

28GHz および 90GHz 帯バトラーマトリクス回路の設計

Design of 28GHz and 90GHz band Butler Matrix Circuit

本江 遥香[†] 北沢 光司[†] 加保 貴奈[†]

Haruka HONGO[†] Koji KITAZAWA[†] Takana KAHO[†]

[†] 湘南工科大学 工学部 電気電子工学科

[†] Shonan Institute of Technology

1. はじめに

5G/6G 移動通信システムでは通信の大容量化に向けて準ミリ波やミリ波帯の利用が見込まれており、基地局装置はビームステアリングや MIMO 用のマルチビーム形成機能が必要となる。本報告では 28GHz および 90GHz のバトラーマトリクス回路の設計を行った結果について述べる。

2. 提案するアレーアンテナ構成

バトラーマトリクスは 90° ハイブリッドと固定移相器を組み合わせた給電回路で、入力ポートを切り替えることでビームの方向を変えられる。しかし、交差配線が多く、2次元アレーアンテナとの組合せでは大きくなる課題があった。そこで階段状アレーアンテナとバトラーマトリクスと移相器を組合せて 2次元的にビームステアリングする小型装置を検討している[1]。階段状アレーアンテナ部分の計算結果ではアンテナの段差、つまりバトラーマトリクス基板の厚みは 0.1λ 以下が良いことが分かった。今回バトラーマトリクスの基板の厚みと予想性能を調べるため Keysight ADS シミュレータを用いて 28GHz および 90GHz における設計を行った。

3. 28GHz帯の設計結果

まず 28GHz 帯 8 入力 8 出力 (8×8) のバトラーマトリクス回路を設計した。低損失なプリント基板として PTFE 基板 (Rogers duroid 5880) を選択して設計を行った。基板の厚みは標準厚みの最小値である $127\mu\text{m}$ とし、誘電率 2.2, $\tan\delta=0.0009$, 配線層の金属は銅, 金属の厚み $18\mu\text{m}$, 90° ハイブリッドの設計を行ったところ, リターンロス-15dB 以下の問題無い特性が得られた。次に伝送線路の幅や長さを調べる LineCalc 機能を用いて 45° 等の線路長を求め固定移相器 (遅延線路) を見積り, 通過利得-9dB と 45° の位相差 45° の位相傾きに近い値を探索して, 最適化シミュレーションを繰り返し行い回路設計した。シミュレーション実施時の回路図を図 2 に, シミュレーション結果を図 3 に示す。振幅は-8.5~-12dB の範囲, 位相誤差は $\pm 15^\circ$ 程度のばらつきが生じる結果となった。

今回は交差部分を完全理想でシミュレーションしたが, 実際は上下にバトラーマトリクスを配置し VIA を介して交差させる方が周波数特性の広帯域化に良いと予想される。この場合でも $127\mu\text{m}\times 4$, 銅の厚み $18\mu\text{m}\times 5$, プリプレグ約 $80\mu\text{m}\times 2$ を足して合計 $0.8\text{mm}=0.08\lambda$ 程度となり, 目標としていた 0.1λ 以下の厚みで実現できると予想される。

4. 90GHz帯の設計結果

次に 90GHz 帯の設計として, まず 90° ハイブリッドを上記の基板パラメータで試したところ, 配線幅が太くなり所望の

特性が得られなかった。このためより薄い基板が可能な LTCC (低温焼成セラミック) 基板を想定し, 基板厚み $60\mu\text{m}$, 誘電率 5, 配線層の金属は金, 金属の厚み $2\mu\text{m}$, $\tan\delta=0.0009$ とし 8×8 バトラーマトリクスの設計を行った。シミュレーション結果を図 4 に示す。振幅は-10.5~-11dB の範囲, 位相誤差は $\pm 15^\circ$ 程度のばらつきが生じる結果となった。特に $\text{phase}(S(12,1))$ と $\text{phase}(S(13,1))$ は位相ばらつきが大きかった。90GHz は 28GHz に比べて通過損失が大きく位相ばらつきが大きい結果となった。損失については誘電率が高いため伝送線路モデルの誘電体損失の影響が考えられるが, 今後さらに最適化設計を試す予定である。

参考文献

[1]宗ほか, 信学技報 アンテナ・伝搬研究会, 2022 年1月。

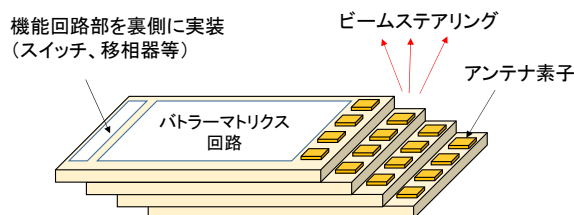


図 1 バトラーマトリクスと階段状アレーアンテナ

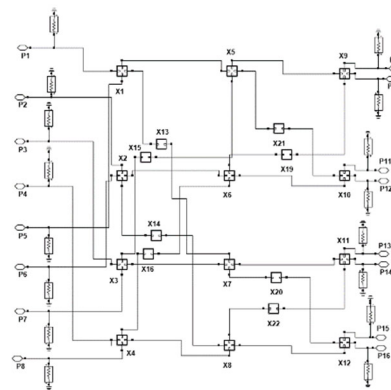


図 2 ADS でのバトラーマトリクス設計

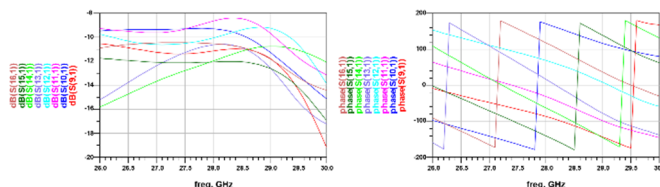


図 3 28GHz の設計結果 (左:通過利得 右:通過位相)

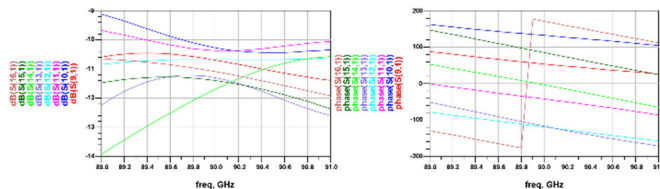


図 4 90GHz の設計結果 (左:通過利得 右:通過位相)