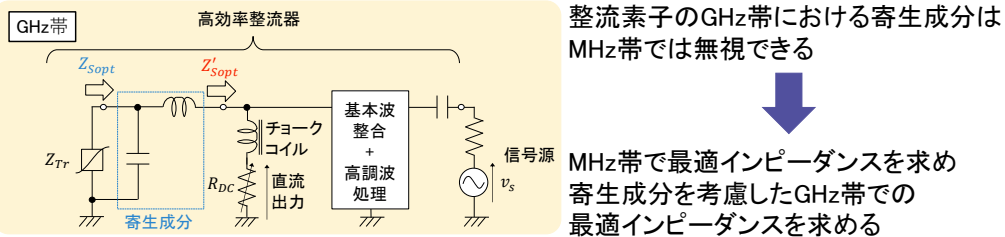


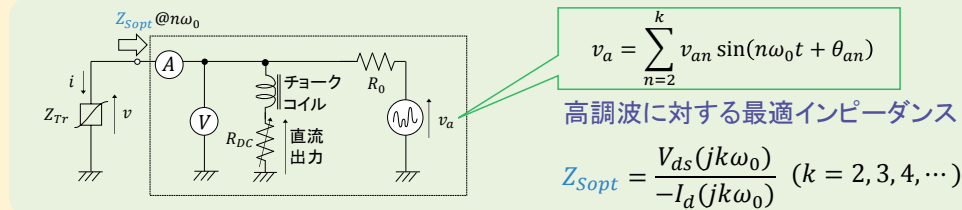
マイクロ波デバイスモデリングに関する研究

小川 智史、北村 淳、眞下 和樹、町田 港 電気通信大学

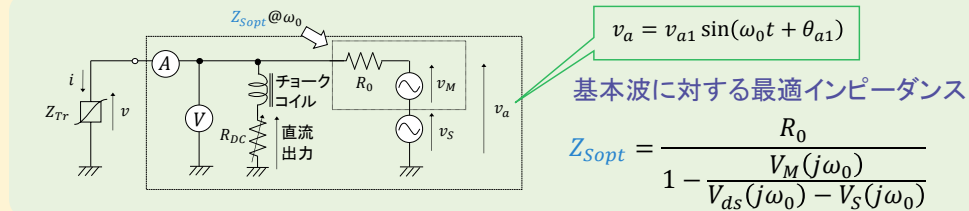
MHz帯基本波・高調波アクティブソースプル



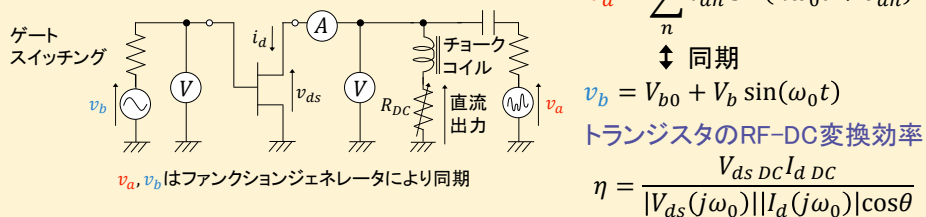
MHz帯 高調波に対するアクティブソースプル



基本波に対するアクティブソースプル



FETIに対する実験系



MHz帯基本波・高調波アクティブソースプルシステム

基本波および高調波の振幅・位相、可変抵抗を高効率整流動作するように調整し、電圧・電流波形を取得

PCで制御、効率・インピーダンスを計算

GaAs pHEMT素子 アクティブソースプル評価結果

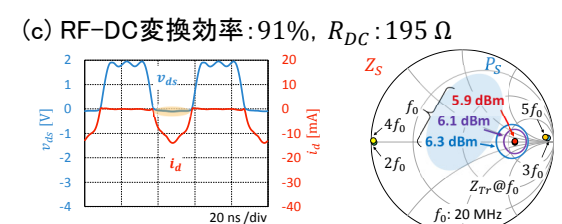
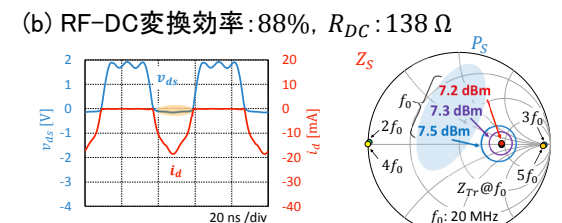
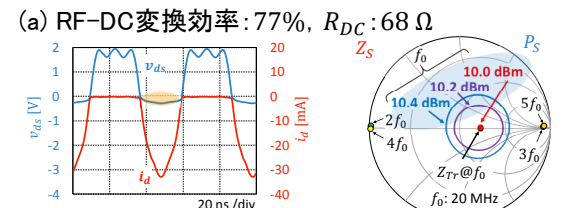
GaAs pHEMT (ゲート幅 100 μm × 2 本) F級動作について評価 直流負荷 R_{DC} を3種類変化

- 基本波 : 20 MHz
- 高調波 : 5倍波まで調整
- ゲートバイアス電圧 : -1.2 V
- ゲート基本波信号 : 2.0 V_{pp}

電圧分配の調整

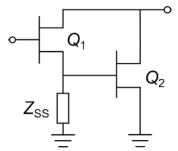
➡ 異なる Z_S と P_S の組み合わせ

※最大の効率は $Z_S = Z_{Tr}$ のとき それ以外では整流器全体の効率は低下



独立バイアス型ダーリントン増幅器

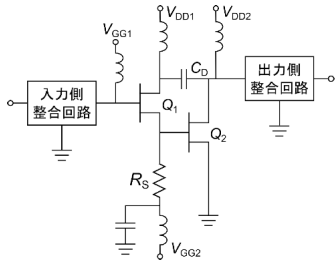
FETによるダーリントン増幅器



$$h_{21} = \frac{g_{m1}}{j\omega C_{GS1}} + \frac{g_{m2}}{j\omega C_{GS2}} \left(1 + \frac{g_{m1}}{j\omega C_{GS1}} \right) \frac{Z_{SS}}{R_{i2} + Z_{SS} + \frac{1}{j\omega C_{GS2}}}$$

ダーリントン回路による電流利得の増加

独立バイアス型ダーリントン増幅器



C_D によってドレインバイアスを分離
 高効率：ドレインバイアス設計の最適化
 低ひずみ：ゲートバイアスの調整

独立バイアス型ダーリントン増幅器による
 高効率と低ひずみの両立

増幅器高効率化の原理 (高調波リアクティブ終端型)

トランジスタ内部消費電力の式

$$P_{ds} = \frac{1}{T} \int_0^T v_{ds}(t) i_{ds}(t) dt$$

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

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

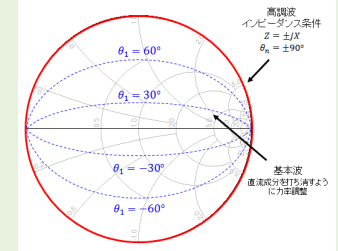
$$P_{ds} = V_{DC} I_{DC} + V_1 I_1 \cos \theta_1 + \sum_{n=2}^{\infty} V_n I_n \cos \theta_n$$

トランジスタの内部消費電力 P_{ds} を 0 に
 することで電力増幅ロスの低減

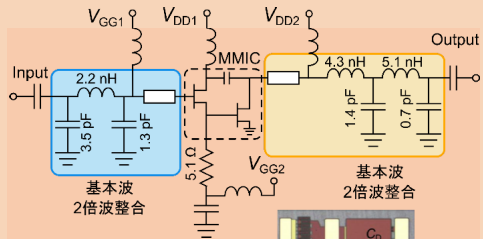
整合回路の位相条件

$$\sum_{n \neq 2} V_n I_n \cos \theta_n = 0 \quad \text{基本波の位相} \theta_1 \text{を直流成分と打ち消すように調整}$$

$$V_{DC} I_{DC} + V_1 I_1 \cos \theta_1 = 0 \quad \cos \theta_n = 0 \leftrightarrow \theta_n = \pm 90^\circ \quad (\text{純リアクティブ成分})$$



1.45 GHz 独立バイアス型ダーリントンGaN HEMT増幅器

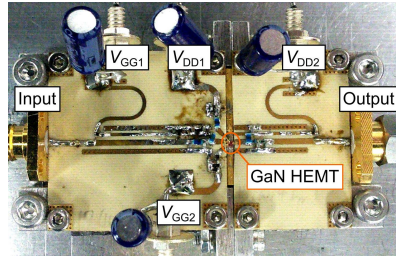
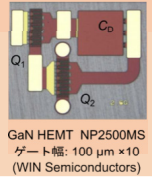


$$V_{DS1} = V_{DD1} - V_{GG2} - R_S I_{DD1}$$

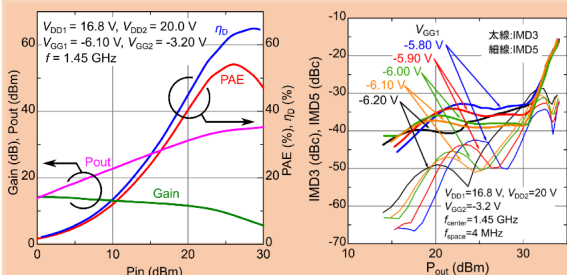
$$V_{DS2} = V_{DD2}$$

$$V_{GS1} = V_{GG1} - V_{GG2} - R_S I_{DD1}$$

$$V_{GS2} = V_{GG2} - R_S I_{DD1}$$

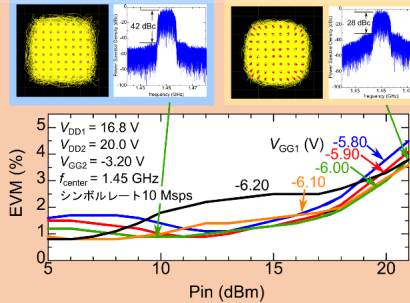


基板：Megtron7
 厚さ：0.4 mm
 比誘電率：3.4
 誘電正接：0.002



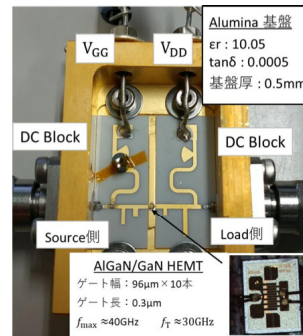
● 入出力特性
 最大PAE: 54.1%
 最大ドレイン効率: 64.9%
 飽和出力: 35dBm

● ひずみ特性
 IMD3, IMD5 < -35 dBc
 最大出力電力: 30 dBm
 PAE: 36.0%

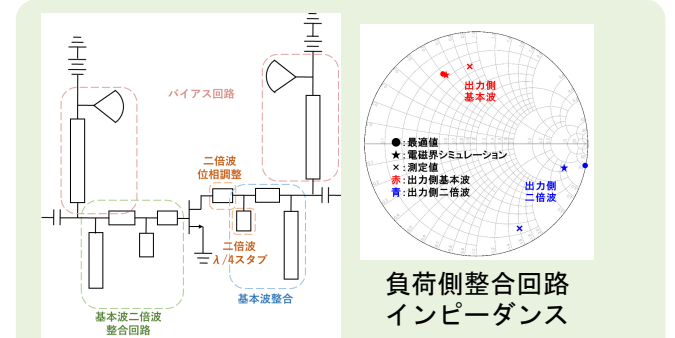


Pin: 10 dB EVM: 0.9% ACLR: 42 dbc
 Pin: 21 dB EVM: 3.8% ACLR: 28 dbc

試作した11GHz帯GaN HEMT高効率電力増幅器

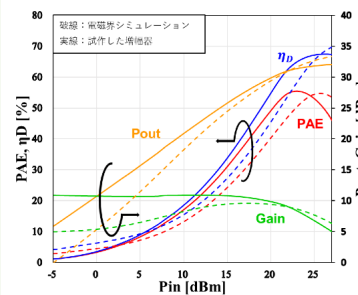


試作回路

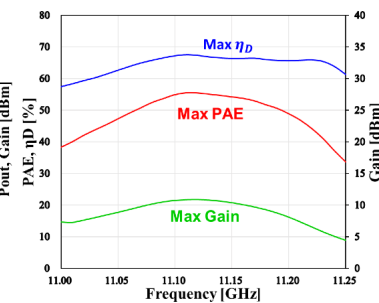


回路の構成

2次高調波 (22GHz) まで処理



入出力特性
 (@11.11GHz)



周波数特性
 (11~11.25GHz)

- ✓ 最大PAE55% (EM55%)
- ✓ 最大ドレイン効率 67% (EM70%)
- ✓ 飽和出力32dBm
- ✓ 約120MHzの帯域で PAE50% ↑
- ✓ 約200MHzの帯域で ドレイン効率60% ↑