

# تحليل و طراحی مدارهای مجتمع آنالوگ

جلد دوم

(مدارهای CMOS)

مهرداد شریف بختيار

نیاز دانش

## پیش‌گفتار

کتاب حاضر جهت آموزش روش‌های تحلیل و طراحی مدارهای CMOS از مقدمات تا موارد پیشرفته‌تر و عمدتاً بر اساس تجربه نویسنده در تدریس مطالب آن نوشته شده است. در نگارش کتاب سعی شده است که با استفاده از بحث‌های تشریحی نحوه نگرش به موضوع و ایجاد توانایی و بصیرت برای درک رفتار کلی مدارهای الکترونیک با روش‌های شهودی به خواننده منتقل شود. از طرف دیگر الزام به تسلط به روش‌های دقیق تحلیلی و محاسباتی برای تحلیل و طراحی مدارهای الکترونیک - بخصوص در مواردی که مشخصات مدار مورد نظر در محدوده‌ای نزدیک به حداکثر توانایی تکنولوژی مورد استفاده قرار دارد- غیر قابل اجتناب است. در حقیقت توانایی درک رفتار کلی مدار قبل از اقدام به انجام محاسبات و نیز قابلیت انجام محاسبات دقیق لازم و ملزوم یکدیگر بوده و مهارت در هر دو برای مهندس الکترونیک امروزی الزامی می‌باشد. این مهارتی است که سعی شده در طول فصول مختلف کتاب به خواننده منتقل شود. مسائل ارائه شده در آخر هر فصل برای تمرین و تکمیل هر دو مهارت ذکر شده طراحی شده‌اند. سعی شده که تمرینات به گونه‌ای باشند که بتوان تصویری از محدوده مقادیر و عملکرد واقعی مدارهای مختلف را از آنها کسب نمود. حل همه این تمرینات به خواننده علاقمند اکیداً توصیه می‌شود.

در فصول آخر کتاب مثال‌های کاربردی در طراحی فیلترهای Gm-C و نیز switched-capacitor ارائه شده است تا هم کاربرد مطالب آن فصل روشن‌تر شود و هم اینکه خواننده با این دو فیلتر رایج آشنایی پیدا کند. اگر چه کاربردهای متعدد دیگری را هم می‌توان نام برد که ارائه آنها در اینجا خالی از فایده نبود، اما محدودیت حجم و هدف مشخص کتاب که آموزش مبانی تحلیل و طراحی می‌باشد مخالف خواست باطنی نویسنده برای ارائه مطالب اضافی از این قبیل بوده است.

در آخر لازم است از آقای مرتضی توکلی که بخش عمده‌ای از فصول اولیه کتاب را با حوصله بررسی و غلط‌گیری کرده‌اند و نیز خانم محبوبه کامرانی که زحمت ترسیم شکل‌های متعدد کتاب و مدیریت جمع‌آوری یادداشت‌ها و مطالب را برعهده داشتند تشکر و سپاسگزاری نمایم.

**مهرداد شریف بختیار**

دانشکده برق - دانشگاه صنعتی شریف

آبان ۱۳۹۸



# فهرست مطالب

۱۷	مقدمه‌ای بر فیزیک MOS	فصل ۱
۱۷	یک مدل ساده برای توضیح نحوه عملکرد ترانزیستور MOS	۱-۱
۱۷	ساختار ترانزیستور MOS	۱-۱-۱
۱۹	ترانزیستور MOS به‌عنوان یک سوئیچ	۲-۱-۱
۲۴	ترانزیستور MOS به‌عنوان یک مقاومت متغیر	۳-۱-۱
۲۵	بررسی رفتار ترانزیستور با افزایش $V_{DS}$	۴-۱-۱
۲۷	اشباع جریان درین در یک مقدار ثابت با افزایش $V_{DS}$	۵-۱-۱
۳۰	اثر تغییر طول فضای بار با ولتاژ درین	۶-۱-۱
۳۱	ترانزیستور PMOS	۷-۱-۱
۳۳	تکنولوژی CMOS	۸-۱-۱
۳۴	روابط جریان و ولتاژ	۲-۱
۳۴	محاسبه بار داخل کانال	۱-۲-۱
۳۶	رابطه جریان و ولتاژ در ناحیه مقاومتی	۲-۲-۱
۴۰	رابطه جریان و ولتاژ در ناحیه اشباع	۳-۲-۱
۴۴	بررسی رابطه جریان خروجی با ولتاژ ورودی	۴-۲-۱
۴۵	ولتاژ threshold	۵-۲-۱
۴۷	ترانزیستور MOS به‌عنوان تقویت‌کننده	۳-۱
۵۰	مدار معادل AC	۴-۱
۵۱	مدل سیگنال کوچک ترانزیستور در فرکانس پایین	۵-۱
۵۴	مدل سیگنال کوچک ترانزیستور در فرکانس پایین با اثر بدنه	۱-۵-۱
۵۵	مدل سیگنال کوچک ترانزیستور MOS در فرکانس بالا	۶-۱

۵۵	۱-۶-۱	مدل فرکانس بالای ترانزیستور در ناحیه اشباع
۵۹	۲-۶-۱	مدل فرکانس بالای ترانزیستور در ناحیه مقاومتی و قطع
۵۹	۳-۶-۱	مدل برنامه SPICE
۶۱	مسائل فصل ۱	

۶۷	فصل ۲	تقویت‌کننده‌های یک‌طبقه پایه
۶۷	۱-۲	تقویت‌کننده سورس مشترک
۶۸	۱-۱-۲	طبقه سورس مشترک با بار مقاومتی
۷۳	۲-۱-۲	مدار سورس مشترک با بار دیودی
۷۸	۳-۱-۲	مدار سورس مشترک با بار منبع جریان
۸۲	۲-۲	مدار سورس مشترک با مقاومت در سورس
۸۲	۱-۲-۲	بررسی کیفی مدار سورس مشترک با مقاومت در سورس
۸۴	۲-۲-۲	بررسی محاسباتی مدار سورس مشترک با مقاومت در سورس
۸۸	۳-۲	طبقه درین مشترک و یا source follower
۸۹	۱-۳-۲	بررسی کیفی رفتار طبقه source follower
۹۰	۲-۳-۲	بررسی محاسباتی مشخصات طبقه source follower
۹۲	۴-۲	طبقه تقویت‌کننده گیت مشترک
۹۳	۱-۴-۲	محاسبه مشخصات طبقه گیت مشترک
۹۶	۵-۲	طبقه تقویت‌کننده کسکود (cascode)
۹۷	۱-۵-۲	محاسبه مشخصات مدار کسکود
۱۰۰	مسائل فصل ۲	

۱۰۷	فصل ۳	طبقه تقویت‌کننده دیفرانسیلی
۱۰۹	۱-۳	ساختار مدار طبقه دیفرانسیلی
۱۱۰	۱-۱-۳	حذف سیگنال مشترک (common-mode)
۱۱۱	۲-۱-۳	تقویت سیگنال دیفرانسیلی
۱۱۲	۲-۳	بایاس و نقطه کار طبقه دیفرانسیلی
۱۱۳	۳-۳	رفتار سیگنال بزرگ طبقه دیفرانسیلی

۱۱۴	۳-۳-۱ رفتار سیگنال بزرگ برای ورودی‌های مشترک و محدوده‌ی تغییرات ورودی
۱۱۵	۳-۳-۲ رفتار سیگنال بزرگ برای ورودی‌های دیفرانسیلی یا مشخصه ورودی - خروجی طبقه دیفرانسیلی
۱۱۶	۳-۳-۳ محاسبه مشخصه ورودی - خروجی طبقه دیفرانسیلی
۱۱۸	۳-۴-۴ ضریب تقویت ولتاژ طبقه دیفرانسیلی
۱۱۸	۳-۴-۱ ضریب تقویت طبقه دیفرانسیلی برای ورودی‌های یکسان
۱۲۳	۳-۴-۲ ضریب تقویت دیفرانسیلی
۱۳۰	۳-۴-۳ خروجی طبقه دیفرانسیلی به ازای دو ورودی دلخواه
۱۳۲	۳-۵ طبقه دیفرانسیلی با ترانزیستورهای کسکود
۱۳۵	۳-۶ طبقه دیفرانسیلی کسکود با بار از نوع منبع جریان
۱۴۰	۳-۶-۱ طبقه دیفرانسیلی کسکود با منابع جریان کسکود
۱۴۳	مسائل فصل ۳

۱۵۳	فصل ۴ منابع جریان و بار اکتیو
۱۵۳	۴-۱ منابع جریان
۱۵۳	۴-۱-۱ یک منبع جریان ساده
۱۵۵	۴-۱-۲ منبع جریان با استفاده از آینه جریان
۱۵۷	۴-۱-۳ آینه جریان کسکود
۱۶۰	۴-۱-۴ منبع جریان Wilson
۱۶۳	۴-۱-۵ منابع جریان ولتاژ پایین
۱۶۷	۴-۲ تقویت‌کننده دیفرانسیلی با بار اکتیو
۱۶۸	۴-۲-۱ محاسبه ضریب تقویت ولتاژ دیفرانسیلی
۱۷۲	۴-۲-۲ محاسبه ضریب تقویت ولتاژ دیفرانسیلی با استفاده از مدل دوقطبی
۱۷۳	۴-۲-۳ محاسبه‌ی ضریب تقویت ولتاژ مشترک
۱۷۹	۴-۳ تقویت‌کننده دیفرانسیلی کسکود با بار اکتیو
۱۸۱	۴-۳-۱ تقویت‌کننده دیفرانسیلی کسکود با بار اکتیو کسکود
۱۸۴	مسائل فصل ۴

۱۹۳.....	فصل ۵ تقویت‌کننده‌های یک و چند طبقه
۱۹۴.....	۱-۵ تقویت‌کننده تلسکوپی
۱۹۶.....	۲-۵ مدار folded-cascode یا کسکود تا شده
۱۹۹.....	۱-۲-۵ مدار کسکود تا شده دیفرانسیلی
۲۰۹.....	۲-۲-۵ مدار کسکود تا شده با ورودی Rail-to-Rail
۲۱۵.....	۳-۲-۵ مدار کسکود تا شده با آینه جریان
۲۲۰.....	۳-۵ افزایش ضریب تقویت یا Gain-Boosting
۲۲۵.....	۱-۳-۵ روش gain-boosting برای تقویت‌کننده‌های دیفرانسیلی
۲۲۶.....	۴-۵ تقویت‌کننده‌های چند طبقه
۲۲۷.....	۱-۴-۵ تقویت‌کننده‌های ولتاژ دو طبقه
۲۳۲.....	۲-۴-۵ تقویت‌کننده‌های بیش از دو طبقه
۲۳۳.....	مسائل فصل ۵

۲۳۹.....	فصل ۶ فیدبک
۲۴۱.....	۱-۶ ساختار شبکه عمومی فیدبک
۲۴۲.....	۱-۱-۶ معادلات شبکه عمومی فیدبک
۲۴۵.....	۲-۶ مدل کردن مدارهای فیدبک توسط شبکه‌های دو قطبی
۲۴۸.....	۱-۲-۶ فیدبک نوع "موازی - موازی"
۲۵۲.....	۲-۲-۶ فیدبک نوع "موازی - سری"
۲۵۶.....	۳-۲-۶ فیدبک نوع "سری - سری"
۲۵۹.....	۴-۲-۶ فیدبک نوع "سری - موازی"
۲۶۲.....	۳-۶ فیدبک واقعی و اثر بارگذاری مدار فیدبک
۲۶۳.....	۱-۳-۶ فیدبک موازی - موازی
۲۷۵.....	۲-۳-۶ فیدبک موازی - سری
۲۸۵.....	۳-۳-۶ فیدبک سری - سری
۲۹۵.....	۴-۳-۶ فیدبک سری - موازی
۳۰۵.....	مسائل فصل ۶

۳۱۳	رفتار فرکانسی	فصل ۷
۳۱۴	طبقه تقویت‌کننده سورس مشترک	۱-۷
۳۱۴	بررسی کیفی رفتار مدار	۱-۱-۷
۳۱۹	محاسبه تابع انتقال ولتاژ مدار سورس مشترک	۲-۱-۷
۳۲۶	مدار سورس مشترک و قضیه میلر	۳-۱-۷
۳۲۹	امپدانس ورودی و خروجی مدار سورس مشترک	۴-۱-۷
۳۳۰	طبقه درین مشترک (source follower)	۲-۷
۳۳۷	طبقه تقویت‌کننده گیت مشترک	۳-۷
۳۴۲	طبقه تقویت‌کننده کسکود	۴-۷
۳۴۵	طبقه تقویت‌کننده کسکود با منبع جریان کسکود به‌عنوان بار	۱-۴-۷
۳۴۷	طبقه تقویت‌کننده دیفرانسیلی	۵-۷
۳۵۰	طبقه دیفرانسیلی تلسکوپی	۱-۵-۷
۳۵۲	طبقه دیفرانسیلی با بار اکتیو (آینه جریان)	۲-۵-۷
۳۶۰	مدار کسکود تا شده (Folded cascade)	۳-۵-۷
۳۶۱	رفتار فرکانسی مدارهای چند طبقه	۶-۷
۳۶۵	مسائل فصل ۷	

۳۷۱	پایداری و پایدارسازی	فصل ۸
۳۷۱	پایداری و ناپایداری در حلقه فیدبک	۱-۸
۳۷۲	تقویت‌کننده تک قطبی در حلقه فیدبک	۱-۱-۸
۳۷۳	تقویت‌کننده با دو قطب در حلقه فیدبک	۲-۱-۸
۳۷۴	تقویت‌کننده با سه قطب یا بیشتر در حلقه فیدبک	۳-۱-۸
۳۷۵	بررسی پایداری و معیار پایداری	۲-۸
۳۷۶	علت ناپایداری	۱-۲-۸
۳۷۸	معیار پایداری	۲-۲-۸
۳۸۰	اندازه‌گیری ضریب تقویت حلقه از روی دیاگرام دامنه و فاز	۳-۲-۸
۳۸۵	پایدارسازی	۳-۸
۳۹۴	روش مداری برای پایین آوردن قطب اول	۱-۳-۸
۳۹۶	پایدارسازی با استفاده از روش میلر	۴-۸



۴۰۳	روش‌های بهبود پایدارسازی میلر	۵-۸
۴۰۴	استفاده از مقاومت سری با خازن جبران‌سازی	۱-۵-۸
۴۰۷	استفاده از طبقه Source follower در مدار جبران‌سازی فاز	۲-۵-۸
۴۱۰	استفاده از طبقه گیت مشترک در مدار جبران‌سازی فاز	۳-۵-۸
۴۱۳	سرعت تغییر خروجی - slew rate	۶-۸
۴۱۹	مدل‌سازی برای slew rate	۱-۶-۸
۴۲۲	مسائل فصل ۸	

۴۲۷	نویز	۹ فصل
۴۲۸	انواع نویز در مدارهای الکترونیکی	۱-۹
۴۳۳	مدل نویز	۲-۹
۴۳۳	مدل نویز قطعات غیر اکتیو	۱-۲-۹
۴۳۳	مدل نویز قطعات اکتیو	۲-۲-۹
۴۳۷	محاسبه‌ی نویز در خروجی مدار	۳-۹
۴۴۰	طیف فرکانسی دانسیته نویز یا Noise spectral density	۴-۹
۴۴۶	منابع نویز معادل در ورودی	۵-۹
۴۴۹	نویز در تقویت‌کننده‌های یک طبقه	۶-۹
۴۵۰	تقویت‌کننده سورس مشترک	۱-۶-۹
۴۵۲	تقویت‌کننده سورس مشترک با مقاومت در سورس	۲-۶-۹
۴۵۴	تقویت‌کننده گیت مشترک	۳-۶-۹
۴۵۵	طبقه Source follower	۴-۶-۹
۴۵۶	تقویت‌کننده کسکود	۵-۶-۹
۴۵۸	نویز در منابع و آینه‌های جریان	۷-۹
۴۶۰	نویز در طبقه تقویت‌کننده دیفرانسیلی	۸-۹
۴۶۰	طبقه دیفرانسیلی با بار مقاومتی	۱-۸-۹
۴۶۳	طبقه دیفرانسیلی با بار منبع جریان	۲-۸-۹
۴۶۵	طبقه دیفرانسیلی با بار اکتیو	۳-۸-۹
۴۶۶	نویز معادل ورودی در تقویت‌کننده‌های چند طبقه	۹-۹
۴۶۸	مسائل فصل ۹	

۴۷۵	تقویت‌کننده‌های عملیاتی	فصل ۱۰
۴۷۶	تقویت‌کننده‌های یک طبقه	۱-۱۰
۴۷۶	تقویت‌کننده یک طبقه با ساختار کسکود تا شده	۱-۱-۱۰
۴۸۰	تقویت‌کننده کسکود تا شده با ورودی Rail-to-Rail	۲-۱-۱۰
۴۸۱	تنظیم جریان در شاخه‌های کسکود تا شده با ورودی Rail-to-Rail	۳-۱-۱۰
۴۸۵	جفت‌های ورودی rail-to-rail همراه با قابلیت تثبیت $g_m$	۴-۱-۱۰
۴۸۷	تقویت‌کننده‌های با ساختار آینه جریان	۲-۱۰
۴۹۱	تقویت‌کننده آینه جریان از نوع کسکود تا شده	۱-۲-۱۰
۴۹۳	تقویت‌کننده‌های دو طبقه	۳-۱۰
۴۹۴	پایدارسازی فرکانسی تقویت‌کننده‌های دو طبقه	۱-۳-۱۰
۵۰۲	حذف قطب توسط صفر برای افزایش پهنای باند	۲-۳-۱۰
۵۰۷	تقویت‌کننده‌های سه طبقه	۴-۱۰
۵۰۸	پایدارسازی تقویت‌کننده‌های سه طبقه	۱-۴-۱۰
۵۱۳	ساختار مداری	۲-۴-۱۰
۵۱۴	بهبود پهنای باند تقویت‌کننده‌های سه طبقه	۳-۴-۱۰
۵۱۶	تقویت‌کننده‌های با ورودی و خروجی دیفرانسیلی	۵-۱۰
۵۱۷	مشخصات کلی تقویت‌کننده‌های با خروجی دیفرانسیلی	۱-۵-۱۰
۵۲۰	نقطه کار مدار و نیاز به CMFB	۲-۵-۱۰
۵۲۲	فیدبک نوع مشترک (CMFB)	۶-۱۰
۵۲۵	حلقه‌ی CMFB	۱-۶-۱۰
۵۲۹	مدار CMFB با استفاده از جفت ترانزیستور در ناحیه مقاومتی	۲-۶-۱۰
۵۳۳	مدار CMFB با استفاده از جفت ترانزیستور در ناحیه اشباع	۳-۶-۱۰
۵۳۵	مدار CMFB از نوع جریانی	۴-۶-۱۰
۵۳۷	تقویت‌کننده‌های کلاس AB	۷-۱۰
۵۳۹	تقویت‌کننده دو طبقه با طبقه خروجی کلاس AB	۱-۷-۱۰
۵۴۷	تقویت‌کننده‌های جریان	۸-۱۰
۵۵۰	ساختار مداری تقویت‌کننده‌های جریان	۱-۸-۱۰
۵۵۴	تقویت‌کننده جریان کلاس AB	۲-۸-۱۰
۵۵۷	مسائل فصل ۱۰	

۵۶۷	طراحی روش مند تقویت کننده‌ها	۱۱ فصل
۵۶۸	تقویت کننده یک طبقه ساده با بار اکتیو	۱-۱۱
۵۷۱	تقویت کننده تلسکوپی	۲-۱۱
۵۷۵	تقویت کننده کسکود تا شده	۳-۱۱
۵۸۲	تقویت کننده‌های آینه جریان	۴-۱۱
۵۸۴	تقویت کننده‌های دو طبقه	۱-۴-۱۱
۵۸۵	تقویت کننده دو طبقه با خازن جبران سازی	۲-۴-۱۱
۵۸۹	جبران سازی همراه با تغییر مکان صفر سمت راست	۳-۴-۱۱
۵۹۲	جبران سازی با استفاده از بافر جریانی	۴-۴-۱۱
۵۹۵	مسائل فصل ۱۱	

۵۹۹	منابع ولتاژ و جریان مرجع	۱۲ فصل
۶۰۰	اصول طراحی یک منبع جریان مرجع مستقل از منبع تغذیه	۱-۱۲
۶۰۶	منابع جریان مستقل از منبع تغذیه	۲-۱۲
۶۰۶	استفاده از ولتاژ $V_{th}$ برای تولید منبع جریان	۱-۲-۱۲
۶۰۷	استفاده از $V_{BE}$ برای تولید جریان مرجع	۲-۲-۱۲
۶۰۹	منابع ولتاژ مستقل از منبع تغذیه	۳-۱۲
۶۰۹	منبع ولتاژ بر اساس $\Delta V_{th}$	۱-۳-۱۲
۶۱۰	منبع ولتاژ بر اساس $\Delta V_{BE}$	۲-۳-۱۲
۶۱۱	منبع ولتاژ Band-Gap Reference	۴-۱۲
۶۱۷	محاسبه ضریب حرارتی $V_{BE}$	۵-۱۲
۶۲۱	اثرات غیرایده آل در رفتار مدار band-gap	۶-۱۲
۶۲۱	اثر تغییرات ولتاژ منبع تغذیه	۱-۶-۱۲
۶۲۳	اثر offset و mismatch	۲-۶-۱۲
۶۲۵	اثر محدودیت پهنای باند و سرعت	۳-۶-۱۳
۶۲۸	مدار band-gap ولتاژ پائین	۷-۱۲
۶۳۰	مسائل فصل ۱۲	

۶۳۵.....	اثرات کانال کوتاه.....	فصل ۱۳
۶۳۷.....	کوچک کردن ابعاد ترانزیستورها (Scaling)	۱-۱۳
۶۳۹.....	مشخصات ترانزیستور کوچک شده (scaled)	۱-۱-۱۳
۶۴۲.....	رفتار مدار با ترانزیستور کوچک سازی شده.....	۲-۱-۱۳
۶۴۳.....	اثر کوچک سازی ترانزیستور در مدارهای دیجیتال.....	۳-۱-۱۳
۶۴۴.....	انحراف از قوانین scaling.....	۲-۱۳
۶۴۶.....	اثرهای کانال کوتاه.....	۳-۱۳
۶۴۶.....	کم شدن ولتاژ $V_{th}$ .....	۱-۳-۱۳
۶۴۷.....	پایین آمدن سد پتانسیل توسط درین (DIBL).....	۲-۳-۱۳
۶۴۹.....	کم شدن موبیلیتی در اثر افزایش میدان عمودی.....	۳-۳-۱۳
۶۴۹.....	اشباع سرعت حامل ها یا Velocity Saturation.....	۴-۳-۱۳
۶۵۲.....	اثر الکترون های با انرژی زیاد یا Hot Electron Effect.....	۵-۳-۱۳
۶۵۴.....	اثر عرض کم کانال یا Narrow Width Effect.....	۶-۳-۱۳
۶۵۴.....	جریان گیت.....	۷-۳-۱۳
۶۵۵.....	مدل ترانزیستور.....	۴-۱۳
۶۵۶.....	مدل BSIM.....	۱-۴-۱۳
۶۵۸.....	مسائل فصل ۱۳.....	

۶۶۱.....	طراحی مدار در تکنولوژی های با کانال کوتاه.....	فصل ۱۴
۶۶۶.....	طراحی با استفاده از مشخصات ترانزیستور مرجع.....	۱-۱۴
۶۶۸.....	طراحی برای $I_D$ و $g_m$ داده شده.....	۱-۱-۱۴
۶۶۹.....	طراحی برای $I_D$ و $V_{DS,min}$ داده شده.....	۲-۱-۱۴
۶۷۱.....	طراحی برای $g_m$ و $V_{DS,min}$ داده شده.....	۳-۱-۱۴
۶۷۱.....	طراحی به روش $\frac{g_m}{I_D}$ .....	۲-۱۴
۶۷۶.....	مقاومت خروجی و ضریب تقویت ولتاژ.....	۱-۲-۱۴
۶۸۴.....	مسائل فصل ۱۴.....	

۶۸۷.....	عدم تشابه (mismatch) و بازدهی (yield).....	فصل ۱۵
۶۸۸.....	اثرات عدم تشابه در مدار.....	۱-۱۵
۶۸۸.....	ولتاژ افست در طبقه تقویت کننده دیفرانسیلی.....	۱-۱-۱۵
۶۹۲.....	افست جریان در مدارهای منبع جریان و آینه جریان.....	۲-۱-۱۵
۶۹۴.....	ولتاژ افست طبقه دیفرانسیلی با بار اکتیو یا بار منبع جریان.....	۳-۱-۱۵
۶۹۶.....	تبدیل سیگنال مشترک به دیفرانسیلی در اثر عدم تشابه در طبقه دیفرانسیلی.....	۴-۱-۱۵
۶۹۹.....	مدل سازی تغییرات احتمالی.....	۲-۱۵
۷۰۲.....	مدل تغییرات پارامترهای ترانزیستور و عدم تشابه.....	۱-۲-۱۵
۷۰۷.....	محاسبه عدم تشابه و تغییر در جریان درین.....	۲-۲-۱۵
۷۱۰.....	مسائل فصل ۱۵.....	۱۵

۷۱۳.....	اثرات غیرخطی و روش های خطی سازی.....	فصل ۱۶
۷۱۶.....	اعوجاج در مدارهای غیرخطی و مدلسازی آن.....	۱-۱۶
۷۱۷.....	اعوجاج هارمونیک (Harmonic Distortion).....	۱-۱-۱۶
۷۱۹.....	اعوجاج از نوع ترکیب سیگنال ها یا Intermodulation Distortion.....	۲-۱-۱۶
۷۲۳.....	انتقال مدولاسیون در اثر اعوجاج (cross-modulation).....	۳-۱-۱۶
۷۲۴.....	کاهش اعوجاج توسط فیدبک.....	۲-۱۶
۷۲۶.....	اعوجاج در ترانزیستورهای MOS.....	۳-۱۶
۷۳۲.....	کاهش اعوجاج در مدار سورس مشترک با قرار دادن مقاومت در سورس.....	۱-۳-۱۶
۷۳۴.....	اعوجاج در طبقه دیفرانسیلی.....	۲-۳-۱۶
۷۳۵.....	خطی سازی طبقه دیفرانسیلی.....	۴-۱۶
۷۳۹.....	استفاده از ترانزیستور به جای مقاومت در سورس جفت دیفرانسیلی.....	۱-۴-۱۶
۷۴۰.....	افزایش محدوده ی ورودی برای خطی سازی.....	۲-۴-۱۶
۷۴۱.....	خطی سازی توسط ترکیب جریان های خروجی.....	۳-۴-۱۶
۷۴۳.....	فیلترهای $G_m - C$ .....	۵-۱۶
۷۴۳.....	ساختار کلی فیلترهای $G_m - C$ .....	۱-۵-۱۶
۷۴۷.....	فیلترهای $G_m - C$ بر اساس ساختار مدارهای LC.....	۲-۵-۱۶
۷۵۰.....	انتخاب مدار $G_m$ مناسب.....	۳-۵-۱۶
۷۵۱.....	مسائل فصل ۱۶.....	۱۶

۷۵۷.....	مدارهای سویچ و خازن.....	۱۷ فصل
۷۵۸.....	مدارهای نمونه‌برداری سویچ و خازن (sample-and-hold).....	۱-۱۷
۷۶۰.....	سویچ MOS.....	۱-۱-۱۷
۷۶۵.....	محاسبه سرعت در مدار نمونه بردار.....	۲-۱-۱۷
۷۶۸.....	مدارهای سویچ و خازن اکتیو.....	۲-۱۷
۷۶۹.....	مدار نمونه‌بردار اکتیو.....	۱-۲-۱۷
۷۷۱.....	دقت در مدار نمونه‌بردار اکتیو.....	۲-۲-۱۷
۷۷۴.....	محاسبه سرعت در مدار نمونه بردار اکتیو.....	۳-۲-۱۷
۷۷۵.....	تقویت‌کننده سویچ و خازن.....	۳-۱۷
۷۷۷.....	مدار انتگرال‌گیر سویچ - خازن (Switched Capacitor Integrator).....	۴-۱۷
۷۷۹.....	انتگرال‌گیر غیر حساس به اثرات پارازیتی.....	۱-۴-۱۷
۷۸۲.....	تابع انتقال انتگرال‌گیر غیر حساس به اثرات پارازیتی در میدان فرکانس.....	۲-۴-۱۷
۷۸۳.....	فیلترهای سویچ - خازن (Switched-Capacitor Filters).....	۵-۱۷
۷۸۳.....	روش flow-graph در طراحی فیلترهای سویچ - خازن.....	۱-۵-۱۷
۷۸۸.....	استفاده از تبدیل Bilinear.....	۲-۵-۱۷
۷۹۱.....	کاهش تعداد سویچ‌ها از طریق اشتراک سویچ‌ها یا Switch Sharing.....	۳-۵-۱۷
۷۹۲.....	فیلترهای درجه دوم (Biquad).....	۴-۵-۱۷
۷۹۶.....	استفاده از ساختار فیلترهای LC در طراحی فیلتر سویچ - خازن.....	۵-۵-۱۷
۷۹۹.....	مسائل فصل ۱۷.....	۱۷ فصل

۸۰۳.....	جانمایی.....	۱۸ فصل
۸۰۳.....	قوانین جانمایی.....	۱-۱۸
۸۰۴.....	جانمایی ترانزیستور.....	۲-۱۸
۸۰۷.....	جانمایی ترانزیستورهای مشابه (matched).....	۳-۱۸
۸۰۹.....	اجزاء غیرفعال (Passive).....	۴-۱۸
۸۰۹.....	مقاومت.....	۱-۴-۱۸
۸۱۱.....	خازن.....	۲-۴-۱۸
۸۱۴.....	اتصالات بین اجزاء مدار (Interconnects).....	۵-۱۸
۸۱۸.....	Antenna Effect.....	۱-۵-۱۸

---

۸۱۸.....	صفحات اتصال به محیط خارج از مدار مجتمع (Bonding Pads)	۶-۱۸
۸۱۹.....	محافظت در مقابل الکتریسیته ساکن (ESD Protection)	۷-۱۸
۸۲۱.....	اثر نویز و ارتباط از طریق بدنه (Substrate Noise)	۸-۱۸
۸۲۴.....	اثرات حرارتی	۹-۱۸
۸۲۶.....	اثرات تنش مکانیکی	۱۰-۱۸
۸۲۶.....	بسته‌بندی یا Packaging	۱۱-۱۸
۸۲۹.....	نمایه	