

SNAP Transient 解析機能を活用して、地上デジタルTV放送を受信するUHFブースターアンプの雷サージ対策を、ハイスピード且つ高信頼に実現する方法

1. 序文

通信・放送のデジタル化を主体とする高度情報化の社会的ニーズを反映して、OFDMマルチキャリア変調方式を基軸とした、デジタルTV放送が国際的潮流として急速に拡大・普及している。国内では地上デジタルTV放送の2011年完全普及に続き、デジタル衛星TV放送の本格的普及ならびに大容量化[超多ch化]の準備も進んでいる。情報通信のデジタル化・高度化を受けて、拡大するデジタル機器に対する品質・信頼性向上の社会的要求が高まりつつあり、ノイズ低減や電波障害・干渉低減等のEMC[Electromagnetic Compatibility:電磁環境耐性能力]対策の普及と高度化が強く求められるようになってきた。

このような社会的背景を受け、通信放送機器に対する品質向上の一環として、近年夏場を中心に多発する落雷に際して、発生する周辺機器の電磁環境障害を低減するための、技術規格を国際的に標準化・統合化する動きが活発になっている。

特にデジタル放送の微弱電波を高品質で受信する高周波増幅器類[アンテナブースターや共聴機器]は、微小なUHF帯高周波信号を高感度に増幅するために使用する半導体デバイスが微細構造になっており、本質的に各種サージ[雷/電動機/送受電力機器/輸送機器が発生する点火ノイズや電磁ノイズなど]や、無線機器から受ける電波干渉などのEMCに対する耐性が十分とは言い難い。

本報では、放送受信対策に多用されるアンテナブースター(UHF前置増幅器)に於ける、雷サージ[超高圧パルス電圧:尖頭値数十KV/衝撃電流:尖頭値数百A超過(伝導条件で定まる)]の対策を取り上げ、そのサージ対策を効率的(時間的・費用的)に解析・検証して、最適対策内容を短期間に導出できる、SNAPの新活用法[トランジェント解析機能の適用]を紹介する。

1. 雷サージの典型波形

空気の特性インピーダンス
 $Z_{air} = 120\pi \approx 377\Omega$

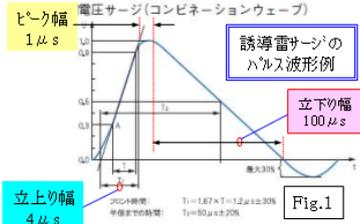


Table.1

	落雷地点からの距離	サージパルス尖頭電圧 [注]	パルス立上り時間	パルス立下り時間
1	直撃雷	20kA	10us	700us
2	誘導雷 200 m	20kA	8us	20us
		60kV	4us	100us
3	誘導雷 1000 m	5kV	4us	100us

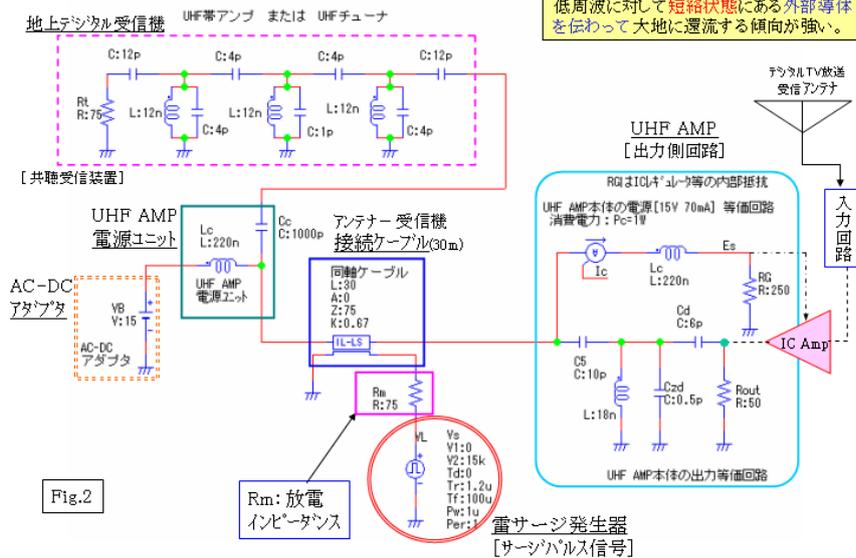
[注] 空中架線[送電線/電話線等]の誘起電圧(各種文献引用)

2. 雷サージおよび同対策のトランジェント解析適用法

(1) 雷サージの概要

サージ波形は、Table 1 および Fig.1 に示すように、落雷地点から周辺に発生する誘導雷サージの発生頻度が高く、且つその影響範囲が比較的に広いことが知られている。確率的

2. 雷サージテストの検証モデル



被雷地点から 100m 以上離れた広範な地域に二次的に誘導発生する頻度の高い誘導雷サージに対して、対象機器 [ここでは受信アンテナ直下に装着され、比較的誘導雷の影響を受けやすいアンテナブースター] を保護する対策内容について検討・分析を進める。

(2) 雷サージの影響をトランジエント解析機能で解析・検討

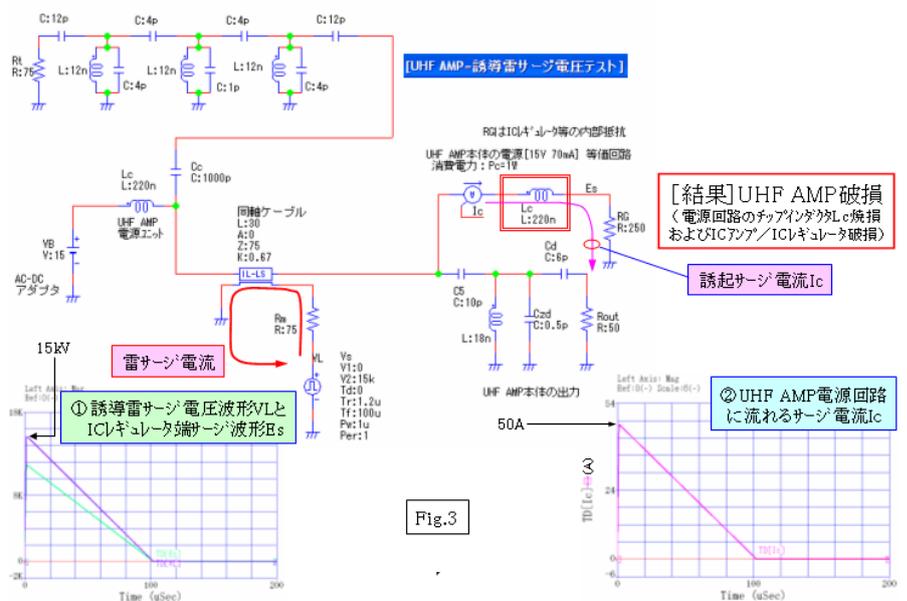
SNAP 回路ソフト上で、アンテナブースターである UHF アンプの該当回路の等価回路を形成し、電圧源関連素子群の中からパルス電圧源を選び、前記 Table 1 を考慮したパルス条件に設定して雷サージ発生器を用意する。この雷サージを放電抵抗を介して、誘導雷サージを伝導する同軸ケーブル (アンテナと屋内に設置された受信機を接続、雷サージはこの電流経路を通してアースに還流する) の外導体或は内導体に接続 (Fig.2) する。

この UHF アンプは、屋内に設置された電源ユニットから同軸ケーブルの内導体 (芯線) を通り、高周波 (UHF) 信号に重畳して、アンテナ直下に装着されたアンプ本体に直流電圧が供給されるために、雷サージの低周波成分 (周波数帯外周帯) と周波数帯を分離することが難しく、この直流電源経路は雷サージの影響を直接的に受け易い。

アンプ本体の入出力整合・フィルタ回路は、対象放送信号の通過帯域が UHF 帯 [国内では 470MHz - 770MHz] になるため、雷サージの周波数帯域 (主に数 KHz - 数百 KHz) である比較的 low 周波数帯域

に発生頻度が僅少の直撃雷を受けた場合には、対象機器の損傷や障害を回避することは、落雷時に発生する巨大エネルギーを解消・霧消することになり、現実的に対策は困難である。そこで一般的対策内容としては、

2. UHF AMP に対する雷サージの影響分析



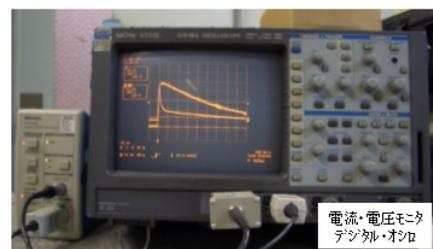
外周帯と2桁 - 3桁程離れており、雷サージの影響がそれらの内部に及ぶことは本質的に無い。しかしながら、アンプの入出力端に高電圧パルスが誘起されてしまうと、信号ライン(芯線)に接続されているチップコンデンサ等が耐圧超過により破損する恐れが高まる。

雷サージが放電抵抗を経て、数十mの長い同軸ケーブル[雷

が大地に向けて伝導し易い]の外導体(内導体のインピーダンスは比較的に高いので、雷サージが比較的に伝導し難い)を経由してアース(GND)に還流[接地]されると、Fig.3に示す如く内導体に、その還流電流に応じた誘起サージ電流[尖頭値数十A以上の衝撃電流]が発生する。この衝撃電流がアンプ本体の電源部に流れ込んで、周辺回路の素子を破壊する。特に電源部に接続されるRF信号分離用チップコイルや、ICレギュレータ及び、それから電源供給を得るICアンプが焼損・破壊し易い。



Fig.4



3. 実際の雷サージ試験の概要紹介

3.1 雷サージ試験環境

雷サージ試験に使用される機器はFig.4に示すように、雷サージの高電圧パルス[最大パルス電圧15KV]を発生する「雷サージ試験装置」、雷サージを大地に伝導・還流する「同軸ケーブル」(アンテナ~屋内設置_受信機間を接続する受信信号伝送線路)および対象UHFアンプ各部の電圧(高圧プローブ)・電流(電流プローブ)をモニタするデジタル・オシロスコープ等で構成される。

同軸ケーブル外導体を介してアンプの出力に雷サージ印加試験

3.2 雷サージ試験の機器構成

上記の雷サージ試験環境(実機)と、前述の雷サージ検証回路(SNAP回路構成)を対比させて、該当する機能をブロック構成で表した雷サージ試験ブロック構成表をFig.5に示す。雷サージは、

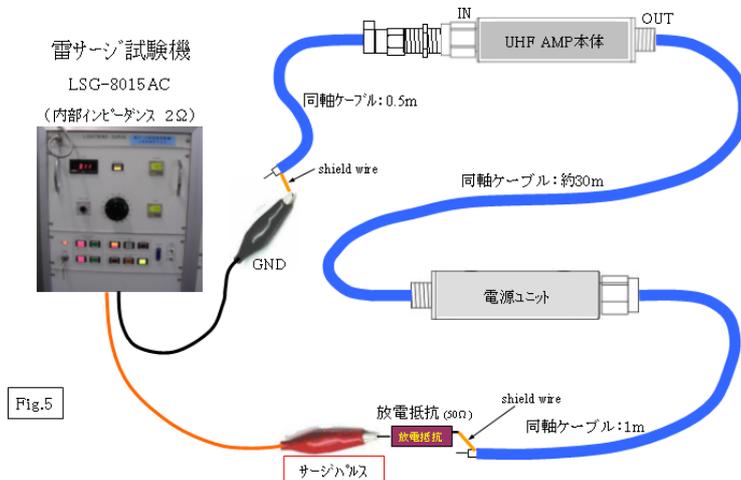
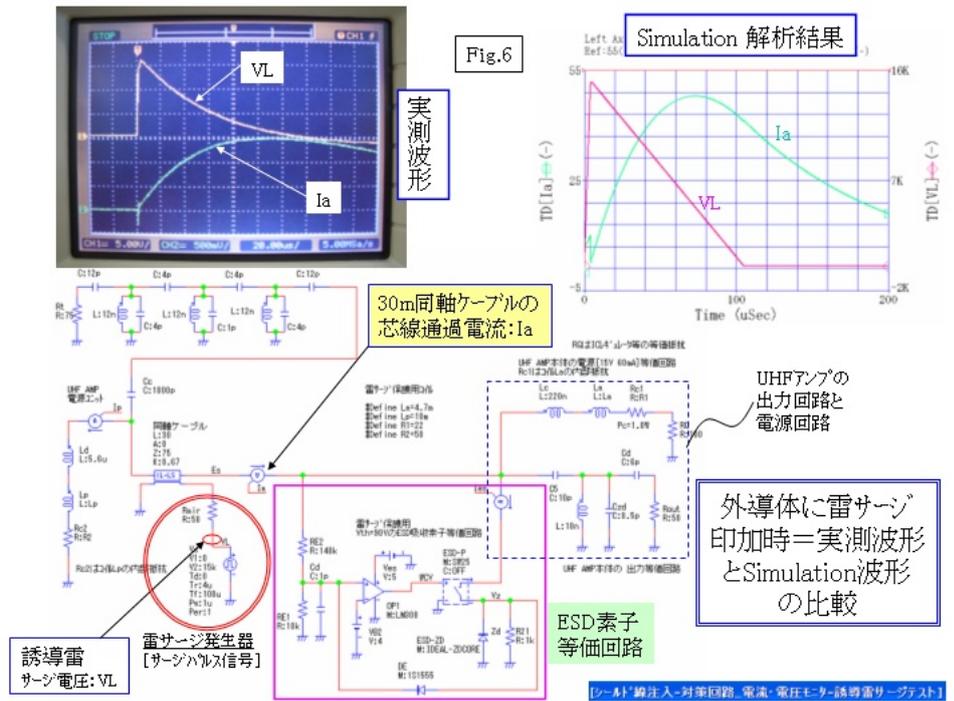


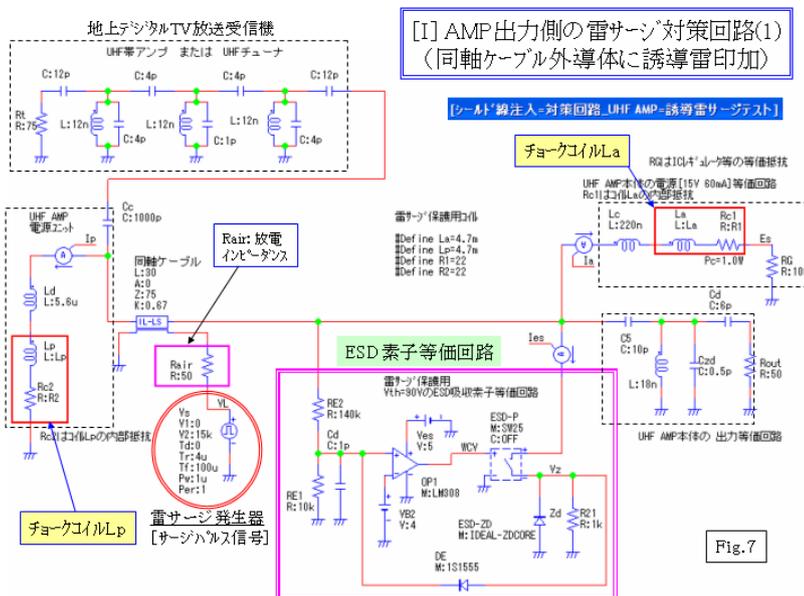
Fig.5

放電抵抗を介して、それを最終的に大地に伝導・還流させる同軸ケーブルに印加されるが、印加方法は、同軸ケーブルの外導体(シールド線)に接続する場合と、内導体(芯線)に接続する場合の2通りに大別される。実際の雷サージの誘導発生を分析すると、雷サージに対して低インダクタンスとなる外導体を伝導して、大地に還流するケースが主体になっている。



4. 雷サージに対する SNAP シミュレーション解析モデルの妥当性 評価

- (1) 前述の雷サージ試験環境にて実機観測した代表的なサージ電流・電圧の観測波形と、雷サージ試験ブロック構成表(Fig.5)を反映した前述の Fig.1「検証モデル」に、試験対象 UHF アンプ [同出力回路に高圧サージ対策用 ESD 素子 (商品名 “アルスタ” と呼称し、自己放電閾値: $V_{th} = 90V$ 以上の高圧サージを吸収) を装着済み] を接続した、SNAP シミュレーション解析モデルを、Transient 解析して得た解析波形を比較して、「雷サージテスト=シミュレーション解析モデル」(Fig.6)の適合性・実用性を検証する。
- (2) 同軸ケーブルの外導体に、 $R_{air}=50$ の放電抵抗を介して 15KV の高圧サージパルス VL を印加すると、同軸ケーブルの誘導作用に基づいて、同軸線路の内導体に、電源エッジの接地から UHF アンプの出力回路の ESD 素子の GND に尖頭値 50A の衝撃電流 I_a

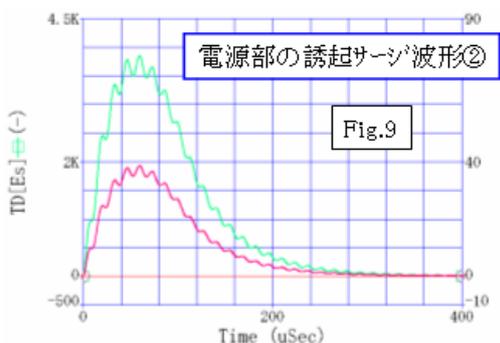


が生じる。このときに発生する高圧サージパルス VL および衝撃電流 I_a について、実機の観測波形(デジタル計測値)と Simulation 解析波形が、尖頭値および波形が良好に一致することから、本シミュレーション解析は、実際の雷サージ試験を、高精度に再現・検証できることを確認した。

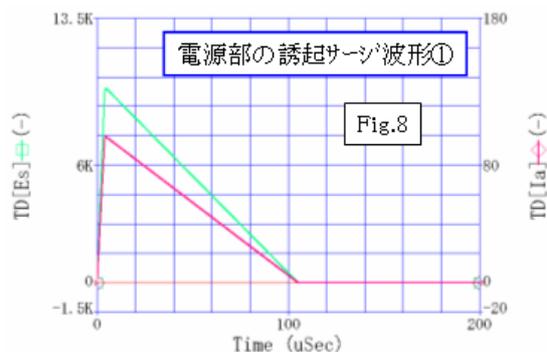
5. 雷サージ対策効果の SNAP シミュレーション解析

5.1 同軸ケーブルの外導体に雷サージを印加

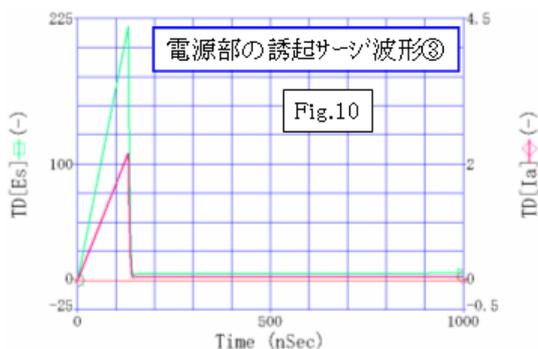
- (1) 雷サージ対策として、対象の UHF アンテナの出力側に発生する高圧サージパルスを吸収 [(高圧パルスを自己放電電圧 V_{th} にクリップ (切り崩し)) して低電圧パルスに波形整形する「ESD 素子」および ESD 素子でクリップされた低電圧パルスを平滑する「チョークコイル L_a 」



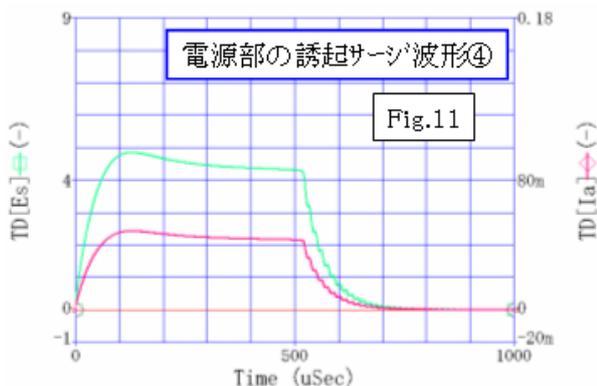
- (2) 先ず両対策部品を装着しない (回路条件) ときに、電源回路に誘起されるサージ波形 [通過電流 I_a および端子電圧 E_s] を Fig.8 に示す。GND と電源回路の端子間電圧 E_s は、尖頭値 9KV を越え、通過電流 I_a は尖頭値 100A の衝撃電流になり、電源回路が破壊する。

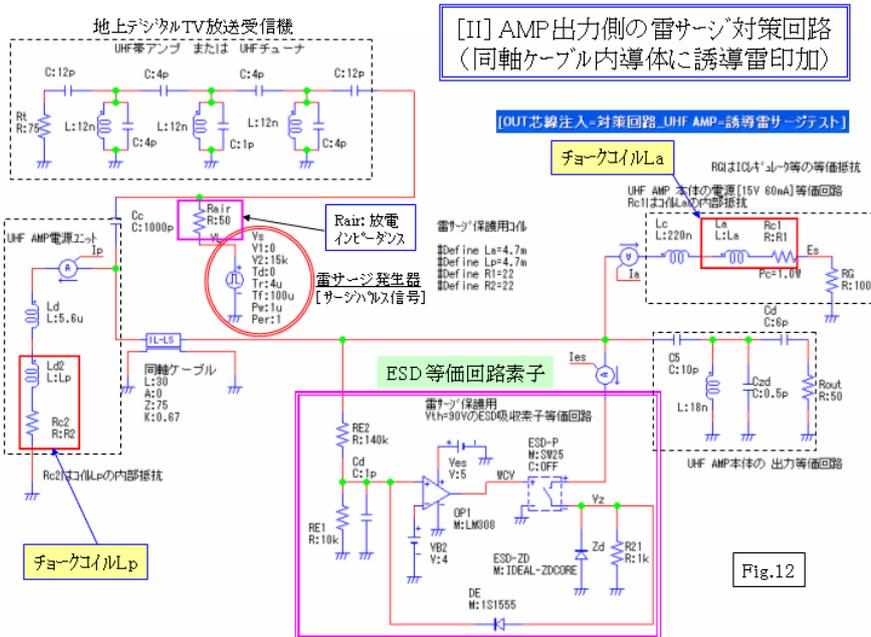


- (3) チョークコイル L_a のみ装着したとき (回路条件) に、電源回路に誘起されるサージ波形 [通過電流 I_a および端子電圧 E_s] を Fig.9 に示す。GND と電源回路の端子間電圧 E_s は、尖頭値 4KV に達し、通過電流 I_a は尖頭値約 40A の衝撃電流になり、電源回路が破壊する。



- (4) ESD 素子のみ装着したとき (回路条件) に、電源回路に誘起されるサージ波形 [通過電流 I_a および端子電圧 E_s] を Fig.10 に示す。GND と電源回路の端子間電圧 E_s は、尖頭値 200V に達し、通過電流 I_a は尖頭値約 2A の高電流になり、電源回路は同様に破壊する。
- (5) ESD 素子とチョークコイル L_a の双方を装着したとき (回路条件) に、電源回路に誘起されるサージ波形 [通過電流 I_a および端子電圧 E_s] を Fig.11 に示す。GND と電源回路の端子間電圧 E_s は尖頭値 10V 以下 [IC レギュレータの最大定格 35V を越えない] となり、また通過電流 I_a は尖頭値約 50mA の低電流になり、電源回路は損傷を受けずに正常に働く。





(6) なお、空気の特性インピーダンス: $Z_{air} = 120$ () 377 なので、放電抵抗 $R_{air} = 50$ を介して、同軸ケーブルに尖頭値 $15KV$ の雷サージを印加することは、大気中の尖頭値 $15KV \times [377] / [50]$

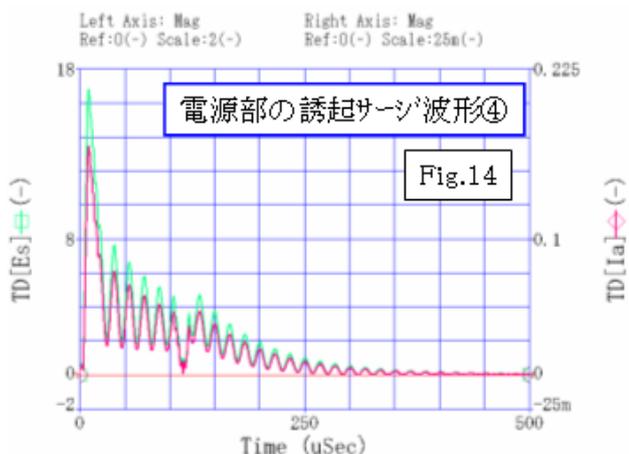
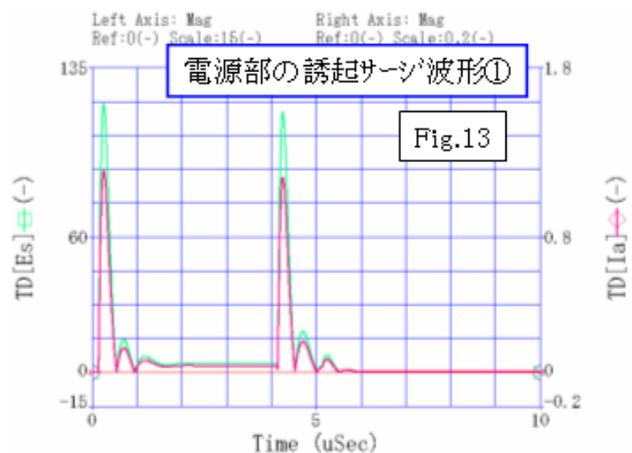
$110KV$ の誘導雷が、同軸ケーブルに誘起・印加されたことに等価であると想定する。Table.1 の雷サージ条件に照らすと、この尖頭値 $110KV$ のサージパルスは、落雷地点から $200m$ 付近で発生する近距離 - 誘導雷サージに相当するものと考えられる。

5.2 同軸ケーブルの内導体に雷サージを印加

(1) 雷サージ対策として、高圧サージパルスを吸収する「ESD素子」およびESD素子でクリップされた低圧パルスを平滑する「チョークコイル L_a 」を装着する。この2つの対策部品を適用した雷サージシミュレーション解析モデルを Fig.12 に示す。

(2) 先ず両対策部品が未装着 (回路条件) のときに、電源回路に誘起されるサージ波形 [通過電流 I_a および端子電圧 E_s] を

Fig.13 に示す。GND と電源回路の端子間電圧 E_s は、尖頭値 $120V$ に達し、通過電流 I_a は尖頭値 $1A$ を越える高電流になり、電源回路が破壊する危険が大きい。



(3) ESD素子とチョークコイル L_a の両方を装着したとき (回路条件) に、電源回路に誘起されるサージ波形 [通過電流 I_a および端子電圧 E_s] を Fig.14 に示す。GND と電源回路の端子間電圧 E_s は尖頭値 $1.7V$ 以下 [ICレギュルタの最大定格 $35V$ を越えない] となり、また通過電流 I_a はパルス幅約 $20\mu s$ 以下で尖頭値約 $200mA$ の低電流になり、電源回路は損傷を受けずに正常に働く。

6. 雷サージ対策内容の紹介

(1) 前述の雷サージ試験ブロック構成 (Fig.5) で、UHF アンプの出力側に対して雷サージ印加試験を行って、尖頭値 15KV [大気放電 110KV 相当] の雷サージをクリアした対策結果を、Fig15 に示す。ここで使用した ESD 素子は、直流放電開始電圧 $V_{th}=90V$ 、衝撃電流耐量 2KA (パルス幅 20uS) のサージ吸収能力を有している。

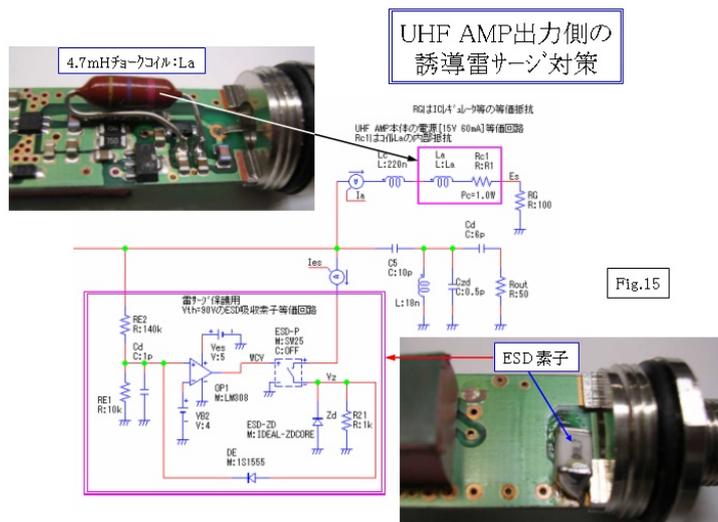


Fig.15

(2) UHF アンプの入力側に対する雷サージ対策は、放送受信信号 UHF 帯では、チョークコイルとして働き、同サージパルスに対しては接地機能を果たす、空芯コイル(数百 nH)を入力端に装着することで容易に対策できる。

7. トランジエント解析機能を適用した雷サージ試験シミュレーション解析の纏めと考察

(1) Transient 解析機能を適用した、高周波アンプに対する雷サージ対策のシミュレーション解析は、対策効果の机上評価 [事前検証] に大変有効であることを確認・検証できた。

(2) 静電気テストやサージ試験に適用する ESD 素子(高電圧を吸収して、周辺回路素子を保護)の電気モデル (等価回路) を創作し、雷サージ対策回路に組み込んだ結果、高電圧クリップ機能 (高圧サージパルスを自己放電電圧 V_{th} に切り崩す) が適切に作動して、実物と同様にサージパルスを旨く吸収できることを確認した。

(3) 近隣の落雷によって、同軸ケーブルに誘導雷サージが印加されたときに、高電圧サージパルスの誘導サージが同軸ケーブル (内外導体) を伝わって衝撃電流が流れる。その結果、ブースターアンプの入出力端に高電圧サージパルスが誘起され、周辺回路のチップ部品類を焼損させる。

(4) この誘導雷サージ対策としては、UHF アンプの入出力端に高電圧・高電流のサージパルスが発生することを防止することが重要で、そのポイントは次の通りである。

入力端には RF 信号に対してチョークコイルとして High Impedance となり、サージパルスに対して接地作用を有する空芯コイルを装着して、そのサージパルスを接地・吸収する。

出力端には ESD 素子を装着し、高圧サージパルスを吸収して低圧高速パルスに変換し、さらに出力端の電源部に数 mH のチョークコイルを挿入して、その低圧高速パルスを平滑する。これによって、サージパルスが電源部に侵入して回路素子に損傷を及ぼすことを防止する。

(5) SNAP のシミュレーション解析能力は、社会的ニーズの新しい技術潮流を切り拓き、地上デジタル TV 放送受信機等のデジタル通信・放送機器に対する信頼性・品質を向上する、極めて有能な開発ツールであることを実証することが出来た。このツールの活用によって、製品開発の効率向上 [スピードアップ / 費用低減 / 信頼性向上など] が一段と促進される。