

# آپ امپھا برائی ہمہ

نویسنده

بروس کارتر

مترجمین

سید حسین کی ہمایون  
ایمان یزدی

نیاز دانش

## مقدمه‌ی متر جمین

تقویت‌کننده‌ی عملیاتی<sup>۱</sup> یا به اختصار آپ‌امپ (OPAMP) به عنوان یکی از پرکاربردترین عناصر در طراحی مدارهای الکترونیکی و نیز به عنوان عنصری کلیدی در طراحی الکترونیک نوین از اهمیت ویژه‌ای بخوردار است. آپ‌امپ‌ها ساخت مدارهایی با گستره‌ی وسیعی از کاربردها را ممکن می‌کنند به گونه‌ای که کمتر مدار آنالوگی را می‌توان یافت که در آن از آپ‌امپ استفاده نشده باشد.

کتاب حاضر مهارت‌های مورد نیاز در زمینه‌ی کار با آپ‌امپ‌ها و نیز بهینه‌کردن طراحی مدارهای آنالوگ را به خواننده می‌آموزد و مرجع و منبعی مفید برای طراحی و پیاده‌سازی مدارهای آنالوگ با آپ‌امپ است. آپ‌امپ‌ها برای همه کتابی کاربردی با بیانی روان است و علاوه بر اینکه مباحث کلیدی و کاربردی مربوط به آپ‌امپ‌ها و مدارهای آپ‌امپی را پوشش می‌دهد حاوی نکات مفیدی در زمینه‌ی طراحی مدارهای آنالوگ است که در بالا بردن دانش آنالوگ طراحان الکترونیک مؤثر است. پی‌بردن به هر کدام از این نکات نیازمند صرف وقت و هزینه‌ی بسیار است؛ نکاتی که در کتاب‌های درسی دانشگاهی یا به آن‌ها پرداخته نشده یا بسیار کوتاه و گذرا به آن‌ها اشاره شده است.

این کتاب برای مهندسان، طراحان، تکنسین‌ها و دانشجویان رشته‌ی الکترونیک و نیز علاقمندان به الکترونیک مناسب و قابل استفاده است و به گونه‌ای نگارش یافته که از سویی هم برای افراد تقریباً تازه‌کار قابل فهم باشد و هم برای مهندسین کارآزموده خسته‌کننده نباشد.

---

<sup>۱</sup> Operational Amplifier

از مزایای قابل توجه این ویراست نسبت به ویراست‌های قبل، کاربردی و به روزتر شدن مطالب است به‌گونه‌ای که خواننده بدون درگیرشدن با روابط، نمودارها و محاسبات وقت‌گیر و بعض‌اً پیچیده، به راحتی با استفاده از ابزارهای طراحی برخط موجود بر روی وبسایت‌های تولیدکنندگان بزرگ آپامپ مانند شرکت‌های تگزاس اینسترومتر، آنالوگ دیوایس و لینیر تکنولوژی در کمترین زمان قادر به طراحی مدارهای آپامپی خواهد بود. نویسنده با استفاده از این روش مبحث انتخاب آپامپ‌های جدید و مناسب برای انواع کاربردها و نیز بیان ویژگی‌های آن‌ها را جایگزین بخشی از مطالب تئوری ویراست قبلی کرده است و به علاوه اطلاعاتی راجع به فرآکاربردها، مشکلات احتمالی پس از طراحی محصولات و نیز راهکارهایی برای پیشگیری از این مشکلات قبل از تولید ارائه کرده است. از سوی دیگر تأکید نویسنده بر طراحی مدارهای آنالوگ کارآمد با کمترین تعداد آپامپ، قابلیت اطمینان بالا، مصرف کم، کوچک و ارزان‌قیمت بر ارزش کتاب افزوده است.

نویسنده در این کتاب نرم‌افزارهای طراحی و شبیه‌سازی و نیز ماشین‌حساب‌های مختلف مربوط به محاسبات طراحی را بیان و با هم مقایسه کرده و همچنین با بررسی مشخصات انواع آپامپ‌ها، کار خواننده را برای انتخاب آپامپ مناسب از بین تعداد بسیار زیاد آپامپ‌ها برای کاربرد موردنظر ساده کرده است.

در پایان لازم می‌دانیم از آقایان مهندس مهدی توکلی و مهندس علیرضا کجوری که زمینه‌ساز آشنایی ما با این کتاب بودند، آقای مهندس مهران صادقی که زحمت بازخوانی کتاب را بر عهده داشتند و نیز از مدیریت و کارکنان محترم انتشارات نیاز دانش قدردانی کنیم. خواهشمند است مترجمین را در جریان نظرات خود و ایرادات احتمالی کتاب قرار دهید.

سیدحسین کی‌همایون

ایمان یزدی

تابستان ۱۳۹۶

keyhomayoon@chmail.ir  
Im.yazdi@yahoo.com

# فهرست مطالب

<u>صفحه</u>	<u>عنوان</u>
<b>فصل ۱ جایگاه آپ امپ در جهان</b>	
۱۷.	۱-۱ مشکل بھرہی نامحدود
۱۷.	۲-۱ را حل
۱۸.	۳-۱ پیدایش آپ امپ به عنوان یک قطعه
۱۹.	۱-۳-۱ عصر لامپ خلاء
۲۰.	۲-۳-۱ عصر ترانزیستور
۲۰.	۳-۳-۱ عصر مدار مجتمع
<b>فصل ۲ مروری بر اصول کلی آپ امپ</b>	
۲۳.	۱-۲ مقدمه
۲۳.	۲-۲ مفاهیم پایه
۲۴.	۱-۲-۲ قانون اهم
۲۴.	۲-۲-۲ قاعده‌ی تقسیم و لتاز
۲۵.	۳-۲-۲ جمع آثار
۲۶.	۳-۲ مدارهای آپ امپی پایه
۲۷.	۱-۳-۲ آپ امپ ناوارونسان
۲۸.	۲-۳-۲ آپ امپ وارونسان
۲۹.	۳-۳-۲ جمع کننده
۳۰.	۴-۳-۲ تقویت کننده‌ی تفاضلی
۳۱.	۴-۲ عجله نکنید!
<b>فصل ۳ تفکیک و مدیریت بھرہی AC و بھرہی DC</b>	
۳۵.	۱-۳ یک پیچیدگی کوچک
۳۵.	۲-۳ تک تغذیه در مقایسه با دو تغذیه
۳۸.	۳-۳ معادلات همزمانی
۴۱.	۱-۳-۳ قالب ۱، $V_{OUT} = +mV_{IN} + b$

۴۴.	$V_{OUT} = +mV_{IN} - b$ ، ۲ قالب	۲-۳-۳
۴۶.	$V_{OUT} = -mV_{IN} + b$ ، ۳ قالب	۳-۳-۳
۴۸.	$V_{OUT} = -mV_{IN} - b$ ، ۴ قالب	۴-۳-۳
۵۰.	حال، هدف چیست؟	۴-۳
۵۲.	یک روش طراحی و یک ابزار طراحی	۵-۳
۵۵.	خلاصه	۶-۳

#### فصل ۴ انواع مختلف آپامپ

۵۷.	۱-۴ آپامپ‌های فیدبک ولتاژ
۵۸.	۲-۴ آپامپ‌های فیدبک ولتاژ جبران نشده کم جبران شده
۶۲.	۳-۴ آپامپ‌های فیدبک جریان
۶۳.	۴-۴ آپامپ‌های کاملاً تفاضلی
۶۴.	۱-۴-۴ "کاملاً تفاضلی" به چه معنا است؟
۶۴.	۲-۴-۴ خروجی دوم چگونه استفاده می‌شود؟
۶۵.	۳-۴-۴ طبقات بهره‌ی تفاضلی
۶۵.	۴-۴-۴ تبدیل تک‌انتهایی به تفاضلی
۶۷.	۵-۴-۴ یک عملکرد جدید
۶۷.	۵-۴ تقویت‌کننده‌ی ابزار دقیق
۶۸.	۶-۴ تقویت‌کننده‌ی تفاضل
۷۲.	۷-۴ تقویت‌کننده‌های بافر
۷۴.	۸-۴ انواع دیگر آپامپ‌ها

#### فصل ۵ اتصال یک مبدل به یک مبدل آنالوگ به دیجیتال

۷۵.	۱-۵ مقدمه
۷۵.	۲-۵ اطلاعات سیستم
۷۷.	۳-۵ اطلاعات تغذیه
۷۸.	۴-۵ مشخصه‌های سیگنال ورودی
۷۹.	۵-۵ مشخصه‌های مبدل آنالوگ به دیجیتال
۸۰.	۶-۵ مشخصه‌های مدار واسط
۸۱.	۷-۵ تصمیمات معماري
۸۲.	۸-۵ نتایج

۸۵-	فصل ۶ روش‌های طراحی فیلتر فعال
۸۵-	۱-۶ مقدمه
۸۶-	۲-۶ روش معادله‌ی انتقال
۸۹-	۳-۶ طراحی فیلتر کاربردی و پرسرعت
۹۰-	۱-۳-۶ قله‌زنی پاسخ
۹۱-	۲-۳-۶ فیلتر پایین‌گذر
۹۲-	۳-۳-۶ فیلتر بالاگذر
۹۳-	۴-۳-۶ فیلتر میان‌گذر باریک (تکفرکانس)
۹۴-	۵-۳-۶ فیلتر میان‌گذر پهن
۹۵-	۶-۳-۶ فیلتر ناج (حذف تکفرکانس)
۹۷-	۴-۶ طراحی فیلتر پرسرعت
۹۷-	۱-۴-۶ فیلترهای پایین‌گذر پرسرعت
۹۸-	۲-۴-۶ فیلترهای بالاگذر پرسرعت
۹۸-	۳-۴-۶ فیلترهای میان‌گذر پرسرعت
۹۹-	۴-۴-۶ فیلترهای ناج پرسرعت
۱۰۰-	۵-۶ استفاده از تمام قابلیت‌های یک تک‌آپ‌امپ
۱۰۰-	۱-۵-۶ فیلترهای پایین‌گذر سه‌قطبی
۱۰۱-	۲-۵-۶ فیلترهای بالاگذر سه‌قطبی
۱۰۲-	۳-۵-۶ فیلترهای میان‌گذر چندلهای و تنظیم متناوب
۱۰۵-	۴-۵-۶ فیلترهای ناج چندگانه و ناج تک‌تقویت‌کننده
۱۰۷-	۵-۵-۶ ترکیب فیلترهای ناج و میان‌گذر
۱۰۷-	۶-۶ فیلترهای چهارگانه
۱۰۸-	۷-۶ ابزارهای طراحی
۱۰۸-	۱-۷-۶ ابزارهای طراحی فیلتر پایین‌گذر، بالاگذر و میان‌گذر
۱۱۰-	۲-۷-۶ ابزار طراحی فیلتر ناج
۱۱۱-	۳-۷-۶ ابزار طراحی جفت T
۱۱۳-	۴-۷-۶ توضیحات نهایی مربوط به ابزارهای طراحی فیلتر
۱۱۳-	۸-۶ خلاصه
۱۱۵-	فصل ۷ استفاده از آپ‌امپ‌ها برای طراحی فرکانس‌رادیویی
۱۱۵-	۱-۷ مقدمه

۱۱۵	۲-۷ فیدبک ولتاژ یا فیدبک جریان؟
۱۱۶	۳-۷ آرایش تقویت‌کننده‌ی فرکانس رادیویی
۱۱۸	۴-۷ مشخصه‌های آپامپ مربوط به طراحان فرکانس رادیویی
۱۱۸	۱-۴-۷ بهره‌ی طبقه
۱۱۹	۲-۴-۷ خطی بودن فاز
۱۱۹	۳-۴-۷ قله‌زنی پاسخ فرکانسی
۱۲۰	۴-۴-۷ نقطه‌ی فشردگی $-1\text{dB}$
۱۲۱	۵-۴-۷ عدد نویز
۱۲۲	۵-۷ سیستم‌های بی‌سیم
۱۲۳	۱-۵-۷ تقویت‌کننده‌های پهن‌باند
۱۲۵	۲-۵-۷ تقویت‌کننده‌های باند میانی
۱۲۶	۶-۷ مدارهای راهانداز ورودی آنالوگ پرسرعت
۱۲۷	۷-۷ نتایج

## فصل ۸ طراحی مدارهای آپامپی ولتاژپایین

۱۲۹	۱-۸ مقدمه
۱۳۰	۲-۸ مشخصه‌های مهم
۱۳۰	۱-۲-۸ نوسان ولتاژ خروجی
۱۳۱	۲-۲-۸ محدوده‌ی پویا
۱۳۲	۳-۲-۸ محدوده‌ی حالت مشترک ورودی
۱۳۴	۴-۲-۸ نسبت سیگنال به نویز
۱۳۶	۳-۸ خلاصه

## فصل ۹ فرآکاربردها

۱۳۷	۱-۹ مقدمه
۱۳۷	۲-۹ دما
۱۳۸	۱-۲-۹ نویز
۱۳۹	۲-۲-۹ سرعت
۱۳۹	۳-۲-۹ طبقه‌ی خروجی و راهاندازی آن
۱۳۹	۴-۲-۹ اما، چه چیز در دمای بالا افت می‌کند؟
۱۴۰	۵-۲-۹ پیشنهادهای مربوط به مشخصه‌ی نهایی

۱۴۰.	۳-۹ بسته‌بندی
۱۴۱.	۱-۳-۹ خود مدار مجتمع
۱۴۱.	۲-۳-۹ بسته‌بندی مدار مجتمع
۱۴۲.	۳-۳-۹ اتصال به مدار مجتمع
۱۴۴.	۴-۹ وقتی خرابی یک گزینه نیست
۱۴۶.	۵-۹ هنگامی که سیستم باید برای مدت زمان بسیار طولانی کار کند
۱۴۷.	۶-۹ نتایج

## فصل ۱۰ تنظیم ولتاژ

۱۴۹.	۱-۱۰ مقدمه
۱۴۹.	۲-۱۰ قالب‌های تنظیم‌کننده‌ی ولتاژ
۱۴۹.	۱-۲-۱۰ زمین مجازی: $b =$
۱۵۰.	۲-۲-۱۰ تنظیم‌کننده‌های ولتاژ مثبت و منفی $b < 0$ و $b > 0$
۱۵۰.	۳-۱۰ بسازیم یا بخریم؟
۱۵۲.	۴-۱۰ تنظیم‌کننده‌های خطی
۱۵۴.	۵-۱۰ منابع تغذیه‌ی سوییچینگ
۱۵۵.	۶-۱۰ یک مدار همراه
۱۵۶.	۷-۱۰ دیگر مدار همراه
۱۵۸.	۸-۱۰ ابزار طراحی
۱۵۹.	۹-۱۰ نتایج

## فصل ۱۱ کاربردهای دیگر

۱۶۱.	۱-۱۱ مقدمه
۱۶۱.	۲-۱۱ اتصال مبدل‌های دیجیتال به آنالوگ به بارها
۱۶۳.	۳-۱۱ نوسان‌سازهای آپامپی
۱۶۶.	۴-۱۱ تقویت‌کننده‌های پیوندی و افزاینده‌های توان
۱۶۹.	۵-۱۱ نتایج

## فصل ۱۲ ابزارهای طراحی سازندگان

۱۷۱.	۱-۱۲ مقدمه
۱۷۲.	۲-۱۲ Tina-TI تگزاس اینسترومنتر

۱۷۴	تگزاس اینسترومتر Filter Pro	۳-۱۲
۱۷۸	نرم‌افزار Webench نشانال سمیکنداکتور تگزاس اینسترومتر	۴-۱۲
۱۸۱	نسخه‌ی آنالوگ دیوایس NI Multisim	۵-۱۲
۱۸۳	ابزار OpAmp Error Budget آنالوگ دیوایس	۶-۱۲
۱۸۳	لینیر تکنولوژی LT اسپایس	۷-۱۲
۱۸۶	طرح برد مدار چاپی	۸-۱۲
۱۸۶	نتایج	۹-۱۲

### فصل ۱۳ خطاهای رایج در کار

۱۸۷	۱-۱۳ مقدمه
۱۸۷	۲-۱۳ آپامپ مورد استفاده در بهره‌ی کمتر از واحد (یا معین)
۱۸۸	۳-۱۳ استفاده از آپامپ به عنوان یک مقایسه‌کننده
۱۹۰	۱-۳-۱۳ مقایسه‌کننده
۱۹۱	۲-۳-۱۳ آپامپ
۱۹۱	۴-۱۳ پایان‌دهی نادرست بخش‌های استفاده‌نشده
۱۹۳	۵-۱۳ بهره‌ی DC
۱۹۴	۶-۱۳ خطاهای مربوط به تقویت‌کننده‌ی فیدبک جریان
۱۹۴	۱-۶-۱۳ مقاومت فیدبک اتصال کوتاه شده
۱۹۵	۲-۶-۱۳ خازن در حلقه‌ی فیدبک
۱۹۵	۷-۱۳ خطاهای مربوط به تقویت‌کننده‌ی کاملاً تقاضلی
۱۹۶	۱-۷-۱۳ نقطه‌ی کار DC نادرست
۱۹۷	۲-۷-۱۳ محدوده‌ی حالت مشترک نادرست
۱۹۸	۳-۷-۱۳ پایان‌دهی تک‌انتهایی نادرست
۱۹۹	۸-۱۳ جداسازی نادرست
۲۰۱	۹-۱۳ نتایج

### پیوست الف درک مشخصه‌های آپامپ

۲۰۳	الف-۱- مقدمه
۲۰۴	الف-۱-۱- مقادیر بیشینه‌ی مطلق
۲۰۴	الف-۱-۲- شرایط عملکردی توصیه شده
۲۰۶	الف-۱-۳- مشخصه‌های الکتریکی

- الف-۲- ضریب دمای جریان آفست ورودی ( $\alpha I_{IO}$ ) ..... ۲۰۷
- الف-۳- ضریب دمای ولتاژ آفست ورودی ( $\alpha V_{IO}$  یا  $\alpha_{VIO}$ ) ..... ۲۰۷
- الف-۴- خطای بهره‌ی تفاضلی، ( $A_D$ ) ..... ۲۰۸
- الف-۵- مشخصه‌ی حاشیه‌ی بهره، ( $A_m$ ) ..... ۲۰۸
- الف-۶- مشخصه‌ی بهره‌ی ولتاژ حلقه‌باز، ( $A_{OL}$ ) ..... ۲۰۸
- الف-۷- اندازه‌ی بهره‌ی تقویت ولتاژ سیگنال بزرگ،  $A_V$  ..... ۲۰۹
- الف-۸- مشخصه‌ی تقویت ولتاژ سیگنال بزرگ تفاضلی، ( $A_{VD}$ ) ..... ۲۰۹
- الف-۹- مشخصه‌ی پهنای باند بهره‌واحد، ( $B_1$ ) ..... ۲۱۰
- الف-۱۰- مشخصه‌ی پهنای باند بیشینه نوسان خروجی، ( $B_{OM}$ ) ..... ۲۱۰
- الف-۱۱- اندازه‌ی پهنای باند، ( $BW$ ) ..... ۲۱۰
- الف-۱۲- مشخصه‌ی کاپاسیتانس ورودی،  $C_i$  ..... ۲۱۱
- الف-۱۳- مشخصه‌ی کاپاسیتانس ورودی حالت مشترک، ( $C_{ic}$  یا  $C_{i(c)}$ ) ..... ۲۱۲
- الف-۱۴- مشخصه‌ی کاپاسیتانس ورودی تفاضلی، ( $C_{id}$ ) ..... ۲۱۲
- الف-۱۵- اندازه‌ی کاپاسیتانس بار، ( $C_L$ ) ..... ۲۱۲
- الف-۱۶- حساسیت ولتاژ تغذیه، ( $k_{SVR}$  یا  $\Delta V_{DD\pm}/\Delta V_{IO}$  یا  $\Delta V_{CC\pm}/\Delta V_{IO}$ ) ..... ۲۱۳
- الف-۱۷- مشخصه‌ی نسبت حذف حالت مشترک ( $CMRR$ ) یا ( $k_{CMR}$ ) ..... ۲۱۳
- الف-۱۸- اندازه‌ی فرکانس،  $f$  ..... ۲۱۴
- الف-۱۹- مشخصه‌ی حاصلضرب بهره در پهنای باند آپ امپ GBW ..... ۲۱۴
- الف-۲۰- مشخصه‌ی (خاموشی) جریان تغذیه ( $I_{DD(SHDN)}$  یا  $I_{CC(SHDN)}$ ) ..... ۲۱۴
- الف-۲۱- مشخصه‌ی جریان تغذیه، ( $I_{DD}$  یا  $I_{CC}$ ) ..... ۲۱۴
- الف-۲۲- مشخصه‌ی محدوده‌ی جریان ورودی، ( $I_i$ ) ..... ۲۱۵
- الف-۲۳- مشخصه‌ی جریان بایاس ورودی، ( $I_{IB}$ ) ..... ۲۱۵
- الف-۲۴- مشخصه‌ی جریان آفست ورودی، ( $I_{IO}$ ) ..... ۲۱۶
- الف-۲۵- مشخصه‌ی جریان نویز ورودی، ( $I_n$ ) ..... ۲۱۶
- الف-۲۶- مشخصه‌ی جریان خروجی،  $I_O$  ..... ۲۱۶
- الف-۲۷- اندازه‌ی جریان خروجی سطح پایین،  $I_{OL}$  ..... ۲۱۷
- الف-۲۸- مشخصه‌ی جریان خروجی اتصال کوتاه، ( $I_{CS}$  یا  $I_{OS}$ ) ..... ۲۱۷
- الف-۲۹- مشخصه‌ی نسبت حذف تغذیه، ( $k_{SVR}$ ) ..... ۲۱۷
- الف-۳۰- مشخصه‌ی توان تلفاتی، ( $P_D$ ) ..... ۲۱۸
- الف-۳۱- مشخصه‌ی نسبت حذف منبع تغذیه، PSRR ..... ۲۱۸
- الف-۳۲- مشخصه‌ی مقاومت حرارتی اتصال به محیط، ( $\theta_{JA}$ ) ..... ۲۱۸
- الف-۳۳- مشخصه‌ی مقاومت حرارتی اتصال به بدنه،  $\theta_{JC}$  ..... ۲۱۸

- الف-۳۴ مشخصه‌ی مقاومت ورودی،  $r_i$  ..... ۲۱۹
- الف-۳۵ مشخصه‌ی مقاومت ورودی تفاضلی ( $r_{id}$  یا  $r_{i(d)}$ ) ..... ۲۱۹
- الف-۳۶ اندازه‌ی مقاومت بار، ( $R_L$ ) ..... ۲۲۰
- الف-۳۷ اندازه‌ی مقاومت صفر، ( $R_{null}$ ) ..... ۲۲۰
- الف-۳۸ مشخصه‌ی مقاومت خروجی،  $r_o$  ..... ۲۲۰
- الف-۳۹ اندازه‌ی منبع سیگنال، ( $R_s$ ) ..... ۲۲۱
- الف-۴۰ مشخصه‌ی مقاومت انتقالی حلقه‌باز، ( $R_t$ ) ..... ۲۲۱
- الف-۴۱ مشخصه‌ی نرخ چرخش آپ‌امپ، SR ..... ۲۲۱
- الف-۴۲ اندازه‌ی دمای هوای آزاد عملکرد، ( $T_A$ ) ..... ۲۲۲
- الف-۴۳ مشخصه‌ی زمان خاموش شدن،  $t_{off}$  یا  $t_{DIS}$  ..... ۲۲۲
- الف-۴۴ مشخصه‌ی زمان روشن شدن،  $t_{EN}$  ..... ۲۲۲
- الف-۴۵ مشخصه‌ی زمان نزول،  $t_f$  ..... ۲۲۳
- الف-۴۶ مشخصه‌ی اعوجاج هارمونیک کل، THD ..... ۲۲۳
- الف-۴۷ مشخصه‌ی اعوجاج هارمونیک کل به‌اضافه‌ی نویز، THD+N ..... ۲۲۳
- الف-۴۸ مشخصه‌ی بیشینه‌ی دمای اتصال،  $T_j$  ..... ۲۲۳
- الف-۴۹ مشخصه‌ی زمان صعود،  $t_r$  ..... ۲۲۴
- الف-۵۰ مشخصه‌ی زمان نشست،  $t_s$  ..... ۲۲۴
- الف-۵۱ مشخصه‌ی دمای نگهداری،  $T_{stg}$  یا  $T_S$  ..... ۲۲۴
- الف-۵۲ اندازه‌ی ولتاژ تغذیه،  $V_{CC}$  یا  $V_{DD}$  ..... ۲۲۵
- الف-۵۳ مشخصه‌ی اندازه‌ی محدوده‌ی ولتاژ ورودی، ( $V_i$ ) ..... ۲۲۵
- الف-۵۴ اندازه‌ی ولتاژ ورودی حالت مشترک، ( $V_{ic}$ ) ..... ۲۲۵
- الف-۵۵ مشخصه‌ی محدوده‌ی ولتاژ ورودی حالت مشترک ( $V_{ICR}$ ) ..... ۲۲۶
- الف-۵۶ مشخصه‌ی ولتاژ ورودی تفاضلی، ( $V_{ID}$ ) ..... ۲۲۶
- الف-۵۷ مشخصه‌ی محدوده‌ی ولتاژ ورودی تفاضلی ( $V_{IDR}$ ) ..... ۲۲۶
- الف-۵۸ مشخصه‌ی ولتاژ روشن شدن، ( $V_{(ON)}$  یا  $V_{IH-SHDN}$ ) ..... ۲۲۷
- الف-۵۹ مشخصه‌ی ولتاژ خاموش شدن، ( $V_{(OFF)}$  یا  $V_{IL-SHDN}$ ) ..... ۲۲۷
- الف-۶۰ اندازه‌ی ولتاژ ورودی،  $V_{IN}$  ..... ۲۲۷
- الف-۶۱ مشخصه‌ی ولتاژ آفست ورودی، ( $V_{IO}$  یا  $V_{OS}$ ) ..... ۲۲۷
- الف-۶۲ مشخصه‌ی ولتاژ نویز ورودی معادل،  $V_n$  ..... ۲۲۸
- الف-۶۳ مشخصه‌ی اندازه‌ی ولتاژ خروجی سطح بالا ( $V_{OH}$ ) ..... ۲۲۸
- الف-۶۴ مشخصه‌ی اندازه‌ی ولتاژ خروجی سطح پایین ( $V_{OL}$ ) ..... ۲۲۹
- الف-۶۵ مشخصه‌ی بیشینه‌ی نوسان ولتاژ خروجی قله‌به‌قله ( $V_{OM\pm}$ ) ..... ۲۲۹

الف-۶۶	مشخصه یا اندازه‌ی نوسان ولتاژ خروجی قله‌به‌قله ( $V_{O(PP)}$ )	۲۲۹
الف-۶۷	اندازه‌ی قله‌به‌قله‌ی ولتاژ پله‌ای ( $V_{(STEP)PP}$ )	۲۳۰
الف-۶۸	مشخصه‌ی تداخل، $X_T$	۲۳۰
الف-۶۹	مشخصه‌ی امپدانس خروجی ( $Z_0$ )	۲۳۰
الف-۷۰	مشخصه‌ی امپدانس انتقالی حلقه‌باز ( $Z_t$ )	۲۳۰
الف-۷۱	مشخصه‌ی خطای فاز تفاضلی ( $\Phi_D$ )	۲۳۰
الف-۷۲	مشخصه حاشیه‌ی فاز ( $\Phi_m$ )	۲۳۱
الف-۷۳	پهنای باند برای همواری $10\text{dB}$	۲۳۱
الف-۷۴	دماهی بدنه در مدت $60\text{ ثانیه}$	۲۳۱
الف-۷۵	مشخصه‌ی تلفات کلی پیوسته	۲۳۱
الف-۷۶	مدت زمان جریان اتصال کوتاه	۲۳۲
الف-۷۷	مشخصه‌ی رانگی طولانی ولتاژ آفست ورودی	۲۳۲
الف-۷۸	دماهی لحیم برای $10\text{ میلی‌ثانیه}$ یا $60\text{ ثانیه}$	۲۳۲
<b>پیوست ب تئوری نویز آپ‌امپ</b>		۲۳۳
ب-۱	مقدمه	۲۳۳
ب-۲	توصیف	۲۳۴
ب-۲-۱	نویز جذر میانگین مربعات در مقایسه با نویز قله‌به‌قله	۲۳۴
ب-۲-۲	طبقه‌ی نویز	۲۳۶
ب-۲-۳	نسبت سیگنال به نویز	۲۳۶
ب-۲-۴	منابع نویز چندگانه	۲۳۶
ب-۲-۵	واحدهای نویز	۲۳۷
ب-۳	رنگ‌های نویز	۲۳۷
ب-۳-۱	نویز سفید	۲۳۸
ب-۳-۲	نویز صورتی	۲۳۹
ب-۳-۳	نویز قرمز / قهوه‌ای	۲۳۹
ب-۴	نویز آپ‌امپ	۲۳۹
ب-۵	جمع‌بندی	۲۴۰
ب-۶	ابزار طراحی: صفحه‌گسترده‌ی محاسبه‌ی نویز	۲۴۱

۲۴۳	پیوست پ روش‌های طراحی برد مدار
۲۴۳	پ-۱ ملاحظات کلی
۲۴۳	پ-۱-۱ برد مدار چاپی جزئی از طراحی آپامپی است
۲۴۴	پ-۱-۲ نمونه‌سازی، نمونه‌سازی، نمونه‌سازی!
۲۴۵	پ-۲-۱ منابع تولید نویز
۲۴۵	پ-۲ ساختار مکانیکی برد مدار چاپی
۲۴۵	پ-۲-۲ مواد: انتخاب مورد مناسب برای کاربرد
۲۴۷	پ-۲-۳ آبکاری و روکش
۲۴۷	پ-۲-۴ چه تعداد لایه بهتر است؟
۲۴۹	پ-۳ زمین‌کردن
۲۴۹	پ-۳-۱ مهمترین قاعده، زمین‌ها و تغذیه‌ها را مجزا نگه دارید
۲۴۹	پ-۳-۲ دیگر قوانین زمین‌کردن
۲۵۱	پ-۳-۳ یک مثال خوب
۲۵۲	پ-۴ مشخصه‌های فرکانسی عناصر غیرفعال
۲۵۲	پ-۴-۱ مقاومت‌ها
۲۵۳	پ-۴-۲ خازن‌ها
۲۵۴	پ-۴-۳ القاگرها
۲۵۵	پ-۴-۴ قطعات غیرفعال ناخواسته PCB
۲۶۰	پ-۵ جداسازی
۲۶۰	پ-۵-۱ مدار دیجیتال، یک مشکل مهم برای مدار آنالوگ
۲۶۱	پ-۵-۲ انتخاب خازن مناسب
۲۶۲	پ-۵-۳ جداسازی در سطح مدارهای مجتمع
۲۶۳	پ-۵-۴ جداسازی در سطح برد
۲۶۳	پ-۶ ایزولاسیون ورودی و خروجی
۲۶۴	پ-۷ بسته‌بندی‌ها
۲۶۵	پ-۸ خلاصه
۲۶۵	پ-۸-۱ نکات عمومی
۲۶۶	پ-۸-۲ ساختار برد
۲۶۶	پ-۸-۳ قطعات
۲۶۶	پ-۸-۴ مسیربندی
۲۶۷	پ-۸-۵ کنارگذر کردن

۲۶۹	پیوست ت مجموعه مدارهای آپامپی
۲۶۹	ت-۱ مقدمه
۲۶۹	ت-۲ القاگر شبیه‌سازی شده
۲۷۱	ت-۳ تولیدکننده‌ی جریان ثابت
۲۷۲	ت-۴ مرجع ولتاژ وارون شده
۲۷۲	ت-۵ قدرمطلق
۲۷۲	ت-۶ یکسوساز دقیق
۲۷۳	ت-۷ مبدل AC به DC
۲۷۴	ت-۸ یکسوساز تمام موج
۲۷۴	ت-۹ کترل تن
۲۷۵	ت-۱۰ فیلترهای منطبق بر منحنی