

DAΦNE タイプキッカーの再計算について

M.Tobiyama

前回のレポートで、DAFNE オリジナル cavity を 4 入力、4 出力形状に変更し、

- 1) 中心周波数 1200MHz 1150MHz
- 2) Q 値 8 5
- 3) シャントインピーダンス 780 800 (いずれも計算値)

が設計上可能であると報告し、実機の製作をスタートした。その後、Frascati 側からの疑問および韓国 Pohang との議論をもとに再計算したところ、こちらの計算に重大な誤りがあることがわかった。間違っていたポイントは

- 1) Transit time factor の「正しい」扱い
- 2) HFSS のパワーの定義

の 2 点である。以下に、その詳細と再計算の結果、及び対応について報告する。

Transit time factor

前回報告では、shunt impedance を

$$R_{shunt} = \frac{\left(\int E_z(0)dz\right)^2 + \left(\int E_z(90)dz\right)^2}{P_{input}} \times T^2$$

の形の Pillbox cavity で TM010 の場合のみ使用できるいい加減な式で計算していた。実際は、ギャップの相当外まで電場が浸みだしており、この長さは周波数から見て十分大きい。正しくは、進行方向(z 方向)に沿っての入力位相 0 度と 90 度についての $E_z(z,0)$ 及び $E_z(z,90)$ を、各 z について

$$E_z(z) = \sqrt{E_z^2(z, \Phi = 0^\circ) + E_z^2(z, \Phi = 90^\circ)}$$

$$\phi_z(z) = A \tan\left(\frac{E_z(z, \Phi = 90^\circ)}{E_z(z, \Phi = 0^\circ)}\right)$$

を計算し、Phaser で

$$E_z(z,t) = \text{Re}\{E_z(z)e^{j[\omega t - \phi_z(z)]}\}$$

と表すとき、gap voltage $V_g(\omega)$ は

$$V_g(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} E_z(z)e^{j[\omega z/c - \phi_z(z)]} dz$$

となる。これは complex value なので、実際は

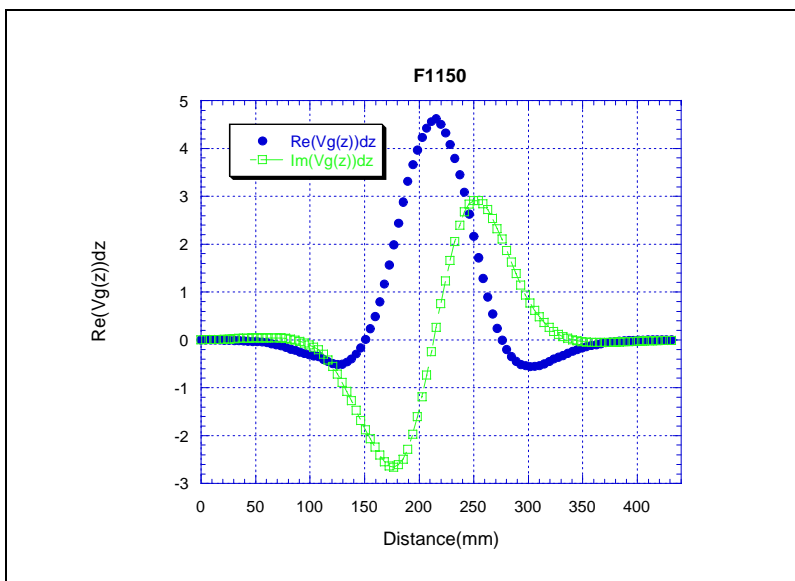
$$\operatorname{Re}(V_g(\omega)) = \int_{-L/2}^{L/2} E_z(z) \cos(\omega z/c - \phi_z(z)) dz$$

$$\operatorname{Im}(V_g(\omega)) = \int_{-L/2}^{L/2} E_z(z) \sin(\omega z/c - \phi_z(z)) dz$$

で real part、imaginary part を計算し、大きさと位相を出すことになる。この計算を今までのモデルに行ったところ、

1) 得られた $V_g(\omega)$ は今までの計算より大幅に小さくなった。これは、 E_z の分布の中でかなり大きな cancellation が起きているためである。

2) シャントインピーダンスの中心周波数が 50MHz 程度低くなった。



この結果から、シャントインピーダンスが異常に低く（～300 程度）なり、このままでは使えないのではないかと思い、モデルを変更して再計算を行ったが、うまくいかなかった。また、DAΦNE オリジナルについて計算しても、結果は一致しなかった。

HFSS のパワーの定義

DAΦNE の F. Marcellini 氏からの情報で、こちらの考えていた HFSS のインプットパワーの定義が間違っていたことが判明した。Manual には explicit には書いていないのだが、HFSS のインプットパワーは peak power であった。このため、通常用いている RMS でのパワーとはシャントインピーダンスで 2 倍異なる。結局、今のモデルのシャントインピーダンスは大体 600 程度だということが分かった。実際は、中心周波数が 50MHz ずれているのがいやらしいので、サイズを微調し、最終形状を確定した。トヤマにはこれをもとに変更を要請した。最終モデルでは、シャントインピーダンスは約 600、Q 値は 5～5.5 程度となった。DAΦNE の実機からの情報では、実機は計算よりシャントインピーダンスが下がり（780 から 600）Q が下がった（大体 5 程度まで）らしいので、取り敢えず実機を作って調べてみたい。

