

電気機器の電源スイッチ投入不安定性についての一仮説

市吉 修

†二十一世紀を楽しく生きよう会

〒252-0136 神奈川県相模原市緑区上九沢 2 3 0 - 7

E-mail: osamu-ichiyoshi@muf.biglobe.ne.jp

あらまし

長期間使用していない電気機器の電源スイッチを入れる場合には簡単にはいかない事を経験する場合がある。その場合には何回も On/Off を繰り返すと電源が入るようになる。一旦うまく行くとそれ以降は概ね簡単に電源投入されるようになる。音響機器では電源投入が不安定な場合には音量が大きくなったり小さくなったりする二つの水準が観察される。また筆者が以前経験した衛星通信システムにおいては時々不安定になるチャンネルがあった。観察によると不安定が生じるのは晴天時が多く、曇天時には殆ど観察されなかった。このようなチャンネル不安定性問題は通常小型衛星地球局の室内装置と屋外装置を接続する同軸ケーブルをしっかりと接続し直す事が解決法であった。

上の現象の原因は何であろうか。長く使わないスイッチの不安定性の原因はスイッチ金属表面の汚れ、酸化物の成長などであろう。音響機器の場合の二水準現象、及び衛星チャンネルの不安定性現象について筆者は電源スイッチの接触現象について以下のモデルを立てて考察した。二個の金属の表面は不規則な凹凸があるため接触部で真に接触している部分と隙間の部分とがある。ここに通電すると電流が流れるのは接触部であるがそれは狭いので電気抵抗を生じる。他方隙間部は相対する部分がコンデンサとして機能するので金属接触部は等価的には電気抵抗（接触抵抗）と容量の並列回路として表現できる。また等価容量部には相対する金属部分間にクーロンの法則による電氣的引力が、等価抵抗部にはフックの法則による機械的斥力が働き、両者の均衡により接触状態が決まる。そこで金属接触部について簡単な仮説を立て前述の現象を定性的に説明できる事を報告する。

キーワード

金属の接触、接触抵抗、等価容量、弾性力、電気力、コンデンサ・マイクロフォン

A Hypothesis on Instability in On-switching of some Electrical Equipment

Osamu Ichiyoshi

Human Network for Better 21 Century

230-7 Kamikuzawa, Midori-ku, Sagamihara City, Kanagawa prefecture , 252-0136 Japan

E-mail: osamu-ichiyoshi@muf.biglobe.ne.jp

Abstract

We often experience instability in turning on a radio after a long period of dis-use. We also observe that some audio equipment can have the loudness fluctuating between two levels. The author once observed some satellite channels fell into instability more often in clear weather conditions than on cloudy or rainy days. Those problems can be solved by repeating on/off switching or confirming connections of coaxial cables. What causes those instabilities? Here is reported a hypothesis that gives a qualitative explanation for the above phenomena.

Keywords Metal contacts, Contact resistance, Contact capacitance, Capacitance microphone

1, 電源投入不安定性の例

長く使わなかったラジオ等の電気機器の電源スイッチを入れても電源が入らない事はよく経験する事である。そのような時には何回もスイッチをオン・オフしていると入るようになる。続けて使っていると電源投入に要するオン・オフの回数は少なくなり、やがて一、二回のオン・オフで電源投入ができるようになる。

その原因としては長い不使用の間にスイッチを構成する金属の表面にゴミが溜り、また酸化物、即ち錆びが生じてスイッチが接触不良となり、何回もオン・オフする事により金属接触部がきれいになるためだと考えられる。

他方音響機器において筆者は電源投入後出力音量が大と小の二つのレベルの間を行ったり来たりする現象を何回か観察した。そのような時最終的に安定するのは出力音量が大となる方が多かった。これは単に前述の金属表面の汚れだけでは説明がつかない。

2, 衛星通信回線不安定の例

筆者が以前勤務した衛星通信システムの概要は以下のようであった。

- (1) 一つの閘門局と多数の端末局間で通信を行う星型網
- (2) 回線は閘門局からの往路(Forward link)は時分割多重(TDM), 端末局からの復路(Return link)は Slot 付き 時分割多重 (TDMA) であり、時間・周波数チャンネル割り当てにより異なる局からの信号が衝突する事は無い。
- (3) 端末局からの送信信号については閘門局で通信状況を監視し、Eb/No 電力比を計測して所定の通信品質を保つよう閘門局からの制御により送信信号の電力制御を行う動的回線制御(Dynamic Link assignment, DLA)機構を備えていた。

以上の通信網に於いて極く稀ではあるが特定の端末局からの送信信号が不安定になる事があった。不安定状態では極端に雑音が多くなり通信は全く不可能であった。

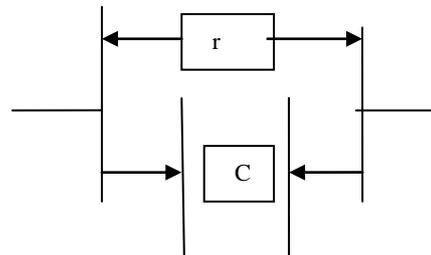
更に上の不安定が起るのは通常通信状態が良い筈の晴天時が多く、曇天、降雨時に起きる事は殆ど無かった。

上の問題の解決法は利用者端末の室内装置と屋外装置 (antenna 及び HPA/LNA を含む)を結ぶ同軸ケーブルを確りと接続し直す事であった。

従ってここでも問題は電源スイッチ投入問題と同じく金属間の接触にあると考えられる。

3, 金属と金属の接触部の形状と特性に関する仮説

金属は内部においては整然とした結晶を成しているが表面においては凹凸が著しい。従って二種の金属を接触させると本当に接触している部分はわずかで大部分は隙間がある[1]。ここに通電すると電流が流れるのは接触部であるがそれは狭いので電気抵抗を生じる。それが接触抵抗と言われるものである。他方隙間部は相対する部分がコンデンサとして機能するので金属接触部は等価的に電気抵抗 (接触抵抗 r) と容量 C の並列回路として表現できる。以上を模式的に図示する。



ここで以下の量を定義する。

- d ; 両金属間の平均距離
- $S(d)$; 両金属の隙間の面積
- $r(d)$; 接触抵抗

接触抵抗 $r(d)$ は d が小さくなると小さくなる。

等価容量 $C(d)$ は $S(d)/d$ に比例する。

通電時に両金属間の平均距離 d を決めるのは次の二つの力のつり合いであると考えられる。

フックの法則による力 $fH(d)$

二つの金属を押し付けると発生する反発力である。二金属が離れていれば勿論 0 である。初めて接触した時の平均距離を d_0 とする。 $d \geq d_0$ で $fH(d) = 0$

$d_0 - d$ が小さい範囲ではフックの法則により $fH(d)$ は $d_0 - d$ に比

例 $fH(d) = k(d_0 - d)$ である。

例するが d が更に小さくなると反発力はますます大きくなる。 $d=0$ とは両金属が完全に一体化した場合である。圧着作業から分かるようにそのためには非常に大きな力が必要である。そこで d が小さい時には $fH(d)$ は d に逆比例するものとする。

クーロン引力 $fC(d)$

電流は接触抵抗を通じて流れるが接触容量部は両金属間に反対極性の電荷が生じ引力が発生する。容量 C は $S(d) / d$ に比例する。従って接触容量両端の電荷もそれに比例するであろう。

容量部の両端に溜まる電荷を q, q' とするとクーロン力 $fC(d)$ は $q \cdot q' / d^2$ に比例する。

以上を総合すると $fC(d)$ は $1 / d^4$ に比例するであろう。

ところが両金属の平均隙間 d が小さくなると両端の隙間部の面積が小さくなり溜まる電荷量が減るので力の $fC(d)$ 増加は頭打ちになると考えられる。

以上を模式的に次図に示す、

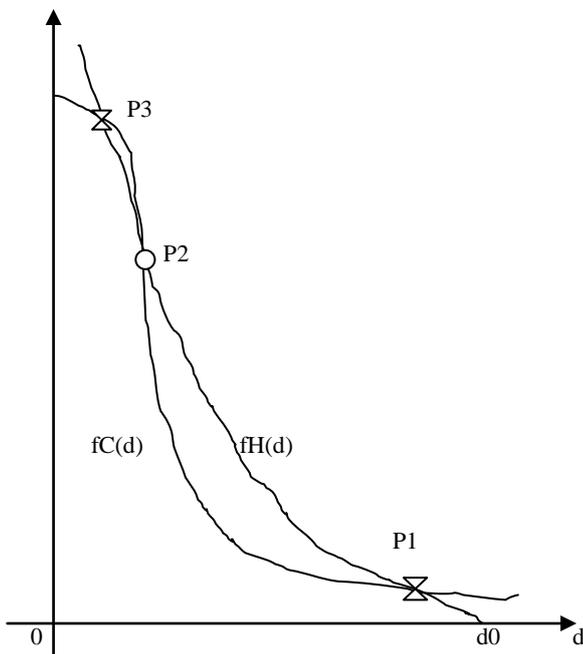


図 3-1 二金属間接触部に働く力

引力 $fC(d)$ と斥力 $fH(d)$ が等しくなる点が三個ある。P1 と P3 は安定点であり P2 は不安定点である。

4, 仮説による電源投入不安定性の説明

音響機器の音量が大と小の間を行ったり来たりする現象は上図の二つの点 P1 と P2 の間をスイッチ系の状態がふらつく現象であると考えられる。もし系の状態が P2 を越えて P3 に到ればそこで安定する。

5, 仮説による衛星通信回線不安定性の説明

5.1 端末局送信電力増幅器の特性

端末局は装置設定時に送信増幅器の特性を測定し記録する。それによると小出力時には線形性、出力レベルを上げると線形性から外れ飽和特性を示す。そして最高出力(Peak power)を越えると逆に出力が低下する過飽和領域がある。これは広く増幅器に見られる現象である [2]。それを下図に示す。

Pi は入力電力、 Po は出力電力である。

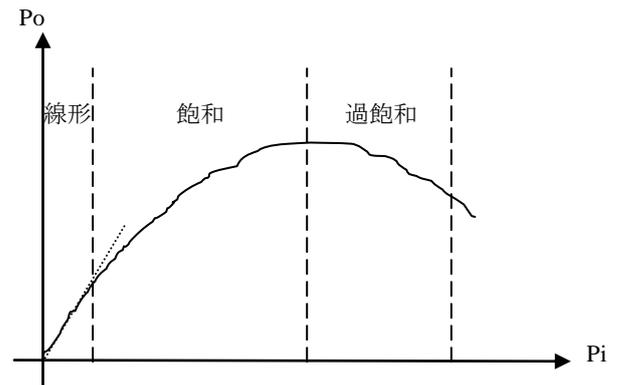


図 5-1 送信電力増幅器の入出力特性

5.2 DLA の誤動作

通常の運用において晴天時に端末の送信電力増幅器は線形領域で動作する。曇天または降雨時には空間伝搬路における信号の伝搬損失を補償するために送信電力を上げて飽和領域で動作させる。

動作不安定となった衛星通信チャンネルを点検したところ増幅器は上の過飽和領域で動作している事が分かった。

DLA は負帰還動作により端末から関門局への Return link の受信 Eb/No を安定化する。ところが過飽和領域では負帰還制御が実際は正帰還動作を行ってしまう。また過飽和領域に到らなくても、送信電力が Peak 値に近づくと増幅器の位相特性が劣化するため負帰還が実際には正帰還動作をしてしまう事もあり得る。以上の事は筆者が制御記録(Log)に当たって確認

した。問題はシステムがどうして過飽和領域に入り込んでしまうかである。

5.3 誤動作を引き起こす条件と解決法

衛星通信チャネル不安定が起きるのは殆ど晴天時であり、曇天もしくは降雨時には起きなかった。またその解決法は端末装置の屋内装置と屋外装置を接続する同軸 cable コネクタを接続し直す事であった。

5.4 問題解決法の考察

屋外装置の中には送信電力増幅器(HPA)と周波数 Up converter を一体化した送信装置(HPA/UC)と受信低雑音増幅器(LNA)及び周波数 Down converter を一体化した(LNA/DC)が内臓される。HPA/UC と LNA/DC は RF 側においては DPX を通じてアンテナに接続される。

IF 側において HPA/UC と LNA/DC とは別々の同軸ケーブルで屋内装置に接続される。ここで問題の同軸ケーブルとは送信側、即ち HPA/UC につながるものである。

送信側同軸ケーブルの中を流れているのは HPA/UC の電源を供給する直流と送信中間周波数(IF, 1GHz 帯)信号が重畳されたものである。送信電力制御により TX IF 信号の電力が増減する。

先ず晴天時にチャネル不安定性が起きる事から出発点は図 3-1 の P1 辺りにあるとかがえられる。即ち同軸コネクタの接続が緩い。この時発生する雑音源として何があるであろうか。

ここで仮説であるが緩いコネクタ部がコンデンサ・マイクロフォンとして機能するでしょう。即ち機械的振動が電氣的雑音に変換されて端末出力信号に加わると何が起るであろうか。関門局において Eb/No 測定値は当然悪い値が検出されるので DLA 制御により端末の出力信号が増加するが、もし図 3-1 のようにクーロン力によるスイッチ部の固めが機能しない場合には雑音計測値は改善されないので更に電力増加が行われる。飽和領域を越えて過飽和領域に入ると正帰還ループになるので当然チャネルは崩壊状態になる。

現地に出向いて送信部の同軸コネクタを十分締め付けければ問題は解決される。従って問題の原因は図 3-1 の性質が働かない程度にまで送信部の同軸コネクタが緩んでいた事になる。ネジは機械的振動によって緩む事はあっても締まる事はない。ここでチャネル不安定性は殆ど端末の送信部の問題であり、受信部において問題は皆無であるのは何故か考えてみよう。衛星放送受信機は受信部しか無いが常時接続で何年も問題無く機能している。それは本仮説で言うところのクーロン力効果により同軸コネクタ部が常に固く引き付けられ緩む事がないからであろう。

衛星インターネット端末も受信部は衛星放送と同じく常時受信状態なので同軸コネクタが緩む事は無いのであろう。

これに対して送信部は送信データが無い時は出力信号は送信されない。即ち大半の時間はクーロン力による締め付けは働かず、逆にフック力による緩め力が常に働く。従って周囲の振動等により同軸コネクタが緩むと考えられる。緩んだものを締めるには力が要るので自然に起る事は無く変化は一方向的に緩む方向に進む。それが図 3-1 の範囲外まで緩んでしまうと前述のチャネル不安定が生じてしまうのであろう。

またクーロン力の効果についてはスイッチ投入の不安定性はそこを流れる電流が大きい程稀になる[1]事から確かだと思われる。

6, 結論

本論文においては一つの仮説により電源スイッチ投入時や同軸ケーブルの接続など金属接触に関連する現象の定性的な説明を試みた。定量的な実験や更に詳細な理論的解明は今後の課題である。

参考文献

- [1] 玉井輝夫 「電気接触現象」
エレクトロニクス実装学会誌 Vol.3 (2000)
- [2] 市吉修
“非線形増幅器の複素モデルによる動作解析と歪の補償”
信学技報 IEICE Technical Report SAT-2018-71(2019-2)