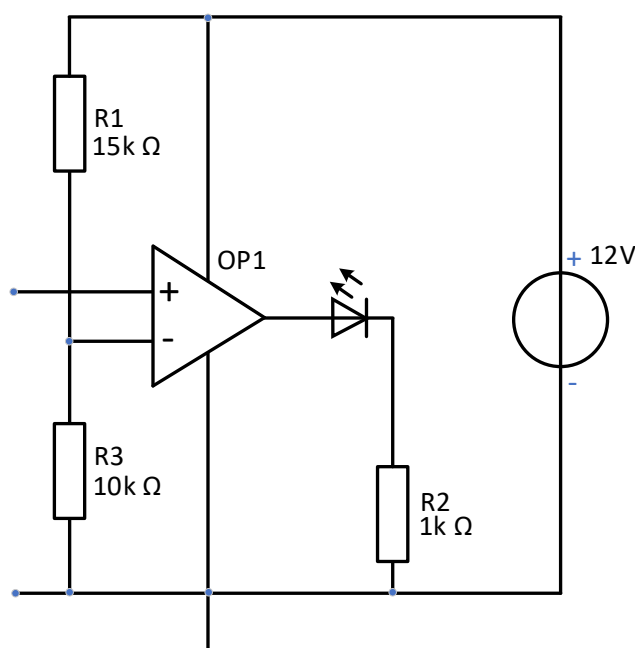




Rafbók



REIT rafeindatækni

19. kafli

Aðgerðarmagnarar grunnur

Flemming Madsen

REIT 19. kafli Aðgerðarmagnarar grunnur.

Þetta hefti er án endurgjalds á rafbókinni.

www.rafbok.is

Allir rafiðnaðarmenn og rafiðnaðarnemar geta fengið aðgang án endurgjalds að rafbókinni.

Heimilt er að afrita textann til fræðslu í skólum sem reknir eru fyrir opinbert fé án leyfis höfundar eða Rafmenntar, fræðsluseturs rafiðnaðarins. Hvers konar sala á textanum í heild eða að hluta til er óheimil nema að fengnu leyfi höfundar og Rafmenntar.

Höfundur er Flemming Madsen.

Umbrot í rafbók og teikningar Báru Laxdal Halldórsdóttir.

Vinsamlegast sendið leiðréttingar og athugasemdir til höfundar Flemmings Madsen flemmma@icloud.com eða til Báru Laxdal Halldórsdóttur á netfangið bara@rafmennt.is

REIT 19. kafli Aðgerðarmagnarar grunnur.

Efnisyfirlit

Formúlur og útskýringar fyrir aðgerðarmagnaradæmin	3
Data 1	9
Data 2	10
Dæmi 19.1	11
Dæmi 19.2	11
Dæmi 19.3	11
Dæmi 19.4	12
Dæmi 19.5	13
Dæmi 19.6	13
Dæmi 19.7	14
Dæmi 19.8	14
Dæmi 19.9	15
Dæmi 19.10	16
Dæmi 19.11	17
Dæmi 19.12	18
Dæmi 19.13	18
Dæmi 19.14	19
Dæmi 19.15	19
Dæmi 19.16	20
Dæmi 19.17	21
Dæmi 19.18	22
Dæmi 19.19	23

REIT 19. kafli Aðgerðarmagnarar grunnur.

Formúlur og útskýringar fyrir aðgerðarmagnaradæmin

Svörin við öllum útreikningum eru miðuð við þetta formúlublað.

Aðgerðamagnari, sem oftast er kallaður opamp, hefur tvo innganga. Merki, sem sett er á + innganginn, er í fasa við útganginn og merkið sem sett er á – innganginn er í öfugum fasa á útganginn. Útgangsmerkið stjórnast eingöngu af mismuninum sem er á milli spennunnar á + og – inngöngunum.

Fullkominn magnari hefur óendanlega háan inngangs-impedans og mögnun.

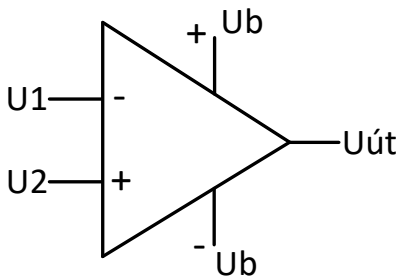
Útgangs-impedansinn er 0Ω og magnarinn magnar allt á milli jafnspennu og óendanlega hárrar tíðni jafn mikið. Jafnhá spenna á + og – innganginn gefur $0 V$ í útgangsspennu.

Því miður eru aðgerðarmagnarar ekki fullkomnir og datablöðin sýna hvernig aðgerðamagnarinn er frábrugðinn því að vera fullkominn.

Formúlublað þetta er sýnishorn af ótal mismunandi aðgerðamagnaratengingum og hugsað sem grunnur til þess að nemendur átti sig á hvernig aðgerðamagnari vinnur.

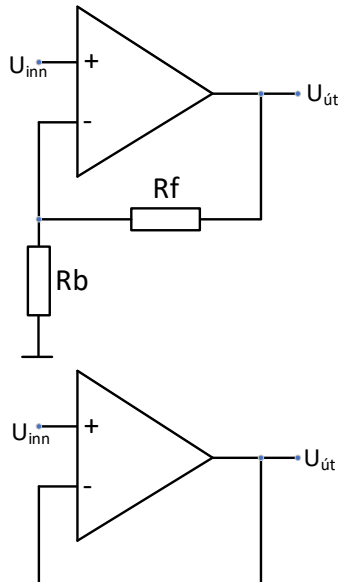
Uinn	Inngangsmerkisspenna
Uút	Útgangsmerkisspenna
Aol	Hve mörgum sinnum hrámögnun magnarans er, þ.e.a.s. mögnun án móttengsla
Acl	Hve mörgum sinnum magnari með móttengslum magnar merkið
Au	Hve mörgum sinnum spennumögnun rásarinnar er
Rf	Viðnám sem leiðir móttengslamerkið á milli út- og inngangs
Rb	Botnviðnám móttengsla spennudeilis í ekki fasasnúandi magnara
Ri	Inngangsviðnámið í fasasnúandi magnara
B	Bandbreidd, sama og fe (efri marktíðni rásarinnar) í aðgerðamagnararásum
GBP	Föst tala, margföldun á bandbreidd og hve mörgum sinnum rásin magnar

REIT 19. kafli Aðgerðarmagnarar grunnur.

<p>Aðgerðamagnari grunnur</p> 	<p>A_{ol} = mögnun án móttengsla, mjög há tala, t.d. 100.000 sinnum eða 100dB</p> $U_{út} = A_{ol} (U_2 - U_1) = A_{ol} (U_{+inn} - U_{-inn})$ <p>Z_{inn} = mjög há tala t.d. $1M\Omega - 1T\Omega$ $Z_{út}$ = lág tala, t.d. $10\Omega - 100\Omega$</p> <p>Bandbreidd = fe með aðgerðamagnara $B = 0,35 / RiseTime$</p> <p>GBP = gain bandwidth product, föst tala háð gerð aðgerðamagnarans t.d. 1MHz -200MHz $GBP = A_u \cdot f_e$ (Bandbreidd $B = f_e$)</p> <p>+Ub og -Ub er oft nefnt Ucc og Uee og er alltaf aftengt til jarðar með að lágmarki $0,1\mu F$ þétti staðsettum eins nálægt aðgerðamagnaranum og hægt er.</p>
--	--

REIT 19. kafli Aðgerðarmagnarar grunnur.

Ekki fasasnúandi magnari



$$A_u = \frac{U_{út}}{U_{inn}} = 1 + \frac{R_f}{R_b}$$

Zinn er eins og datablaðið segir til um.
Au er alltaf meira en einu sinni.

Unity gain (mögnun einu sinni)

$U_{inn} = U_{út}$, þ.e.a.s. $A_u = 1 \times$

Athuga hvort magnarinn er fær um þetta (sjá datablað).

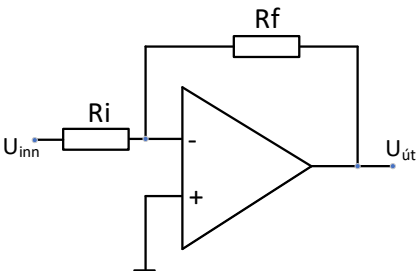
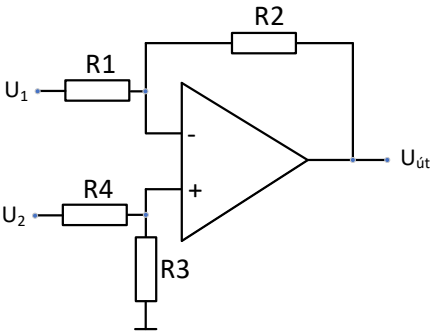
Ekki fasasnúandi unity gain

($R_f = 0\Omega$ og $R_b = \infty\Omega$)

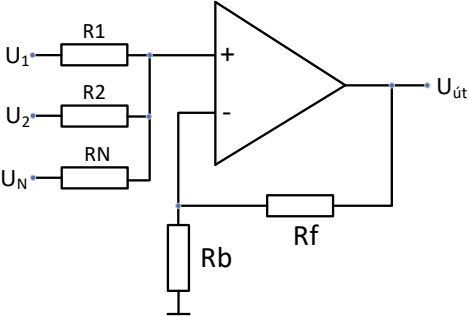
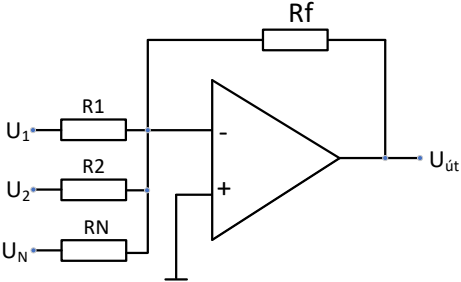
Zinn er eins og datablaðið sýnir.

Zút er mjög lágt, dæmigert $10\text{-}50\ \Omega$.

REIT 19. kafli Aðgerðarmagnarar grunnur.

<p>Fasasnúandi magnari</p> 	$A_u = \frac{U_{út}}{U_{inn}} = \frac{R_f}{R_i}$ <p>Au er frá nánast 0 að Aol. Zinn er eins og Ri. Zút er mjög lágt.</p> <p>Unity gain (mögnun 1 sinni), þá er $R_f = R_i$ Athuga hvort magnarinn er fær um þetta (sjá datablað).</p>
<p>Mismunarmagnari</p> 	<p>Common mode = CM merkir $U_2 = U_1$ Differential mode = DM merkir $U_2 - U_1$ CMRR [sinnum] common mode rejection ratio $CMR [dB] = 20 \log CMRR$</p> $CMRR[sinnum] = \left(\frac{A_{vDM}}{A_{vCM}} \right)$ $U_{ocm} = \left(\frac{U_{icm}}{CMRR} \right) \cdot \left(\frac{R_1}{R_2} \right)$ <p>Ef $R_1 = R_2 = R_3 = R_4$</p> $U_{út} = U_2 - U_1$ <p>Ef $R_1 = R_4$ og $R_2 = R_3$</p> $U_{út} = \frac{R_2}{R_1} \cdot (U_2 - U_1)$ <p>Ef R_1, R_2, R_3 og R_4 eru ólíkar stærðir:</p> $U_{út} = \left(\frac{R_2}{R_1} \right) \left(\frac{R_4}{R_3 + R_4} \right) \cdot U_2 - \left(\frac{R_2}{R_1} \right) \cdot U_1$

REIT 19. kafli Aðgerðarmagnarar grunnur.

<p>Ekki fasasnúinn samleggjari</p> 	<p>Forsenda $R_1 = R_2 = \dots = R_N$</p> $U_{út} = \left(\frac{U_1 + U_2 + \dots + U_N}{N} \right) \cdot \left(1 + \frac{R_f}{R_b} \right)$ <p>Ef $U_{út}$ á að vera $U_1 + U_2 + \dots + U_N$, þá er R_f reiknað út sem</p> $R_f = (N - 1)R_b$
<p>Fasasnúandi samleggjari</p> 	<p>Forsenda $R_f = R_1 = R_2 = \dots = R_N$</p> $U_{út} = -(U_1 + U_2 + \dots + U_N)$ <p>Annars</p> $U_{út} = -R_f \left(\frac{U_1}{R_1} + \frac{U_2}{R_2} + \dots + \frac{U_N}{R_N} \right)$

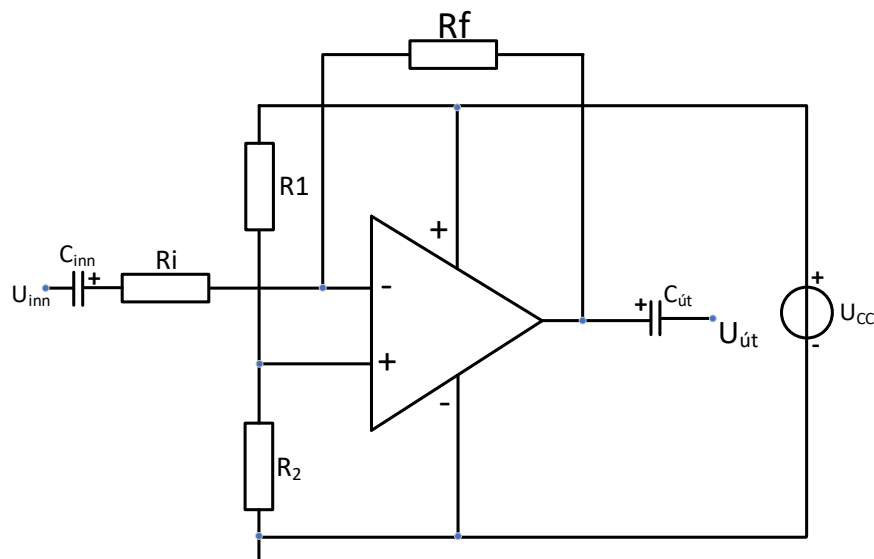
REIT 19. kafli Aðgerðarmagnarar grunnur.

Magnari með einum spennugjafa

Flestar gerðir aðgerðarmagnara eru færar um að nota einfalda rafhlöðu í stað \pm spennugjafa. Það er gert með því að lyfta annaðhvort plús- eða mínus-innganginum upp í helming af spennugjafaspennunni með tveimur jafn stórum viðnámum, R_1 og R_2 . Eftir þessa breytingu þarf að setja tengslapétta á inn- og útgang, vegna þess að dc-spennan á inn- og útgang verður helmingur af batterísspennunni U_{cc} .

Að öðru leyti eru tengingar og útreikningar eins og rás með \pm spennugjafa.

Tengimyndin sýnir fasasnúandi magnararás.



REIT 19. kafli Aðgerðarmagnarar grunnur.

Data 1

Figure 3–1
continued

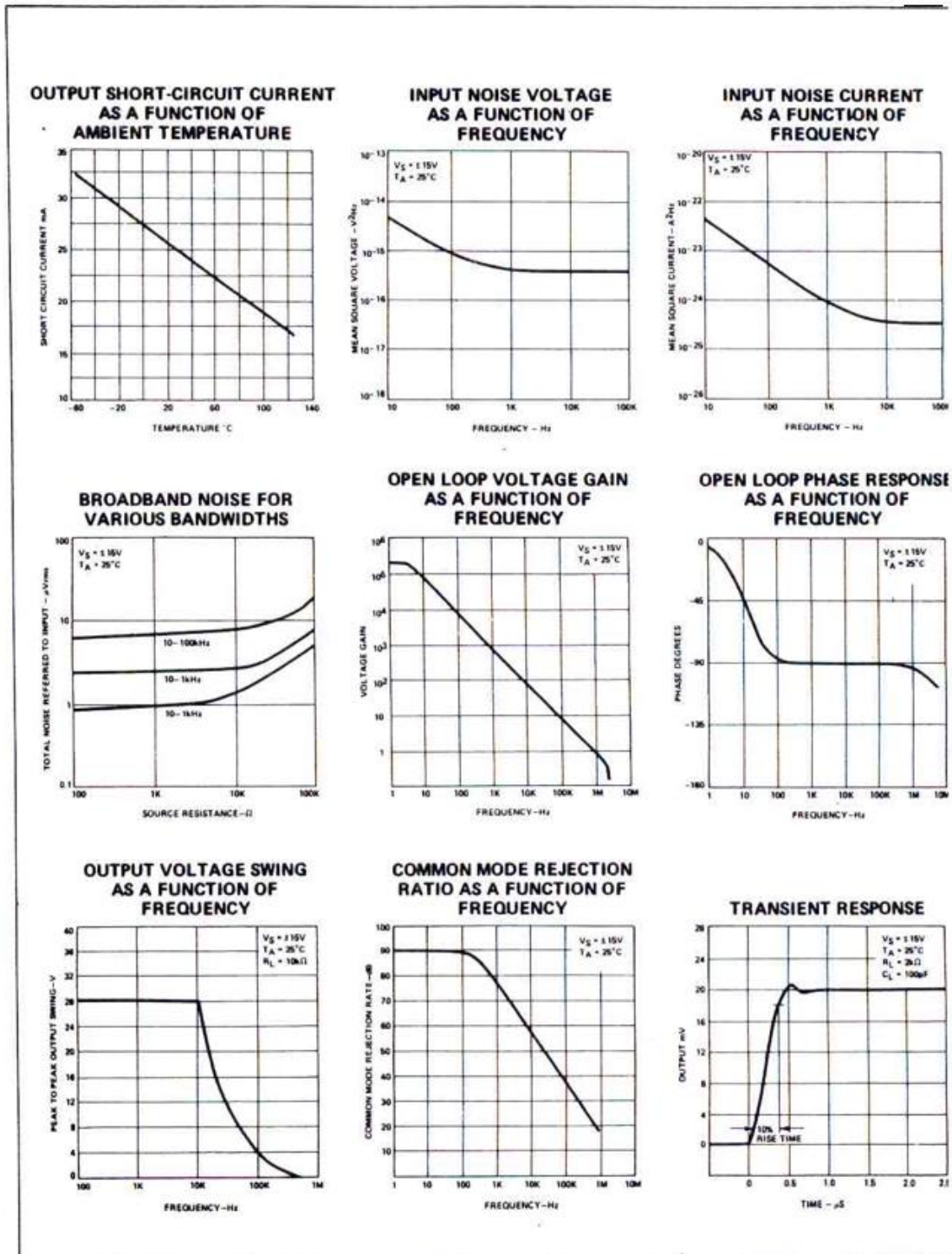
($V_S = \pm 15V$, $T_A = 25^\circ C$ unless otherwise specified)

PARAMETER	MIN.	TYP.	MAX.	UNITS	TEST CONDITIONS
μA741C					
Input Offset Voltage		2.0	6.0	mV	$R_S < 10k\Omega$
Input Offset Current		20	200	nA	
Input Bias Current		80	500	nA	
Input Resistance	0.3	2.0		M Ω	
Input Capacitance		1.4		pF	
Offset Voltage Adjustment Range		± 15		mV	
Input Voltage Range	± 12	± 13		V	
Common Mode Rejection Ratio	70	90		dB	$R_S < 10k\Omega$
Supply Voltage Rejection Ratio		10	150	$\mu V/V$	$R_S < 10k\Omega$
Large-Signal Voltage Gain	20,000	200,000			$R_L > 2k\Omega$, $V_{out} = \pm 10V$
Output Voltage Swing	± 12	± 14		V	$R_L > 10k\Omega$
	± 10	± 13		V	$R_L > 2k\Omega$
Output Resistance		75		Ω	
Output Short-Circuit Current		25		mA	
Supply Current		1.4	2.8	mA	
Power Consumption		50	85	mW	
Transient Response (unity gain)					$V_{in} = 20mV$, $R_L = 2k\Omega$, $C_L < 100pF$
Risetime		0.3		μs	
Overshoot		5.0		%	
Slew Rate		0.5		V/ μs	$R_L > 2k\Omega$
The following specifications apply for $0^\circ C < T_A < +70^\circ C$					
Input Offset Voltage			7.5	mV	
Input Offset Current			300	nA	
Input Bias Current			800	nA	
Large-Signal Voltage Gain	15,000				$R_L > 2k\Omega$, $V_{out} = \pm 10V$
Output Voltage Swing	± 10	± 13		V	$R_L > 2k\Omega$
μA741					
Input Offset Voltage		1.0	5.0	mV	$R_S < 10k\Omega$
Input Offset Current		10	200	nA	
Input Bias Current		80	500	nA	
Input Resistance	0.3	2.0		M Ω	
Input Capacitance		1.4		pF	
Offset Voltage Adjustment Range		± 15		mV	
Large-Signal Voltage Gain	50,000	200,000			$R_L > 2k\Omega$, $V_{out} = \pm 10V$
Output Resistance		75		Ω	
Output Short Circuit Current		25		mA	
Supply Current		1.4	2.8	mA	
Power Consumption		50	85	mW	
Transient Response (unity gain)					$V_{in} = 20mV$, $R_L = 2k\Omega$, $C_L < 100pF$
Risetime		0.3		μs	
Overshoot		5.0		%	
Slew Rate		0.5		V/ μs	$R_L > 2k\Omega$
The following specifications apply for $-55^\circ C < T_A < +125^\circ C$					
Input Offset Voltage		1.0	6.0	mV	$R_S < 10k\Omega$
Input Offset Current		7.0	200	nA	$T_A = +125^\circ C$
		20	500	nA	$T_A = -55^\circ C$
Input Bias Current		0.03	0.5	μA	$T_A = +125^\circ C$
		0.3	1.5	μA	$T_A = -55^\circ C$
Input Voltage Range	± 12	± 13		V	
Common Mode Rejection Ratio	70	90		dB	$R_S < 10k\Omega$
Supply Voltage Rejection Ratio		10	150	$\mu V/V$	$R_S < 10k\Omega$
Large-Signal Voltage Gain	25,000				$R_L > 2k\Omega$, $V_{out} = \pm 10V$
Output Voltage Swing	± 12	± 14		V	$R_L > 10k\Omega$
	± 10	± 13		V	$R_L > 2k\Omega$
Supply Current		1.5	2.5	mA	$T_A = +125^\circ C$
		2.0	3.3	mA	$T_A = -55^\circ C$
Power Consumption		45	75	mW	$T_A = +125^\circ C$
		45	100	mW	$T_A = -55^\circ C$

REIT 19. kafli Aðgerðarmagnarar grunnur.

Data 2

Figure 3-1
continued



REIT 19. kafli Aðgerðarmagnarar grunnur.

Dæmi 19.1

Finndu eftirfarandi lykiltölur fyrir $\mu A741$, einn elsta aðgerðarmagnarann sem til er frá Signetics (bls. 9 og 10). Skráðu dæmigerð (Typ.) gildi og mælieiningar.

Hvað er hráspennumögnun aðgerðarmagnarans mörg dB?

Hvað stórt er inngangsviðnámið (impedans) $\mu A741$ og útgangsviðnámið?

Hver er hæsta peak peak-útgangsspennan, miðað við ± 15 V spennugjafaspennu og meira en $10\text{ k}\Omega$ álagsviðnám á útganginn?

Hver er *Risetime* (rishraði) magnarans og miðað við það, hver er hæsta tíðni magnarans GBP (hæsta tíðni sem magnarinn er fær um að magna)?

Hvað er CMRR *common mode rejection ratio* mörg dB og hvað er það mörgu sinnum?

Dæmi 19.2

Átta pinna DIL $\mu A 741$ aðgerðarmagnari er tengdur við ± 15 V spennugjafa. Á plúsinngang magnarans er $+1$ V og á mínusinnganginn $+2$ V.

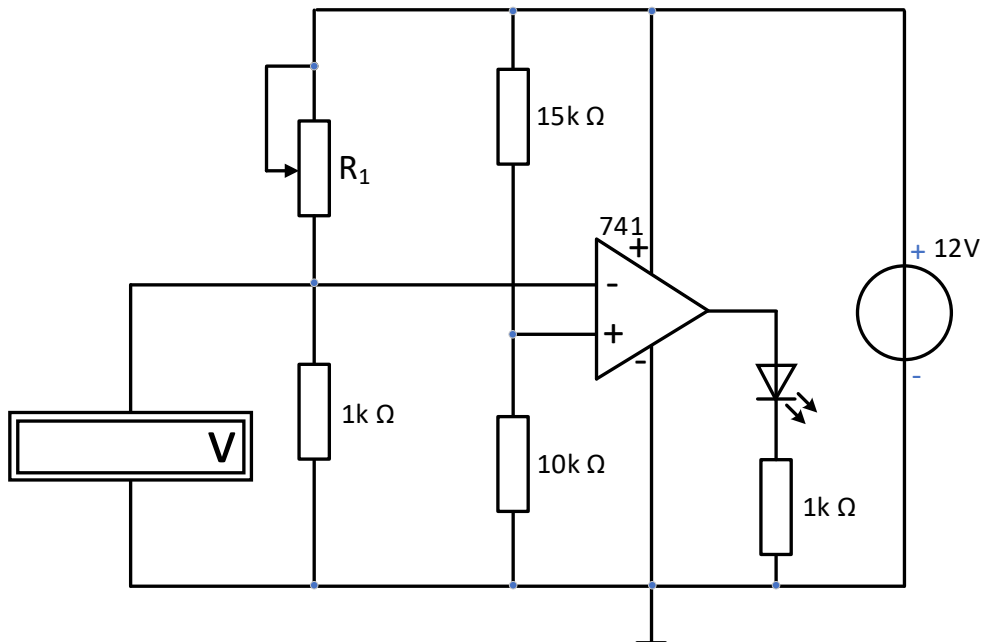
- A. Teiknaðu tengimynd rásarinnar með númerum tengipinnanna merktum inn á myndina.
- B. Reiknaðu útgangsspennu rásarinnar.
- C. Reiknaðu útgangsspennu rásarinnar ef spennan á plúsinnganginn breytist í $+3$ V.

Dæmi 19.3

Teiknaðu tengimynd aðgerðarmagnararásar með ± 12 V spennugjafa. Rásin á að kveikja á rauðri ljósdíóðu, þegar spennan á $+$ innganginn verður > 6 V og á grænni ljósdíóðu þegar spennan verður < 6 V. Straumurinn í ljósdíóðunum á að vera um $6\text{--}7$ mA og Uf-díóðurnar eru reiknaðar 2 V.

REIT 19. kafli Aðgerðarmagnarar grunnur.

Dæmi 19.4

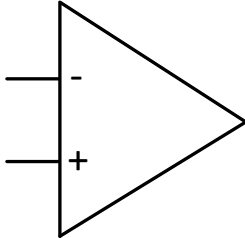


Samanburðarrás með 741

- Reiknaðu út hve mörg mA straumurinn í ljósdíóðunni er þegar hún lýsir.
 $U_{LED} = 2,1 \text{ V}$.
- Ef voltmælirinn sýnir 12 V, hver er þá útgangsspenna rásarinnar?
- Ef voltmælirinn sýnir 0 V, er þá ljós á ljósdíóðunni?
- Reiknaðu út spennuna sem voltmælirinn sýnir þegar rásin skiptir um stöðu á útganginum.
- Reiknaðu út á hve mörg Ω stilliviðnámið er stillt þegar rásin skiptir um stöðu.
- Hvaða afleiðingar hefur það á rásina, ef plús og mínusinngöngunum er víxlað.

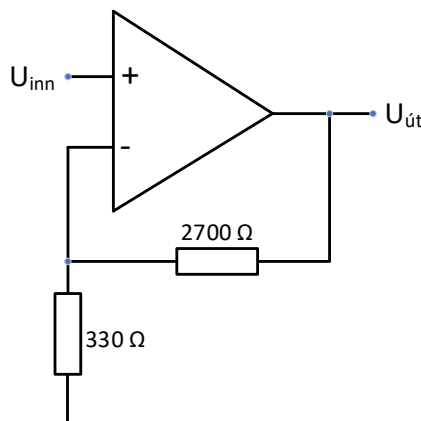
REIT 19. kafli Aðgerðarmagnarar grunnur.

Dæmi 19.5



- Teiknaðu viðnámin inn á myndina þannig að magnarinn vinni sem fasasnúandi (inverter) spennumagnari.
- Teiknaðu inn rásaviðbót svo hægt sé að núllstillja dc-útgangsspennuna (offset null).
- Inngangs-impedans rásarinnar á að vera $10\text{ k}\Omega$. Skrifðu viðnámsgildið inn á „réttu“ viðnámið.
- Reiknaðu út R_f og R_i þannig að magnarinn magni - 4,7 sinnum.

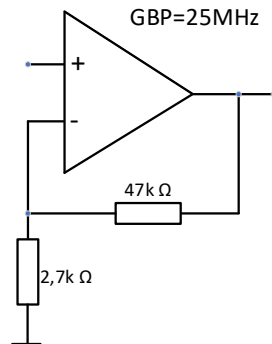
Dæmi 19.6



- Reiknaðu út hve mörgum sinnum inngangsspenna rásarinnar magnast.
- Reiknaðu inngangsspennu rásarinnar, ef útgangsspennan er 9 V_{rms} . (Það er nálægt því að vera mesta útgangsspenna, sem opamp tengdur $\pm 15\text{ V}$ spennugjafi er fær um gefa).
- Hvað er GBP og efri marktiðni rásarinnar ef *rise time* aðgerðarmagnarans er 88 ns ?
- Aðgerðarmagnarinn í rásinni er TL072. Flettu upp inngangsviðnámi rásarinnar á internetinu.

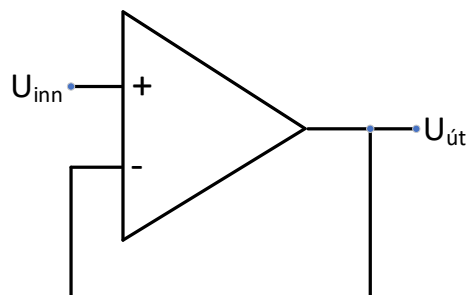
REIT 19. kafli Aðgerðarmagnarar grunnur.

Dæmi 19.7



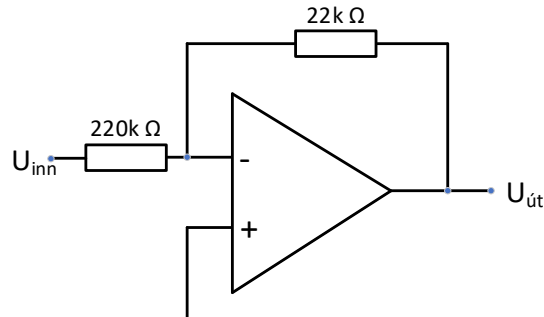
- Reiknaðu út hve mörg dB spennumögnun rásarinnar er.
- Reiknaðu út efri tíðnimörk rásarinnar.
- Reiknaðu út hæsta topp-toppgildi inngangsspennunnar ef hæsta útgangsspenna rásarinnar er ± 15 V.
- Ef miðað er við lið C, hvert er þá hæsta vinnugildi útgangsspennunnar sem rásin er fær um að gefa út óbjagað?

Dæmi 19.8



- Hver er aðaltilgangur rásarinnar?
- Breyttu tengimyndinni í lið A þannig að inngangsviðnám rásarinnar verði $47 \text{ k}\Omega$.
- Teiknaðu tengimynd sams konar rásar sem snýr fasanum um 180° . Inngangsviðnám rásarinnar á að vera $47 \text{ k}\Omega$.
- Hver er efri marktíðni rásanna ef GBP opampsins er 5 MHz ?

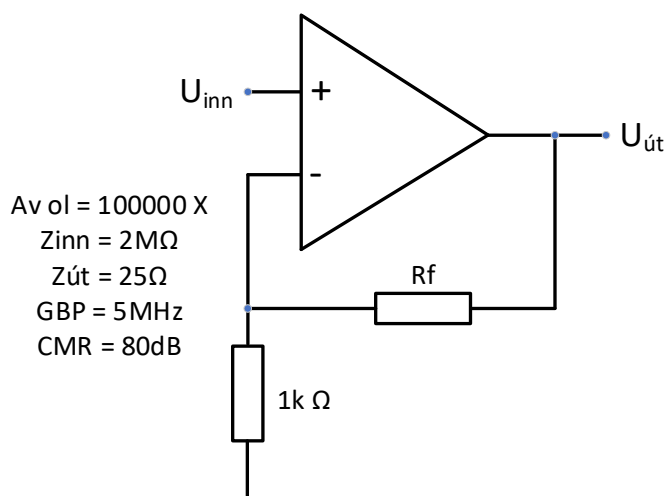
REIT 19. kafli Aðgerðarmagnarar grunnur.

Dæmi 19.9

- A. Reiknaðu út hve mörgum sinnum inngangsspenna rásarinnar magnast.
- B. Reiknaðu útgangsspennu rásarinnar ef -3 V eru tengd við innganginn.
- C. Reiknaðu út spennuna á $-$ inngang magnarans ef Vinn er -3 V og A_{ol} magnarans er 9 5dB .
- D. Hvert er inngangsviðnám rásarinnar?

REIT 19. kafli Aðgerðarmagnarar grunnur.

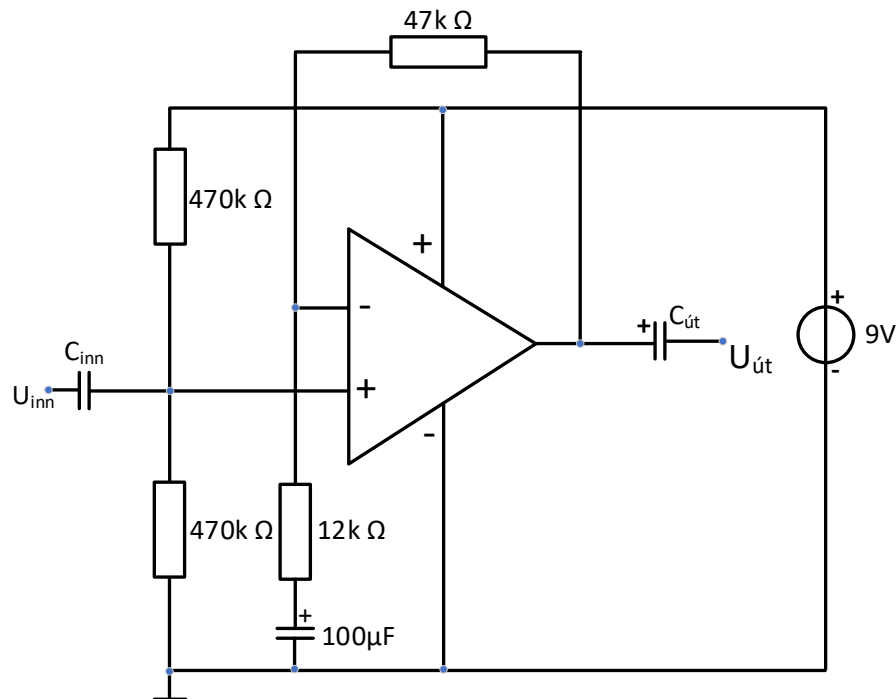
Dæmi 19.10



- Merkstu inn- og útgangsspennur inn á rásateikninguna.
- Reiknaðu út hve mörg Ω R_f þarf að vera til þess að inngangsspenna rásarinnar magnist 3,5 sinnum.
- Reiknaðu út hve mörg Hz efri marktíðni (fe) rásarinnar er.
- Reiknaðu út hve mörg F þéttir yfir R_f þarf að vera ef efri marktíðni rásarinnar takmarkast við 35 kHz.
- Reiknaðu út hve stóran þétti þarf að raðtengja við $1k\Omega$ botnviðnámið þannig að neðri marktíðni rásarinnar verði 30 Hz.
- Teiknaðu dc-offsetstilli inn á rásamyndina. (Það er stilliviðnám sem gerir að verkum að hægt er að fá 0 V dc á útganginn án þess að breyta virkni rásarinnar að öðru leyti.)

REIT 19. kafli Aðgerðarmagnarar grunnur.

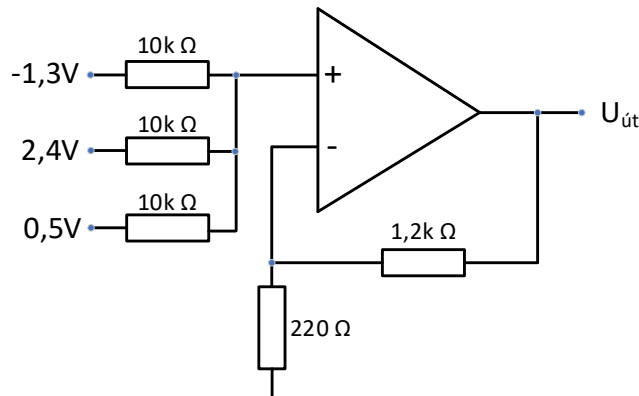
Dæmi 19.11



- Reiknaðu út mögnun rásarinnar.
- Reiknaðu út inngangsviðnám rásarinnar.
- Reiknaðu út C_{inn} ef neðri marktíðni rásarinnar er 15 Hz.
- Reiknaðu út hæstu rms-útgangsspennuna sem rásin er fær um að gefa út óbjagað.

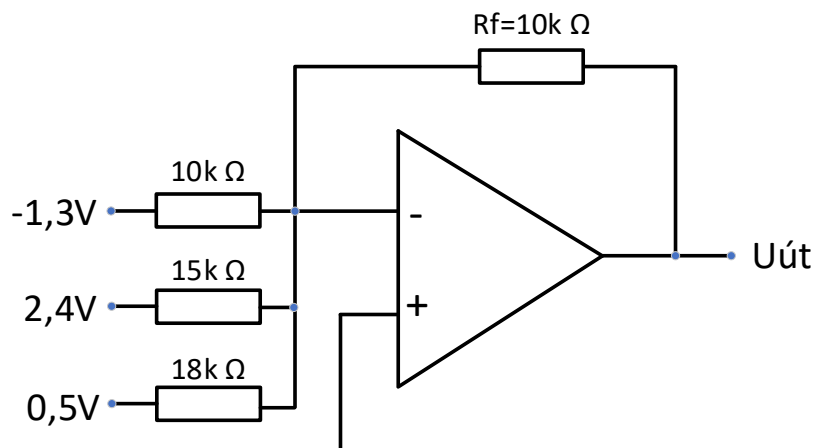
REIT 19. kafli Aðgerðarmagnarar grunnur.

Dæmi 19.12



- Reiknaðu út útgangsspennu rásarinnar.
- Hve mörg Ω þurfa að koma í stað $1,2\text{ k}\Omega$ viðnámsins til þess að útgangsspenna rásarinnar verði summan af inngangsspennunum?
- Reiknaðu út útgangsspennu rásarinnar ef öll viðnámin eru $10\text{ k}\Omega$.

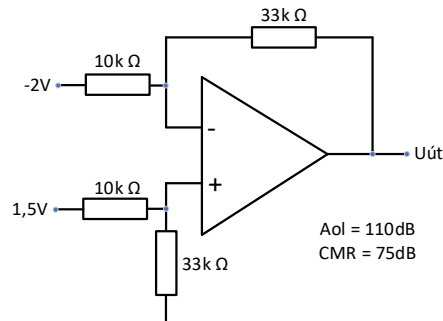
Dæmi 19.13



- Reiknaðu út útgangsspennuna $U_{\text{út}}$ ef öll viðnám rásarinnar eru $10\text{ k}\Omega$.
- Reiknaðu út útgangsspennuna út frá viðnámsgildunum sem sýnd eru á tengimyndinni.
- Reiknaðu út hve mörg Ω R_f þarf að vera til þess að útgangsspenna rásarinnar verði -5 V .

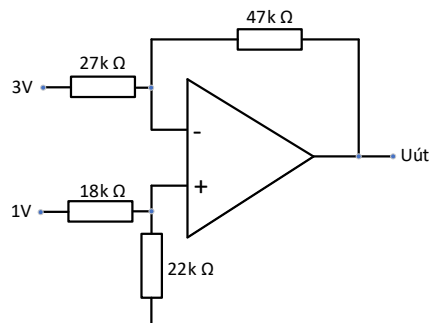
REIT 19. kafli Aðgerðarmagnarar grunnur.

Dæmi 19.14



- Reiknaðu út hve mörg V útgangsspenna mismunarmagnarans er.
- Reiknaðu út hve mörg V spennan á milli jarðar og mínusinngangs magnarans er.
Athugaðu að þú þarft að breyta A_{ol} í sinnum.
- Reiknaðu út hve mörg V útgangsspenna rásarinnar yrði ef báðir inngangarnir væru tengdir við +1,5 V.
Athugaðu að þú þarft að breyta CMR [dB] í CMRR [sinum].

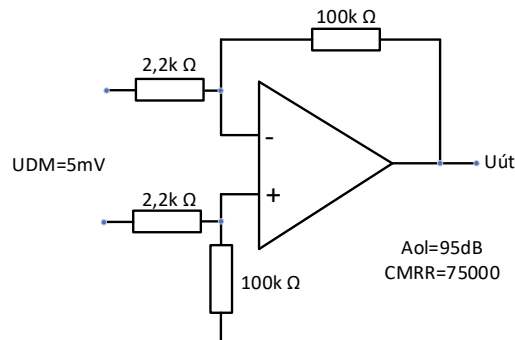
Dæmi 19.15



- Reiknaðu út hve mörg V útgangsspenna mismunarmagnarans er.
- Reiknaðu útgangsspennu rásarinnar ef öllum viðnámum er breytt í 10 kΩ.

REIT 19. kafli Aðgerðarmagnarar grunnur.

Dæmi 19.16

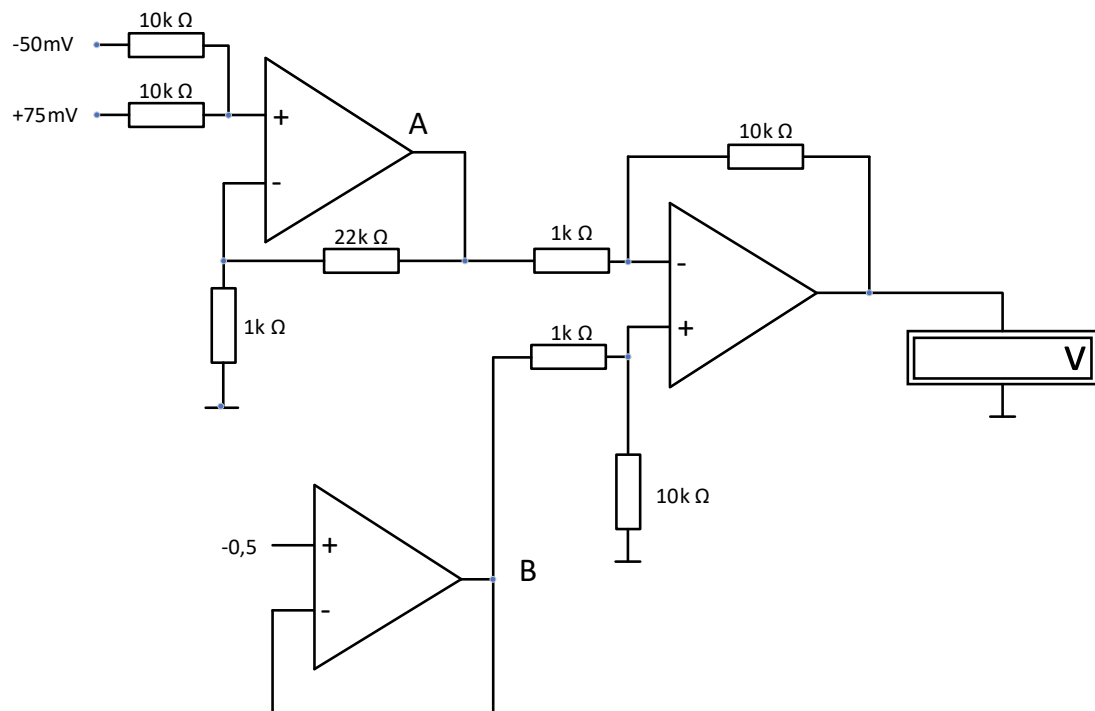


Míkrófónmagnari með opamp.

- Míkrófónn sendir 5 mV merki inn á inngang magnarans við eðlilegan hljóðstyrk. Reiknaðu út hve mörg dB mismunarmagnarinn magnar merkið frá míkrófóninum.
- Þar sem skermingin á míkrófónkaplinum er ófullkomin, geislar 0,2 mV 50 Hz merki frá umhverfinu inn á kapalinn. Inngeislunin er í sama fasa á + og - inngöngunum og er þess vegna common mode CM-merki. Reiknaðu út hve mörg V 50Hz inngeislunin verður á útgang magnarans.
- Hlutfallið á milli merkis og suðs (signal to noise) er $U_{útDM}/U_{útCm}$. Reiknaðu út hve mörg dB það eru.

REIT 19. kafli Aðgerðarmagnarar grunnur.

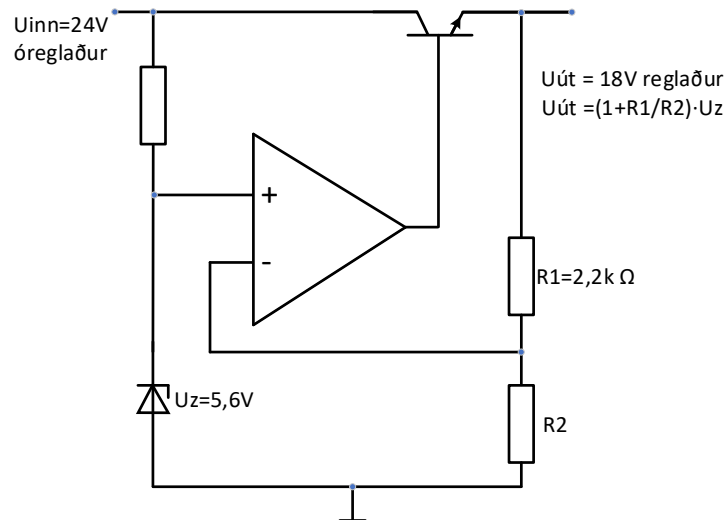
Dæmi 19.17



- A. Reiknaðu út spennuna í punkti A.
- B. Reiknaðu út spennuna í punkti B.
- C. Reiknaðu út spennuna sem voltmælirinn sýnir.

REIT 19. kafli Aðgerðarmagnarar grunnur.

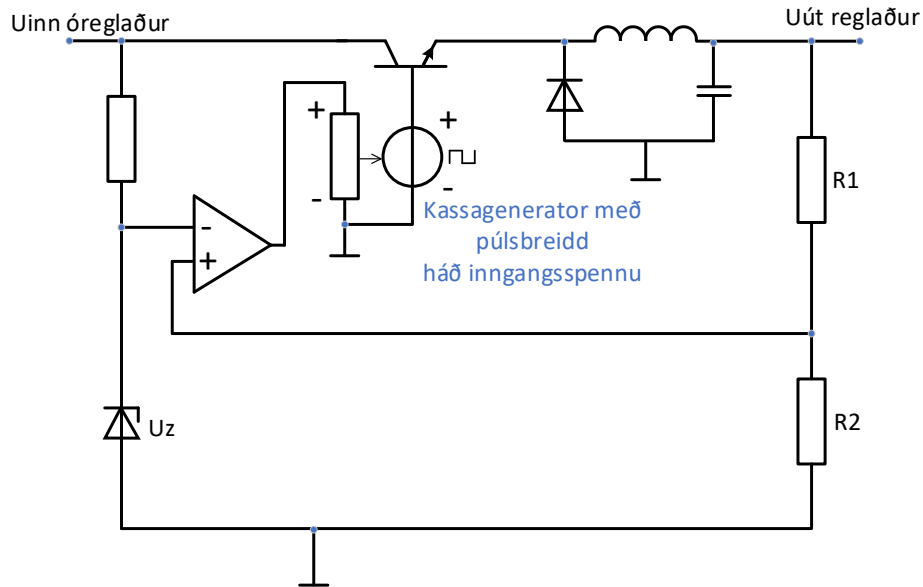
Dæmi 19.18



- A. Tengimyndin sýnir í grófum dráttum uppbyggingu 18 V spennustillirásar eins og 7818.
Reiknaðu út hve mörg Ω R2 þarf að vera.
- B. Útskýrðu hvernig rásin vinnur kröftuglega á móti spennubreytingum á útganginn.

REIT 19. kafli Aðgerðarmagnarar grunnur.

Dæmi 19.19



Tengimyndin sýnir switch mode-spennugjafa með breytilegri púlsbreidd (PWM).

Reyndu að lýsa því hvernig rásin vinnur á móti spennubreytingunum á útganginn.