

空電雑音の統計的測定結果について (続報)

仲井 猛 敏 鈴木 義 弘

I. 緒 言

空電雑音の観測は 1957 年以来 W.M.I. の期間中当研究所で実施している。測定は空電雑音の瞬時の包絡線電圧の振幅-確率分布と空電電界強度の積分値について行い、主に空電の雑音構造の統計的測定に重点を置いている。前号⁽¹⁾では 1957 年 6 月の W.M.I. の期間に行われた観測結果について報告した。本文では 1958 年 6 月に行われた W.M.I. 期間中の観測結果について述べよう。特に振幅-確率分布の測定は以前に較べ一層低い確率範囲を含みうるようになったので、雑音構造について一層立ち入った調査を行った。測定周波数 50 kc の空電雑音は著しい衝撃性を示し熱的雑音とはっきり異なった特性を示した。先ず、求められた多数の振幅-確率分布の平均を求める試みを行い、二つのパラメータすなわち空電電界強度の積分値の測定値及び測定された振幅-確率分布を積分することにより求めた平均値に関して、平均の振幅-確率分布の形をそれぞれ求めた。特に平均値について求めた分布は平均値の項を変数とした表式を導いた。次に雑音の最も直接的な衝撃性は振幅-確率分布の雑音のパラメータを測定した記録、すなわち雑音の包絡線電圧がいろいろの *threshold voltages* をこえる時間率の記録について、ペンの軌跡が *impulsive excursion* を示すものの中軌跡の平均から最も大きく振れる幅を以て示すことができるので、この振れとペンの軌跡の平均、すなわち雑音の包絡線電圧が与えられた *threshold voltage* をこえた時間率との関係を求めた。さて衝撃性の雑音が与えられた *threshold voltage* をこえる継続時間は時間率と平均からの振れとの項で求められる。一方、平均値の項で表わした平均の振幅-確率分布から、時間率を与えれば対応する *threshold voltage* は平均値の尺度で求められる。従って振れと時間率の関係から究極的に、衝撃性の空電雑音の包絡線電圧の形を求めることができた。観測期間における雑音の強度は、積分値及び平均値のレベルの日変化として調べた。

又雑音の実効値対平均値の比について考察を行った。詳細は以下本文に述べよう。

II. 測定及び整理

空電雑音の振幅-確率分布における雑音のパラメータを測定する回路、すなわち雑音の包絡線電圧が与えられたいろいろの *threshold voltages* をこえる時間率の測定回路及び空電電界強度の積分値の測定回路を主とする測定系は概ね前号に報告した通りで、受信周波数 50 kc、受信機の 3 db 点間の帯域幅は大体 1 kc としたので前回と変わらない。変えた点は積分値測定回路の放電時定数を以前の約 10 倍の 80 秒に選んだこと、時間率測定回路の 5 mA の記録電流計を一部高感度の電流計に換えて測定を行い、電流計の指示値を大体 10 秒毎に読みそれを記録することにした点である。この方法により現在の記録電流計のみで測定する場合に求められる振幅-確率分布の測定限界を越えて、大体 0.05% の低確率範囲まで広がる振幅-確率分布が求められた。時間率の測定は毎時刻 8~11 分間に亘って行い、1日の 01 h から 07 h の間は自動的になされたが、08 h から 24 h の間はオペレータによってなされ、特にオペレータによる測定では電流計の指示値の記録を行った。

記録電流計のペンの軌跡及び電流計の指示値の記録は、いずれも 2 分間の平均を求め統計的に定常なデータをうるようにした。衝撃性雑音に基づくペンの軌跡の *impulsive excursion* については、2 分間の最大の振れを読んだ。又電流計の場合には 2 分間の記録値から最大の振れを読んだ。

空電電界強度の積分値については、観測期間を通じて連続的に自動記録がなされた。その記録は雑音の衝撃性に対応した脈動を示した。

III. 平均値の評価

雑音の瞬時の包絡線電圧の平均値或は実効値は測定された振幅-確率分布を積分することにより求めることができる。一般に積分法によりこれらのパラメータを評価することは面倒で手数がかかるものであるから、ここでは特別の場合を考え一層簡単に行える方法を述べよう。これは前号で述べたように、測定された振幅-確率分布が 2, 3 の *log-normal* 分布の合成によ

り近似されるような場合であって、振幅・確率分布が一つの log-normal 分布により表わされるとき、平均値或は実効値を評価するための既知の公式⁽²⁾を応用するものである。前号で挙げた諸式に重複することを嫌わずに必要な関係式を挙げれば次の通りである。

$$X = \int_0^{E_x} EP(E)dE$$

$$\doteq \sum_0^{E_x} E_s \{ \phi(t_q) - \phi(t_r) \} = \sum_0^{E_x} E_s \Delta \tau \quad (1)$$

$$Y^2 = \int_0^{E_x} E^2 P(E)dE$$

$$\doteq \sum_0^{E_x} E_s^2 \{ \phi(t_q) - \phi(t_r) \} = \sum_0^{E_x} E_s^2 \Delta \tau \quad (1)'$$

$$\bar{X} - X = \int_0^{\infty} EP(E)dE$$

$$- \int_0^{E_x} EP(E)dE = \int_{E_x}^{\infty} EP(E)dE \quad (2)$$

$$\bar{X}^2 - Y^2 = \int_0^{\infty} E^2 P(E)dE$$

$$- \int_0^{E_x} E^2 P(E)dE = \int_{E_x}^{\infty} E^2 P(E)dE \quad (2)'$$

$$\bar{X} = E_{50} e^{2.65\sigma^2/2} \quad (3)$$

$$\sqrt{\bar{X}^2} = E_{50} e^{5.3\sigma^2/2} \quad (3)'$$

$$\sigma' = \log \frac{E_{16}}{E_{50}} \quad (4)$$

ここで

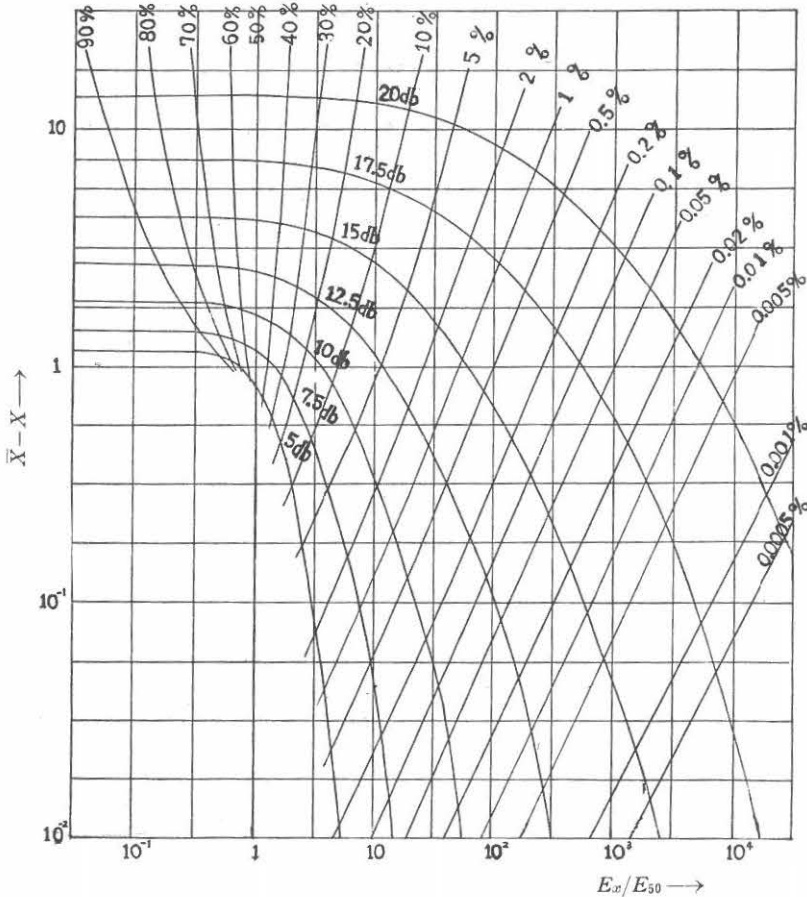
\bar{X} : 雑音の包絡線電圧の平均値

$\sqrt{\bar{X}^2}$: " " 実効値

E_{16}, E_{50}, E_x : 雑音の包絡線電圧がそれぞれ 16%, 50% 及び $x\%$ の時間をこえる threshold voltage

平均値あるいは実効値のグラフを求めるときにそれぞれ (1), (2) 及び (3) の式あるいは (1)', (2)' 及び (3)' の式が用いられる。(1), (2) の式あるいは (1)',

第1図 平均値を求めるグラフ



(2)'の式は、振幅-確率分布が log-normal 分布である場合に数値計算により E_x の函数として求められる量を示し、標準偏差が 5, 7.5, 10, 12.5, 15, 17.5 及び 20 db をもった log-normal 分布について各行った。第1図は計算結果により作成した平均値を求めるグラフを示している。横軸、縦軸はそれぞれ E_x 及び $(\bar{X}-X)$ の各、の対数を取った。すなわち $(\bar{X}-X)$ の計算値を E_x に対してプロットし、標準偏差をパラメータとする曲線を示した。上の計算は、いろいろの標準偏差をもった log-normal 分布における確率 50% に対する E_x の値を等しく 1 として行った。又第1図の横軸は 50% に対する E_x の値を 1 としている。計算曲線に交わる多数の曲線は、計算曲線上等しい確率点を滑かに結んだ等確率曲線を示し、パラメータは確率を % で示している。

第1図を利用し与えられた振幅-確率分布から平均値を求める方法はグラフの誘導から一応明らかであると思うが、簡単な例を用い応用を述べよう。与えられた振幅-確率分布が二つの log-normal 分布により構成されるものとする。二つの log-normal 分布のうち一つは内挿により、他の一つは外挿により 50% の threshold voltage を求める。次に二つの分布が接続する点の確率 p と threshold voltage E_x とを求める。先に求めた 50% の二つの threshold voltage のこれに対する比をそれぞれ E_{1x} 及び E_{2x} とし、その中 E_{1x} は低確率側の log-normal 分布に対応させる。 p と E_{1x} , p と E_{2x} の組の値に対してそれぞれグラフの点を読めば

$$\bar{X}_1 - X_1 = \int_{E_{1x}}^{\infty} E_1 P_1(E_1) dE_1 \quad (5)$$

$$\bar{X}_2 - X_2 = \int_{E_{2x}}^{\infty} E_2 P_2(E_2) dE_2 \quad (6)$$

の値が直ちに求められる。1, 2 の添数は低確率側及び高確率側における二つの log-normal 分布に属するそれぞれのパラメータを示す。(6) から

$$X_2 = \bar{X}_2 - (\bar{X}_2 - X_2) = \int_0^{E_{2x}} E_2 P_2(E_2) dE_2 \quad (7)$$

が求められる。 \bar{X}_2 は (3) 式から求められる量で高確率側における log-normal 分布の雑音包絡線の平均値寄与量である。(3) 式に基づいて \bar{X} 対 σ' のグラフを求めて置けば $(\bar{X}_2 - X_2)$ の値から X_2 の値を求めることは容易である。(5) 及び (7) 式の値は二つの log-normal 分布の 50% の時間率に対する threshold voltage をそれぞれ 1 としたときに求められる値であ

るから、絶対値に換算して加算すれば、与えられた振幅-確率分布の積分により求められる平均値の絶対値が導かれる。すなわち

$$\frac{E_x}{E_{1x}} \cdot (\bar{X}_1 - X) + \frac{E_x}{E_{2x}} \cdot X_2 \quad (7)$$

IV. 雑音の包絡線電圧の継続時間

雑音の包絡線電圧は雑音が狭帯域の受信機を通過した出力においては、パルスの random な継列として現われ、類似なパルス形に重畳して振幅が広範囲に変化するパルスが現われる。時間率記録計のペンの軌跡は、包絡線電圧がいろいろの threshold voltage をこえる部分の継続時間に応動して小なる脈動に大きい impulsive excursion の重畳した状態を示した。前号ではいろいろの threshold voltages をこえた後に生じる等振幅-矩形状電流が周期的に現われるとして、ペンの軌跡における振れの大きさが時間率に対して変動する状態を説明した。本文では一つの impulsive excursion を生ぜしめるような一つのパルス或是一群のパルスに特に着目しよう。すなわちペンの軌跡の時間的变化を次のように考える。雑音の包絡線電圧がいろいろの threshold voltages をこえた後、時間率測定の積分回路にその積分時定数に比して無視できるような短周期の等振幅-矩形状電流が継続し、一つのパルスあるいは一群のパルスがその間に間歇的に現われるものとしよう。若しもその出現の仕方が周期的電流に続いて randomly に起るものとすれば、ペンの軌跡の平均に対して示される impulsive excursion の振れは統計的平均として次式で示されよう。すなわち

$$\frac{E}{R} \left\{ 1 - \left(1 - \frac{P}{100} \right) e^{-\alpha \tau} - p \right\} \quad (8)$$

ここで括弧内の式は振れの電流計の全目盛に対する比を示す。

p : ペンの軌跡の平均すなわち時間率

α : 時間率測定回路の積分時定数

τ : impulsive excursion を生じる雑音の包絡線電圧が与えられた threshold voltage をこえる部分の継続時間

E/R : 電流計の全目盛を示す電流値

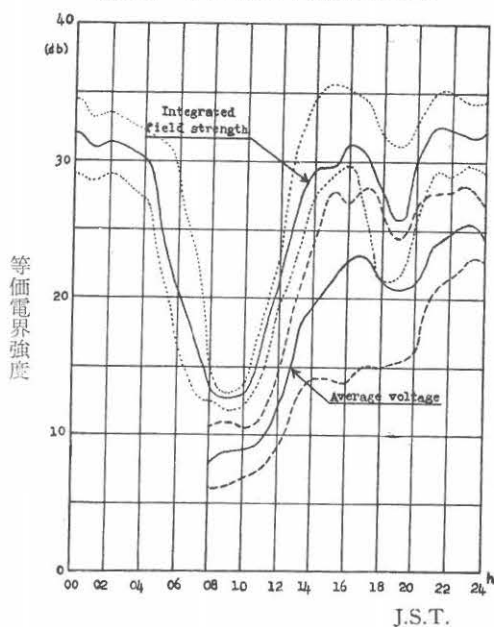
従って時間率の記録から、時間率と impulsive excursion の振れを測れば、雑音の包絡線電圧が与えられた threshold voltage をこえる部分の継続時間が求められるわけである。

V. 結 果

5.1. 積分値, 平均値

空電電界強度の積分値は10日間に亘り自動的に連続記録がなされた。毎時刻における積分値レベルは振幅-確率分布の測定がなされた期間に対応するものを取り、記録器のペンの軌跡の脈動の大体中央値を読んだ。毎時刻における積分値の10日間の平均レベルを第2図に日変化曲線として示した。上下の二つの点曲線はそれぞれ upper deciles 及び lower deciles を示す。測定された振幅-確率分布を積分することにより求めた平均値の10日間の平均レベルを第2図の下側に日変化曲線として示している。上下のドットした曲線はそれぞれの upper deciles 及び lower deciles を示す。雑音の統計的パラメータを示す積分値及び平均値のうち、前者は直接測定された値を示し、後者は間接的に振幅-確率分布から求められた値を示すが、それらの日変化曲線はいずれも類いの傾向を示した。昼夜間におけるレベル差は積分値と平均値とで若干の相異が認められ、それぞれのレベルにおいて大体7~8倍あるいは5~6倍の変動を示した。午後は局部的空電の活発化に伴いレベルは共に上昇を示し、大体夜間のレベルに近づいた。

第2図 積分値及び平均値の日変化



5.2. 振幅-確率分布

振幅-確率分布における雑音のパラメータの測定は五つの時間率測定回路を用いて、雑音の包絡線電圧が

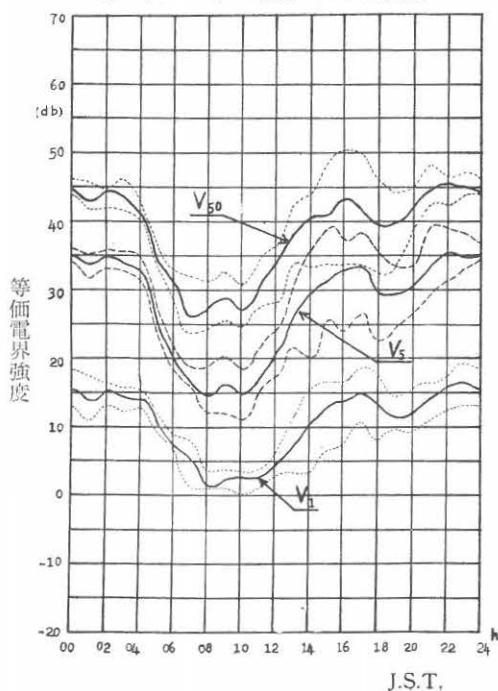
いろいろの threshold voltages をこえる時間率を測定した。測定は毎時刻1回を行われ、特に広範囲の threshold voltage に対する時間率を求めるため2~3段階に分けて逐時的に行った。異なる測定段階には各時間率回路に異なる threshold voltage を与えたが、異なる測定段階の時間差に対応して空電源に状況の変化が生じたか否かを調べるために、特定の時間率測定回路には、常に一定の threshold voltage を与えた。これをこえる雑音の包絡線電圧の時間率が変わる場合には、全測定段階を通じて測定された時間率の記録は同一空電源に対応すると見做され、一つの振幅-確率分布が求められた。測定された結果から、対数確率紙上に振幅-確率分布が求められた。

測定された全ての振幅-確率分布について、いくつかの log-normal 分布により近似させた結果は、総数の大体90%は二つ乃至三つの log-normal 分布により近似されることを示した。一つ乃至四つ以上の log-normal 分布により近似される場合が残りの10%であった。

第3図は、振幅-確率分布において時間率50, 5及び1%に対する各の threshold voltage を読み10日間の平均を取った日変化曲線を示す。

V_{50} , V_5 及び V_1 の記号はそれぞれ50, 5, 1%に対する threshold voltage を表わす。各の平均日変

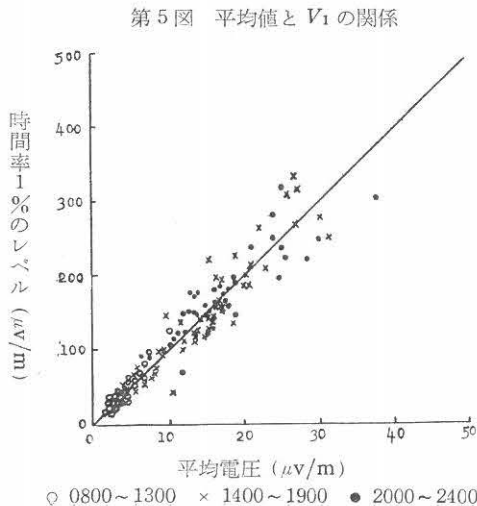
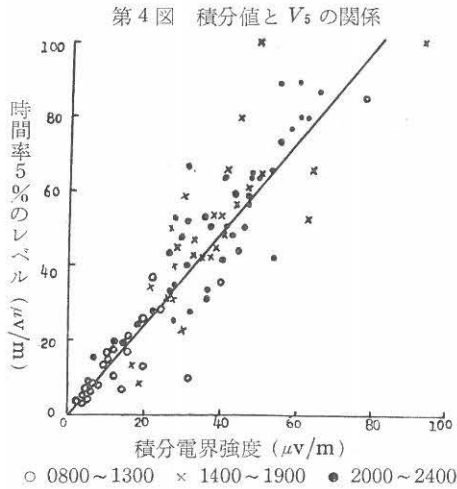
第3図 V_{50} , V_5 及び V_1 の日変化



化曲線の上下の点線はそれぞれのパラメータに関して upper deciles 及び lower deciles を示す。これらのパラメータの日変化曲線は詳細に見れば相異はあるが、大体類似の日変化の傾向を示す。

積分値、平均値、 V_{50} 、 V_5 及び V_1 等のいろいろの統計的パラメータの間に、各の平均を取って比較すれば類似の傾向があることは前号において又本文で述べた通りである。本文では振幅-確率分布から求められる V_{50} 、 V_5 、 V_1 等のパラメータを積分値あるいは平均値等に毎時刻対比させて相互間の関係を求めよう。

第4図は雑音の包絡線電圧が5%に対応する threshold voltage を毎時刻測定された各の振幅-確率分布から求め同期間に測定された積分値レベルに対比したもので、横軸、縦軸はそれぞれ積分値及び5%に対する threshold voltage を取っている。プロット



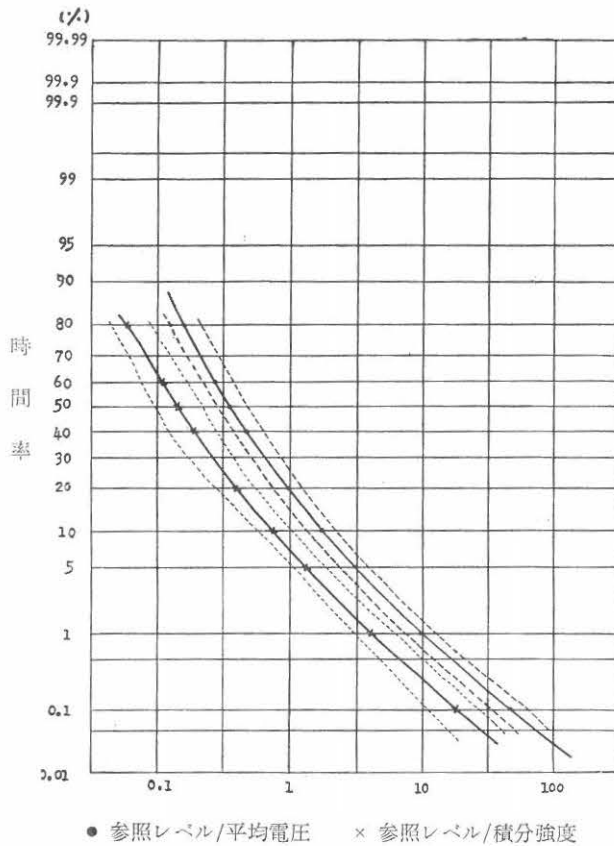
の異なる記号は1日を分けた異なる時刻区間を表わす。プロットの分布から原点を通る直線を引くことができ、二つのパラメータの間に直線的比例関係が在ることが認められる。第5図は振幅-確率分布から1%に対する threshold voltage を求め、他方同じ振幅-確率分布から積分により求めた平均値を対比させている。横軸、縦軸はそれぞれ平均値及び5%に対応する threshold voltage を示し、プロットの異なる記号は1日の分けた時刻区間に対応する。この場合にも二つのパラメータの間に統計的平均として直線的比例関係がある。

振幅-確率分布のいろいろの時間率をこえる threshold voltages の各について、積分値と平均値に対する関係を調査した結果は、第4図或は第5図に示したような直線的比例関係がそれぞれの場合に見出された。従って与えられた時間率に対応する threshold voltage を統計的平均として積分値、あるいは平均値の単位の尺度で表わすことができる。本文では時間率が80, 60, 50, 40, 20, 10, 5, 1及び0.1%のいろいろの値をとる場合について、各に対応する threshold voltage を積分値あるいは平均値の単位の尺度で求めた。

5.3. 平均の振幅-確率分布

雑音の包絡線電圧の平均の振幅-確率分布を求めこれを簡単に表示する試みは既に行われており、又この種の提案がある。若しもかかる表式が求められるなら、一観測地点において測定せられる振幅-確率分布を特性づけることになり、観測地点の地球上の位置と空電源分布、その強度及び頻度等との間の関係を調査する手掛りになると思う。振幅-確率分布における雑音のパラメータが前節に述べたように、積分値の測定値あるいは平均値の計算値の単位の尺度で表わしうから、平均の振幅-確率分布を第6図に示したように求められる。第6図は平均の振幅-確率分布を対数正規確率紙に描いたもので、縦軸、横軸にそれぞれ時間率及び積分値あるいは平均値のそれぞれの単位で測った threshold voltage に取っている。二つの振幅-確率分布のうち、'・'及び'×'の記号はそれぞれ平均値及び積分値の単位の尺度で測られることを示す。二つの振幅-確率分布の各の両側の点曲線及びドットした曲線は、測定された振幅-確率分布の4/5の変化範囲を劃する境界線である。これらの変動範囲は平均値の場合は積分値の場合に比して小さいことが分かる。このことは積分値の方が平均値に比して比較的大振幅の雑音の影響が大きいためであると考えられる。二つの

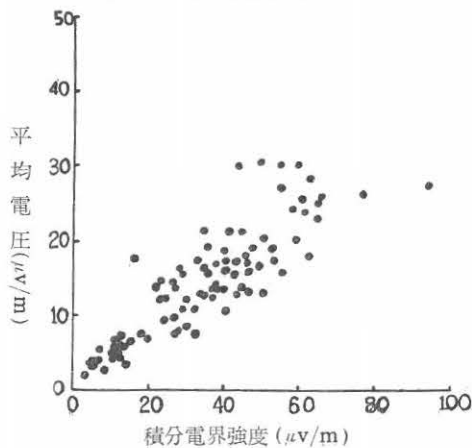
第6図 平均・振幅確率分布



平均の振幅・確率分布は類似の形を保ち横軸に沿うて概ね移動させた位置を取っている。

第7図は計算した平均値と積分値の測定値との関係を示すもので横軸、縦軸にそれぞれ積分値と平均値を

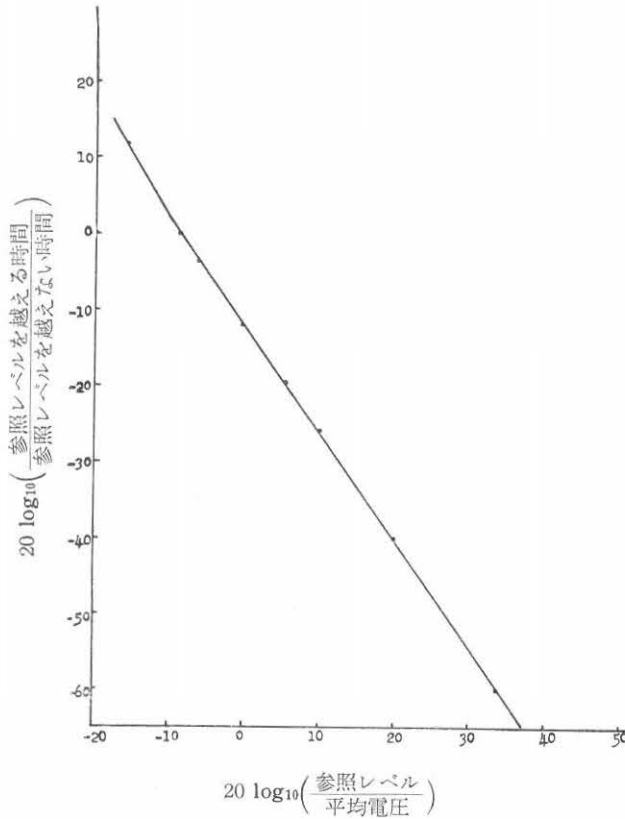
第7図 平均値と積分値の関係



取っている。積分値の記録はペンの軌跡が甚だしく脈動し、中央値に対する変化範囲が大きい場合があったので、かような場合の中央値の評価は不確かなのでこのグラフから除外してある。

次に平均の振幅・確率分布の表式を誘導するために、第6図に掲出した平均値についての平均の振幅・確率分布を第8図に書き直した。⁽⁴⁾ 縦軸は $Q(v)/1-Q(v)$ の対数を取り横軸は $\text{threshold volt./average volt.}$ の対数を取った。ここで $Q(v)$ は雑音の包絡線が $\text{threshold voltage } v$ をこえる時間率を表わし、 $1-Q(v)$ は雑音の包絡線が $\text{threshold voltage } v$ をこえない時間率を表わしている。 $Q(v)/1-Q(v)$ は雑音の包絡線が v をこえる時間率のこえない時間率に対する比である。第8図から平均の振幅・確率分布は殆ど直線に変形され、その範囲は大体80%から0.1%の確率範囲を含んでいる。従ってかようなときには、雑音包絡線が $\text{threshold voltage } v$ をこえる時間率 $Q(v)$ は次の如く平均値 \bar{v} の項で表示できる。即ち

第8図 平均-振幅確率分布



$$Q(v) = [1 + (av/\bar{v})^r]^{-1}$$

ここで a , r は常数であって直線の傾斜及び平均値 \bar{v} に対する縦軸の値から求められる。目下考察中の平均の振幅-確率分布について求めた結果は $a=2.7$, $r=1.4$ という値がえられた。既に述べて来たように、この結果は 08 h から 24 h の時刻区間の全体の振幅-確率分布から求められた結果であるが、01 h から 07 h までの時刻区間が除かれたために上の表式に特に変更があるとは思えない。

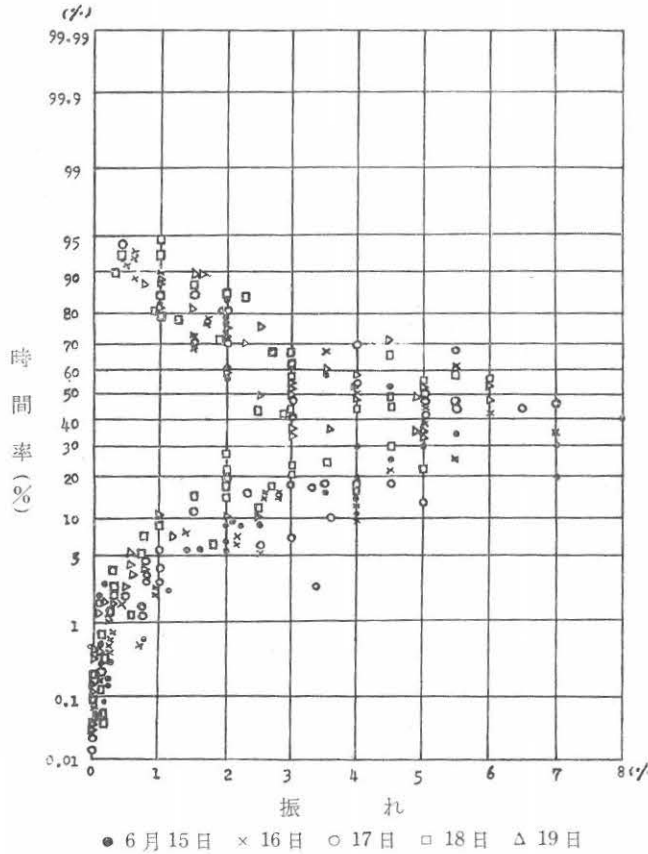
5.4. 衝撃性雑音の包絡線波形

Harwood⁽⁴⁾ は大振幅の空電雑音が受信機出力に生じる包絡線電圧は既知の形をもつとし、空電雑音の pulse rate を測ることにより、低確率範囲における包絡線の振幅-確率分布を求めている。大振幅の空電雑音により受信機出力に生じる包絡線電圧は当然統計的なものであり、大振幅の空電雑音を殆ど短いインパルスと同様に見做しうるか否か、かような情報を求めるために、又空電雑音の衝撃性を表わすために、ペン記録方式による時間率の記録から、究極的に衝撃性雑

音の包絡線波形を求める試みを行った。

先ず空電雑音の衝撃的性質は時間率記録計のペンの軌跡に着目し、測定期間内のペンの最大を示す impulsive excursion の大きさが軌跡の平均からどれ位振れるかを測ることにより知ることができる。第9図は5日間 19~23 h の時刻区間における時間率の記録からえられたものであり、横軸、縦軸はそれぞれ時間率及び振れの大きさを取った。プロットは便宜上正規確率紙に表示した。振れと時間率の関係を平均曲線に求めたものを第10図に示した。異なった曲線はそれぞれ1日を数個の時刻区間に分けて求めたものである。この場合10日間の総ての記録から求めた。一般的傾向としては時間率50%附近で最大の変化が認められる。時刻による変化は第10図に示され、主な傾向は08~12 h の期間に生じる振れの大きさは他の時刻区間に生じるものに比し大きいことである。他の時刻区間相互には、若干の相異はあるが大部分の確率範囲において大体差異がない。かような傾向は第2図を参照して空電強度のレベルに依存することが分かる。

第9図 時間率と振れの関係



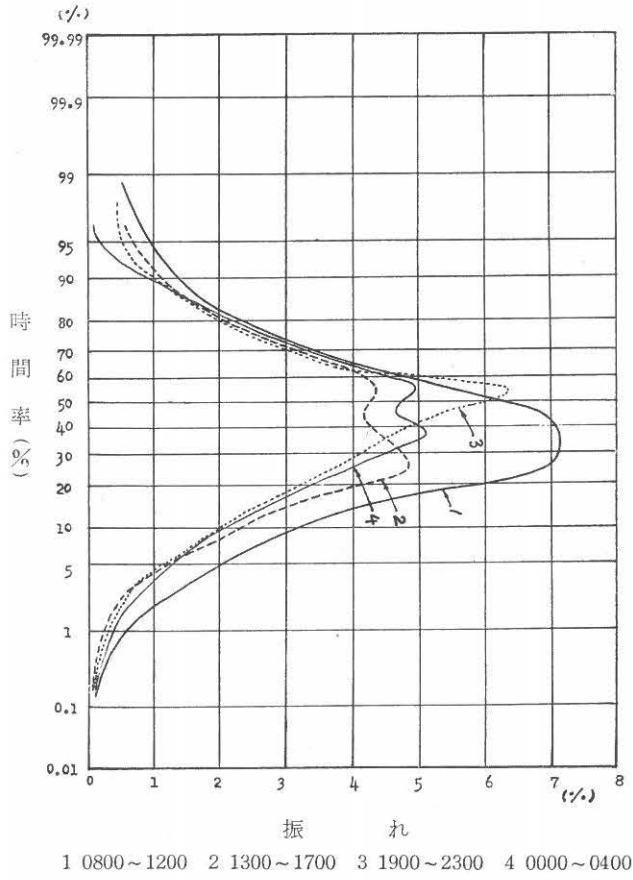
すなわち 08~12 h の期間はレベルが1日中最低を示し、他の時刻区間はレベルが最高を示し、且つ午後におけるレベルと夜間におけるレベルの間ではレベル差が比較的少い期間である。

従って測定期間に最も甚だしい *impulsive excursion* を生じるような衝撃性の雑音は、平均値あるいは積分値等のレベルの減少に比例して減少しない。又かかる雑音の振幅が昼夜の状態に余り依存しないとすれば、レベルが減少するに伴ってその生じる衝撃性が相対的に顕著になるものと思う。

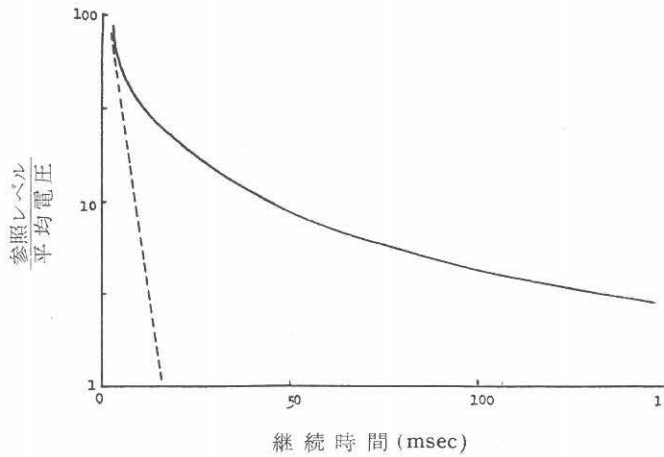
さて上に考察したような *impulsive excursion* を生じた雑音の包絡線電圧の波形を求めよう。第10図に示したような振れと時間率との関係を、10日間の全ての記録から時刻、昼夜の別なく取り平均曲線を求めた。前掲の(8)式から平均曲線に基づいて時間率を与えたとき対応する *threshold voltage* をこえる雑音の包絡線電圧の継続時間を求めた。ここで時間率が与えられるときそれに対応する *threshold voltage*

は統計的平均として、先に求めた平均の振幅・確率分布の形を取るわけであり、この分布が平均値の単位の尺度で求められたものを採用すれば、時間率と継続時間との関係はすなわち *threshold voltage* と雑音包絡線がそれをこえる継続時間の関係に書き直すことができる。これらの演繹を行って最終的に求められた雑音の包絡線電圧の波形を第11図に示した。縦軸は *threshold voltage* あるいは振幅と云ってもよいが平均値の単位の尺度に取っている。横軸は *threshold voltage* をこえる雑音包絡線の部分の継続時間を示している。ダッシュを施した曲線は比較のために示したもので、短いインパルスが受信機に加えられると仮定したとき、⁽⁴⁾ 単一段の同調回路をもち 1 kc の帯域幅の受信機の出力に生じる包絡線電圧の波形である。比較のため両波形は実験的に求められた波形の 0.05% の所で *threshold voltage* が一致するように描いている。これにおいて見れば、同一の *threshold voltage* に対する継続時間の長さが比較できるような範

第10図 時間率と振れの関係



第11図 雑音の包絡線波形



用は0.1~0.5%以下の確率範囲に限られ、それより高い確率範囲では両波形における継続時間の差は益、著しくなっている。

VI. 大振幅の空電雑音

空電雑音の包絡線電圧が与えられた **threshold voltage** に対し非常に小さい時間率しか示さないような包絡線電圧の部分が、平均値あるいは実効値のような統計的パラメータにどんな影響をもつか、求められた平均の振幅-確率分布を主体として構成される振幅-確率分布のモデルについて考察しよう。

6.1. 平均値

先ず簡単な場合として振幅-確率分布が一つの **log-normal** 分布と考えられる場合、確率のいろいろ異なった区間からの平均値に対する寄与量を計算し結果を第12図に掲出した。計算方法は前号に述べた通りである。すなわち0.3 dbの振幅区間毎の平均値寄与量を計算し3 db区間毎に集計したものを、3 db区間の最大振幅の函数としてプロットしたものである。この計算は **log-normal** 分布の50%に対応する振幅を等しく1として計算したものであり、横軸は又50%に対する振幅を1とした。縦軸、横軸はそれぞれ平均値寄与量あるいは振幅の対数を取った。第1表は平均値の評価が若干の誤差を許容せられる場合、振幅-確率分布において無視してもよい限界を示すもので、時間率及び **threshold voltage** の50%のそれに対する振幅比を示す。

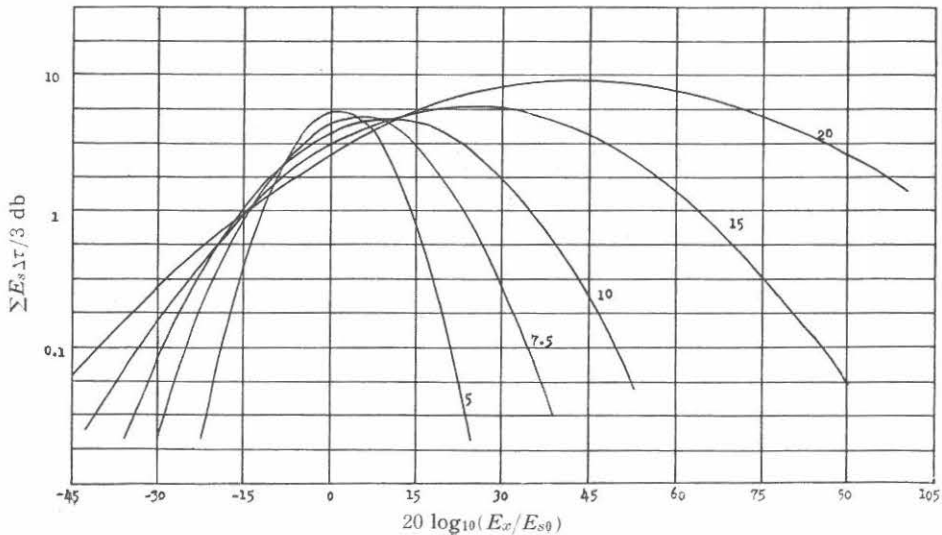
第1表

標準偏差 (db)	10		15		20	
許容誤差 (db)	1	3	1	3	1	3
時間率 (%)	0.99	3.2	0.19	3.9	0.023	0.13
振幅比 (db)	23.3	18.5	43.5	36	70.2	30.2

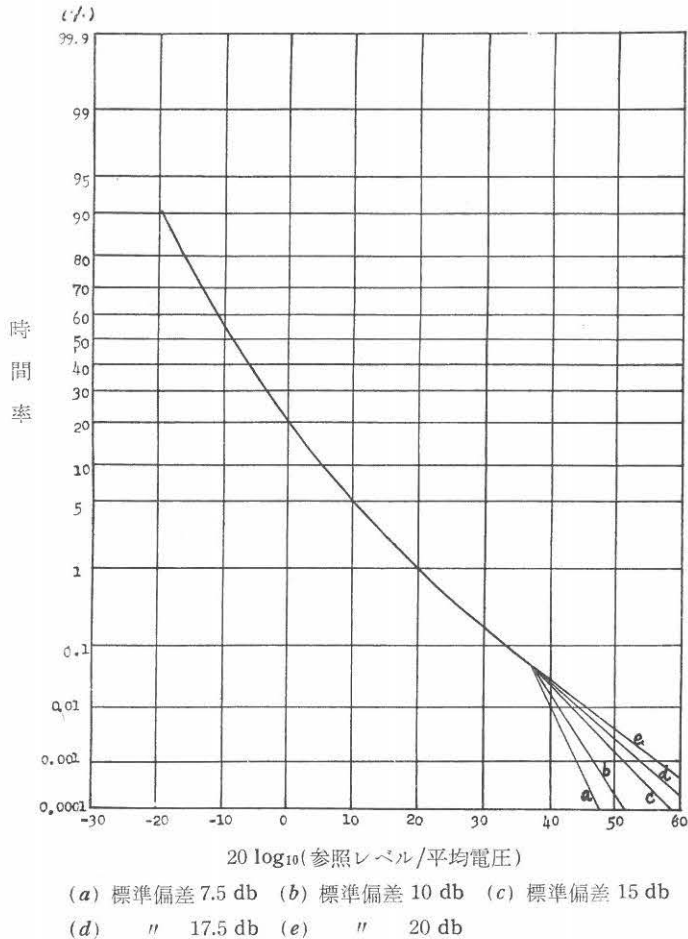
さて本文でこれまで述べて来た平均値は、毎時刻測定された振幅-確率分布を積分することにより求めたものであるが、ここで測定限界は大体0.05%であって、それ以外の確率範囲においては測定された振幅-確率分布が外挿されるものとした。従って当然外挿範囲にある空電雑音の実際の振幅-確率分布の特性いかに依っては求めた平均値が左右されることになる。そこで第13図に示すような振幅-確率分布のモデルを想定し平均値についてかかる影響を考察しよう。分布のモデルは先に求めた平均の振幅-確率分布を主体として構成され、確率0.05%のところでは他の振幅-確率分布に接続されるとする。

この確率以下の範囲の振幅-確率分布は実際の空電雑音の振幅-確率分布の特性の変化を考え、いろいろの大きさの標準偏差をもった **log-normal** 分布により表わされるとしよう。かように0.05%以下の範囲においてのみ異なった振幅-確率分布をもついろいろのモデルについて、積分により求めた平均値を第2表に示した。上の行は標準偏差をdbで示し、下の行の数は求められた平均値を示す。

第12図



第13図 いろいろの振幅-確率分布のモデル



第2表

標準偏差 (db)	7.5	10	15	17.5	20
平均値	0.944	0.945	0.956	0.972	0.982

第2表の結果から、平均値は平均の振幅-確率分布の確率範囲内における雑音の寄与量で殆ど決まり、0.05%以下の範囲の雑音の寄与は特性の変化を考えても殆ど無視できることを示している。従って本文で述べた平均値は、毎時刻測定された振幅-確率分布の外挿を行って求めたが、平均値の誤差は無視できると思う。

次に第2表に示した平均値の値が殆ど1に近い値を示すことの意味である。元来平均値は直接測定する場合を除き振幅-確率分布を積分することにより求める他に方法がない。

然るに上に用いた振幅-確率分布は平均振幅-確率分布を主体として構成され、主に後者の分布を表示するとき用いた平均値の単位で **threshold voltage** を示している。すなわち平均の振幅-確率分布を求める統計的方法に由来して平均値が1として与えられている。従って振幅-確率分布のモデルについて、積分することにより求めた平均値が、統計的方法により振幅-確率分布の全体の形とは独立に与えられる平均値と殆ど適合することを示している。

6.2. 実効値

振幅-確率分布において非常に小さい時間率の範囲内にある雑音の包絡線部分が実効値に及ぼす影響は、平均値における場合と同様に前節に想定したと同じ振幅-確率分布のモデルを用いて考察することができる。0.05%以下の確率範囲においてのみ異なった **log-normal** 分布をもつ各々のモデルについて、積分によ

第 3 表

標準偏差 (db)	7.5	10	15	17.5	20
実効値	9.6	9.8	12.1	18.7	38.7

り求めた実効値を第 3 表に示した。

平均の振幅-確率分布を外挿する場合 0.05% 以下においては標準偏差は 17.6 db の値を示すから、仮に平均の振幅-確率分布を全確率範囲に外挿したときの分布を基準に取れば、0.05% 以下の範囲での振幅-確率分布の特性の変化に依存して実効値の評価に大体 ± 6 db の変化が生じる。

次に第 4 表は 0.05% の確率で境される二つの確率範囲の雑音包絡線電圧からの実効値に対する寄与量を比較して示している。ここに寄与量は雑音包絡線電圧の 2 乗を以て示している。

第 4 表

標準偏差 (db)	7.5	10	15	17.5	20
0.05% 以上の 寄与	92.3	92.3	92.3	92.3	92.3
0.05% 以下の 寄与	1.01	3.70	55.6	258	1404

第 4 表から、0.05% 以下の雑音の包絡線電圧の部分は、その他の確率範囲の包絡線電圧の部分に比較して無視できる場合があり、又逆に後者が前者に対して無視できる場合も生じる。従って一層低確率範囲を含む振幅-確率分布を測定しないなら、例えば 0.05% 程度で限定される振幅-確率分布から積分により実効値を評価するときは相当の誤差が生じる。

6.3. 実効値対平均値比

現在の振幅-確率分布の測定範囲では実効値を信頼出来る程度に求めることはできない。

然し非測定範囲の振幅-確率分布の変化を考えれば、それに相応した変化範囲内で実効値対平均値比を求めることができる。すなわち第 3 表に示した数字をそのまま用いることができる。これらの数字は受信周波数 50 kc, 帯域幅 1 kc の場合における実効値対平均値比を示し、非測定範囲内に標準偏差 10, 17.5 及び 20 db をもつ log-normal 分布を仮定した場合に対応してそれぞれ 10, 19 あるいは 34 位の値を示す。この程度の大きさは実効値対平均値比が熱的雑音において例えば 1.13⁽⁴⁾ であることに比すれば、50 kc 空電雑音の明らかな衝撃性を示す。

VII. 結 論

空電雑音が受信周波数 50 kc, 帯域幅約 1 kc の狭帯域受信機を通して出力に生じる包絡線電圧についての測定結果を本文で述べた。ここで主な特徴を示そう。すなわち

1. 積分値、平均値及び測定された振幅-確率分布のいろいろの雑音パラメータの間には密接な関係がある。これらの統計的パラメータは大体直線的比例関係があり、日変化のように類似の傾向を示す。又等しく空電雑音の統計量と称しても異なる特定のパラメータを示し、量的には相互の間に明確な差異がある。
2. 平均の振幅-確率分布は積分値の測定値あるいは平均値についてそれぞれ求められる。特に後式について求められる表式において、 $a=2.7$, $r=1.4$ の値を用いた。
3. 測定された個々の振幅-確率分布から積分により平均値を求めることは、現在の測定範囲について大体正しい値が求められる。然し実効値を類似の方法で求めるには一層低確率範囲における振幅-確率分布が測定されねばならない。従って空電源の変化をエネルギーについて記述するには、一層限定された確率範囲にある雑音だけを測定することにより可能であると思う。
4. 雑音の包絡線電圧の波形は、測定期間中最大の impulsive excursion を生じたものから求められたもので、包絡線電圧に対する継続時間の統計的平均としての最大限を劃するものである。受信機出力における包絡線電圧が短いインパルスにより生じると仮定するときの包絡線電圧の継続時間に少く共比較できる確率範囲は本文に述べたように非常に限られその他の確率範囲では相当の差がある。その理由としては後者の確率範囲では、大振幅の包絡線電圧の減衰部分と低振幅の包絡線電圧が重畳することが考えられるが、他の一つの理由としては、本記録方式では分離できないパルス群を 1 パルスと等価に扱っているためと思う。

VIII. 謝 辞

この研究は地球観測年における空電雑音観測結果に基づいて整理したものである。本研究に御関心を寄せられ御激励下さった金原所長に厚く謝意を表すると共に、有用な助言を寄せられた佐尾助教授、計算及び整理に御助力下さった杉田、伊藤両氏に厚く謝意を表します。

文 献

- (1) T. Nakai: Proc. Res. Inst. Atm., Nagoya

- Univ., 5, p.30. 1958.
- (2) S. P. Hersperger, W. J. Kessler, A. W. Sullivan, J. D. Wells: Progress Report No. 5, 1. July-30, September, 1954.
- (3) F. Horner, J. Harwood: I.E.E. Part B, No. 5, November, 1956.
- (4) J. Harwood: I.E.E. Part B, No. 21, May, 1958.