2×2 active integrated antenna using FET oscillator and an active integrated antenna array using a MMIC oscillator

FETを用いた2×2アクティブ集積アンテナおよびMMICを用いた超小型アクティブ集積アンテナアレイ

Kenji KIKUCHI, Kazuhisa IWASAKI, Hideki URABE, Yoshihisa YASUOKA and Shigeo KAWASAKI
Department of Communications Engineering, Tokai University, 1117 Kitakaname, Hiratsuka,
Kanagawa 259-1292, Japan

TEL: +81-463-58-1211 (EXT.4071) E-mail: kawasaki@keyaki.cc.u-tokai.ac.jp

(Received 15, November 1999 Accepted 28, February 2000)

Millimeter wave frequencies are expected to be important for the high speed and large volume communication system in the multi-media society. Demands of light-weight, multi-functions are very high for such a system. The active integrated antenna is one of techniques to solve these problems. In this report, for use in the Intelligent Transport System(ITS), a 5.8GHz 2×2 active integrated antenna array fabricated on a soft substrate with a package-type FET and a K-band 2-element active integrated antenna array fabricated on a ceramic substrate with a MMIC oscillator were demonstrated. From the experimental results, it is believed that fundamental data for the new communication system were obtained.

Keywords: active integrated antenna, CPW, ETC, FET oscillator, strong line, MMIC oscillator, slot antenna

I. INTRODUCTION

現在、道路交通は社会経済の発展に大きく貢献している。そのさらなる発展に、最先端の情報通信技術を活用し「人」、「道路」、「自動車」とを、1つの大きなシステムとして構築する、ITS (Intelligent Transport System: 高度道路交通システム)がある。その中で、今回、注目したのが、有料道路における料金所での渋滞を解消するために、考案されている ETC (Electronic Toll Collection: ノンストップ自動料金収受システム)である。その端末装置への応用技術の1つとして、アクティブ集積アンテナ技術がある。このアンテナは小型で、軽量なことから、自動車への設置の際、外観を損ねることがなく、設置場所を選ばない。よって、設置場所の限られる、オートバイへの設置も、容易であるなどの有効性がある。

本報告においては、ETC 用アクティブ集積アンテナとして、その規格周波数である 5.8GHz 帯、2×2 アクティブ集積アンテナを試作した。また、更なる小型、軽量化を計るために、高誘電率であるアルミナ基板上 (1×1inch) に、23GHz、MMIC 発振器 (2×2mm²)を用いて、超小型アクティブ集積アンテナアレイを試作したので、これらについて記述する。

II. DESIGN

設計したアクティブ集積アンテナは、放射素子にスロット等の平面アンテナを用い、高周波回路として、FET を使用した発振器もしくは MMIC を伝送線路で基板上に接続し、一体化構造としたものがある。特徴として小型・軽量・薄型化が可能であるというメリットがある。また今回は、伝送線路として誘電体基板上に、片面で加工が容易な CPW(Coplanar Waveguide)を用いた。

ETC 用のアクティブ集積アンテナは、まず、パッケージ型 FET を用いた直列帰還型発振器を、FET の S パラメータを用いる小信号理論に基づき、設計周波数 5.8GHz で設計した。アレイ化にあたっては、直列帰還型 FET 発振器と強結合法により 2×2 素子アクティブ集積アンテナアレイ実現した。この時、¹ 能動素子として HEMT (三菱電機: mgf4314g) を使用し、発振器の設計には回路シミュレータ (HP MDS) を用いた。

またアンテナ部は、CPW 給電を持つスロットアンテナとし、電磁界シミュレータ (HP Momentum) を用いて設計

した。この時、特性インピーダンス 50Ω をもつ給電線路と整合がとれるような、スロット長 $0.59\lambda_g$ (λ_g : 伝送線路波長)、スロット幅 $0.028\lambda_g$ とした。アクティブ集積アンテナのアレイ化には、回路の周期的構造を利用する強結合法を用いた。強結合法とは、設計段階から、動作時のモードを制御でき、高い電力合成効率を得られる設計法である。強結合線路の長さは、電氣的周期性を持つ $0.62\lambda_0$ (λ_0 : 自由空間伝搬波長)とし、今回は 2 素子アレイ化とした。さらに、これを上下に並べ 2 次元アレイ化するため、並列に接続される 1 次元アレイ間隔においては、 $0.70\lambda_0$ となるように配置し、線路で接続することによって、 $10\times 10\text{cm}^2$ の基板上に 2×2 素子アクティブ集積アンテナを設計・試作した。これを、Fig. 1 に示す。

さらに、² 高周波動作、高集積度化のため $2.5\times 2.5\text{cm}^2$ のアルミナ誘電体基板上に、23GHz で動作する MMIC 発振器を用いた、2 素子 1 次元アクティブ集積アンテナを試作した。5.8GHz のアクティブ集積アンテナと同様、給電線路は CPW とし、アンテナ部は、電磁界シミュレータによって設計を行い、スロット長 $0.5\lambda_g$ 、スロット幅 $0.053\lambda_g$ とした。アレイ化には強結合法を用い、アンテナ間隔は $0.70\lambda_0$ とした。また、アンテナ部と MMIC 発振器出力の整合のために調整用スタブを付加した。短い CPW 線路の島を直線状に配置し、ボンディングワイヤによって、その長さを変化させることにより、リアクタンスを容易に調節できるようにした。23.1GHz で動作する直列帰還型 MMIC 発振器は、試作アルミナ基板上に接着し、給電線路の CPW とボンディングワイヤで結合し、超小型 MMIC アクティブ集積アンテナを実現した。これを、Fig. 2 に示す。

III. EXPERIMENTAL&RESULTS

測定は、試作回路背面が、受信アンテナ正面を向くように設置し、電波暗室にて行った。回路と受信アンテナ間距離は、1m とした。

2×2 アクティブ集積アンテナにおいては、まず、2 素子 1 次元アレイの状態を試作し、以上の条件で測定した結果、5.61GHz で動作し、受信電力は -23.0dB が得られた。

2 次元アレイ 2×2 アクティブ集積アンテナでは、5.38GHz で動作し、受信電力、-18.83dB が得られた。その時の測定アンテナパターンを、計算値と共に Fig. 3 に示す。

測定条件を同様にして、MMIC 発振器を用いたアクティ

ブ集積アンテナアレイの測定を行った。測定において、回路動作安定の為、回路面から $1.1\lambda_0$ の距離を隔てて、アレイ後方に金属反射板を配置した。その時の金属反射板と試作回路との距離は基礎実験より決定した。1 素子の場合、動作周波数、22.74GHz、受信電力、-42.83dB であった。2 素子 1 次元アクティブ集積アンテナアレイにおいては、20.27GHz で動作し、最大受信電力、-40.33dB が得られた。このアクティブ集積アンテナアレイの測定アンテナパターンを計算値と共に Fig. 4 に示す。

Relative permittivity:10.0
Substrate thickness:0.635mm
Conductor thickness:0.018mm Size:10×10cm²

FIG. 1. 2×2 active integrated circuit

Relative permittivity:10.3
Substrate thickness:0.635mm
Conductor thickness:0.5mm Size:2.5×2.5cm²

FIG. 2. MMIC active integrated antenna array

IV. DISCUSSION

試作した 2×2 アクティブ集積アンテナは、Fig. 3 より、メインローブとヌルポイント付近での測定値と計算値が、ほぼ一致している。このことから試作回路は、各アンテナから、同相・同振幅の電磁波が放射されているといえる。従って、各 FET 発振器においても同相で動作し、回路が強結合法で設計通り動作していることが確認できる。

Figure 3 に示されたアンテナパターンにおいてサイドローブが大きくなっているが、この原因としては、アンテナからの放射効率が低いため、相対的にサイドローブレベルが上昇した為と考えられる。また、4 素子を 2 素子と比べた場合、最大受信電力の比が低くなってしまっているが、これは、アンテナ素子間隔が 2 素子アレイでは $0.62\lambda_g$ であったのに対し、4 素子アレイでは $0.7\lambda_g$ としたため、相対的にメインローブに対してサイドローブレベルが上昇したことが原因である。また、受信周波数の変化は FET の配列不均一等による、製作誤差が考えられる。

MMIC アクティブ集積アンテナアレイは、Fig. 4 より、メインローブが 0° 方向に得られていることから、同相で動作していると確認できる。サイドローブが計算値に比べて大

きい、電力比が低い原因に関しては上記と同様なことが考えられる。受信周波数の変化においては、MMIC 発振器間のロードブリッジのほかに製作誤差などが挙げられる。

今回の結果から、今後さらなる多素子化、超小型化に対してのよい基礎データとなるものと思われ、伝送線路の不連続部での影響、素子の配列方法などの課題を克服していきたいと考える。

FIG.3. 2×2 active integrated antenna antenna pattern

FIG. 4. MMIC active integrated circuit array antenna pattern

V. CONCLUSION

本報告では、基板上に 5.8GHz 帯、2×2 アクティブ集積アンテナとアルミナ基板上に GaAs MMIC 発振器を実装して、超小型化を実現した MMIC 発振器アクティブ集積アンテナアレイの試作および評価を示した。

2×2 アクティブ集積アンテナを ETC 端末として考えた場合、更なる小型、軽量化、周波数の安定化、規格で定められている放射電磁波の円偏波化などが課題として挙げられる。

高誘電率であるアルミナ基板上に、CPW 給電アクティブ集積アンテナと GaAs MMIC 発振器を実装したアクティブ集積アンテナアレイを試作評価では、MMIC で構成されるハイブリッドアクティブ集積アンテナアレイの基礎的なデータが得られたと確信する。また、今後の課題として、更なる放射電力の高効率化、集積化、多素子化があげられる。

REFERENCES

- ¹K.Iwasaki, H.Urabe, K.Kikuchi, K.Kawasaki, "Frequency Characteristics of CPW-fed 2-Element Active Integrated Antenna," TECHNICAL REPORT OF IEICE, MW99-61 pp.75-80, July, 1999.
- ²Y.Yasuoka, S.Kawasaki, Y.Suzuki and K.Honjo, "An Active Integrated Antenna Array Using an MMIC Oscillator on a Ceramic Substrate," Proc. TJMW'99, MW99-97, pp.21-26, Pattaya, Thailand, Sep. 1999.

Presented at '99 SAS Intelligent Symposium