Het aansturen van piëzo-actuatoren met lineaire versterkers, dat is toch even anders schakelen

Eric J. Boere

Field Application Engineer bij Apex Microtechnology,

namens TOP-electronics

In het kort

Piëzo-actuatoren worden in hedendaagse applicaties veel toegepast.

Ze zijn in allerlei vormen verkrijgbaar en relatief goedkoop. Er kunnen grote krachten worden geproduceerd bij precieze en kleine bewegingen.

Echter het capacitieve karakter, de vereiste hoge spanningen en - stromen maken de aansturing van piëzo-actuatoren lastig.

De oplossing voor deze problematiek is het toepassen van vermogens-operationele versterkers.

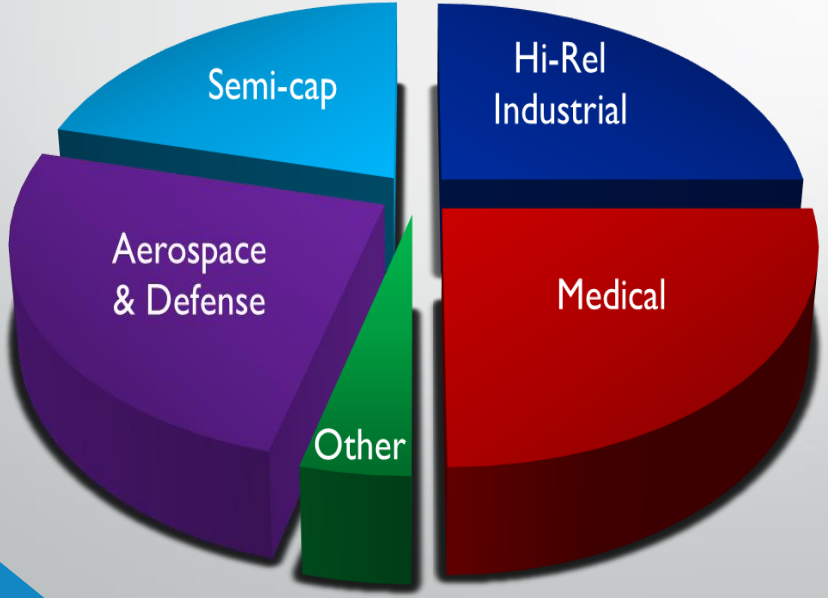
Wij leggen u graag uit hoe!

APEX MICROTECHNOLOGY PRECISION • POWER • ANALOG

TOP ELECTRONICS

Over Apex Microtechnolgy

Apex Microtechnology (Arizona, USA) is al ruim 35 jaar een wereldleider op het gebied van high-power producten.



APEX MICROTECHNOLOGY
PRECISION • POWER • ANALOG

Over TOP-electronics

TOP-electronics is een technisch gedreven distributeur van electronica modules en componenten met kantoren in de Benelux en in de USA.

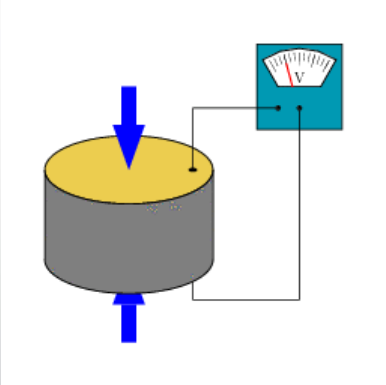
Productgebieden

- M2M, Wireless & IoT
- Precision Analog
- Motion Control
- Power Conversion
- Test & Measurement
- Componenten (actieve en passieve)

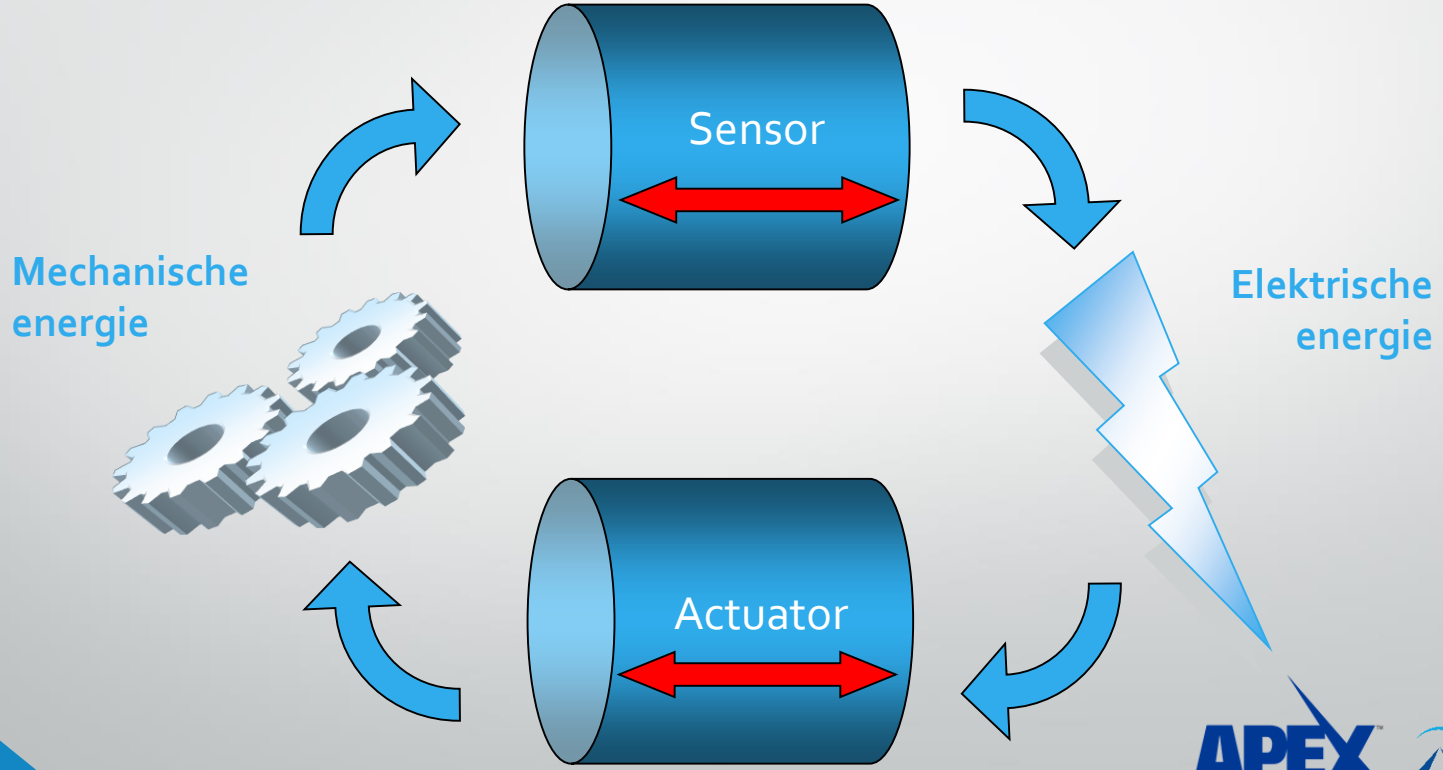
Piëzo-electriciteit

Correct uitgesproken als [pijeˈzo elɛktrisi̯ˈtɛit]
Betekent elektriciteit als gevolg van druk

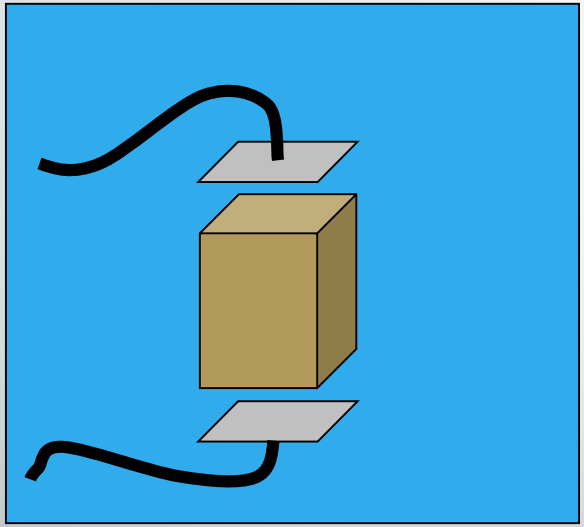
Lead Zirconate Titanate (PZT)

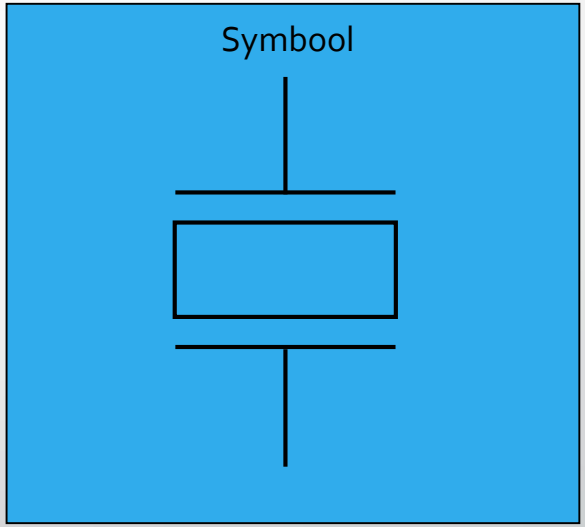


Energie omzetting

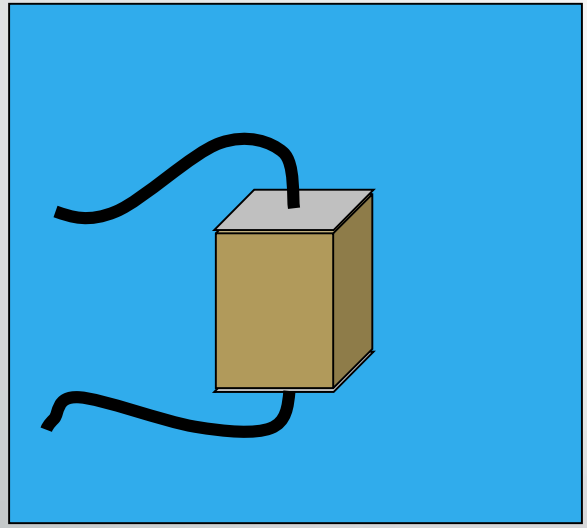


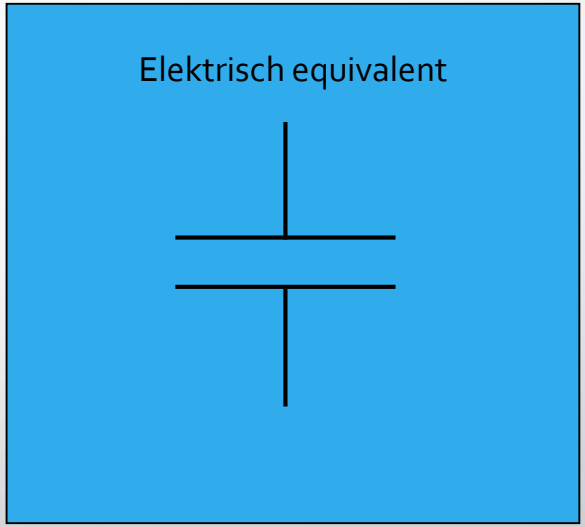
Piëzo-elektrische componenten



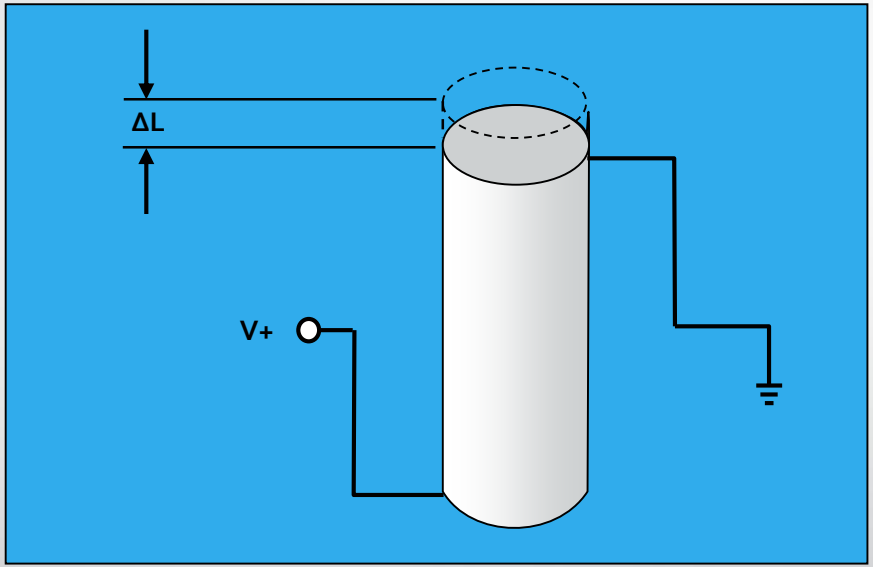


Piëzo-elektrische componenten





Piëzo-actuatoren

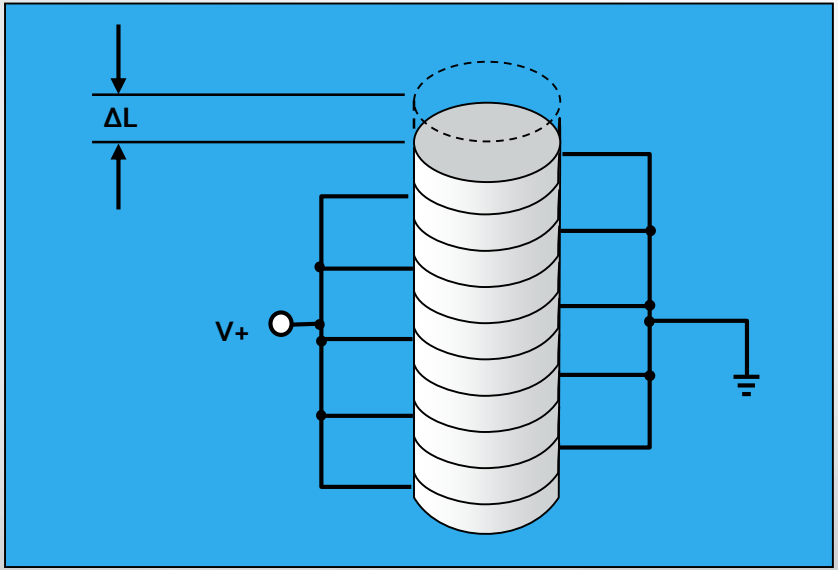


ΔL ("stroke" / slag) tot wel 0.01%

Een variëteit aan Piëzo-actuatoren

"Stacks"

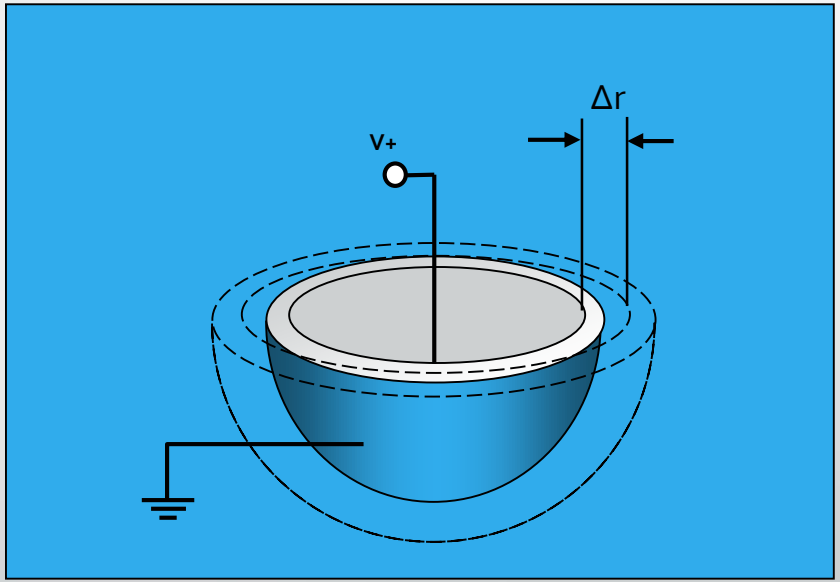
(stapels)



ΔL ("stroke" / slag) tot wel 2%

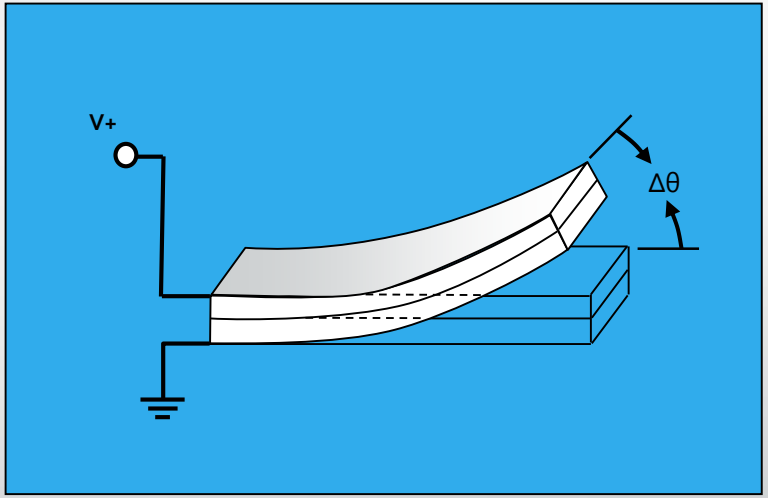
Een variëteit aan Piëzo-actuatoren

Koepelvormen



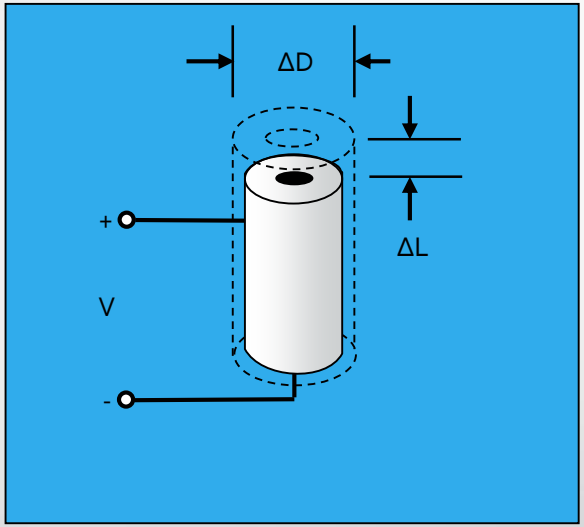
Een variëteit aan Piëzo-actuatoren

Buigers



Een variëteit aan Piëzo-actuatoren

Buizen



Verplaatsing in zowel axiale als radiale richting

Voordelen van piëzo-elektrische actuatoren

Elektrostatische bekrachtiging

- Er wordt geen magnetisch veld gegenereerd
- Ongevoelig voor beïnvloeding door magnetische velden
- Er is vrijwel geen vermogen nodig om permanente kracht uit te oefenen

Voordelen van piëzo-elektrische actuatoren

Opwekking van grote krachten door relatief kleine actuator

Piëzo-elektrische actuator

35mm x 33mm

25000 N

Solenoid (elektromagnetische) actuator

38mm x 64mm

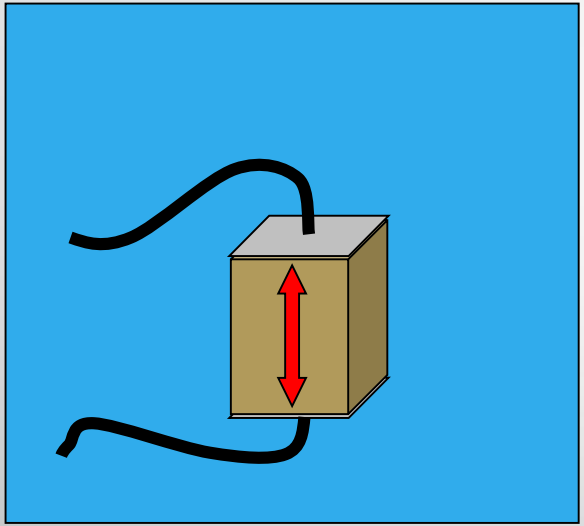
80 N

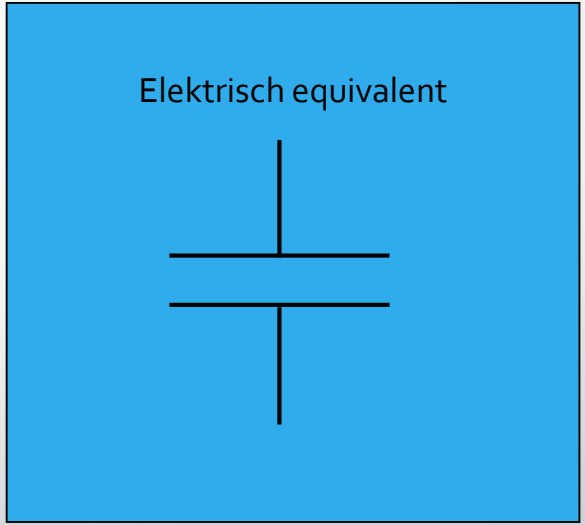
Voordelen van piëzo-elektrische actuatoren

<u>Geen bewegende delen</u>

- *Lange levensduur*
- *Weinig onderhoud*
- *Toepasbaar in vacuüm*
- *Functioneert goed bij cryogene temperaturen*

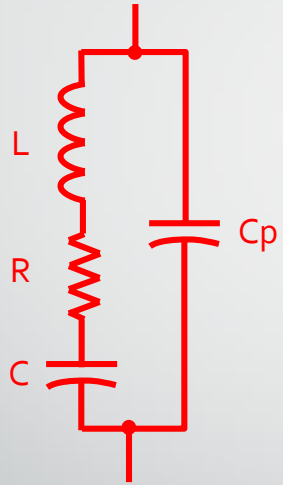
Het creëren en controleren van beweging

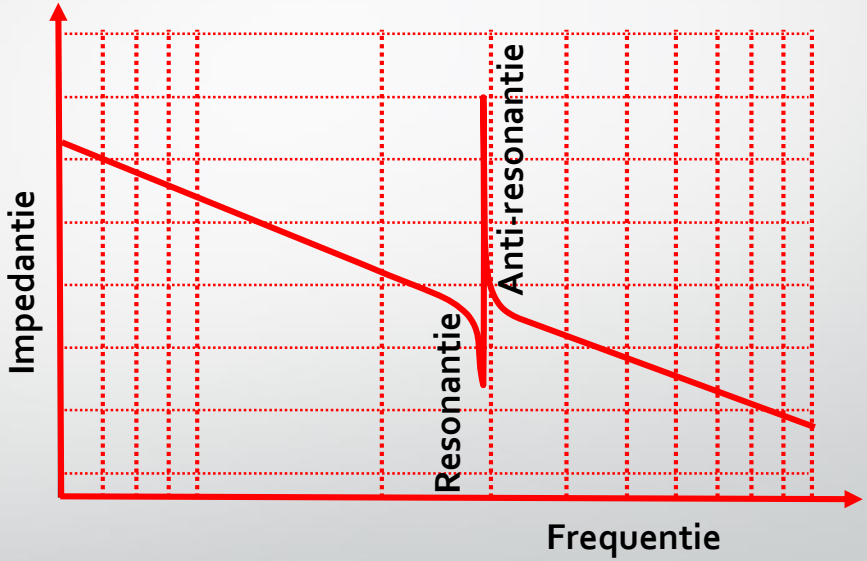




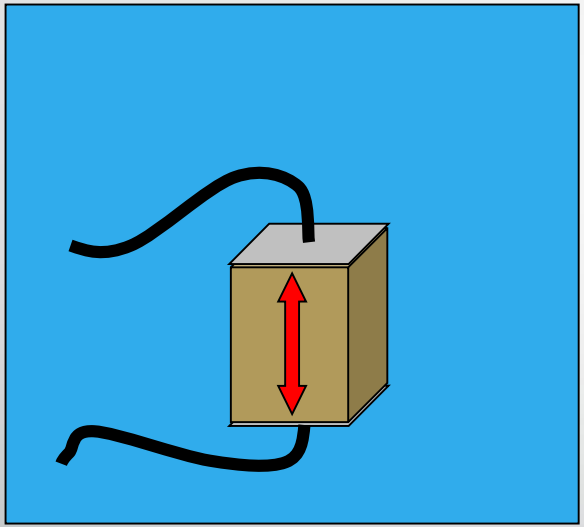
Het creëren en controleren van beweging

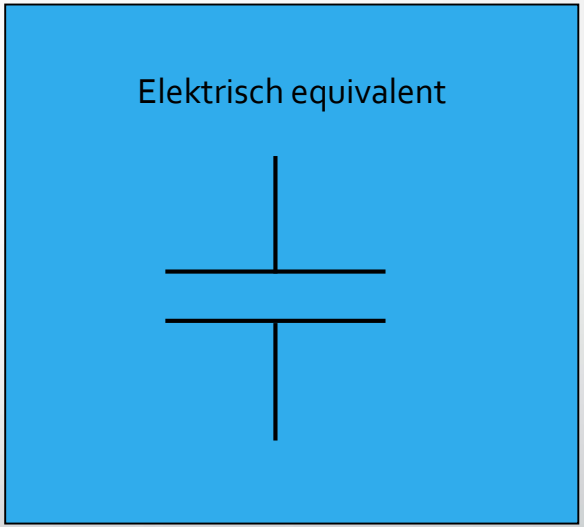
Elektrisch equivalent





Het creëren en controleren van beweging

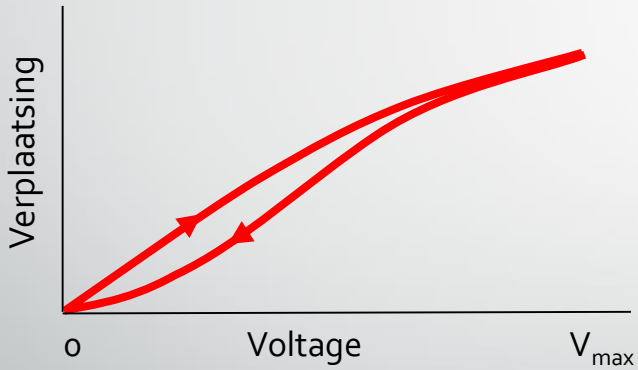


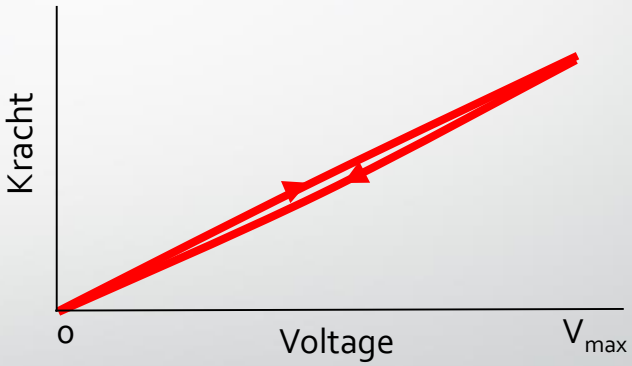


$$C = \epsilon_0 \cdot \frac{A}{d}$$

Het creëren en controleren van beweging

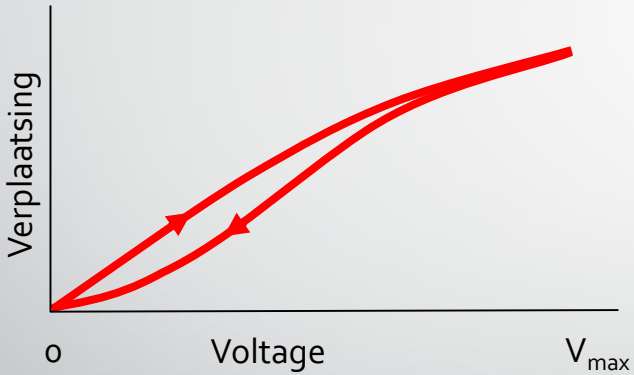
Kracht is proportioneel met voltage



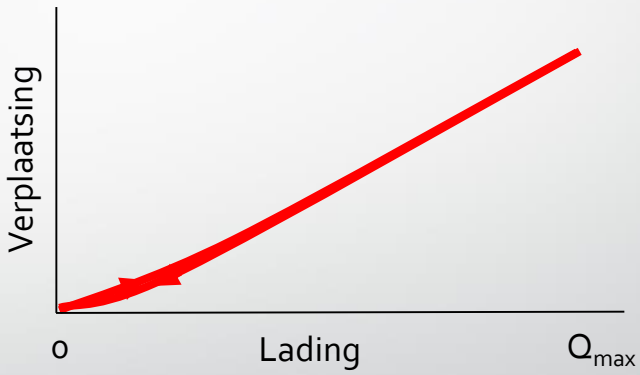


Het creëren en controleren van beweging

Verplaatsing ("stroke" / slag) is proportioneel met lading



$$Q = C \cdot V$$



$$Q = \int i \cdot dt$$

Het creëren en controleren van beweging

- Kracht is proportioneel met voltage
- Verplaatsing (slag) is proportioneel met lading

- Aanstuur-elektronica hangt dus af van toepassing. Gaat het om <u>kracht</u> of <u>verplaatsing</u>?

Vermogenselektronica?

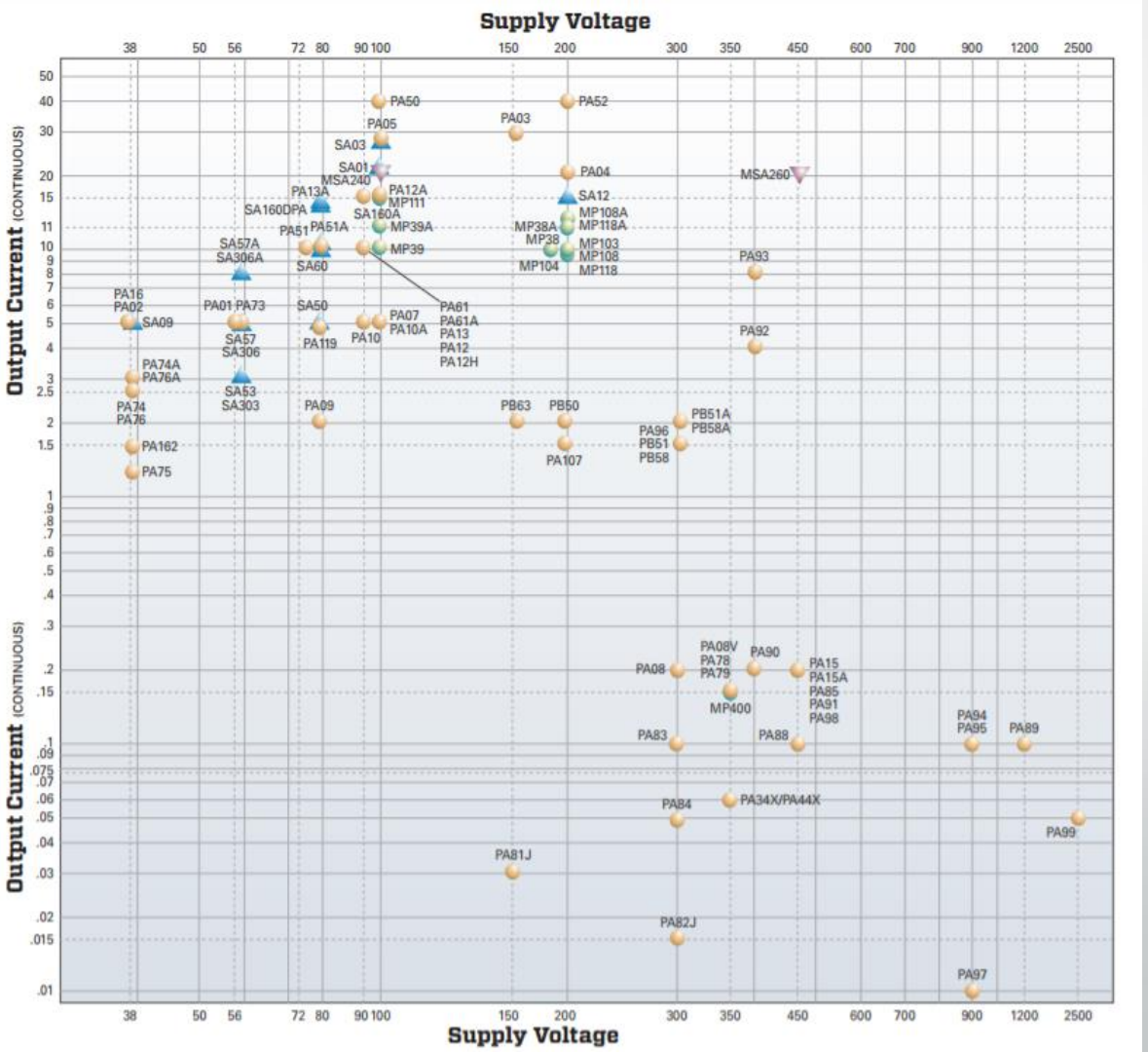
350A

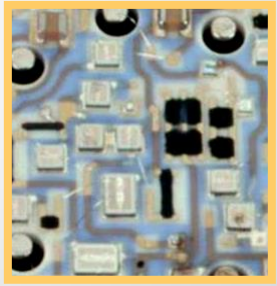
380kV

1600MW

APEX MICROTECHNOLOGY PRECISION • POWER • ANALOG

TOP ELECTRONICS



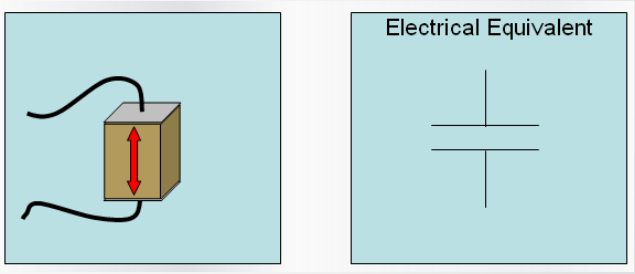


APEX MICROTECHNOLOGY
PRECISION • POWER • ANALOG

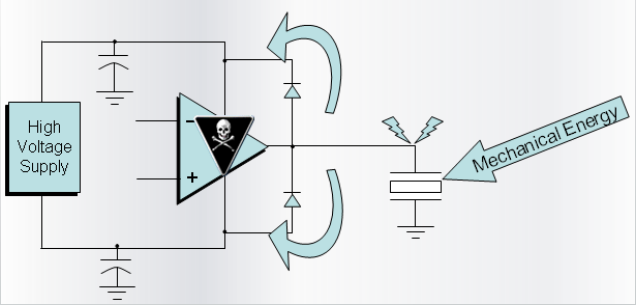
TOP ELECTRONICS

Andere piëzo-uitdagingen

- **Piëzo-actuator gedraagt zich als elektrische capaciteit**

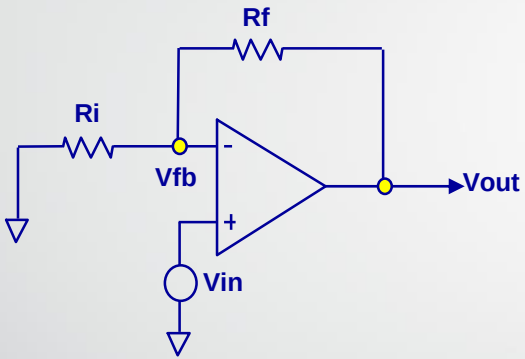


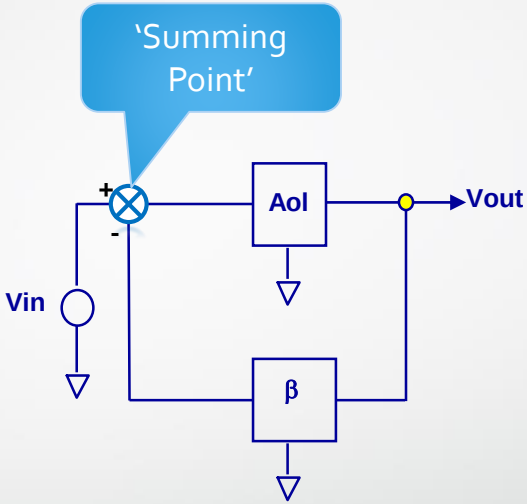
1. Capacitieve belasting dreigt een aansturend circuit te destabiliseren
2. Hoge snelheden veroorzaken grote stromen
3. Reactieve belasting van de versterker leidt tot extra vermogensverlies



- **Piëzo-actuatoren kunnen als generator functioneren.**

BETA (β) - Terugkoppelfactor





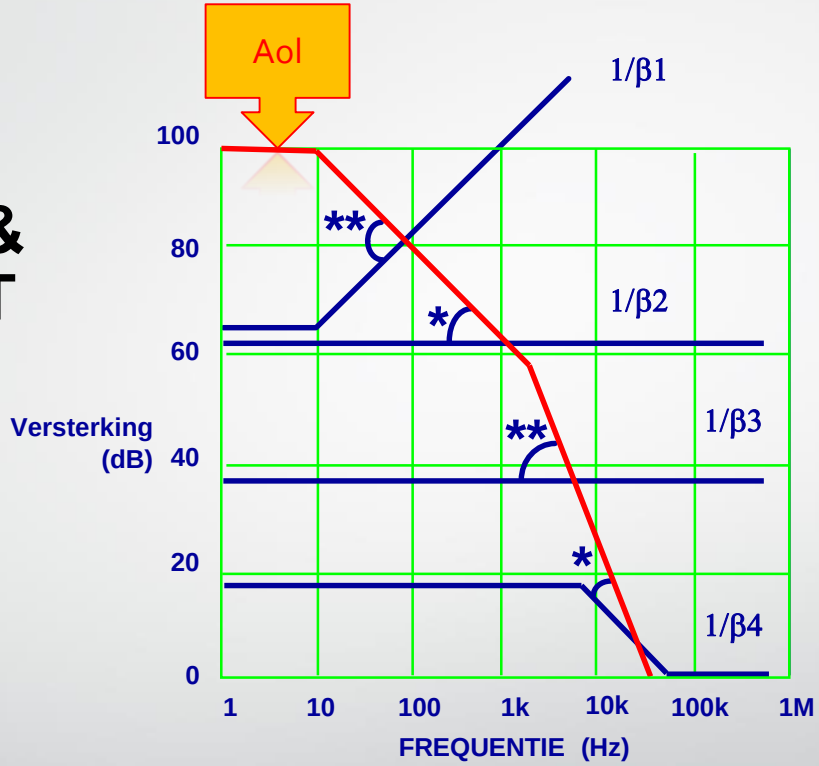
$$\beta = \frac{Ri}{Ri + Rf}$$

$$Vfb = \beta \cdot Vout$$

$$\frac{Vout}{Vin} = \frac{Aol}{1 + Aol \cdot \beta} = {}^{1}/_{\beta}$$

$$(voor\ Aol \cdot \beta \gg 1)$$

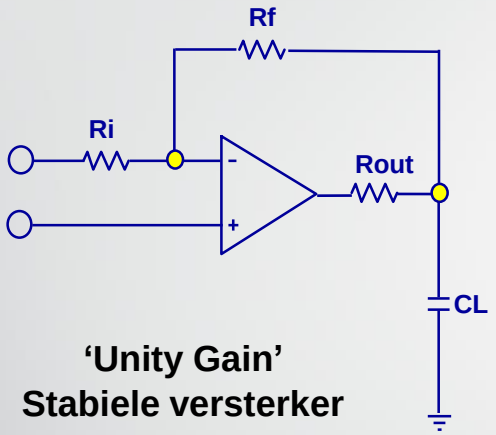
‘RATE OF CLOSURE’ & STABILITEIT



* 20 dB/decade ‘Rate of Closure’ → “Stabiliteit”

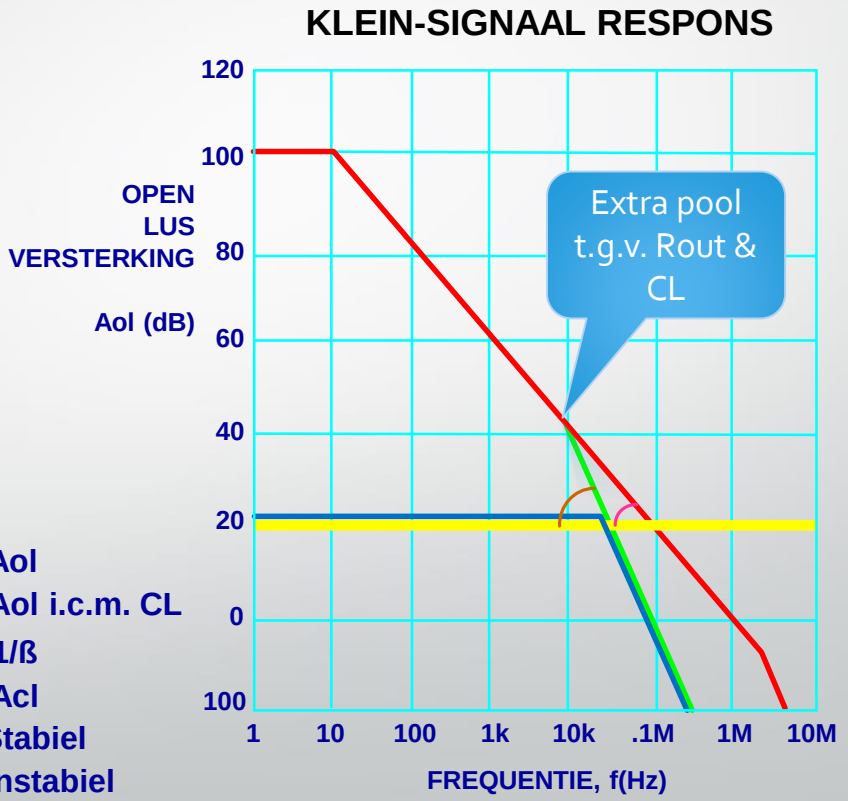
** 40 dB/decade ‘Rate of Closure’ → “Marginale Stabiliteit”

CAPACITIEVE BELASTING

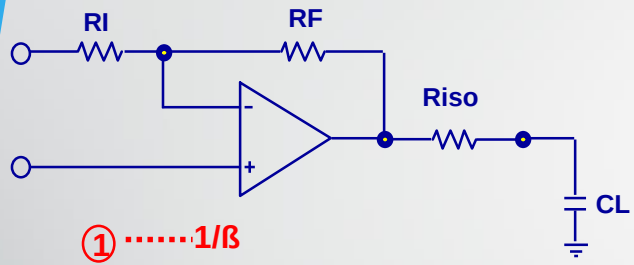


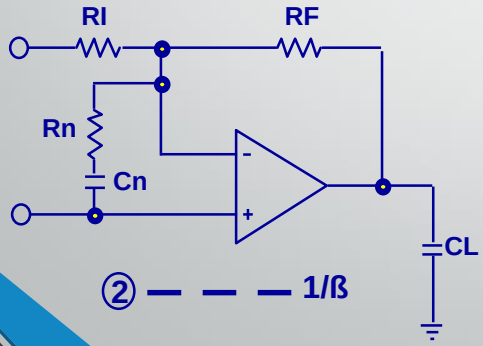
‘Unity Gain’
Stabiele versterker

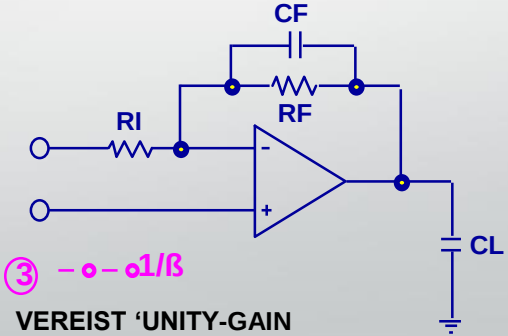
Instabiel
40dB / decade
i.c.m. CL



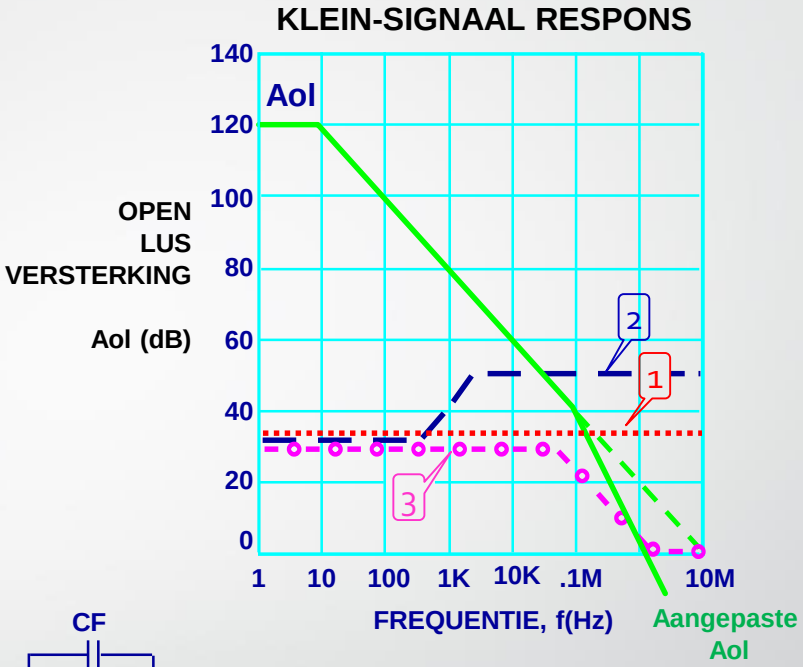
COMPENSATIE VOOR CAPACITIEVE BELASTING



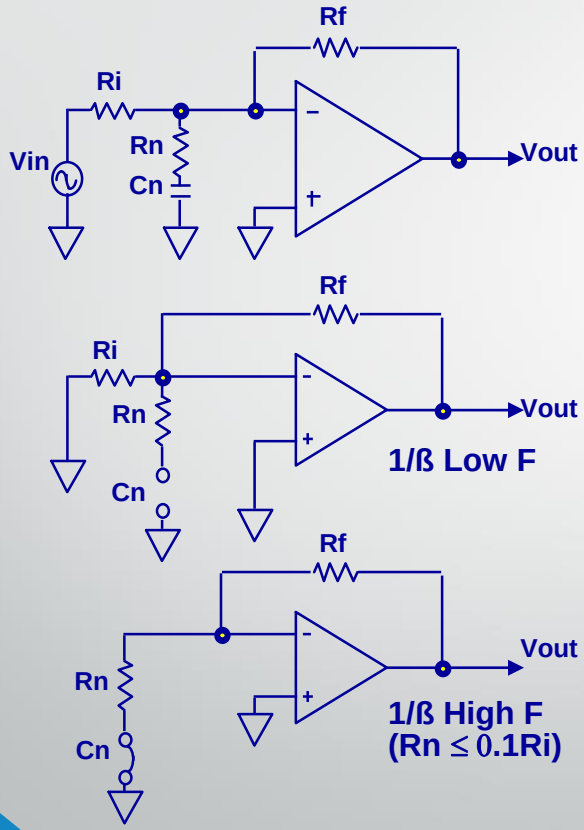


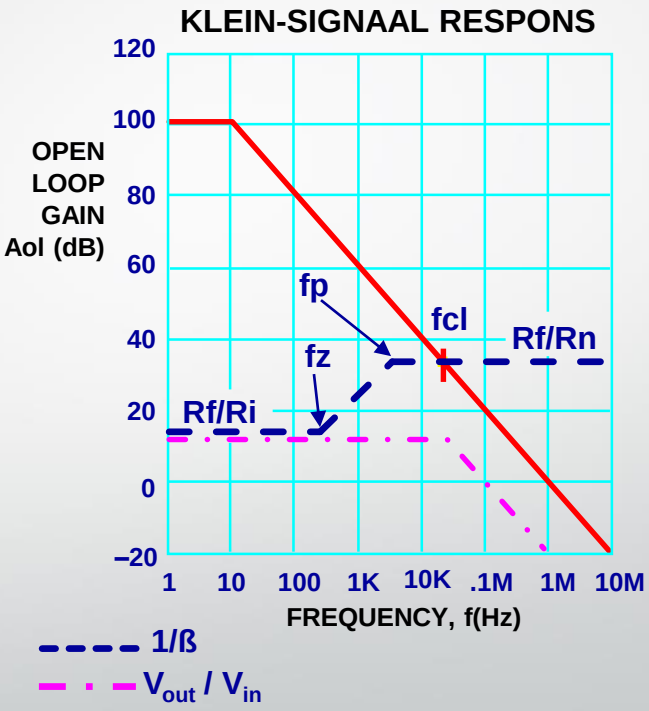


VEREIST 'UNITY-GAIN
-STABIELE VERSTERKER

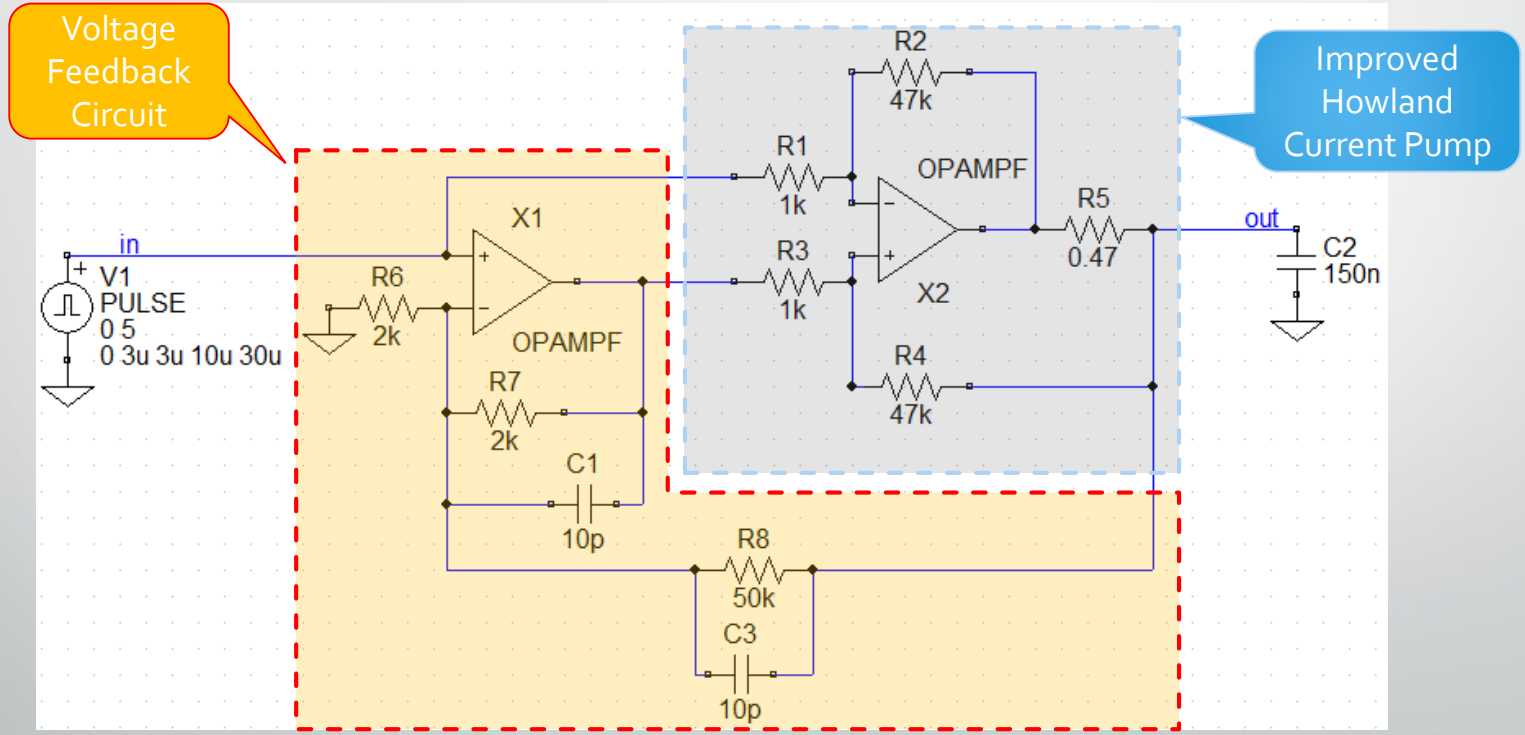


‘NOISE-GAIN’ COMPENSATIE





Een alternatief circuit voor capacitieve belastingen



2. Stromen kunnen groot zijn!

- "Apex is niet zo moeilijk, het komt allemaal neer op:
  - $V = I \times R$
  - $P = V \times I$"

Ohm's Law

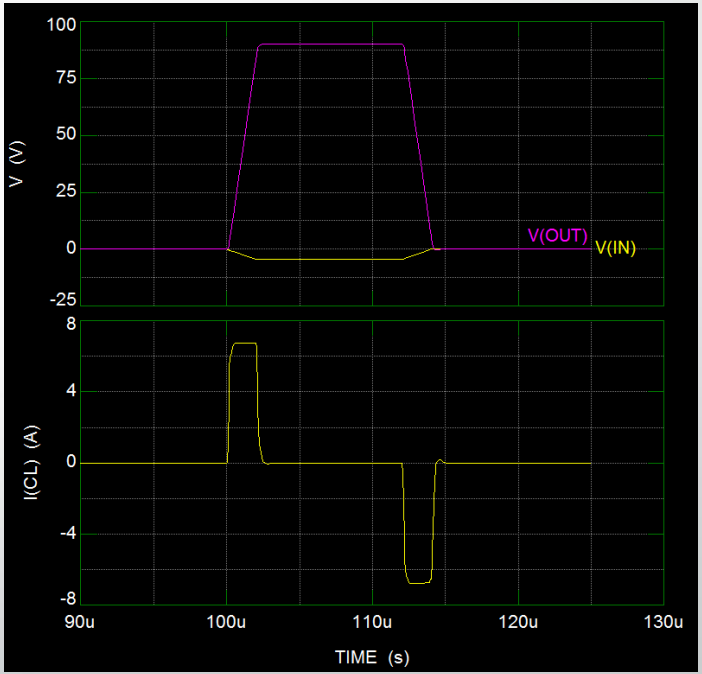
- Echter, er is ook:
  - $i = C \cdot \frac{dV}{dt}$

APEX MICROTECHNOLOGY PRECISION • POWER • ANALOG

TOP ELECTRONICS

$$i = C \cdot \frac{dV}{dt}$$

- Voorbeeld:
  - Aangenomen dat:
    - C_L=150nF,
    - puls amplitude=90V,
    - puls stijg-/daaltijd=2us,
    - dan
  - $i = 150 \times 10^{-9} \times \frac{90}{2 \times 10^{-6}} = 6.75A$

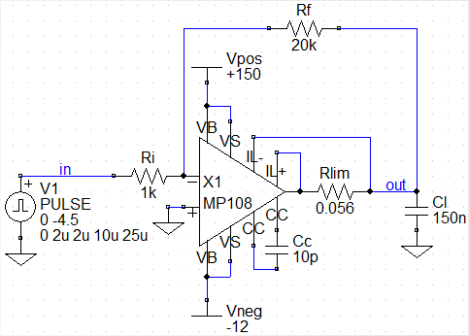


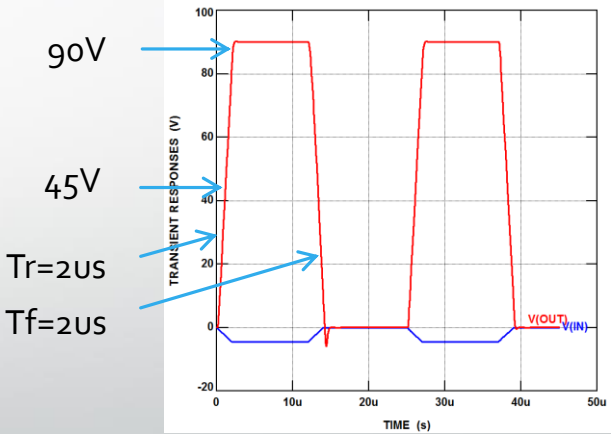
3. Vermogensverlies

- Bereken de piekstroom aan de hand van de eerder gegeven formule
- Beschouw:
  - Het middelpunt van de stijgende en dalende flanken van de puls
  - De voltageverschillen tussen de voedingsspanningen en deze middelpunten
- Bereken het vermogensverlies tijdens de stijgende puls flank: $Pd,r = Vd,r \times i$
- Bereken het vermogensverlies tijdens de dalende puls flank: $Pd,f = Vd,f \times i$
- Beschouw:
  - De stijg- en daaltijden van de puls: Tr en Tf
  - De frequentie van de puls, Fpulse
- Bereken het gemiddelde vermogensverlies: $Pd,avg = (Pd,r \times Tr + Pd,f \times Tf) \times Fpulse$
- **Dit resulteert in een erg conservatieve waarde voor het vermogensverlies (dus: groter dan in praktijk)**

Voorbeeld

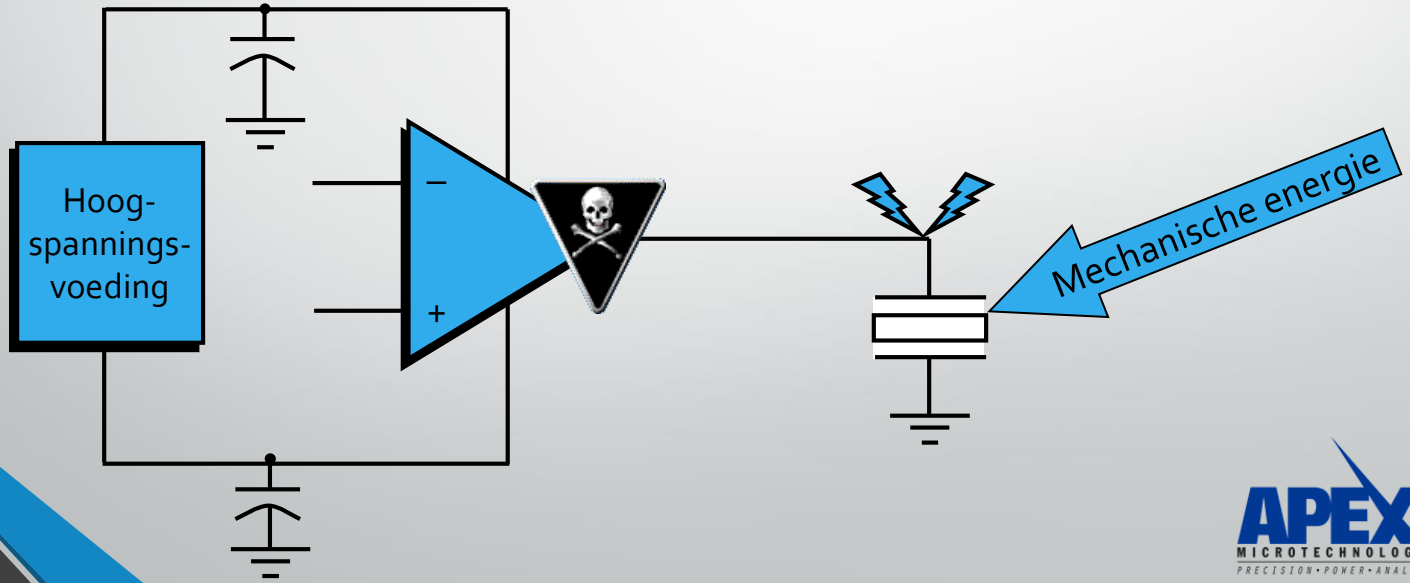
- $i = C\frac{dV}{dt} = 150 \times 10^{-9} \times \frac{90}{2\times10^{-6}} = 6.75A$
- Middelpunt stijgende flank is +45V, spanningsverschillen zijn Vd,r=150-45=105V en Vd,f=45- -12=57V
- $Pd,r = Vd,r \times i = 105 \times 6.75 = 708.75W$
- $Pd,f = Vd,f \times i = 57 \times 6.75 = 384.75W$
- $Fpulse = \frac{1}{T} = 40kHz$
- $Pd,avg = (Pd,r \times Tr + Pd,f \times Tf) \times Fpulse = (708.75 \times 2 \times 10^{-6} + 384.75 \times$





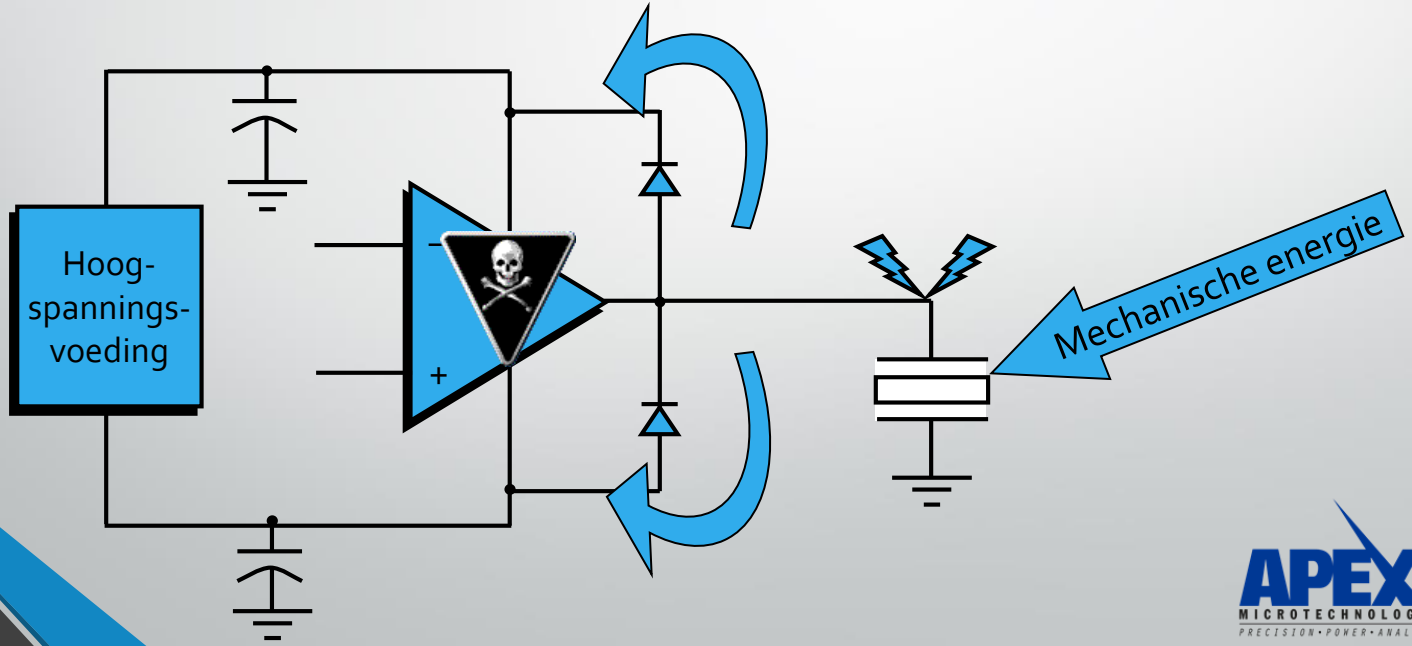
Voorzorgsmaatregelen m.b.t. het circuit

Ter herinnering: piëzo-actuatoren kunnen als generators werken!



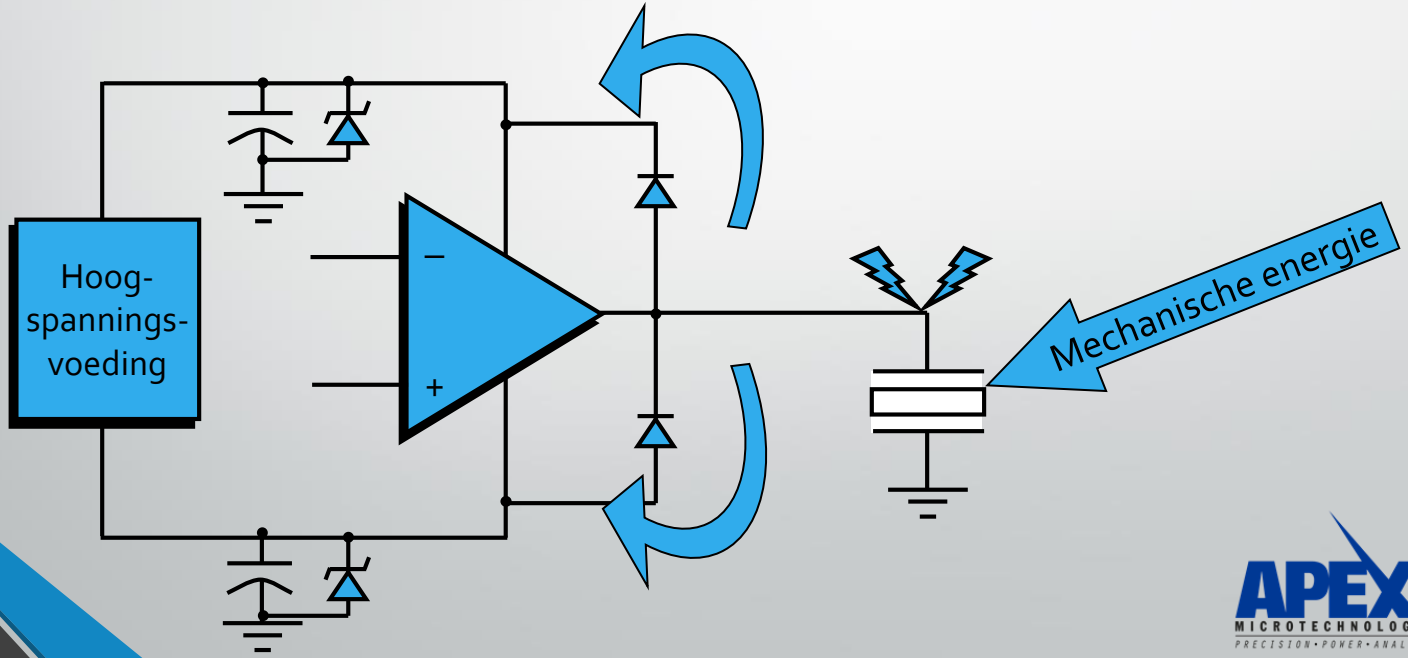
Voorzorgsmaatregelen m.b.t. het circuit

Ter herinnering: piëzo-actuatoren kunnen als generators werken



Voorzorgsmaatregelen m.b.t. het circuit

- Wat is de uitgangsimpedantie van de voeding?
- Hoe hoog is de uitgangsspanning in verhouding tot de maximale voedingsspanning van de operationele versterker?



Zijn er vragen?

Voor meer informatie kunt u onze websites bezoeken.

www.apexanalog.com

&

www.TOP-electronics.com

Uiteraard kunt u ons ook mailen en bellen voor meer informatie.

sales@TOP-electronics.com

+31 180 580 492

Bedankt voor uw aandacht!

APEX MICROTECHNOLOGY
PRECISION • POWER • ANALOG

TOP ELECTRONICS