

X 帯 1000W 級パルス増幅器を実現するための熱設計

Thermal design for X band 1000W class pulse amplifier

○金子智喜¹, 大谷 昭仁², 齋藤 宏文³○Tomoki Kaneko¹, Syozi Otani², Hirobumi Saito³

Recently, small satellites are expected to make a high performance mission. For realizing Synthetic Aperture Rader(SAR) mission at 100kg satellite, we are required to research X band 1000W class pulse amplifier. To realize the amplifier, it is required to design cooling mechanism. So This paper show method of temperature at the amplifier from 120°C to 130°C. Comparing CAD software to numerical calculation, this paper confirm validity of thermal analysis.

1. はじめに

人工衛星の小型化・高性能化の波に伴い, 100kg 級の人工衛星でも大電力を必要とする合成開口レーダ (“SAR “: Synthetic Aperture Rader) ミッションが議論されるようになってきた. 小型衛星で SAR を実現するためには小型な 1000W 級 X 帯増幅器が不可欠である. 増幅器の出力電力は高周波用トランジスタ (“HEMT” : High Electron Mobility Transistor) の性能で決まる. 今年に X 帯 200W の HEMT が販売されたため, 冷却機構を開発すれば小型な X 帯 1000W 増幅器の開発が可能になる.

本研究では理論値との比較を行うために CAD ソフトによるシミュレーションと Matlab による数値計算を行い, 誤差が 10%程度であることを確認した. そして, 妥当性のある熱設計で冷却機構モデル Fig. 3.1 を提案した. 本稿では, 増幅器の冷却機構設計, 増幅器の集中定数モデル, 数値計算による増幅器の熱設計, CAD ソフトと Matlab による増幅器の熱設計の比較の順で報告する.

2. 増幅器の排熱機構設計

SAR ミッションは 300[s]間行う. その間にベアチップの温度が 120 [°C]以下を要求されている. そこで, 以下のようなことを熱設計の前提にした.

1) HEMT のパッケージにグラフィイトシートを挟み, シート方向の熱伝達を促進させる.

2) 放熱機構による RF 特性への影響を確認する.

ベアチップは HMET のパッケージと接触熱抵抗 0.6[°C/W]で熱的にされているため, パッケージを冷やす排熱方法が知られている.

放熱板に溝切りしてヒートパイプを埋め込み, その上に銅板をロー付する. その銅板と増幅器底面をネジで固定する. Fig. 2.1 に放熱面におけるヒートパイプの配置を記す.

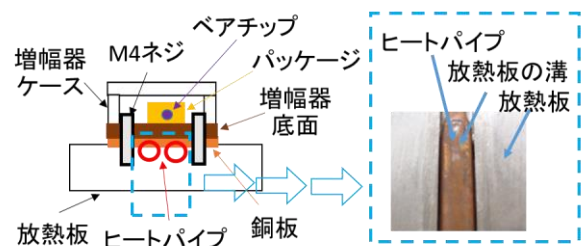


Fig. 2.1 放熱板におけるヒートパイプの配置

Fig. 2.1 のように増幅器底面に冷却機構を取り付けて, パッケージとつながったヒートパイプを放熱面につなげることで冷却機構の設計をした.

3. 増幅器の集中定数モデル

ベアチップの発熱は次式で表せることが知られている.

$$P_{\text{発熱量}} = (P_{\text{出力電力}} - P_{\text{入力電力}}) \times (1/\text{効率} - 1) \times \text{Duty 比}$$

180W アンプを 6 個合成して 1000W の電力を得る. 180W アンプは, 入力電力 60W 出力電力 180W 効率 30% duty 比 25% であるため発熱量は 82W となる. 提案した増

増幅器と冷却機構の熱数学モデルを Fig. 3.1 に記す。

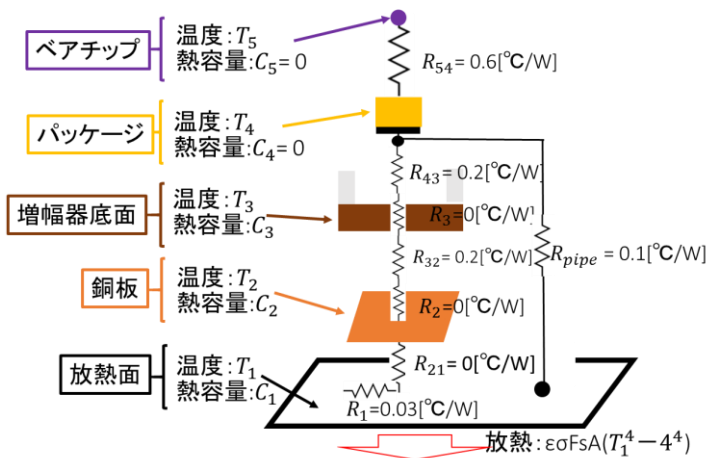


Fig. 3.1 増幅器と冷却機構のモデル

CAD シミュレーションを行うには Fig. 3.1 において R で表された物体間の熱抵抗の値を決める必要がある。

Fig. 3.1 において R_{54} はベアチップとパッケージの間の熱抵抗 $0.6 [^{\circ}\text{C}/\text{W}]$ を表している^[1]. R_{43} グラファイトシートとネジの熱抵抗の総和 $0.1 [^{\circ}\text{C}/\text{W}]$ を表している.^[2] R_{32} , R_{21} 熱伝達促進剤 RTV ゴムとネジの熱抵抗の総和 $0.05 [^{\circ}\text{C}/\text{W}]$ を表している.^[3] ヒートパイプは接続部の熱抵抗 $0.1 [^{\circ}\text{C}/\text{W}]$ のものを二本使ったので R_{pipe} は $0.05 [^{\circ}\text{C}/\text{W}]$ とした。

4. matlab による数値計算

熱容量は、放熱面では $C_1 = 241 [J/K]$ 、放熱面上の銅板では $C_2 = 61 [J/K]$ 、増幅器の底面では $C_3 = 122 [J/K]$ とした。放熱面の内部熱抵抗は R_1' , R_1'' : $0.015 [^{\circ}\text{C}/\text{W}]$ とした。ノード分割された各モデル内部での熱は瞬時に一様に伝わったという仮定のもと、Fig. 4.1 に記すモデルを Matlab で熱平衡の方程式を解いてベアチップに生じる温度の理論値を求めた

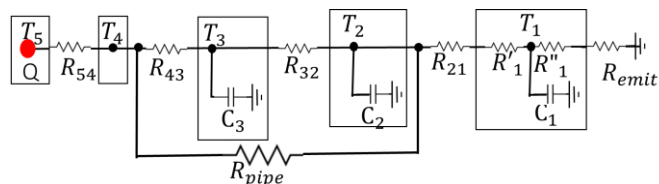


Fig. 4.1 増幅器と冷却機構の集中定数モデル

Fig. 4.1 のモデルを Matlab で解いたところ、 118°C になることが確認できた。また、増幅器ケース底面を 1mm

厚くすると温度が 2°C 下がることが解った。したがって、CAD ソフト Thermal Desktop を用いた熱解析をした際の目標温度を 118°C とした。

5. CAD ソフトと Matlab による増幅器の熱設計の比較

CAD で熱解析をした Fig. 5.1 のモデルは次のようにした。放熱面に溝切りをしてヒートパイプを埋め込みその上から銅板をロー付けした。そして、増幅底面と銅板を M4 ネジと RTV ゴムでつながっている。パッケージと増幅器底面はカーボンシートと M2 ネジで結合している。また、左のカラーコードを温度 $[^{\circ}\text{C}]$ を表している。

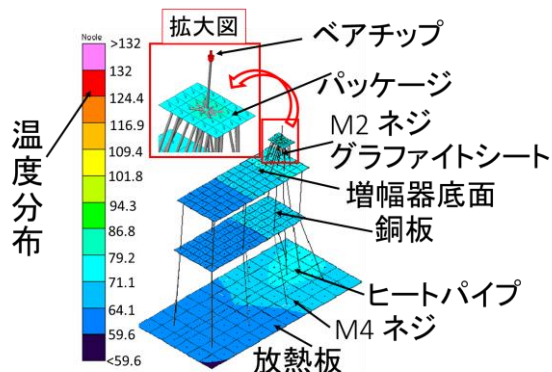


Fig. 5.1 増幅器放熱機構の解析結果

Fig. 5.1 の CAD シミュレーションの結果、三段目のベアチップ温度は 132°C であった。したがって、冷却機構の設計は増幅器の信頼性を高めるために有効であることが解った。また、数値計算と CAD 求めた温度の誤差率は 10% 程度であるため、CAD による熱設計は妥当であることが確認できた。したがって、熱設計の観点から、X 帯 1000W 級パルス増幅器を実現することを検証できた。

6. ベアチップ温度の測定方法 (今後の課題)

本論ではシミュレーションまでを報告し、提案した冷却機構の有効性を示唆した。今後は 180W 増幅器を動かして熱設計が正しいことを確認する。

参考文献

- [1] 住友電工 SGK0910-120A-R
- [2] Panasonic “PGC” グラファイトシート
- [3] 信越アステック株式会社 X-23-7921-5