|  |
| --- |
| **روش‌های اندازه‌گیری پارامترهای آپ امپ LM324, LM358**  **برای اندازه‌گیری ولتاژ آفست ورودی از مداری به شکل زیر استفاده می‌کنیم:**      شکل ۱ مدار تست ولتاژ آفست ورودی آپ‌امپ  فرمول محاسبه مقدار Vos  **دستورالعمل استفاده از دستگاه تست برای کنترل کیفیت آپ‌امپ‌ها**   * آپ‌امپی که قرار است میزان ولتاژ آفست آن اندازه‌گیری شود، با عنوان **DUT (Device Under Test)** مشخص شده است. * دقت مقاومت‌های R5 و R2 باید حداکثر **یک درصد** یا کمتر باشد.(در صورت ساخت دستگاه جدید، مقادیر دقیق این مقاومت‌ها با استفاده از **RLC** متر اندازه‌گیری شده و در نرم‌افزار وارد و به‌روزرسانی ‌شوند.) * آپ‌امپ دوم که در شکل با عنوان **(Opamp)** مشخص شده است، می‌تواند از نوع آپ‌امپ مورد اندازه‌گیری یا مشابه آن باشد. در این پروژه از **LM358** استفاده شده است. * مقادیر و مشخصات باید **بر اساس دیتاشیت بررسی شوند**، چرا که آپ‌امپ‌های خریداری‌شده از شرکت‌های مختلف ممکن است تفاوت‌هایی داشته باشند. به عنوان مثال، مدل LM358 در نسخه‌های ST، Texas Instruments و Onsemi موجود است که ممکن است تفاوت‌های جزئی در دیتاشیت آن‌ها وجود داشته باشد. * همان‌طور که در شکل مشاهده می‌شود، مراحل تست بر اساس **برچسب‌ها (Labels)** به‌سادگی قابل تشخیص هستند. برای نمونه، در تست **LM324** جامپرها در موقعیت مربوط به LM324 قرار دارند، و برای **LM358** نیز موقعیت مربوطه مشخص شده است. * تغذیه مورد نیاز از بخش پاور در بالای برد تامین می‌شود که به‌صورت واضح با لیبل مشخص شده است. در این تست تنها از تغذیه **±15 ولت** استفاده شده است. * در مراحل تست، ولتاژها باید **به‌دقت اندازه‌گیری** شده و در نرم‌افزار وارد شوند. سپس نتایج به فایل Excel منتقل گردند. * در نرم‌افزار، ابتدا گزینه مورد نظر (در اینجا **Vof)** انتخاب می‌شود:      * در مرحله بعد، مقادیر خوانده‌شده وارد شده و نتیجه یادداشت می‌شود:     **نکات مهم:**   * مقادیر مقاومت‌های R2 و R5 **ثابت** هستند. تحت هیچ شرایطی مقدار جدیدی برای آن‌ها وارد نکنید. در صورتی که به‌اشتباه مقدار جدیدی وارد شد، نرم‌افزار را مجدداً اجرا کنید تا مقادیر به حالت اولیه بازگردند. * تنها در صورتی مجاز به تغییر مقادیر مقاومت‌ها هستید که مقاومت جدیدی روی برد مونتاژ شده باشد. در این صورت، حتماً مقادیر جدید را با RLC متر اندازه‌گیری کرده و در نرم‌افزار به‌روزرسانی نمایید. * در نرم‌افزار، **واحد مقادیر ورودی و خروجی** نمایش داده می‌شود. حتماً توجه شود که تمامی مقادیر با واحد صحیح وارد و ثبت شوند. |
| **اندازه‌گیری جریان آفست ورودی** برای اندازه‌گیری جریان آفست ورودی از مدار زیر استفاده می‌کنیم      شکل 2 مدار تست جریان آفست ورودی  **مراحل اندازه‌گیری جریان آفست ورودی (Ios) و نکات مهم تست**   * **توصیه می‌شود** برای تمامی مقاومت‌های نمایش داده‌شده در شماتیک مدار، از مقاومت‌هایی با **کمترین خطای ممکن (tolerance پایین)** استفاده شود تا دقت اندازه‌گیری‌ها افزایش یابد. * در صورتی که مقاومت‌ها یا برد مدار تغییر کرده یا اصلاح شده باشند، **مقادیر مربوط به نرم‌افزار باید مجدداً و با دقت بالا اندازه‌گیری و وارد شوند.** * **مراحل انجام آزمایش (برای محاسبه Ios)** * برای اندازه‌گیری جریان آفست ورودی، آزمایش باید در **سه مرحله‌ی متوالی** انجام شود. در هر مرحله وضعیت سوئیچ‌های **S1** و **S2** تغییر می‌کند و ولتاژ خروجی ثبت می‌شود:   **✅ مرحله اول: هر دو سوئیچ بسته باشند (S1 و S2)**   * هر دو سوئیچ **S1** و **S2** در وضعیت **بسته** قرار گیرند (اتصال کوتاه دو سر مقاومت). * مطابق شماتیک، **جامپرهای mode1 و mode2 هم‌زمان متصل** باشند. * ولتاژ خروجی در این حالت با عنوان **VoutA** ثبت می‌شود.   **✅ مرحله دوم: باز کردن S1 و بسته بودن S2**   * سوئیچ **S1 باز** شود اما **S2 بسته** باقی بماند. * در این حالت، **جامپر mode1 برداشته** شده ولی **mode2 همچنان متصل** باقی بماند. * ولتاژ خروجی با عنوان **VoutB** ثبت می‌شود.   **✅ مرحله سوم: بسته بودن S1 و باز کردن S2**   * سوئیچ **S1 بسته** بماند و **S2 باز** شود. * مطابق مدار، **جامپر mode2 برداشته** شود و **mode1 متصل** باقی بماند. * ولتاژ خروجی با عنوان**VoutC** ثبت می‌گردد.   ⚠️**نکته:** هنگام ثبت ولتاژهای **VoutA**،**VoutB** و **VoutC**، **علامت مثبت یا منفی بودن ولتاژ** به‌درستی لحاظ و وارد شود.  **نکات تکمیلی در رابطه با سخت‌افزار و نرم‌افزار**   * آپ‌امپ دوم که در شماتیک با عنوان **(Opamp)** مشخص شده است، می‌تواند از نوع آپ‌امپ **DUT** یا مدل مشابه آن باشد. در این پروژه از **LM358** استفاده شده است. * مشخصات قطعات مورد استفاده باید حتماً با **دیتاشیت رسمی** بررسی شود. به‌عنوان مثال، مدل **LM358** در نسخه‌های مختلفی از شرکت‌های **ST، Texas Instruments** و **Onsemi** تولید می‌شود که دارای تفاوت‌های جزئی در مشخصات هستند. * در شماتیک، مراحل تست به‌صورت کاملاً واضح با **برچسب‌ها (Labels)** مشخص شده‌اند. به عنوان نمونه: * برای تست **LM324** جامپرها در موقعیت مربوط به **LM324** قرار داده می‌شوند. * برای تست **LM358** نیز موقعیت مخصوص آن استفاده می‌شود. * تغذیه مورد نیاز از بخش**Power بالای برد** تأمین می‌گردد که با برچسب مشخص شده است. در این تست، تنها از تغذیه **±15 ولت** استفاده شده است. * در تمامی مراحل تست، ولتاژهای اندازه‌گیری‌شده باید **با دقت بالا ثبت** شده، در نرم‌افزار وارد شوند و در نهایت **نتایج در فایل Excel ذخیره گردند.** * در نرم‌افزار، ابتدا گزینه مورد نظر (در اینجا **Ibias and Ios)** انتخاب می‌شود:      * در مرحله بعد، مقادیر خوانده‌شده وارد شده و نتیجه یادداشت می‌شود:     جریان بایاس پایه‌های مثبت و منفی با استفاده از مقادیر ولتاژ ثبت شده و مقادیر اندازه‌گیری شده مقاومتها از رابطه‌های زیر محاسبه می‌شود:  مقدار جریان آفست ورودی از  محاسبه می‌شود.  پارامتر جریان بایاس نیز با رابطه زیر حساب می‌شود:  **نکات مهم:**   * مقادیر مقاومت‌های R1 و R2 و R4و R5**ثابت** هستند. تحت هیچ شرایطی مقدار جدیدی برای آن‌ها وارد نکنید. در صورتی که به‌اشتباه مقدار جدیدی وارد شد، نرم‌افزار را مجدداً اجرا کنید تا مقادیر به حالت اولیه بازگردند. * تنها در صورتی مجاز به تغییر مقادیر مقاومت‌ها هستید که مقاومت جدیدی روی برد مونتاژ شده باشد. در این صورت، حتماً مقادیر جدید را با RLC متر اندازه‌گیری کرده و در نرم‌افزار به‌روزرسانی نمایید. * در نرم‌افزار، **واحد مقادیر ورودی و خروجی** نمایش داده می‌شود. حتماً توجه شود که تمامی مقادیر با واحد صحیح وارد و ثبت شوند.  **اندازه‌گیری CMRR** برای اندازه‌گیری Common Mode Rejection Ratio از مدار زیر استفاده می‌کنیم:      شکل 3 مدار تست CMRR  فرمول محاسبه CMRR  **نکات تکمیلی در مورد مدار، تغذیه، و اندازه‌گیری CMRR**   * آپ‌امپ دوم که در شماتیک با عنوان **(Opamp)** مشخص شده است، می‌تواند از نوع آپ‌امپ مورد اندازه‌گیری یا مشابه آن باشد. در این پروژه، به دلیل دقت قابل‌قبول و دسترسی آسان، از **LM358** استفاده شده است. * البته **در حالت ایده‌آل، بهتر است از یک آپ‌امپ با بهره بالا و آفست ورودی پایین** به‌عنوان آپ‌امپ دوم استفاده شود تا دقت اندازه‌گیری‌ها به حداکثر برسد.   **بررسی مشخصات آپ‌امپ‌ها**   * مقادیر و مشخصات آپ‌امپ‌ها باید **بر اساس دیتاشیت رسمی** بررسی و تأیید شوند. * چرا که مدل‌های یکسان ممکن است توسط شرکت‌های مختلفی تولید شده باشند و تفاوت‌های جزئی داشته باشند. برای مثال، **LM358** در نسخه‌های شرکت‌های **STMicroelectronics ، Texas Instruments** و **Onsemi** عرضه می‌شود که در برخی مشخصات الکتریکی با یکدیگر تفاوت دارند.   **تطبیق تست با برچسب‌ها و جامپرها**   * در شماتیک مدار، مراحل تست به کمک **برچسب‌ها (Labels)** به‌وضوح مشخص شده‌اند. * برای نمونه:   + در تست **LM324**، جامپرها باید در موقعیت مربوط به **LM324** قرار گیرند.   + در تست **LM358** نیز از موقعیت مخصوص آن استفاده می‌شود.   **تغذیه مدار**   * تغذیه مورد نیاز مدار از بخش **Power** در بالای برد تأمین می‌شود که با برچسب مشخص شده است. * در این تست از تغذیه **±15 ولت** استفاده شده است.   **نحوه اندازه‌گیری برای تست CMRR**   * برای اندازه‌گیری **CMRR**، تغذیه مثبت و منفی آپ‌امپ مورد تست در **دو حالت متفاوت** تنظیم می‌شود:   1. بار اول: تغذیه به صورت **(+25V, -5V)** اعمال شده و مقدار خروجی آپ‌امپ **Vout1** ثبت می‌شود.   2. بار دوم: تغذیه به صورت **(+5V, -25V)** اعمال شده و مقدار خروجی جدید به‌عنوان **Vout2** از مولتی متر خوانده می‌شود.   3. تغییرتغذیه از حالت 1 به حالت 2 از تغییر جامپرهای قسمت تغذیه از از **Mode1** به **Mode2** صورت میگیرد.که روی مدار مشخص شده است. * **مقدار مطلق اختلاف دو ولتاژ خروجی** یعنی **|Vout1 – Vout2|** به‌عنوان مقدار **∆Vout** در فرمول **CMRR** استفاده می‌شود.   **استفاده از نرم‌افزار در مرحله CMRR**   * در نرم‌افزار، ابتدا گزینه‌ی مربوط به **CMRR** از لیست پارامترها انتخاب می‌شود:      * سپس، فقط کافی است **مقادیر Vout1 و Vout2** وارد شوند. نرم‌افزار به‌صورت خودکار مقدار **∆Vout**و در نهایت **CMRR** را محاسبه خواهد کرد. * توجه شود که برای اندازه‌گیری دقیق ولتاژهای کوچک، **از بخش میلی‌ولت‌متر مولتی‌متر استفاده شود**. * در مرحله بعد، مقادیر خوانده‌شده وارد شده و نتیجه یادداشت می‌شود:     **نکات مهم:**   * مقادیر مقاومت‌های R2 و R6**ثابت** هستند. تحت هیچ شرایطی مقدار جدیدی برای آن‌ها وارد نکنید. در صورتی که به‌اشتباه مقدار جدیدی وارد شد، نرم‌افزار را مجدداً اجرا کنید تا مقادیر به حالت اولیه بازگردند. * تنها در صورتی مجاز به تغییر مقادیر مقاومت‌ها هستید که مقاومت جدیدی روی برد مونتاژ شده باشد. در این صورت، حتماً مقادیر جدید را با **RLC** متر اندازه‌گیری کرده و در نرم‌افزار به‌روزرسانی نمایید. * در نرم‌افزار، **واحد مقادیر ورودی و خروجی** نمایش داده می‌شود. حتماً توجه شود که تمامی مقادیر با واحد صحیح وارد و ثبت شوند.  **اندازه‌گیری PSRR** **اندازه‌گیری PSRR (Power Supply Rejection Ratio)**  برای اندازه‌گیری نسبت دفع تداخل منبع تغذیه (**PSRR**) از مداری مشابه با تست **CMRR** استفاده می‌شود بنابرایندر رنج بودن CMRR در رنج بودن PSRR را تایید میکند بنابر این نیازی به محاسبه جدا وجود ندارد.  نکته ! مراحل زیر انجام نشود صرفا برای نمایش و تکمیل آزمایش آمده است.  **✅ نحوه اعمال تغذیه برای اندازه‌گیری PSRR:**   * در این تست، ولتاژ تغذیه به‌صورت زیر در دو مرحله تنظیم می‌شود:   1. **مرحله اول:** تغذیه برابر **±14 ولت** تنظیم شده و مقدار ولتاژ خروجی **Vout1** اندازه‌گیری می‌شود.   2. **مرحله دوم:** تغذیه برابر **±15 ولت** تنظیم شده و ولتاژ خروجی جدید با عنوان **Vout2** ثبت می‌شود. * اختلاف مطلق بین این دو ولتاژ خروجی یعنی |Vout1 – Vout2| برای محاسبه PSRR مورد استفاده قرار می‌گیرد.   **✅ ثبت نتایج در نرم‌افزار:**   * در نرم‌افزار، گزینه‌ی **PSRR** از منوی مربوطه انتخاب می‌شود. * تنها کافی است **مقادیر Vout1و Vout2**وارد شوند. محاسبه‌ی نهایی به‌صورت **اتوماتیک** توسط نرم‌افزار انجام خواهد شد. * نتایج نهایی پس از محاسبه، در بخش مربوط به **PSRR** ثبت شده و **در فایل Excel ذخیره** می‌گردند.   ⚠️ **توجه:** برای دقت بیشتر در اندازه‌گیری اختلاف ولتاژ خروجی، از **قسمت میلی‌ولت‌متر مولتی‌متر** استفاده شود. **اندازه‌گیری GBP** برای اندازه‌گیری این پارامتر به یک سیگنال ژنراتور نیاز داریم:      شکل ۴ مدار تست GBP   * فرکانس سیگنال ورودی را به تدریج افزایش داده و خروجی را در اسیلوسکوپ مشاهده می‌کنیم تا دامنه پیک-پیک به مقدار تقریبی 140 میلی‌ولت برسد. در این حالت، مقدار فرکانس ورودی gain bandwidth production ‌ آپ‌امپ است.   **توجه شود این دستگاه صرف برای پارامتر های موجود هست و بقیه پارامتر ها طبق دستور العمل قبلی تست گردد.** |