

ビームフォーミングネットワーク型送信機における非線形歪の検討

日大生産工 (院) ○正木 秀明
日大生産工 田中 將義

1. はじめに

多数の信号波を共通増幅する場合、入力される信号電力が小さい間は線形動作をするが、信号電力が大きくなると非線形歪が発生し、伝送特性が劣化する。増幅器の非線形特性を避けるために、増幅器を線形領域で動作させるようにバックオフを十分にとり、増幅器の非線形特性の影響を軽減する方法が行われているが効率が低下する欠点がある。このため、効率の良い非線形領域で増幅器を動作させると同時に非線形歪の影響を低下させる方法が求められている。そこで本研究ではビームフォーミングネットワークを用いた送信機[1, 2]において、共通増幅により発生する歪の中で、歪レベルの大きい3次混変調歪(IM3)の影響を低減する方法を検討した。

2. 電力増幅器で発生する3次混変調歪

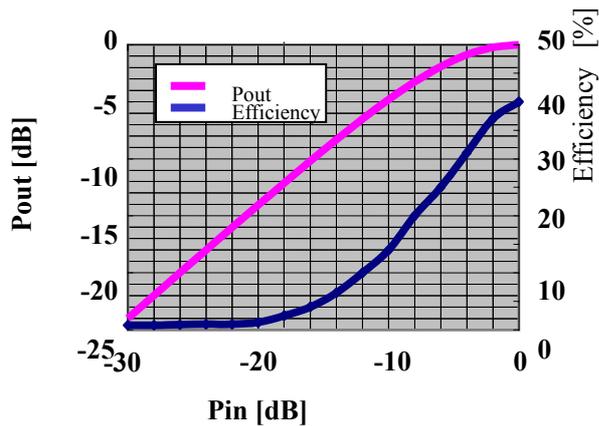


図1 電力増幅器の入出力特性と効率

2.1 電力増幅器の特性

電力増幅器の典型的な入出力特性、電力効率特性を図1に示す。入力を上げると効率が增加するが、IM3が発生し信号に影響を与える。

2.2 歪の発生

複数の信号を共通増幅すると、入力された入力信号の周波数に依存した歪が発生する。

3波の異なる周波数が入力された場合、入力信号周波数とIM3の内ではベルの大きな成分の周波数は以下の関係にある。

$$f = f_u + f_v - f_w \quad (1)$$

つまり3波の異なる周波数の信号が入力された場合、3波の3次混変調歪が発生する。

増幅器に入力される3波の周波数と位相を以下のように表すと、

$$\begin{aligned} S_1(f_1, \theta_1) \\ S_2(f_2, \theta_2) \\ S_3(f_3, \theta_3) \end{aligned} \quad (2)$$

発生するIM3の周波数は次式で与えられる。

$$\begin{aligned} IM3f_1 &= -f_1 + f_2 + f_3 \\ IM3f_2 &= +f_1 - f_2 + f_3 \\ IM3f_3 &= +f_1 + f_2 - f_3 \end{aligned} \quad (3)$$

またIM3の位相は入力信号の位相に依存し、次のようになる[3]。

$$\begin{aligned} IM3f_1(\theta_1) &= -\theta_1 + \theta_2 + \theta_3 \\ IM3f_2(\theta_2) &= +\theta_1 - \theta_2 + \theta_3 \\ IM3f_3(\theta_3) &= +\theta_1 + \theta_2 - \theta_3 \end{aligned} \quad (4)$$

共通増幅で発生する IM3 と入力周波数の関係を示すと図2のようになり、信号周波数配置によっては、信号周波数と IM3 の周波数が同一となり干渉が発生する。

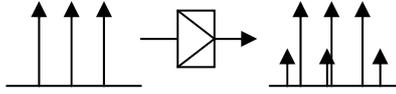


図2 共通増幅時の信号と3次混変調

3. ビームフォーミングネットワーク型送信機

3.1 フェイズドアレイアンテナの構成

図3に示すフェイズドアレイアンテナは、各素子の配置や位相を適当に変化させることにより、指向性を自由に操作できるという特徴を持っている。このフェイズドアレイアンテナを用いたビームフォーミングネットワーク型送信機では、送信信号を n 分割し、分割した出力にそれぞれ移相器を接続し、他のビームの送信信号と合成して電力増幅器に入力される。電力増幅器の出力は各フェイズドアレイアンテナの素子に給電される。

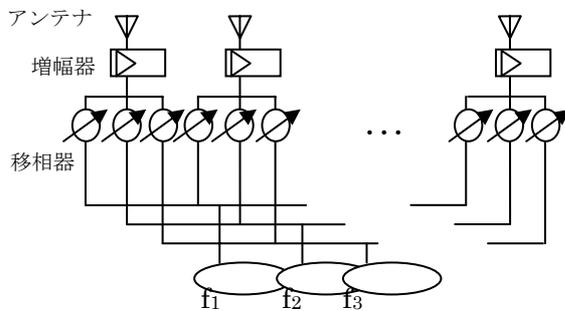


図3 ビームフォーミングネットワーク型送信機の構成

K 素子からなるアンテナの放射パターンを決定するアレイファクター F は以下の式で与えられる[4].

ここで d はアンテナ素子の間隔、 V は各アンテナ素子の重み付け、 θ はビームの方向、 κ は波数である。

$$F(\theta) = V_0 + V_1 e^{j\kappa d \sin \theta} + V_2 e^{j2\kappa d \sin \theta} + \dots = \sum_{k=0}^{K-1} V_k e^{j\kappa k d \sin \theta}$$

$$V_k = A_k e^{j\kappa k \alpha}$$

さらに以下のように表現できる。

$$F(\theta) = \sum_{k=0}^{K-1} V_k e^{j(\kappa k d \sin \theta + k \alpha)} \quad (5)$$

$$\alpha = -\kappa d \sin \theta_0$$

ここで θ_0 はビームの目標方向である。

3.2 フェイズドアレイアンテナによる送信

8素子のアレイアンテナを用いて、目標方向を 0 度とした場合の放射パターンを図4に示す。

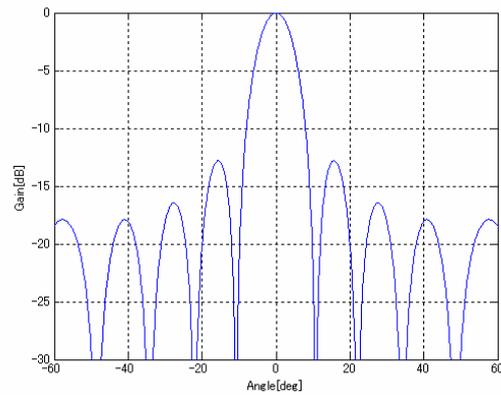


図4 フェイズドアレイアンテナの放射パターン

周波数と位相の異なる3波で3ビームを送信する構成の場合、各主ビームの目標方向 θ_0 を以下の様に設定すると、図5のような放射パターンが得られる。

$$\begin{aligned} \theta_{01} &= -4.8 \text{ [deg]} \\ \theta_{02} &= 0 \text{ [deg]} \\ \theta_{03} &= 4.8 \text{ [deg]} \end{aligned} \quad (6)$$

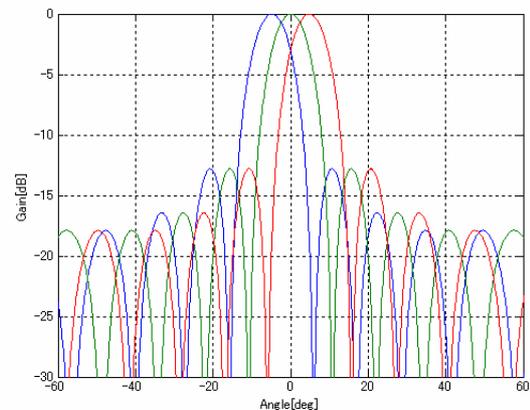


図5 3ビームの放射パターン

4. 検討方法

周波数の異なる3波を共通増幅した後に、フェイズドアレイアンテナの各素子に入力し、3ビームを形成する送信機における信号波とIM3の放射パターンの相対関係を検討した。さらにビーム配置・周波数配置とIM3放射パターンの関係を明らかにし、干渉を避ける方法を検討した。

IM3レベルは電力増幅器の特性で決定される。ここでは信号波に対して約-10dBを想定した。

5. 歪放射パターンの制御

5.1 信号波と歪の放射パターン

図6のように各ビームに周波数を割り当てる際に、左から低い周波数順に f_1, f_2, f_3 と割り当てた場合の信号波のビームと歪波の放射パターンを図7に示す。信号波の主ビームと歪の主ビームが重なっている。図8にビーム#2に注目した放射パターンを示す。発生した歪と信号波の周波数が同一周波数 f_1 であり、歪のビームが入力の主ビームに干渉し、通信機能を劣化させる。

5.2 ビーム配置・周波数割り当てによる歪放射パターンの制御

式(4)に示すように、歪の放射パターンが電力増幅器に入力される信号波の位相に依存することに注目すると、歪の主ビームを信号波の主ビームと異なる方向に制御すれば、干渉を避けることができる。

各ビームへの周波数の割り当てを図9のように左から f_2, f_1, f_3 と割り当てた場合の放射パターンを図10に示す。図11にビーム#2に着目した放射パターンを示す。 f_1 の歪ビームは、 f_1 の主ビームと異なる方向を向いており、レベルは同一であるものの、主ビームに与える影響を小さくすることが可能である。

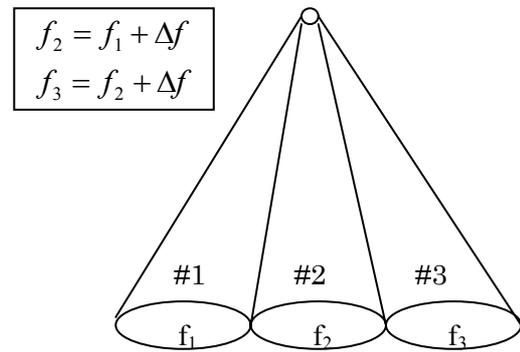


図6 ビーム配置と周波数割り当て

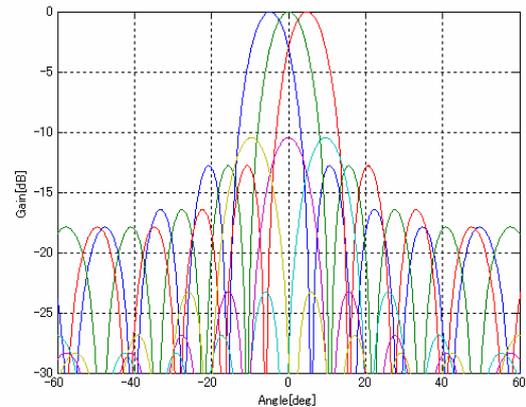


図7 ビーム#1, #2, #3の放射パターン特性

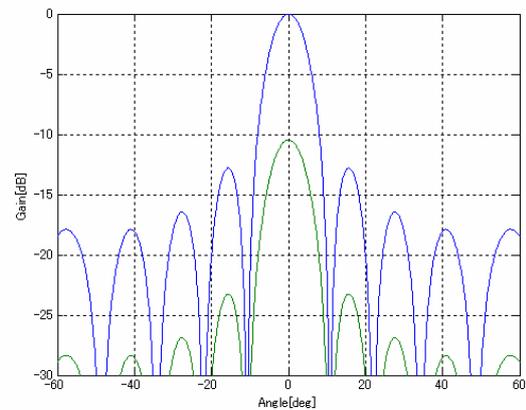


図8 ビーム#2における信号波と歪波の放射パターン

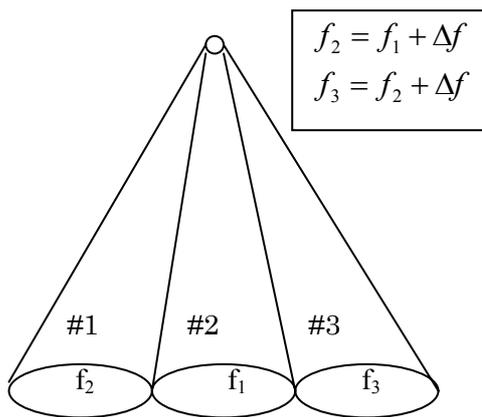


図9 混変調歪の影響を受けないビーム配置と周波数割り当て

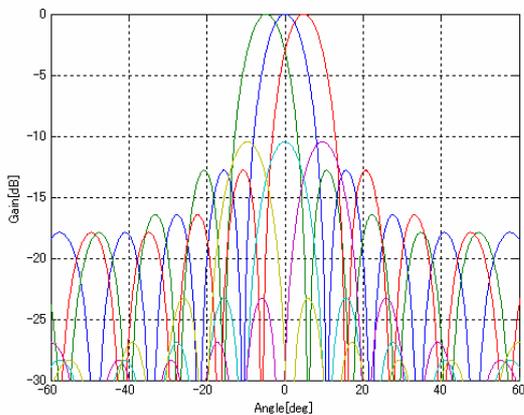


図10 ビーム#1, #2, #3の放射パターン特性

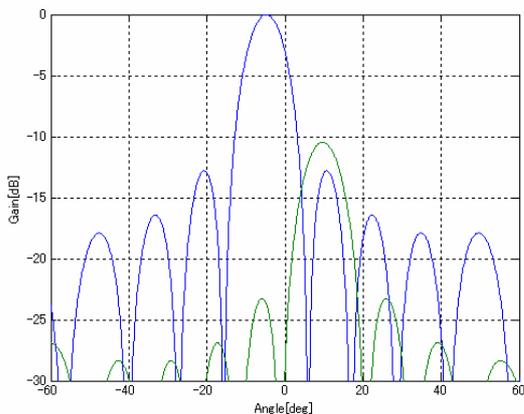


図11 ビーム#2における信号波と歪波の放射パターン特性

6. 考察

ビームフォーミングネットワークを用いた送信機では、ビーム配列と周波数割り当てを最適にすることにより電力増幅器で発生する三次混変調歪を主ビーム以外の方向に制御可能であり、信号波の放射パターンに影響を与えることなく、干渉を低減できることが明らかとなった。

7. むすび

今回の検討では送信信号の主ビームに干渉を与える同一周波数の3次混変調歪のビームを分離する方法を明らかにし、干渉を低減する方法を明らかにした。この結果、電力増幅器を効率の良好な飽和点近傍の非線形領域で動作させることが可能となり、送信機の低消費電力化が可能となる。今後は、主ビームへの影響を抑えて、歪のレベルを低減するアンテナ入力各素子の重み最適制御法を明らかにしていく。

参考文献

- [1]佐藤, 田中”DSP を用いたマルチビーム形成法の検討”, 第36回日本大学生産工学部学術講演会, P95 2-26, 2004
- [2]佐藤, 田中, ”DSP を用いた衛星マルチビームシステムの検討 -可変ビーム可変電力配分-”, 信学総全大, B-3-20, 2005
- [3]正木, 田中”マルチキャリア増幅時の相互変調歪低減法の検討”, 37回日本大学生産工学部第学術講演会, P83 2-22
- [4]John Litva T.K.Lo, Digital Beamforming in Wireless Communications, Artech House, 1996.