

محدودیت های تقویت کننده عملیاتی

نویسنده: اوژن کی نژاد

در این مقاله آموزشی به محدودیت های یک تقویت کننده عملیاتی (op-amp) غیر ایده آل بصورت فهرست وار اشاره می شود:

۱- محدوده تغذیه: حداکثر اختلاف بین تغذیه مثبت و منفی در یک تقویت کننده عملیاتی دارای مقدار محدود و مشخصی است که در برگیرنده مشخصات تقویت کننده از طرف کارخانه سازنده ذکر می شود. همچنین حداقل اختلاف بین تغذیه مثبت و منفی هم دارای مقدار مشخص و محدودی است که با اعمال مقادیر کمتر از این محدوده، تقویت کننده عملکرد مطلوبی نخواهد داشت.

۲- محدوده ورودی ها: محدوده ولتاژ اعمال شده به ورودی ها به مقدار تغذیه وابسته است و بسته به شماره تقویت کننده ممکن است ورودی ها بتوانند مقادیری تا حداکثر مقدار تغذیه مثبت یا منفی و در مواد معدودی تا هر دو تغذیه را بپذیرند. اما در بسیاری از شماره ها، محدوده مجاز برای ورودی ها کمتر از محدوده تغذیه است. به عنوان مثال اگر تغذیه مثبت به ولتاژ ۱۲ ولت متصل باشد، حداکثر مقدار مجاز برای اتصال به ورودی های تقویت کننده بسته به شماره تقویت کننده ولتاژی در حد ۱۲ ولت یا کمتر است.

۳- محدوده خروجی: خروجی یک تقویت کننده عملیاتی، حداکثر محدود به تغذیه آن تقویت کننده است. به این معنی که خروجی تقویت کننده نمی تواند فراتر از محدوده اعمال شده به تغذیه را تولید کند. میزان حداکثر و حداقل خروجی تقویت کننده عملیاتی به عنوان ولتاژ اشباع مثبت و منفی شناخته می شود و مقدار آن نسبت به تغذیه در شماره های مختلف متفاوت است. در بسیاری از شماره ها ولتاژ اشباع مثبت کمتر از تغذیه مثبت و ولتاژ اشباع منفی بزرگتر از تغذیه منفی است. در بعضی شماره ها هم امکان تولید خروجی تا تغذیه منفی یا مثبت و در مواد معدودی تا هر دو تغذیه وجود دارد.

۴- محدودیت جریان خروجی: حداکثر جریان دهی در خروجی تقویت کننده های عملیاتی (به جز موارد خاص) به چند میلی آمپر تا چند ده میلی آمپر محدود می شود.

۵- غیر صفر بودن امپدانس خروجی: امپدانس خروجی در یک تقویت کننده عملیاتی واقعی دارای مقدار غیر صفر است.

۶- محدود بودن مقاومت ورودی: مقاومت ورودی در تقویت کننده های عملیاتی واقعی بی نهایت نیست و بنابراین جریانی به ورودی ها وارد می شود. به این جریان اصطلاحاً جریان بایاس گفته می شود. مقاومت ورودی در تقویت کننده های با طبقه ورودی FET بسیار بزرگتر از تقویت کننده های با ورودی BJT است. امپدانس ورودی یک تقویت کننده دارای یک مشخصه وابسته به فرکانس است.

۷- جریان Offset: با توجه به برابر نبودن جریان بایاس در دو ورودی، اختلاف این دو جریان به عنوان جریان Offset شناخته می شود که می تواند منجر به ایجاد ولتاژهای ناخواسته در مدار شود.

۸- ولتاژ Offset: به غیر از بحث بهره مشترک که در ادامه به آن اشاره می شود، اتصال دو ورودی تقویت کننده به یکدیگر و صفر کردن اختلاف پتانسیل بین دو ورودی ممکن است منجر به خروجی غیر صفر شود که این امر ناشی از اختلاف نقاط کار در مدارات داخلی تقویت کننده عملیاتی است و با یک منبع ولتاژ داخلی به عنوان ولتاژ Offset مدل می شود. به بیان دیگر ولتاژ Offset ولتاژی است که اعمال آن بین دو ورودی تقویت کننده موجب صفر شدن خروجی خواهد شد.

۹- محدود بودن بهره حلقه باز: بهره یا گین حلقه باز در تقویت کننده واقعی بی نهایت نیست و بسته به شماره تقویت کننده در حدود صدهزار تا یک میلیون (یا بیشتر) است.

۱۰- تقویت مقدار مشترک دو ورودی: یک تقویت کننده عملیاتی واقعی علاوه بر آنکه اختلاف بین دو ورودی خود را تقویت می کند، مقدار مشترک دو ورودی را هم با بهره بسیار کمتری تقویت می کند. مثلاً اگر هر دو ورودی به ولتاژ ۱ ولت متصل باشند، نسبت به شرایطی که هر دو به ۱۵ ولت متصل باشند، خروجی های متفاوتی تولید می شود (با وجود صفر بودن تفاضل دو ورودی) و این یک عملکرد نامطلوب است. نسبت بهره تفاضلی به بهره مشترک CMRR یا Common Mode Rejection Ratio نامیده می شود که هر چه بیشتر باشد، به وضعیت ایده آل نزدیک تر است.

۱۱- وابستگی بهره حلقه باز به فرکانس: بهره حلقه باز با افزایش فرکانس کاهش می یابد و در فرکانس های بالا، بهره می تواند تا حد یک یا حتی کوچکتر از یک (تضعیف به جای تقویت) هم کاسته شود. بنابراین تقویت کننده عملیاتی دارای یک مشخصه پائین گذر است و به عنوان یک فیلتر پائین گذر عمل می کند.

۱۲- محدوده دما: دمای مجاز برای یک تقویت کننده عملیاتی غیر ایده آل دارای مرزهای مشخص و محدود است.

۱۳- وابستگی پارامترها به دما: محدوده پارامترهای مختلف یک تقویت کننده در دماهای مختلف متفاوت است. همچنین به دلیل تغییر در نقطه کار و جریان های نشتی مدارات داخلی، مقادیر Offset در دماهای مختلف فرق می کند که به این تغییرات وابسته به دما در اصطلاح Drift حرارتی گفته می شود.

۱۴- وابستگی Offset به تغذیه: مقدار Offset در مقادیر مختلف تغذیه می تواند متفاوت باشد که این وابستگی از طریق پارامتری به نام PSRR (Power Supply Rejection Ratio) بیان می شود.

۱۵- شیف فاز: به دلیل مشخصه پائین گذر تقویت کننده عملیاتی و از دیدگاه بهره حل باز، فاز سیگنال خروجی نسبت به ورودی در فرکانس های مختلف متفاوت است.

۱۶- نویز خروجی: در خروجی هر تقویت کننده عملیاتی میزان مشخصی از نویز ایجاد می شود که این مشخصه تولید نویز در شماره های مختلف متفاوت است.

۱۷- Slew Rate: حداکثر شیب مجاز تغییرات سیگنال در خروجی تقویت کننده دارای مقدار مشخصی است که این امر به معنای وجود محدودیت در مشتق سیگنال خروجی است. مقدار حداکثر این مشتق در برکه اطلاعات هر تقویت کننده عملیاتی

توسط کارخانه سازنده اعلام می شود. به عنوان مثالی از تاثیر وجود این محدودیت، اگر یک ولتاژ سینوسی در خروجی تقویت کننده در حال ایجاد باشد، با ثابت نگه داشتن فرکانس و افزایش دامنه سینوسی، مقدار مشتق خروجی شروع به افزایش می کند و اگر مقدار این مشتق به مرز Slew Rate برسد، افزایش بیشتر دامنه موجب اعوجاج در شکل موج خواهد شد. زیرا دامنه تا حدی می تواند در یک فرکانس ثابت افزایش پیدا کند که محدودیت مذکور نقض نشود. همین امر در دامنه ثابت و فرکانس متغیر هم قابل بررسی است. به این ترتیب که با افزایش فرکانس به دلیل ظاهر شدن مقدار فرکانس در مشتق، از یک فرکانس به بعد در خروجی اعوجاج ایجاد می شود و این محدودیت فرکانس ناشی از Slew Rate با بحث وابسته بودن بهره حلقه باز به فرکانس در تقویت کننده عملیاتی متفاوت است.

(نقل مطالب با ذکر منبع آزاد است)