

1. はじめに

トカマク型核融合炉プラズマで発生する新古典ティアリングモードの安定化には、磁気島内の O 点への局所的な電流駆動が有効である。本研究グループでは、新古典ティアリングモードを効率よく抑制するために必要なリング共振器型高速スイッチを提案し、試作開発を行ってきた[1]。本研究では高周波特性の改善を目指して改良を行い、電磁界解析を行った。また、新しい原理に基づく T 字型スイッチを提案し、原理の確認を電磁界解析で行った。

2. リング共振器型高速スイッチの原理

P<sub>1</sub> から入射された電磁波が、リング共振器の共振周波数以外の周波数であるとき、リング共振器内に電力は蓄積されず、入射された電磁波のほとんどが P<sub>2</sub> から出力される。一方、入射された電磁波の周波数が共振周波数であるとき、反射鏡 1 により P<sub>2</sub> に反射される電磁波は、リング共振器内の電磁波により弱められ、リング共振器内に電力が蓄積され、出力は P<sub>4</sub> へと切り替わる。

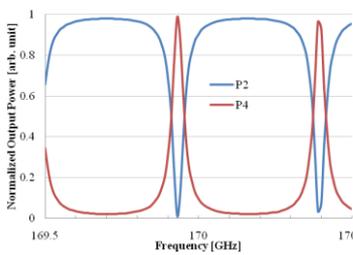


図 1. 高周波出力の周波数依存性(理論値)

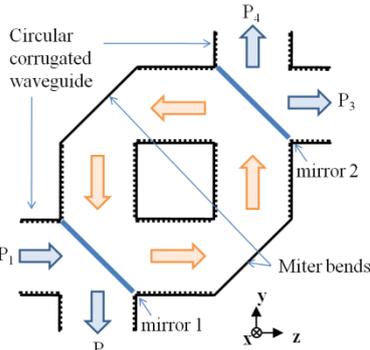


図 2. 高速スイッチの概念図

3. 数値解析

本研究グループが使用しているジャイロトロン製の制約により、リング共振器型高速スイッチの共振の Q 値を高くし、周波数変位約 20[MHz]での切り替えを可能にする必要がある。その 1 つの方針として、リング共振器の周長 L を長くすることにより、共振の Q 値を高くできることを理論とシミュレーションから得ることができた。

$$P_4 = \frac{(1-a)^2}{1+a^2-2a \cos t}$$

$$t = 2\pi\delta f / \Delta f$$

$$\Delta f = c / L$$

a : ミラーの電力反射係数

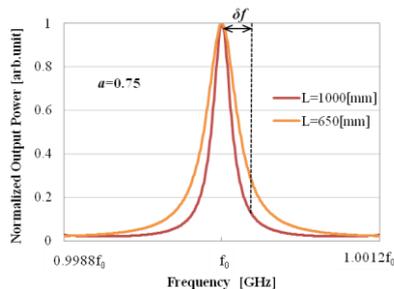


図 3. リング共振器の周長 L を変化させた時の出力の周波数依存性(理論値)

リング共振器型高速スイッチの高周波特性の改善を目指し、FDTD 法を用いた汎用電磁界解析ソフトウェア (XFDTD) で電磁界解析を行った。リング共振器の周長 L を長くすると、高速スイッチ出力の周波数依存性がシャープになることが確認された。これは、ジャイロトロン周波数変調によるスイッチの最適化設計に有用である。

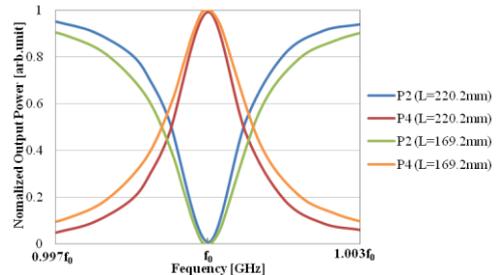


図 4. リング共振器の周長 L を変化させた時の出力の周波数依存性(解析値)

4. T 字型スイッチの提案

新しい原理に基づく、T 字型の簡易スイッチを提案する。T 字型のコルゲート導波管に、λ/2 以下のギャップをあけた 2 枚のミラーをいれた構造であり、ミラー間のギャップ長を調整することで、1 枚目のミラー表面で反射した電磁波と、2 枚目のミラー表面で反射した電磁波が打ち消し合い、出力が P<sub>2</sub> と P<sub>3</sub> で切り替わる。この原理を確認するため、FDTD 法を用いて T 字型スイッチの電磁界解析を行い、図 5 のように切り替え可能であることを確認した。

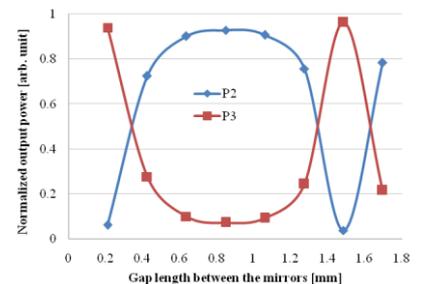
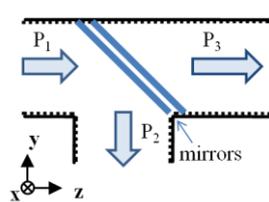


図 5. T 字型スイッチ概念図 図 6. 出力の周波数依存性

5. まとめ

リング共振器型高速スイッチの理論と電磁界解析から、周波数特性の改善を目指して、リング共振器の周長 L を長くすると、共振の Q 値を高くできることが確認された。また、新しい原理の T 字型スイッチを提案し、電磁界解析により原理の確認が行えた。

6. 参考文献

[1] M.Saigusa, et al., Fusion Eng. Des. 88 (2013)964-969.