8. 放送受信系のノイズおよび外来ノイズとその性質

電波監理局 裴 妻 二 三 雄

テレビジョンの放送を受信するとき、受信電波が弱いときには受信機内部ノイズによって、画面一面に縮緬状の小さい黒白の斑点が不規則に現われて画質を損なう。受信電波が強くても外来ノイズの強さが強いときには、その妨害を受けて、自動車ノイズのようにパルス性の場合には画面に黒い短い線分が散在したようになり、受信回路の特性によってその黒い線分に白い部分を生じたりする。ノイズレベルがさらに強くなると水平同期回路に入って、水平同期の何本かが損なわれて画面に横の棒状の妨害を与える。また、さらにノイズが強くなると、垂直同期にも入って画が上下に流れるようになる。連続性のノイズでは受信機内部ノイズと同様の妨害を与える。

妨害電波が入ってくると、それは正弦持続波であるため希望電波とビート妨害を生じる。これらの周波数の差によってこの黒白の縞の様子は変わるが、斜の縞、または横、縦の縞もあり、また縞の細かさも変わって、細いものや、また幅の広いものなどがある。妨害電波は空中線から入力に受信周波数付近で入るもの、中間周波数付近で入るものなどがある。

1. 外来ノイズ

受信の質を損なう妨害源としては受信機の内部ノイ

第1表 ノイズの種類

種 別	人 工 ノ イ ズ		自然ノイズ
	内部ノイズ	外 来 ノ イ ズ	
ほぼ周期性	ハム、ハウリング、モータボーンテイング	自動車点火コイル、直巻電動機を利用した電気ドリル、歯科エンジン、ミキサ、ミシン、ドライヤー、バリカン、掃除器など、接点の振動を応用したバリカンカミソリなど	空中線の静電放電
不規則で突発性	マイクロフオニックス、放電	サーモスタット、広告点滅灯、ボンバーダ、電気焼接機、信号機、配電線のケッチホルダ、ダumasスイッチの不良、ベル、電車、トロリーバスなど	近距離の空電、太陽ノイズのバースト
ランダム性	真空管フリツカ、抵抗の熱擾乱、真空管の放射	けい光灯、スリムライン、オゾン発生器、ラジオレーヤ、碍子の沿面放電、電線コロナ放電など	遠距離の空電、宇宙ノイズ、太陽ノイズ

"Internal and External Radio Noise for Broadcasting Receiving System" by Fumio Minozuma

ズ、外部ノイズがある。外部ノイズには人口ノイズ、混信、自然ノイズがある。これらの源は第1表に示すとおりであるが、受信するときと場合、また受信機の性能などによって主として受ける妨害の源は変わる。一般的には、外来ノイズの源は電気機械、器具、設備などから付随的に、また人工的に発生するものも多く、そのノイズの性質には周期性、不規則性、連続性などいろいろある。第1図にノイズ源におけるノイズの電圧波形を示すが、この波形の性質によって妨害を生ずる周波数帯の幅、時間などが変わる。高い受信周波数では主として細い鋭敏なパルス性のノイズが妨害を与え、低い周波数ではその逆に鈍な波形のノイズである。発生源における波形は、伝搬経路の多重通路、受信機の周波数帯域幅による制限、時定数回路の微分または積分特性などによって、周波数および時間特性または統計的性質が影響を受けて受

第1図 種々のノイズ源における電圧波形

第2図 ノイズの時間率

信機出力に現われる。

また、人間の目または耳の応動特性による影響も受けて、若干変わるものである。したがって、細いパルスが集まって群をなし、その群が周期的におきるような場合には、分解能の悪い受信機で受ける実際の妨害は個々の細いパルスは感じないで、その群の周期のみを感じ、また分解能のよい受信機では細いパルス自体を感じる。テレビジョンの受信機では周波数帯域幅が広いので分解能がよく、細いパルスも別に見られ、一方、音声チャンネルでは周波数帯域幅は狭いので、引続いてある細いパルスは1つものと感じられる。

ノイズ源におけるその電圧特性、立上り時間、幅などの波形のくり返しの統計的性質なども重要であるが、使用する受信機特性、通信の方式なども妨害の効果に関係している。したがってノイズの測定にあたって通常の受信状態と同じように、また同様の特性の受信機を用いないと実際の妨害の程度を比較することが困難となるため、いろいろの規格が定められている。

第3図 外来ノイズ・レベル

2. 都市ノイズ

一般的に、受信する地点でどのような外来ノイズの性質をもつかを示すためには、都市の市街地、住宅地、村落などに分けて、それらの地域において時間的に、また場所的にどのような確率で、どれだけのノイズ量が期待されるか、というように統計的に示す必要がある。まずノイズ測定を第2図の左に示すように連続的に行なって、あるノイズレベルを占める時間割合を右のように求める。このための整理時間は、ノイズの変化する統計的性質によって、少なくとも必要な時間の長さについて行なうのであるが、都市ノイズでは通常10分間くらいをとっている。右に示す時間率は通常確率紙の上に画くとほぼ直線に近くなって便利であるが、それは多くの場合レベルをデシベルでとると、デシベル正規分布に近いのである。ノイズレベルを統計的に取扱うとき、10%時間分布値のようにいうことがあるが、それはノイズが10%の時間を占めるようなノイズレベルをいうのである。

また、たくさんの地点で測定し、同様に統計的なそのノイズレベルの場所分布値を求めて、時間および場所についての統計的なノイズレベルの代表値を用いることもできる。このような値に、必要なSN比を加えると、任意の地点で満足以放送を受信できる割合が求まり、またある確率のサービスを行なうために必要な電界強度を求めることもできる。時間分布値などを求めるにあたっ

第4図 各種人工ノイズ源より10mの距離におけるノイズ電界強度 ($1\mu\text{V/m}=0\text{dB}$)。準尖頭値、受信機帯域幅 10kc

て、通常 5, 10, または 50% の時間率のレベルが用いられている。

第 3 図にいろいろのノイズのレベルを示すが、これは上にのべたようにして、非常に巨視的に画かれたものである。市街地および村落のノイズ、空電、宇宙ノイズなど、また受信機内部ノイズの概要を示すものである。第 3 図の下図は、上のノイズレベルは受信機の周波数帯域幅が 10 kc の場合であるので、違った周波数帯域幅の場合に、上の図のノイズレベルに加える補正係数である。この補正係数は、パルス性ノイズでは帯域幅に比例し、連続性ノイズでは帯域幅の平方根に比例するが、一般的に都市ノイズを取扱うときには平方根に比例するものとしてさしつかえない。しかしパルス性のみのノイズについて考えるときには、直接比例する必要がある。

テレビジョンの受信妨害となるノイズは、市街地では主として自動車の点火コイルによるものであって、1 台の自動車のみのときには帯域幅に直接比例するが、実際にはたくさんの自動車からのノイズが重なり合うため、直接と平方根との中間をとるとよい。

第 3 図の都市ノイズの内容を詳細に調べて、どのようなノイズ源がいろいろな受信周波数帯で問題になるかを示すと、第 4 図のようにノイズ源の種類によって異なることがわかる。ここでは電気鉄道（とくに国鉄、市電など）、大形電気機器として火

花形式高周波焼入器、電気メス、レントゲン、ジアテルミ、送電線など、変電所の整流器および回転整流器、500 W 以下の小形電気機器として直流発電機、電動機、ドリル、ミキサなど、自動車として 2, 3 輪および 4 輪車などのノイズを 10m の距離で測定し、5% の時間分布値のレベルを各周波数にわたってとったものである。自動車のほかのノイズは周波数が高くなるとレベルが下がる傾向にあって、テレビジョンの受信妨害は市街地では主として自動車によることがわかる。しかし村落地ではそのほかのノイズ源も電波の強度が低くなると問題となる。これらの周波数によるレベル特性にはいろいろの凸凹があるが、これは

第 5 図 自動車ノイズ

ノイズ源における電気回路の応動特性、空間へ伝搬するときの電波としての輻射特性が、周波数によって共振現象をとまなうためにおきるものである。

3. 自動車ノイズ

自動車ノイズとして主なものは点火装置によるものであって、これは火花発振器と同様であるため、きわめて強い妨害源となる。その他の電気装置による妨害は、車上で受信する場合のほかは無視できる。第 5 図に点火プラグ系の自動車ノイズの回路を示すが、これらの両成分があり、また火花放電は 10^{-9} 秒程度の立上りを有するため、きわめて広い周波数帯にわたって強いノイズ源と

↑ 第 7 図 自動車のノイズ特性および抵抗による防止効果

← 第 6 図 火花放電のエネルギー・スペクトルと電界強度

第8図 送信機のスプリアス許容レベルの仕様

第9図 送信機の高調波出力の例

なる。また誘導および容量放電成分があるが、高い周波数では容量放電成分が高圧回路の共振付近で重要となり、抵抗による防止では不十分である。しかし低い周波数および全般にわたって誘電放電成分の量は多く、それは抵抗によってノイズ・レベルを相当下げることができる。防止用の抵抗は10k程度のものが用いられ、第5図

第2表 受信機回路のノイズ指数の例

真空管および使用回路	RF 増幅器のみの NF (dB)			RF 増幅器と変換器とを結合した NF (dB)*		
	LF	70 Mc	200 Mc	LF	70 Mc	200 Mc
6AB4 三極管格子接地形 RF 増幅 (非同調トランス)	4.9	5.0	6.0	6.4	6.6	8.2
6CB6 五極管 RF 増幅 (非同調トランス)	5.1	7.0	11.6	5.5	7.3	11.9
6AB4 三極管カスケード RF 増幅 (入力トランス)	5.0	8.0	11.4	5.2	8.1	11.5
同 上 (300 オーム)	9.0	13.3	16.4	9.4	13.4	16.5
6CB6 五極管カソード接地形 RF 増幅 (入力トランス)	7.6	8.5	12.1	7.7	8.6	12.2
同 上 (300 オーム)	13.2	13.3	13.7	13.4	13.4	13.9

* 変換器としては 12AT7 を用いている。

第10図 いろいろの内部ノイズ

第11図 6CB6 五極管を用いた場合の RF 増幅および 12AT7 を変換管に用いた場合の等価回路

E_R : 熱ノイズ電圧, E_1 : 入力インピーダンスによる熱ノイズ電圧, E_θ : 真空管の入力コンダクタンスによる熱ノイズ電圧, E_{0q} : 真空管の等価ノイズ抵抗による熱ノイズ電圧

のように点火プラグおよび配電器の中央電極に入れる。

第6図は点火プラグおよび配電器の火花放電の影響を示すもので、この両者に抵抗を入れることによって、放電電流のスペクトルは急速に低下することがわかる。

自動車によるノイズ妨害は相当はげしいため、その防止に関する研究はいろいろと行なわれている。第7図はいろいろの自動車のノイズ特性の平均値、および標準偏差を示すもので、また抵抗による防止効果の平均値および標準偏差を示す。これらは主として外付抵抗器を用いた例であるが、高圧配線に抵抗線を用いることによって非常に効果を上げることができて、最近では抵抗線が用いられ始めている。

4. 妨害電波

受信しようとする局以外の局の電波が、その基本周波数が同じでなくても受信機に入って妨害を与えることがある。これらの妨害電波は不要輻射であるために、極力抑止するように努力されているが、送信機の高、低調波、高周波溶接機など電波応用装置の漏洩電波によるものは、しばしば妨害の源となっている。

送信機の不要輻射であるスプリアス出力については、郵政省の省令によってもおさえられているが、ある送信機のスプリアス出力に関する仕様書の例を第8図に示す。

F は基本波の周波数で、横軸は送信機の出力、縦軸は基本波出力を基準としたスプリアス出力の許容されるレベルを示すものである。この程度のレベルならば普通に用いられている送信機は満足されるはずであるが、電力が大きくなるとなかなか困難となる。

第9図はテレビジョン放送、電信、電話用に用いられているいろいろの種類、電力の送信機の、高調波のレベルを示すものである。縦軸は基本波を基準として、横軸に高調波の次数を示す。3本の曲線はこれらの送信機の平均的のものであるが、個々のものについて最大、最小値についても図に示してある。このように、相当の電力が送信空中線から輻射されるために、その付近における他の希望電波の受信には妨害を与え、スプリアスのレベルを相当に下げないと妨害の地域も相当大きくなって問題となる。スプリアス出力をおさえるためには普通、いろいろのフィルタが用いられるが、かなり複雑なものを用いることが必要な場合もある。

受信機における妨害が、妨害波が強いために中間周波数であったり、受信機のイメージ周波数またはスプリアス周波数などに入ってくる場合には、また妨害源の送信機側にフィルタを入れることが経済的技術的に容易でない場合には、受信機の入力端子に適当なフィルタを入れることによって妨害を容易に除去することができる。主として接近した地点における妨害は上の送信機の高調波を防止するためのフィルタのほか、受信側にもスプリアス応動を防ぐようなフィルタを必要とする場合が多い。

ラジオ・ヒータのように電波を利用して加熱、加工する装置では、電波を外に出さないことが本来の目的であるが、若干漏洩することはやむを得ない。このような漏洩電波による妨害も数 100mW の程度となることもあって、送信機にスプリアス出力をおさえるためのフィルタが必要となり、また受信側でも必要となる。ラジオ・ヒータでは、また発振器の周波数の安定度は要求されな

第 13 図 外部および内部ノイズ指数

いことが普通であるため、妨害電波の周波数は時間的に相当の変化をしているから、ビートの縞模様も相当はげしい変化をする。しかし通信用送信機では周波数の安定度は高いために、縞模様はあまり変化しない。

妨害電波の一種として、近くにある受信機の局部発振回路からの輻射が妨害することもあるが、その程度は弱いために、隣家のように相当接近している場合にのみ限られる。

5. 受信機内部ノイズ

受信機内部ノイズとして主なものは回路および真空管に源をもつものである。回路の導体、抵抗体の内部の電子が不規則な熱運動をしているために回路ノイズは生じるもので、その温度と密接な関係をもつために温度ノイズということもある。真空管においても、陰極から放射された電子はそのすべてが規則的に制御されて陽極に達するものではなく、一部は元に戻ったり、不規則なノイズ電流を生じて真空管のショットノイズとなる。また陰極面の不均一性のために電子の放射が部分的に不規則となるためにフリッカノイズを生じる。これらのノイズの様子を表 10 図に示す。高い周波数で問題となるのは熱ノイズであり、フリッカノイズは低周波で問題となる。

受信機内部ノイズを表わすためにノイズ指数 (NF) を用いている。これは真空管をふくんだ回路においては入力と出力の有能電力で表わした SN 比の比である。RF 増幅器ではその回路および真空管による出力のノイズ量の増加の程度が示される。

(6 頁へ続く)

第 12 図 ノイズ指数

の関係がある。 F_d 周波数偏移幅、 f_a は変調信号の最高周波数である。伝送路の帯域 B は $2F_d$ 程度と考えてよいから、FM 系の信号対ノイズ比は周波数偏移、したがって伝送帯域を広くすれば、それに比例して改善される。その他、パルス位置変調などの通信方式でも同じような傾向が見られる。このように広帯域の変調を採用すると、周波数帯域が余分に必要であるが、信号対ノイズ比を改善できるものであり、いわゆる広帯域利得が得られる。

(18)式を導くにあたっては、伝送路の信号対ノイズ比がある程度良好であることが仮定されている。実際にはノイズが信号と同程度の大きさになると、上の仮定は成立せず、出力の信号対ノイズ比が急激に悪下することが知られている。これは改善限界の現象として知られているものであって、すべての広帯域通信に見られるものである。伝送路に衝撃性のノイズが加わると、そのノイズの尖頭では信号より大きくなることがあり、このようなときには受信波の位相、したがって周波数は急激な変化をして、出力に衝撃的な大きいノイズを発生する。

パルス符号変調では、伝送路 SN 比がある程度以上大きいければ、ノイズによる符号の誤りは無視できるので、ノイズの影響はほとんどないといってよい。その代わり量子化のために画像の階調が段階的になり、そのためのひずみ(量子化ノイズという)が生ずる。テレビジョンでは数 10~100 段階程度が必要であるといわれている。

8. 通信理論とノイズ

通信理論の立場からいうと、ノイズの影響は受信側における曖昧度となって現われる。送信側から x なる信号が送られても、途中でノイズ n が重畳する結果、受信信

号は $y=x+n$ となる。したがって、ある信号 y を受信しても、送信から送られた信号は確定されないで曖昧さが残る。これが曖昧度で、エントロピーで表わすと

$$H_y(x) = \iint p(x, y) \log p_y(x) dx dy \quad (19)$$

で与えられる。 $p(x, y)$ は x が送られ y が受信される確率、 $p_y(x)$ は y が受信されたとき、送信側で x の送られた条件付確率である。このとき、実際に伝送された情報量 R は

$$R = H(x) - H_y(x) \quad (20)$$

である。 $H(x)$ は送信信号のエントロピーである。曖昧度 $H_y(x)$ はノイズによって失なわれる情報量であると解釈してもよい。

通信理論によれば、信号に冗長性があるとノイズによる誤まりを軽減することができる。テレビジョン信号は相当強い相関があり、したがって相当の冗長性をふくんでいる。たとえば輪廓部分を除いては、あまり急激な振幅変化は少ないのが普通である。このことを利用して受信側でノイズを除去するような試みも行なわれている。人間における画像の認識機構の研究と通信理論の研究とが相いまって進めば、ノイズの妨害効果を軽減することも夢ではないと思われる。

9. む す び

以上、主としてノイズ現象の基礎的な事項を概説した。テレビジョンは映像の伝送系であり、その点は電話その他の音声伝送系とは異なった特長をもっており、ノイズに対しても、またそれだけ異なった面がある。以下の各章でこれらの点が詳細に解説されるであろう。本章がこれを理解するための一助となれば幸いである。

(45 頁より続く)

第 11 図には簡単な 6CB6 によるカソード接地形の RF 増幅回路を示し、またその等価回路および変換管として 12AT7 を用いる場合の等価回路を示す。このようにして若干の例について計算したノイズ指数の値を第 2 表に示す。第 12 図には CCIR, FCC などと考えられているノイズ指数の値を示す。この値は小さいほどよく、日時とともに低下する方向にあり、また周波数が高くなると、低くすることはなかなか困難である。最近においてはフィードバックによる NF の低下、またさらに非常に低温で作動させるパラメトリック増幅器などが特殊の目的では用いられているが、一般的ではない。

内部ノイズと同様の考え方で受信空中線より入ってくる外来ノイズについても、外部ノイズ指数を考えることができる。無指向性空中線による有能電力を基準として

半波長ダイポール有的时候は 1.64 倍して実効外部ノイズ指数ともいう。外来ノイズは通常電界強度で、内部ノイズは受信機入力端子電圧またはノイズ指数で表わされているが、これらを総合して一定の周波数帯域幅を用いる場合に、広い周波数にわたって外来および内部ノイズの特性を示すと第 13 図のとおりである。図では参考のためにノイズ電界強度が 100, 60, 20, -20 dB (1 μ V/m 基準) の場合を斜線で示している。

【参 考 文 献】

- 1) 養麦二三雄：通信と雑音，通信工学講座 12-B, 31 年 2 月，共立出版。
- 2) Bibliography on Radio Interference, I.R.E. Trans. on Radio Frequency Interference, vol. RFI-4, No. 1, Feb. (1962)
- 3) CCIR Documents of the IX Plenary Assembly, Los Angeles, vol. 1 (1959)
- 4) L.D. Smullin and H.A. Hans: Noise in Electron Devices, 1959, John Wiley & Sons, Inc.
- 5) A. van der Ziel: Noise, 1954, Prentice-Hall Inc.