

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه صنعتی اصفهان
دانشکده برق و کامپیوتر

تحلیل تقویت کننده قدرت در فرکانس‌های میکروویو با استفاده از روش
توازن هارمونیک

رئیس دانشکده برق و کامپیوتر
دانشگاه صنعتی اصفهان

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی برق - الکترونیک

۱۳۸۲ / ۷ / ۱۰

عبدالحسین رضائی

استاد راهنما

دکتر ابوالقاسم زیدآبادی نژاد

۴۸۷.۳

زمستان ۱۳۸۱



دانشگاه صنعتی اصفهان
دانشکده برق و کامپیوتر

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی برق - الکترونیک آقای عبدالحسین رضائی
تحت عنوان

تحلیل تقویت کننده قدرت در فرکانس های میکروویو با استفاده از روش
توازن هارمونیک

در تاریخ ۸۱/۱۲/۲۱ توسط کمیته تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهائی قرار گرفت.

دکتر ...

۱- استاد راهنمای پایان نامه

دکتر ...

۲- استاد مشاور پایان نامه

دکتر ...

سرپرست تحصیلات تکمیلی دانشکده

خدا را شاکریم که به ما قدرت تعلیم را عنایت فرمود و نیروی عقل را عطا نمود تا به یاری آن پرده های
جهل را کنار زده و رازهای نهان طبیعت را آشکار سازیم و از تمامی آنانی که به واسطه تلاش آنها محیطی
امن برای دانش اندوزی ما فراهم گردیده سپاسگزارم و از کلیه اساتیدی که در طی این شش سال سرمایه
ناچیز علمی خود را مرهون زحمات آنها هستم تشکر می نمایم از جمله آقایان دکتر زیدآبادی نژاد، دکتر
صدری، دکتر سیدی، دکتر سقائیان نژاد، دکتر کارشناس، دکتر فرزانه فرد و خانم دکتر ترکمنی آذر. همچنین
لازم می دانم از زحمات آقایان دکتر بخشائی و دکتر پورآباده که زحمت داوری این پایان نامه را برعهده
داشتند تشکر و قدردانی نمایم. همچنین به جاست از زحمات بی دریغ همسر مهربانم که در این مدت
زحمات زیادی را متقبل شدند نهایت سپاس و قدردانی را داشته باشم.

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

تقدیم به پدر، مادر، همسر و فرزند دل‌بندم سجاد

فهرست مطالب

| <u>صفحه</u> | <u>عنوان</u> |
|-------------|---|
| شش | فهرست مطالب |
| هشت | فهرست اشکال |
| ۵۵ | فهرست اشکال |
| ۱ | چکیده |
| ۲ | فصل اول : مقدمه |
| | فصل دوم : مدل کردن عناصر نیمه‌هادی برای تحلیل شبه استاتیکی |
| ۵ | ۱-۲- مدل‌های عناصر غیرخطی |
| ۷ | ۲-۲- مدارهای عناصر فشرده و منابع کنترل‌شده غیرخطی |
| ۸ | ۲-۲-۱- قضیه جانیشینی |
| ۱۰ | ۲-۲-۲- رسانایی یا مقاومت غیرخطی |
| ۱۳ | ۲-۲-۳- خازن غیرخطی |
| ۱۵ | ۲-۲-۴- رابطه بین بسط G/V , C/V , I/V و Q/V |
| ۱۶ | ۲-۳- دیود سد شاتکی و دیود پیوندی |
| ۱۷ | ۲-۳-۱- مدل دیود سد شاتکی |
| ۲۲ | ۲-۴- MESFET های GaAs |
| ۲۲ | ۲-۴-۱- عملکرد MESFET |
| ۲۶ | ۲-۴-۲- مدل کردن MESFET |
| | فصل سوم : روش تحلیل توازن هارمونیکی |
| ۳۱ | ۳-۱- مسائل یک تحریک سینوسی سیگنال بزرگ |
| ۴۰ | ۳-۲- الگوریتم حل |
| ۴۱ | ۳-۲-۱- بهینه‌سازی |
| ۴۱ | ۳-۲-۲- روش‌های جداسازی |
| ۴۵ | ۳-۲-۳- روش نیوتن |
| ۴۸ | ۳-۲-۴- الگوریتم انعکاسی |
| ۵۲ | ۳-۳- انتخاب تعداد هارمونیک‌ها و نمونه‌های زمانی |
| ۵۳ | ۳-۴- مقایسه الگوریتم‌ها |
| | فصل چهارم : تقویت‌کننده قدرت MESFET |
| ۵۷ | ۴-۱- MESFET های قدرت |
| ۵۷ | ۴-۱-۱- ساختمان MESFET های قدرت |
| ۵۹ | ۴-۱-۲- مدل کردن MESFET های قدرت |
| ۶۰ | ۴-۲- ملاحظات اساسی در طراحی تقویت‌کننده قدرت |
| ۶۵ | ۴-۳- طراحی تقویت‌کننده قدرت MESFET |

| | |
|-----|---|
| ۶۶ | ۴-۳-۱- طراحی تقریبی تقویت کننده‌های MESFET کلاس A |
| ۶۹ | ۴-۳-۲- طراحی تقریبی تقویت کننده‌های MESFET کلاس B |
| ۷۰ | ۴-۳-۳- طراحی مثال‌ها و اجرای دانسته‌ها |
| ۷۵ | ۴-۴- تحلیل توازن هارمونیک تقویت کننده‌های قدرت MESFET |
| | فصل پنجم: بررسی نتایج حاصل از شبیه سازی |
| ۸۱ | ۵-۱- بررسی رفتار MESFET |
| ۸۳ | ۵-۲- نتایج حاصل از شبیه سازی |
| ۹۲ | ۵-۳- مقایسه نتایج با نتایج مقالات |
| ۹۴ | ۵-۴- پاسخ فرکانسی |
| ۹۵ | ۵-۴- جدول مقایسه نتایج با نتایج مقالات |
| ۹۶ | فصل ششم: جمع بندی و پیشنهادات |
| ۹۸ | مراجع و منابع |
| ۱۰۰ | چکیده انگلیسی |

فهرست اشکال

| <u>صفحه</u> | <u>عنوان</u> |
|-------------|--|
| | فصل اول |
| | فصل دوم |
| ۸ | شکل ۱-۲ مقاومت نموی سیگنال کوچک یک مقاومت غیرخطی..... |
| ۹ | شکل ۲-۲ قضیه جانیشینی..... |
| ۱۰ | شکل ۳-۲ رسانائی غیرخطی کنترل شده با ولتاژ..... |
| ۱۱ | شکل ۴-۲ مدار معادل غیرخطی سیگنال کوچک رسانائی غیر خطی..... |
| ۱۱ | شکل ۵-۲ عنصر غیرخطی با چند کنترل..... |
| ۱۸ | شکل ۶-۲ برش دیود سد شاتکی..... |
| ۲۰ | شکل ۷-۲ مدار معادل دیود سد شاتکی..... |
| ۲۲ | شکل ۸-۲ منحنی مشخصه دیود سد شاتکی..... |
| ۲۳ | شکل ۹-۲ برش GaAs MESFET..... |
| ۲۴ | شکل ۱۰-۲ عملکرد GaAs MESFET..... |
| ۲۶ | شکل ۱۱-۲ مدار معادل غیرخطی GaAs MESFET..... |
| ۲۷ | شکل ۱۲-۲ الف) اندازه گیری خازن گیت-سورس ب) خازن گیت-درین MESFET تجاری..... |
| | فصل سوم |
| ۳۱ | شکل ۱-۳ مدار معادل کلی یک قطعه مایکروویو غیرخطی دو دهنه‌ای..... |
| ۳۳ | شکل ۲-۳ یک مدار مایکروویو غیرخطی که به دو زیرمدار خطی و غیرخطی تقسیم شده است..... |
| ۳۶ | شکل ۳-۳ مدار شکل ۲-۳ که در آن منبع ولتاژ تحریک در دهنه‌های $N + 1$ ام و $N + 2$ ام به صورت منابع جریان در دهنه‌های ۱ تا N تبدیل شده است..... |
| ۳۹ | شکل ۴-۳ مدار دیود پمپ شده مثال..... |
| ۳۹ | شکل ۵-۳ مدار ساده شده مثال ۱ که در آن زیر- مدار خطی دو دهنه‌ای به یک دهنه‌ای کاهش یافته است..... |
| ۴۳ | شکل ۶-۳ مدار دیود پمپ شده مثال ۲, این مدار همان مدار شکل ۵-۳ است با این تفاوت که زیرمدار خطی به صورت یک امپدانس درآمده است..... |
| ۴۳ | شکل ۷-۳ مدار تقسیم کننده ولتاژ مثال ۳..... |
| ۴۵ | شکل ۸-۳ استفاده از روش نیوتن برای ریشه یابی در حالت یک بعدی..... |
| ۴۸ | شکل ۹-۳ یک مدار مایکروویو غیرخطی که به دو بخش خطی و غیرخطی تقسیم شده و توسط خطوط انتقال ایده آل فرضی برای تحلیل به روش الگوریتم انعکاسی به هم وصل شده اند..... |
| ۴۹ | شکل ۱۰-۳ مدار موج تابشی برای الگوریتم انعکاسی معادل با شکل ۹-۳..... |
| ۵۱ | شکل ۱۱-۳ مدار مثال ۵ شبکه در برگرنده دو دهنه به یک امپدانس سری تبدیل شده است و منابع تحریک ولتاژ بطور مناسبی تبدیل شده اند..... |
| ۵۱ | شکل ۱۲-۳ مدار معادل موج تابشی برای مثال ۵ الف- زیر- مدار خطی ب- زیر- مدار غیرخطی..... |
| | فصل چهارم |
| ۶۰ | شکل ۱-۴ مدار معادل یک تقویت کننده ایده آل MESFET..... |
| ۶۰ | شکل ۲-۴ مشخصه I/V درین و خط بار MESFET شکل ۱-۴..... |

| | |
|----|---|
| ۶۱ | شکل ۳-۴ شکل موج های ولتاژ و جریان تقویت کننده قدرت کلاس A |
| ۶۳ | شکل ۴-۴ شکل موج ولتاژ و جریان درین در تقویت کننده ایده آل |
| ۶۶ | شکل ۵-۴ مشخصه I/V درین MESFET و خط بار تقویت کننده |
| ۷۱ | شکل ۶-۴ الف) مدار معادل MESFET قدرت مثال ۱ ب) مشخصه I/V MESFET و خط بار تقویت کننده |
| ۷۴ | شکل ۷-۴ توان خروجی و بازده توان نموی تقویت کننده کلاس A بهینه شده از روش توازن هارمونیک |
| ۷۵ | شکل ۸-۴ توان خروجی و بازده توان نموی تقویت کننده کلاس B بهینه شده از روش توازن هارمونیک |
| ۷۷ | شکل ۹-۴ مدار معادل تقویت کننده MESFET |
| | فصل پنجم |
| ۸۲ | شکل ۱-۵ مدار معادل تقویت کننده MESFET |
| ۸۲ | شکل ۲-۵ همان مدار شکل ۱-۵ که به دو بخش خطی و غیر خطی تقسیم شده است |
| ۸۴ | شکل ۳-۵ شکل موج ولتاژ دو سر خازن غیر خطی گیت - سورس مدار شکل ۱-۵ در فرکانس ۱۰ GHz |
| ۸۴ | شکل ۴-۵ شکل موج ولتاژ دو سر منبع جریان کنترل شده غیر خطی مدار شکل ۱-۵ در فرکانس ۱۰ GHz |
| ۸۵ | شکل ۵-۵ شکل موج ولتاژ دو سر خازن غیر خطی گیت - درین مدار شکل ۱-۵ در فرکانس ۱۰ GHz |
| ۸۵ | شکل ۶-۵ شکل موج جریان خازن غیر خطی گیت - سورس مدار شکل ۱-۵ در فرکانس ۱۰ GHz |
| ۸۶ | شکل ۷-۵ شکل موج جریان منبع جریان کنترل شده غیر خطی مدار شکل ۱-۵ در فرکانس ۱۰ GHz |
| ۸۶ | شکل ۸-۵ شکل موج جریان خازن غیر خطی گیت - درین مدار شکل ۱-۵ در فرکانس ۱۰ GHz |
| ۸۷ | شکل ۹-۵ شکل موج ولتاژ درین مدار شکل ۱-۵ در فرکانس ۱۰ GHz با احتساب ۸ هارمونیک |
| ۸۷ | شکل ۱۰-۵ شکل موج ولتاژ درین مدار شکل ۱-۵ در فرکانس ۱۰ GHz در هارمونیک اصلی |
| ۸۸ | شکل ۱۱-۵ شکل موج جریان درین مدار شکل ۱-۵ در فرکانس ۱۰ GHz با احتساب ۸ هارمونیک |
| ۸۸ | شکل ۱۲-۵ شکل موج جریان درین مدار شکل ۱-۵ در فرکانس ۱۰ GHz در هارمونیک اصلی |
| ۸۹ | شکل ۱۳-۵ شکل موج ولتاژ گیت مدار شکل ۱-۵ در فرکانس ۱۰ GHz |
| ۸۹ | شکل ۱۴-۵ شکل موج جریان گیت مدار شکل ۱-۵ در فرکانس ۱۰ GHz |
| ۹۰ | شکل ۱۵-۵: منحنی توان خروجی بر حسب توان ورودی در فرکانس ۱۰ GHz با احتساب ۸ هارمونیک |
| ۹۰ | شکل ۱۶-۵: منحنی توان خروجی بر حسب توان ورودی در فرکانس ۱۰ GHz |
| ۹۱ | شکل ۱۷-۵: منحنی توان خروجی بر حسب توان ورودی در مقیاس لگاریتمی در فرکانس ۱۰ GHz |
| ۹۱ | شکل ۱۸-۵: منحنی بهره در مقیاس لگاریتمی |
| ۹۲ | شکل ۱۹-۵: منحنی توان خروجی بر حسب توان ورودی [۲۱] |
| ۹۳ | شکل ۲۰-۵: منحنی توان خروجی بر حسب توان ورودی [۲۴] |
| ۹۳ | شکل ۲۱-۵: منحنی توان خروجی به ازای توان ورودی در مقیاس لگاریتمی در فرکانس ۱۵ GHz [۲۵] |
| ۹۴ | شکل ۲۲-۵: منحنی بهره در مقیاس لگاریتمی [۲۴] |
| ۹۴ | شکل ۲۳-۵: پاسخ فرکانسی مدار شکل ۱-۵ |
| | فصل ششم |

فهرست جداول

| <u>صفحه</u> | <u>عنوان</u> |
|-------------|--------------|
| | فصل اول |
| | فصل دوم |
| | فصل سوم |
| | فصل چهارم |
| | فصل پنجم |
| ۹۵ | جدول ۱-۵ |
| | فصل ششم |

چکیده:

در سالهای اخیر تحلیل غیرخطی، جهت طراحی مدارهای میکروویو نظیر تقویت کننده‌های قدرت، مخلوط کننده‌های فرکانسی، چند برابر کننده‌های فرکانسی و غیره مورد توجه قرار گرفته است. برای تحلیل غیرخطی، روش‌های مختلفی وجود دارد. از جمله حل معادلات دیفرانسیل غیرخطی در حوزه زمان، روش سری ولترا، روش سیگنال بزرگ - سیگنال کوچک و روش توازن هارمونیک. روش حل معادلات دیفرانسیل غیرخطی در حوزه زمان دارای دقت زیاد بوده ولی پیاده سازی کامپیوتری آن مشکل می باشد. روش تحلیل سری ولترا بیشتر برای تحلیل مدارهای غیرخطی ضعیف که شامل چند فرکانس می باشد کاربرد دارد. روش تحلیل سیگنال بزرگ - سیگنال کوچک برای مدارهای غیر خطی با دو تحریک سینوسی که یکی از آنها خیلی بزرگ و دیگری خیلی کوچک است، بکار می رود و روش تحلیل توازن هارمونیک برای تحلیل مدارهای غیرخطی قوی تک فرکانسی مورد استفاده قرار می گیرد.

در روش توازن هارمونیک ابتدا مدار را به دو بخش خطی و غیرخطی تقسیم نموده سپس با استفاده از تحلیل بخش خطی در حوزه فرکانس، مولفه های هارمونیک جریان یا ولتاژ دهنه ها را بدست آورده و با استفاده از تحلیل حوزه زمان و بسط سری فوریه مولفه های جریان یا ولتاژ دهنه ها بخش غیرخطی را بدست می آوریم. در حالت پایدار باید مولفه های جریان هر دهنه بخش خطی با مولفه های جریان همان دهنه در بخش غیرخطی برابر باشد.

در این پایان نامه پس از بررسی اهمیت تحلیل غیرخطی و روش های مختلف آن، یک ترانزیستور MESFET بوسیله مدار معادل غیرخطی جایگزین شده است و جزئیات کامل مدل غیرخطی MESFET مورد بررسی قرار گرفته است سپس با استفاده از روش توازن هارمونیک یک تقویت کننده قدرت MESFET یک طبقه در فرکانس 10GHz تحلیل شده است و نتایج حاصل با نتایج مقالات مقایسه گردیده است.

فصل اول

مقدمه

قبل از ورود کامپیوتر به صحنه طراحی، مهمترین عامل در به ثمر رسیدن یک طراحی، تجربه و قابلیت های فردی طراح بود. در آن زمان طراحی به خصوص در موارد غیرخطی آن بیشتر جنبه هنری داشت تا تکنیکی. با پیدا شدن روشهای طراحی به کمک کامپیوتر قابلیت های جدیدی مطرح شد. استفاده از کامپیوتر در طراحی، امکان انجام محاسبات بسیار پیچیده و تکرار این محاسبات برای دفعات زیاد را فراهم نمود. در این ارتباط، دستیابی به اطلاعات کاملتر و دقیقتر قطعات، مدل سازی آنها و استفاده از روشهای تکراری با دقت بسیار زیاد مدنظر قرار گرفت. بدنبال این نیازها، نرم افزارهای متعدد کامپیوتری برای مدل سازی، تحلیل و طراحی عرضه گردید مدارهای میکروویو نیز از این تحولات مستثنی نبودند و در این اواخر طراحی مدارهای غیرخطی میکروویو بسیار مورد توجه قرار گرفته است.

در گذشته هنگامی که مسئله طراحی مدارهای غیر خطی میکروویو مطرح میگردید تنها راه حل دقیق برای بررسی رفتار چنین مداری، حل معادلات غیر خطی آن در حوزه زمان بود که آن هم بجز در موارد بسیار ساده و برای مدارهای کوچک، بدون کمک کامپیوتر عملی نبود ولی امروزه الگوریتم های جدید کامپیوتری برای این موارد معرفی شده است که بسیار ساده تر و با صرفه ترمی باشد. در طراحی غیرخطی چند مشکل وجود دارد. اولین مشکل دستیابی به یک مدل مناسب مداری یا ریاضی می باشد طوری که بتوان محاسبات

کامپیوتری را روی آن انجام داد. برای ساختن چنین مدلی نیاز به تحلیل غیر خطی آن، جهت مقایسه با رفتار غیر خطی قطعه مورد نظر می‌باشد. مثلاً چنانچه مدل مداری غیرخطی برای یک عنصر تعریف گردد، برای مشخص کردن پارامترهای مدل، باید تحلیل غیرخطی روی آن انجام گیرد. دومین مشکل انتخاب روش تحلیل می‌باشد. تقریباً همه روش‌های تحلیل غیرخطی یک نوع بهینه‌سازی می‌باشند. می‌توان گفت، دقیق‌ترین روش‌های طراحی آنهایی هستند که بصورت تکرار^۱ کار می‌کنند.

بدین صورت امروزه نقش نرم‌افزارهای تحلیل گر در طراحی مدارهای غیرخطی بسیار مهم می‌باشد. از اینرو توجه به نرم‌افزارها و پیدا کردن الگوریتم‌های سریع و دقیق برای آنها در بسیاری از موارد هنوز موضوع روز می‌باشد.

با توجه به پیشرفت تکنولوژی ساخت نیمه هادی‌ها، اخیراً امکان استفاده از MESFET^۲ ها در فرکانس‌های میکروویو فراهم شده است و در نتیجه بسیاری از مدارها از جمله تقویت کننده‌های میکروویو با MESFET ساخته می‌شوند. بنابراین مدل‌سازی و تحلیل غیرخطی مدارهای ساخته شده با آن مورد توجه قرار گرفته است.

برای تحلیل غیرخطی، روش‌های مختلفی وجود دارد. یکی از این روش‌ها حل معادلات دیفرانسیل غیرخطی در حوزه زمان می‌باشد. که از جمله محاسن آن دقت زیاد این روش می‌باشد ولی عیب بزرگ آن، این است که وقت زیادی می‌گیرد و برنامه‌ریزی آن مشکل می‌باشد. روشهای بسیار کاربردی برای تحلیل غیرخطی، روش سری ولترا^۳، روش توازن هارمونیک^۴ و روش سیگنال بزرگ - سیگنال کوچک می‌باشد. روش تحلیل سری ولترا بیشتر برای تحلیل مدارهای غیرخطی ضعیف که شامل چند فرکانس می‌باشند کاربرد دارد. روش تحلیل توازن هارمونیک برای تحلیل مدارهای غیرخطی قوی تک فرکانسی بکار می‌رود. و روش تحلیل سیگنال بزرگ - سیگنال کوچک برای مدارهای غیرخطی با دو تحریک سینوسی که یکی از آنها خیلی بزرگ و دیگری خیلی کوچک است بکار می‌رود. الگوریتم‌های مختلف روش توازن هارمونیک از جمله الگوریتم انعکاسی [۲۵] و روش نیوتن برای [۲۸، ۲۴، ۳۰] تحلیل عملکرد سیگنال بزرگ تقویت کننده قدرت بکار گرفته می‌شود. در این پایان نامه از مدل MESFET ارائه شده در [۲۱ و ۲۰] استفاده شده است. در حقیقت کاری که در این پایان نامه صورت گرفته تحلیل کامل مدار با کلیه جزئیات و نوشتن برنامه کامپیوتری و بدست آوردن شکل موج و منحنی‌های مختلفی بوده که در مقالات فقط بعضی از نتایج آن هم بدون ذکر جزئیات ارائه شده است.

مطالب این پایان نامه بشکل زیر تنظیم شده است:

فصل اول به مقدمه اختصاص داده شده است و بیانگر هدف از انجام این پروژه، تاریخچه و کاربرد

۱ - Iteration

۲-Metal Semiconductor FET

۳- Voltra series

۴- Harmonic Balance

مورد بحث و قسمت‌های مختلف این پایان‌نامه می‌باشد.

فصل دوم به مدل کردن عناصر نیمه‌هادی برای تحلیل شبه‌استاتیکی اختصاص داده شده است. در این فصل در ابتدا دلایل استفاده از مدل‌های شبه‌استاتیکی در تحلیل مدارهای میکروویو بیان شده و سپس در مورد مدل‌های عناصر غیرخطی و مزایای استفاده از فرضیات شبه‌استاتیکی در مدل کردن این عناصر بیات شده است و با استفاده از قضیه جانیشینی و سری‌های توانی به مدل کردن عناصر غیرخطی نظیر مقاومت‌ها، خازن‌ها و منابع کنترل شده اشاره‌ای شده است. با توجه به اینکه GaAs MESFET و دیود سد شاتکی برای ما اهمیت بسیاری دارند عملکرد این دو قطعه بطور مفصل مورد بررسی قرار گرفته است و مدار معادل هر یک با جزئیات کامل بیان شده است.

فصل سوم به بررسی روشهای تحلیل مدارهای غیرخطی اختصاص داده شده است. در این فصل دو روش تحلیل توازن هارمونیک و تحلیل سیگنال بزرگ - سیگنال کوچک مورد مقایسه قرار گرفته و با توجه به شرایط کار ما روش توازن هارمونیک مورد بررسی قرار گرفته است و همچنین مشکلات عمده کار در حوزه زمان بیان شده است و برای غلبه بر این مشکلات پیشنهاد استفاده همزمان از حوزه زمان و فرکانس شده است.

شایان ذکر است که روش تحلیل توازن هارمونیک با ذکر مثال بطور کامل بحث شده و الگوریتم‌های مختلف حل، از جمله بهینه سازی، جدا سازی، روش نیوتن و الگوریتم انعکاس مورد بررسی قرار گرفته‌اند و با ذکر مثال‌هایی معایب و مزایای هر یک بیان شده است. همچنین چگونگی انتخاب تعداد هارمونیک‌ها و نمونه‌های زمانی در تحلیل مورد بررسی قرار گرفته است.

فصل چهارم به بررسی تقویت کننده MESFET اختصاص داده شده است. در اینجا به دنبال شناخت خصوصیات تقویت کننده‌های MESFET هستیم و در نتیجه به بررسی عوامل موثر بر توان خروجی و ملاحظات اساسی در مورد طراحی تقویت کننده‌ها از جمله تقویت کننده‌های کلاس A و کلاس B پرداخته شده است و شکل موج‌های جریان و ولتاژ و منحنی‌های بازده و توان خروجی بر حسب ورودی رسم شده و نکات لازم برای برنامه شبیه‌سازی بیان شده است.

فصل پنجم به بررسی نتایج حاصل از شبیه سازی اختصاص داده شده است. در این فصل ابتدا بطور مختصر و اجمالی در مورد برنامه شبیه‌سازی نوشته شده و همچنین MESFET بکار برده شده توضیحاتی داده شده است و سپس نتایج حاصل از شبیه‌سازی از جمله منحنی توان خروجی بر حسب توان ورودی و شکل موج‌های جریان و ولتاژ نقاط مختلف و پاسخ فرکانسی نمایش داده شده است. در ادامه به مقایسه نتایج حاصل از شبیه‌سازی با نتایج مقالات با ارایه شکل موجها و منحنی‌های مربوطه و جدول پرداخته شده است.