

UHFブースタンプの25KV直雷サージ対策に
於ける Transient 解析の活用方法

1. 序文

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えない。

本報では、地上デジタルTV放送の受信対策に適用される、UHFブースタンプの高電圧雷サージ[超高压パルス電圧:尖頭値数十KV]直接印加対策を取り上げ、そのサージ対策を効率的に解析・検証して、最適対策内容を短期間に導出する、SNAPのTransient解析法[トランジェント解析機能]の活用を解説する。

1. 雷サージの典型波形

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

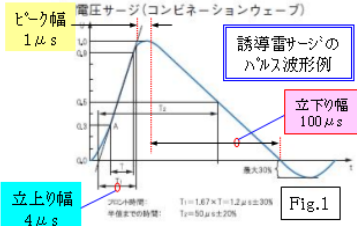


Table.1

	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. 雷サージおよび雷サージ試験機の概要

(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広いことが知られている。確率的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電磁場を遮断・解消するこ

2. 雷サージ試験の仕様概略

Table 2

項目	15KV 雷サージ	25KV 雷サージ	
規格名称	IEC	π	
開放電圧	立上り時間 [30%-90%]	1.2 us	0.5 us
	パルス半値幅 [10%-50%]	50 us	100 us
最大出力開放電圧	16.5 KV	30.5 KV	
出力インピーダンス	2 Ω	30 Ω	
最大出力短絡電流	8 KA	1 KA	

3. 25KV雷サージ発生装置[仕様:π]の等価回路

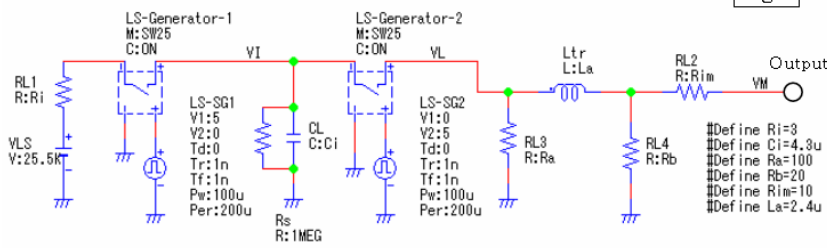


Fig.2

出力インピーダンス: $Z_{so} \approx R_{im} + R_b = 30 \Omega$

SnapSchema [25KV_基本波形2-雷サージ直接印加-通常解析]

となり、現実的に直撃雷対策は極めて困難である。

一般的対策内容としては、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比較的に頻度の高い

誘導雷サージに対して、対象機器 [地上デジタルTV放送の受信アンテナ直下に装着され、比較的に誘導雷の影響を受け易いUHFブーストアンプ] を保護する対策内容について検討・分析を進める。

具体的には上記誘導雷に対する保護対策として、25KV 直雷サージ対策 [尖頭電圧 25KV のサージパルスを、同上の UHFブーストアンプの入出力端に直接印加したときに、同ブーストアンプに故障が生じない] を採用することが、最新製品の品質保証の潮流になっている。

4. 25KV雷サージの全体波形

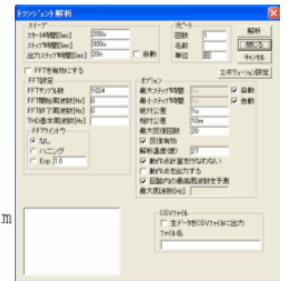
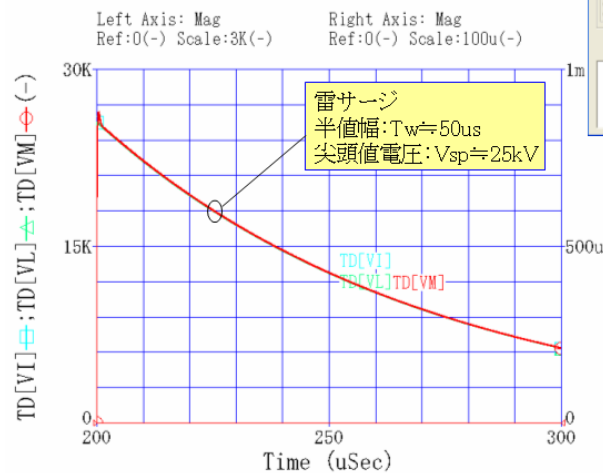


Fig.3

(2) 雷サージ試験機の仕様

主要な雷サージ試験機の仕様を Table2 に示す。一般に広く使用されている 15KV 雷サージは、出力インピーダンスが 2 と低く、出力短絡時の衝撃電流も最大 8KA と極めて大きい。今回の UHF アンプの直

5. 25KV雷サージの立上り波形

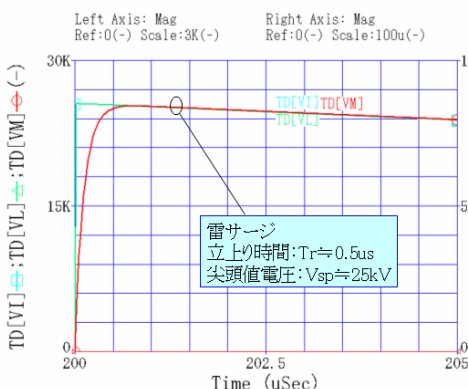
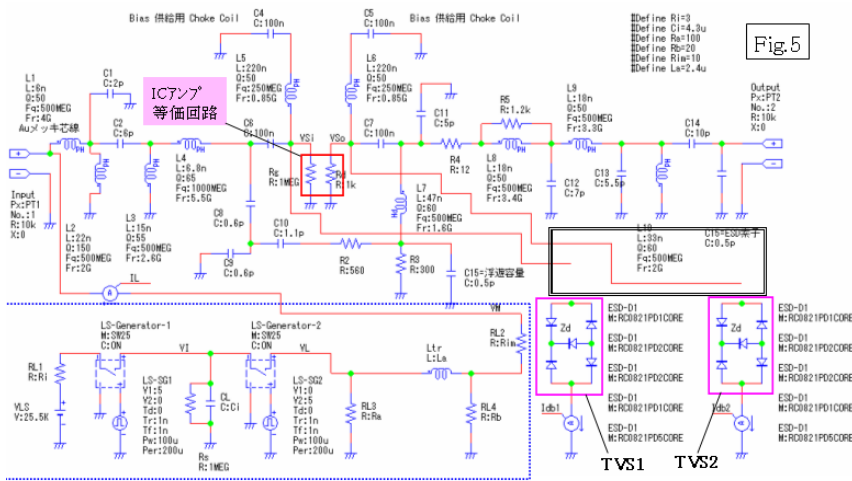


Fig.4

雷サージ対策に適用する 25KV 雷サージは、最大電圧が 30KV にも達する超高電圧サージではあるが、出力インピーダンスが 30 と大きいために出力短絡電流は最大 1KA に留まる。

UHF アンプに使用する IC アンプには GaAs MMIC や HEMT 等の GaAs 化合物半導体デバイスが適用されるので、マイクロ波高周波特性に優れたミクロ構造を有するために、本質的に ESD [静電

6. 雷サージ対策UHFアンプの等価回路[TVS1:未接続]



25KV雷サージ発生装置[仕様: π]の等価回路

SnapSchema [サージ保護シミュレーション] 解析2-25KV雷サージ直接印加

アンプの入出力端に同サージを印加したときにアンプ内部に侵入しやすく、UHFアンプの心臓部であるICアンプに、GaAs半導体デバイス破壊レベルを上回る、高速サージパルスを誘起する危険性が高い。

7. ICアンプ入力端の誘起サージ波形 [TVS1:未接続]

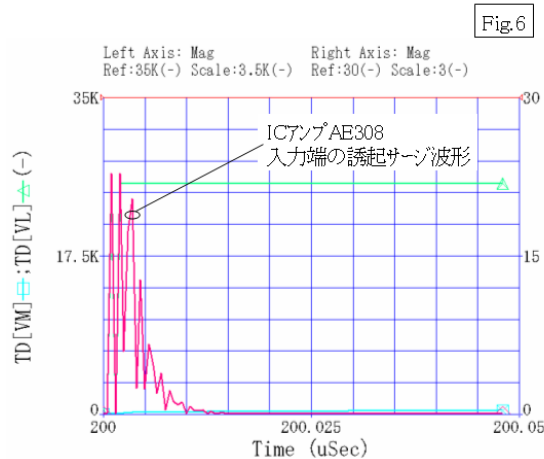
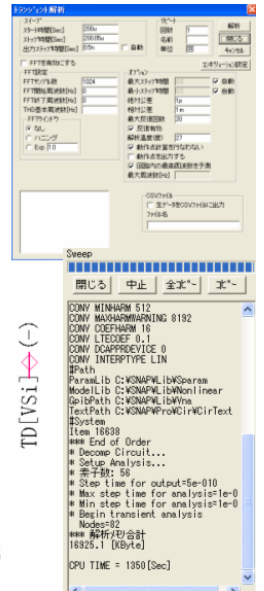


Fig.6



3 Transient解析を活用したUHFアンプの25KV雷サージ印加対策の効果検証

3.1 25KV雷サージ発生装置の等価回路および出力電圧特性

25KV雷サージ発生装置の等価回路をFig.2に、その開放出力電圧波形およびTransient解析条件をFig.3に示すが、サージパルスの半値幅は規格に準じて50usに設定している。また出力電圧波形の立上り波形および同解析条件はFig.4に示す通り、サージパルスの立上り時間は約0.5usで、規格に合致している。

8. 雷サージ対策UHFアンプの等価回路[TVS1:接続]

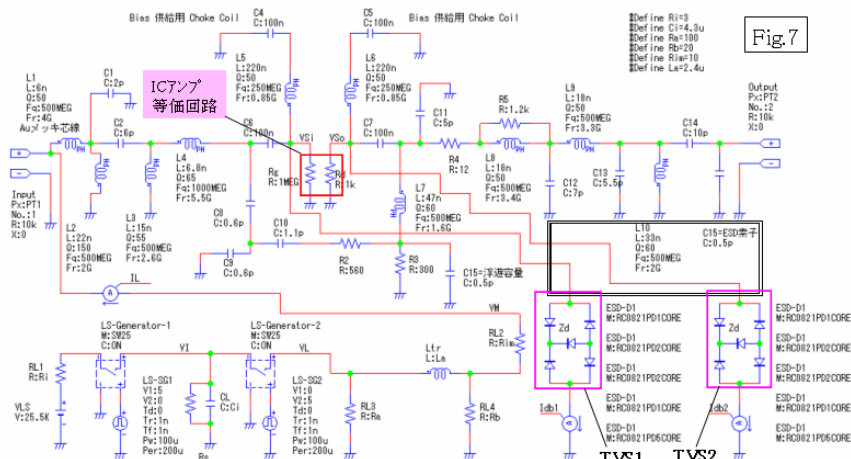


Fig.7

SnapSchema [サージ保護シミュレーション] 解析2-25KV雷サージ直接印加

気放電]や高電圧サージに対して極めて脆弱であることが分かっている。

上記の観点から、開放電圧が25KV-30KVと超高電圧で、且つサージパルス波形の立上りが0.5usと高速な25KV雷サージは、UHFアンプ

雷サージ発生装置の出力インピーダンス Z_{so} は、Fig.2の等価回路から、 $Z_{so} \approx 30$ に調整されていることが確認される。

3.2 サージ保護素子TVS1によるICアンプの入力保護

25KV雷サージ発生装置を、対象のUHFアンプの入力端に接

9. ICアンプ入力端の誘起サージ波形 [TVS1:接続]

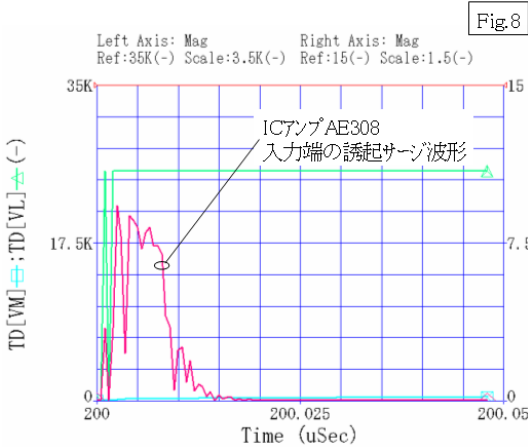


Fig.8

22Vのサージパルスが誘起されることが分かる。

ICアンプ AE308の入力端にサージ保護ダイオード TVS1 を接続した状態で、UHFアンプの入力端に 25KV 雷サージを印加したときの等価回路を Fig.7 に示す。この等価回路に Transient 解析を適用すると、ICアンプの入力に生じる誘起サージパルスの尖頭電圧は、Fig.8 に示すように 9V に吸収・低減される。

3.3 サージ保護素子 TVS2 による ICアンプの出力保護

11. ICアンプ出力端の誘起サージ波形 [TVS2:未接続]

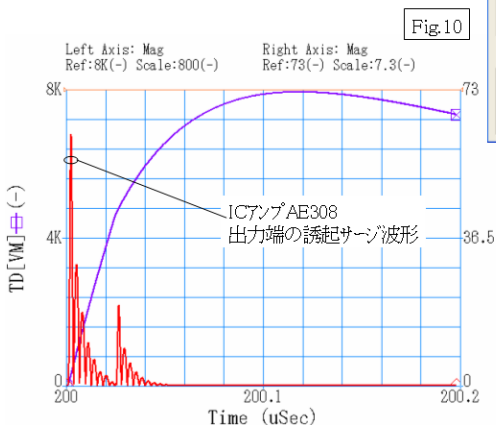


Fig.10

続した、全体(等価)回路を Fig.5 に示す。このときには、ICアンプ AE308 の入力端にはサージ保護ダイオード TVS1(詳細後述)は接続されていない。

UHFアンプの入力端に前述の 25KV 雷サージを印加したときには、Transient 解析を適用すると Fig.6 に示すように ICアンプの入力 [等価入力抵抗約 1M] に、尖頭電圧約

10. 雷サージ対策UHFアンプの等価回路 [TVS2:未接続]

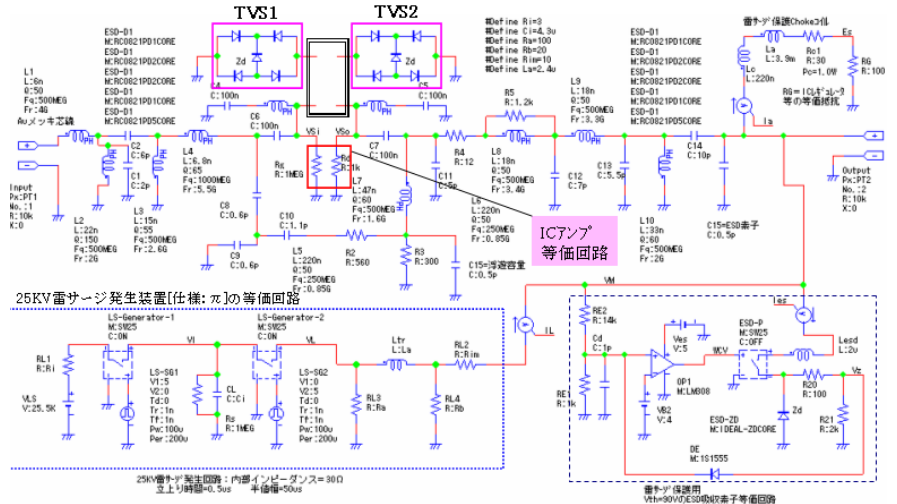


Fig.9

ICアンプ AE308 の出力端にサージに保護ダイオード TVS2 が接続されていない、UHFアンプ出力端に 25KV 雷サージ発生器を接続した全体回路を Fig.9 に示す。

UHFアンプの出力端に前述の 25KV 雷サージを印加したときには、Transient 解析を適用すると Fig.10 に示すように ICアンプの出力 [等価出力抵抗約 1K] に、尖頭電圧約

12. 雷サージ対策UHFアンプの等価回路[TVS2:接続]

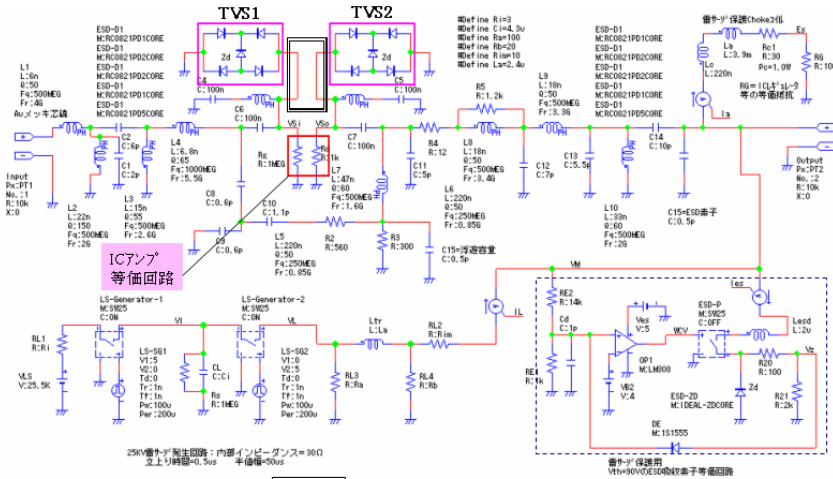


Fig.11

60V のサージパルスが誘起されることが分かる。

ICアンプ AE308 の出力端にサージ保護ダイオード TVS2 を接続した状態で、UHFアンプの出力端に 25KV 雷サージを印加したときの等価回路を Fig.11 に示す。

この等価回路に

Transient 解析を適用すると、ICアンプの出力に生じる誘起サージパルスの尖頭電圧は、Fig.12 に示すように 11V に大幅に吸収・低減される。

3.4 サージ保護素子 TVS1、TVS2 装着による 25KV 雷サージ対策の効果分析

(1) 雷サージ発生装置を、雷サージ対策 UHF プースターアンプの入力端に接続して、25KV 雷サージを直接に印加する。サージ保護ダイオード TVS1 を接続することにより、ICアンプ AE308 の入力端に誘起されるサージパルスを、尖頭電圧 22V から尖頭電圧 9V に半減できるので、サージ保護ダイオード TVS1 の働きで、ICアンプの損傷を保護できると考える。

13. ICアンプ出力端の誘起サージ波形 [TVS2:接続]

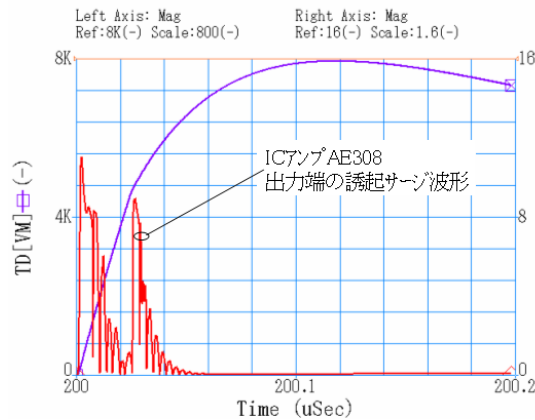
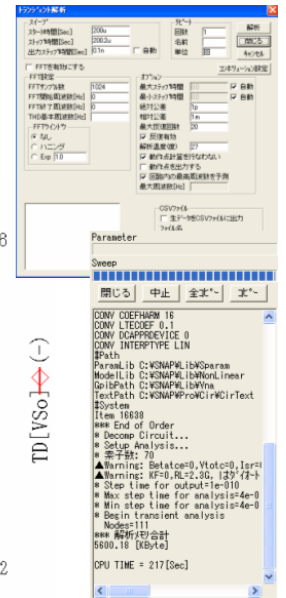


Fig.12



14. 25KV-30KV雷サージ直接印加試験の結果

Table 3

サージ電圧		サンプル数		No.21 1台
		No.1 - No.10 10台	No.10 - No.20 10台	
25KV 単一	Input	試験合格 [正常動作]	試験合格 [正常動作]	試験合格 [正常動作]
	Output	試験合格 [正常動作]	試験合格 [正常動作]	試験合格 [正常動作]
25KV 連続5回	Input			試験合格 [正常動作]
	Output			試験合格 [正常動作]
30KV 単一	Input		試験合格 [正常動作]	試験合格 [正常動作]
	Output		試験合格 [正常動作]	試験合格 [正常動作]

(2) 雷サージ発生装置を、雷サージ対策 UHF プースターアンプの出力端に接続して、25KV 雷サージを直接印加する。サージ保護ダイオード TVS2 を接続することにより、ICアンプ AE308 の入力端に誘起されるサージパルスを、尖頭電圧 60V から尖頭電圧 11V に大幅低減できるので、サージ保護ダイオード TVS2 の働きで、ICアンプの損傷を保護できると判断する。

(3) SNAP の Transient 解析を適用

15. UHFブースタ・アンプの25KV雷サージ直接印加試験



雷サージ印加試験機
[雷サージ発生装置]

Fig.13



雷サージ印加端子と
試験サンプル品の接続
[出力インピーダンス30Ω]

した上記の「雷サージ解析シミュレーション」を活用することにより、アンプ製品等の地上デジタルTV放送受信対策製品の開発に際して、雷サージ対策を効率的に導出できると共に、雷サージ実機試験の回数を最小限に低減できる。その結果、雷サージ対策の達成を迅速化すると同時に、設備借用等の開発費用の低減が図られ、製品

開発効率を向上させる。

4. 実際の 25KV 雷サージ試験の概要および試験結果の説明

(1) 25KV 直雷サージ試験の結果

同雷サージ試験の結果を Table3 に纏めた。前記の「雷サージ解析シミュレーション」の事前検証を反映した 25KV 雷サージ対策品(詳細後述)は、25KV - 30KV の雷サージ直接印加試験に完璧に合格することが出来た。

(2) 同雷サージ試験の概要紹介

雷サージ試験器および対象ユニットに対する雷サージ印加の接続を Fig.13 に示す。

30KV 雷サージの開放出力電圧波形は、Fig.14 に示す通り、立上り時間 500ns、サージ幅 110us の規格に設定されている。

16. 30KV雷サージ印加と同サージ波形

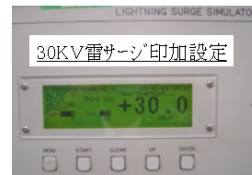
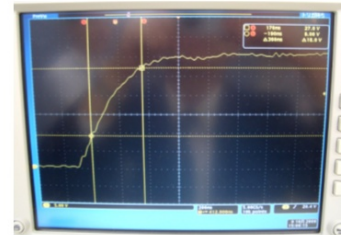
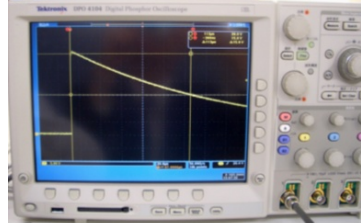


Fig.14

30KV雷サージ波形(半値幅110us)

30KV雷サージ波形(立上り時間500ns)



17. 25KV-30KV雷サージ印加サンプル品の動作確認

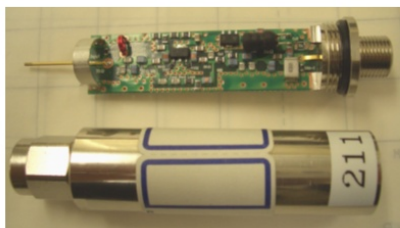
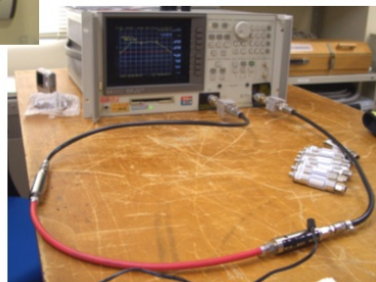


Fig.15

雷サージ印加試験後の
Network Analyzer
による正常動作確認

雷サージ印加試験のサンプル品
[雷サージ試験後の開封目視正常確認]

入出力端に夫々＝
25KV雷サージ連続6回印加
+
30KV雷サージ1回印加



雷サージ試験の対策サンプル品および、雷サージ印加後の動作確認を Fig.15 に示す。

5. UHFブースタ・アンプの 25KV 雷サージ対策の要点解説

5.1 25KV 雷サージ対策 UHF アンプの技術要旨

(1) 同対策 UHF アンプの技術ポイントを Fig.16 に纏めた。

UHF アンプの入出力端に装着された EGA1 (DC 耐圧 5V / 放電開始 [アランシ] 電圧

21. ICアンプAE308の静電気耐電圧

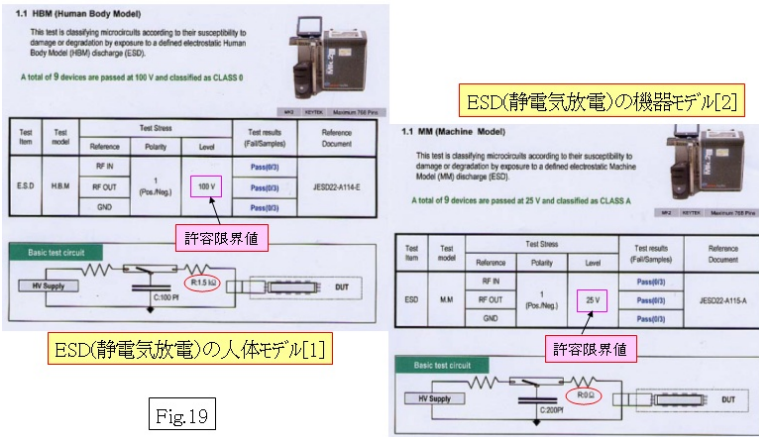


Fig.19

された。

6. Transient 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」効果の纏め

SNAP シミュレータの Transient 解析を適用することによって、25KV 雷サージ 直接印加試験に於ける、同雷サージ 対策 [サージ 保護素子 TVS1、TVS2] の効果を事前検証することができ、開発効率の向上を図れることが明らかになった。

雷サージ 対策の導入に伴う高周波特性の低下並びに、その改良方法(補償回路)を SNAP シミュレーションを活用して効率的に見出すことが出来た。その補償回路 [Cp=2pF 1pF、Ct=5pF 4pF] を試作チップに適用することによって、低下した高周波特性 [NF / Gain] を雷サージ 対策導入前の特性に戻す [近づける] ことができることを確認した。

「雷サージ 解析シミュレーション」を活用することにより、アンプ 製品開発に際して、対策を効率的に導出できると共に、雷サージ 実機試験の回数を最小限に低減できる。その結果、雷サージ 対策の達成を迅速化すると同時に、設備借用等の開発費用の低減が図られ、製品開発効率を向上させる。

22. ICアンプの入出力保護用TVS1、TVS2の仕様要点

超高速_極低容量_双方向ツェナーダイオード

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (T_A = 25°C unless otherwise noted)

Symbol	Parameter
I _{RP}	Maximum Reverse Peak Pulse Current
V _C	Clamping Voltage @ I _{RP}
V _{WM}	Working Peak Reverse Voltage
I _R	Maximum Reverse Leakage Current @ V _{WM}
V _{BR}	Breakdown Voltage @ I _R
I _T	Test Current
I _F	Forward Current
V _F	Forward Voltage @ I _F
P _{PK}	Peak Power Dissipation
C	Capacitance @ V _F = 0 and f = 1.0 MHz

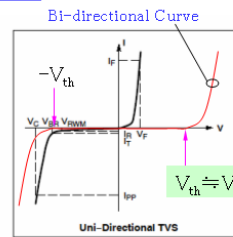


Fig.20

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (T_A = 25°C unless otherwise noted, V_R = 1.1 V Max. @ I_R = 10 mA for all types)

Device	Device Marking	V _{WM} (V)		I _R (μA)		V _{BR} (V) @ I _R		C (pF): uni-directional (Note 3) bi-directional (Note 4)		V _C (V) @ I _{RP} = 1 A (Note 5)		V _C
		Max	Min	Max	Min	Max	Typ	Max	Max			
ESD7L5.0DT5G	L6	5.0	1.0	5.4	1.0	0.5	0.9	0.25	0.45	10.4	10.4	Figures 1 and 2

端子間容量

ON Semiconductor

http://onsemi.com

TRANSIENT VOLTAGE SUPPRESSORS

ESD Protection Diodes with Ultra-Low Capacitance

PIN 1: CATHODE 1 →

PIN 2: CATHODE 2 →

PIN 3: ANODE 2 →

607-725 CASE 874A

23. UHFアンプの入力保護用EGA1の仕様要点

Engineering Product Specification

EGA10603V05A1-B

INPAQ TECHNOLOGY CO., Ltd

Item	Typical
Rated voltage	5 V
Leakage current	0.01 μA
Trigger voltage	150 V

DC耐圧

端子間放電開始電圧 [Avalanche Voltage]

	Symbol	Unit	Min.	Typical	Max.
Clamping voltage	V _C	V		30	
Capacitance, @1MHz	C _p	pF		0.2	0.5
Response time		ns			1
ESD voltage capability, Contact discharge mode		kV		8	15
ESD voltage capability, Air discharge mode		kV		15	25
ESD pulse withstand		pulses		100	

端子間容量

Fig.21

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 [ストックアップ / 費用低減 / 信頼性向上など] が一段と促進される。

7 . 参考データ

(1) ICチップの ESD 耐圧を Fig.19 に、雷サージの保護に使用した TVS の仕様を Fig.20 に、 EGA の仕様を Fig.21 に示す。これらのデータが参考になれば幸いです。

- 以上 -