

تقویت کننده های عملیاتی و کاربرد آن

(اصول ، مفاهیم و کاربردها)

مؤلفین:

مهندس مهدی مجتبابی

(عضو گروه ابزار دقیق نیروگاه اصفهان و مدرس دانشکده فنی شهید بهشتی اصفهان)

مهندس حسین مدیه

(رئیس انستیتو برق و مدرس دانشکده فنی شهید بهشتی اصفهان)

ویراستار: مهندس مریم نجفی

بهار ۱۳۹۳

سرشناسه	: مجتبیایی، مهدی، ۱۳۶۲ -
عنوان و نام پدیدآور	: تقویت‌کننده‌های عملیاتی و کاربرد آن (اصول، مفاهیم و کاربردها) / مؤلفین مهدی مجتبیایی، حسین مدیه.
مشخصات نشر	: اصفهان: کانون پژوهش، ۱۳۹۳.
مشخصات ظاهری	: ۲۲۰ص: مصور، جدول.
شابک	: 978-600-7305-07-2
حیثیت درست نویسی	: قییا
یادداشت	: کتابنامه.
موضوع	: تقویت‌کننده‌های عملیاتی
شناسه افزوده	: مدیه، حسین، ۱۳۵۰ -
رده بندی گره	: TK ۵۸/۷۸۷۱ م۳ ۵۸۱۳۹۳ /
رده بندی دیوید	: ۳۹۵/۶۲۱
شماره کتابشناسی	: ۳۴۷۰۰۳۳

تقویت‌کننده‌های عملیاتی و کاربرد آن (اصول، مفاهیم و کاربردها)

مؤلفین: مهندس مهدی مجتبیایی - مهندس حسین مدیه

ویراستار: مهندس مریم نجفی

ناشر: کانون پژوهش

نوبت چاپ: اول ۱۳۹۳

شمارگان: ۱۰۰۰ نسخه

شابک: ۲-۰۷-۷۳۰۵-۶۰۰-۹۷۸

کلیه حقوق محفوظ است.

قیمت: ۱۲۰۰۰ تومان

فهرست مطالب

۱۵.....	پیش‌گفتار
۱۷.....	فصل ۱- تقویت کننده‌های تفاضلی
۱۸.....	۱-۱- دلایل استفاده از تقویت کننده‌ی تفاضلی
۲۰.....	۲-۱- بررسی اثرات دینامیک تفاضلی:
۲۲.....	۱-۲-۱- بررسی h_{fe} تقویت کننده تفاضلی:
۲۵.....	۲-۲-۱- تجزیه و تحلیل سگنال‌های کوچک
۲۹.....	۳-۲-۱- تجزیه و تحلیل سیگنال کوچک
۳۳.....	۴-۲-۱- مقاومت‌های ورودی تقویت کننده تفاضلی
۳۷.....	فصل دوم: منابع جریان
۳۸.....	۱-۲- منبع جریان با ترانزیستور Bjt :
۴۰.....	محاسبه مقاومت خروجی:
۴۲.....	۲-۲- منبع جریان با استفاده از ترانزیستور $JFET$:
۴۳.....	محاسبه مقاومت خروجی:
۴۵.....	۳-۲- منبع جریان آینه‌ای:
۴۶.....	منبع جریان آینه‌ای با مشخصات تصحیح شده:
۴۸.....	منبع جریان آینه‌ای با مشخصات تصحیح شده (مقاومت‌های درامیتر):
۵۱.....	۴-۲- منبع جریان ویلار:

- ۵۳-۵-۲- منبع جریان آبشاری : ۵۳
- ۵۴-۶-۲- منبع جریان ویلسون: ۵۴
- ۵۴-۷-۲- استفاده از منابع جریان در تقویت‌کننده تفاضلی: ۵۴

فصل سوم : کاربرد $opamp$ (۱) ۵۷

- ۵۸-۱- ساختمان داخلی تقویت‌کننده‌های عملیاتی: ۵۸
- ۵۸-۲-۳- معرفی نماد تقویت‌کننده عملیاتی: ۵۸
- ۵۹-۳-۱- تقویت‌کننده عملیاتی ایده‌آل : ۵۹
- ۵۹-۳-۴- کاربرد $opamp$: ۵۹
- ۵۹-۳-۴-۱- تقویت‌کننده معکوس گر : ۵۹
- ۶۱-۳-۴-۲- تقویت‌کننده $inverting$ مثبت : ۶۱
- ۶۲-۳-۴-۳- جمع‌کننده : ۶۲
- ۶۳-۳-۴-۴- انتگرال‌گیر: ۶۳
- ۶۵-۳-۴-۵- مشتق‌گیر : ۶۵
- ۶۶-۳-۴-۶- یکسوساز نیم موج : ۶۶
- ۶۸-۳-۴-۷- یکسو ساز تمام موج : ۶۸
- ۶۹-نوع دیگر یکسوساز تمام‌موج : ۶۹
- ۷۱-۳-۴-۸- ژیراتورها : ۷۱
- ۷۲-الف : ژیراتور اول ۷۲
- ۷۳-ب: ژیراتور دوم ۷۳
- ۷۴-ج: ژیراتور سوم ۷۴
- ۷۶-۳-۴-۹- لگاریتم‌گیر : ۷۶
- ۷۹-رفع وابستگی رابطه به جریان اشباع معکوس دیود (I_0) : ۷۹
- ۸۰-رفع وابستگی مدار به V_T علاوه بر I_0 : ۸۰

۸۰	نوع دیگر لگاریتم گیر
۸۲	رفع وابستگی به V_T
۸۳	۱۰-۴-۳- آنتی لگاریتم گیر یا اکسپاننسل گیر
۸۵	کاربردهای لگاریتم گیر و exp
۸۶	۱۱-۴-۳- مبدل ولتاژ به جریان
۸۷	۱۲-۴-۳- مبدل جریان به ولتاژ
۸۸	۱۳-۴-۳- تقویت کننده تفاضلی (تفریق گر)
۸۹	۱۱-۴-۱- کاربرد OP-AMP در وسائل اندازه گیری
۹۰	۱۵-۴-۳- کامپاریسونر آنالوگ
۹۳	۱۶-۴-۳- مدل میل-رانتون
۹۴	۱۷-۴-۳- دیود دیتک
۹۵	۱۸-۴-۳- برش دهنده دقیق
۹۶	۱۹-۴-۳- کلمپر
۹۶	۲۰-۴-۳- آشکارساز پیک
۹۷	۲۱-۴-۳- اسیلاتور پل وین
۱۰۰	شرط بارک هاووزن

۱۰۱ فصل چهارم: کاربرد Opamp (۲)

۱۰۲	معرفی مدار پایه
۱۰۳	۱-۴- استفاده از مدار پایه جهت ساخت اشمیت تریگر
۱۰۴	۲-۴- مولتی ویراتور استابل
۱۰۶	بدست آوردن فرکانس نوسان
۱۰۶	۳-۴- مولتی ویراتور مونواستابل
۱۰۸	محاسبه زمان ناپایداری

- ۴-۴- مونواستابل دوباره تریگرشونده: ۱۰۹
- ۵-۴- اسیلاتور کنترل شونده با ولتاژ: ۱۱۰
- مدار کنترل بهره مثبت و منفی: ۱۱۲
- ۶-۴- نمونه برداری: ۱۱۴
- ۷-۴- مدار نمونه‌بردار - نگهدار: ۱۱۶
- ولد پالس پله یا پلکان یا مبدل D/A : ۱۱۸

فصل پنجم: فیلترهای فعال ۱۲۱

- ۱-۵- طراحی فیلترهای ایده آل: ۱۲۲
- ۲-۵- مشخصه فیلتر پائین‌گذر واقعی: ۱۲۳
- ۳-۵- فیلتر پایین‌گذر فعال: ۱۲۵
- ۴-۵- فیلترهای باترورث: ۱۲۹
- ۱-۴-۵- باترورث درجه ۱: ۱۳۰
- ۲-۴-۵- باترورث درجه ۲: ۱۳۰
- ۳-۴-۵- باترورث درجه ۳: ۱۳۲
- ۵-۵- ساخت مدار پائین‌گذر باترورث درجه ۱: ۱۳۴
- ۶-۵- فاکتور میرایی (K): ۱۳۵
- ۷-۵- ساخت مدار فیلتر باترورث درجه ۲: ۱۳۶
- ۸-۵- ساخت فیلتر میانگذر باترورث: ۱۴۰
- ۹-۵- عملکرد فیزیکی فیلتر میان‌گذر باترورث: ۱۴۷

فصل ششم: کاربرد $opamp$ (۳) ۱۴۹

- ۱-۶- تقویت‌کننده‌های ابزار دقیق: ۱۵۰
- ۲-۶- تقویت‌کننده‌های ایزوله: ۱۵۴

۱۵۵.....	۶-۲-۱- تقویت کننده‌های کوپلاژ ترانسفورمری :
۱۵۵.....	۶-۲-۲- تقویت کننده‌های کوپلاژ نوری :
۱۵۶.....	۶-۳- مبدل های D/A :
۱۵۷.....	دقت DAC :
۱۵۷.....	نوع دیگر D/A :
۱۵۸.....	۶-۴- مبدل‌های A/D :
۱۶۰.....	۶-۵- تقویت کننده‌های عملیاتی قدرت :
۱۶۳.....	۶-۶- مدل ولتاژ فرکانس :
۱۶۵.....	۶-۷- تبدیل فرکانس به ولتاژ :
۱۶۷.....	۶-۸- تقویت کننده‌های چاپر :
۱۶۸.....	۶-۹- ضرب کننده‌های آنالوگ :
۱۷۱.....	۶-۱۰- تقویت کننده‌های ویس و :
۱۷۳.....	فصل هفتم : تمرینها و مدارهای آزمایشگاهی
۱۷۴.....	۷-۱- مدارهای آزمایشگاهی.....
۱۷۴.....	۷-۱-۱- آزمایش اول : تقویت کننده وارونگر.....
۱۷۶.....	۷-۱-۲- تقویت کننده ناوارونگر.....
۱۷۹.....	۷-۱-۳- جمع کننده.....
۱۸۰.....	۷-۱-۴- تفریق کننده.....
۱۸۱.....	۷-۱-۵- انتگرال گیر.....
۱۸۳.....	۷-۱-۶- مشتق گیر.....
۱۸۴.....	۷-۱-۷- مقایسه کننده.....
۱۸۵.....	۷-۱-۸- مولتی ویراتور مونواستابل.....
۱۸۷.....	۷-۱-۹- مولتی ویراتور آستابل.....

- ۱۸۹ ۷-۱-۱۰-اسیلاتور سینوسی پل وین
- ۱۹۰ ۷-۱-۱۱-مبدل ولتاژ به فرکانس
- ۱۹۱ ۷-۱-۱۲-دیود دقیق
- ۱۹۱ ۷-۱-۱۳-برش دهنده دقیق
- ۱۹۲ ۷-۱-۱۴-یکسو ساز نیم موج دقیق
- ۱۹۲ ۷-۱-۱۵-قدر مطلق گیر
- ۱۹۳ ۷-۱-۱۶-آشکارساز پیک
- ۱۹۴ ۷-۱-۱۷-تایمر
- ۱۹۵ ۷-۱-۱۸-باین گذر فعال
- ۱۹۵ ۷-۲-تمرین

پیوست ۱: مدار داخلی ۲۰۹

مدار داخلی ۷۴۱: ۲۱۰

پیوست ۲: بررسی اجمالی چند ترانزیستور ۲۱۲

پ-۲-۱- تراشه LM3900 / LM 2900 ۲۱۲

پ-۲-۲- تراشه MC3340 ۲۱۲

پ-۲-۳- تراشه RC4200 ۲۱۲

پ-۲-۴- تراشه AD536A - AD637 - AD636 ۲۱۲

پ-۲-۵- تراشه 4302 ۲۱۳

پ-۲-۶- تراشه MPY100 ۲۱۳

پ-۲-۷- تراشه 4127 ۲۱۳

پ-۲-۸- تراشه AD524 ۲۱۳

پ-۲-۹- تراشه CA3040 ۲۱۳

پ-۲-۱۰- تراشه HA2539 ۲۱۳

۲۱۳.....	پ-۲-۱۱- تراشه NE/SE5539
۲۱۴.....	پ-۲-۱۲- تراشه LH0032
۲۱۴.....	پ-۲-۱۳- تراشه CLC 200
۲۱۴.....	پ-۲-۱۴- تراشه LM4250
۲۱۴.....	پ-۲-۱۵- تراشه LH0063/LH0033
۲۱۴.....	پ-۲-۱۶- تراشه 3554
۲۱۴.....	پ-۲-۱۷- تراشه OP 20
۲۱۵.....	پ-۲-۱- تراشه LM2907 / LM2917
۲۱۵.....	پ-۲-۱۹- تراشه MC1716C
۲۱۵.....	پ-۲-۲۰- تراشه 4503
۲۱۶.....	پیوست ۳: تعاریف کاتالوگی
۲۱۶.....	جریان بایاس ورودی : <i>INPUT BIAS CURRENT</i>
۲۱۶.....	جریان ترمیمی ورودی : <i>Input Offset Current</i>
۲۱۶.....	رانش حرارتی جریان ترمیمی ورودی : <i>Input Offset Current Drift</i>
۲۱۷.....	ولتاژ ترمیمی ورودی : <i>Input Offset Voltage</i>
۲۱۷.....	رانش حرارتی ولتاژ ترمیمی ورودی : <i>Input Offset Voltage Drift</i>
۲۱۷.....	ولتاژ ترمیمی خروجی : <i>Out Put Offset Voltage</i>
۲۱۷.....	حداکثر تغییرات سیگنال وجه مشترک ورودی : <i>Input Common Mode Range</i>
۲۲۰.....	منابع و مآخذ :

پیش گفتار

پس از سالهای متوالی تدریس درس مدارات مجتمع خطی (تقویت کننده های عملیاتی) در آموزشکده های فنی و حرفه ای و همچنین موسسات آموزش عالی غیرانتفاعی و علمی کاربردی، در دو مقطع ارشدانی پیوسته و کارشناسی ناپیوسته، خلاء وجود یک مرجع مناسب برای این درس که بتواند کل سرفصل مربوط به دو مقطع تحصیلی را پوشش دهد را احساس می کردیم. به همین دلیل تلاش شد کتاب جامعی در مورد کاربرد کاربردی را تهیه نموده و به جامعه علمی ارائه دهیم. کتابی که در پیش رو دارید مشتمل بر هفت فصل است.

فصل اول و دوم به اختصار به تقویت کننده های تفاضلی و منابع جریان می پردازد. در فصل سوم کاربردهای عمومی تقویت کننده های عملیاتی معرفی می شود. مدرسین محترم می توانند قبل از ورود به این فصل ضمیمه ۱ را به عنوان پیش نویس در اختیار بگیرند تا موجب سهولت یادگیری شود. فصل چهارم کاربرد *opamp* در پالس را معرفی می نماید. فصل پنجم به طور مفصل به فیلترهای فعال می پردازد. فصل ششم کاربردهای خاص تقویت کننده های عملیاتی را معرفی می نماید. این کاربردها نسبت به فصول قبل صنعتی تر هستند و در صنعت به راحتی با مدارات اینارد دقیق همخوانی دارند. توصیه می شود فصل ششم فقط برای دانشجویان مقطع کارشناسی تدریس شود. فصل هفتم مداراتی با مقادیر عملی ارائه شده است که می تواند در آزمایشگاه این درس به کار گرفته شود. تمامی مدارات قبلاً تست شده و پاسخ عملی آنها رویت گردیده است. همچنین تعدادی تمرین جهت استفاده دانشجویان گرامی در نظر گرفته شده است تا در پایان هر فصل بتوانند با رجوع به فصل هفتم خود را بسازند و بسازند.

امید است این اثر بتواند مورد بهره برداری تمامی علاقه مندان به مهندسی برق و الکترونیک و ابزار دقیق قرار بگیرد. از خوانندگان عزیز و همکاران محترم انتظار داریم نظرات اصلاحی و پیشنهادات خود را از طریق پست الکترونیک و یا توسط دانشکده فنی شهید مهاجر اصفهان ارسال نمایند. مولفان برسانند. نگارش و تدوین این کتاب بدون همکاری دانشجویان دانشکده فنی شهید مهاجر اصفهان ممکن نبود که بر خود لازم می دانیم از ایشان تشکر و قدردانی نماییم. همچنین از سرکار خانم مهدی صمیمی نجفی که زحمت ویرایش نهایی را تقبل نمودند سپاسگزاری می نماییم. همچنین مراتب سپاس و تشکر خود را از همکاری صمیمانه آقایان مهندس مدنی ریاست محترم و دکتر حقیقی معاونت محترم پژوهشی دانشکده فنی شهید مهاجر اصفهان ابراز می داریم.

بهار ۹۳

Mahdi_mogtabaee@yahoo.com مهدی مجتبابی

madiehj@yahoo.com حسین مدیه

سخن حامی:

صنعت برق به عنوان زیربنایی ترین صنعت در تمام کشورهای جهان، رسالت سنگین و حساس تمام برق مورد نیاز سایر بخش های اقتصادی، کشاورزی و اجتماعی را به عهده دارد. نیروگاه ها به عنوان تولیدکنندگان برق، رکن اصلی این صنعت را تشکیل می دهند. در کشور ما بیشترین سهم تولید برق را نیروگاه های حرارتی به عهده دارند که نیروگاه اسلام آباد اصفهان یکی از قدیمی ترین آنها در کشور محسوب می شود.

برای انباشت و تولید برق در نیروگاه های حرارتی، تخصص های گوناگونی از جمله مکانیک، برق، شیمی، مهندسی، مهندسی برق و متوازن از آب و سوخت ورودی به نیروگاه در احداثی تلف با انجام عملیات علمی و مهندسی، برق مورد نیاز مردم تولید و به شبکه سراسری تحویل داده می شود. بدیهی است در این رابطه همکاری و پیوند بین صنعت و دانشگاه می تواند در ارتقاء کیفیت فرایند تولید و دستیابی به تکنولوژی مورد نیاز مؤثر بوده، سرعت پیشرفت کشور را تسهیل و تعالی مثبت و سازنده ای بین آنها ایجاد نماید که ضامن توسعه و پیشرفت همه جانبه کشور باشد. زیرا تجربه گرانیهای عزیزانی که در نیروگاه مشغول خدمت می باشند باعث می شود تا نیازهای اساسی و ضروری این صنعت، مشخص و توسط دانش پژوهان، محققین و اساتید دانشگاه به فاعل مورد نیاز تبدیل و به کارگیری شود.

اکنون که آقای مهندس مهدی مجتبیایی، با وجود مسئولیتهای کار فنی در نیروگاه، همت به تدوین این کتاب نموده اند، شرکت مدیریت تولید برق اصفهان نیز آن را به فال نیک گرفته و از این کار ارزشمند، حمایت مادی و معنوی بعمل می آورد. باشد تا در هرچند کوچک در جهت انجام مسئولیت خطیر اجتماعی سازمان خود و کمک به تعلیم و تربیت دانش پژوهان مستعد این مرز و بوم برداشته باشیم.

در پایان از همه کسانی که در تدوین و چاپ این کتاب، همکاری داشته اند و تسکین و قدردانی می نمایم.

محمدرضا شیرانی

مدیر عامل شرکت مدیریت تولید برق اصفهان