

## Áramkörszámítás

1. Thevenin tétel alkalmazása sorba kötött ellenállásokra
  - a. két felező osztó sorbakötése, azonos ellenállásokkal
  - b. az első osztó 10k, a következő fokozat 100k ellenállásokból áll
2. Jelskálázás
  - a. -10V..10V skálázása 0V..2,5V tartományba passzív hálózattal
  - b. -5V..5V skálázása 0V..5V tartományba
  - c. 0V..10V skálázása -1V..1V tartományba
  - d. 0V..1V skálázása -5V..5V tartományba ( $V_{ref}=2,1V$ )
  - e. C8051F120 mikrovezérlő be- és kimenő analóg jeleit konvertáljuk -10V..10V tartományba.

## Nyílhurkú erősítés hatása

1. MC33201-el felépített 2-szeres invertáló erősítő sávszélessége mennyi?
2. TL071 -2-szeres erősítő sávszélessége mennyi?
3. Mekkora az erősítés hibája 10Hz, 1kHz, 100kHz frekvencián 100-szoros egyenes erősítőnél LMC6484, OP27, LM358 erősítő esetén?
4. Mekkora a sávszélessége egy összegző erősítőnek, ami 3 feszültség kétszeres invertáló összegét képezi LM324 erősítővel?
5. Mekkora az  $U_{ki}=10(U_2-U_1)$  kivonó erősítő sávszélessége OPA350 műveleti erősítő használata esetén?
6. -100mV..100mV jeltartományt skálázzuk 0..2V tartományba OPA350 erősítővel. Mekkora a sávszélesség?

## Jelváltozási sebesség hatása

- Mekkora a legnagyobb megengedhető frekvencia egy 5V-os amplitúdójú szinuszos jel torzításmentes előállításához LM324 műveleti erősítő használata esetén?
- Mekkora a legnagyobb megengedhető amplitúdó egy 20kHz-es szinuszos jel torzításmentes előállításához OP27 műveleti erősítő használata esetén?

## Offszetfeszültség hatása

1. 10-szeres Invertáló erősítő kimentén mekkora az offszethiba LM324 erősítő esetén?
2. K-típusú termoelem (38 $\mu$ V/K) erősítőnél mekkora az offszethiba, ha az erősítés utáni érzékenység 10mV/K?
3. Differenciálerősítő esetében az erősítés 20( $U_2-U_1$ ). Mekkora az offszethiba?

## Bemeneti áram hatása

1. 10-szeres invertáló erősítő kimentén mekkora a bemeneti áramok okozta hiba OP27 erősítő esetén? A visszacsatoló kör ellenállás 10k $\Omega$ .
2. Differenciálerősítő esetén az erősítés 20( $U_2-U_1$ ), az ellenállások értéke 200k $\Omega$  és 10k $\Omega$ .. Mekkora a bemenő áramok miatt fellépő hiba a kimeneten TL071 műveleti erősítő használata esetén?

### Zaj számítása

1. Differenciálerősítő esetén az erősítés  $20(U_2-U_1)$ , az ellenállások értéke  $200k\Omega$  és  $10k\Omega$ .
  - a. Mekkora a zajspektrum a kimeneten OP07 műveleti erősítő használata esetén?
  - b. Mekkora a zaj  $100Hz-10kHz$  sáv szélességben?
2. 250-szeres termoelem erősítőt építünk fel egy OP07 műveleti erősítővel. Mekkora a kimeneti zaj nagysága a  $0,1Hz-10Hz$  tartományban?
3. Műveleti erősítő  $10nV/\sqrt{Hz}$  és  $1pA/\sqrt{Hz}$  bemeneti feszültség- illetve áramzajú. Mekkora lehet a maximális nem-invertáló bemeneti impedancia és a visszacsatoló körű impedancia ahhoz, hogy az áramzaj miatti járulék kisebb maradjon, mint a feszültség zaj okozta járulék?

### Szenzorok illesztése

1. Mikrovezérlő 10-bitos A/D konvertere  $2,1V$  referenciafeszültségű,  $1\mu A$  bemeneti áramú és  $10pF$  mintavételi kapacitással rendelkezik.
  - a. Adjon meg egy kapcsolást, ami  $-1V..1V$  feszültségtartományt illeszt az A/D konverter bemenetére!
  - b. Adjon meg egy kapcsolást, ami  $-10V..10V$  feszültségtartományt illeszt az A/D konverter bemenetére!
  - c. Adjon meg egy kapcsolást, ami egy fotodiódát illeszt az A/D konverter bemenetére! A fotoáram áram maximális értéke  $100\mu A$ . Válasszon olyan műveleti erősítőt, melynek bemenő árama nem okoz 1LSB-nél nagyobb hibát!
  - d. Adjon meg egy kapcsolást, ami egy  $10k\Omega$  termisztort illeszt a bemenetre  $-20-80\text{ C}$  tartományban! A B értéke  $40001/K$ .  $R(T)=R(T_0)\cdot\exp(B(1/T-1/T_0))$ ,  $T_0=297K$
  - e. Adjon meg egy AD623 műszererősítőt alkalmazó megoldást, ami az MPX2100 szenzort illeszti a bemenethez!
  - f. Mekkora lehet a maximális bemeneti ellenállás, ha 1LSB bemenő áram okozta hibát engedhetünk meg?
  - g. Mekkora lehet a maximális bemeneti ellenállás  $10kHz$  mintavételi frekvencia és  $22nF$  külső kapacitás esetén ahhoz, hogy a dinamikus bemeneti áram okozta hiba 1LSB alatt maradjon?

1. Mikrovezérlő 12-bites A/D konvertere 3,3V referenciafeszültségű, 1 $\mu$ A bemeneti áramú és 10pF mintavételi kapacitással rendelkezik.
    - a. Adjon meg egy passzív elemekből álló kapcsolást, ami -10V..10V feszültségtartományt illeszt az A/D konverter bemenetére!
    - b. Úgy válassza meg az ellenállások értékeit, hogy a bemenő áramok okozta hiba ne legyen nagyobb 1LSB értéknél 10kHz mintavételi frekvencia esetén.
  2. Mekkora a sávszélessége egy összegző erősítőnek, ami két feszültség négyszeres invertáló összegét képezi? Az erősítés-sávszélesség szorzat 3MHz.
  3. 20-szoros invertáló erősítő kapcsolatban alkalmazott műveleti erősítő zaja 20nV/sqrt(Hz), a visszacsatoló kör ellenállás 100k $\Omega$ .
    - a. Mekkora a kimeneten a zajspektrum nagysága? A bemeneti áram zaja elhanyagolható.
    - b. Mekkora az effektív zajamplitúdó, ha az erősítéssávszélesség szorzat 1MHz?
  4. Adjon meg 10-szeres differenciálerősítő kapcsolást, melynél a bemenő áramok miatt fellépő hiba a kimeneten 1mV alatti értékű. A műveleti erősítő bemeneti árama 10nA.
- 
1. Mikrovezérlő 12-bites D/A konvertere 1,5V referenciafeszültségű
    - a. Adjon meg egy kapcsolást, ami -10V..10V feszültségtartományt előállítására alkalmas!
    - b. Vegye figyelembe, hogy a D/A konverter és referenciafeszültség maximális terhelési árama 100 $\mu$ A.
  2. Mekkora a legnagyobb megengedhető frekvencia egy 10V-os amplitúdójú szinuszos jel torzításmentes előállításához 2-szeres invertáló erősítő esetén? A jelváltozási sebesség 5V/us.
  3. Adjon meg 10-szeres különbségképző erősítő kapcsolást, melynek a kimenetén 100nV/sqrt(Hz)-nél nem nagyobb a műveleti erősítő 1pA/sqrt(Hz) bemenő áramának zajának hatása. Mekkora az áramzaj okozta effektív zajamplitúdó, ha az erősítéssávszélesség szorzat 1MHz?
  4. Mekkora lehet a maximális offszetfeszültsége egy 10-szeres neminvertáló kapcsolású műveleti erősítőnek, ami egy 10-bites 2,5V referenciafeszültségű A/D konverter bementét hajtja meg 1LSB-nél kisebb offszethibával?

1. OP27-el felépített 2-szeres invertáló erősítő sávszélessége mennyi?
2. Mekkora az erősítés hibája 20kHz frekvencián 10-szeres egyenes erősítőnél OP27 erősítő esetén?
3. 20-szoros differenciálerősítő esetén az ellenállások értéke 200kOhm és 10kOhm. Mekkora az offszetfeszültség és bemenő áramok miatt fellépő hiba a kimeneten OP27 műveleti erősítő használata esetén?
4. Írja fel a kimeneti zaj képletét egy invertáló erősítő esetére!
5. Adjon meg egy kapcsolást, ami alkalmas -10V..10V feszültség mérésére C8051F410 A/D konverterével. A referenciafeszültség értéke 2,2V.

Parameter	Symbol	Test Conditions	OP27A/OP27E			OP27G			Unit
			Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
INPUT OFFSET VOLTAGE <sup>1</sup>	$V_{OS}$			10	25		30	100	$\mu V$
LONG-TERM $V_{OS}$ STABILITY <sup>2, 3</sup>	$V_{OS}/Time$			0.2	1.0		0.4	2.0	$\mu V/M_0$
INPUT OFFSET CURRENT	$I_{OS}$			7	35		12	75	nA
INPUT BIAS CURRENT	$I_B$			$\pm 10$	$\pm 40$		$\pm 15$	$\pm 80$	nA
INPUT NOISE VOLTAGE <sup>3, 4</sup>	$e_{n\text{ p-p}}$	0.1 Hz to 10 Hz		0.08	0.18		0.09	0.25	$\mu V\text{ p-p}$
INPUT NOISE Voltage Density <sup>3</sup>	$e_n$	$f_o = 10\text{ Hz}$		3.5	5.5		3.8	8.0	$nV/\sqrt{Hz}$
		$f_o = 30\text{ Hz}$		3.1	4.5		3.3	5.6	$nV/\sqrt{Hz}$
		$f_o = 1000\text{ Hz}$		3.0	3.8		3.2	4.5	$nV/\sqrt{Hz}$
INPUT NOISE Current Density <sup>3</sup>	$i_n$	$f_o = 10\text{ Hz}$		1.7	4.0		1.7		$pA/\sqrt{Hz}$
		$f_o = 30\text{ Hz}$		1.0	2.3		1.0		$pA/\sqrt{Hz}$
		$f_o = 1000\text{ Hz}$		0.4	0.6		0.4	0.6	$pA/\sqrt{Hz}$
INPUT RESISTANCE Differential Mode <sup>5</sup> Common Mode	$R_{IN}$		1.3	6		0.7	4	$M\Omega$	
	$R_{INCM}$			3			2	$G\Omega$	
INPUT VOLTAGE RANGE	IVR		$\pm 11.0$	$\pm 12.3$		$\pm 11.0$	$\pm 12.3$	V	
COMMON-MODE REJECTION RATIO	CMRR	$V_{CM} = \pm 11\text{ V}$	114	126		100	120	dB	
POWER SUPPLY REJECTION RATIO	PSRR	$V_S = \pm 4\text{ V to } \pm 18\text{ V}$		1	10		2	20	$\mu V/V$
LARGE SIGNAL VOLTAGE GAIN	$A_{VO}$	$R_L \geq 2\text{ k}\Omega, V_O = \pm 10\text{ V}$	1000	1800		700	1500	$V/mV$	
		$R_L \geq 600\ \Omega, V_O = \pm 10\text{ V}$	800	1500		600	1500	$V/mV$	
OUTPUT VOLTAGE SWING	$V_O$	$R_L \geq 2\text{ k}\Omega$	$\pm 12.0$	$\pm 13.8$		$\pm 11.5$	$\pm 13.5$	V	
		$R_L \geq 600\ \Omega$	$\pm 10.0$	$\pm 11.5$		$\pm 10.0$	$\pm 11.5$	V	
SLEW RATE <sup>6</sup>	SR	$R_L \geq 2\text{ k}\Omega$	1.7	2.8		1.7	2.8	$V/\mu s$	
GAIN BANDWIDTH PRODUCT <sup>6</sup>	GBW		5.0	8.0		5.0	8.0	MHz	
OPEN-LOOP OUTPUT RESISTANCE	$R_O$	$V_O = 0, I_O = 0$		70			70	$\Omega$	
POWER CONSUMPTION	$P_d$	$V_O$		90	140		100	170	mW
OFFSET ADJUSTMENT RANGE		$R_F = 10\text{ k}\Omega$		$\pm 4.0$			$\pm 4.0$	mV	

1. 10-szeres differenciálerősítő esetén az ellenállások értéke 100kOhm és 10kOhm.
  - a. Mekkora az offszetfeszültség és bemenő áramok miatt fellépő hiba a kimeneten OP27 műveleti erősítő használata esetén?
  - b. Mekkora a sávzélesség?
  - c. Mekkora az erősítés hibája 50kHz frekvencián?
2. Tervezen egy ötödfokú 1dB ingadozású Csebisev szűrőt 2kHz határfrekvenciára. Készítse el a kapcsolási rajzot és végezze el az átviteli függvény szimulációját.

Parameter	Symbol	Test Conditions	OP27A/OP27E			OP27G			Unit
			Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
INPUT OFFSET VOLTAGE <sup>1</sup>	$V_{OS}$			10	25		30	100	$\mu V$
LONG-TERM $V_{OS}$ STABILITY <sup>2, 3</sup>	$V_{OS}/\text{Time}$			0.2	1.0		0.4	2.0	$\mu V/M_o$
INPUT OFFSET CURRENT	$I_{OS}$			7	35		12	75	nA
INPUT BIAS CURRENT	$I_B$			$\pm 10$	$\pm 40$		$\pm 15$	$\pm 80$	nA
INPUT NOISE VOLTAGE <sup>3, 4</sup>	$e_{n,p-p}$	0.1 Hz to 10 Hz		0.08	0.18		0.09	0.25	$\mu V$ p-p
INPUT NOISE Voltage Density <sup>3</sup>	$e_n$	$f_o = 10$ Hz		3.5	5.5		3.8	8.0	nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$
		$f_o = 30$ Hz		3.1	4.5		3.3	5.6	nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$
		$f_o = 1000$ Hz		3.0	3.8		3.2	4.5	nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$
INPUT NOISE Current Density <sup>3</sup>	$i_n$	$f_o = 10$ Hz		1.7	4.0		1.7		pA/ $\sqrt{\text{Hz}}$
		$f_o = 30$ Hz		1.0	2.3		1.0		pA/ $\sqrt{\text{Hz}}$
		$f_o = 1000$ Hz		0.4	0.6		0.4	0.6	pA/ $\sqrt{\text{Hz}}$
INPUT RESISTANCE Differential Mode <sup>5</sup> Common Mode	$R_{IN}$		1.3	6		0.7	4	M $\Omega$	
	$R_{INCM}$			3			2	G $\Omega$	
INPUT VOLTAGE RANGE	IVR		$\pm 11.0$	$\pm 12.3$		$\pm 11.0$	$\pm 12.3$	V	
COMMON-MODE REJECTION RATIO	CMRR	$V_{CM} = \pm 11$ V	114	126		100	120	dB	
POWER SUPPLY REJECTION RATIO	PSRR	$V_S = \pm 4$ V to $\pm 18$ V		1	10		2	20	$\mu V/V$
LARGE SIGNAL VOLTAGE GAIN	$A_{VO}$	$R_L \geq 2$ k $\Omega$ , $V_O = \pm 10$ V	1000	1800		700	1500	V/mV	
		$R_L \geq 600$ $\Omega$ , $V_O = \pm 10$ V	800	1500		600	1500	V/mV	
OUTPUT VOLTAGE SWING	$V_O$	$R_L \geq 2$ k $\Omega$	$\pm 12.0$	$\pm 13.8$		$\pm 11.5$	$\pm 13.5$	V	
		$R_L \geq 600$ $\Omega$	$\pm 10.0$	$\pm 11.5$		$\pm 10.0$	$\pm 11.5$	V	
SLEW RATE <sup>6</sup>	SR	$R_L \geq 2$ k $\Omega$	1.7	2.8		1.7	2.8	V/ $\mu s$	
GAIN BANDWIDTH PRODUCT <sup>6</sup>	GBW		5.0	8.0		5.0	8.0	MHz	
OPEN-LOOP OUTPUT RESISTANCE	$R_O$	$V_O = 0$ , $I_O = 0$		70			70	$\Omega$	
POWER CONSUMPTION	$P_d$	$V_O$		90	140		100	170	mW
OFFSET ADJUSTMENT RANGE		$R_P = 10$ k $\Omega$		$\pm 4.0$			$\pm 4.0$	mV	

<b>ORDER</b>	<b>SECTION</b>	<b>REAL PART</b>	<b>IMAGINARY PART</b>	<b>F<sub>0</sub></b>	<b>α</b>	<b>Q</b>
2	1	0.4508	0.7351	0.8623	1.0456	0.9564
3	1	0.2257	0.8822	0.9106	0.4957	2.0173
	2	0.4513		0.4513		
4	1	0.3199	0.3868	0.5019	1.2746	0.7845
	2	0.1325	0.9339	0.9433	0.2809	3.5594
5	1	0.2265	0.5918	0.6337	0.7149	1.3988
	2	0.0865	0.9575	0.9614	0.1800	5.5559
	3	0.2800		0.2800		
6	1	0.2268	0.2601	0.3451	1.3144	0.7608
	2	0.1550	0.7106	0.7273	0.4262	2.3462
	3	0.0608	0.9707	0.9726	0.1249	8.0036
7	1	0.1819	0.4354	0.4719	0.7710	1.2971
	2	0.1259	0.7846	0.7946	0.3169	3.1558
	3	0.0449	0.9785	0.9795	0.0918	10.8982
	4	0.2019		0.2019		
8	1	0.1737	0.1956	0.2616	1.3280	0.7530
	2	0.1473	0.5571	0.5762	0.5112	1.9560
	3	0.0984	0.8337	0.8395	0.2344	4.2657
	4	0.0346	0.9836	0.9842	0.0702	14.2391
9	1	0.1482	0.3427	0.3734	0.7938	1.2597
	2	0.1208	0.6442	0.6554	0.3686	2.7129
	3	0.0788	0.8679	0.8715	0.1809	5.5268
	4	0.0274	0.9869	0.9873	0.0555	18.0226
	5	0.1577		0.1577		
10	1	0.1403	0.1567	0.2103	1.3341	0.7496
	2	0.1266	0.4548	0.4721	0.5363	1.8645
	3	0.1005	0.7084	0.7155	0.2809	3.5597
	4	0.0645	0.8926	0.8949	0.1441	6.9374
	5	0.0222	0.9895	0.9897	0.0449	22.2916