきた。

今までは、Whistler をある特定周波数の点としてとらえてきたが、今回は Whistler の FM 特性に注目し、低周波ディスクリミネーターと超低周波フィルターを用いることによって Whistler 検出装置を試作し、きわめて満足すべき結果をえたので報告する。

2. 回路構成



第1図 Whistler 検出装置のブロック図

* 電子工学科 (Department of Electronic Engineering)

本装置のブロック図を第1図に示す。

(a) BPF とリミッター部

Whistler 観測装置のレコーディング端子からの出力を $f_1 \sim f_2$ の BPF を通す。この BPF の通過帯域には Whistler の成分を多く含んでいること、Whistler 以外の FM 成分である Tweek のまがり部分がないこと、および人工雑音のないことが望ましい。

$f_1 \sim f_2$ の BPF を通過した信号を可変 Amp で、すべて飽和させダイオードリミッターで振幅を $4V_{pp}$ にする。これにより、空電雑音は強度変化を無視でき以後の回路では FM 成分のみに重点を置けばよい。可変 Amp は各種の Whistler 観測装置に合うように $0\text{db} \sim 40\text{db}$ 可変となっている。

(b) ディスクリミネーター部

ディスクリミネーター回路を第2図に示す。²⁾

第1段目は入力信号の位相を中心周波数からのずれに

比例して変化させる回路であり、第2段目は位相検出回路で2つの入力信号の位相ずれに比例した直流出力電圧を発生する。中心周波数は第1段目の RC で簡単に調整できる。RC 回路の性質として、

$$V_o = V_i \exp(2j \tan^{-1} \omega RC)$$

で表されるから、入力周波数が変化すれば出力の振幅は変化せず、位相だけが変化する。ゆえに

$$V_o = |V_i| \cos(\omega t + \phi)$$

$$\text{ここで } \phi = 2 \tan^{-1} \omega RC$$

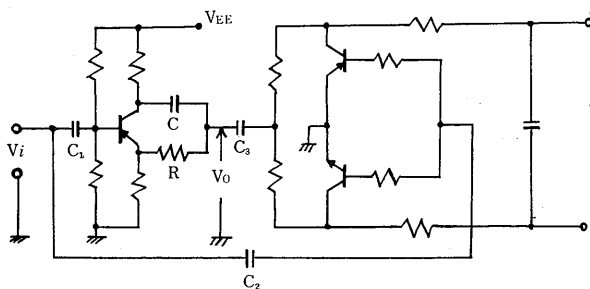
となる。第2段目では C_2 を通して加えられた V_i と C_3 を通して加えられた V_o との位相を比較して出力電圧

$$V_{out} = k V_i \cos \phi$$

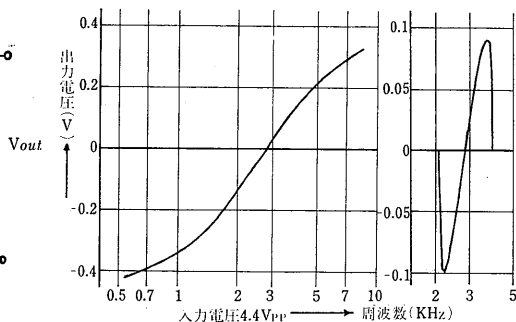
を発生する。 V_{out} は $\omega = \omega_0$ の中心周波数、すなわち

$$\phi = 2 \tan^{-1} \omega RC = \frac{\pi}{2}$$

のとき 0 となる。



第2図 ディスクリミネーター回路

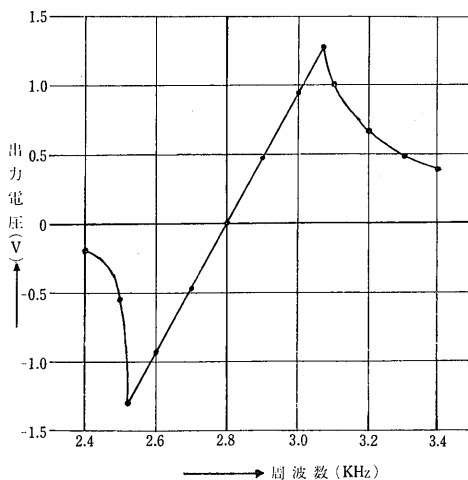


第3図 $f_0: 2.8\text{KHz}$ のディスクリ特性 BPF: 2.2 KHz $\sim$ 3.8KHz

この回路の S 字特性および $f_1 \sim f_2$ の BPF とリミッターを通った後の S 字特性を第3図に示す。 $f_1 \sim f_2$ の BPF と f_0 のディスクリミネーター部分は PLL 素子を用いることにより小型で安価に作ることができるので種々の実験を行なっているが PLL 素子を本装置に利用した場合の欠点は

- ① 中心周波数 f_0 に対し通過帯域の f_1, f_2 を最大 20% の巾にしとれない。
- ② ディスクリミネーターの最大電圧発生部である f_1 と f_2 で交流分が生じやすい。
- ③ 中心周波数 f_0 に対し $(1/2)f_0$ と $2f_0$ で再び S 字特性が生じる。
- ④ f_1, f_2 をはずれても出力は $0V$ とはならない。

などであるが適当な附属回路を加えることにより上記の欠点はある程度改良できるがさらに研究の余地があるので Signetics 社の NE561B でえられた S 字特性を第4図に示すにとどめる。



第4図 PLL によるディスクリ特性

(c) 超低周波用 BPF

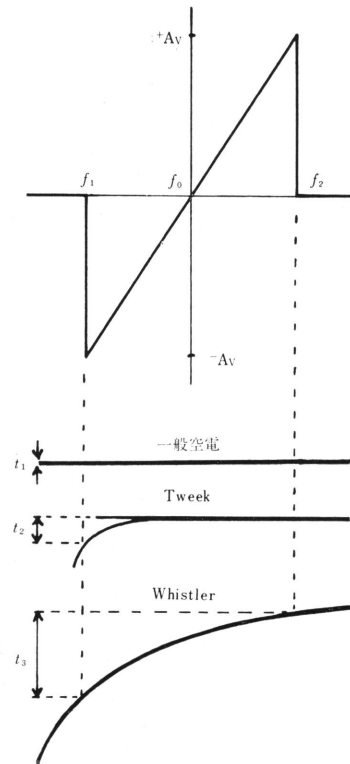
ディスクリミネーターによって FM 成分を振幅成分に変換できるが一般空電, Tweek, Whistler が f_2 から f_1 に変化すると振幅が $+A$ より $-A$ まで変化するので $f_2 \sim f_1$ の全範囲にこれらが存在するとすれば同一振幅になる。特に, Whistler は f_2 と f_1 の巾を広げるほどその間のすべての周波数中に存在する率は少なくなる。

それゆえ FM 成分を振幅成分に変換するだけでは Whistler のみを検出することはできない。しかし一般空電, Tweek, Whistler のそれぞれが f_2 から f_1 に達するまでの時間差に大きな変化がある。一般空電はほぼ同一時間に f_2 から f_1 へ来るが Tweek はそのまがり部分のみの時間差があり Whistler は分散値 D に応じてその値が大きくなるほど f_2 から f_1 へ達する時間が長くなる。

その状態をモデル的に示したものが第 5 図である。この点に注目して Whistler を検出するには Whistler が f_2 から f_1 へ達するまでの時間差を周波数に変換した BPF を通せばよいことになる。この BPF からの出力で Whistler は振幅が大きく Tweek はそのまがり部分だけの時間差に応じた周波数が生じるが BPF のしゃ断特性にしたがって振幅は小さくなる。

この結果からわかるように, Tweek の振幅に基準電圧を定めコンパレータ回路を通せば Whistler のみが検出できる。第 6 図に Whistler のソナグラフを, 写真

1 にこの Whistler による各部の出力波形を示す。



第 5 図 $f_2 \sim f_1$ における時間差のモデル図

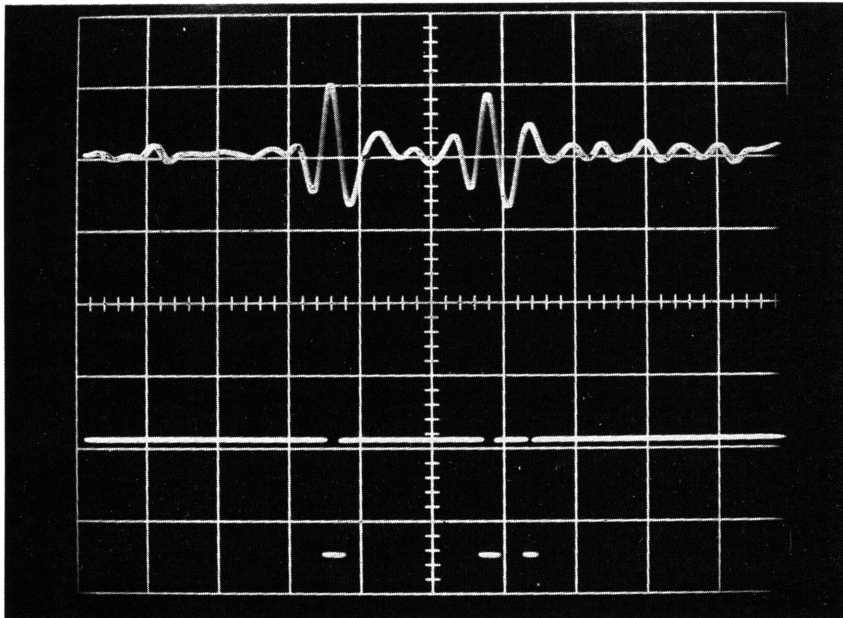
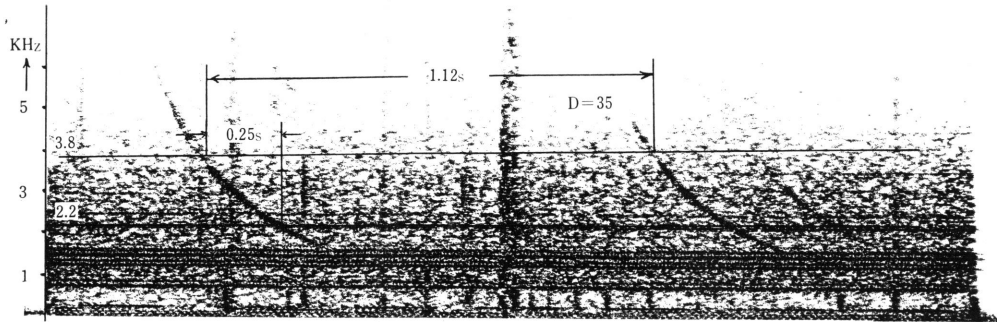


写真 1 ch1: 超低周波 BPF 出力 $2V/cm$ $0.5S/cm$
ch2: コンパレータ出力 $10V/cm$ $0.5S/cm$



第6図 ソナグラフ

Whistler の発生した回数および時間を知るためにはコンパレーターの出力をカウンタ回路とタイムレコーダ回路に接続すればよい。³⁾ 分散値 D を調べるためには録音しソナグラフにかけなければならない。これは開発済みのエンドレステープレコーダーにより Whistler が発生した後から集録用テープレコーダーを駆動し、その Whistler を録音できる。

3. 検 討

この Whistler 検出装置における誤動作の原因には、

- ① コンパレーターの基準レベルを Tweek のまがり部分に応じた周波数によって生じる電圧よりも低くした場合
- ② BPF の通過帯域 $f_1 \sim f_2$ 間のすべてに Whistler がないか、または一部分にしかなくて時間差が Tweek のそれよりも少ない場合
- ③ 可変 Amp で増幅された振幅がリミッターの $4V_{pp}$ に達しないでディスクリミネーター出力が小さい場合
- ④ 観測地点でモーター類の FM 成分を生じる人工雑音源がある場合

などである。

①は最大 Tweek レベルを定め調整を行えばよい。②は Whistler 強度が最も強く、存在率の高い $4\text{kHz} \sim 6\text{kHz}$ に $f_1 \sim f_2$ を選ぶのがよい。③はリミッターで $4V_{pp}$ は入力換算で約 40mV 程度で通常はほとんど聞きとれない Whistler である。④は例外的なものであり対策を立てていない。以上により、 $f_1 \sim f_2$ 間に Whistler が存在し時間差が Tweek のそれ以上あり、通常耳で聞ける Whistler なら誤動作なしに検出できる。特に、この Whistler のミスカウントをなくすためディスクリミネーターを3個作りその中心周波数を 3kHz 、 5kHz 、 7kHz

とすればさらにすぐれた結果がえられる。

4. 今後の問題点

ディスクリミネーター出力を超低周波 BPF に通す場合、Whistler が $f_2 \sim f_1$ に達するのは一回のみであるが BPF の応答特性によって2回～3回の減衰振動をすがそれが基準電圧を上まわると1個の Whistler であってもコンパレーター出力パルスは2個～3個出ることになる。これを防ぐため超低周波 BPF の下限しゃ断周波数を下げ、LPF にして減衰振動を早めるか、コンパレーター出力を0.1秒～0.5秒程のワンショットマルチ回路に通すかであるが、前者を選べば Tweek レベルに近い Whistler はその減衰特性のため、また附近の電線の負荷変動による出力でミスカウントが生じるおそれがあり、後者を選べば0.1秒～0.5秒間に続いて発生する Whistler を検出できない。現在のところコンパレーター回路の C_3 と超低周波 BPF の下限周波数を調整して Whistler を検出している。またワンショットマルチ回路で検出したとしても実際問題として0.1秒～0.5秒間に2個～3個の Whistler が来た場合、人間の耳には正確にその数を聞きとれずソナグラフで数えるしかなく、マルチパスなどの Whistler を何個と数えるかなどで問題があるし、自動計測にする以上この程度のことはやまうえないと考えている。Whistler が f_2 から f_1 に達するまでの時間差すなわち周波数が分散値 D に応じて異なることを利用し超低周波 BPF の中心周波数をずらして各種作り、その出力の大きさによって分散値 D を求められる。これをさらに進め自動分散値測定器の開発を行なう予定である。

また Whistler 検出装置を多数作り同一 Whistler の地上での広がりについて細かに研究したいと思っている。

6. 謝 辞

この装置は本学の特別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感謝します。

試作にあたっては直接終始有益に御検討と御指導を給
わった江口博之教授に深く感謝します。また長期間にわ
たって超低周波 BPF の便宜を与えていただいた木村正
明助手に感謝します。

なお本装置の試作で45年卒研究生の近藤君、空橋君と46

年卒研究生の飯田君、島田君、平林君らの協力に謝意を表
します。

文 献

- 1) 江口, 栗本ら: 中部工大紀要**3**, 45 (昭42—11)
- 2) J.F. Delpech: Audio Discriminator Measures Large
Frequency Changes, Electronics 39:9 p.76~77
- 3) 栗本, 渡辺: 中部工大紀要**7**, 67 (1971—12)