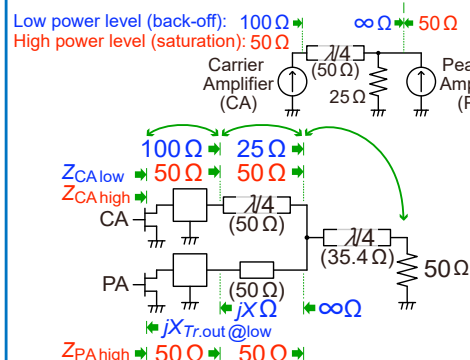


最新無線通信・無線電力伝送用能動デバイスに関する研究

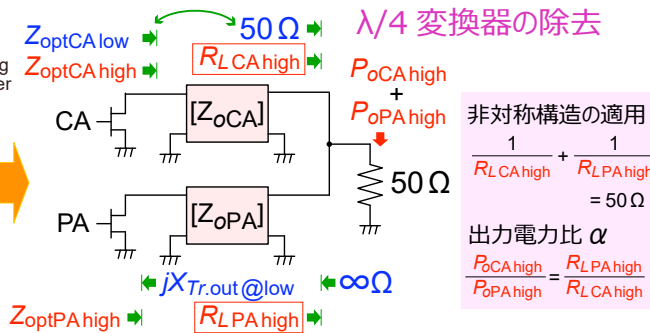
小笠原 遼一、久米 鳳春、瀬下 拓也 電気通信大学

MMIC 非対称ドハティ増幅器

従来設計法

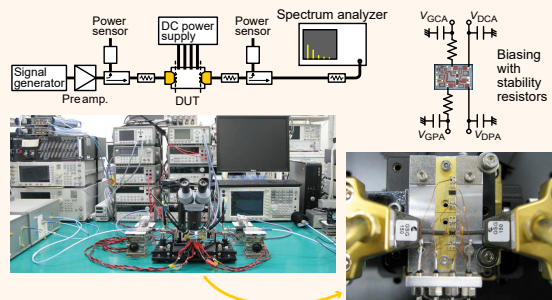
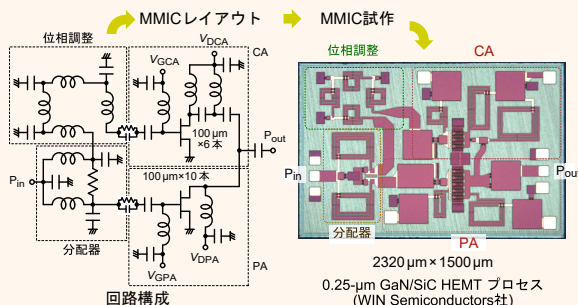


提案設計法

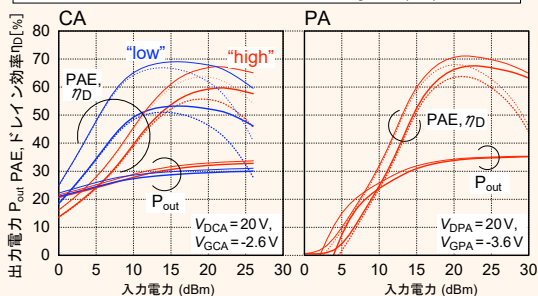


非対称ドハティ増幅器の設計・製作

GaN HEMT MMIC ドハティ増幅器の評価結果

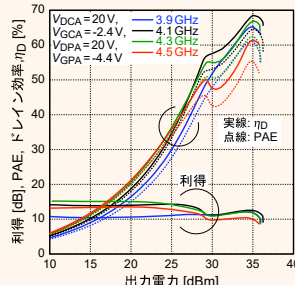


4.5 GHz, Solid lines: η_D , Dashed lines: PAE, Thin lines: ideal elements, Thick lines: electro-magnetic (EM) simulation

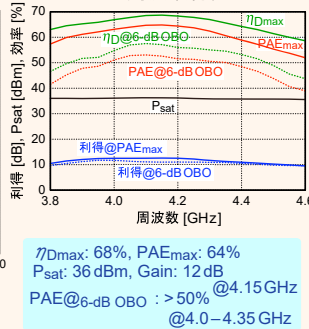


CA, PA 単体における効率特性シミュレーション結果

- Pout vs. 利得 & 効率 -

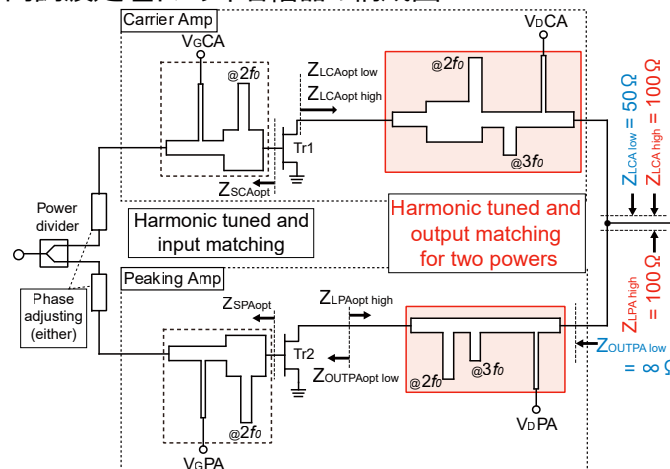


- 周波数特性 -



高調波処理ドハティ増幅器

高調波処理ドハティ増幅器の構成図



入力側

高調波処理
(二倍波)
+
入力整合回路

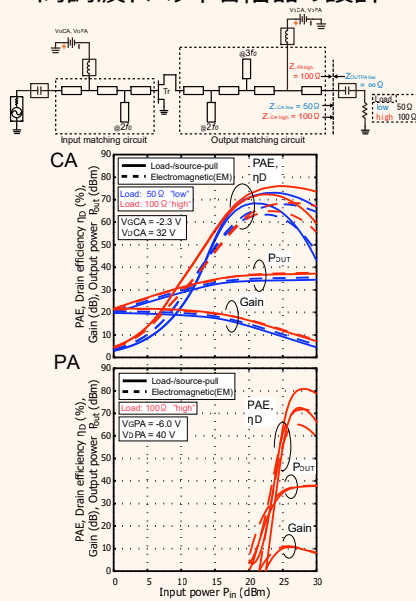
出力側

高調波処理
(二倍波, 三倍波)
+
二入力レベル
出力整合回路

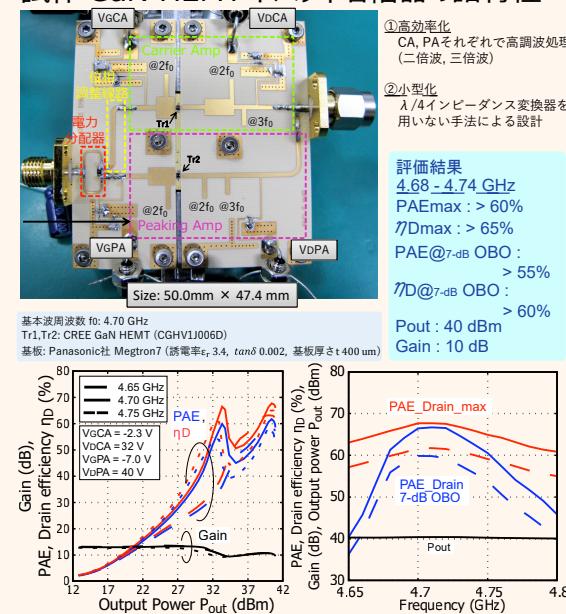
二入力レベルに対する最適条件

負荷	レベル	増幅器	動作	インピーダンス	最適値
RL	Low	CA	ON	ZLCA low	RL
	High	PA	OFF	ZOUTPA low	∞
50 Ω	Low	CA	ON	ZLCA high	2RL
	High	PA	ON	ZLPA high	2RL

高調波ドハティ増幅器の設計

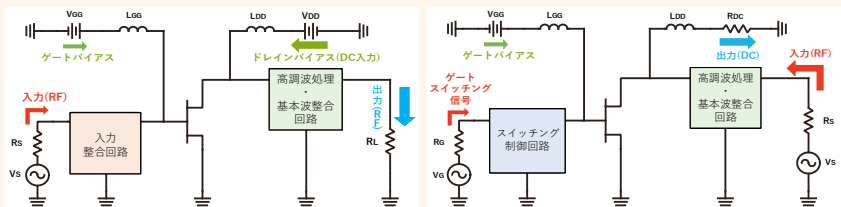


試作 GaN HEMT ドハティ増幅器の諸特性



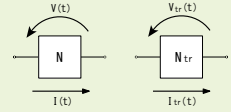
時間反転双対とトランジスタ増幅器・整流器

トランジスタ増幅器の回路構成



トランジスタ整流器の回路構成

時間反転双対



Original Circuit (N)	Time Reversal Dual Circuit (Ntr)
$V(t)$	$V_{tr}(t) = V(-t)$
$I(t)$	$I_{tr}(t) = -I(-t)$
$P(t)$	$P_{tr}(t) = -P(-t)$
L	$L_{tr} = L$
C	$C_{tr} = C$
R	$R_{tr} = -R$

高 SHF 帯高効率増幅器

増幅器高効率化の原理 (Class-R)

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

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

トランジスタの内部消費電力量 P_{diss}

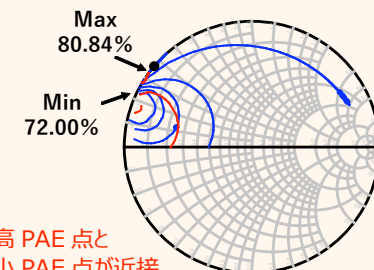
$$P_{diss} = \frac{1}{T} \int_0^T V_{DC}(t) I_{DC}(t) dt$$

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

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

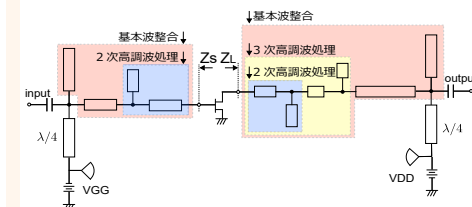
$$V_{DC} I_{DC} + V_1 I_1 \cos \theta_1 \rightarrow 0$$

- ・ 直流分を打ち消すように基本波の電流電圧および力率を調整
- ・ 2 次以上の高調波の位相 $\theta_n \pm 90^\circ$ に調整



最高 PAE 点と最小 PAE 点が近接

2 次高調波ソースプルシミュレーション

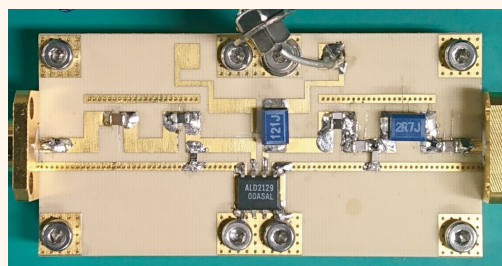


回路構成

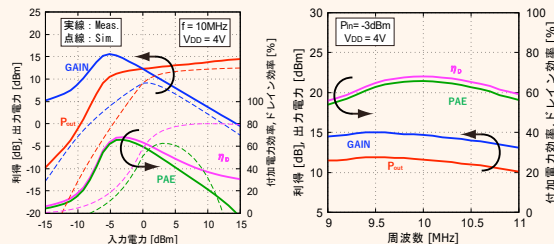
10MHz 帯ゲート側零バイアス増幅・整流器

試作回路

Substrate: Megtron7; Panasonic
($t: 0.75\text{mm}$, $\epsilon_r: 3.4$, $\tan \delta: 0.002$)



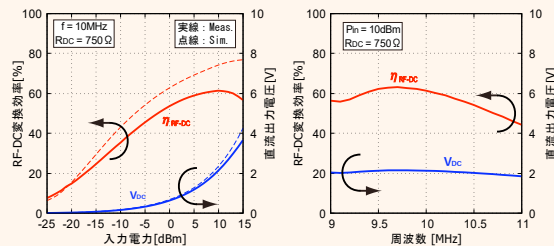
増幅動作特性



$\eta_{DCmax}: 68\%$, $PAE_{max}: 64\%$
 $P_{sat}: 14\text{ dBm}$, $Gain: 16\text{ dB}$

$PAE@P_{in}=-3\text{ dBm} > 60\%$
 $9.3 - 10.9\text{ MHz}$

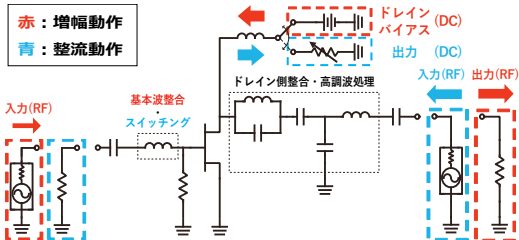
整流動作特性



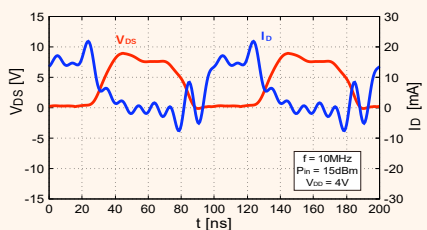
$\eta_{RF-DCmax}: 60\%$
 $V_{DC}@P_{in}=-3\text{ dBm}: 2.2\text{ V}$

$\eta_{RF-DC}@P_{in}=10\text{ dBm} > 60\%$
 $9.4 - 10.1\text{ MHz}$

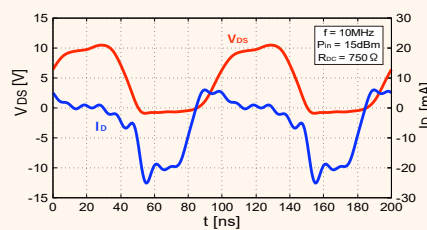
回路構成



増幅動作における電圧・電流波形

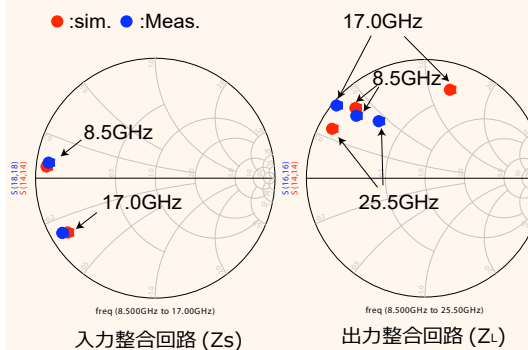


整流動作における電圧・電流波形



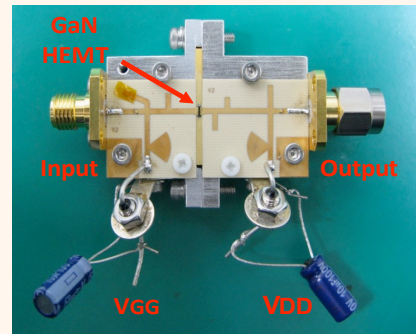
高 SHF 帯高効率増幅器の評価

●:sim. ●:Meas.

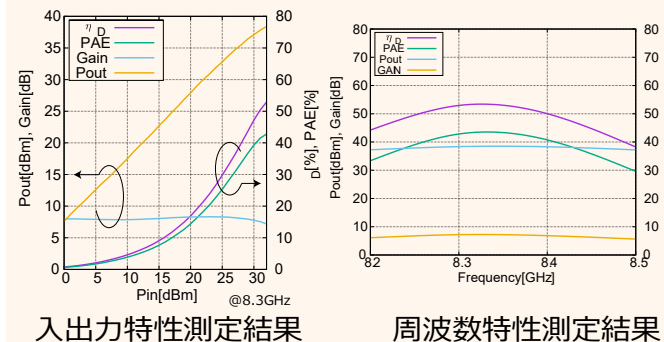


整合回路インピーダンス特性

試作回路



Megtron7 ($T: 0.4\text{mm}$, $\epsilon_r: 3.4$, $\tan \delta: 0.002$)



入出力特性測定結果

周波数特性測定結果

$\eta_{DCmax}: 52.9\%$
 $PAE_{max}: 42.8\%$
 $P_{out}@PAE_{max}: 38.4\text{ dBm}$
 $Gain@PAE_{max}: 7.2\text{ dB}$
@8.3GHz
 $V_{GG}: -2.45\text{ V}$ $V_{DD}: 28\text{ V}$