

8 – Basis opampschakelingen

Ing. Patrick Van Houtven

8. Basis opampschakelingen(blz. 385)

Outline

- Comparators
- Somversterkers
- Integrators en differentiators
- Converters en andere opampschakelingen

Doelstellingen

- Het werkingsprincipe van verschillende opampschakelingen kunnen verklaren
- De werking van verschillende typen somversterkers kunnen verklaren
- De werking van een aantal speciale opampschakelingen kunnen verklaren

8-1 Comparators

Wat is een comparator?

- Opamps dikwijls gebruikt om de amplitudespanning van een bepaald device te vergelijken met de amplitude van een ander device (of referentiewaarde)
- Bij opamp als comparator wordt gebruik gemaakt van de open-lus configuratie met het ingangssignaal aan de ene zijde en de referentiespanning aan de andere zijde van de ingang.

Wat is belangrijk?

- Je kan de werking omschrijven van een zero-level detector
- Je kan de werking omschrijven van een non- zero-level detector
- Je kan verklaren hoe de inputruis de comparatorwerking beïnvloed.
- Je kan hysteresis definiëren
- Je kan verklaren hoe hysteresis de ruisinvloeden vermindert
- Je kan een Schmitt-trigger circuit beschrijven
- Je kan de werking van begrensde comparators beschrijven
- Je kan de werking van een venster-comparator beschrijven
- Je kan het werkingsprincipe van comparators verklaren in systemen zoals analoog-naar-digitaal omzetting.

- **Comparator** = opampschakeling die gebruikt wordt om na te gaan of de ingangsspanning een bepaald niveau overschrijdt.
- Fig. 8-1(a) toont zero-level detector. Inverterende ingang is aan massa gelegd zodat een zeroniveau (nul volt) als ingangssignaal wordt gelegd aan de inverterende ingang. Aan de niet-inverterende ingang wordt het signaal V_{in} aangelegd.
- Door de hoge open-lus versterking zal een klein spanningsverschil aan de ingang de opamp in verzadiging drijven. Dit houdt in dat de opamp gestuurd wordt naar zijn maximale uitgangsspanning.
- Vb. Stel $A_{ol} = 100000$.
 - Een spanningsverschil van 0,25 mV aan de ingang produceert theoretisch een $V_{out} = 25 \text{ V}$ ($A_{ol} \cdot V_{diff}$)
 - Als de opamp gevoed wordt met een voeding gelijk aan $\pm 15 \text{ V} \Rightarrow$ schakeling in verzadiging (saturation) gestuurd.
- Fig. 8-1 (b) toont sinusvormige spanning als V_{in} .
 - Sinusspanning is negatief $\Rightarrow V_{out}$ is zijn op maximale negatieve waarde ($-V_{out(max)}$)
 - Van zodra de sinusspanning de 0 V overschrijdt, V_{out} verandert naar $+V_{out(max)}$.
- **Opmerking: zero-level kan gebruikt worden om van een sinusvorm een blokspanning te maken.**

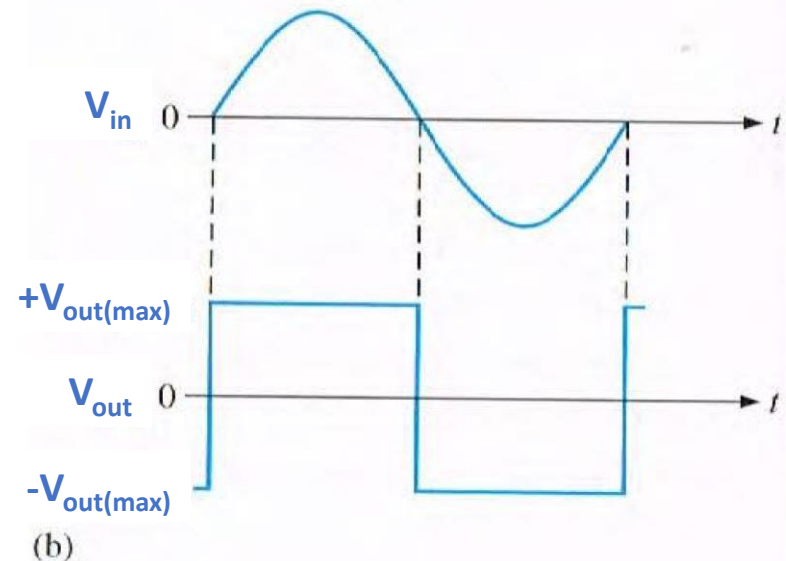
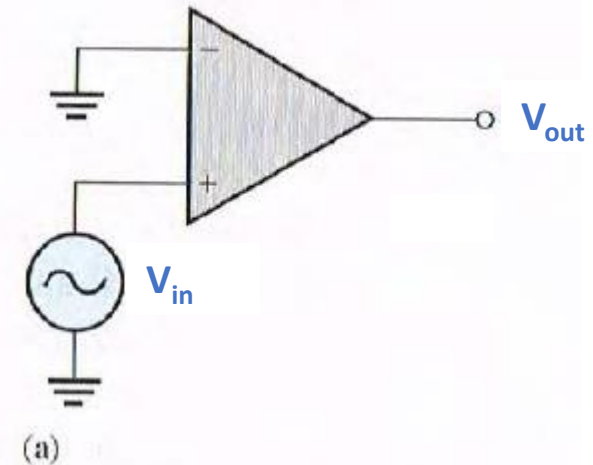
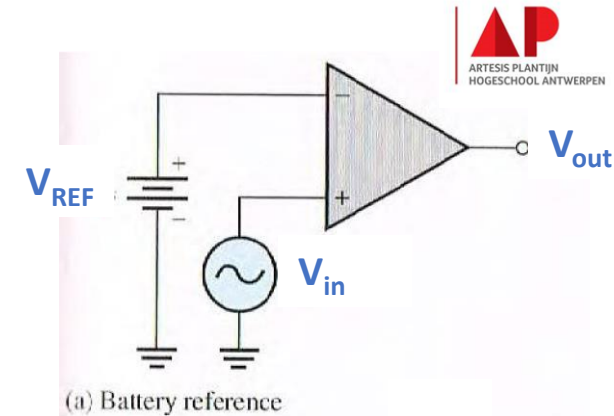


FIGURE 8-1 The op-amp as a zero-level detector

8-1 Comparators

Non-Zero-level detectie (blz. 387)

- Door het massapotentiaal van de zero-level detector te vervangen door een bepaalde spanning, is de schakeling in staat om positieve en negatieve spanningen te detecteren. De aangelegde spanning (bv. via een batterij – fig. 8-2 (a)) aan de niet-inverterende ingang wordt V_{REF} genoemd.



- Fig. 8-2(d)
 - Zolang V_{in} lager is dan $V_{REF} \Rightarrow V_{out} = -V_{out(max)}$
 - Van zodra V_{in} hoger wordt dan V_{REF} verandert de uitgangsspanning V_{out} naar $+V_{out(max)}$.

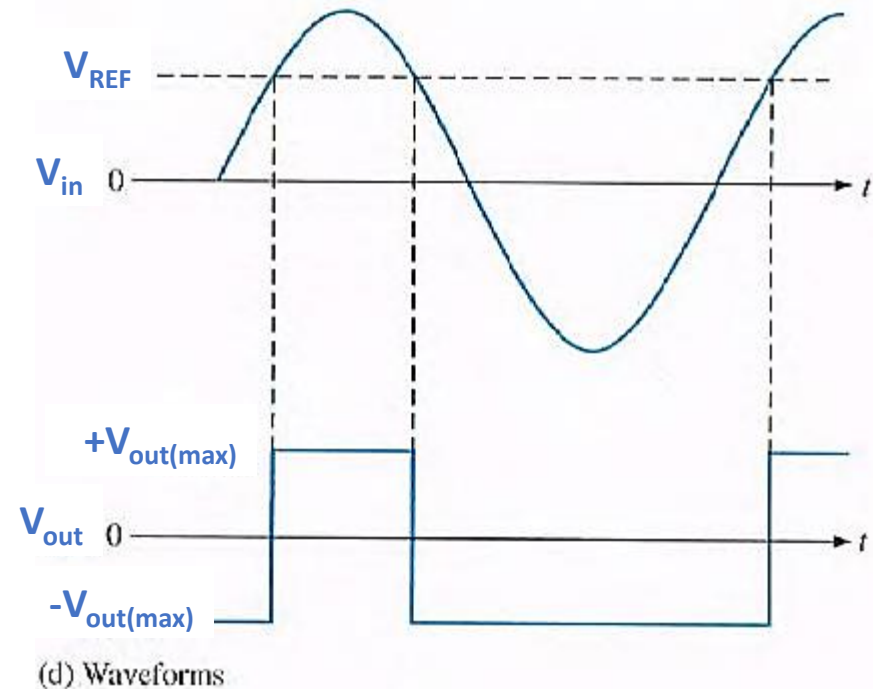


FIGURE 8-2 Nonzero-level detectors.

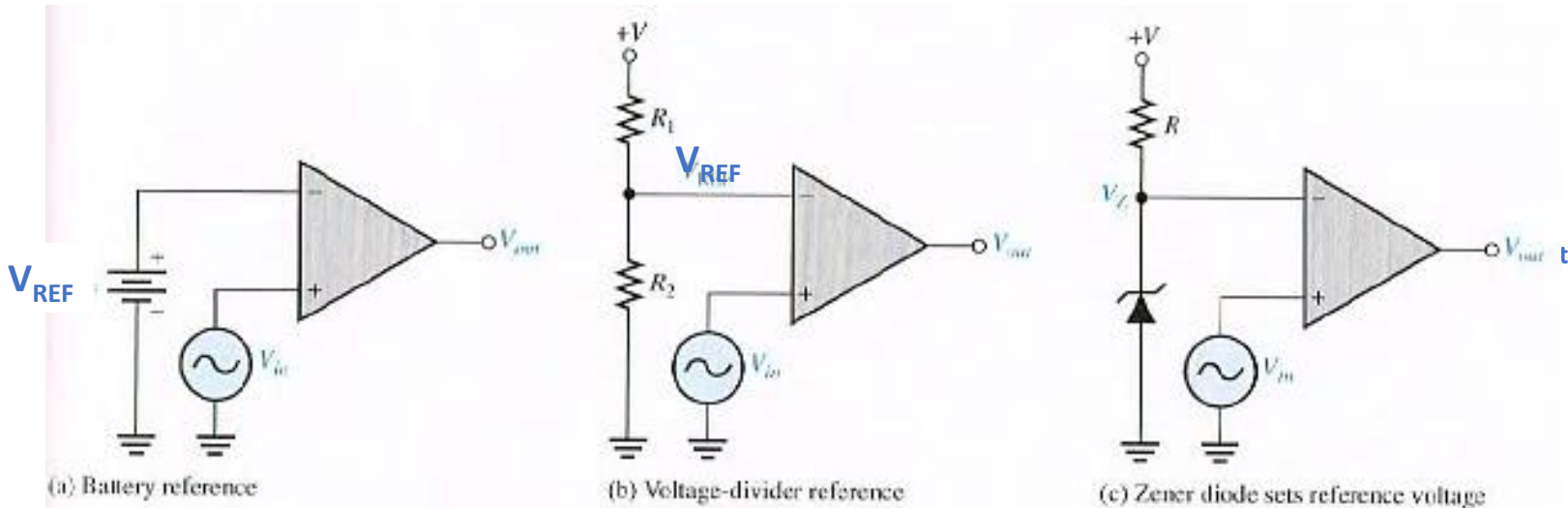
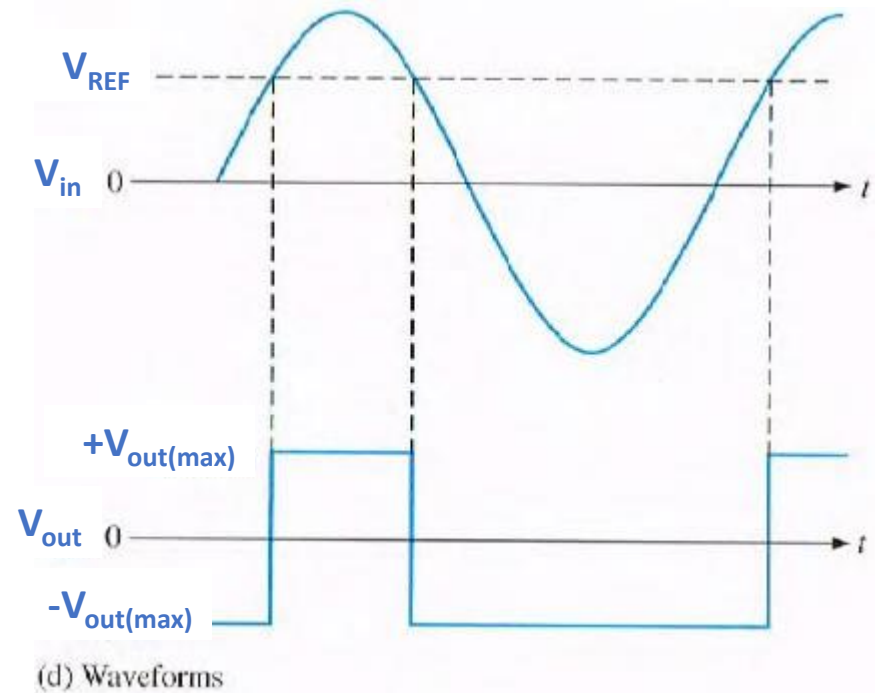
8-1 Comparators

Non-Zero-level detectie

- Hoe kunnen we V_{REF} bekomen?
 - Via een batterij (zie fig. 8-2-(a))
 - Via een spanningsdeler (zie fig. 8-2(b)); als de positieve voedingsspanning voorgesteld wordt door $+V$, kan de referentiespanning dan als volgt worden gemaakt :

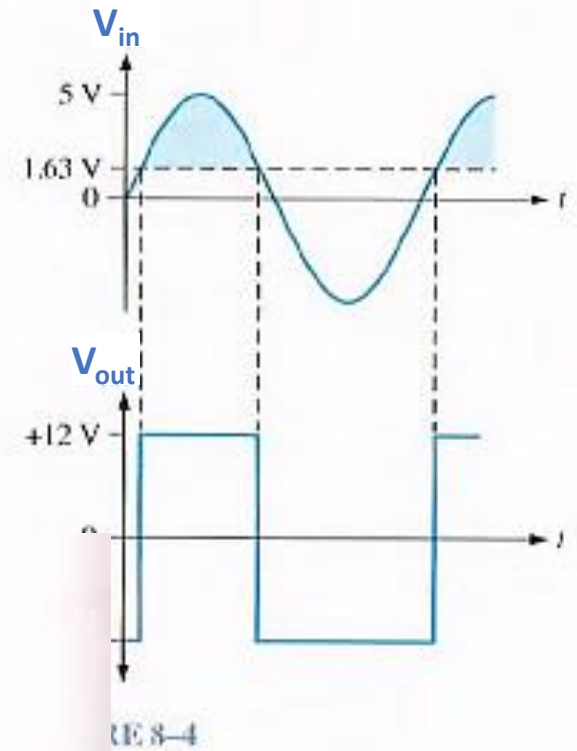
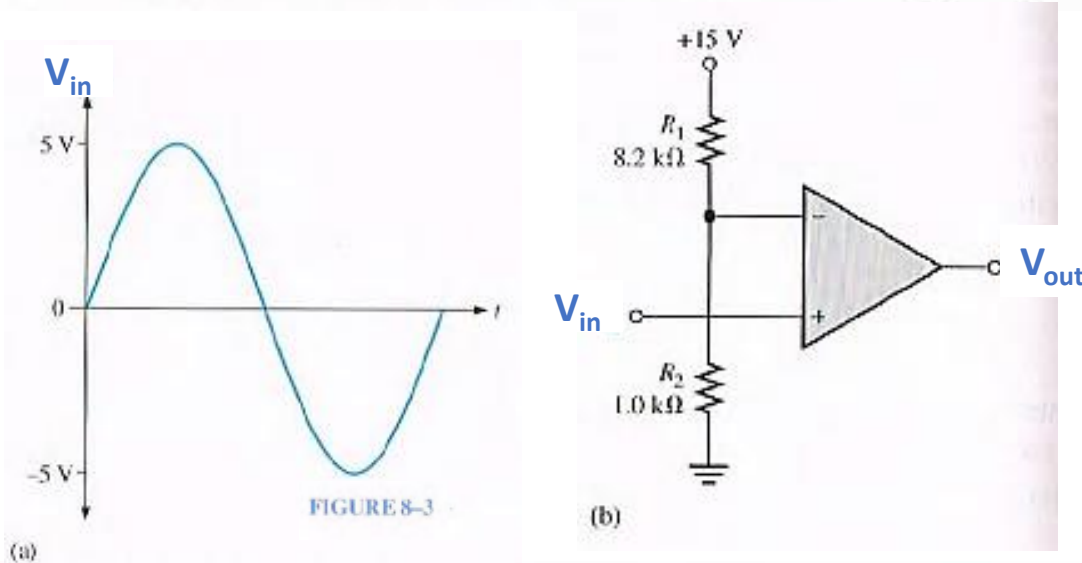
$$V_{REF} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot (+V) \quad (8-1)$$

- Via een zenerdiode (zie fig. 8-2(c)): De referentiespanning is dan gelijk aan de zenerspanning.



EXAMPLE 8-1

The input signal in Figure 8-3(a) is applied to the comparator circuit in Figure 8-3(b). Make a sketch of the output showing its proper relationship to the input signal. Assume the maximum output levels of the op-amp are ± 12 V.



SOLUTION

The reference voltage is set by R_1 and R_2 as follows:

$$V_{REF} = \frac{R_2}{R_1 + R_2}(+V) = \frac{1.0 \text{ k}\Omega}{8.2 \text{ k}\Omega + 1.0 \text{ k}\Omega}(+15 \text{ V}) = 1.63 \text{ V}$$

As shown in Figure 8-4, each time the input exceeds $+1.63$ V, the output voltage switches to its $+12$ V level, and each time the input goes below $+1.63$ V, the output switches back to its -12 V level.

- Ruis aan de ingang doet zich voor als een (stoor)signaal dat gesupperponeerd is op het eigenlijke ingangssignaal (zie fig. 8-5)
- Stel een laagfrequent ingangssignaal dat aangelegd wordt aan de niet-inverterende ingang van een zero-level detector. (fig. 8-6a)
- Fig. 8-6(b) toont het ingangssignaal met de aanwezige ruis erop gesupperponeerd. Zoals in de figuur te zien is: telkens het ingangssignaal de 0 V bereikt, ontstaan er fluctuaties omwille van de aanwezige ruis.
- Deze fluctuatie ten gevolge van ruis zorgt ervoor dat het uitgangssignaal nogal vol met fouten zit. Immers telkens het ingangssignaal ten gevolge van de ruis terug onder het nul-niveau komt klappt de zero-level detector terug om waardoor stoorpulsen in het uitgangssignaal ontstaan.

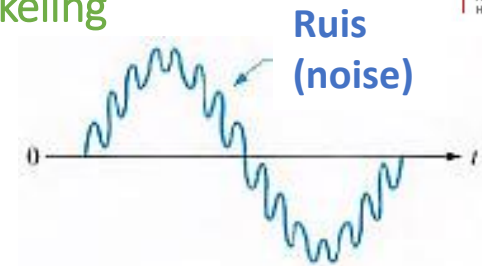
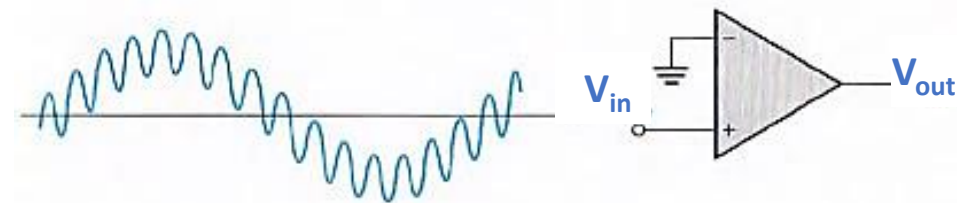
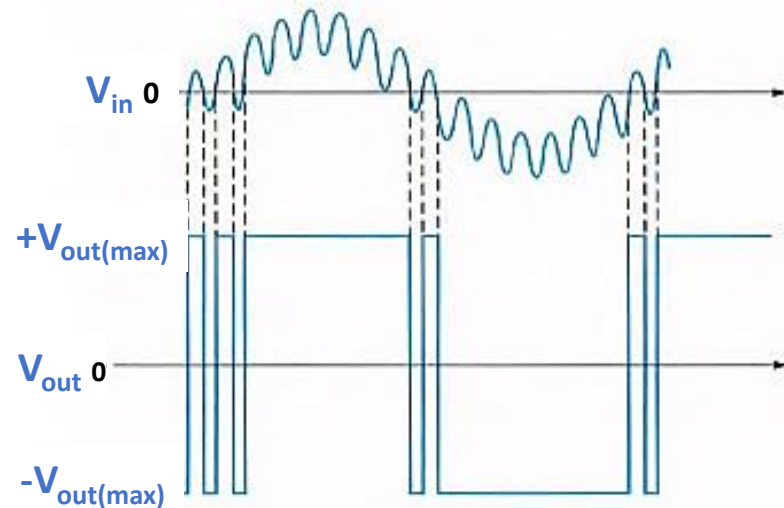


FIGURE 8-5 Sine wave with superimposed noise.



(a)



(b)

FIGURE 8-6 Effects of noise on comparator circuit.

8-1 Comparators

Ruiseffecten verminderen via een hysteresis

- Om een comparator minder gevoelig te maken, wordt een techniek van positieve terugkoppeling - dat **hysteresis** wordt genoemd – gebruikt.
- Algemeen: Hysteresis betekent dat er een hogere referentieniveau is dat door het ingangssignaal moet overschreden worden om de schakeling te doen omklappen als het ingangssignaal van een lagere naar een hogere waarde gaat, dan het referentieniveau om de schakeling te doen omklappen van een hogere waarde naar een lagere.
- De 2 referentieniveau's worden het “upper trigger point (UTP)” en het “lower trigger point (LTP)” genoemd. De referentiepunten worden gerealiseerd door de positieve terugkoppeling van het uitgangssignaal naar de niet-inverterende ingang. (zie fig. 8-7)

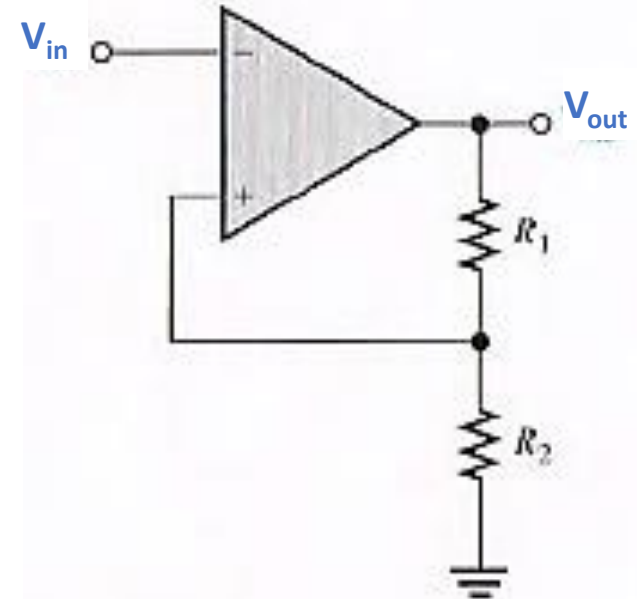


FIGURE 8–7 Comparator with positive feedback for hysteresis.

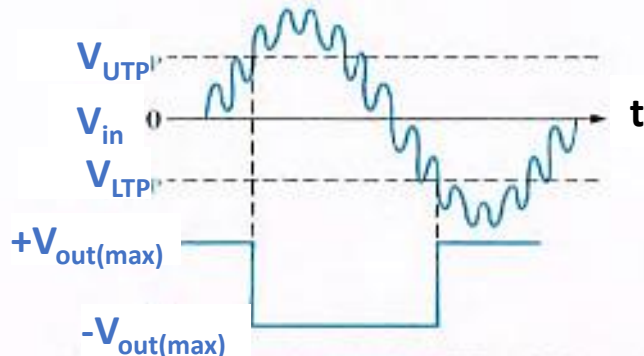
8-1 Comparators

Werkingsprincipe

- Stel dat V_{in} voldoende laag is ten opzichte van het referentieniveau. Dit betekent dat V_{out} gelijk is aan $+V_{out(max)}$ (reden: ingangssignaal ligt aan inverterende ingang)
- De spanning aan de niet-inverterende ingang kunnen we dan als volgt vinden (spanningsdelerformule):

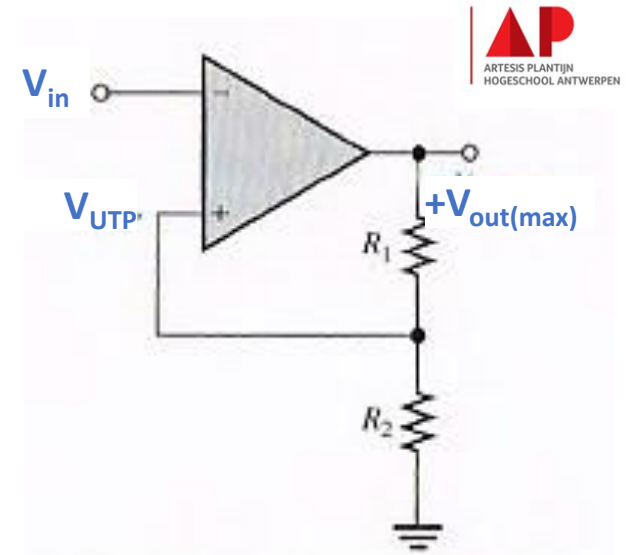
$$V_{REF} = V_{UTP} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot (+V_{out(max)})$$

- Het referentieniveau dat berekend is stelt V_{UTP} voor. Van zodra het ingangssignaal de waarde van V_{UTP} overschrijdt, klapt de uitgang om naar $-V_{out(max)}$ (zoals in figuur 8-8 (b) is te zien)

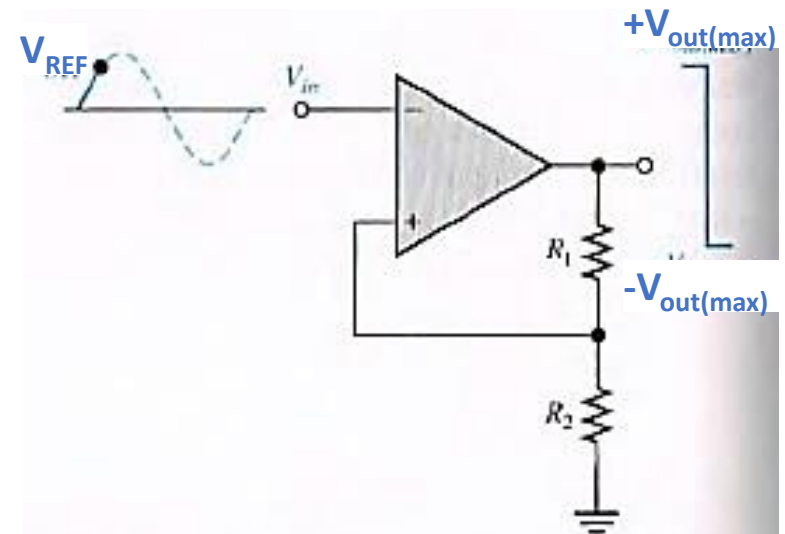


(c) Device triggers only once when UTP or LTP is reached; thus, there is immunity to noise that is riding on the input signal.

FIGURE 8-8 Operation of a comparator with hysteresis.



(a) Output at the maximum positive voltage



(b) Input exceeds UTP; output switches from the maximum positive voltage to the maximum negative voltage.

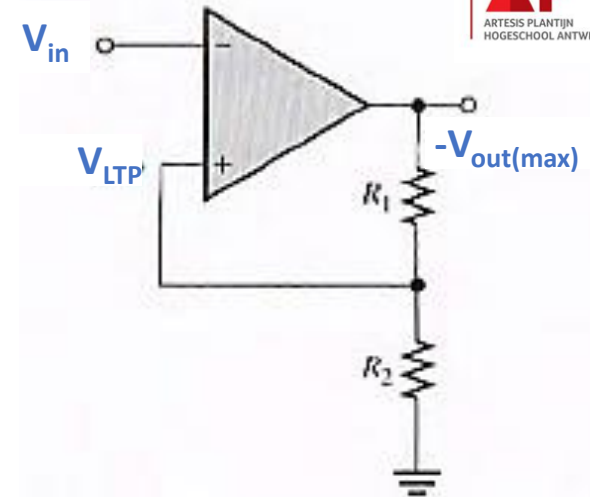
8-1 Comparators

- Eens V_{out} gelijk aan $-V_{out(max)}$ is geworden (door voldoende stijging van hetingangssignaal) verandert V_{REF} van V_{UTP} naar V_{LTP} (zie fig. 8-8(c))
- V_{LTP} is eveneens te vinden via de spanningsdelerformule:

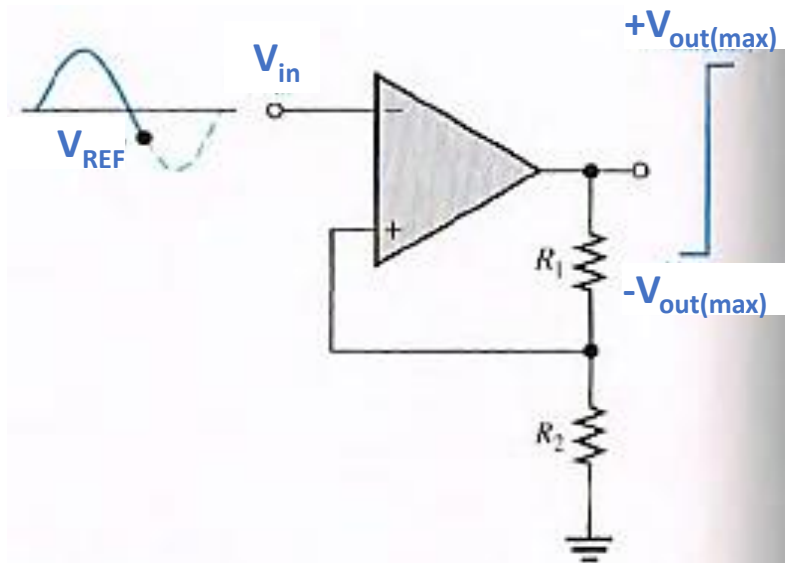
$$V_{REF} = V_{LTP} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot (-V_{out(max)})$$

- Van zodra het ingangssignaal lager wordt dan de waarde van V_{LTP} , klapt de uitgang om van $-V_{out(max)}$ naar $+V_{out(max)}$ (zoals in figuur 8-8 (d) is te zien). V_{REF} verandert in dat geval terug naar V_{UTP} waardoor de cyclus zich kan herhalen.
- Een comparator met hysteresis is ook gekend als een **Schmitt trigger**. De grootte van de hysteresis wordt bepaald door het verschil tussen de twee triggerlevels.

$$V_{HYS} = V_{UTP} - V_{LTP} \quad (8-2)$$



(c) Output at the maximum negative voltage



(d) Input goes below LTP; output switches from maximum negative voltage back to maximum positive voltage.

EXAMPLE 8-2

Determine the upper and lower trigger points and the hysteresis for the comparator circuit in Figure 8-9. Assume that $+V_{out(max)} = +5\text{ V}$ and $-V_{out(max)} = -5\text{ V}$.

SOLUTION

$$V_{UTP} = \frac{R_2}{R_1 + R_2}(+V_{out(max)}) = 0.5(5\text{ V}) = +2.5\text{ V}$$

$$V_{LTP} = \frac{R_2}{R_1 + R_2}(-V_{out(max)}) = 0.5(-5\text{ V}) = -2.5\text{ V}$$

$$V_{HYS} = V_{UTP} - V_{LTP} = 2.5\text{ V} - (-2.5\text{ V}) = 5\text{ V}$$

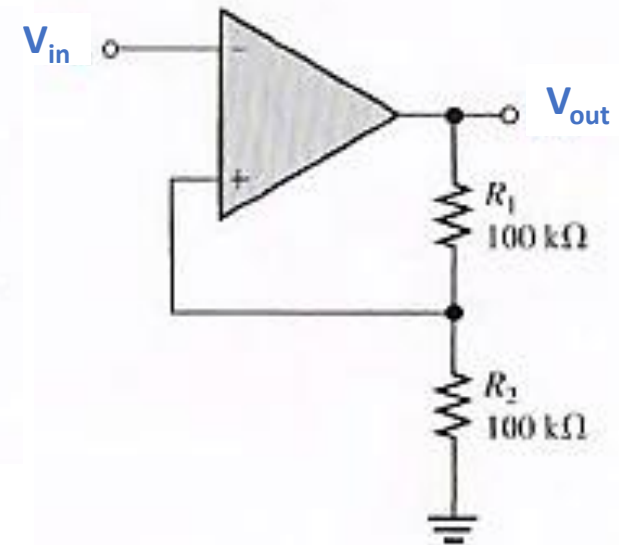


FIGURE 8-9

8-1 Comparators

Venster Comparator (Window Comparator – blz. 393)

- 2 individuele opamp-comparators geplaatst zoals in fig. 8-15 vormen een window comparator. De schakeling detecteert of eeningangssignaal tussen twee grenzen ligt of niet. De grenzen worden bovengrens V_U (upper) en benedengrens V_L (lower) genoemd. Samen worden ze het “window” genoemd.
- Zolang V_{in} lager is dan V_U en hoger dan V_L is, zijn beide comparatoren op $-V_{out(max)}$ \Rightarrow beide dioden zijn gesperd waardoor V_{out} op 0 V blijft.
- Wanneer V_{in} hoger wordt dan V_U of lager dan V_L de uitgang van de hiermee geassocieerde comparator wordt dan gelijk aan $+V_{out(max)}$. De diode aan de uitgang die hoog is geworden, komt in geleiding waardoor V_{out} hoog wordt.
- De werking van de window-comparator is in figuur 8-16 weergegeven.

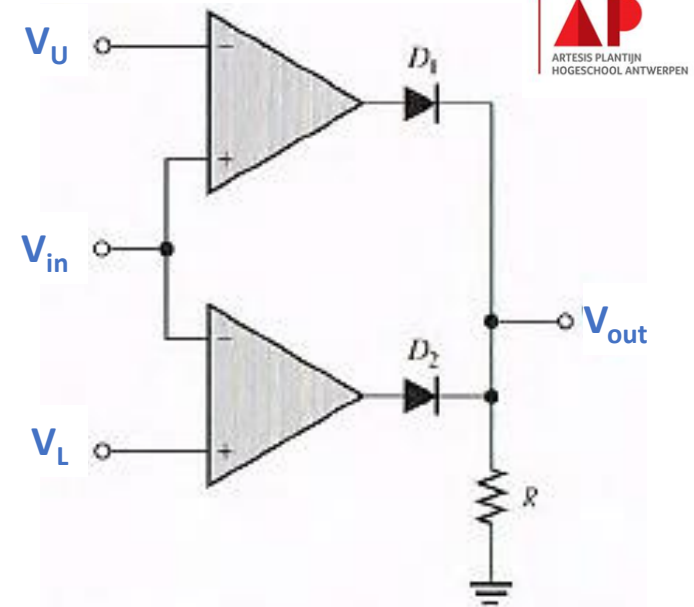


FIGURE 8-15 A basic window comparator.

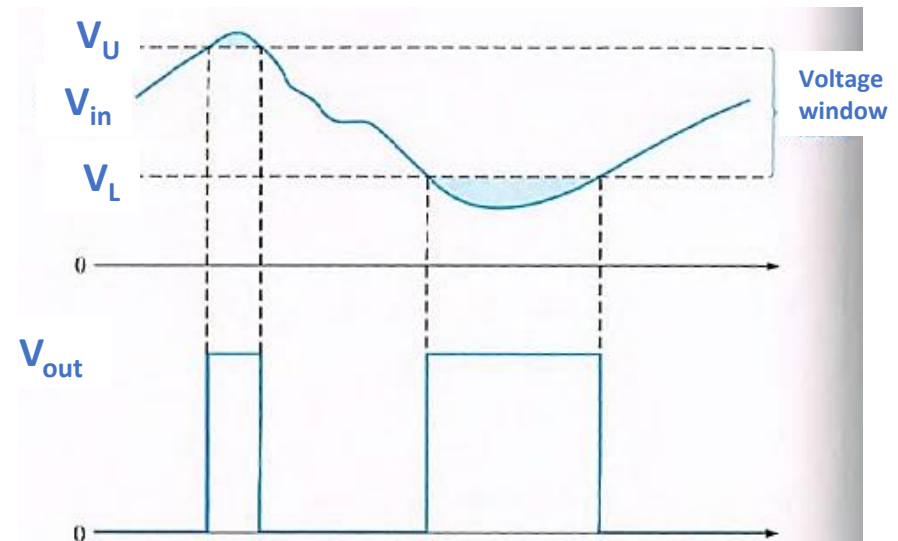


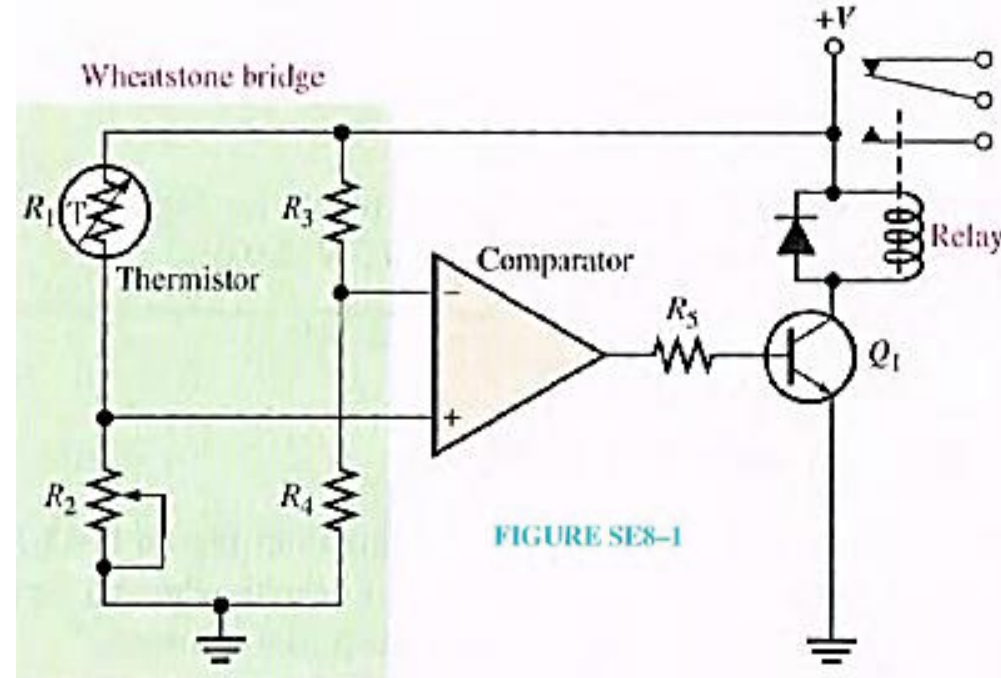
FIGURE 8-16 Example of window comparator operation.

8-1 Comparators

System Example 8-1

Comparator toepassing: temperatuurbewakingscircuit

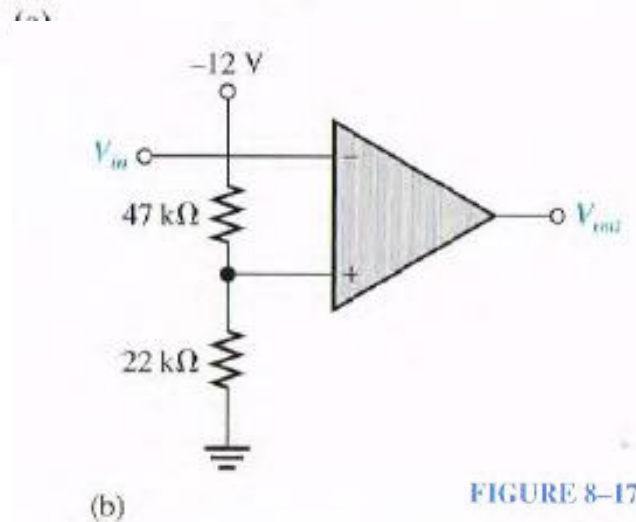
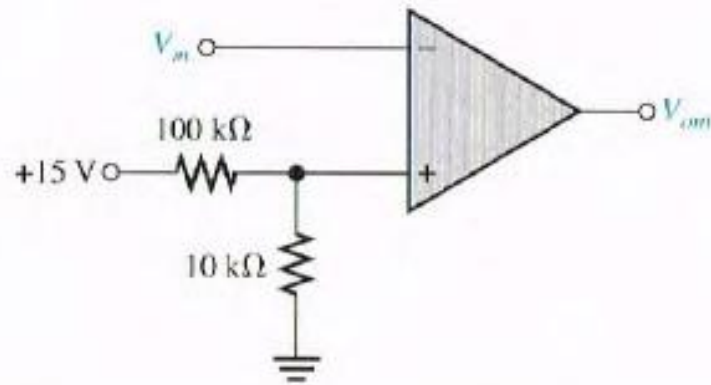
- Schakeling dient om de temperatuur onder een bepaalde waarde te houden
- Comparator geschakeld in een Wheatstone brug.
- Doel van de weerstandsbrug: nauwkeurige detectie temperatuur.
- Spanningsdeler R3-R4 aan inverterende ingang
- Spanningsdeler NTC (temperatuursensor) met R2 aan niet-inverterende ingang. R2 wordt afgeregeld zodat deze dezelfde R-waarde heeft als de NTC bij de kritische temperatuur.
- Normale temperatuur (lager dan kritische temperatuur) => R1 is groter dan R2 => ongebalanceerde conditie van de brug => spanning niet inverterende ingang lager dan inverterende ingang => $V_{out} = -V_{out(max)}$ => transistor spert



- Als de temperatuur stijgt => weerstand van R1 daalt. Van zodra de kritische temperatuur wordt bereikt is de brug in evenwicht. Een iets hogere temperatuur doet de comparator omklappen waardoor de transistor in geleiding komt en het relais aangetrokken wordt. => er gaat een alarm af of een schakeling wordt geactiveerd om de temperatuur terug te laten dalen

Section 8-1 checkup

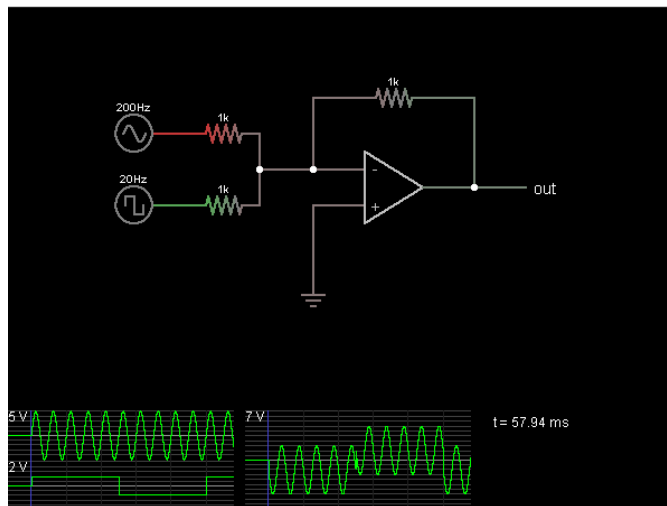
1. Wat is de referentiespanning van iedere comparator in fig. 8-17?
2. Wat is het doel van hysteresis in een comparator?



8-2 Somversterkers

Wat is een somversterker?

- De somversterker is een variant op de inverterende opampversterker.
- De somversterker heeft 2 of meer ingangen en zijn uitgang is de algebraïsche som van de ingangssignalen.



Wat is belangrijk?

- De werking kunnen omschrijven van verschillende typen somversterkers.
- Beschrijven van de werking van een unity-gain somversterker.
- Aangeven hoe je een specifieke versterking kan bekomen groter dan de eenheid
- Beschrijven hoe je een “gemiddelde” versterker kan bekomen
- Beschrijven hoe je een “scaling adder” kan bekomen
- Beschrijven hoe je een scaling adder kan gebruiken om een digitaal naar analoog converter te maken.

8-2 Somversterkers

Somversterking met versterking 1 (unity gain)

- Fig. 8-18: voorbeeld van **somversterker** met twee ingangen V_{IN1} en V_{IN2} . Beide ingangen leveren de ingangsströmen I_1 respectievelijk I_2 .
- Van inverterende versterker weten we dat de spanning aan de niet-inverterende ingang ongeveer gelijk is aan 0 V (virtueel massapunt). Het gevolg hiervan is dat er nagenoeg geen stroom door de ingang van de opamp vloeit. Hieruit volgt dat de som van beide ingangsströmen gelijk is aan de totale stroom I_T die door R_f vloeit.

- Vermits $V_{OUT} = -(I_T \cdot R_f)$ kunnen volgende stappen uitgevoerd worden:

$$V_{OUT} = -(I_1 + I_2) \cdot R_f = -\left(\frac{V_{IN1}}{R_1} + \frac{V_{IN2}}{R_2}\right) \cdot R_f$$

- Wanneer de drie weerstanden dezelfde weerstandswaarde R hebben :

$$V_{OUT} = -\left(\frac{V_{IN1}}{R} + \frac{V_{IN2}}{R}\right) \cdot R = -(V_{IN1} + V_{IN2})$$

- Hieruit volgt dat V_{OUT} gelijk is aan de som van beide ingangsspanningen. Algemeen geldt (zie ook fig 8-19):

$$V_{OUT} = -(V_{IN1} + V_{IN2} + \dots + V_{INn}) \quad (8-3)$$

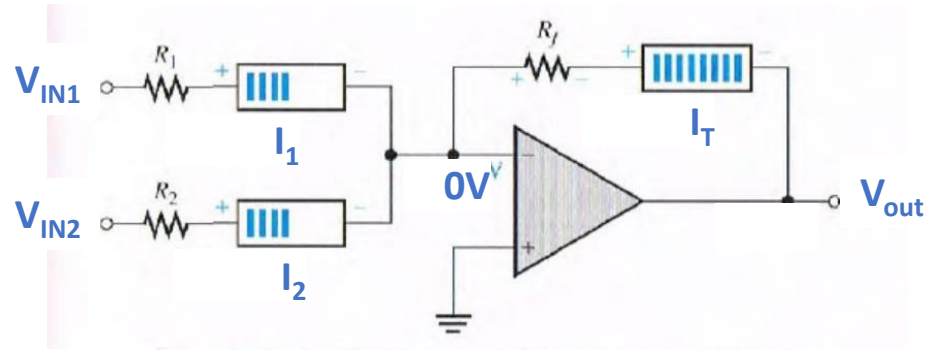


FIGURE 8-18 Two-input inverting summing amplifier.

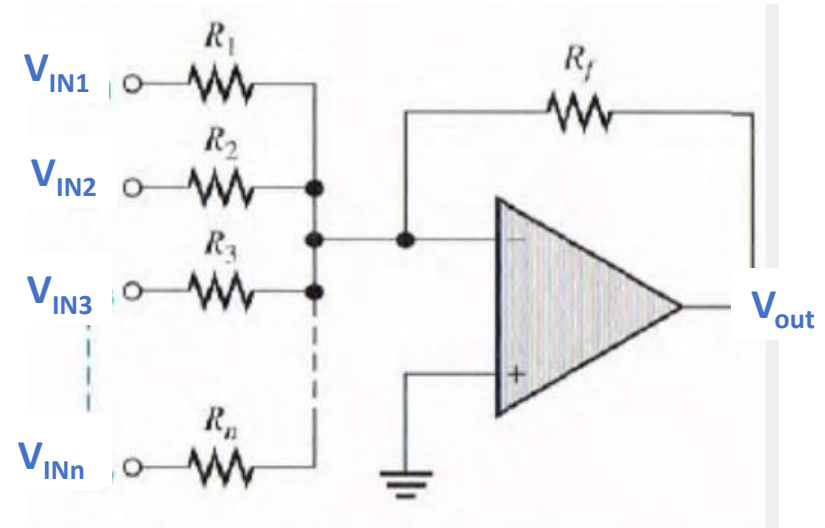
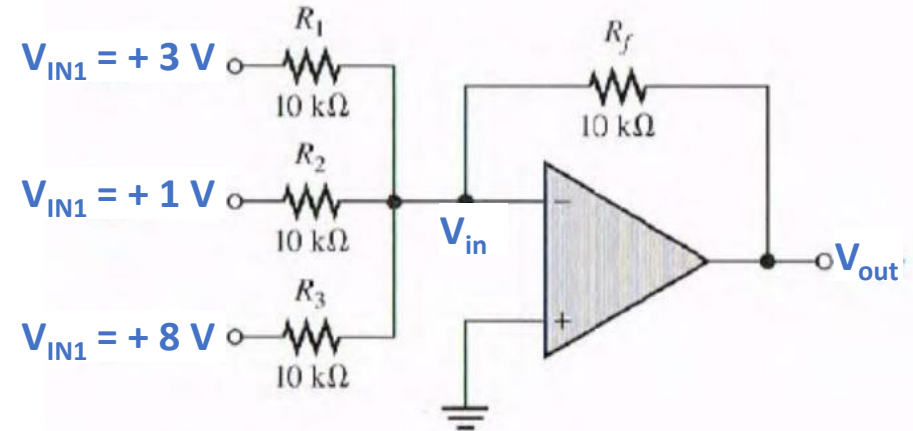


FIGURE 8-19 Summing amplifier with n inputs.

EXAMPLE 8-4

Determine the output voltage in Figure 8-20.



SOLUTION

$$V_{OUT} = -(V_{IN1} + V_{IN2} + V_{IN3}) = -(3\text{ V} + 1\text{ V} + 8\text{ V}) = -12\text{ V}$$

8-2 Somversterkers

Somversterking met versterking groter dan 1

- Indien R_f groter is dan ingangsweerstanden dan is de versterkingsfactor gelijk aan :

$$V_{OUT} = - \left(\frac{V_{IN1}}{R_1} + \frac{V_{IN2}}{R_2} \right) \cdot R_f$$

- Als R_1 en R_2 dezelfde waarde R hebben:

$$V_{OUT} = - \left(\frac{V_{IN1}}{R} + \frac{V_{IN2}}{R} \right) \cdot R_f$$

- Of :

$$V_{OUT} = - \frac{R_f}{R} (V_{IN1} + V_{IN2}) \quad (8-4)$$

- In dit geval is de output gelijk de som van de ingangssignalen vermenigvuldigd met een bepaalde versterkingsfactor gelijk aan $-\frac{R_f}{R}$.

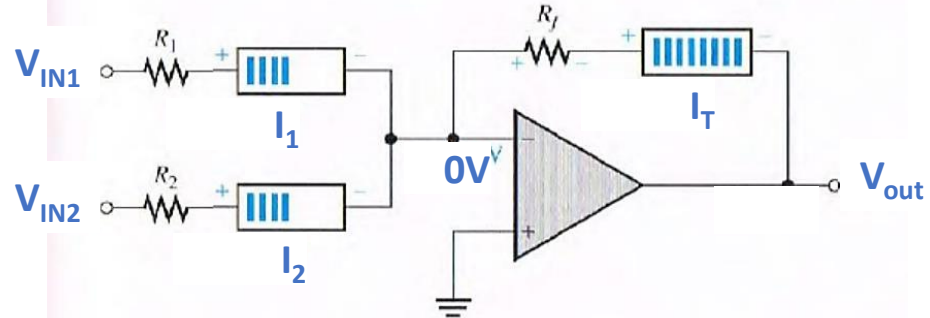


FIGURE 8-18 Two-input inverting summing amplifier.

EXAMPLE 8-5

Determine the output voltage for the summing amplifier in Figure 8-21.

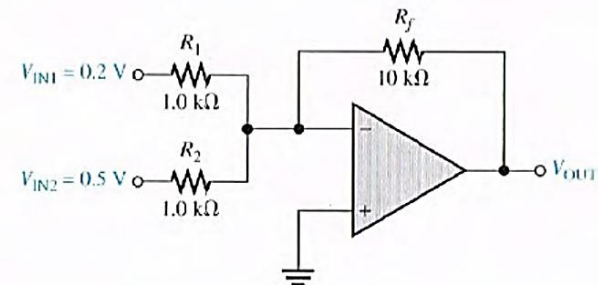


FIGURE 8-21

SOLUTION

$R_f = 10 \text{ k}\Omega$ and $R = R_1 = R_2 = 1.0 \text{ k}\Omega$. Therefore,

$$V_{OUT} = - \frac{R_f}{R} (V_{IN1} + V_{IN2}) = - \frac{10 \text{ k}\Omega}{1.0 \text{ k}\Omega} (0.2 \text{ V} + 0.5 \text{ V}) = -10(0.7 \text{ V}) = -7 \text{ V}$$

PRACTICE EXERCISE

Determine the output voltage in Figure 8-21 if the two input resistors are $2.2 \text{ k}\Omega$ and the feedback resistor is $18 \text{ k}\Omega$.

8-2 Somversterkers

Gemiddelde waarde versterking (averaging amplifier)

- Een somversterker kan gebruikt worden om de gemiddelde waarde van een aantal ingangssignalen te berekenen.
- Hoe? Door voor alle n ingangsweerstanden R eenzelfde waarde te kiezen en voor de terugkoppelweerstand het n^{de} deel van de waarde die gekozen is voor de ingangsweerstanden.
- In formulevorm : $\frac{R_f}{R} = \frac{1}{n}$

EXAMPLE 8-6

Show that the amplifier in Figure 8-22 produces an output whose magnitude is the mathematical average of the input voltages.

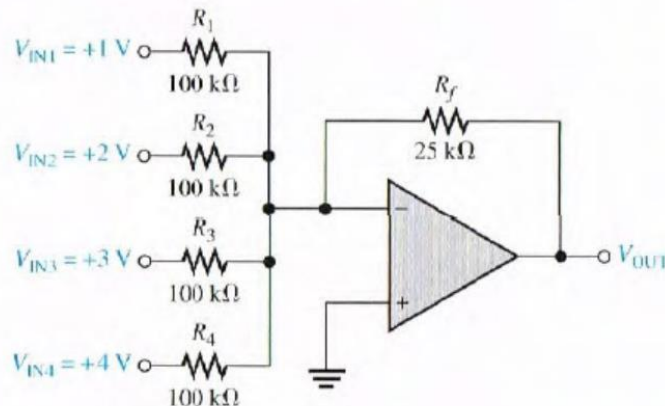


FIGURE 8-22

SOLUTION

Since the input resistors are equal, $R = 100 \text{ k}\Omega$. The output voltage is

$$\begin{aligned} V_{\text{OUT}} &= -\frac{R_f}{R}(V_{\text{IN1}} + V_{\text{IN2}} + V_{\text{IN3}} + V_{\text{IN4}}) \\ &= -\frac{25 \text{ k}\Omega}{100 \text{ k}\Omega}(1 \text{ V} + 2 \text{ V} + 3 \text{ V} + 4 \text{ V}) = -\frac{1}{4}(10 \text{ V}) = -2.5 \text{ V} \end{aligned}$$

A simple calculation shows that the average of the input values is the same magnitude as V_{OUT} but of opposite sign.

$$V_{\text{IN(avg)}} = \frac{1 \text{ V} + 2 \text{ V} + 3 \text{ V} + 4 \text{ V}}{4} = \frac{10 \text{ V}}{4} = 2.5 \text{ V}$$

8-2 Somversterkers

Scaling adder

- Aan iedere ingang van de somversterker kan een verschillend gewicht toegekend worden. Hoe? Door de grootte van de ingangsweerstand aan te passen in functie van het toegekende gewicht aan de desbetreffende ingang. Het uitgangssignaal kan dan worden weergegeven als volgt:

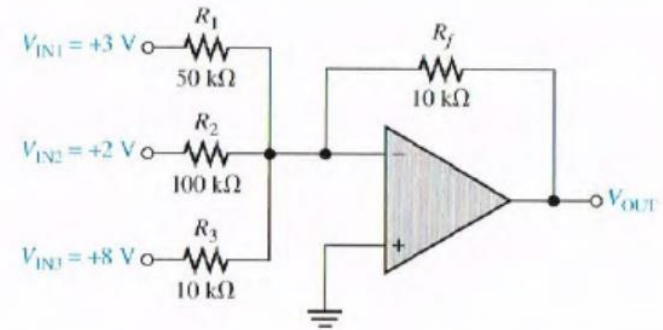
$$V_{OUT} = -\left(\frac{R_f}{R_1} \cdot V_{IN1} + \frac{R_f}{R_2} \cdot V_{IN2} + \dots + \frac{R_f}{R_n} \cdot V_{INn}\right) \quad (8-5)$$

- Het gewicht kan worden ingesteld via de verhouding van R_f op ingangsweerstand. Wil men bijvoorbeeld een gewicht van 1 instellen voor ingang 1 dan zijn de weerstanden R_f en R_1 even groot. Om een gewicht van 2 in te stellen voor ingang 2 moet R_2 de helft zijn van R_f enz ...

EXAMPLE 8-7

Determine the weight of each input voltage for the scaling adder in Figure 8-23 and find the output voltage.

FIGURE 8-23



SOLUTION

$$\text{Weight of input 1: } \frac{R_f}{R_1} = \frac{10 \text{ k}\Omega}{50 \text{ k}\Omega} = 0.2$$

$$\text{Weight of input 2: } \frac{R_f}{R_2} = \frac{10 \text{ k}\Omega}{100 \text{ k}\Omega} = 0.1$$

$$\text{Weight of input 3: } \frac{R_f}{R_3} = \frac{10 \text{ k}\Omega}{10 \text{ k}\Omega} = 1$$

The output voltage is

$$\begin{aligned} V_{OUT} &= -\left(\frac{R_f}{R_1} V_{IN1} + \frac{R_f}{R_2} V_{IN2} + \frac{R_f}{R_3} V_{IN3}\right) \\ &= -[0.2(3 \text{ V}) + 0.1(2 \text{ V}) + 1(8 \text{ V})] = -(0.6 \text{ V} + 0.2 \text{ V} + 8 \text{ V}) \\ &= -8.8 \text{ V} \end{aligned}$$

8-2 Somversterkers

System example 8-3 Digital-to-analog conversion (blz. 400)

- Stel dat je een verhaal op een digitale drager wil opslaan en later wil weergeven. Via de microfoon wordt het stemgeluid omgezet naar een elektrisch signaal. Dit signaal wordt via de versterker versterkt tot het voldoende groot is om het aan te sluiten aan een D/A-converter. Deze zet het analoge signaal om in een digitaal signaal.
- Stel dat je een 4-bit ADC (analoog naar digitaal converter) hebt. (Normaal gebruik je een 10-bit ADC of meer bits hiervoor) Hierdoor wordt het analoge signaal omgevormd in digitale signalen (samples) van telkens 4 bit lang. Dit signaal kan dan op een digitale drager worden opgeslagen.

$$V_{OUT} = -\left(\frac{R_f}{R_1} \cdot V_{IN1} + \frac{R_f}{R_2} \cdot V_{IN2} + \dots + \frac{R_f}{R_n} \cdot V_{INn}\right) \quad (8-5)$$

- Het gewicht kan worden ingesteld via de verhouding van R_f op ingangsweerstand. Wil men bijvoorbeeld een gewicht van 1 instellen voor ingang 1 dan zijn de weerstanden R_f en R_1 even groot. Om een gewicht van 2 in te stellen voor ingang 2 moet R_2 de helft zijn van R_f enz ...
- De inverterende ingang van fig. SE8-5 is een virtueel massapunt zodat de stroom door R_f gelijk is aan de som van de ingangsweerstanden. De MSB van het digitaal signaal is aan ingang met ingangsweerstand $8R$ (2^3) aangelegd, terwijl de LSB aan de ingang met ingangsweerstand R (2^0) wordt aangelegd. De ingangsweerstanden komen dus overeen met de gewichten van de bitposities in het digitaal signaal.

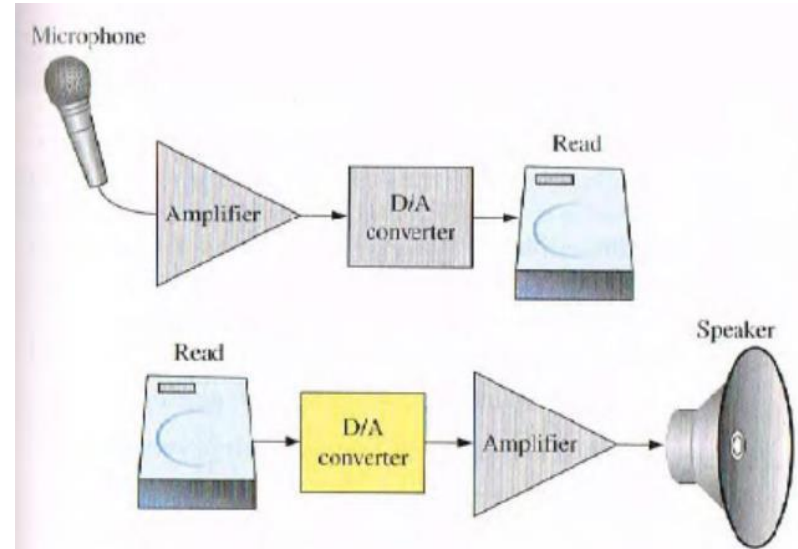


FIGURE SE8-4

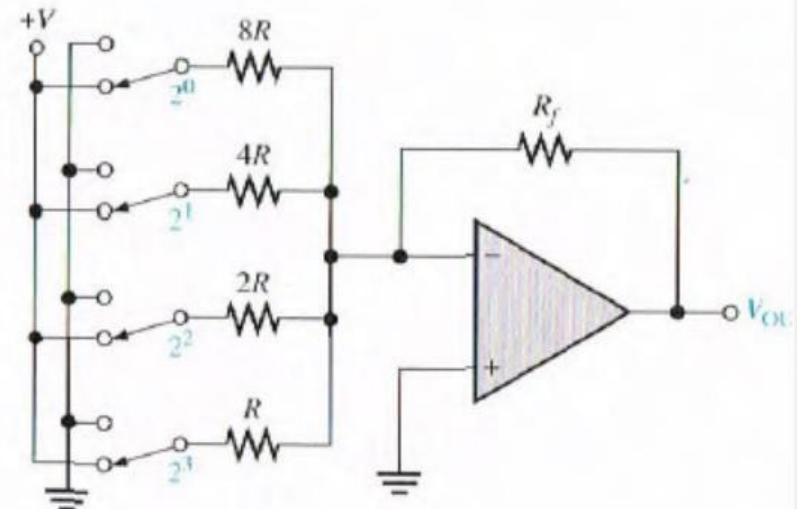


FIGURE SE8-5 A scaling adder as a four-bit digital-to-analog converter (DAC).

8-2 Somversterkers

System example 8-4 25W 4-kanaals mengpaneel (mixer/amplifier)

- Mengpaneel (mixer) mengt signalen van verschillende bronnen, zoals bv. verschillende instrumenten en het stemgeluid van een vocalist, en combineert ze tot één samengesteld (geluids)signaal.
- Fig. SE8-7: opamp gebruikt als voorversterker (preamp) en somversterker tegelijkertijd.
- De potentiometers en vaste weerstanden aan iedere ingang regelen de sterkte van het daaraan aangesloteningangssignaal. De vaste weerstanden zijn noodzakelijk om te voorkomen dat als de potmeter 0 Ω bereikt, de opamp onmiddellijk in saturatie zou komen.
- De terugkoppelweerstand R_f is in dit schema uitgevoerd als potentiometer en regelt het zogenaamde “Master volume”. Als deze potentiometer de 0 Ω bereikt, is het uitgangssignaal gelijk aan 0 V.
- Als opamp is LM4562 gekozen. Dit zijn versterkers met een zeer lage vervormingsgraad (ultra low distortion)

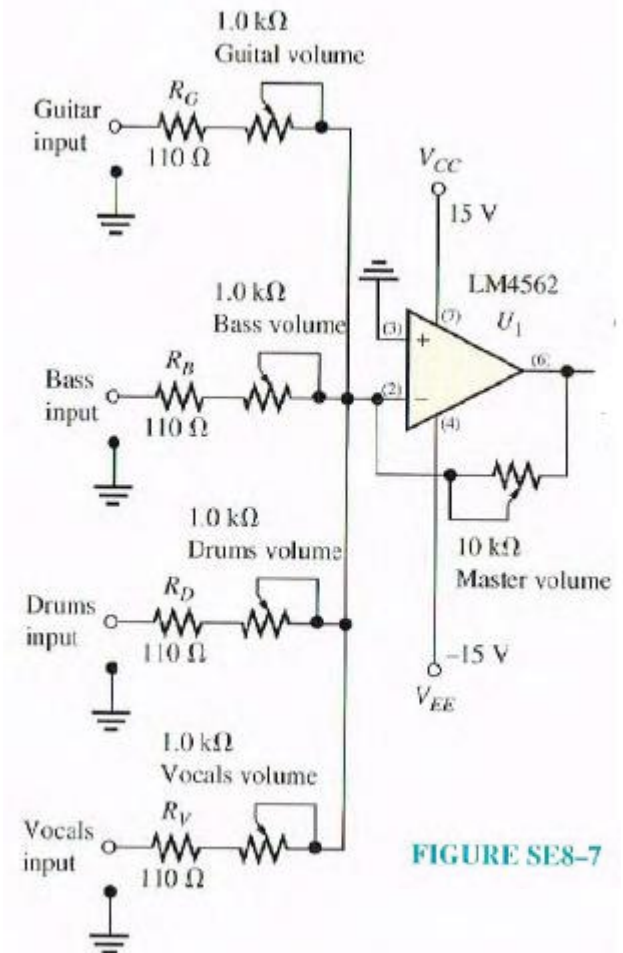
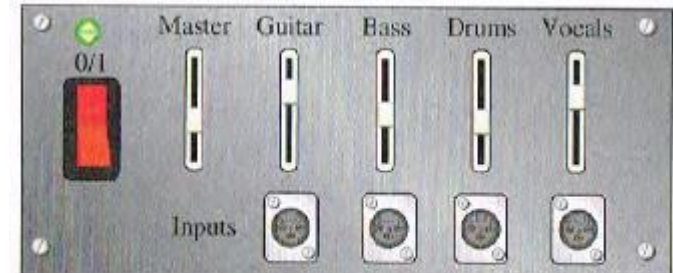
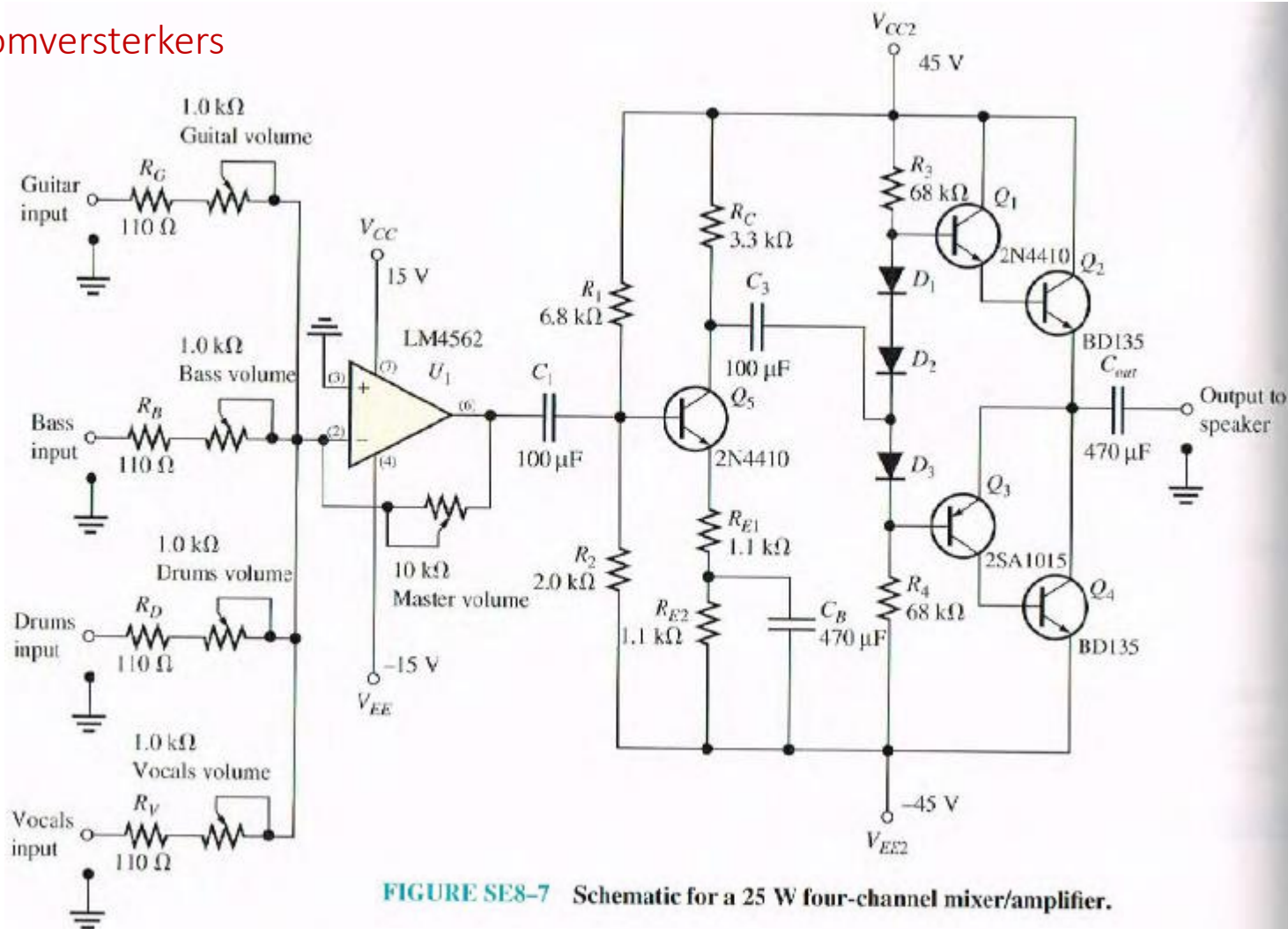


FIGURE SE8-7

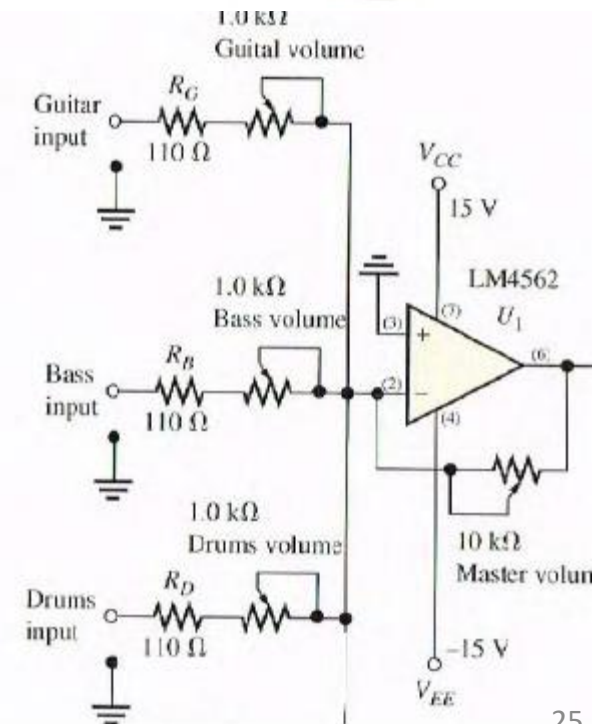
8-2 Somversterkers



- Dit mengpaneel is verder uitgerust met een vermogenversterker. De aangelegde voedingsspanning is ± 45 V zodat een hoog uitgangsvermogen mogelijk is.
- De buffertrap is een klasse A versterker vermits de opamp niet in staat was om een voldoende hoog in amplitude uitgangssignaal te leveren om de push-pull trap aan te sturen.
- Schakeling is zodanig ontworpen dat het 25 W continu uitgangsvermogen kan leveren in een 8Ω luidspreker (voordat clipping optreed)

Section 8-2 checkup

1. Definieer sommatiepunt (summing point)
2. Wat is de waarde voor R_f/R voor een vijf-punt gemiddelde waarde versterker (averaging amplifier)?
3. Een bepaalde scaling adder heeft twee ingangen. De eerste heeft twee keer het gewicht van de andere. Als de weerstandswaarde voor de ingangsweerstand met het laagste gewicht gelijk is aan $10\text{ k}\Omega$, wat is dan de waarde van de andere ingangsweerstand?
4. Wat is het doel van iedere vaste weerstand in de ingangstrap van het mengpaneel?



Wat is een integrator- en differentiatorschakeling?

- Een integrator simuleert de wiskundige integratie, welke in principe het optelproces is van het totale gebied onder de curve van een functie.
- Een differentiator simuleert het wiskundig afleiden (afgeleide – difference) welk een proces is van het bepalen van de onmiddellijke verhouding van verandering van een functie. (bepalen van de richtingscoëfficiënt van een bepaalde functie in een bepaald punt)
- De besproken integrator en differentiator in deze sectie zijn geïdealiseerd om het basisprincipe aan te kunnen tonen.

Wat is belangrijk?

- Je kan een integrator identificeren.
- Je kan een differentiator identificeren
- Je kan de grootte van verandering bepalen van een uitgang van de integrator
- Je kan de uitgangsspanning bepalen van een differentiator.

8-3 Integrators en differentiators

De opamp als integrator (blz. 403)

- Fig. 8-24 toont een ideale **integrator**. Het terugkoppelnetwerk bestaat uit een condensator en vormt een RC-circuit met de ingangsweerstand R

Hoe een condensator oplaadt

- De lading van een condensator (Q) is evenredig met de laadstroom (I_C) en de tijd (t)

$$Q = I_C \cdot t$$

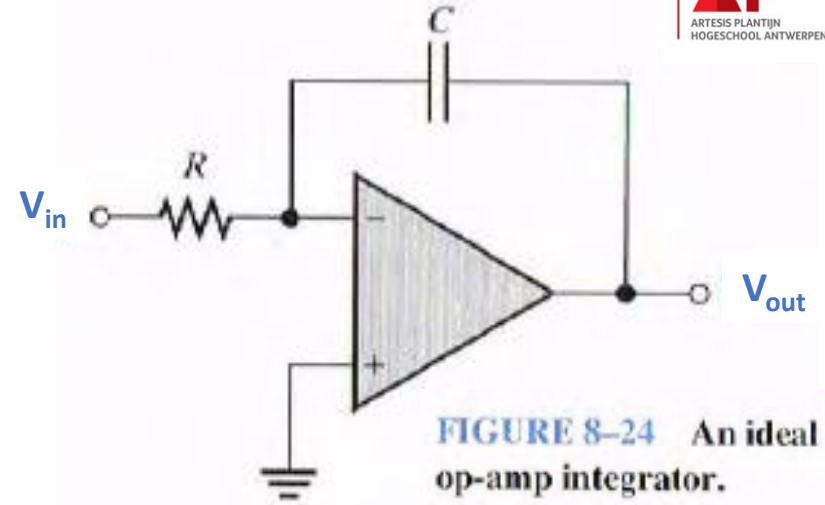
- De lading van een condensator (C) kan ook in functie van zijn spanning (V_C) worden geschreven:

$$Q = C \cdot V_C$$

- Uit bovenstaande twee vergelijkingen kan de spanning worden gehaald:

$$V_C = \frac{I_C}{C} \cdot t$$

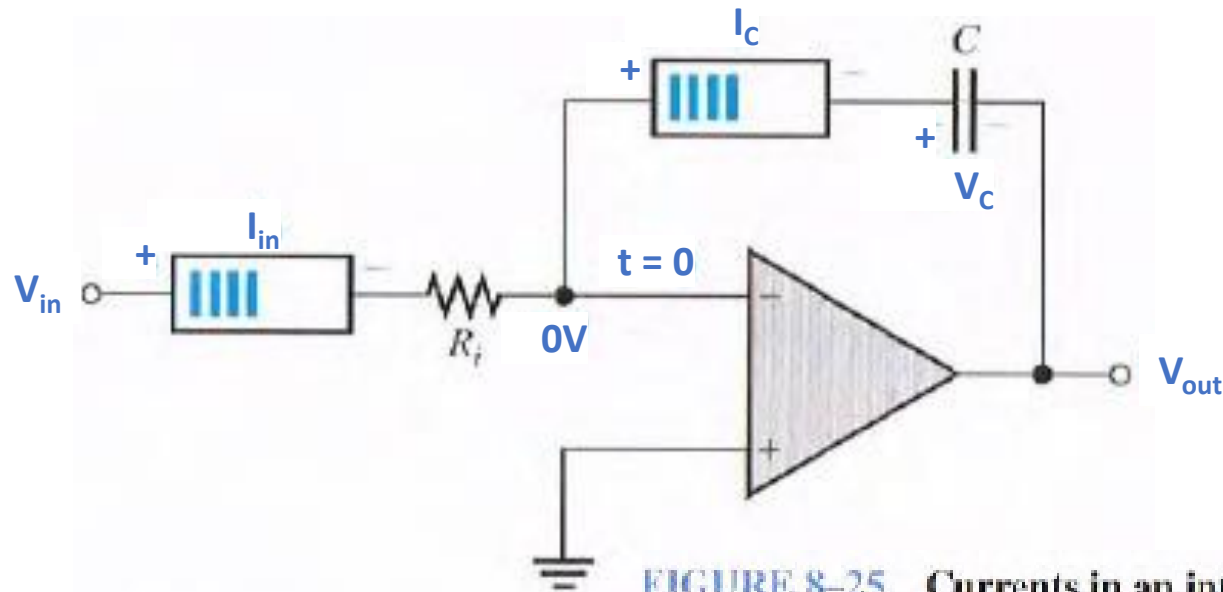
- In de grafiek $V_C = f(t)$ stelt bovenstaande vergelijking een rechte voor die door de oorsprong gaat met een helling gelijk aan $\frac{I_C}{C}$.



- Normaal verloopt V_C in een RC-netwerk exponentieel in plaats van lineair. De reden hiervoor is dat de ladingstroom continu verkleind naarmate de condensator verder opgeladen wordt.
- Door gebruik te maken van een opamp met een RC-netwerk om een integrator te vormen wordt de laadstroom voor de condensator constant gehouden. Hierdoor zal de spanning over de condensator eerder lineair veranderen dan exponentieel.

8-3 Integrators en differentiators

De opamp als integrator (blz. 403)



- Fig. 8-25 : inverterende ingang is op virtueel massa (0 V) $\Rightarrow V_R = V_C$
- De inputstroom is gelijk aan : $I_{in} = \frac{V_{in}}{R_i}$
- Als V_{in} constant is, is ook I_{in} constant vermits de inverterende ingang steeds op 0 V blijft en bijgevolg over R_i steeds de constante V_{in} staat.
- Omwille van de hoge ingangsimpedantie van de opamp, zal er slechts een kleine (verwaarloosbare) stroom vloeien door de inverterende ingang. Dit betekent dat de stroom door de condensator C nagenoeg gelijk is aan de stroom door de ingangsweerstand R_i .
- Dit betekent dat de condensator zich oplaadt met de constante stroom I_{in} .

8-3 Integrators en differentiators

Spanning over de condensator

- Fig. 8-26: I_{in} is constant $\Rightarrow I_C$ is ook constant
- De constante I_C laadt de condensator lineair op en produceert een lineaire spanning over de condensator.
- Zolang de condensator oplaadt, zal de spanning aan de negatieve zijde van de condensator lineair dalen vanaf 0 V (virtueel massapunt niet-inverterende ingang).
- Deze spanning wordt “negative ramp” (negatieve helling) genoemd en is het gevolg van de constante positieve ingangsspanning.

De uitgangsspanning

- V_{out} is dezelfde spanning als de spanning aan de negatieve zijde van de condensator.
- Als de V_{in} wordt aangehouden, zal V_{out} blijven dalen tot de opamp zijn maximale negatieve (saturatie)spanning $-V_{max}$ heeft bereikt. (zie fig. 8-27)

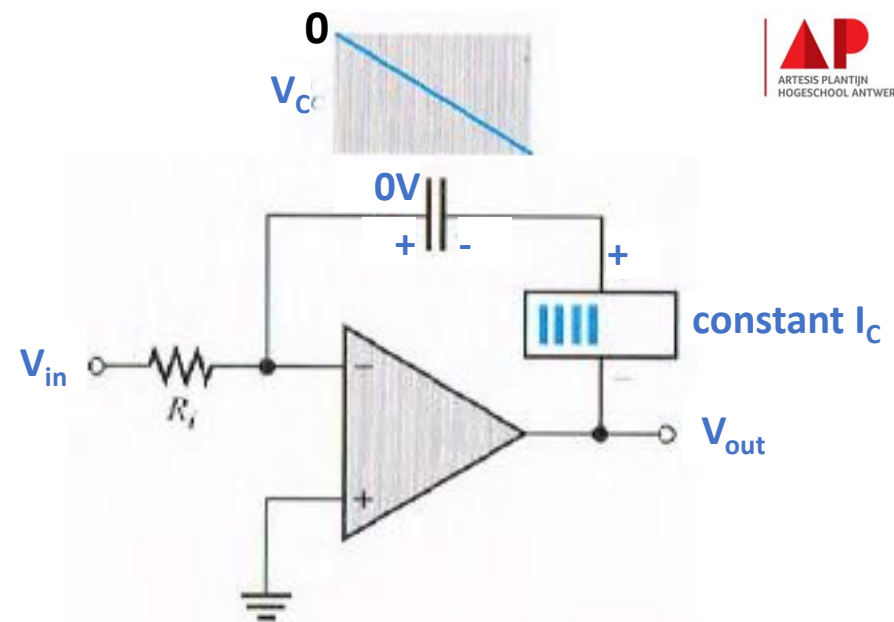


FIGURE 8-26 A linear ramp voltage is produced across C by the constant charging current.

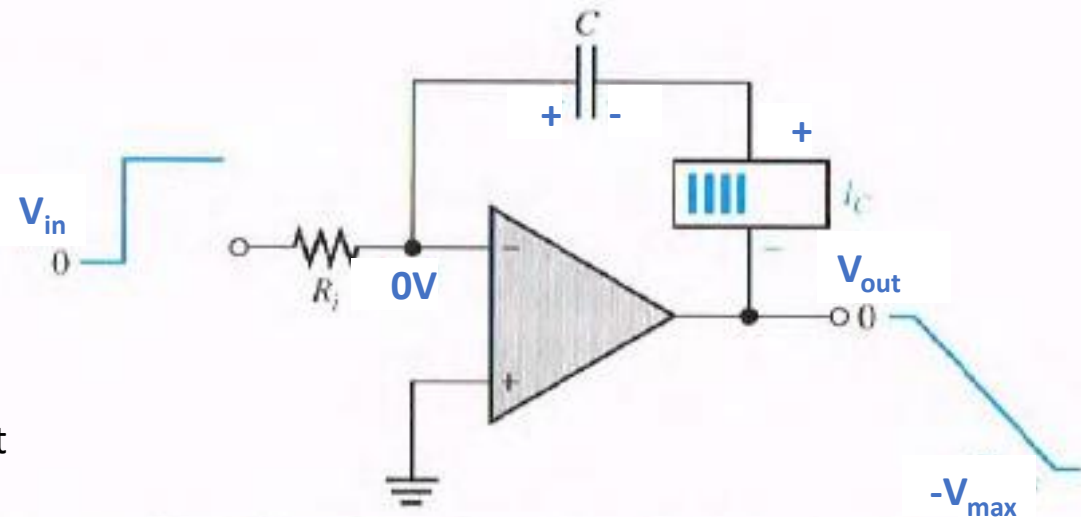


FIGURE 8-27 A constant input voltage produces a ramp on the output of the integrator.

8-3 Integrators en differentiators

De helling waarmee de uitgang verandert (rate of change of the output)

- De helling waarmee de uitgang verandert ten gevolge van het opladen van de condensator wordt bepaald door de verhouding van $\frac{I_C}{C}$.
- Vermits $I_C = I_{in} = \frac{V_{in}}{R_i}$ kan de hoeveelheid waarmee de uitgangsspanning verandert vastgesteld worden op:

$$\frac{\Delta V_{out}}{\Delta t} = - \frac{V_{in}}{R_i \cdot C} \quad (8-6)$$

- Integrators zijn vooral bruikbaar in driehoeks-golfvorm generatoren (zie hoofdstuk 10)

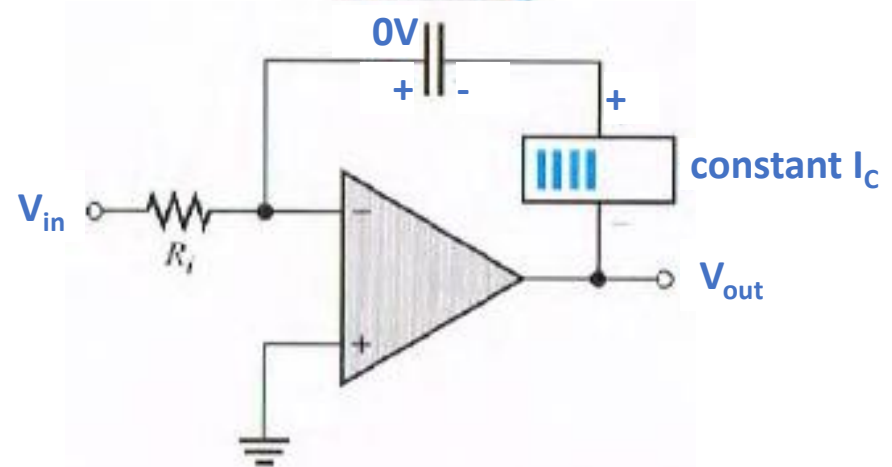
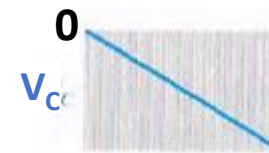


FIGURE 8-26 A linear ramp voltage is produced across C by the constant charging current.

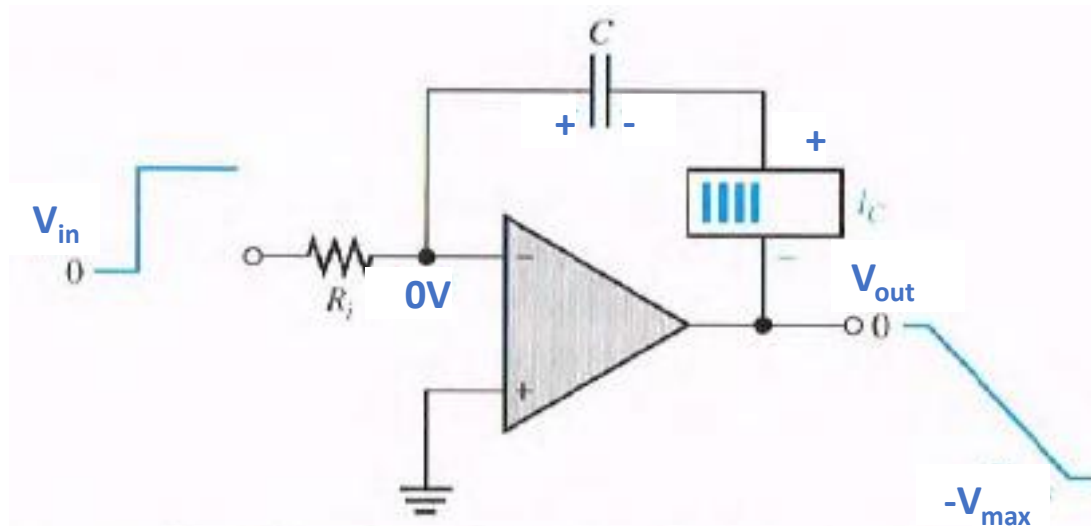


FIGURE 8-27 A constant input voltage produces a ramp on the output of the integrator.

System note

Ideale integrator werkt goed in theorie maar kan in praktijk wel problemen opleveren.

- Van zodra er een zeer kleine DC-offset aanwezig is, drijft het de uitgang naar saturatie.
- Hoe komt dit? De condensator gedraagt zich als een oneindige weerstand voor DC. Hierdoor ontstaat voor DC een niet-inverterende versterker met een zeer grote terugkoppelweerstand waardoor een zeer kleine offset heel groot wordt versterkt.
- Hoe oplossen? Door een hoge weerstand in parallel met de condensator te plaatsen (zie fig. SN8-1) wordt de versterkingsfactor voor DC beperkt waardoor de integrator niet meer naar saturatie drift.
- De parallelweerstand heeft voor hogere frequenties geen effect op de schakeling. Voor de lagere frequenties biedt de parallelweerstand een pad waarlangs de condensator kan ontladen waardoor de versterkingsfactor verlaagd.

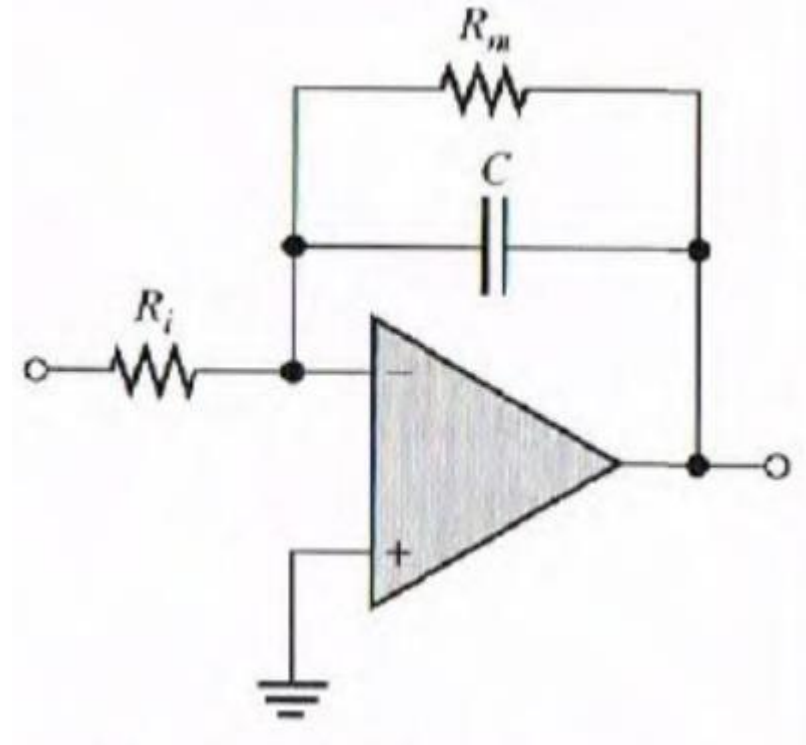


FIGURE SN8-1 A Miller integrator.

- De integrator met parallelweerstand over de condensator wordt ook de **Miller integrator** genoemd

EXAMPLE 8-8

- (a) Determine the rate of change of the output voltage in response to the first input pulse in a pulse waveform, as shown for the ideal integrator in Figure 8-28(a). The output voltage is initially zero.
- (b) Describe the output after the first pulse. Draw the output waveform.

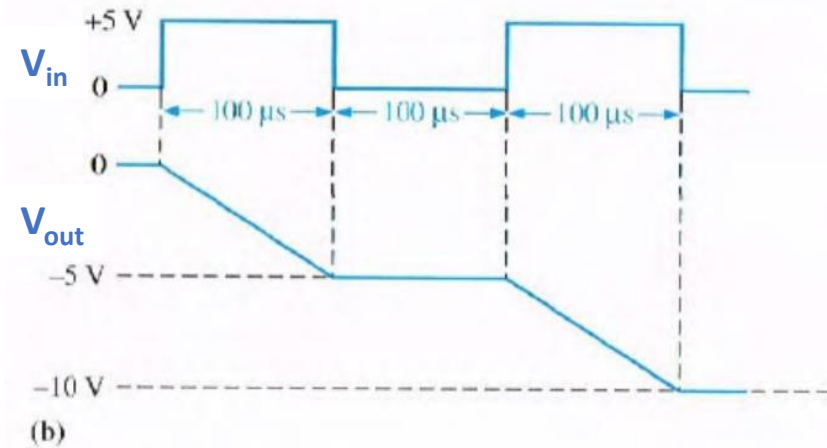
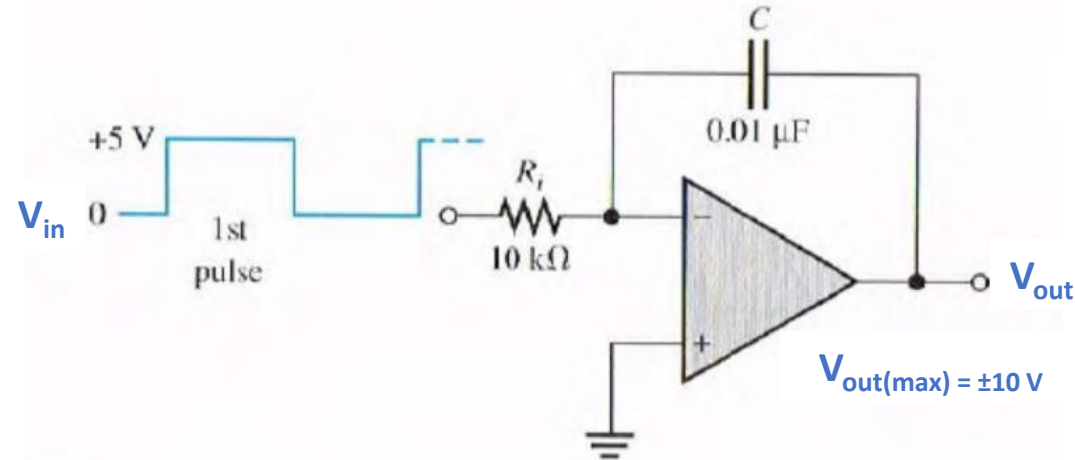


FIGURE 8-28

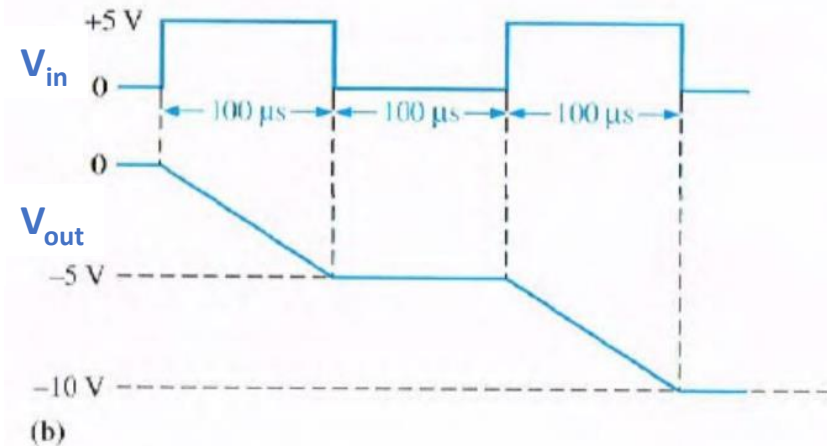
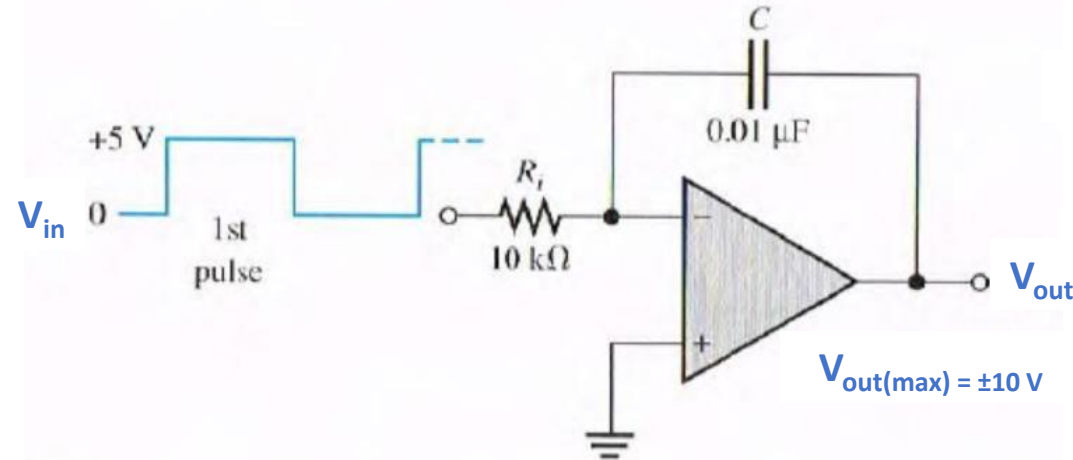
SOLUTION

- (a) The rate of change of the output voltage during the time that the input pulse is high is

$$\frac{\Delta V_{out}}{\Delta t} = -\frac{V_{in}}{R_f C} = -\frac{5 \text{ V}}{(10 \text{ k}\Omega)(0.01 \text{ }\mu\text{F})} = -50 \text{ kV/s} = -50 \text{ mV}/\mu\text{s}$$

EXAMPLE 8-8

- Determine the rate of change of the output voltage in response to the first input pulse in a pulse waveform, as shown for the ideal integrator in Figure 8-28(a). The output voltage is initially zero.
- Describe the output after the first pulse. Draw the output waveform.

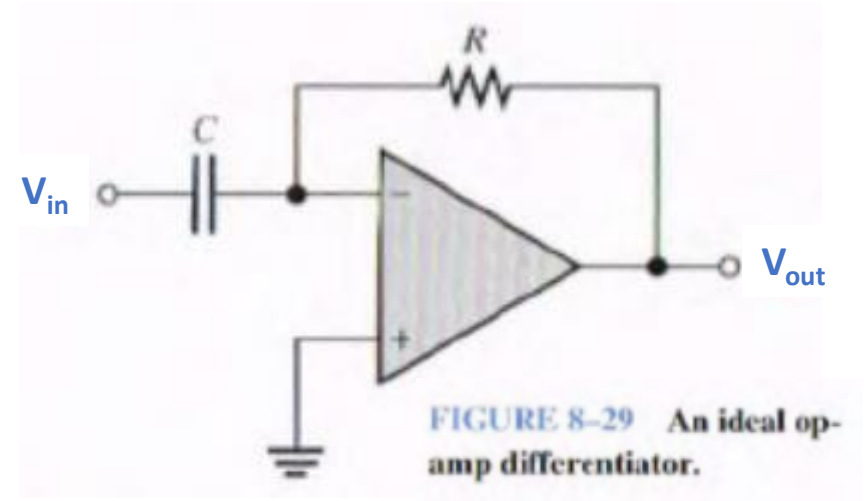


- The rate of change was found to be $-50 \text{ mV}/\mu\text{s}$ in part (a). When the input is at +5 V, the output is a negative-going ramp. When the input is at 0 V, the output is a constant level. In 100 μs , the voltage decreases.

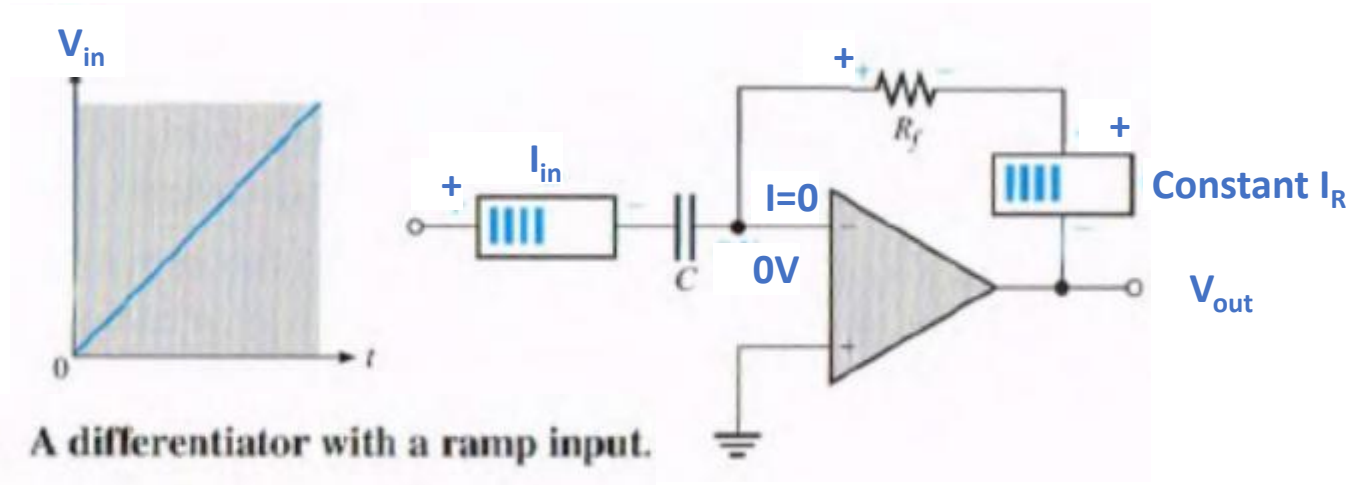
$$\Delta V_{out} = (-50 \text{ mV}/\mu\text{s})(100 \mu\text{s}) = -5 \text{ V}$$

Therefore, the negative-going ramp reaches -5 V at the end of the pulse. The output voltage then remains constant at -5 V for the time that the input is zero. On the next pulse, the output again is a negative-going ramp that reaches -10 V. Since this is the maximum limit, the output remains at -10 V as long as pulses are applied. The waveforms are shown in Figure 8-28(b).

- Fig. 8-29 toont een ideale **differentiator**. Deingangsimpedantie bestaat uit een condensator en vormt eveneens een RC-netwerk met de terugkoppelweerstand R
- Een differentiator produceert een V_{out} die evenredig is met de verandering van deingangsspanning. Meestal wordt een kleine weerstand in serie met de condensator gebruikt om de versterking te beperken. Deze weerstand heeft geen effect op het werkingsprincipe van de differentiator.



- Stel een positief stijgende ingangsspanning aan de ingang van de differentiator (fig. 8-30)



- We vertrekken van volgende basisformule:

$$V_{out} = I_R \cdot R_f = I_C \cdot R_f$$

$$V_C = \frac{I_C}{C} t$$

- Deze kunnen we naar I_C omvormen:

$$I_C = \frac{V_C}{t} C$$

- De stroom door de inverterende ingang is verwaarloosbaar waardoor $I_C = I_R$. Beide stromen zijn constant omdat de slope van de condensatorspanning (V_C/t) constant is $\Rightarrow V_{out}$ is ook constant en gelijk aan de spanning over R_f .

- I_C in bovenstaande formule invullen:

$$V_{out} = -\frac{V_C}{t} \cdot C \cdot R_f \quad (8-7)$$

- De uitgang is negatief als de ingangsspanning stijgend in positieve richting is en positief als de ingangsspanning dalend is.

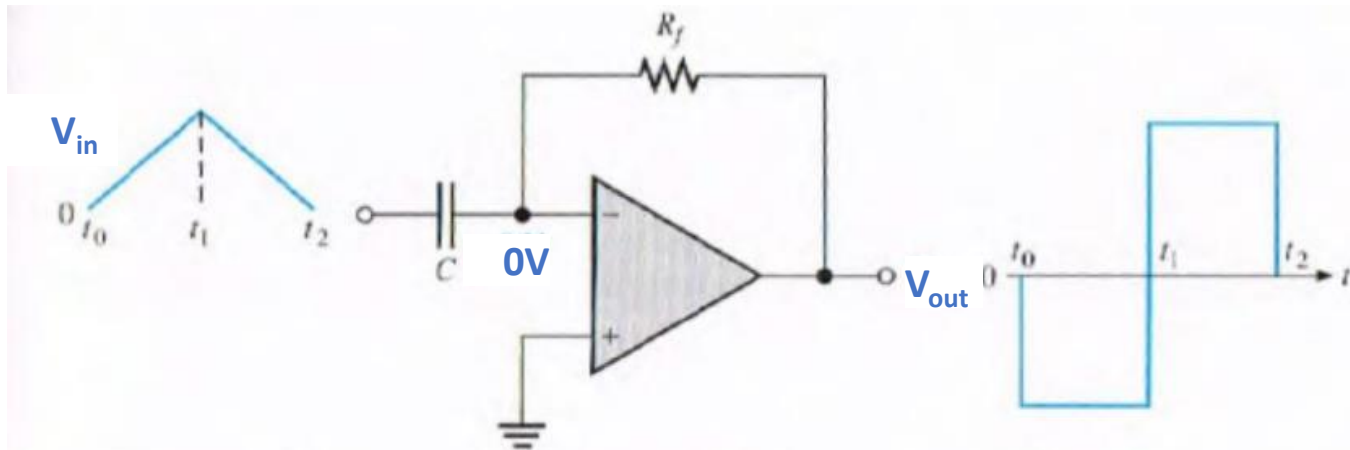


FIGURE 8-31 Output of a differentiator with a series of positive and negative ramps (triangle wave) on the input.

- Fig. 8-31: tijdens de positieve helling van het ingangssignaal laadt de condensator op via dit ingangssignaal met een constante stroom door de terugkoppelweerstand.
- Gedurende de dalende (negatieve) helling van het ingangssignaal is de constante stroom in de tegenovergestelde richting vermits de condensator zich aan het ontladen is.
- De term V_c / t is de “slope” (mate van verandering) van het ingangssignaal.
- De evenredigheidsconstante is de tijdsconstante $R_f C$.

Een toepassing van een differentiatorschakeling is in de procesinstrumentatie. Stel een industriële oven op de juiste temperatuur moet worden gehouden. Als enkel de baktemperatuur wordt gemonitord, zal er bij overhitting geen alarm worden gegeven tenzij de temperatuur hoger is dan de gewenste. Door het opwarmingsproces te monitoren kan reeds alarm geslagen worden vooraleer de oven een temperatuur bereikt hoger dan de gewenste waarde. Op die wijze kan het aanbakken/verbranden van hetgeen in de oven aanwezig is vermeden worden.

Hoe realiseren?

- Ingang differentiator verbinden met uitgang van temperatuursensor
- De temperatuursensor levert een uitgangsspanning evenredig met de temperatuur.
- De differentiator levert een uitgangsspanning op evenredig met de stijging van de temperatuur. Deze uitgangsspanning wordt naar een comparator gebracht waaraan een referentiespanning is gebracht die overeenkomt met een toegelaten temperatuurstijging.
- Als de temperatuur sneller stijgt dan is toegelaten => uitgang differentiator overschrijdt de referentiespanning aan de comparator waardoor een alarm afgaat.

EXAMPLE 8-9

Determine the output voltage of the ideal op-amp differentiator in Figure 8-32 for the triangular-wave input shown.

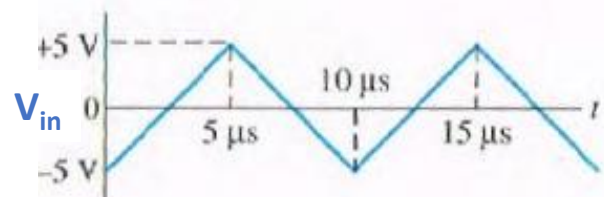


FIGURE 8-32

SOLUTION

Starting at $t = 0$, the input voltage is a positive-going ramp ranging from -5 V to $+5\text{ V}$ (a $+10\text{ V}$ change) in $5\text{ }\mu\text{s}$. Then it changes to a negative-going ramp ranging from $+5\text{ V}$ to -5 V (a -10 V change) in $5\text{ }\mu\text{s}$.

Substituting into Equation (8-7), the output voltage for the positive-going ramp is

$$V_{out} = -\left(\frac{V_C}{t}\right)R_fC = -\left(\frac{10\text{ V}}{5\text{ }\mu\text{s}}\right)(2.2\text{ k}\Omega)(0.001\text{ }\mu\text{F}) = -4.4\text{ V}$$

The output voltage for the negative-going ramp is calculated the same way.

$$V_{out} = -\left(\frac{V_C}{t}\right)R_fC = -\left(\frac{-10\text{ V}}{5\text{ }\mu\text{s}}\right)(2.2\text{ k}\Omega)(0.001\text{ }\mu\text{F}) = +4.4\text{ V}$$

Finally, the output voltage waveform is graphed relative to the input as shown in Figure 8-33.

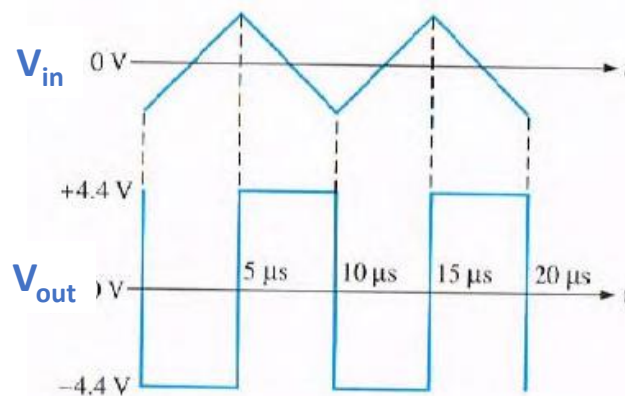
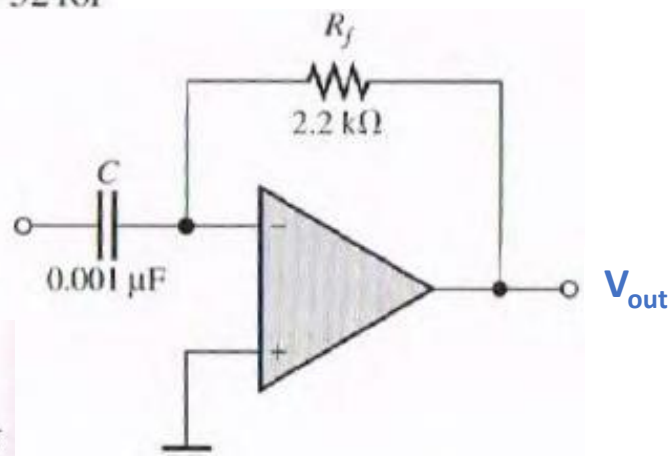


FIGURE 8-33

As mentioned previously, if this were a practical differentiator, there would be a small value resistor in series with the capacitor. The analysis is essentially the same.

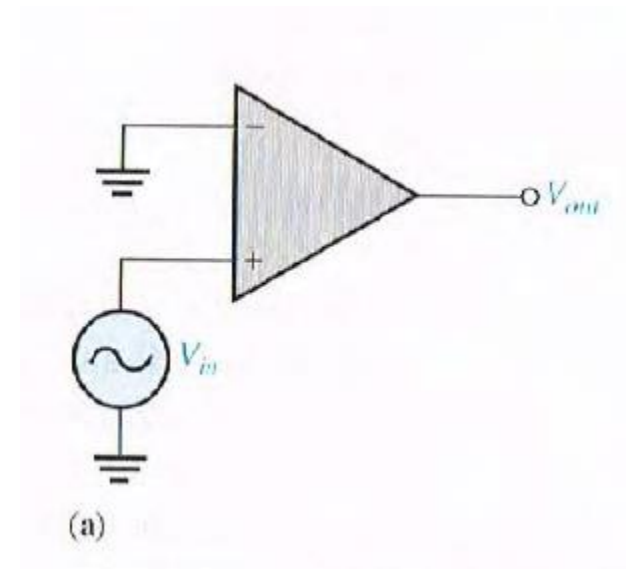
Section 8-3 checkup

1. **Wat is het terugkoppellement in een integrator opampschakeling?**
2. **Waarom is de spanningsverandering over de condensator bij een integrator lineair als de ingangsspanning constant wordt gehouden?**
3. **Wat is het terugkoppellement bij een opamp als differentiator?**
4. **Hoe verhoud de uitgangsspanning van een differentiator zich tegenover de ingangsspanning?**



1. In een nul-niveau detector (comparator) de uitgang verandert wanneer de ingang gelijk is aan
 - (a) Positief
 - (b) Negatief
 - (c) Nul overschrijdt
 - (d) Heeft een verandering van 0%

1. In een nul-niveau detector (comparator) de uitgang verandert wanneer de ingang gelijk is aan
- (a) Positief
 - (b) Negatief
 - (c) Nul overschrijdt
 - (d) Heeft een verandering van 0%

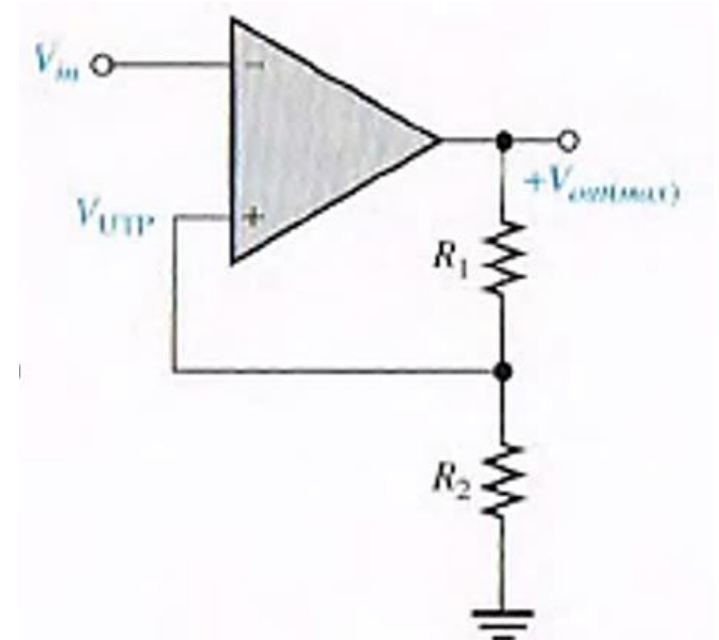


2. Een comparator met hysteresis heeft

- (a) 1 triggerpunt
- (b) Heeft 2 triggerpunten
- (c) Heeft een variabel triggerpunt
- (d) Is zoals een magnetisch circuit

2. Een comparator met hysteresis heeft

- (a) 1 triggerpunt
- (b) Heeft 2 triggerpunten**
- (c) Heeft een variabel triggerpunt
- (d) Is zoals een magnetisch circuit



4. Een venstercomparator detecteert wanneer:
- (a) Ingang tussen twee specifieke grenzen is
 - (b) De ingang niet verandert
 - (c) De ingang te snel verandert
 - (d) De hoeveelheid licht een bewaalde waarde overschrijdt

4. Een venstercomparator detecteert wanneer:

- (a) Ingang tussen twee specifieke grenzen is
- (b) De ingang niet verandert
- (c) De ingang te snel verandert
- (d) De hoeveelheid licht een bewaalde waarde overschrijdt

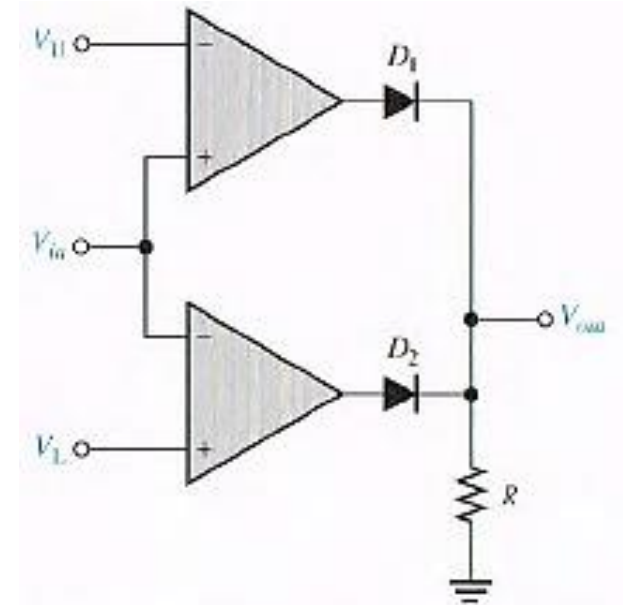


FIGURE 8-15 A basic window comparator.

4. Voor een gemiddelde waarde versterker met 4 ingangen moet de verhouding $\frac{R_f}{R_i}$ gelijk zijn aan:

(a) 5

(b) 0,2

(c) 1

(d) Te weinig gegevens om te bepalen

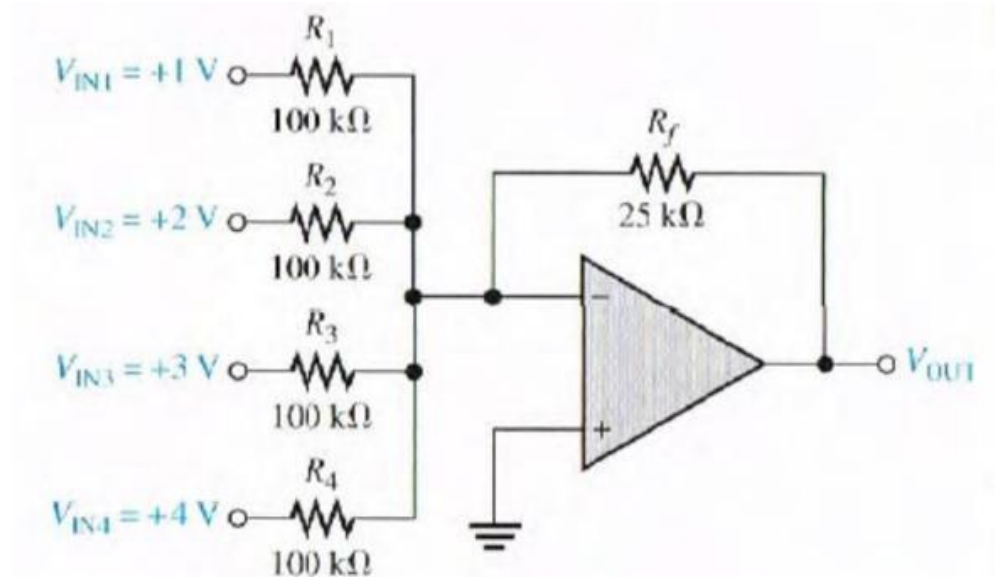
4. Voor een gemiddelde waarde versterker met 4 ingangen moet de verhouding $\frac{R_f}{R_i}$ gelijk zijn aan:

(a) 4

(b) 0,25

(c) 1

(d) Te weinig gegevens om te bepalen



5. De mate van verandering van de uitgang van een integrator in response van een stap aan de ingang is afhankelijk van

- (a) RC tijdsconstante
- (b) De amplitude van de stap aan de ingang
- (c) De stroom door de condensator
- (d) Al de voorgaande genoemde items

5. De mate van verandering van de uitgang van een integrator in response van een stap aan de ingang is afhankelijk van

- (a) RC tijdsconstante
- (b) De amplitude van de stap aan de ingang
- (c) De stroom door de condensator
- (d) Al de voorgaande genoemde items

$$\Delta V_{out} = -\frac{V_{in}}{R_i \cdot C} \times \Delta t$$

6. De uitgang van een differentiator is evenredig met
- (a) RC tijdsconstante
 - (b) De mate van verandering aan de ingang
 - (c) De amplitude van de ingang
 - (d) Zowel (a) als (b)

6. De uitgang van een differentiator is evenredig met

- (a) RC tijdsconstante
- (b) De mate van verandering aan de ingang
- (c) De amplitude van de ingang
- (d) Zowel (a) als (b)

$$V_{out} = -\frac{V_c}{t} \cdot C \cdot R_f$$

1. Starten in positie 1 voor 20 ms. Daarna wordt de schakelaar voor 10 ms in positie 2 geplaatst. Dan terug in positie 1 voor 20 ms.

Na hoeveel tijd bereikt het uitgangssignaal + 5 V?

