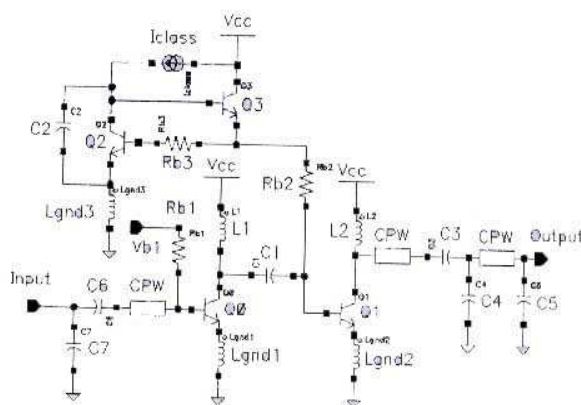


تقویت کننده:

یک آمپلی فایر قدرت منولیتیکی Si PCS-CDMA با 30% PAE در 1.9GHz با استفاده از یک شمای بایاس کردن جدید.



چکیده:

یک آمپلی فایر قدرت (PA) منولیتیک Si برای سیستم ارتباطات شخصی (PCS)-CDMA قادر به ایجاد توان خروجی 28.2dBm با 30% بازده افزوده توان و 45dB نسبت توان کانال مجاور در 1.9GHz و 3.6V ولتاژ تغذیه برای اولین بار در این مقاله ارائه می شود. PA بکار گرفته شده در یک فرایند 30GHz-Bicmos از یک شمای بایاس قابل کنترل با امپدانس به منظور کنترل کلاس کاری و مقاومت بایاس طبقه خروجی استفاده می کند. برای مقایسه هر دو نتایج و داده های شبیه سازی شده و اندازه گیری شده نشان داده شده اند.

عبارات متن: مدارات مجتمع آنالوگ BiCMOS-دستیابی چندگانه تقسیم کد،

آمپلی فایرهای قدرت، آمپلی فایرهای فرکانس رادیویی.

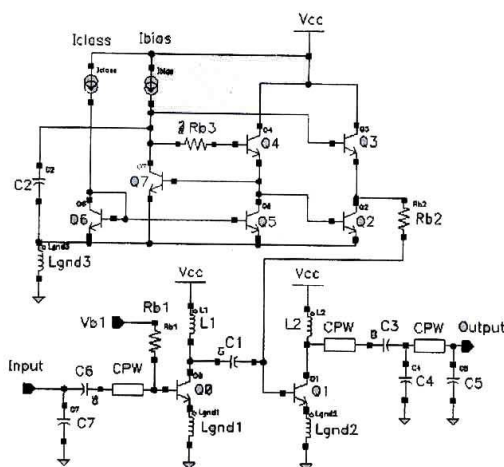
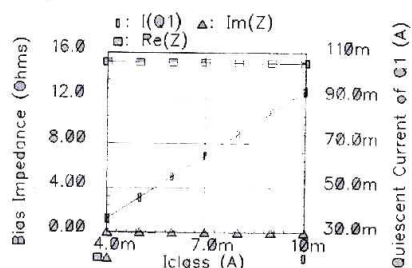
۱- مقدمه

تقویت کننده های قدرت رادیویی (RF) منولیتیکی (PAS) برای کاربرد در گوشی موبایل از لحاظ نسبتی در قلمرو تکنولوژیهای GaAs بودند. کوششهایی برای طراحی PAS غیرخطی در هر دو باند فرکانس سلولی (900MHz) و باند فرکانس سیستم ارتباطات شخصی (1.96GHz) با استفاده از تکنولوژیهای Si صورت گرفته است. اخیراً PAS فرکانس زیاد خطی با استفاده از تکنولوژی ترانزیستورهای دو قطبی اتصال ناهمگن Sge (HCBT) در بالای دو باند بالا شرح داده شده اند.

PA برای کاربردهای دسترسی چندگانه تقسیم کننده کد (CDMA) در باند پایین باید بتواند 28dBm قدرت (توان) خروجی با 30% PAE (بازده افزوده توان) و 44.1dBc نسبت توان کانال مجاور (ACPR) ایجاد کننده در حالیکه AP CDMA در باند بالایی می تواند 30dBm قدرت (توان) خروجی با 41% PAE و -46dBc ACPR ایجاد کنند.

بهرحال مورد اخیر هنوز یک راه حل ترکیبی است. بهره RFAS منولیتیک Si از لحاظ هزینه پایین مجتمع سازی با سایر مدارات وسیع و اصلی بر پایه Si دارای مزایائی است. تابحال هیچ گونه Si PCS-CDMA PA منولیتیکی گزارش نشده است.

شمای هدولاسیون سیستم CDMA نیازمند است که PA استفاده شده در گوشی بصورت زیادی خطی باشد و بنابراین طراحی یک PA PCS-CDMA منولیتیکی با کارائی (بازده) زیاد است.



در بخش ۲ یک شمای بایاس کردن مرسوم برای طبقه خروجی PA مورد بحث قرار گرفته است. یک شمای بایاس کردن کنترل شده با امپدانس برای PA و مزایای

آن نسبت به روش مرسوم در بخش ۳ ارائه شده است. نتایج شبیه سازی شده و اندازه گیری شده PA با شمای بایاس کردن کنترل شده با امپدانس در بخشهای ۵ و ۶ به ترتیب داده شده اند. مطالب، در آخر، در بخش ۶ نتیجه گیری شده است.

۲- شمای بایاس کردن متداول

شکل ۱ یک شکل شماتیک ساده شده یک PA شامل ۲ طبقه امیتر مشترک (Q_0, Q_1) را نشان می دهد. شبکه تطبیق دهنده خروجی از خازنهای C_3 تا C_5 ، القاگرهای L_2 و دو خط انتقال یعنی هادی های موج هم صفحه (CPWS) تشکیل شده است. شبکه تطبیق دهنده ورودی از خازنهای C_6 و C_7 و خط انتقال (یعنی CPW) ساخته شده است. طبقه ورودی از طریق یک مقاومت روی تراشه R_6 با استفاده از ولتاژ بایاس V_6 به منظور سادگی بایاس شده است. یک مدار آینه جریان متداول متشکل از Q_2 و Q_3 برای بایاس کردن طبقه خروجی مورد استفاده قرار گرفته است.

در شکل ۱، L_{gnd1} و L_{gnd2} و L_{gnd3} ، انداکتورهای زمین متشکل از سیمهای اتصالی هستند. L_2, L_1 انداکتورهای خارج از تراشه می باشند. شبکه تطبیق دهنده بین طبقه ای از یک خازن روی تراشه L_1, C_1 ایجاد شده با استفاده از یک سیم اتصال و یک مدار فیبر مدار چاپی (PCB) تشکیل شده است. C_2 یک خازن کنارگذر (bypass) خط روی تراشه می باشد.

شمای بایاس در مورد Q_1 موجب ایجاد یک امپدانس سیگنال کوچک تقریباً ثابت (1MHz) داده شده به تبیین Q_1 و یک کنترل تقریباً خطی جریان خاموش کلکتور Q_1

می شود و این در شکل ۲ نشان داده شده است (با $R_{b2} = 15\Omega$). هنگامی که Q_0 و Q_1 در حالت کاری کلاس AB بایاس می شوند، بهر حال، امپدانس سیگنال کوچک آن که در 1.9GHz در بیس Q_1 نشان داده می شود بصورت ظرفیتی (خازنی) بوده و خیلی از مشابه سیگنال کوچک آن بزرگتر می باشد (نشان داده شده در شکل ۳)، در حالیکه توان خروجی PAS به ازاء سطوح سیگنال ورودی نیز نشان داده شده اند. می توان دید که در توان خروجی نزدیک به 60mw ، PA شروع به اشباع شدن می کند و این ناشی از آن است که با افزایش قدرت (توان) خروجی، متوسط افت ولتاژ در دو سر امپدانس بایاس افزایش می یابد و این باعث کاهش در ولتاژ امیتر-بیس Q_1 شده و بنابراین آنرا به سمت اشباع شدن می برد.

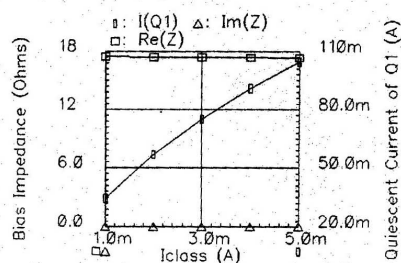


Fig. 5. Quiescent current of Q_1 and small-signal impedance (1 MHz) of the impedance-controllable biasing scheme as functions of I_{class} ($R_{b2} = 15\Omega$, $I_{\text{class}} = I_{\text{bias}} = 3\text{mA}$).

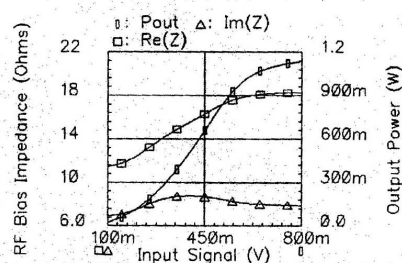
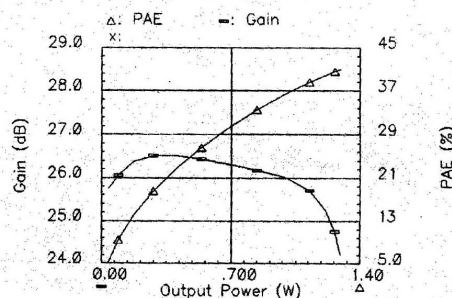
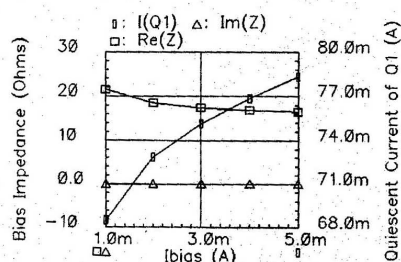


Fig. 7. RF impedance of the impedance-controllable biasing scheme and output power of the PA as functions of the input signal level ($R_{b2} = 15\Omega$, $I_{\text{class}} = I_{\text{bias}} = 3\text{mA}$).



۳- شمای بایاس کردن قابل کنترل با امپدانس

شکل ۴ یک شکل شماتیک ساده شده از PA با استفاده از یک شمای بایاس قابل کنترل با امپدانس به بیس Q_1 را نشان می دهد. این طرح با طرح PA نشان داده شده در شکل ۱ کاملاً یکسان است، بجز مورد بایاس کردن Q_1 . شمای بایاس کردن از دو زیر مدار آینه جریان تشکیل شده است: یکی ساخته شده از ترانزیستورهای Q_2 و Q_4 و Q_7 و دیگری از ترانزیستورهای Q_5 و Q_6 . این شمای بایاس کردن قادر به ایجاد کنترل مستقل امپدانس بایاس و کلاس کاری Q_1 توسط انتخاب مناسب I_{bias} و I_{class} می باشد، در حالیکه I_{bias} ، امپدانس خروجی مدار بایاس را کنترل می کند، I_{class} کنترل جریان خاموش طبقه خروجی را برعهده دارد. این شمای بایاس پیشنهاد شده این امکان را فراهم می سازد که مرحله (طبقه) خروجی را بتوان برای ایجاد بهترین بازده (کارایی) و خطیت تنظیم کرد.

مکانیزم کنترل کردن جریان خاموش آن بصورت زیر شرح داده شده است. با صرف نظر کردن از جریانهای بیس داریم: ۱- و چون Q_2 و Q_3 جریان یکسانی دارند، خواهیم داشت: ۲- و این منجر می شود به ۳- در حالیکه ۴- توسط انتخاب مناسب R_{6_3} ، R_{6_2} جریان عبور کننده از Q_6 باید از Q_4 و Q_5 نیز عبور کند چرا که Q_6 و Q_5 یک آینه جریان تشکیل می دهند. چون I_{class} جریان عبوری در Q_6 را کنترل می کند، بنابراین جریان خاموش را در Q_4 اعمال می کند که این بنوبه خود جریان خاموش در ترانزیستور خروجی Q_1 را تحت کنترل دارد. می توان به یک طریق مشابه مکانیزم

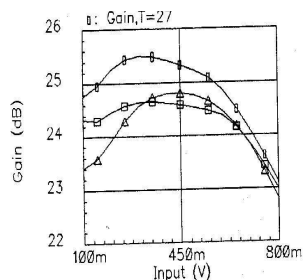


Fig. 9. Gain of the PA as a function of the input signal level with the junction temperature T in Celsius as a parameter ($V_{b1} = 0.88$ V, $R_{b2} = 15$ Ω , $I_{bias} = I_{bias} = 3$ mA).

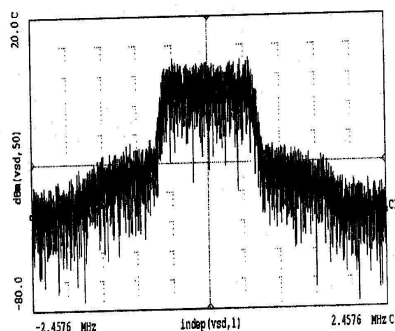


Fig. 11. Snapshot of the ACPR simulation at the output power of 28 dBm.

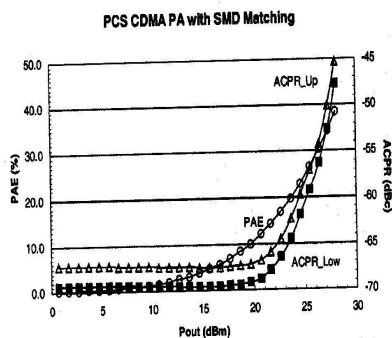


Fig. 10. Simulated ACPR and PAE of the PA.

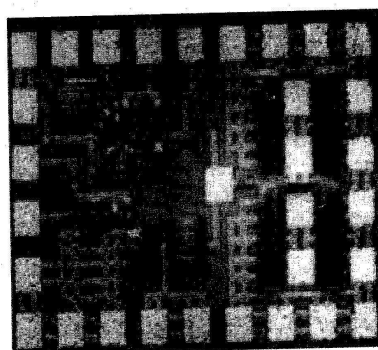


Fig. 12. Photomicrograph of the die.

کنترل جریان I_{bias} روی امپدانس خروجی مدار بایاس کننده را شرح داد.

از آنجایی که Q_2 و Q_4 و Q_7 یک آینه جریان را ایجاد می کنند، جریان عبوری از

Q_2 و Q_3 متناسب با I_{bias} است به شرطی که ما از جریانهای بیس صرفنظر کنیم.

جریان خاموش Q_3 که توسط I_{bias} کنترل می شود، مقاومت امیتر Q_3 را تعیین

می کند. امپدانس مدار بایاس کننده Q_1 جمع R_{b2} و امپدانس در امیتر Q_3 است. در

فرکانسهای عملکردی مورد نظر، امپدانس بوجود آمده در بیس Q_3 کاملاً پائین است و

این به سبب خازن کنارگذر C_2 (bypass) است. بنابراین امپدانس بازتاب یافته آن در

امیتر Q_3 نیز کاملاً پایین است. بنابراین I_{bias} امپدانس مدار بایاس کننده Q_1 را تحت

کنترل دارد. اثر I_{bias} روی جریان خاموش Q_1 خیلی کوچکتر از اثر I_{class} است (به شکل ۶۰۵ مراجعه شود).

با مقیاس بندی مناسب نسبتهای مساحت امیتر بین جفتهای ترانزیستوری می توان براحتی جریان خاموش طبقه خروجی را کنترل کرد و نیز امپدانس خروجی مدار بایاس را تحت کنترل در آورد.

این به بهینه سازی بازده طبقه خروجی کمک می کند در حالیکه خطی بودن مورد نیاز را نیز تغییر نمی دهد.

جریان خاموش کلکتور Q_1 و امپدانس فرکانس کم سیگنال کوچک (1MHz) شمای بایاس کردن قابل کنترل امپدانس ارائه شده در بیس طبقه خروجی به عنوان تابعی از I_{class} و I_{bias} در شکلهای ۶۰۵ نشان داده شده است. به منظور سادگی، در آنالیز مقدار $R_{\theta} = 0$ انتخاب شده است. می توان دید که جریان کنترل I_{class} در هر شمای بایاس کردن دارای اثر مشابهی روی جریان خاموش Q_1 و امپدانس بایاس است: امپدانس بایاس تقریباً ثابت و کنترل تقریباً خطی جریان خاموش.

بعداً، جریان کنترل I_{bias} روش دیگری برای تنظیم امپدانس بایاس فراهم کرده و جریان خاموش را فقط به میزان کمی تغییر می دهد.

تمرکز بیشتر روی این است که بینیم امپدانس سیگنال بزرگ آن که در بیس Q_1 در 1.9GHz بوجود می آید به چند نحوی می باشد، شکل ۷ امپدانس RF شمای بایاس

کردن قابل کنترل امپدانس و توان خروجی را به عنوان تابعی از سطح سیگنال ورودی نشان می دهد.

به منظور یک مقایسه نسبی، اندازه های Q_1 و Q_0 و شرایط بایاس با مقادیر ارائه شده برای PA بحث شده در بخش ۲ یکسان در نظر گرفته شده اند. استفاده از شمای بایاس کردن کنترل شده با ولتاژ چندین مزیت دارد. اولاً در بیس Q_1 باعث ایجاد امپدانس پائین می شود و دوماً امپدانس سیگنال بزرگ آن از نوع القائی بوده و با مقادیر سیگنال کوچک فرکانس پائین آن تفاوت چندانی ندارد. این توسط از بین بردن قسمتی از امپدانس خازنی بیس Q_1 به جفت شدن بین طبقه ای کمک می کند، سوماً به لحاظ امپدانس پائین RF اش، قدرت خروجی را افزایش می دهد. همانطوری که از شکل ۷ برمی آید، PA در توان خروجی نزدیک به 1W شروع به اشباع شدن می کند و این نسبت به PA با شمای بایاس کردن مرسوم مزیت بزرگی به شمار می رود.

۴- نتایج شبیه سازی شده

اگر چه توان خروجی PA CDMA با یک سیگنال ورودی مدوله شده بصورت دیجیتالی بصورت متفاوتی با PA همراه یک سیگنال ورودی موج پیوسته (CW) اندازه گیری شده است، سطح قدرت (توان) خروجی حداکثر مورد نیاز (631mW یا 28dB) CDMA PA هنوز به عنوان یک مرجع در طراحی PA با استفاده از Candernce's Spectra، استفاده می شود. روش طراحی در مورد PA بصورت زیر است:

اول Spectre به عنوان وسیله ای برای رسیدن به یک بهره نسبتاً مسطح در محدوده وسیع توان خروجی و PAE نزدیک به 30% در سطح توان مرجع توسط انتخاب و تنظیم مناسب I_{bias} و I_{class} استفاده می شود.

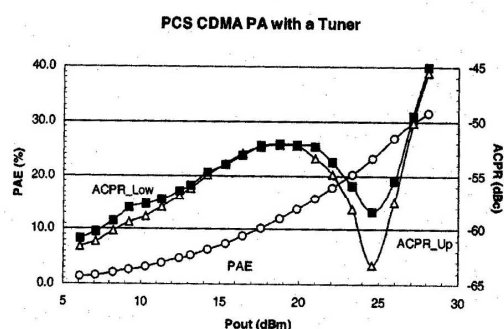
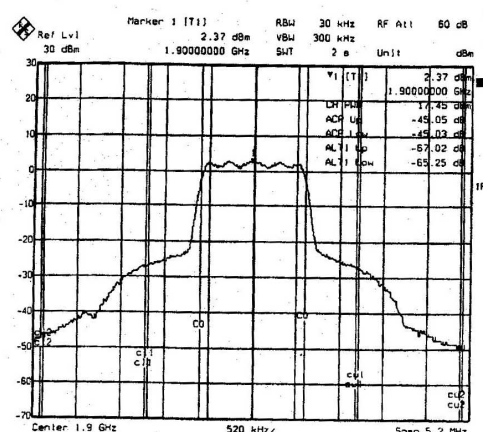
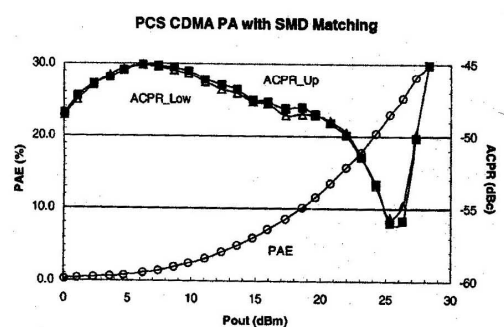


Fig. 13. Measured ACPR and PAE of the PA with the tuner.



سپس تکنولوژیهای سریع و پیشرفته و شبیه ساز کل مدار برای شبیه سازی PA's ACPRs استفاده می شود. در حالیکه ورودی PA نشان داده شده در شکل ۴ کاملاً با 50Ω قابل انطباق است، خروجی PA به یک بار 50Ω از طریق شبیه تطبیق دهنده خروجی منطبق است (متصل است).

بهره و PAE، PA شبیه سازی شده در Spectre به عنوان توابعی از قدرت خروجی در شکل ۸ نشان داده شده اند. یک پیاده بهره برابر 26.5dB در توان خروجی تقریباً

300mW ظاهر می شود. در یک محدوده وسیع توان خروجی، بهره کاملاً مسطح است (از 100mW تا 1W) و تغییرش فقط تقریباً 0.5dB است، در سطح توان مرجع (631mW)، PAE آن تقریباً به 30% نزدیک است. بعداً منحنی بهره نشان می دهد که PA هنوز در یک ناحیه خطی در سطح توان مرجع بکار گرفته شده است.

از آنجایی که یک گواهی باید در محیط با دمای متغیر از $85^{\circ}\text{C} - 40^{\circ}\text{C}$ کار کند، لازم است که بتواند نیازمندیهای این محدوده دمایی را برآورده کند.

تغییر در دمای محیط منجر به تغییر دمای اتصال ترانزیستورها می شود. اثر دمای اتصال ترانزیستور بروی بهره PA در شکل ۹ نشان داده شده است که در آن T بیانگر دمای اتصال برحسب سلسیوس می باشد. همانطور که دمای اتصال از 0°C تا 120°C تغییر می کند، حداکثر مقدار تغییرات بهره در حدود 1.4dB است که همانطور که نشان داده شده است در حداقل سطح سیگنال ورودی روی می دهد.

در پوشش شبیه سازی مدار، از یک سیگنال ورودی CDMA برای شبیه سازی عملکرد PA استفاده شد. نتایج شبیه سازی در شکل ۱۵ نشان داده شده است. در قدرت خروجی مورد نیاز 28dBm، PA دارای PAE 38% و بهره 22dB با ACPRs کمتر از -45dB می باشد. در سطوح قدرت پایین تر ACPRs بصورت مسطح باقیمانده و بعداً در سطوح قدرت بالاتر بصورت یکنواختی افزایش می یابد.

PAE بالاتر بدست آمده از پوشش شبیه سازی مدار نسبت به مقداری که از Spectre بدست آمده بود تا حدی مربوط به این مساله است که دو مدل ترانزیستوری

مختلف و متفاوت در شبیه سازی مورد استفاده قرار گرفته بودند. از مدل Mextram در شبیه سازی Spectre استفاده شده بود. بهر حال ما از مدل Gummel-Poon در شبیه سازی مدار استفاده کردیم چرا که مدل Mextram دارای مساله همگرایی بود.

مدل Mextram رفتار ترانزیستور را دقیقتر پیش بینی می کند. مشخصه های I-V شبیه سازی شده دو مدل نشان می دهد که مدل Gummel-Poon قابلیت قدرت خروجی را بیش از مقدار واقعی پیش بینی می کند و بنابراین منجر به ایجاد خطاء بیش از حد در PAE می شود.

با این وجود، شمای بایاس کردن قابل کنترل با امپدانس این امکان را فراهم می سازد که PA به ACRP مطلوب همراه با بازده بالاتر از 30% برسد. شکل ۱۱ طیف خروجی PA با ACPR کمتر از -45 dBc در سطح قدرت خروجی 28 dBm را نشان می دهد.

۵- نتایج اندازه گیری شده

PA توام با شمای بایاس کردن قابل کنترل با امپدانس در مشخصه بند فرایند فیلپس BiCMOS (QUBiC₃) 30GHz (ft NDNS ، و مقاومت های پلی دارای مقادیر زیاد نصب و استفاده شده است. مساحت امیتر Q₁ برابر است با $128 \times 0.7 \mu\text{m} \times 20.2 \mu\text{m}$. یک فتومیکروگراف از این تکه با ابعاد حدوداً 0.9mm^2 در شکل ۱۲ نشان داده شده است.

با استفاده از یک تیونر PA 3-Stub، نخست در 1.9GHz مورد آزمایش قرار گرفت (در خروجی به منظور بررسی عملکردش). هر دو طبقات ورودی و خروجی در یک حالت عملکردی کلاش AB بایاس شدند، ACPR مربوط به PA و PAE در ازاء توان خروجی در شکل ۱۳ نشان داده شده است.

یک تحلیل کننده طیف (اسپکتروم آنالیزر) از شرکت Rohde و Schwa²، مونیخ آلمان در اندازه گیریهای ACPR مورد استفاده قرار گرفت. همراه با جفت کردن خروجی با استفاده از تیونر، PA موجب ایجاد قدرت خروجی 28.1dBm با بهره 24.5dB، 31.5% PAE و -45dBc ACPR می شود. لازم به ذکر است که در این PA در روی منحنی ACPR یک دره (قعر) با شیب کاملاً تیز وجود دارد، این بیانگر آنست که می توان حاشیه های ACPR را با یک back off جزئی از بالاترین سطح توان (قدرت) بهبود بخشید.

سپس تیونر با قطعات نصب سطحی در روی برد آزمایش FR-4 جایگزین شد. دوباره در فرکانس 1.9GHz با یک ولتاژ بایاس اندکی کمتر در طبقه ورودی به منظور افزایش دادن PAE آن، PA مورد آزمایش قرار گرفت. I_{bias} و I_{class} به منظور جبران افتهای موجود در PAE و بهره ناشی از تلفات قرار دادن اجزاء نصب شده در سطح دوباره تنظیم شدند. ACPRs PAE و در ازاء توان خروجی، در شکل ۱۴ نشان داده شده اند. همراه با شبکه های تطبیق دهنده ورودی و خروجی با استفاده از قطعات نصب سطحی ارزان قیمت روی برد آزمایش R-4، PA توانی برابر 28.2dBm

با بهره 21.5dB ، 30% PAE و -45dBc ACPR ایجاد می کند. همان شیب تند در منحنی ACPR در نزدیکی پیک سطح توان خروجی دیده می شود. در سطح توان پائین تر، یک پیک وجود دارد که تقریباً به حد ACPR می رسد (-45dBc) (در منحنی ACPR) که این ناشی از بایاس کمتر در طبقه ورودی است.

در مقایسه با منحنی های ACPR (خروجی) شبیه سازی شده، می توان به سهولت دید که در هر دو مورد PA جفت شده با تیونر خروجی و اجزاء نصب سطحی، مقادیر اندازه گیری شده کاملاً با مقادیر شبیه سازی شده تفاوت دارند. این تا حدی ناشی از بایاسهای پائین تر استفاده شده در اندازه گیریها می باشد.

درک بهتر این مساله مستلزم اندازه گیری و شبیه سازی بیشتری است. شکل ۱۵ یک اندازه گیری واقعی ACPR در روی PA تطبیق شده (جفت شده) با اجزاء نصب سطحی در بالاترین مقدار توان خطی خروجی اش را نشان می دهد. یک تضعیف کننده 10-dB و یک کابل کواکیال در خروجی استفاده شده است. تضعیف توام اندازه گیری شده آنها 10.8dB می باشد. این مقدار تضعیف به اضافه مقدار قرائت شده 17.45dBm کانال توان موجب ایجاد توان خروجی 28.25dB می شود.

دیده می شود که در حالیکه ACPR به حد خاص خودش یعنی -45dBc می رسد، نسبت توان - کانال - جایگزین از مقدار خاص خودش یعنی -56dB کاملاً به حاشیه می رود. بازده و کارآئی شمای بایاس کردن قابل کنترل با امپدانس در این اندازه گیریها تصدیق شده است.

دوباره، در مقایسه با طیف توان خروجی شبیه سازی شده نشان داده شده در شکل ۱۱، مقادیر اندازه گیری شده نسبتهای توان کانال جایگزین خیلی بهتری ارائه می دهند (از خود نشان می دهند).

در این مقاله، برای اولین بار یک نتیجه گیری، SiPCS-CDMA PA با یک شمای بایاس کردن جدید قابل کنترل با امپدانس، COB نصب شده و قابل انطباق با قطعات نصب سطحی ارزان قیمت شرح داده شده است که قادر به ایجاد توان خروجی 28.2dBm با 30% PAE، ACPR -45dBc و 21.5dB بهره در 1.9GHz و 3.6U ولتاژ تغذیه می باشد.