

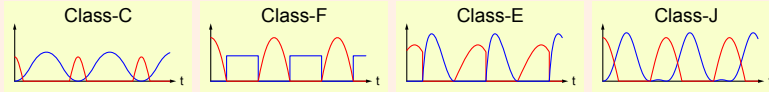
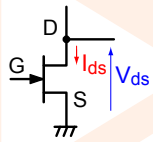
高調波リアクティブ終端技術を用いた高効率増幅器・整流器に関する研究

小川 智史、北村 淳、眞下 和樹、町田 港 電気通信大学

リアクティブ終端高調波処理

・高効率マイクロ波電力増幅器

トランジスタでの電圧・電流波形



波形の重なりを無くす → 高効率化

波形制御 → 高調波制御

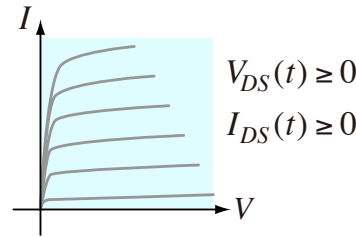
電圧・電流波形のひずみ波交流表記

$$I_{DS}(t) = I_{DC} + \sum_{n=1} \sqrt{2} I_n \sin(n\omega_0 t + \varphi_n + \theta_n)$$

トランジスタでの平均消費電力

$$P_{diss} = \frac{1}{T} \int_0^T V_{DS}(t) I_{DS}(t) dt = V_{DC} I_{DC} + V_1 I_1 \cos\theta_1 + \sum_{n=2} V_n I_n \cos\theta_n$$

$$V_{DS}(t) = V_{DC} + \sum_{n=1} \sqrt{2} V_n \sin(n\omega_0 t + \varphi_n)$$



高効率動作条件

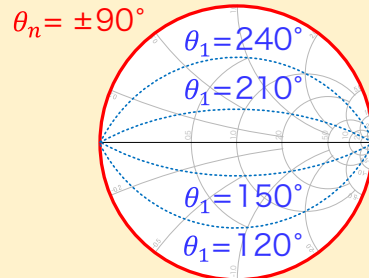
$$\sum_{n=2} V_n I_n \cos\theta_n = 0$$

➢ $\theta_n (n \geq 2) = \pm 90^\circ$

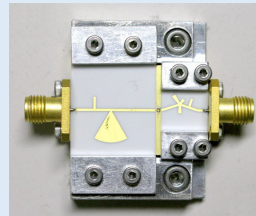
高調波リアクティブ終端

$$V_{DC} I_{DC} + V_1 I_1 \cos\theta_1 = 0$$

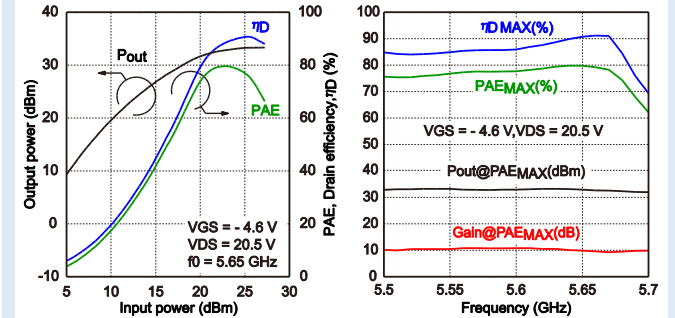
➢ $\theta_1 : 90 \sim 270^\circ$ の範囲で調整



5.6 GHz帯 高効率GaN HEMT増幅器

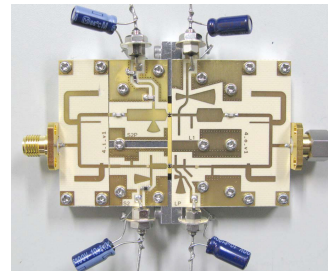


- 構成
 - λ/4 終端開放スタブを用いて各高調波をリアクティブ終端
 - 高調波処理次数
 - ソース側: 2次
 - ロード側: 4次まで
 - 基板: アルミナ 厚さ: 0.5 mm
 - 比誘電率: 9.8
 - 誘電正接: 10^{-4}

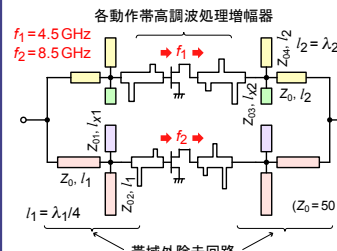
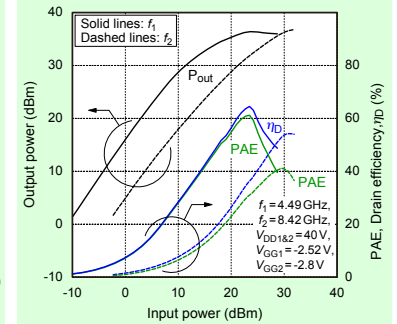


- 性能
 - 最大PAE: 79%
 - 最大ドレイン効率: 90%
 - 飽和出力: 33 dBm @5.65 GHz
- 最大PAE > 76% @5.54 ~ 5.67 GHz
- 最大ドレイン効率 > 85% @5.53 ~ 5.68 GHz

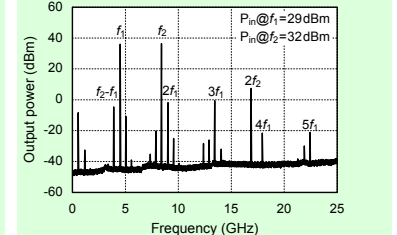
4.5/8.5 GHz帯 コンカレントデュアルバンド GaN HEMT増幅器



- 構成
 - 各帯域の高調波リアクティブ終端高効率増幅器の入出力に帯域外除去回路を接続
 - 高調波処理次数
 - 各ソース側: 2次
 - 各ロード側: 3次まで
 - 基板: 樹脂 (MEGTRON7)
 - 厚さ: 0.4 mm
 - 比誘電率: 3.4
 - 誘電正接: 0.002

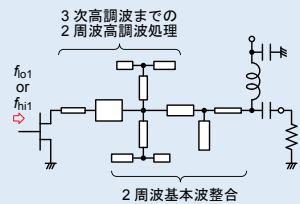


- 性能
 - 最大PAE: 61%
 - 最大ドレイン効率: 64% @4.49 GHz
 - 最大PAE: 41%
 - 最大ドレイン効率: 54% @8.42 GHz



➢ 近接帯域妨害信号を -38 dBc 以下に低減

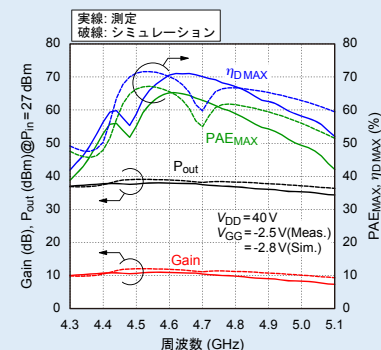
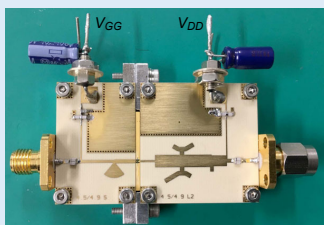
4.7 GHz帯 広帯域高効率GaN HEMT増幅器 (2周波最適化設計)



● 構成
2, 3次高調波両短絡用 T型開放スタブを利用し、2周波に対して高調波リアクティブ終端を実現

高調波処理次数
ソース側: 各々2次
ロード側: 各々3次

基板:
樹脂 (MEGTRON7)
厚さ: 0.4 mm
比誘電率: 3.4
誘電正接: 0.002

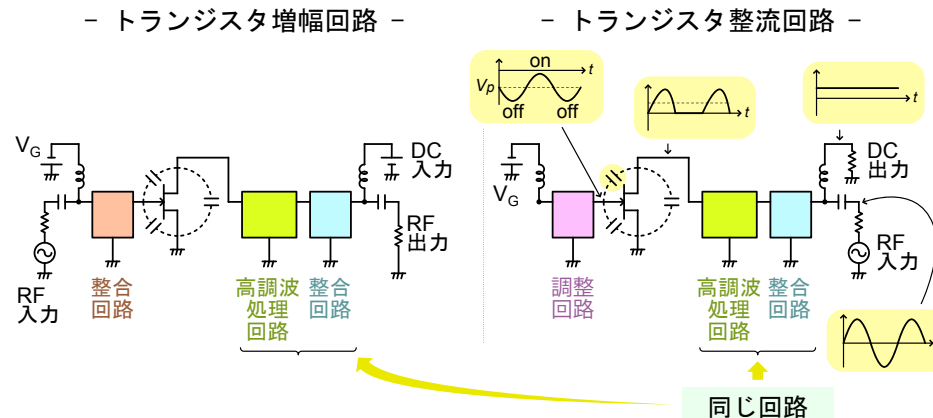


● 性能
最大PAE: 65% 最大ドレイン効率: 71%
@4.6 GHz
ドレイン効率 $\geq 60%$ @4.52-4.94 GHz

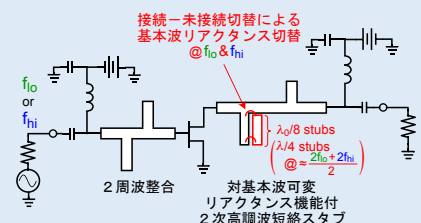
トランジスタ増幅・整流動作の類似性

トランジスタ増幅器 (DC-RF変換) & トランジスタ整流器 (RF-DC変換) } ドレイン側に同じ整合 (高調波処理込) を接続 → 同程度の高効率動作

基本動作原理

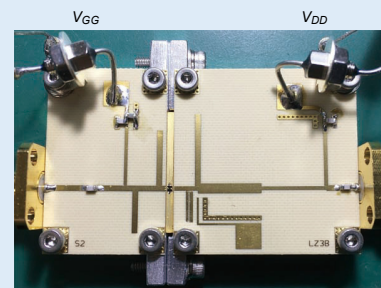


4.5/4.9 GHz 2周波切替式高効率GaN HEMT増幅器

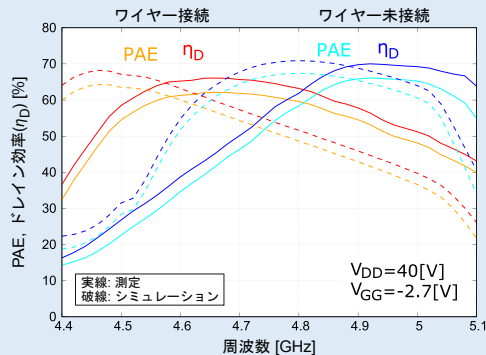


● 構成
2次高調波短絡用スタブ (2周波の中間周波数で近似) の特性インピーダンスを変化させて、基本波リアクタンスを切り替え、2周波切替動作を実現

基板: 樹脂 (MEGTRON7)
厚さ: 0.4 mm
比誘電率: 3.4
誘電正接: 0.002

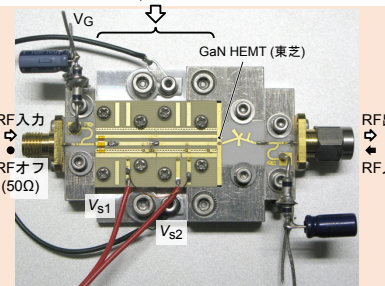
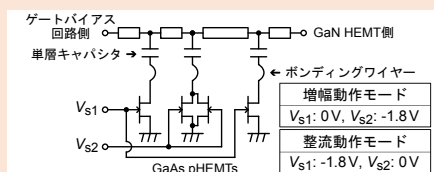


初期検討としてボンディングワイヤーで接続・未接続を切替



● 性能
最大PAE: 62/66% 最大ドレイン効率: 66/70%
飽和出力 38 dBm @4.66/4.92 GHz

5.4 GHz帯 DC-RF/RF-DC GaN HEMT相互変換モジュール



基板: ドレイン側: アルミナ (厚さ 0.5 mm)
ゲート側: Megtron 6 (Panasonic, 厚さ 0.4 mm)

● 構成 ゲート側にインピーダンススイッチ回路を接続し、DC-RF (増幅)、RF-DC (整流) 各変換モードが切替え可能
ドレイン側は4次高調波までリアクティブ終端処理 (5.6 GHz高効率GaN HEMT 増幅器の回路を流用)

● 性能 増幅動作 (DC-RF変換): 最大ドレイン効率 = 76% @5.36 GHz
整流動作 (RF-DC変換): 最大RF-DC変換効率 = 66% @5.36 GHz

