

به نام آنکه جان را فکرت آموخت

# Op Amps

## تقویت کننده‌های عملیاتی و کاربردهای آن

ترجمه:

مهدی زینالی

(دانشجوی دکترای برق دانشگاه صنعتی امیرکبیر)

یاشار سرباز

(دکترای مهندسی پزشکی دانشگاه صنعتی امیرکبیر)



دکتابخانه

سرشناسه	ترل، دیوید ال Terrell, David L.
عنوان و نام پدیدآور	تقویت‌کننده‌های عملیاتی و کاربردهای آن/OP AMPS = [دیوید ترل]؛
مشخصات نشر	ترجمه مهدی زینالی، یاشار سرباز.
مشخصات ظاهری	تهران: فدک ایستاتیس، ۱۳۹۰.
شابک	۴۷۴ ص: مصور، جدول، نمودار.
وضعیت فهرست نویسی	۵-۰۳۹-۱۶۰-۶۰۰-۹۷۸: ۱۲۰۰۰۰ ریال
یادداشت	فیفا
موضوع	عنوان اصلی، Op Amps : design, applications, and troubleshooting, 2nd ed, 1996.
شناسه افزوده	تقویت‌کننده‌های عملیاتی
شناسه افزوده	زینالی، مهدی، ۱۳۵۷-، مترجم
رده بندی کنگره	سرباز، یاشار، ۱۳۶۰-، مترجم
رده بندی دیویی	۱۳۹۰ ت۴ع/TK۷۸۷۱/۵۸
شماره کتابشناسی ملی	۶۲۱/۳۹۵
	۲۴۴۵۱۲۴

# Op Amps

## تقویت‌کننده‌های عملیاتی و کاربردهای آن



ترجمه	: مهدی زینالی - یاشار سرباز
مدیر تولید	: مجیدرضا زروئی
صفحه‌آرایی	: واحد تولید انتشارات فدک ایستاتیس (مریم یوزباشی)
نوبت چاپ	: اول-۱۳۹۰
تیراژ	: ۱۰۰۰
چاپ و صحافی	: گنج‌شایگان
قیمت	: ۱۲۰۰۰۰ ریال
شابک	: ۵-۰۳۹-۱۶۰-۶۰۰-۹۷۸

دفتر انتشارات : تهران - خیابان انقلاب - خیابان اردیبهشت - بین‌بافی‌نژاد و جمهوری - ساختمان ۱۰  
 تلفن: ۶۶۴۶۵۸۳۱ - ۶۶۴۸۱۰۹۶ - ۶۶۴۸۲۲۲۱  
 نمایندگی تهران : خیابان انقلاب - نیش ۱۲ فروردین - پلاک ۱۳۱۲ - انتشارات صانعی  
 تلفن: ۶۶۴۰۹۹۲۴ - ۶۶۴۰۵۳۸۵  
 فروشگاه یزد: میدان آزادی (باغ ملی) - ابتدای خیابان فرخی - جنب مجتمع ستاره  
 تلفن: ۶۲۲۷۴۷۵ - ۶۲۲۶۷۷۱ - ۶۲۲۶۷۷۲  
[www.fadakbook.ir](http://www.fadakbook.ir) - [info@fadakbook.ir](mailto:info@fadakbook.ir)

کلیه حقوق و حق چاپ متن و عنوان کتاب که به ثبت رسیده است؛ مطابق با قانون حقوق مولفان و مصنفان مصوب ۱۳۴۸ محفوظ و متعلق به انتشارات فدک ایستاتیس می‌باشد. هرگونه برداشت، تکثیر، کپی برداری به هر شکل (چاپ، فتوکپی، انتشار الکترونیکی) بدون اجازه کتبی از انتشارات فدک ایستاتیس ممنوع بوده و متخلفین تحت پیگرد قانونی قرار خواهند گرفت.

معاونت حقوقی  
 انتشارات فدک ایستاتیس

## مقدمه

ایده به کار بردن تقویت کننده‌های عملیاتی از دهه ۱۹۴۰ میلادی در مدار کامپیوترهای آنالوگ برای اولین بار مطرح شد. به تدریج با گسترش دامنه کاربرد الکترونیک، استفاده از تقویت کننده عملیاتی نیز بسیار توسعه یافت. در سال ۱۹۶۰ میلادی اولین بار تقویت کننده عملیاتی به صورت مدار مجتمع طراحی و ساخته شد و با حجم، وزن و قیمت به مراتب کمتر به بازار مصرف ارائه گردید. امروزه تقویت کننده‌های عملیاتی به عنوان یکی از مهمترین اجزای مدارهای الکترونیکی مطرح می‌باشند، و کمتر مدار الکترونیکی آنالوگی را می‌توان متصور شد که در آن از چنین تقویت کننده‌هایی استفاده نشده باشد. این نوع تقویت کننده‌ها از پایداری بالایی برخوردارند و با اتصال ترکیب مناسبی از عناصر الکترونیکی خارجی مثل مقاومت، خازن، دیود و غیره به آنها، می‌توان انواع عملیات خطی و غیرخطی را انجام داد. از طرف دیگر پیشرفت فناوری و مطرح شدن نیازهای متنوع تر و تخصصی تر، زمینه را برای عرضه تقویت کننده‌های عملیاتی خاص برای کاربردهای خاص و مشخصات خاص، فراهم نموده است.

با وجود اهمیت بسیار بالای این نوع تقویت کننده‌ها، اما در رشته مهندسی برق و حتی گرایش الکترونیک، هیچ درس مشخصی با یک سرفصل کامل از تقویت کننده‌های عملیاتی تدریس نمی‌شود و مباحث مربوط به آن به صورت بسیار پراکنده و اجمالی در دروسی مانند مدارهای الکتریکی ۱ و ۲، الکترونیک ۱ و ۲، تکنیک پالس و برخی دروس مشابه دیگر بیان می‌شوند. به طوری که در هر یک از دروس مذکور، مطالب مربوط به تقویت کننده‌های عملیاتی با دید آن درس مطرح شده و به صورت مستقل بررسی نمی‌شود. بسیاری از دانشجویان حتی در انتهای دوره تحصیلی مقطع کارشناسی خود شناختی صحیح و کاربردی از این المان الکترونیکی پر کاربرد ندارند. بسیار مشاهده شده است که دانشجویان تفاوت‌های مهم تقویت کننده‌های عملیاتی ایده‌آل با واقعی را ندانسته و در مدارهایی که به صورت عملی طراحی می‌کنند، به دنبال ویژگی‌های ایده‌آل تقویت کننده‌های عملیاتی می‌گردند، و اکثراً هم موفق به طراحی صحیح نمی‌شوند. با توجه به تجربه چندین ساله مترجمین این کتاب در تدریس دروس مدار، الکترونیک و تکنیک پالس در دانشگاه‌های مختلف کشور، وجود درس یا کتاب مرجعی برای تقویت کننده‌های عملیاتی به شدت احساس می‌شد. از طرفی برنامه‌ریزی رشته‌های دانشگاهی، به گونه‌ای است که اضافه کردن درسی با نام تقویت کننده‌های عملیاتی مشکل می‌باشد به

همین دلیل وجود کتابی مرجع که به تنهایی به بررسی تقویت‌کننده‌های عملیاتی بپردازد بسیار ضروری به نظر می‌رسد. این کتاب می‌تواند به‌عنوان مرجع و مکمل مناسبی برای دروس بیان شده به‌کار رود.

در پایان از مدیریت محترم انتشارات فدک ایساتیس جناب آقای مجیدرضا زروئی که زحمت آماده‌سازی و چاپ کتاب را تقبل نمودند تشکر و قدردانی می‌کنیم. همچنین منتظر نظرات و پیشنهادات خوانندگان محترم برای رفع نقایص کتاب هستیم.

یاشار سرباز - مهدی زینالی

تابستان ۱۳۹۰

# فهرست مطالب

## فصل ۱ مفاهیم پایه در تقویت‌کننده‌ی عملیاتی مجتمع

نگاهی اجمالی به تقویت‌کننده‌های عملیاتی ۳	۱.۱
یادآوری مفاهیم پایه‌ای مهم ۸	۲.۱
مشخصات اصلی آپ‌امپ ایده‌آل ۱۷	۳.۱
مقدمه‌ای بر آپ‌امپ‌های کاربردی ۲۳	۴.۱
ملزومات ساختار مداری ۳۲	۵.۱
تخلیه الکتریکی ۴۰	۶.۱

## فصل ۲ تقویت‌کننده‌ها

اصول تقویت‌کننده ۴۷	۱.۲
تقویت‌کننده‌ی وارون‌گر ۵۰	۲.۲
تقویت‌کننده ناوارون‌گر ۶۹	۳.۲
تعقیب‌کننده ولتاژ ۸۲	۴.۲
تقویت‌کننده جمع‌کننده وارون‌گر ۸۸	۵.۲
تقویت‌کننده جمع‌کننده غیروارون‌گر ۱۰۲	۶.۲
تقویت‌کننده با کوپلاژ AC ۱۰۶	۷.۲
تقویت‌کننده جریان ۱۲۰	۸.۲
تقویت‌کننده جریان بالا ۱۲۷	۹.۲
نکات عیب‌یابی برای مدارهای تقویت‌کننده ۱۳۷	۱۰.۲

## فصل ۳ مقایسه‌کننده ولتاژ

اساس کار مقایسه‌کننده‌های ولتاژ ۱۴۳	۱.۳
آشکارساز عبور از صفر ۱۴۴	۲.۳
آشکارساز عبور از صفر با هیستریزیس ۱۴۹	۳.۳

مقایسه‌کننده ولتاژ با هیستریزیس ۱۵۹	۴.۳
مقایسه‌کننده ولتاژ پنجره‌ای ۱۶۵	۵.۳
مقایسه‌کننده ولتاژ با محدودیت خروجی ۱۶۹	۶.۳
عیب‌یابی برای مقایسه‌کننده ولتاژ ۱۷۹	۷.۳

## فصل ۴ اسیلاتورها

اساس کار اسیلاتورها ۱۸۳	۱.۴
اسیلاتور پل‌وین ۱۸۴	۲.۴
اسیلاتور کنترل‌شونده با ولتاژ ۱۹۰	۳.۴
چرخه کار متغیر ۲۰۲	۴.۴
نوسان‌ساز موج مثلثی ۲۱۲	۵.۴
عیب‌یابی برای مدارهای نوسان‌ساز ۲۱۷	۶.۴
ملاحظات غیر ایده‌آل ۲۱۹	۷.۴

## فصل ۵ فیلترهای اکتیو

فیلترهای اساسی و مهم ۲۲۳	۱.۵
فیلتر پایین‌گذر ۲۲۵	۲.۵
فیلتر بالاگذر ۲۳۳	۳.۵
فیلتر میان‌گذر ۲۳۹	۴.۵
فیلتر میان‌نگذر ۲۴۸	۵.۵
نکات عیب‌یابی برای فیلترهای اکتیو ۲۵۸	۶.۵

## فصل ۶ مدارهای منبع تغذیه

تنظیم ولتاژهای ابتدایی ۲۶۳	۱.۶
تنظیم ولتاژ سری ۲۷۱	۲.۶
تنظیم ولتاژ موازی ۲۸۱	۳.۶
رگولاتورهای ولتاژ سویچینگ ۲۹۰	۴.۶
محافظت جریان بالا ۲۹۵	۵.۶
محافظت ولتاژ بالا ۲۹۸	۶.۶
پی‌بردن به خرابی منبع ۲۹۹	۷.۶
عیب‌یابی‌های مدارهای منبع تغذیه ۳۰۰	۸.۶

## فصل ۷ مدارهای پردازش سیگنال

دیود ایده‌آل ۳۰۷	۱.۷
مدارهای یکسوکنده ایده‌آل ۳۰۹	۲.۷
برشگر بایاس شده‌ی ایده‌آل ۳۱۸	۳.۷
شیفت‌دهنده ایده‌آل ۳۲۷	۴.۷
آشکارسازهای پیک ۳۳۶	۵.۷
انتگرال‌گیر ۳۴۴	۶.۷
مشتق‌گیر ۳۴۸	۷.۷
عیب‌یابی بخش‌های بیرونی مدارهای پردازش سیگنال ۳۵۷	۸.۷

## فصل ۸ تبدیل دیجیتال به آنالوگ و آنالوگ به دیجیتال

اساس مبدل $D/A$ و $A/D$ ۳۶۲	۱.۸
مبدل $D/A$ وزنی ۳۶۹	۲.۸
مبدل $D/A$ نردبانی R2R ۳۷۲	۳.۸
مبدل $A/D$ موازی ۳۷۴	۴.۸
مبدل $A/D$ دنبال‌کننده یا ردیاب ۳۷۵	۵.۸
مبدل $A/D$ شیب‌دوگان ۳۷۸	۶.۸
مبدل $A/D$ تقریب متوالی ۳۸۳	۷.۸

## فصل ۹ مدارهای تابع محاسباتی

جمع‌کننده ۳۸۹	۱.۹
تفریق‌کننده ۳۹۵	۲.۹
تقویت‌کننده متوسط‌گیر ۳۹۹	۳.۹
مدار قدر مطلق ۴۰۱	۴.۹
مدار تغییر علامت ۴۰۶	۵.۹
نکات عیب‌یابی ۴۱۱	۶.۹

## فصل ۱۰ مشخصات آپ‌امپ غیرایده‌آل

مشخصات غیرایده‌آل DC ۴۱۷	۱.۱۰
مشخصات غیرایده‌آل AC ۴۲۶	۲.۱۰

۳.۱۰ خلاصه و پیشنهادها ۴۳۷

## فصل ۱۱ ابزارهای تخصصی

آپامپ‌های قابل برنامه‌ریزی ۴۴۳	۱.۱۱
تقویت‌کننده‌های ابزار دقیق ۴۴۴	۲.۱۱
تقویت‌کننده‌های لگاریتمی ۴۴۸	۳.۱۱
تقویت‌کننده‌های آنتی‌لگاریتمی ۴۵۰	۴.۱۱
ضرب‌کننده/تقسیم‌کننده ۴۵۱	۵.۱۱
تقویت‌کننده‌های تک‌تغذیه ۴۵۵	۶.۱۱
تقویت‌کننده‌های عملیاتی هیبرید ۴۶۱	۷.۱۱

فهرست الفبایی ۴۶۳



# فصل اول

---

---

---

مفاهیم پایه در تقویت کننده‌ی  
عملیاتی مجتمع

---

---

---