به نام خدا

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده برق و کامپیوتر

افزایش بازدهی تقویت‌کننده فرکانس بالای کلاس F به کمک خط ریز نوار با زمین ناقص

پایان‌نامه کارشناسی ارشد

سیدمجیدمحمدی‌دمنه

اساتید راهنما

دکتررسول امیرفتاحی

دکتر امیربرجی

بهار۱۳۸۸

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده برق و کامپیوتر

پایان نامه کارشناسی ارشد رشته برق-الکترونیک آقای سید مجید محمدی

تحت عنوان

افزایش بازدهی تقویت‌کننده فرکانس بالای کلاس F به کمک خط ریز نوار با زمین ناقص

در تاریخ ۱۳۸۸/۱/۳۰ توسط کمیته تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهائی قرار گرفت.

۱- استاد راهنمای پایان نامه — دکتر رسول امیرفتاحی

۲- استاد راهنمای پایان نامه — دکتر امیر برجی

۲- استاد مشاور پایان نامه — دکتر رسول دهقانی

سرپرست تحصیلات تکمیلی دانشکده — دکتر علیمحمد دوست حسینی

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات، ابتکارات و نوآوریهای ناشی از تحقیق موضوع این پایان نامه (رساله) متعلق به دانشگاه صنعتی اصفهان است.

تقدیم به همه رهروان راه علم، همـه دوسـتداران عدالت وانسانیت ، پدر ، مادر و خواهر عزیزتـر از جانم.

تشکر و قدردانی

لازم می‌دانم ابتدا از خانواده مهربانم که در زندگی تکیه‌گاه من بوده‌اند و اندک موفقیت خویش را از برکت دعای خیر ایشان دارم، تشکر و قدردانی نمایم.

از اساتید بزرگوارم، دکتر رسول امیرفتاحی ودکتر امیر برجی که با رهنمودهایشان نه تنها در طول انجام پایان نامه، بلکه در تمام دوره همراه بنده بوده‌اند و همچنین از استاد گرامی دکتر رسول دهقانی که از نعمت مشاوره با ایشان بهره‌مند بوده‌ام, تشکر و قدردانی می کنم.

از اساتید بزرگوار آقایان دکتر غلامی ومهندس مطهری که زحمت داوری این پایان‌نامه را تقبل نمودند, سپاسگزارم.

همچنین لازم است از جناب آقای دکتر علی‌محمد دوست حسینی، سرپرست تحصیلات تکمیلی دانشکده و سرکار خانم نکوئی به دلیل زحماتی که به خاطر اینجانب متحمل گشته‌اند، سپاسگزاری نمایم.

از خانم ها ابناوی، رضوانی، کافیه ، آقایان کسایی، نوروزی، شکاری، جعفری و دوستانم سعیدی،خانلرپور، روحی، حیدری وامینی که در طول این دوره در کنار من بودند تشکر نموده و برای همگی آرزوی سلامتی و توفیق روزافزون می نمایم.

مجید محمدی

فروردین ۱۳۸۸

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فهرست مطالب ..... هشت

چکیده ۱

فصل یکم: مقدمه

۱-۱ مقدمه ۲

۱-۲ نگاهی کلی به تقویت‌کننده توان RF ۲

۱-۳ پیکره بندی گزارش ۳

فصل دوم: تقویت‌کننده‌های توان RF

۲-۱ مقدمه ۵

۲-۲ پارامترهای مهم تقویت‌کننده توان RF ۵

۲-۲-۱ توانایی تولید توان خروجی (C_p) ٦

۲-۲-۲ توان خروجی($P_{1\text{-dB}}$) ٦

۲-۲-۳ بهره توان ۷

۲-۲-٤ بازده ۷

۲-۲-۵ تلفات توان برگشتی ۸

۲-۳ کلاس‌های مختلف کاری تقویت‌کننده‌های RF و مقایسه آنها ۸

۲-۳-۱ تقویت‌کننده‌های هدایت انتقالی ۹

۲-۳-۲ تقویت‌کننده‌های سوئیچینگ ۱۵

۲-٤ اجزای تقویت‌کننده‌های توان RF ۱۹

۲-۵ روش‌های مختلف تحلیل و به دست آوردن امپدانس‌های ورودی وخروجی ترانزیستور ۲۱

۲-٦ روش Load Pull ۲۱

۲-۷ تحلیل تقویت کننده توانRF به صورت نرم افزاری ۲۳

فصل سوم: تقویت‌کننده کلاس F

۳-۱ مقدمه ۲۵

۳-۲ تحلیل ریاضی تقویت‌کننده کلاس F ۲٦

۳-۳ طرح‌های مختلف ارائه شده برای تقویت‌کننده کلاس F ۳۲

فصل چهارم: ساختارهای زمین ناقص

٤-۱ مقدمه ۳۸

٤-۲ مدار معادل DGS ۳۹

٤-۲-۱ مدار معادل RLC ۳۹

٤-۲-۲ مدار معادل π ٤۲

٤-۲-۳ مدار معادل شبه استاتیک ٤٤

٤-٣ مشخصات و اثرات DGS ٤٩
٤-٣-١ کاهش ابعاد مدار ٤٩
٤-٣-٢ رفتار Slow-Wave ٥٠
٤-٣-٣ افزایش امپدانس مشخصه ٥٣
٤-٤ طراحی DGS ٥٥
٤-٤-١ بررسی اثر تغییر پارامترها در پاسخ فرکانسی DGS ٥٧
٤-٥ انواع دیگر DGS و مزایا و معایب آن‌ها ٥٩
٤-٦ کاربردهای DGS ٦٢
فصل پنجم: نتایج وشبیه سازی
٥-١ طراحی تقویت‌کننده کلاس F ٦٥
٥-١-١ انتخاب ترانزیستور ٦٥
٥-١-٢ طراحی تقویت‌کننده در کلاس AB و بررسی نتایج ٦٥
٥-١-٣ طراحی تقویت‌کننده کلاس F با استفاده از المان‌های فشرده و بررسی نتایج ٧٠
٥-١-٤ طراحی واحدهای DGS برای استفاده به عنوان فیلترهای خروجی ٧١
٥-١-٥ طراحی تقویت کنند ه با استفاده از فیلترهای DGS طراحی شده و بررسی نتایج ٧٤
فصل ششم: نتیجه گیری
٦-١ نتیجه‌گیری ٧٦
٦-٢ پیشنهادات ٧٧
ضمیمه A ٧٨
مراجع ٩٣

چکیده

یکی از اهداف مهم در طراحی تقویت‌کننده‌های RF حداکثر نمودن بازدهی توان افزوده می‌باشد،که منجر به حذف خنک کننده‌های بزرگ و افزایش طول عمر باتری می‌گردد.استفاده از تقویت‌کننده کلاسF به منظور رسیدن به بازدهی توان افزوده بالا اخیراً مورد توجه قرار گرفته است.در این کلاس کاری با استفاده از فیلترهایی در خروجی و کنترل هارمونیک‌ها،شکل موج جریان و ولتاژ کلکتور(درین) را به نحو مناسبی تغییر داده با عث افزیش بازده تقویت‌کننده می‌شوند.با استفاده از المان‌های فشرده می‌توان فیلترهایی با پاسخ مناسب و ضریب کیفیت خوب طراحی کرد،استفاده از المان‌های فشرده در فرکانس‌های بالا به دلیل ابعاد بزرگ آن‌ها و همچنین اثر عناصر پارازیتی مربوط به این المان‌ها محدود می‌باشد،بنابراین امکان طراحی فیلتر با استفاده از خطوط مایکرواستریپ و با پاسخی نزدیک به پاسخ فیلتر طراحی شده با المان‌های فشرده مطلوب می‌باشد.از طرفی امروزه به منظور کاهش ابعاد و همچنین حذف هارمونیک‌های ناخواسته در ساختارهای مایکروویو مثل آنتن‌ها،تقویت‌کننده‌ها،فیلترها و... استفاده از ساختارهای زمین ناقص مورد توجه طراحان قرار گرفته است.این ساختارها با ایجاد نوعی پنجره در صفحه زمین مربوط به خطوط مایکرواستریپ باعث تخریب مسیر عبور جریان در صفحه زمین شده و لذا خواص خط انتقال مثل خازن و اندوکتانس خط را تغییر می‌دهند، که از این خاصیت می توان به منظور حذف و کنترل هارمونیک های ناخواسته استفاده کرد. در این پایان‌نامه تقویت کننده کلاس F به طور کامل تشریح شده سپس خط ریز نوار با زمین ناقص برای استفاده به عنوان فیلتر خروجی کلاس F مورد مطالعه قرار گرفت.در پایان یک نمونه تقویت‌کننده کلاسAB با طراحی شد وپس از آن با اعمال فیلترهایی طراحی شده باالمان ها ای فشرده در خروجی با کنترل هارمونیک ها ولتاژ و جریان کلکتور را به طور مطلوب شکل داده بدین ترتیب باعث افزایش بازده توان افزوده شده ایم. بعد از آن ساختارهای ریز نوار با زمین ناقص برای کنترل مؤلفه فرکانس اصلی و هارمونیک های اول و سوم طراحی شده؛ سپس در خروجی تقویت کننده فیلترهای طراحی شده با المان های فشرده با ساختارهای ریز نوار با زمین ناقص طراحی شده برای این منظور جایگزین شده و نتایج بدست آمده با حالت استفاده از المان‌های فشرده مقایسه گردیده است.نتایج نشان می دهد تقویت کننده کلاس F به شکل قابل توجهی بازده توان افزوده را نسبت به تقویت کننده کلاس AB افزایش می دهد بدون آنکه تغیر چندانی در توان خروجی و بهره شاهد باشیم. از طرفی با استفاده از خط ریز با نوار ناقص تفاوت چندانی در نتایج نسبت به حالت استفاده از المان های فشرده حاصل نشد لذا می توان اینگونه نتیجه گیری کرد که اینگونه ساختارها می تواند جایگزین مناسبی برای فیلترهای المان فشرده در تقویت کننده کلاس F باشد.

کلمات کلیدی : تقویت کننده کلاس F ؛ هارمونیک ؛ بازده توان افزوده ؛ خط ریز نوار با زمین ناقص

فصل اول
مقدمه

۱-۱ مقدمه

تقویت‌کننده‌های توان RF جزء اصلی فرستنده‌های نیمه‌هادی و از نظر توان الکتریکی پرمصرف ترین بخش آن هستند.پارامترهای زیادی در این تقویت‌کننده‌ها وجود دارد که متناسب با کاربرد،حد بهینه ای بین آنها انتخاب می‌شود.برخی از این پارامترها عبارتند از فرکانس کار،سطح توان خروجی،پهنای باند،بازده،بهره،خطی بودن،ابعاد و هزینه.بهینه کردن تمامی این پارامترها با هم عملا غیر ممکن است و طراحان مجبور به انتخاب پارامترهای مهم تر متناسب با کاربرد مورد نظر می‌باشند.با توجه به اینکه در این تحقیق مساله بازده توان مورد توجه قرار گرفته است،در این بخش پس از ارائه توضیحات کلی درباره تقویت‌کننده‌ها،به کاربردها و کارهای انجام شده در زمینه تقویت‌کننده‌های RF با بازدهی بالا پرداخته شده است.

۱-۲ نگاهی کلی به تقویت‌کننده توان RF

چنانکه مطرح شد تقویت‌کننده‌های توان RF عمدتا در فرستنده‌ها و برای تولید توان RF بالا استفاده می‌شوند.اصول کار این تفویت کننده‌ها بسیار مشابه تقویت‌کننده‌های صوتی است اما به دلیل بالا بودن فرکانس اثرات پارازیتی ترانزیستور ظاهر می‌شوند.برای ساخت این تقویت‌کننده‌ها از تکنولوژی‌های مختلفی مانند دوقطبی

سیلیکونی[۱]،FETهای گالیم آرسناید[۲]،HEMTهای گالیم آرسناید[۳] و HBTهای گالیم آرسناید[۴] استفاده می‌شود.معمولا در فرکانس‌های پایین مایکروویو (زیر ۳ گیگا هرتز) از ترانزیستورهای دوقطبی،و در فرکانس‌های بالاتر از GaAs FET اغلب در قالب MESFET[۵]ها استفاده می‌شود.HBTها و HEMTها عموما در کاربردهای با دمای بالا و توان بالا به کار می‌روند[۱].

تقویت‌کننده‌های توان RF می‌توانند بسته به نیازهای سیستم در کلاس‌های کاری مختلفی بایاس شوند.این کلاس‌ها معمولا به دو دسته کلاس‌های هدایت انتقالی مانند کلاس‌های A،AB،B،C و کلاس‌های مود سوئیچینگ مانند کلاس‌های D،E و F تقسیم می‌شوند. انتخاب کلاس مناسب معمولا مصالحه ای بین بازده و عملکرد خطی تقویت‌کننده است و با حرکت از سمت کلاس‌های هدایت انتقالی به سمت کلاس‌های سوئیچینگ،بازده افزایش و عملکرد غیر خطی‌تر می‌شود. مشخصات و مزایای هر یک از این کلاس‌ها در فصل دوم ارائه شده است.

یکی از مهمترین قسمت‌های تقویت‌کننده‌های توان RF طراحی مدار تطبیق آنها می‌باشد. با توجه به اینکه این تقویت‌کننده‌ها در حالت سیگنال بزرگ کار می‌کنند،برای تطبیق آنها نیاز به امپدانس‌های ورودی خروجی سیگنال بزرگ است. البته در صورتی که مدل غیرخطی ترانزیستور توسط کمپانی سازنده ارائه شود،امکان به دست آوردن این امپدانس‌ها به صورت نرم افزاری نیز وجود دارد.

از دیگر قسمت‌های مهم تقویت‌کننده‌های توان طراحی فیلتر خروجی این تقویت‌کننده برای کنترل هارمونیک‌ها به منظور کاهش تلفات ترانزیستور و همچنین رسیدن به بازده بالا می‌باشد. کاهش تلفات نیاز به خنک کننده‌های حجیم را برای تقویت‌کننده مرتفع می‌سازد. در این گزارش استفاده از ساختارهای زمین تخریب یافته[۶] به منظور استفاده به عنوان فیلتر کنترل کننده هارمونیک‌ها مورد مطالعه قرار گرفته و در طراحی تقویت‌کننده کلاس F استفاده شده است.

۳-۱ پیکره بندی گزارش

با توجه به آنچه در این فصل در رابطه با اهمیت تقویت‌کننده‌های توان RF ارائه شد،فصل دوم به بررسی ساختارهای مختلف این تقویت‌کننده‌ها و ویژگی‌های هر یک،نیازهای قسمت‌های مختلف تقویت‌کننده و پارامترهای مهم آن پرداخته است. در فصل سوم با توجه به تمرکز کار روی کلاس F سعی شده است ترانزیستور

---

[۱] Silicon Bipolar

[۲] GaAs FET

[۳] GaAs High Electron Mobility Transistor

[۴] GaAs Hetetojunction Bipolar Transistor

[۵] Metal Semiconductor Field Effect Transistor

[۶] Defected Ground Structure

مناسب انتخاب شود. البته به دلیل محدودیت در انتخاب ترانزیستور سعی شد بهترین ساختار مناسب با توجه به بررسی‌های فصل دوم،در زمینه شبکه تطبیق انتخاب شود. در این بخش ساختارهای کلاس F به طور کامل مورد مطالعه قرار گرفته اند. در گذشته در طراحی فیلتر خروجی تقویت‌کننده کلاس F از المان‌های فشرده استفاده می‌شده است از طرفی به دلیل محدودیت استفاده از المان‌های فشرده در فرکانس‌های بالا،در این پایان نامه استفاده از DGS به عنوان فیلتر خروجی برای تقویت‌کننده کلاس F مورد توجه قرار گرفته است. در فصل چهارم این ساختارها به تفصیل تشریح شده اند. در فصل پنجم نیازمندی‌های شبکه تطبیق،مدار بایاس،فیلترهای مورد نیاز و مشخصات اجزاء لازم برای طراحی بررسی شدند و DGS مورد نیاز طراحی شده است. در نهایت طرح اصلی ارائه گردیده و نتایج حاصل با نتایج بدست آمده از طراحی با استفاده از المان‌های فشرده مقایسه شده است در این فصل ابتدا به امکانات نرم افزاری،نوع شبیه سازی و مدل استفاده شده برای ترانزیستور پرداخته شده است. پس از آن نتایج شبیه سازی قسمت‌های اصلی شبکه تطبیق ارائه گردیده است.

فصل دوم

تقویت‌کننده‌های توان RF

۲-۱ مقدمه

پیش از آنکه وارد بخش طراحی تقویت‌کننده و نیازمندی‌های خاص تقویت‌کننده با بازده بالا شویم لازم است مروری روی ساختارهای مختلف تقویت‌کننده‌های RF و ویژگی‌های هر یک داشته باشیم. از طرفی آشنایی با پارامترهای مهم در تقویت‌کننده‌های توان RF به انتخاب ساختار مناسب کمک می‌کند. از این رو در این فصل ابتدا پارامترهای مهم تقویت‌کننده‌های توان RF ارائه شده اند. پس از آن با توجه به این پارامترها، کلاس‌های کاری مختلف تقویت‌کننده‌های RF بررسی شده و مورد مقایسه قرار گرفته اند. در نهایت اجزای یک تقویت‌کننده توان و عملکرد هر بخش مطالعه شده اند و نیازمندی‌های طراحی هر بخش مشخص شده اند.

۲-۲ پارامترهای مهم تقویت‌کننده توان RF

در طراحی هر تقویت‌کننده پارامترهای زیادی مانند فرکانس کار، پهنای باند، توان خروجی، بازده، خطی بودن، هزینه ساخت، بهره توان، تلفات توان بازگشتی [۷] و ابعاد تقویت‌کننده وجود دارند. اما بهینه بودن همزمان این پارامترها لزومی ندارد بلکه هر یک از آنها با توجه به کاربرد تقویت‌کننده طرح شده اهمیت می‌یابند. از طرفی

---

[۷] Return Loss

امکان دستیابی به شرایطی که تمام این پارامترها بهینه باشند،عملا وجود ندارد و معمولا هر طراحی شامل مصالحه‌ای بین دو یا چند پارامتر می‌باشد. در ادامه برخی از پارامترهای طراحی که اهمیت بیشتری دارند با جزئیات بیشتر توصیف شده اند.

۲-۲-۱ توانایی تولید توان خروجی[۸] (C_p)

Cp بیان کننده مقدار توان RF خروجی است هنگامی که ولتاژ وجریان درین ماکزیمم هستند[۲]. اگر بیش از یک ترانزیستور استفاده شده باشد این مقدار بین آن‌ها تقسیم می‌شود. اگر P. توان خروجی RF، $I_{d,pk}$ حداکثر جریان درین، $V_{d,pk}$ حداکثر ولتاژ درین و N تعداد ترانزیستورهای موازی باشند آنگاه خواهیم داشت :

$$C_p = \frac{P_0}{N.I_{d,pk}.V_{d,pk}} \qquad (۱-۲)$$

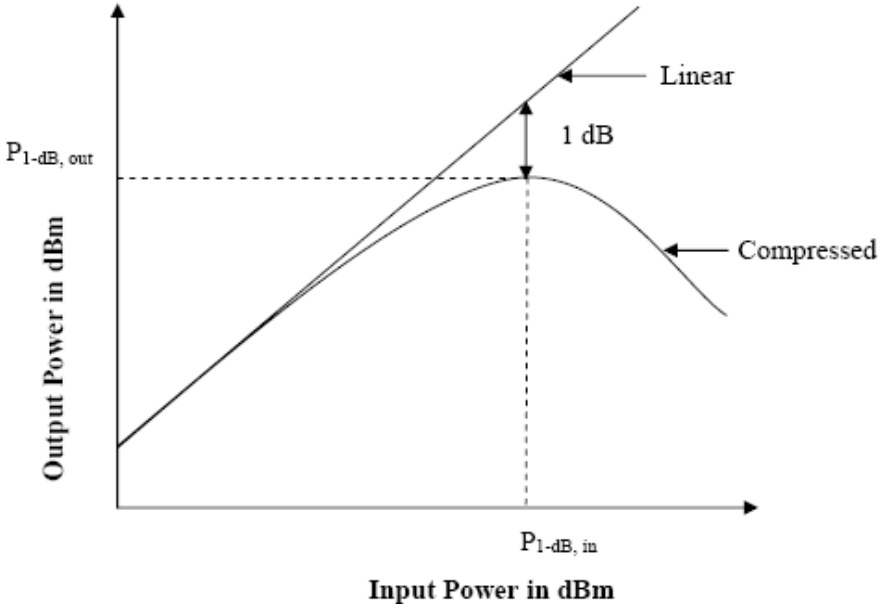
در بین کلاس‌های کاری تقویت‌کننده‌ها کلاس A حداکثر C_p را دارا می‌باشد[۲].

۲-۲-۲ توان خروجی($P_{۱-dB}$)

توان خروجی تقویت‌کننده که معمولا با Pout نشان داده می‌شود،به دو شکل در برگه‌های اطلاعاتی تقویت‌کننده‌ها یا ترانزیستورها مطرح می‌شود. تعریف اول توانی در خروجی است که در آن بهره توان به اندازه ۱dB نسبت به ناحیه خطی کاهش یافته است. این توان را بصورت $P_{۱dB}$ نشان می‌دهند. در یک تقویت‌کننده خطی $P_{۱dB}$ می‌تواند نشان دهنده حداکثر توان خروجی در دسترس باشد. شکل دیگر بیان توان خروجی P_{sat} است که ماکزیمم توان تقویت کننده است به طوریکه افزایش توان ورودی پس از مقدار متناظر با P_{sat} موجب افت توان خروجی می شود. به دلیل رفتار شدیدا غیر خطی تقویت‌کننده در حالت اشباع شدید (P_{sat}) و مشکلاتی که در اندازه گیری تحت این شرایط به وجود می‌آید عموما در تعاریف و ارائه مشخصات از $P_{۱dB}$ استفاده می‌شود. مفهوم $P_{۱dB}$ در شکل(۲-۱) نشان داده شده است [۳].

---

[۸] Power Out Put Capability



شکل ۲-۱- نمایش مفهوم P۱dB

۲-۲-۳ بهره توان

بهره توان که معمولا با G_p نشان داده می‌شود،نسبت توان خروجی به توان ورودی است ومعمولا در تقویت‌کننده‌های توان RF بر حسب dB بیان می‌شود[۳]. این پارامتر به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$G_P = 10\log\left(\frac{P_{out}}{P_{in}}\right) = P_{out}(dB) - P_{in}(dB) \qquad (۲-۲)$$

۲-۲-٤ بازده

بازده تقویت‌کننده به سه روش محاسبه می‌شود:

بازده درین[۹]: نام این بازده از قطعات FET گرفته شده است. بازده درین به صورت نسبت توان RF خروجی به توان DC تعریف می‌شود[٤]:

$$\eta_D = 100\times\frac{P_{RFout}}{P_{DC}} = 100\times\frac{P_{RFout}}{V_{DC}\times I_{DC}} \qquad (۲-۳)$$

---

[۹] **Drain Efficiency**

بازده درین معیاری است برای اندازه گیری آن مقدار از توان DC که به توان RF تبدیل شده است. مشکل این نوع محاسبه بازده،آن است که توان RF ورودی در محاسبه وارد نمی شود. در تقویت‌کننده‌های توان RF نقش توان ورودی در بازده قابل توجه تر می‌شود. زیرا این تقویت‌کننده‌ها معمولا بهره پایین دارند.

بازده PAE[۱۰]**(بازده توان افزوده)**: این بازده مشابه بازده درین است با این تفاوت که توان ورودی را در صورت کسر دخالت می‌دهد. این بازده بصورت زیر محاسبه می‌شود[٤]:

$$\eta_{added\ \ efficiency} = P.A.E = \frac{P_{RFout} - P_{RFin}}{P_{DC}} = \frac{P_{RFout} - P_{RFin}}{V_{DC} \times I_{DC}} \times 100 \qquad (٤\text{-}٢)$$

بطور تئوری در صورتی که بهره تقویت‌کننده بی نهایت باشد اندازه η_D و PAE با هم برابر خواهد بود. اما عملا PAE همیشه کوچکتر از η_D است. این نوع محاسبه بازده معیار مناسبی برای تقویت‌کننده‌های با بهره پایین می‌باشد.

بازده کل: بازده کل شکل کاملی از نسبت توان خروجی به کل توآن‌های ورودی اعم از DC و RF را نشان می‌دهد. این توان به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\eta_{total} = \frac{P_{RFout}}{P_{DC} + P_{RFin}} = \frac{P_{RFout}}{V_{DC} \times I_{DC} + P_{RFin}} \qquad (٥\text{-}٢)$$

بازده کل بهترین شکل بازده از نقطه نظر ترمودینامیکی است. اما از بین سه تعریفی که برای بازده ارائه شد،در برگه‌های اطلاعاتی تقویت‌کننده‌ها و ترانزیستورها PAE از بقیه متداول تر است.

۲-۲-۵ تلفات توان برگشتی[۱۱]

این پارامتر معیاریست برای سنجش میزان تطبیق ورودی تقویت‌کننده و به صورت زیر محاسبه می‌شود[٤]:

$$RL = 10\log\left(\frac{P_{reflected}}{P_{in}}\right) \qquad (٦\text{-}٢)$$

۲-۳ کلاس‌های مختلف کاری تقویت‌کننده‌های RF و مقایسه آنها

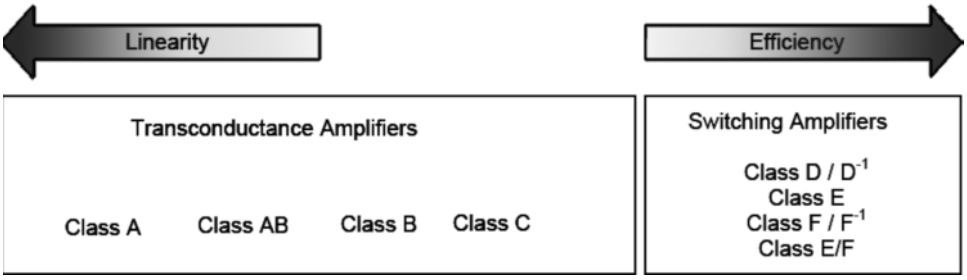
تقویت‌کننده‌های RF بر اساس نقطه کار و نوع بایاس به دو دسته کلی تقسیم می‌شوند. دسته اول تقویت‌کننده‌های هدایت انتقالی اند،که شامل تقویت‌کننده‌های کلاس A،AB،B و C می‌باشند و دسته دیگرتقویت‌کننده‌های سوئیچینگ اند که کلاس‌هایی مانند D،E و F را شامل می‌شوند. انتخاب یک کلاس کاری

---

[۱۰] **Power Added Efficiency**

[۱۱] **Return Loss**

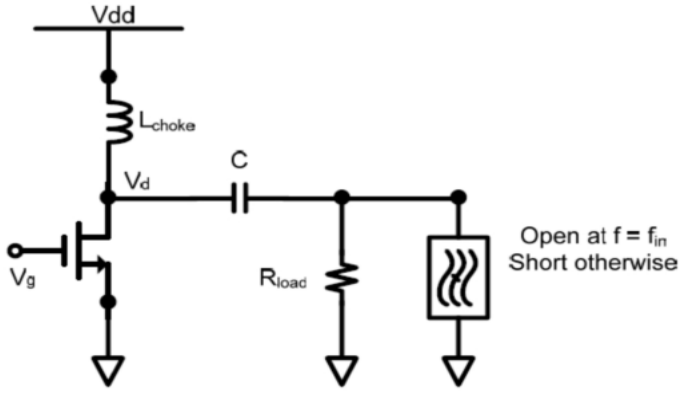
مناسب کاملا وابسته به کاربرد تقویت‌کننده می‌باشد[۵]. چنانکه در شکل(۲-۲) نشان داده شده است،با حرکت از سمت کلاس‌های هدایت انتقالی به سمت کلاس‌های سوئیچینگ،افزایش بازده و کاهش عملکرد خطی تقویت‌کننده دیده می‌شود. در ادامه چند کلاس متعارف مورد بررسی و مقایسه قرار گرفته اند. البته به جز کلاس‌های متداول برخی اوقات برای دستیابی به بازده و عملکرد خطی مناسب بطور همزمان از کلاس‌های ترکیبی مانند کلاس‌های BD و CE استفاده می‌شود[۵].



شکل ۲-۲- نمایش تغییرات بازده و عملکرد خطی کلاس‌های مختلف تقویت‌کننده[۱۲]

۲-۳-۱ تقویت‌کننده‌های هدایت انتقالی[۱۲]

تقویت‌کننده‌های توان هدایت انتقالی در واقع تعمیمی از تقویت‌کننده‌های هدایت انتقالی خطی هستند. این تقویت‌کننده‌ها از قطعه اکتیو به عنوان منبع جریان کنترل شده استفاده می‌کنند و امروزه در فرستنده‌های بی سیم بسیار کاربرد دارند. شکل(۲-۳) یک تقویت‌کننده تک خروجی را نشان می‌دهد. در تحلیل‌های این قسمت فیلتر خروجی و چَک تغذیه،ایده آل فرض شده اند.



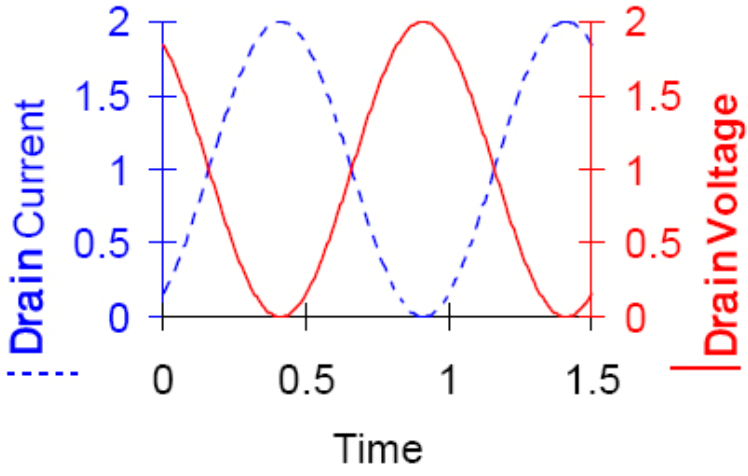
شکل ۲-۳- شماتیک تقویت‌کننده توان تک خروجی

---

[۱۲] **Transconductance Amplifiers**

ساده ترین راه برای تفکیک تقویت‌کننده‌های هدایت انتقالی کلاسیک،تفکیک با توجه به زاویه هدایت آنهاست. تقویت‌کننده‌های کلاس A،زاویه هدایتی برابر ۲π دارند. زاویه هدایت تقویت‌کننده‌های کلاس AB بین π تا ۲π،کلاس B برابر π و کلاس C بین ۰ تا π می‌باشد. در ادامه به اختصار راجع به عملکرد هر یک از این کلاس‌ها توضیحاتی داده می‌شود.

تقویت‌کننده کلاس A:تقویت‌کننده کلاس A خطی ترین وخوش رفتارترین تقویت‌کننده بین کلاس‌های مختلف است،که معادل با یک منبع جریان عمل می‌کند. شکل موج‌های ولتاژ وجریان ترانزیستور تقویت‌کننده کلاس A در شکل(۲-٤)نشان داده شده است از آنجایی که ترانزیستور در تمام طول سیکل روشن بوده و از آن جریان عبور می‌کند،تلفات توان همواره وجود دارد لذا بزرگترین مشکل این کلاس پایین بودن حداکثر بازده آن می‌باشد[٦] .



شکل ۲-٤- شکل موج‌های ولتاژ و جریان خروجی ترانزیستور کلاس A [۱۲]

در تقویت‌کننده کلا س A از آنجایی که ترانزیستور در وضعیت روشن بایاس می‌شود در نتیجه جریان کل عبوری ازآن برابر است با[۷] :

$$i_D = I_Q + I_{PEAK}\cos\omega t \qquad (۲-۷)$$

ماکزیمم دامنه نوسان ورودی برابر با $I_Q + I_{PEAK} \le I_{MAX}$ است در این شرایط حداکثر جریان I_{PEAK} برابر با I_Q خواهد بود و خواهیم داشت :

$$I_{PEAK} \le I_Q \qquad (۲-۸)$$

چرا که جریان ترانزیستور هرگز نمی تواند منفی باشد. در منحنی I_V مربوط به ترانزیستور مقدار جریان نقطه کار وسط منحنی یعنی مقدار $I_Q = I_{MAX}/2$ انتخاب می‌شود. در این شرایط و با یک مقاومت بار R_L ولتاژ درین ترانزیستور برابر خواهد بود با :

$$v_D = V_{cc} + R_L I_{PEAK} \cos \omega t \qquad (۹-۲)$$

توان DC و توان RF برای این تقویت کننده برابر هستند با :

$$P_{DC} = I_Q V_{cc} \qquad (۱۰-۲)$$

$$P_{RF} = \frac{I_{PEAK}{}^2 R_L}{2} \qquad (۱۱-۲)$$

و در نتیجه بازده برابر است با :

$$\eta = \frac{I_{PEAK}{}^2 R_L}{2 I_Q V_{cc}} \qquad (۱۲-۲)$$

حداکثر بازده هنگامی اتفاق می‌افتد که جریان و ولتاژ درین ماکزیمم دامنه نوسان را داشته باشند،در نتیجه:

$$P_{op} = \frac{I_{PEAk} V_{PEAk}}{2} = \frac{I_Q (V_{cc} - V_{SAT})}{2} \qquad (۱۳-۲)$$

$$\eta_{MAX} = \frac{P_{op}}{P_{DC}} = \frac{(V_{cc} - V_{SAT})}{2V_{cc}}.100 \le 50\% \qquad (۱۴-۲)$$

این بازده پایین تلفات بسیار زیادی در ترانزیستور ایجاد می کند که گاهی اوقات خارج از تحمل حرارتی ترانزیستور است. از این رو استفاده از این کلاس برای تقویت‌کننده‌های توان بالا مناسب نیست. امروزه استفاده از تقویت‌کننده‌های کلاس A تنها در فرکانس بالای ۵GHz مرسوم می‌باشد. مزیت تقویت‌کننده کلاس A در فرکانس‌های بالا این است که به توان درایو بسیار کمتری نیاز دارد و بهره آن نسبت به کلاس‌های دیگر بیشتر است. از آنجا که بهره توان در فرکانس‌های بالا یک فاکتور محدود کننده در طراحی PA است کلاس A مناسب می‌باشد[۷].

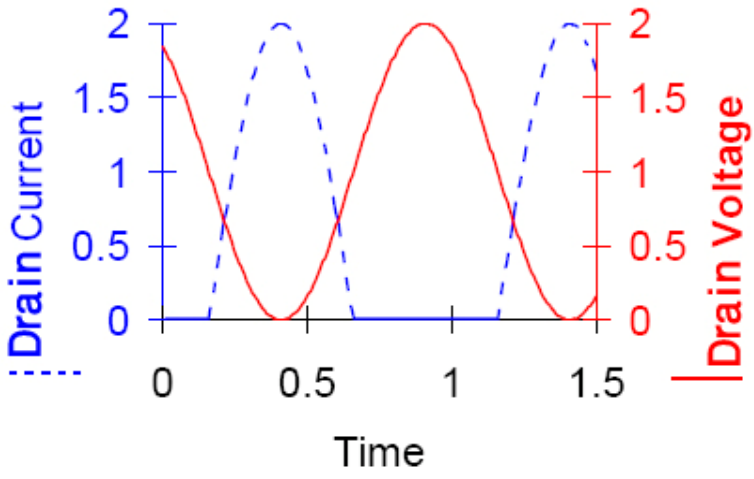
تقویت‌کننده کلاس B : تقویت‌کننده کلاس B به طور ایدآل در شرایط جریان صفر یا حالت خاموش عمل می‌کند و لذا توان DC بسیار کم می‌باشد. در ازای بازده بیشتر در این تقویت‌کننده نسبت به کلاس A عملکرد خطی کاهش پیدا می‌کند. حداکثر بازده درین تقویت‌کننده ایده آل کلاس B،۷۸/۵ درصد است که بسیار بیشتر از تقویت‌کننده کلاس A می‌باشد[۱۲]. شکل موج‌های ولتاژ و جریان خروجی این تقویت‌کننده در شکل(۲-۵) نشان داده شده است که شکل موج جریان کلاس B در حالت تئوریک یک نیم موج کامل است.

توان RF و DC و بازده در این تقویت‌کننده برابر است با:

$$P_{RF} = \frac{I_{PEAK} V_{PEAK}}{2} \qquad (۱۵-۲)$$

$$P_{DC} = 2\frac{V_{cc} I_{PEAK}}{\pi} \qquad (۱۶-۲)$$

$$\begin{cases} \eta = \dfrac{\pi I_{PEAK} R_L}{4 V_{cc}} \\ \max\left(I_{PEAK} R_L\right) = V_{cc} \end{cases} \Rightarrow \eta_{\max} = \frac{\pi}{4} = 78.5\% \qquad (۱۷-۲)$$



شکل ۲-۵- شکل موج‌های ولتاژ و جریان خروجی ترانزیستور کلاس B [۱۲]

تقویت‌کننده کلاس AB : شکل موج‌های ولتاژ و جریان تقویت‌کننده کلاس AB در شکل(۲-۶) نشان داده شده است. عملکرد کلاس AB ترکیبی از بازده و خطی سازی را به همراه دارد. به دلیل اینکه سطح بایاس گیت نسبت به تقویت‌کننده کلاس A کاهش یافته است،برش جریان اتفاق می‌افتد. با اینکه برش جریان،هارمونیک‌های مزاحم و آثار غیر خطی ایجاد می‌کند،تقویت‌کننده کلاس AB انتخاب مناسبی برای تقویت‌کننده‌های توان VHF است.