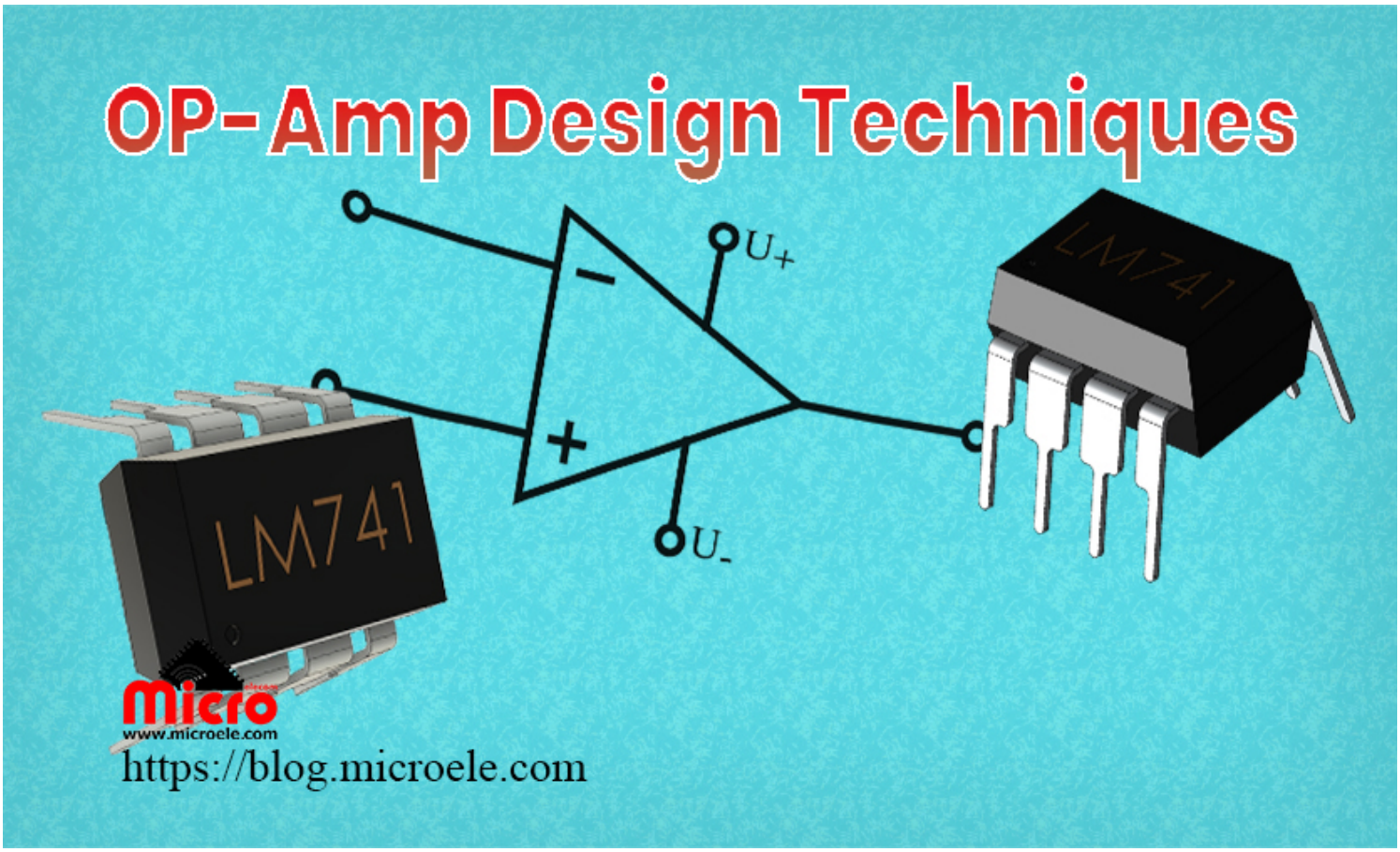
نکته کاربردی در طراحی با OP-AMP - بخش اول



تاریخ انتشار۷ اردیبهشت, ۱۴۰۰ توسط سعید جعفری

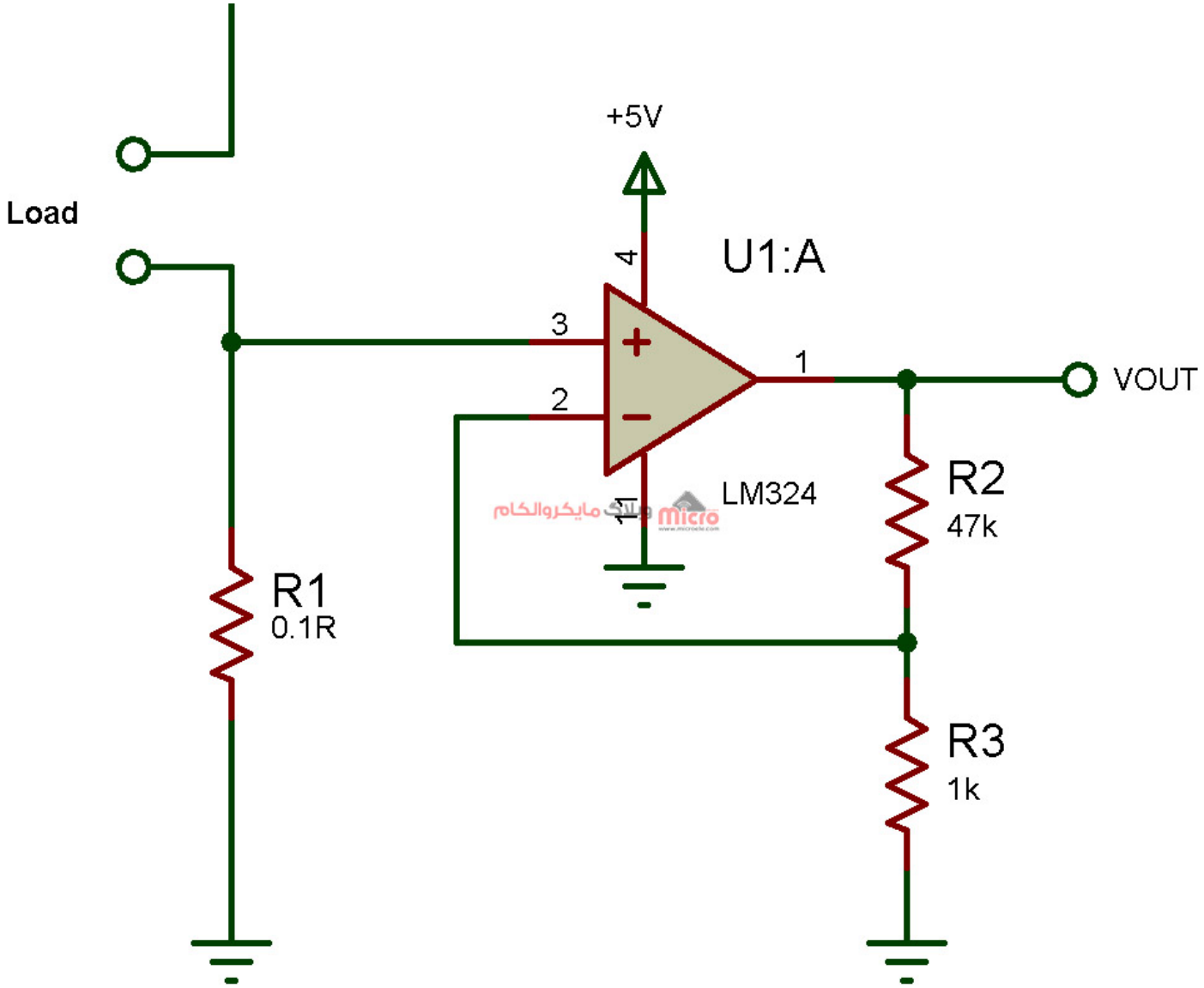
با عرض سلام و ادب خدمت دوستان عزیز و همراهان همیشی وبلاگ مایکروالکام. امروزه در طراحی مدارات آنالوگ، نام تقویت کننده های عملیاتی (OP-AMP) برای هر طراحی کاملا آشنا و شناخته شده است. OP-AMP کاربرد فراوانی در بخش های آنالوگ سیستم های مختلف خصوصا بخش های سنسوری دارد. در این مطلب قصد دارم تا شما را با نکات کاربردی در طراحی با OP-AMP آشنا کنم. پس تا انتها با من همراه باشید.

کاربرد OP-AMP

کابرد و مزایای استفاده از OP-AMP بر کسی پوشیده نیست و در طراحی ها از آن زیاد استفاده می‌شود. به عنوان مثال برای اندازه گیری جریان عبوری از بار متصل به خروجی سیستم، معمولا یک مقاومت کم اهم (مثلا 0.1 اهم) با بار سری کرده و افت ولتاژ روی مقاومت را اندازه گیری می کنیم. در این مدارات، ولتاژی که روی مقاومت شنت افت می کند، بسیار کوچک بوده و نمیتوان مستقیما آن را به ADC اعمال کرد (در این مثال 100 میلی ولت برای جریان 1 آمپر). برای حل این مشکل، باید ابتدا این ولتاژ را تقویت کنیم. برای این کار، میتوان از یک آپ امپ برای تقویت ولتاژ استفاده کرد.

در اینجا یکی از معروف ترین آپ امپ های موجود در بازار را مورد بررسی قرار می دهیم. آیسی LM324 شامل 4 عدد OP-AMP می‌باشد. طبق دیتاشیت، محدوده تغذیه آن 3 الی 36 ولت می‌باشد. در این مثال، تغذیه مدار و ولتاژ رفرنس ADC همگی 5 ولت است. پس باید کاری کنیم که بازه ولتاژ 0 الی 100 میلی ولت، به بازه 0 الی 5 ولت تبدیل شود. تا با دقت بالا توسط ADC تبدیل به مقدار دیجیتال شود.

برای این کار، ولتاژ روی مقاومت شنت باید با بهره 50 تقویت شود. پس به این ترتیب این آپ امپ را میتوان به صورت مدار زیر برای این مورد به کار برد:



شماتیک

در این مدار، R1 به عنوان مقاومت شنت استفاده شده است. آرایش مدار آپ امپ به صورت تقویت کننده غیر معکوس کننده با بهره 48 طبق فرمول (Av=1+(R2/R3 طراحی شده است. به این ترتیب با عبور جریان 1 آمپر، 100 میلی ولت روی R1 افت کرده که پس از تقویت به ولتاژ 4.8 ولت می رسد. اکنون این ولتاژ را می توان به ADC اعمال کرد و جریان بار را اندازه گیری کرد.

بیان مسئله

خب تا اینجا همه چیز عادی به نظر میاد و مدار بالا رو مونتاژ میکنیم و برنامه میکروکنترلر برای خواندن مقادیر از ADC، انجام محاسبات، ضریب بهره (در اینجا 48) را هم می نویسیم. مدار را راه اندازی میکنیم و جریان خروجی را به ازای بارهای مختلف اندازه گیری میکنیم. در جریان های پایین همه چیز درست است و مقدار خوانده شده، اختلاف کمی با جریان واقعی دارد (به دلیل خطای مقاومت ها و آفست آپ امپ، مقداری خطا وجود دارد.)

با بالا رفتن جریان از حدود 700 میلی آمپر، به طرز عجیبی مقدار خوانده شده توسط ADC دیگر افزایش پیدا نمیکند! اگر ولتاژ خروجی آپ امپ رو چک کنیم، میبینیم ولتاژ خروجی از 3.5 ولت بالاتر نمیره درحالی که ولتاژ ورودی به حدی هست که وقتی در بهره ضرب میکنیم، قاعدتا باید ولتاژ خروجی بیش از 3.5 ولت باشه. خب مشکل کجاست؟ اگر مدار ایراد داره، پس چرا برای جریان های تا 700 میلی آمپر درست کار میکنه؟؟

اینجا یکی دیگر از مصادیق دقت در دیتاشیت خوانی بیان میشه که باید به اون دقت کنید.

دیتاشیت خوانی

همه آپ امپ ها در کنار سایر مشخصات دیگر، یک مشخصه مهم به نام "حد بالا و پایین ولتاژ خروجی" دارند. این مشخصه در دیتاشیت های مختلف، با نام های مختلفی ذکر می‌شود. به عنوان مثال به سه مورد از دیتاشیت LM324 از سه تولید کننده مختلف توجه کنید:

LM324, LM324A, LM324E, LM224, LM2902, LM2902E, LM2902V, NCV2902

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (V_{CC} = 5.0 V, V_{EE} = GND, T_A = 25°C, unless otherwise noted.)

Characteristics	Symbol	LM224			LM324A			LM324, LM324E			LM2902, LM2902E			LM2902V/NCV2902			Unit
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Output Voltage – High Limit	V_{OH}																V
V_{CC} = 5.0 V, R_L = 2.0 kΩ, T_A = 25°C		3.3	3.5	–	3.3	3.5	–	3.3	3.5	–	3.3	3.5	–	3.3	3.5	–	
V_{CC} = 30 V R_L = 2.0 kΩ (T_A = T_{high} to T_{low}) (Note 7)		26	–	–	26	–	–	26	–	–	26	–	–	26	–	–	
V_{CC} = 30 V R_L = 10 kΩ (T_A = T_{high} to T_{low}) (Note 7)		27	28	–	27	28	–	27	28	–	27	28	–	27	28	–	
Output Voltage – Low Limit, V_{CC} = 5.0 V, R_L = 10 kΩ, T_A = T_{high} to T_{low} (Note 7)	V_{OL}	–	5.0	20	–	5.0	20	–	5.0	20	–	5.0	100	–	5.0	100	mV

دیتاشیت LM324 ON-Semi

در دیتاشیت شرکت ON-Semi با نام High-Limit و Low-Limit مشخص شده است.

Electrical Characteristics: LM124A/224A/324A (continued)

V^+ = 5.0 V, (1), unless otherwise stated

PARAMETER		TEST CONDITIONS		LM124A			LM224A			LM324A			UNIT
				MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
I_{OS} Drift		R_S = 0 Ω			10	200		10	200		10	300	pA/°C
Input Bias Current		$I_{IN(+)}$ or $I_{IN(-)}$			40	100		40	100		40	200	nA
Input Common-Mode Voltage Range(4)		V^+ = 30 V, (LM2902-N, V^+ = 26 V)		0		V^+−2	0		V^+−2	0		V^+−2	V
Large Signal Voltage Gain		V^+ = 15 V (V_OSwing = 1 V to 11 V), R_L ≥ 2 kΩ		25			25			15			V/mV
Output Voltage Swing	V_{OH}	V^+ = 30 V (LM2902-N, V^+ = 26 V)	R_L = 2 kΩ	26			26			26			V
			R_L = 10 kΩ	27	28		27	28		27	28		
	V_{OL}	V^+ = 5 V, R_L = 10 kΩ			5	20		5	20		5	20	mV

دیتاشیت LM324 Texas Instrument

در دیتاشیت شرکت TI با نام Output Voltage Swing مشخص شده است.

Symbol	Parameter			Min.	Typ.	Max.	Unit
V_{OH}	High level output voltage, V_{CC} = 30 V, R_L = 2 kΩ	T_{amb} = 25 °C		26	27		V
		$T_{min} \le T_{amb} \le T_{max}$		26			
	High level output voltage, V_{CC} = 30 V, R_L = 10 kΩ	T_{amb} = 25 °C		27	28		
		$T_{min} \le T_{amb} \le T_{max}$		27			
	High level output voltage, V_{CC} = 5 V, R_L = 2 kΩ	T_{amb} = 25 °C		3.5			
		$T_{min} \le T_{amb} \le T_{max}$		3			
V_{OL}	Low level output voltage, R_L = 10 kΩ	T_{amb} = 25 °C			5	20	mV
		$T_{min} \le T_{amb} \le T_{max}$				20	

دیتاشیت *LM324 ST*

در دیتاشیت شرکت ST با نام VOH و VOL مشخص شده است.

در این دیتاشیت ها، اگر دقت کنید، به ازای تغذیه 5 ولت، حداکثر ولتاژ خروجی آپ امپ میتونه تا 3.5 ولت بالا بره نه بیشتر. تازه در بعضی شرایط فقط تا 3 ولت میتونه بالا بره. پس معما حل شد! اشتباه ما در طراحی اینجا بود که دقت نکردیم وقتی مدار تقویت کننده را طراحی میکنیم، ببینیم آیا آپ امپ میتونه همه محدوده ولتاژ مد نظر ما رو تامین کنه یا خیر! به همین دلیل، مدار نتوانست همه محدوده جریان مد نظر ما را اندازه گیری کند.

راه حل

برای رفع این مشکل دو راه وجود دارد.

روش اول اینکه ولتاژ تغذیه OP-AMP رو تا جایی بالا ببریم که حد Limit ولتاژ خروجی 5 ولت شود. مثلا تغذیه را حداقل 7 ولت قرار دهیم. این روش ممکنه در همه مدارات امکان پذیر نباشد و مثل مدار ما تنها ولتاژ تغذیه در اختیار، همان 5 ولت باشد.

روش دوم استفاده از OP-AMP هایی است که حد Limit ولتاژ آنها نزدیک ولتاژ تغذیه باشد. به این نوع آپ امپ ها ریل به ریل (Rail-To-Rail) گفته می‌شود. به این معنی که ولتاژ خروجی آنها تا نزدیک ریل تغذیه آنها میتواند تغییر کند. جایگزین LM324 برای این منظور، آیسی LMV324 می‌باشد.

جمع بندی

استفاده از آپ امپ ها در طراحی بخش های آنالوگ مدارات و سیستم ها، جزو ضروریات مهارت هر طراحی می‌باشد. توجه به مشخصات این قطعات برای به کار گیری صحیح آنها در مدارات امری اجتناب ناپذیر است. در این مطلب به یکی از پارامتر های مهم آپ امپ به نام حد بالا و پایین ولتاژ خروجی در قالب مثال عملی و کاربردی پرداخته شد. آپ امپ های معمولی، حداکثر ولتاژ خروجی آنها چند ولت کمتر از ولتاژ تغذیه آنها می‌باشد. اگر در مداری نیاز دارید که ولتاژ خروجی آپ امپ تا نزدیک ولتاژ تغذیه بالا بره، باید از آپ امپ (OP-AMP) های نوع Rail-To-Rail استفاده شود.

امیدوارم که این مطلب مورد رضایت شما قرار گرفته باشد. چنانچه در این خصوص سوال، نظر و یا اطلاعات و تجربه ای دارید، آن را از قسمت کامنت ها با ما در میان بگذارید تا در اسرع وقت پاسخ داده شود و از تجربیات و اطلاعات شما هم استفاده شود. همچنین ما را در پیج اینستاگرام مایکروالکام دنبال کنید.