

Figuren en tabellen uit:

“Regeltechniek voor het HBO, 6e druk”



Hoofdstuk 1

	<i>Boek</i>
	<i>Pag #</i>
Fig 1.1: Falend en succesvol regelmechanisme	1
Fig 1.2: Afstandsregeling in auto's	2
Fig 1.3a: James Watt (a)	3
Fig 1.3b: James Watt en zijn reguleur (b)	3
Fig 1.4: Blokschema van een open proces ofwel stuursysteem	4
Fig 1.5: Blokschema van een teruggekoppeld proces ofwel regelsysteem	4
Fig 1.6: Continu (a) en discontinu (b) regelsysteem	6
Fig 1.7: Analoo (a) en digitaal (b) signaal	6
Fig 1.8: Karakteristiek lineair systeem (a) en karakteristiek niet lineair systeem (b)	7
Fig 1.9: MIMO-systeem (a) en SISO-systeem (b)	7
Fig 1.10: Tijdonafhankelijke (a) en tijdafhankelijke (b) versterking	8
Fig 1.11: Warmteproces	10
Fig 1.12: Dynamisch gedrag van het proces	11

Fig 1.1

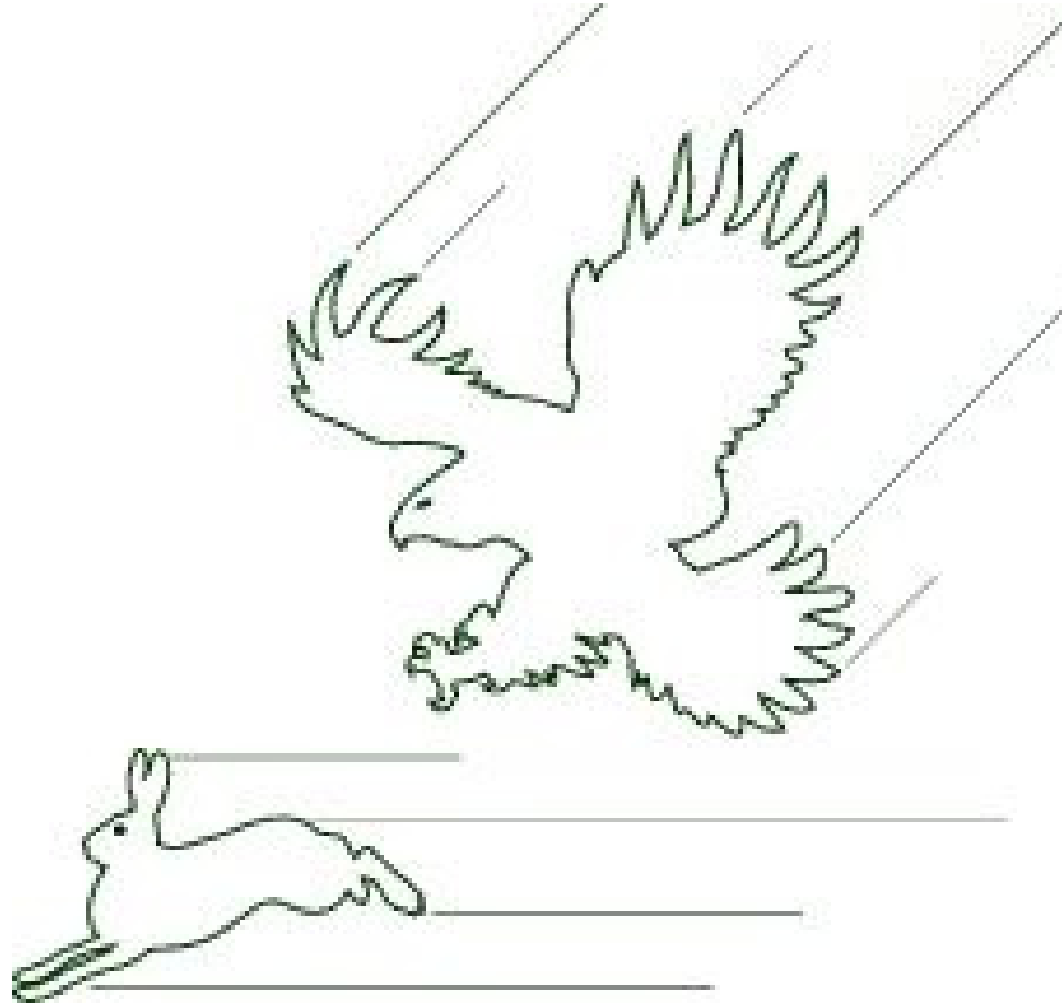


Fig 1.1: Falend en succesvol regelmechanisme

Fig 1.2

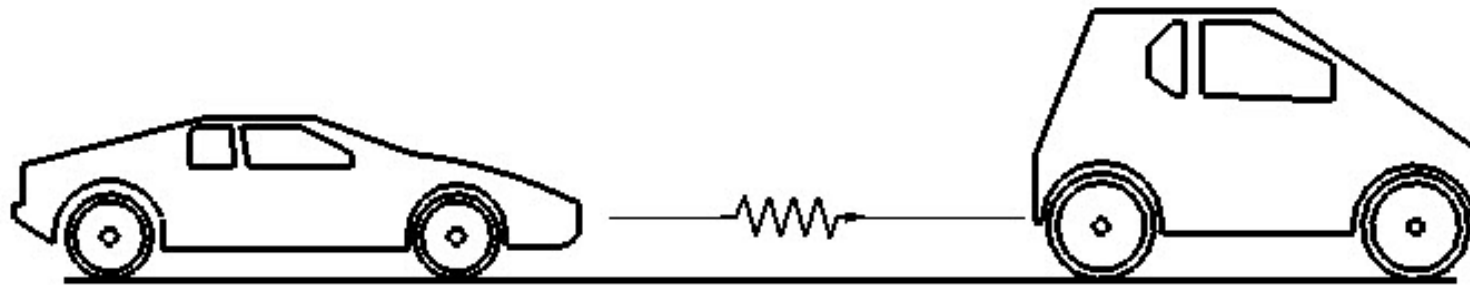


Fig 1.2: Afstandsregeling in auto's

Fig 1.3a

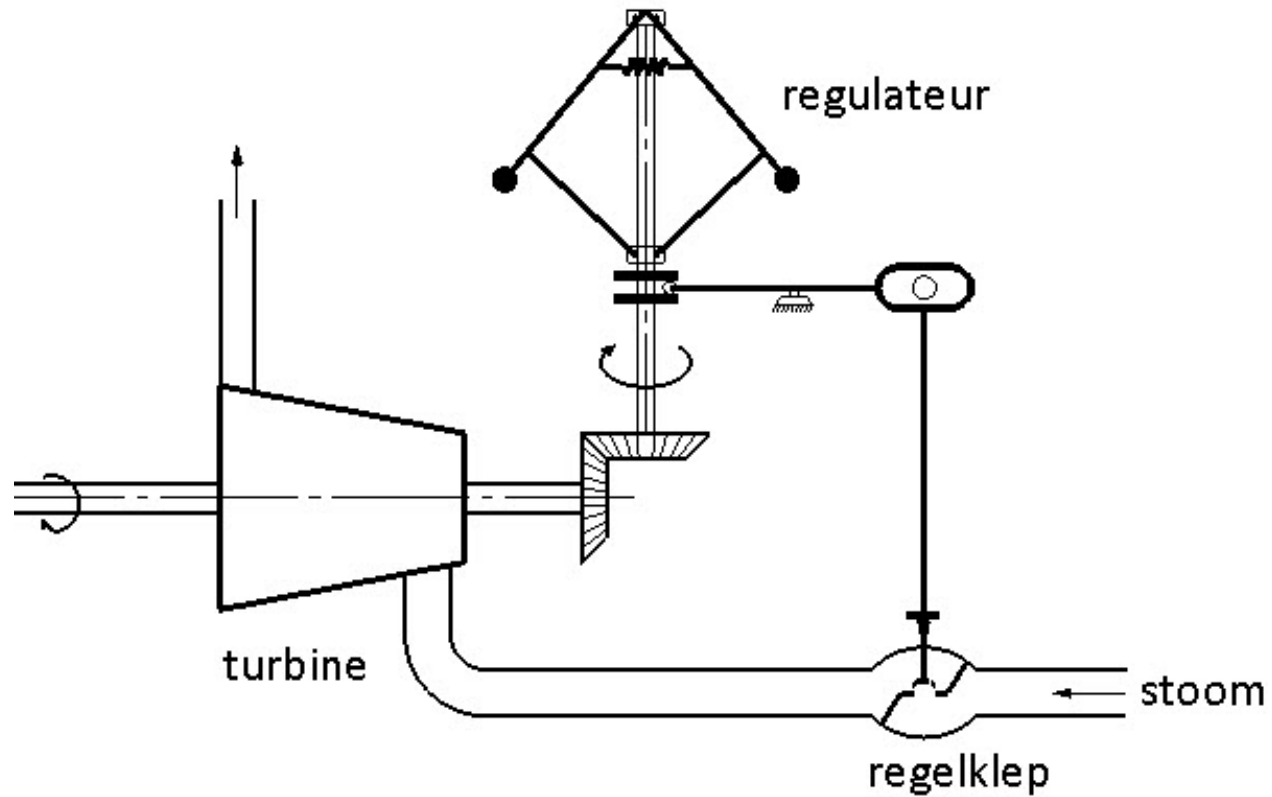


Fig 1.3a: James Watt (a)

Fig 1.3b

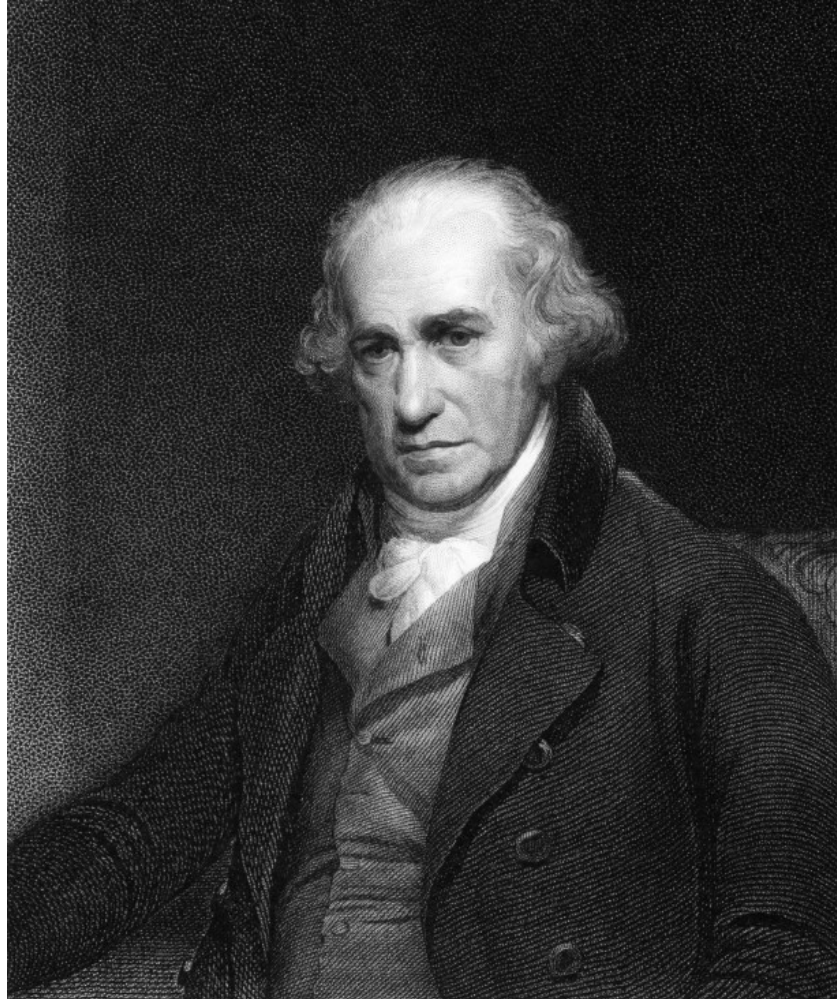


Fig 1.3b: James Watt en zijn reguleteur (b)

Fig 1.4

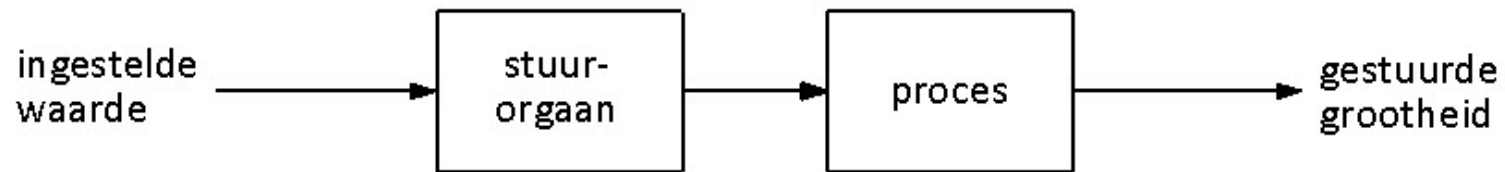


Fig 1.4: Blokschema van een open proces ofwel stuursysteem

Fig 1.5

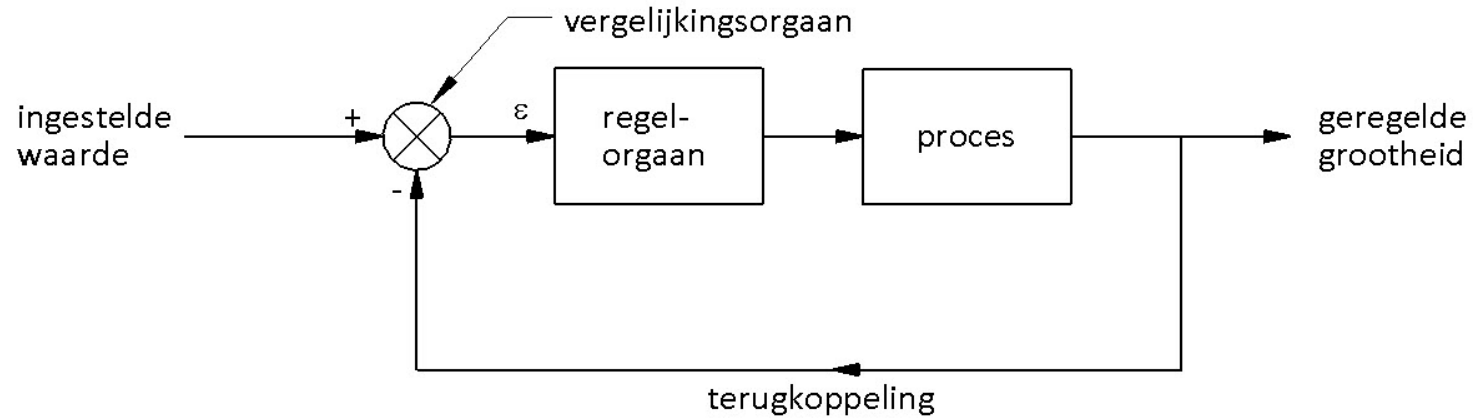
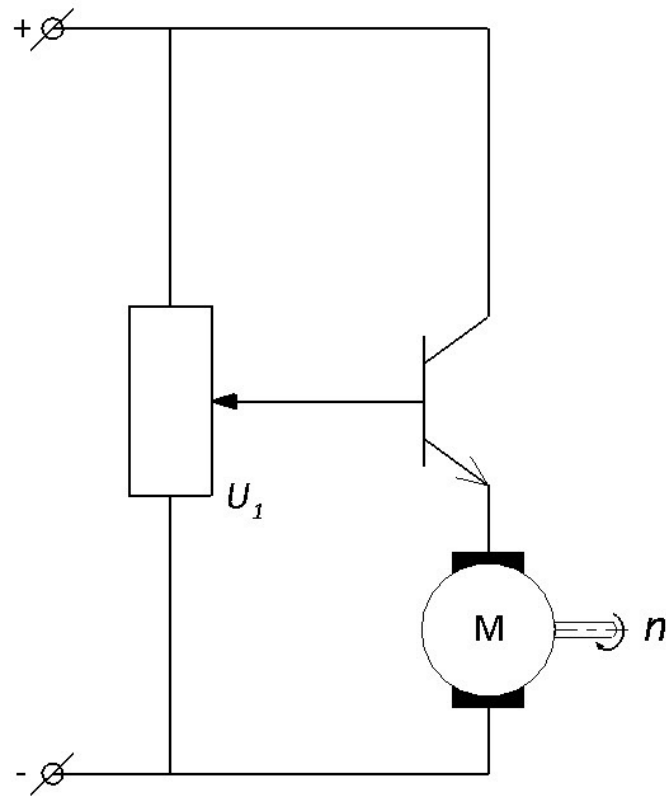
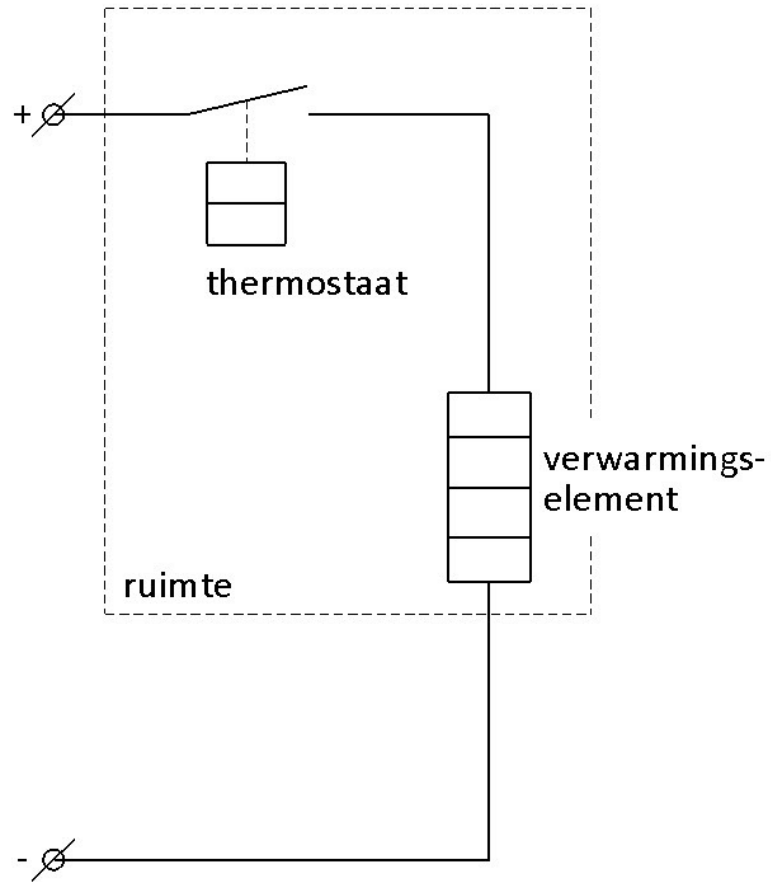


Fig 1.5: Blokschema van een teruggekoppeld proces ofwel regelsysteem

Fig 1.6



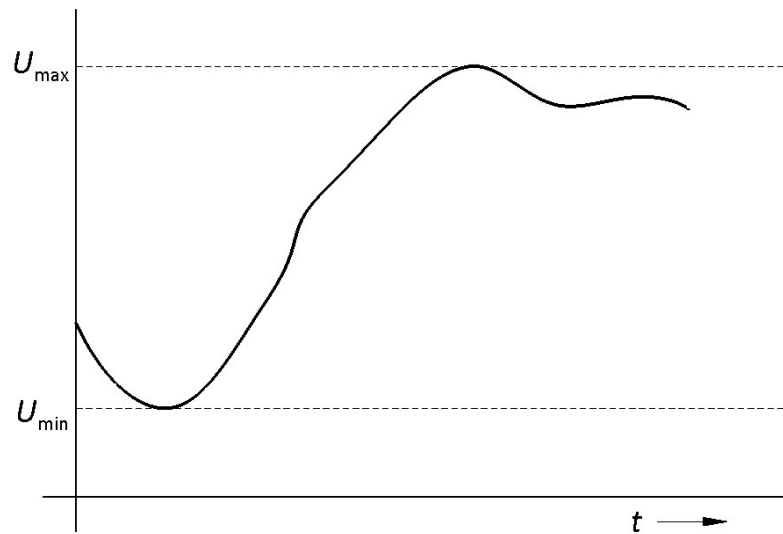
a. continu regelsysteem



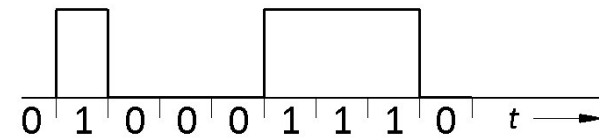
b. discontinu regelsysteem

Fig 1.6: Continu (a) en discontinu (b) regelsysteem

Fig 1.7



a. analoog signaal



b. digitaal signaal

Fig 1.7: Analoo (a) en digitaal (b) signaal

Fig 1.8

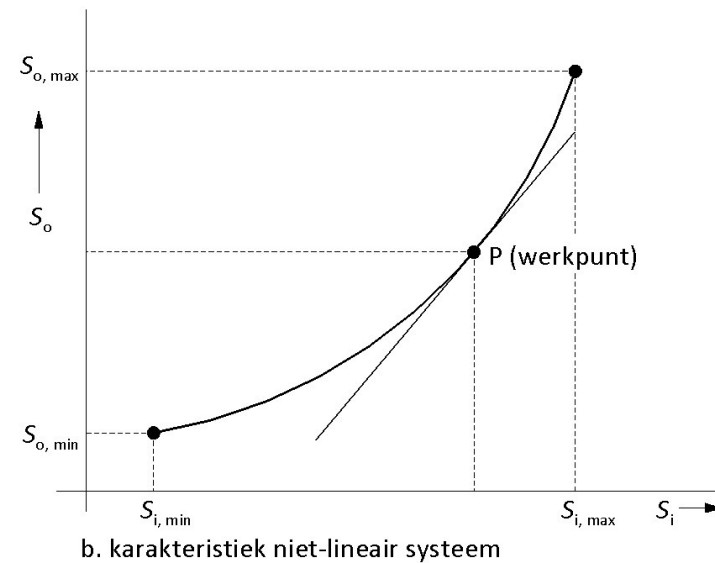
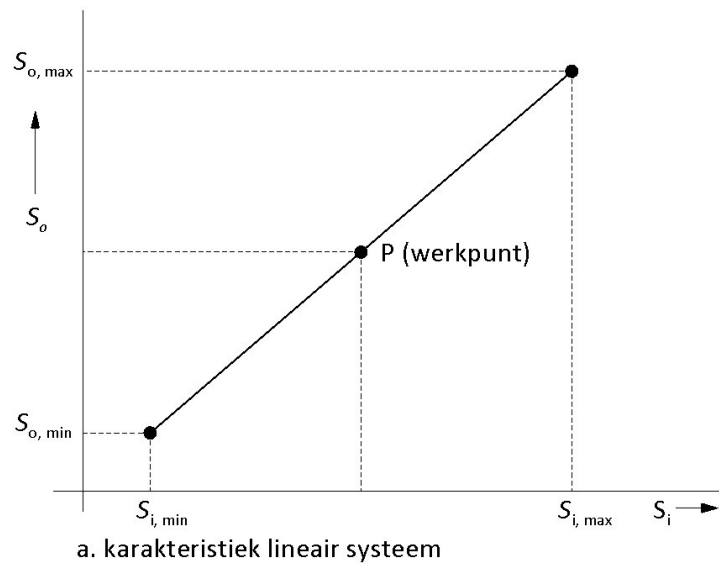
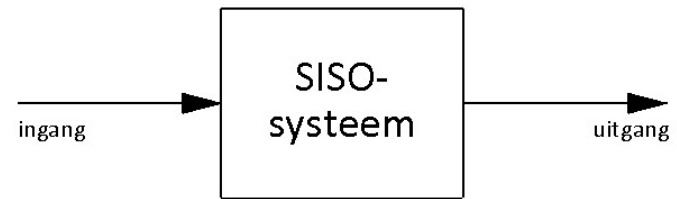


Fig 1.8: Karakteristiek lineair systeem (a) en karakteristiek niet lineair systeem (b)

Fig 1.9



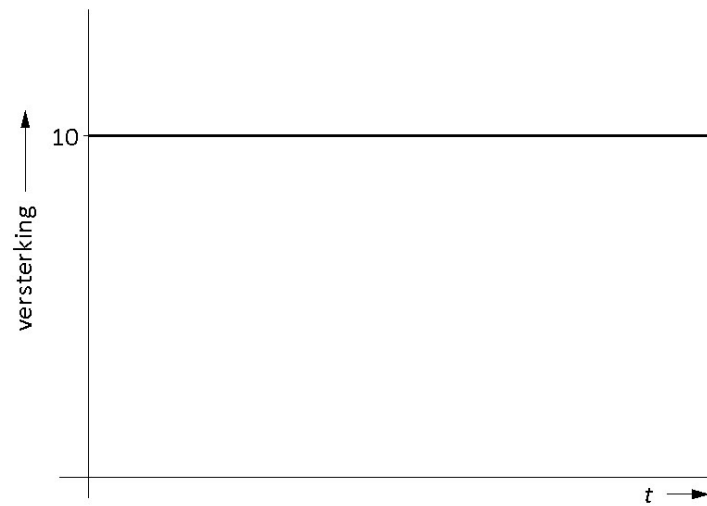
a. MIMO-systeem



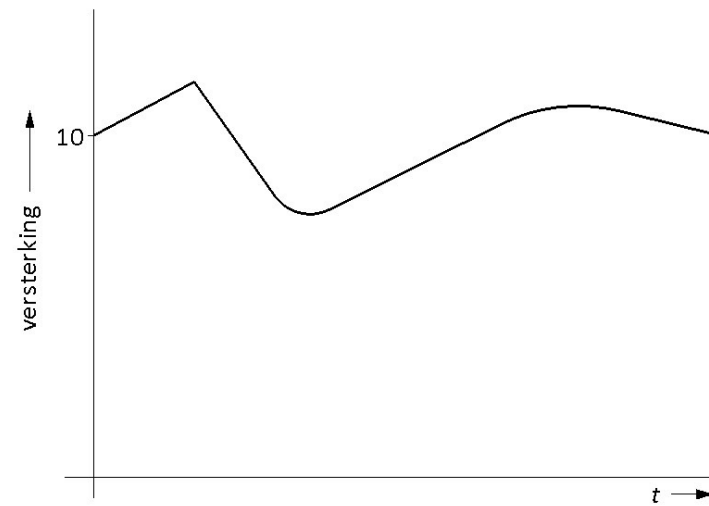
b. SISO-systeem

Fig 1.9: MIMO-systeem (a) en SISO-systeem (b)

Fig 1.10



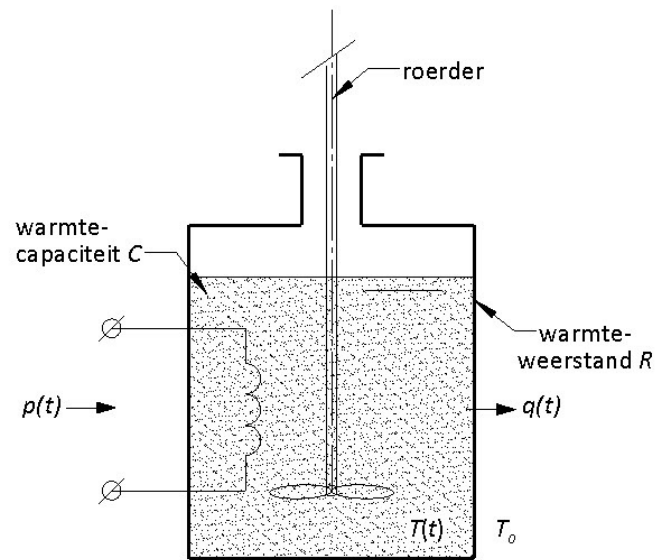
a. tijdonafhankelijke versterking



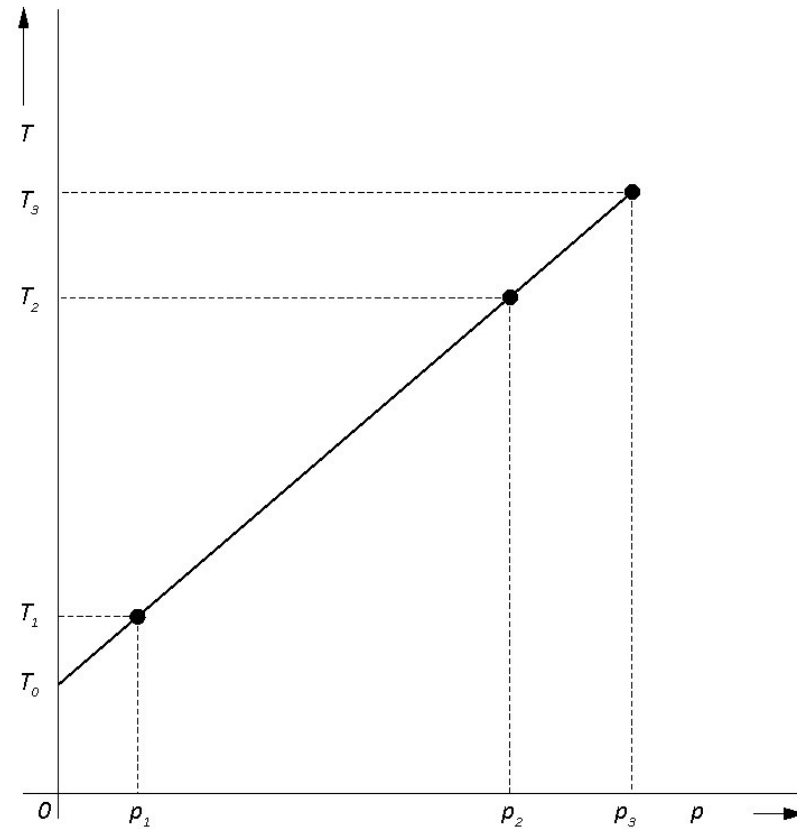
b. tijdafhankelijke versterking

Fig 1.10: Tijdonafhankelijke (a) en tijdafhankelijke (b) versterking

Fig 1.11



a. het proces



b. statische karakteristiek

Fig 1.11: Warmteproces

Fig 1.12

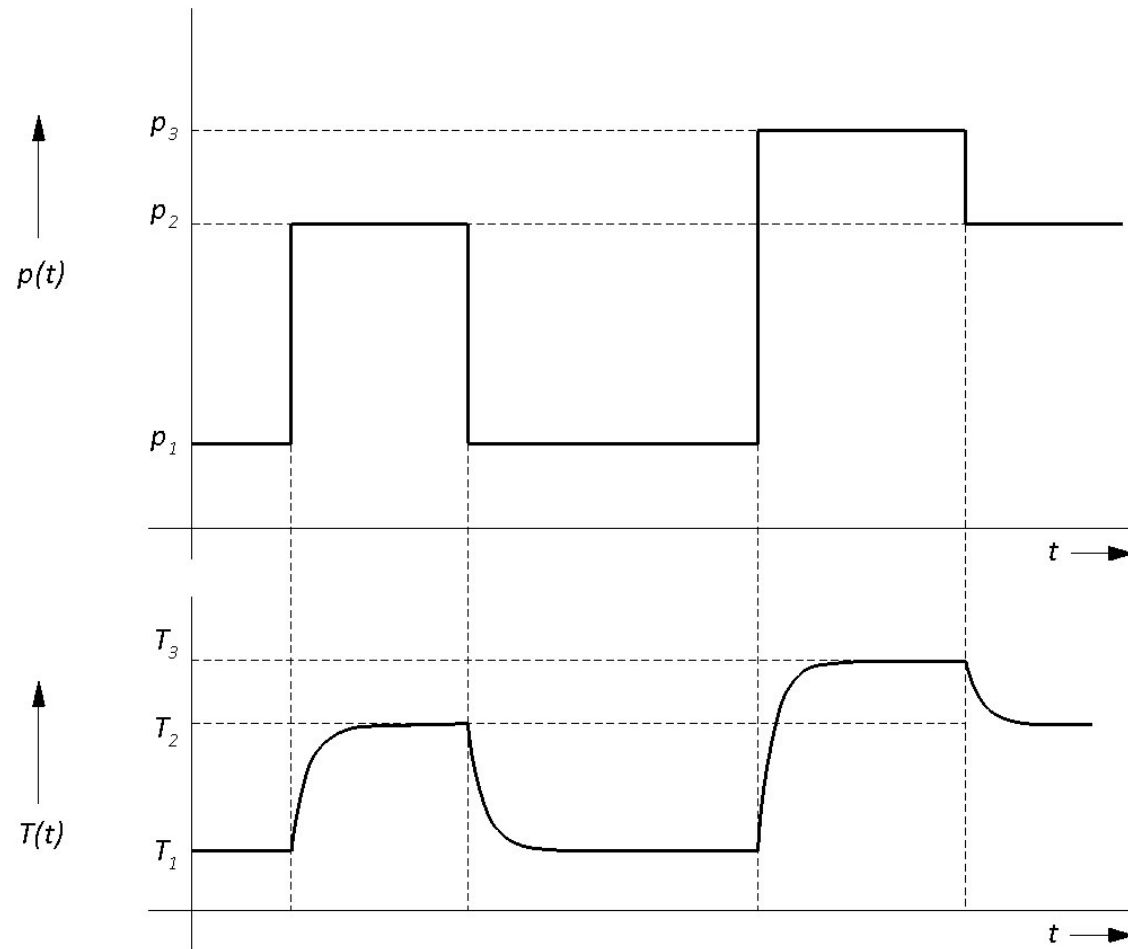


Fig 1.12: Dynamisch gedrag van het proces

Hoofdstuk 2

	<i>Boek</i>
	<i>Pag #</i>
Fig 2.1: Voorbeeld van een handregeling	13
Fig 2.2: Gevolgen voor de operator van automatisch regelen	14
Fig 2.3: Regeling van de snelheid van een auto	14
Fig 2.4: Stapresponsie zonder (a) en met (b) dynamisch gedrag	15
Fig 2.5: Blokschema van een continu, analoog, lineair, SISO en tijdonafhankelijk systeem	16
Fig 2.6: Blokschema van een systeem bestaande uit twee deelsystemen	17
Fig 2.7: Notaties voor een blokschema	18
Fig 2.8: Cascadeschakeling van blokken	19
Fig 2.9: Parallelschakeling van blokken	20
Fig 2.10: Terugkoppeling	20
Fig 2.11: Eenheidsterugkoppeling	21
Fig 2.12: Omwerking naar eenheidsterugkoppeling	21
Fig 2.13: Regelkring met stoorsignaal	22
Fig 2.14: Schematische weergave van een translatie	23
Fig 2.15: Krachtenbalans voor massa m op elk tijdstip t	24

Hoofdstuk 2

	<i>Boek Pag #</i>
Fig 2.16: Blokschema van een translatie	24
Fig 2.17: Drie mogelijke stapresponsies van een translatie	25
Fig 2.18: Massa-veer-dempersysteem van een auto	25
Fig 2.19: Processchema van het massa-veer-dempersysteem	26
Fig 2.20: Blokschema van het massa-veer-dempersysteem	27
Fig 2.21: Mogelijke responsies van het massa-veer-dempersysteem	27
Fig 2.22: Wasmachinecentrifuge (a) met processchema (b) en blokschema (c)	28
Fig 2.23: Modelling van een watertoren	29
Fig 2.24: Mogelijke stapresponsie van de uitgaande waterstroom	29
Fig 2.25: Cascadeschakeling zonder interactie	30
Fig 2.26: Serieschakeling met interactie	31
Fig 2.27: Mogelijke stapresponsie van de uitgaande waterstroom	31
Fig 2.28: Centrale verwarmingssysteem van een woning	32
Fig 2.29: Warmtetransport door een scheidingswand via geleiding	32
Fig 2.30: Proces- en blokschema van een cv-ketel	32

Hoofdstuk 2

	<i>Boek Pag #</i>
Fig 2.31: Grensvlak tussen twee gebieden met verschillende concentratie (a) en blokschema (b)	34
Fig 2.32: Mogelijk verloop van de stapresponsie van c_2	34
Fig 2.33: Voorbeeld van een elektrisch systeem	36
Fig 2.34: Mogelijke stapresponsies van het RLC-circuit van figuur 2.33	36
Fig 2.35: Totstandkoming van een blokschema	38
Fig 2.36: Blokschema van een onafhankelijk bekrachtigde gelijkstroommotor	38
Fig 2.37a: Blokschema a	40
Fig 2.37b: Blokschema b	40
Fig 2.37c: Blokschema c	40
Fig 2.38: Massa-veer-dempersysteem	41
Fig 2.39: Doorstroomapparaat voor de warmwatervoorziening	41
Fig 2.40: Processchema van een pneumatisch systeem	42
Fig 2.41: Gedetailleerd blokschema	42
Fig 2.42: Voorbeelden van een systeem	43

Fig 2.1

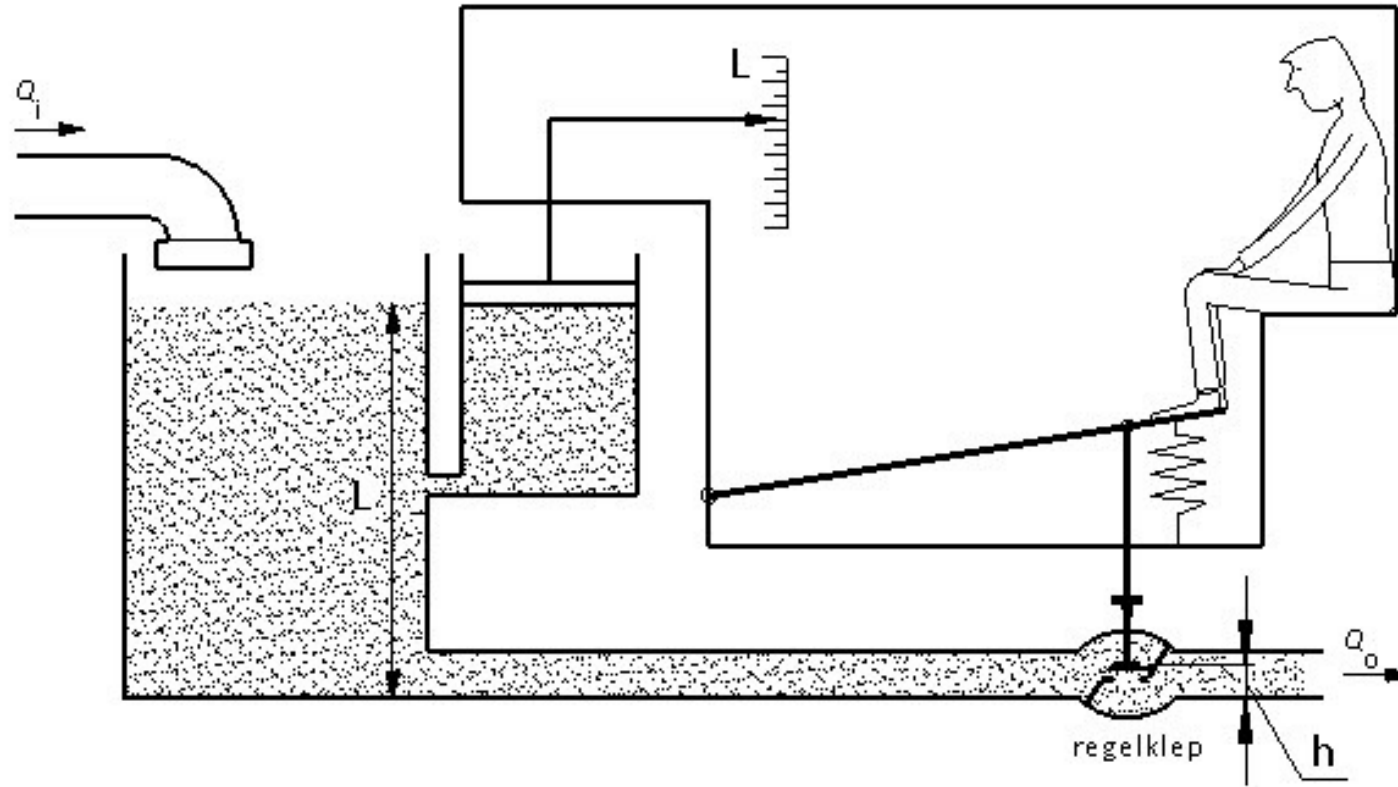


Fig 2.1: Voorbeeld van een handregeling

Fig 2.2

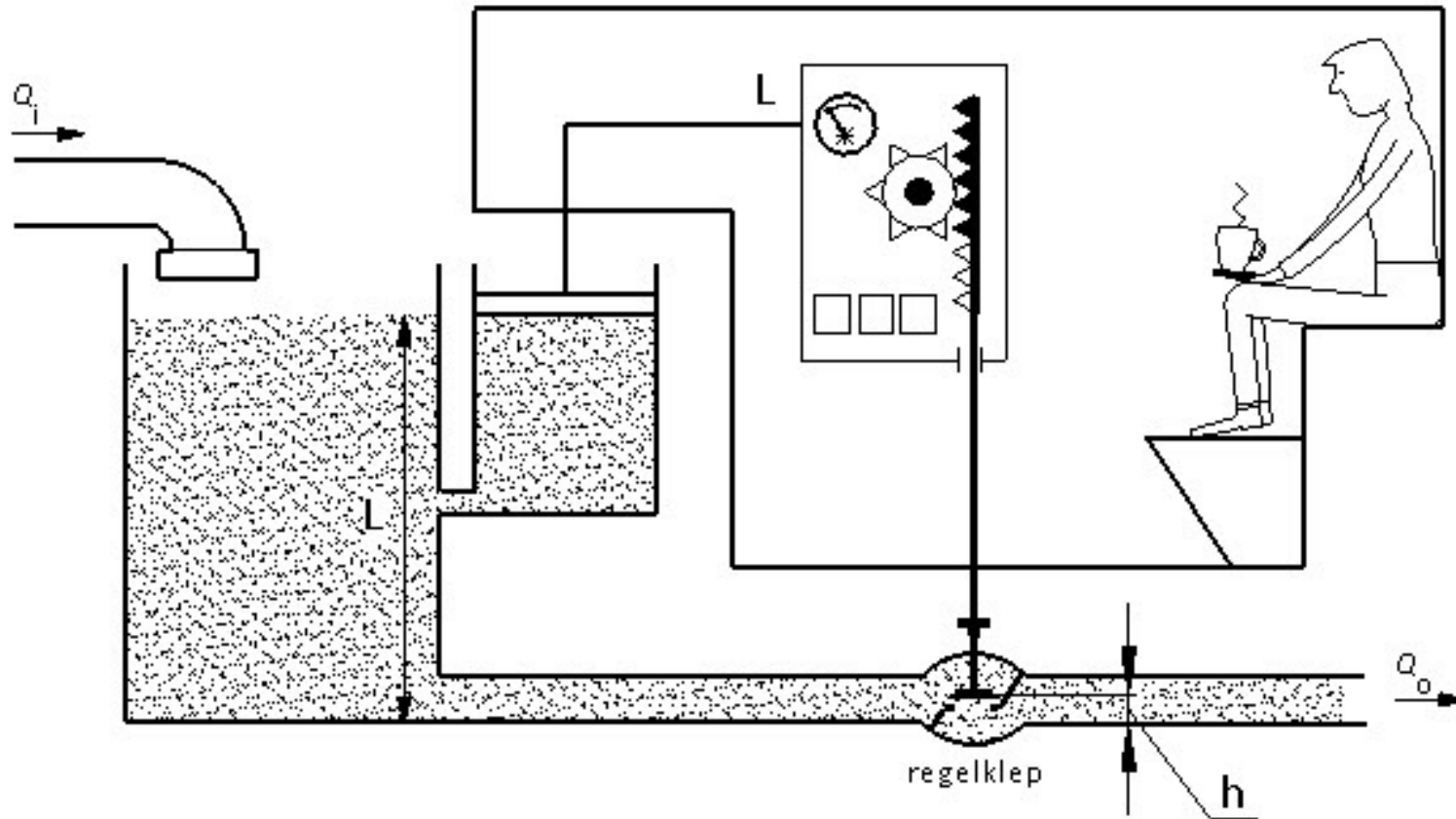


Fig 2.2: Gevolgen voor de operator van automatisch regelen

Fig 2.3

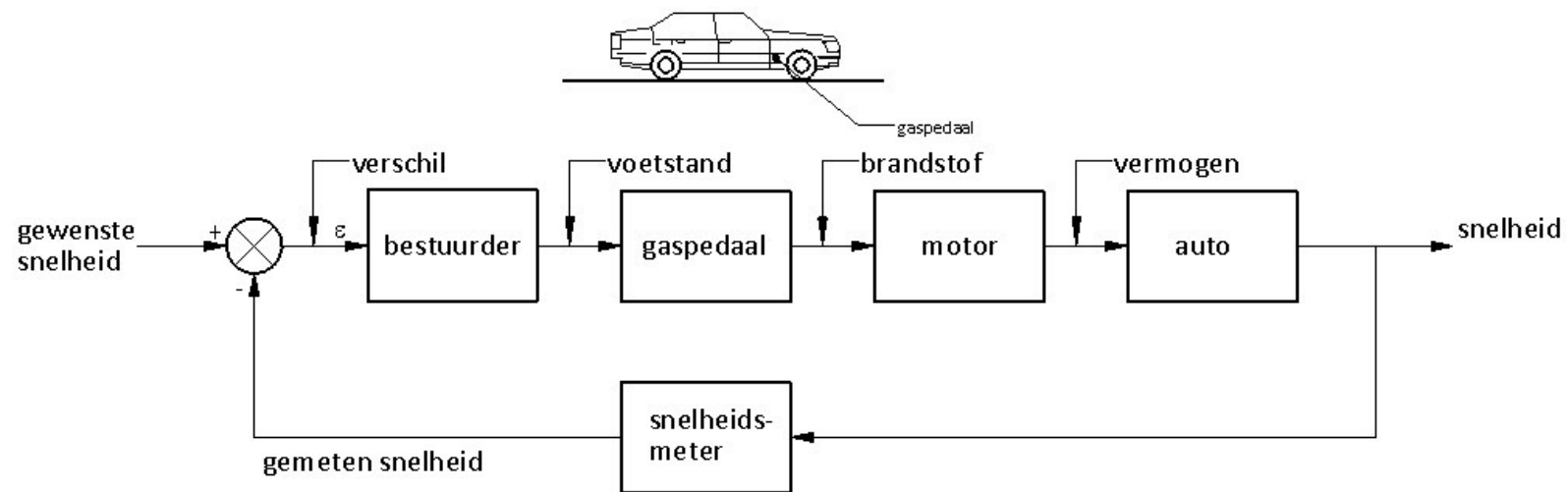


Fig 2.3: Regeling van de snelheid van een auto

Fig 2.4

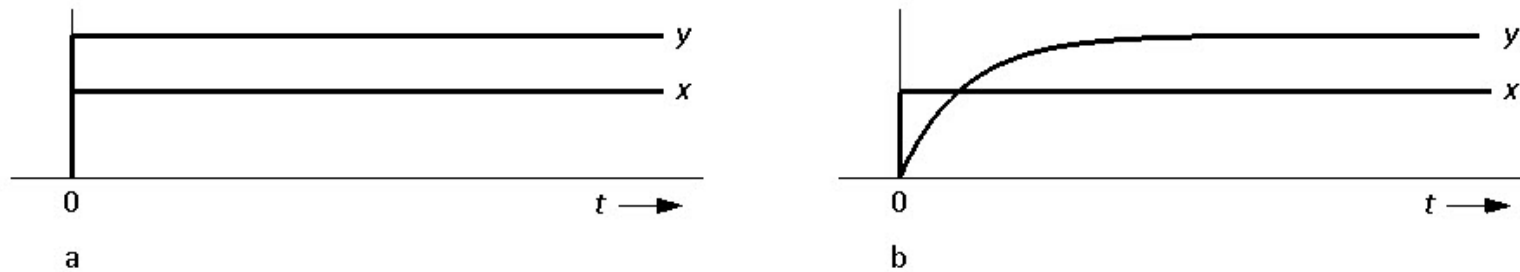


Fig 2.4: Stapresponsie zonder (a) en met (b) dynamisch gedrag

Fig 2.5

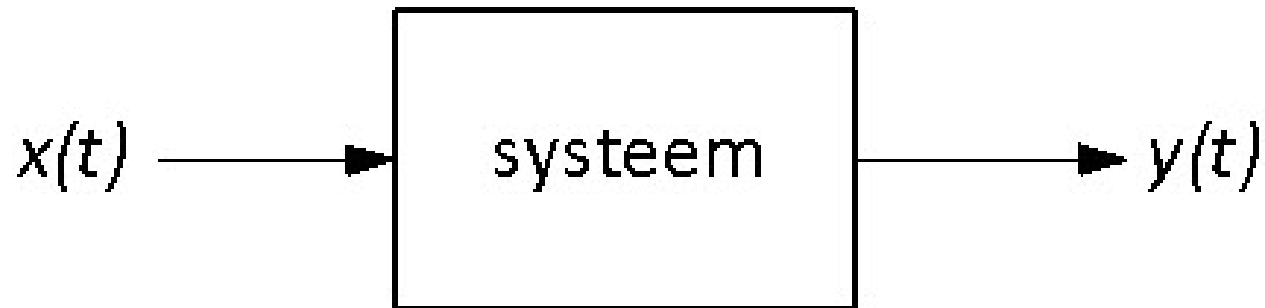


Fig 2.5: Blokschema van een continu, analoog, lineair, SISO en tijdonafhankelijk systeem

Fig 2.6

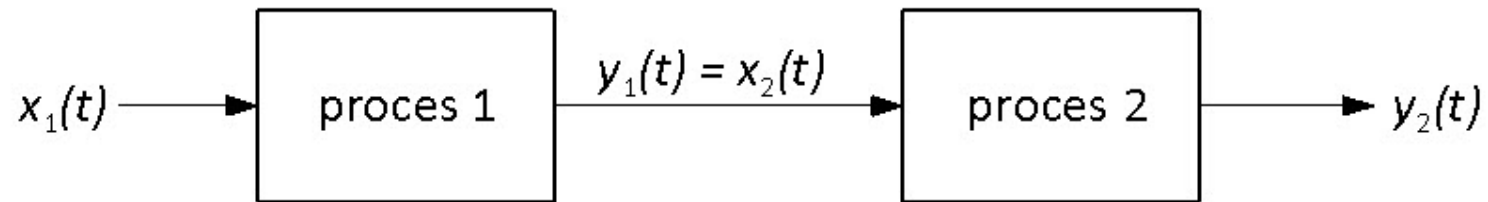
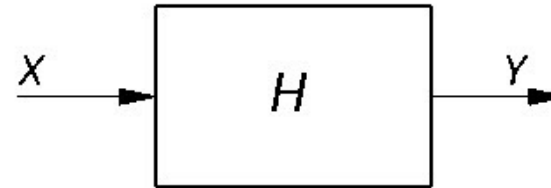


Fig 2.6: Blokschema van een systeem bestaande uit twee deelsystemen

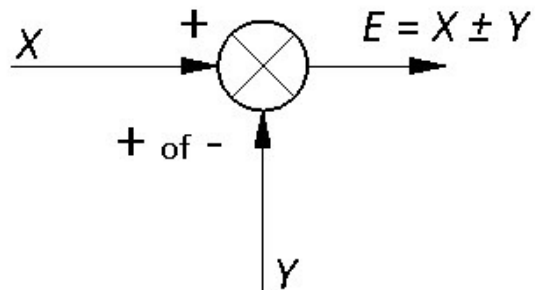
Fig 2.7



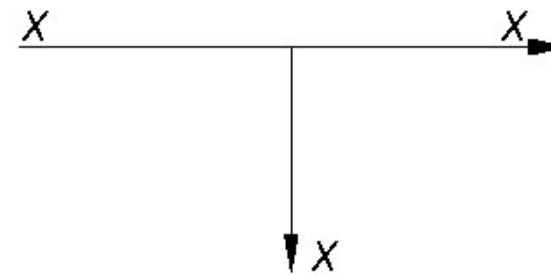
a. signaalbaan



b. blok met ingangs-
en uitgangssignaal



c. optel/aftrekpunt



d. vertakkingspunt

Fig 2.7: Notaties voor een blokschema

Fig 2.8

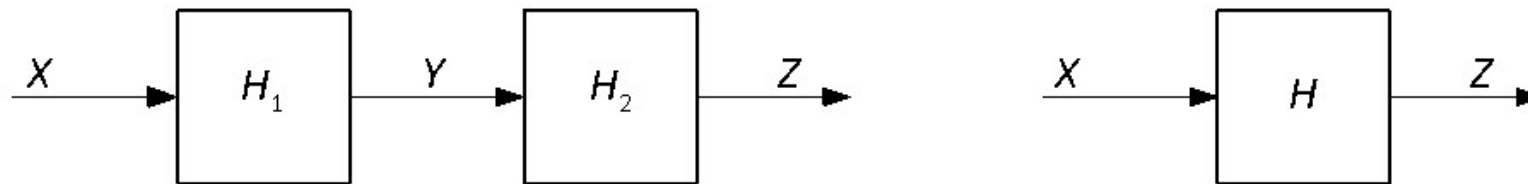


Fig 2.8: Cascadeschakeling van blokken

Fig 2.9

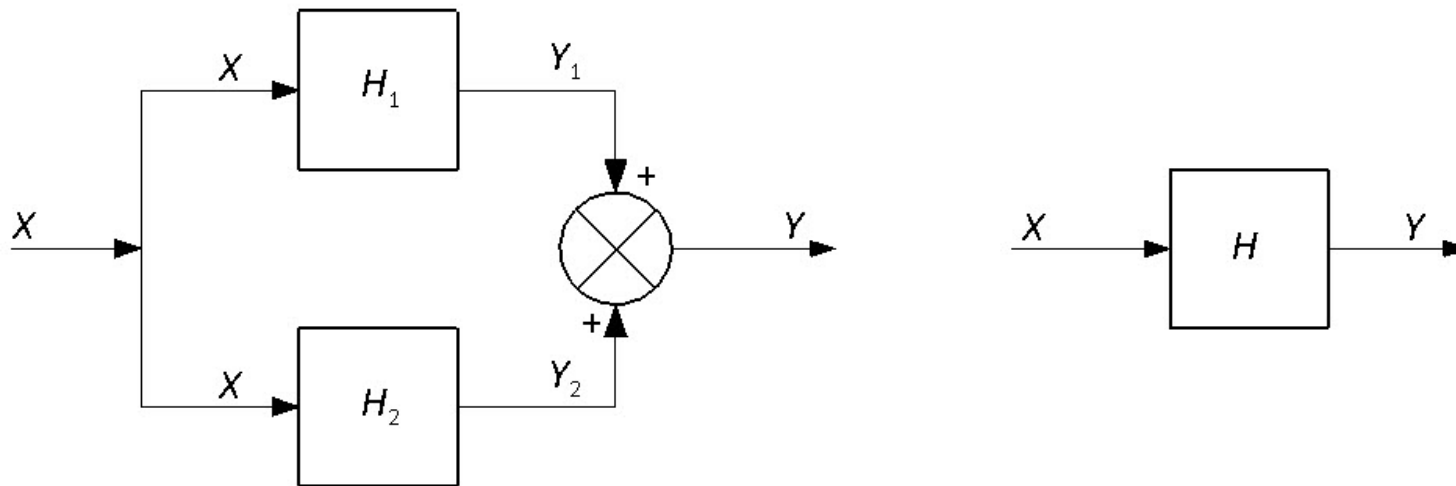


Fig 2.9: Parallelschakeling van blokken

Fig 2.10

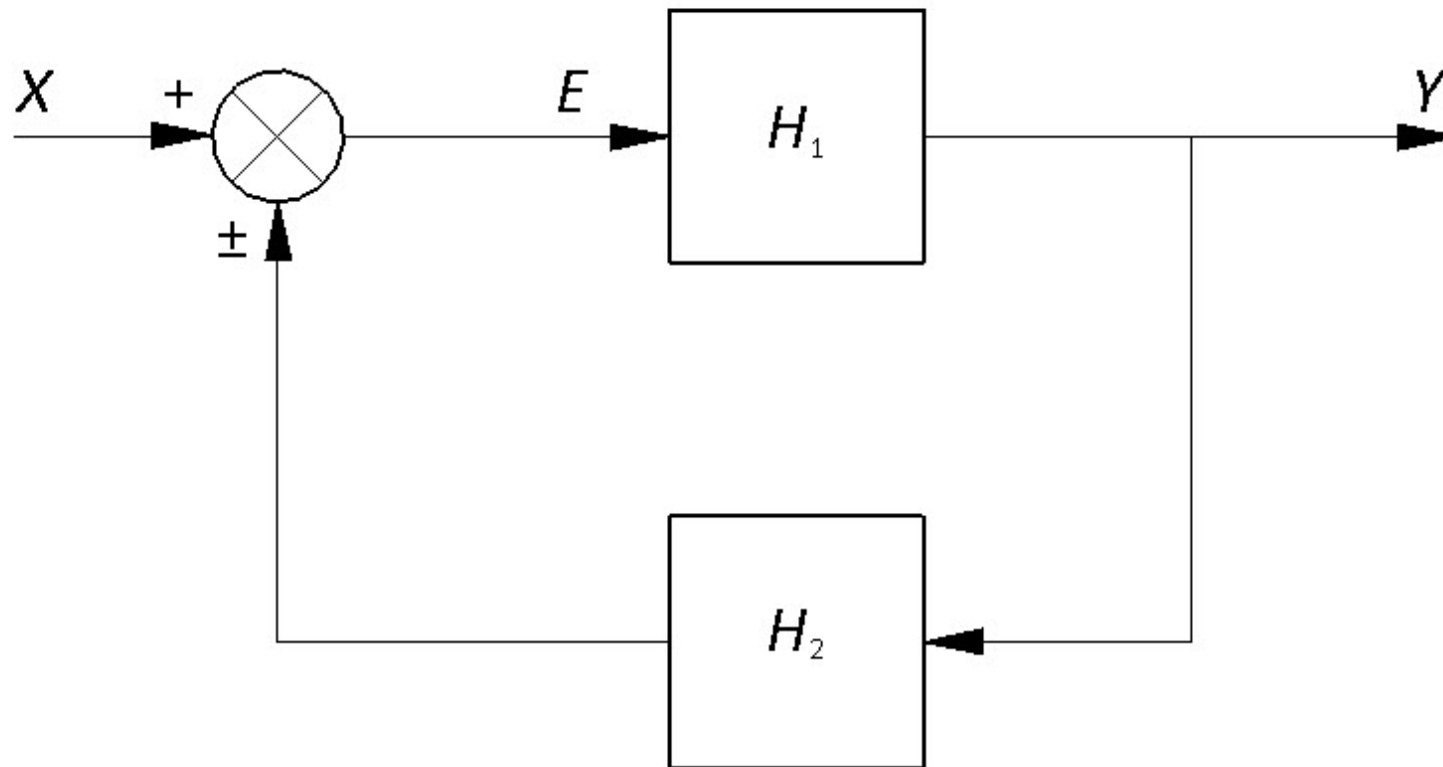


Fig 2.10: Terugkoppeling

Fig 2.11

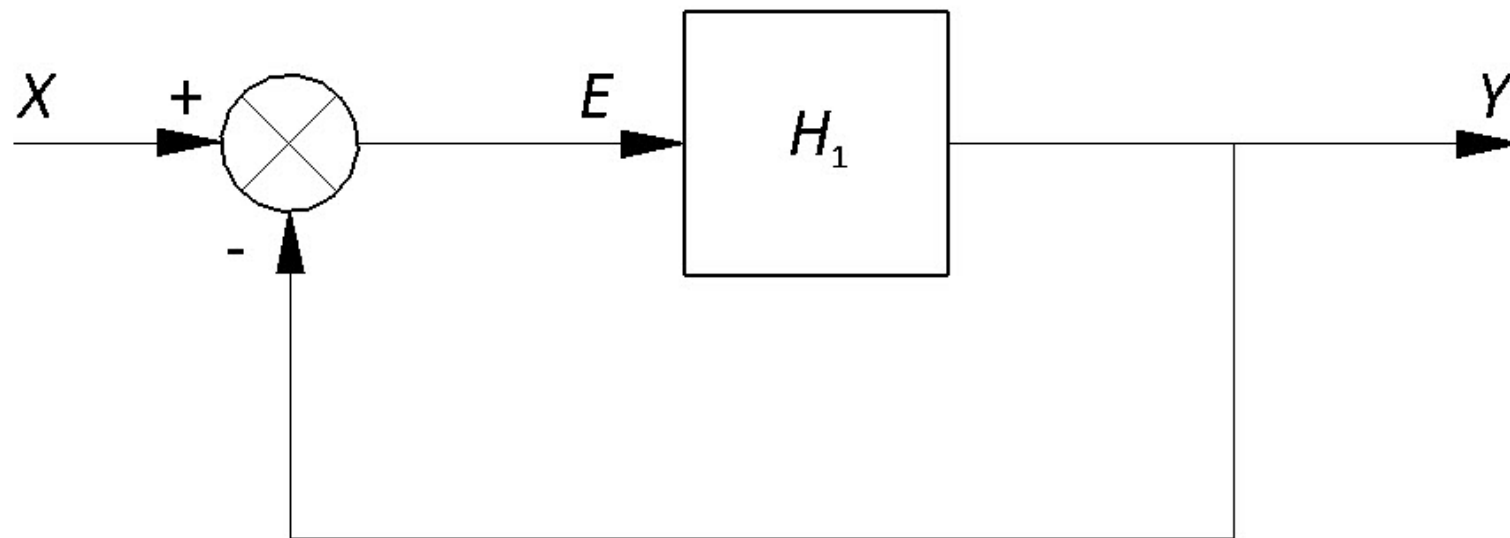
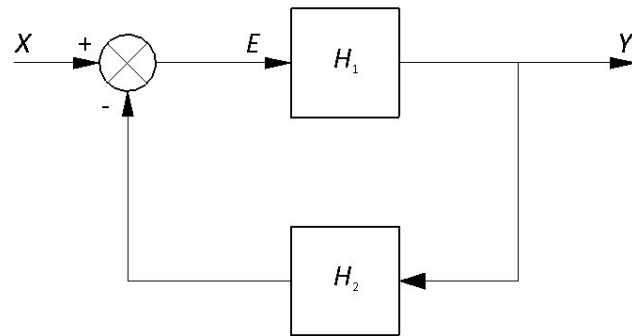
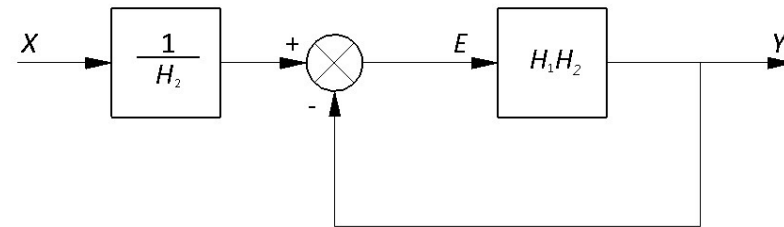


Fig 2.11: Eenheidsterugkoppeling

Fig 2.12



a.



b.

Fig 2.12: Omwerking naar eenheidsterugkoppeling

Fig 2.13

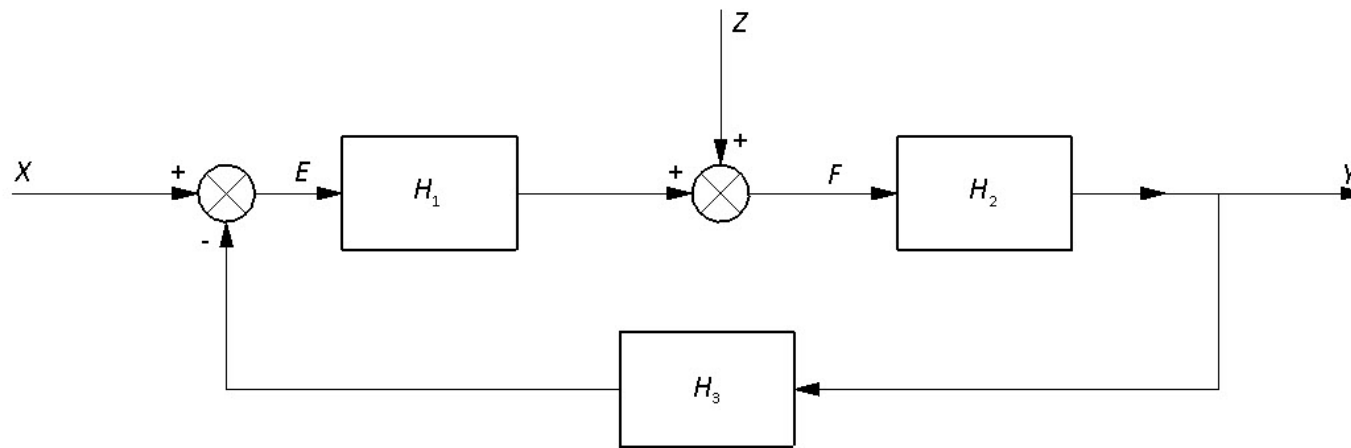


Fig 2.13: Regelkring met stoorsignaal

Fig 2.14

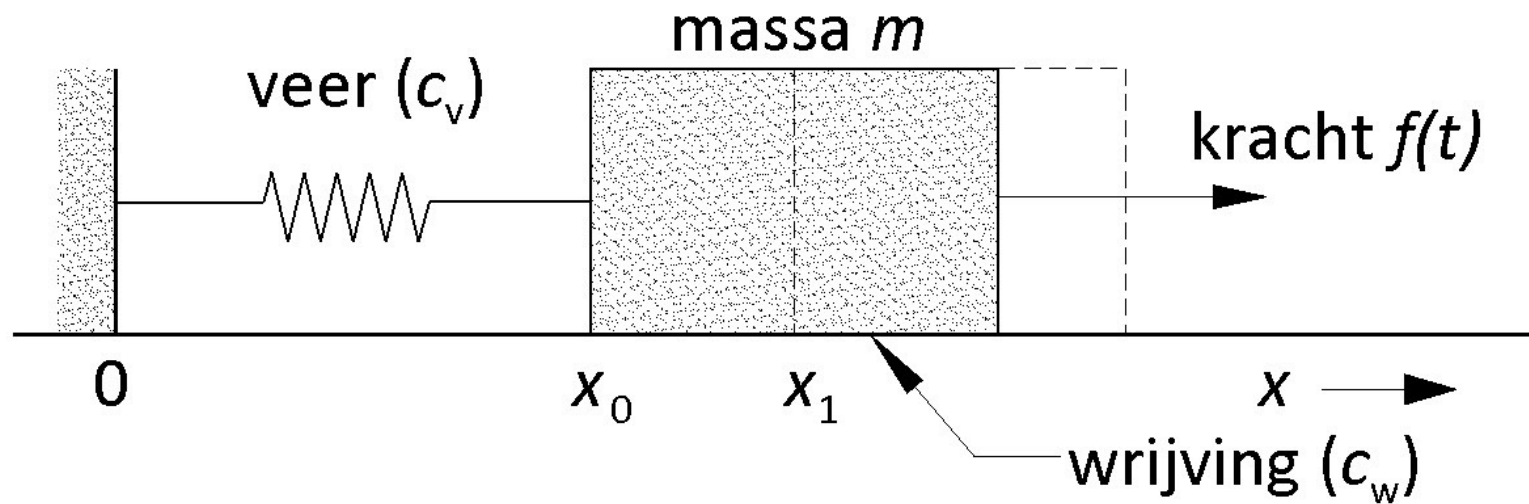


Fig 2.14: Schematische weergave van een translatie

Fig 2.15



Fig 2.15: Krachtenbalans voor massa m op elk tijdstip t

Fig 2.16

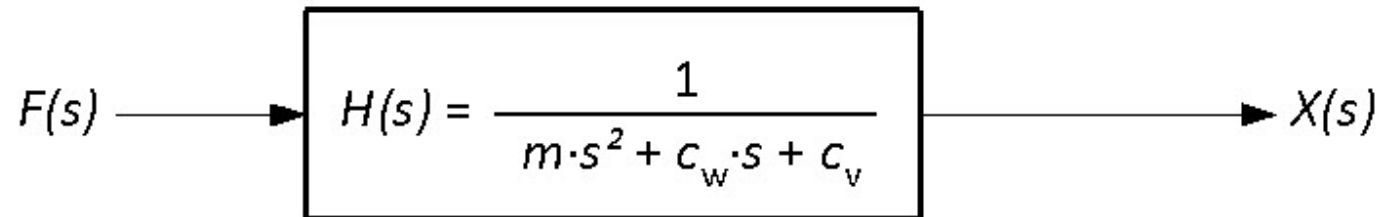


Fig 2.16: Blokschema van een translatie

Fig 2.17

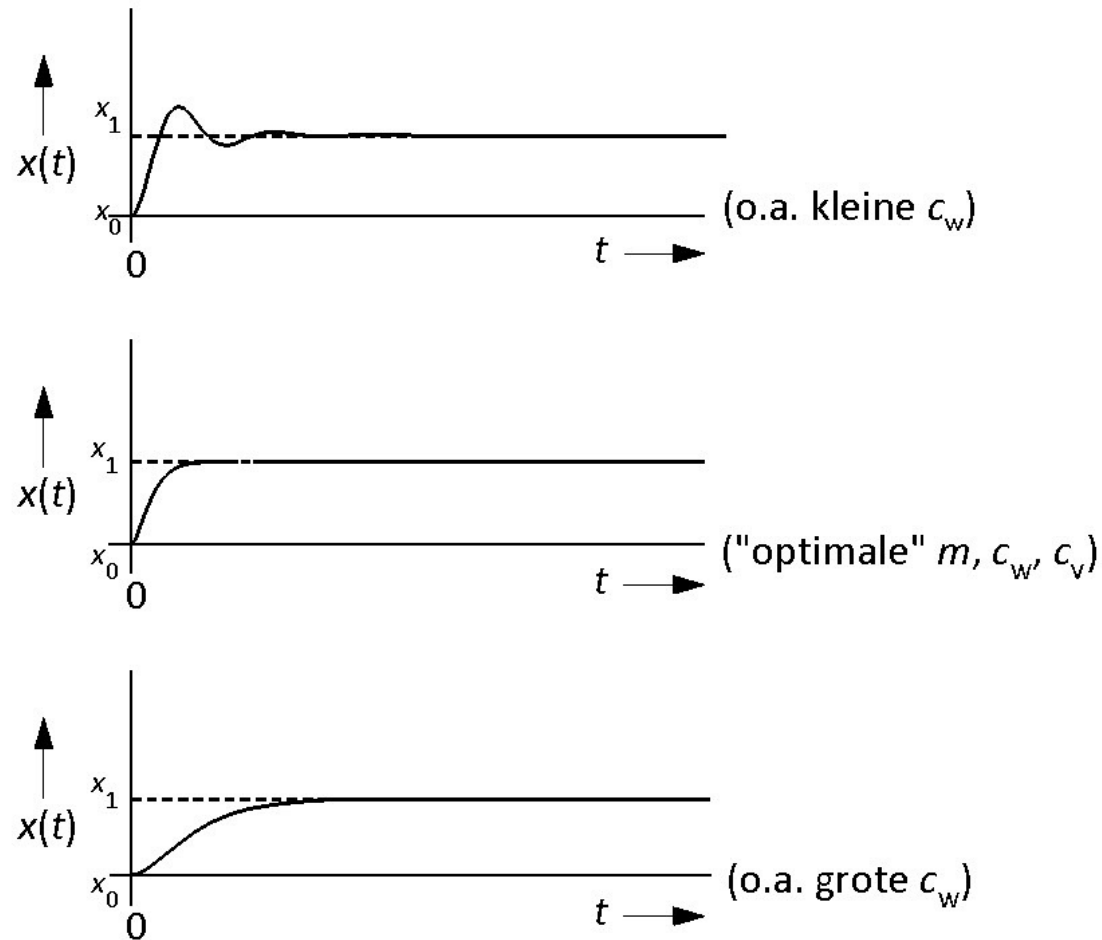


Fig 2.17: Drie mogelijke stapresponsies van een translatie

Fig 2.18

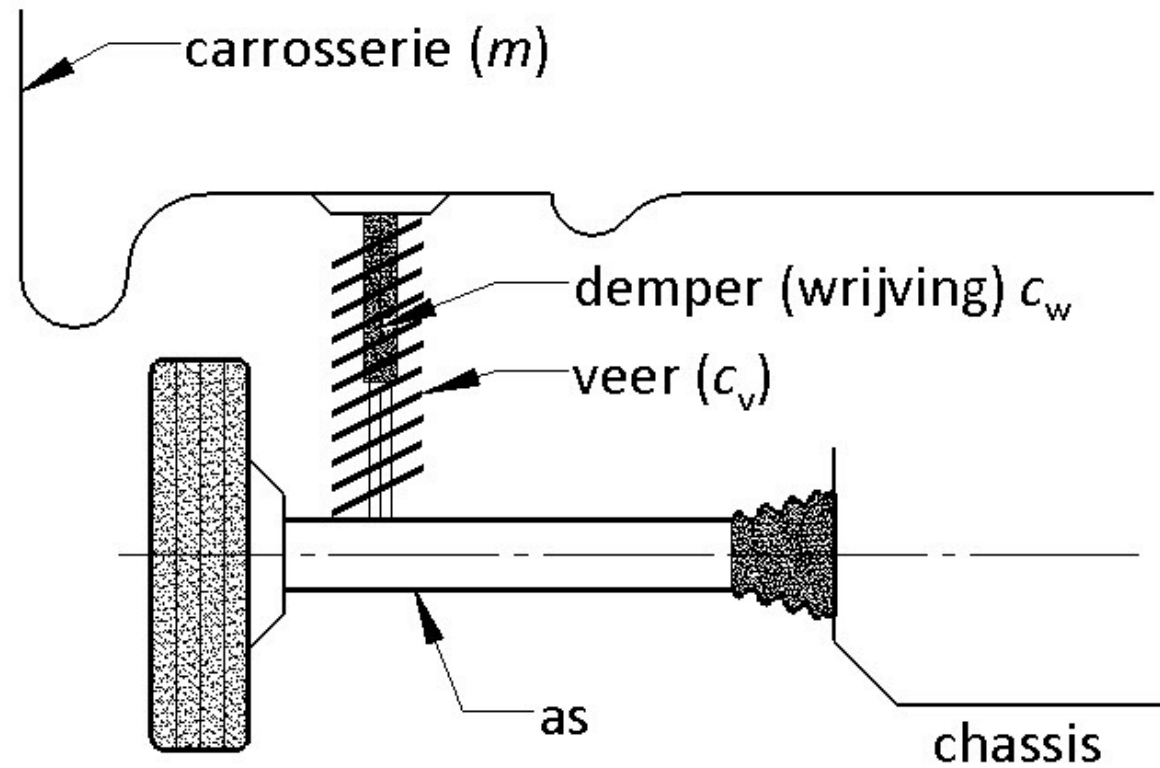


Fig 2.18: Massa-veer-dempersysteem van een auto

Fig 2.19

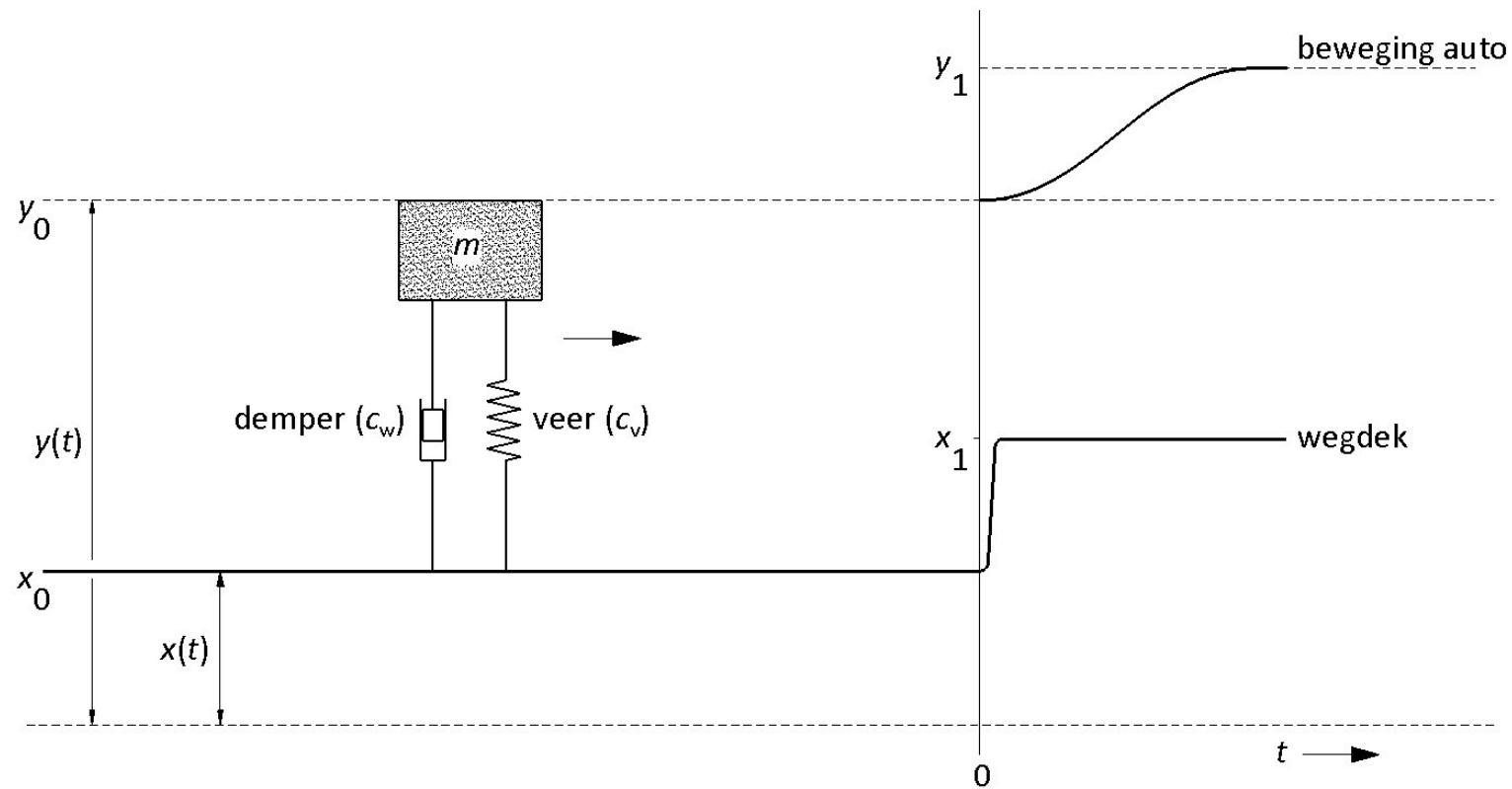


Fig 2.19: Processchema van het massa-veer-dempersysteem

Fig 2.20

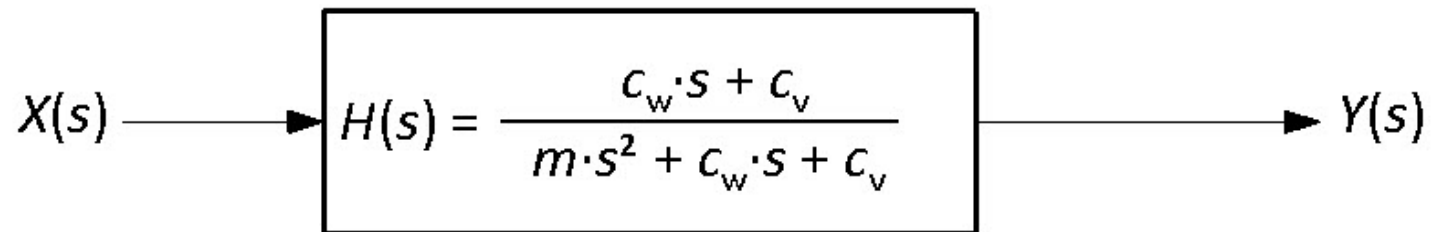


Fig 2.20: Blokschema van het massa-veer-dempersysteem

Fig 2.21

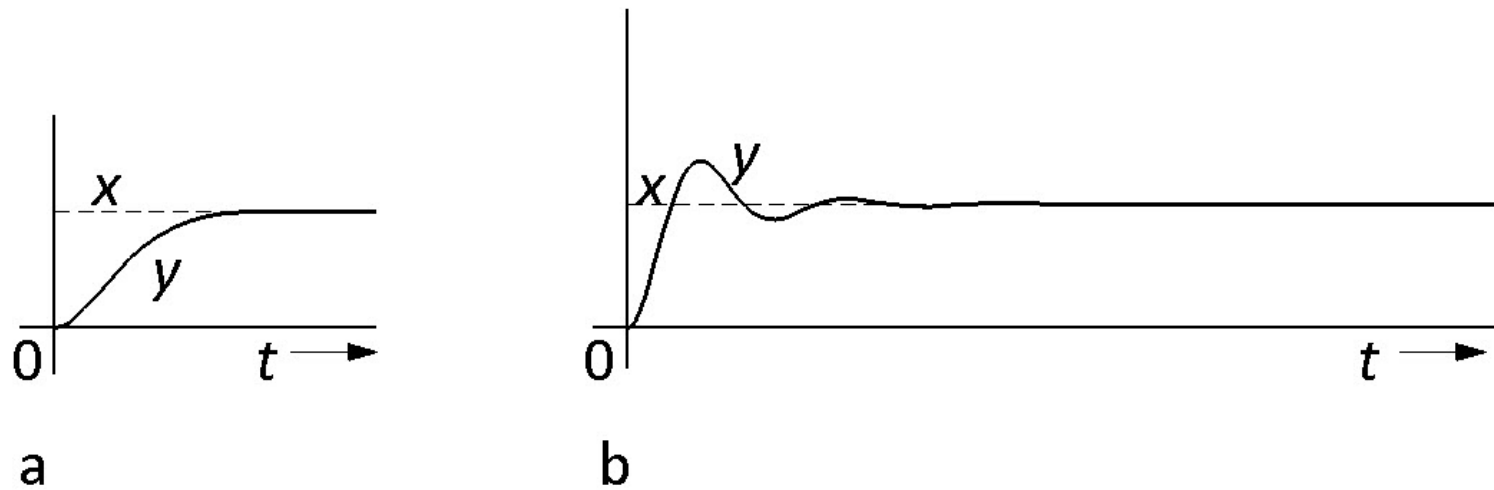


Fig 2.21: Mogelijke responsies van het massa-veer-dempersysteem

Fig 2.22

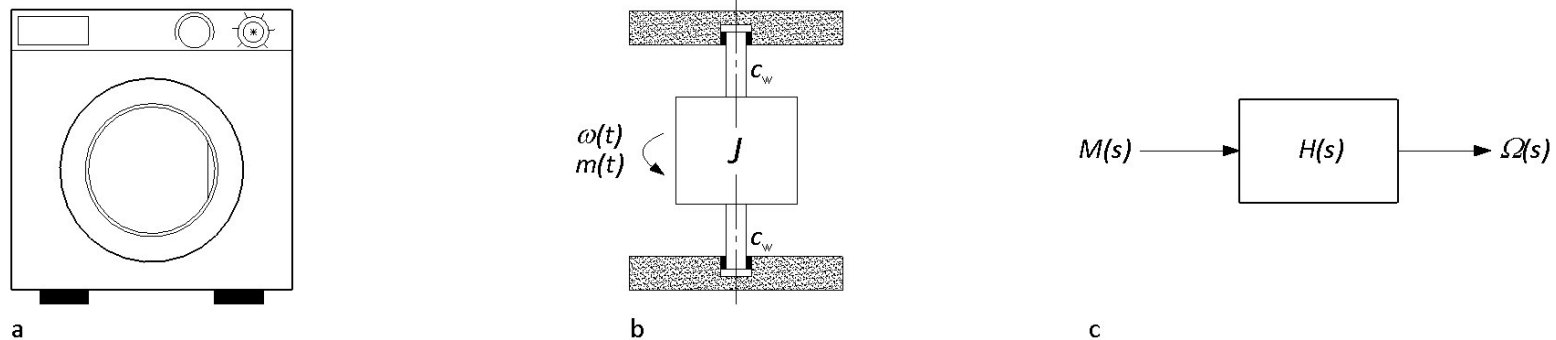


Fig 2.22: Wasmachinecentrifuge (a) met processchema (b) en blokschema (c)

Fig 2.23

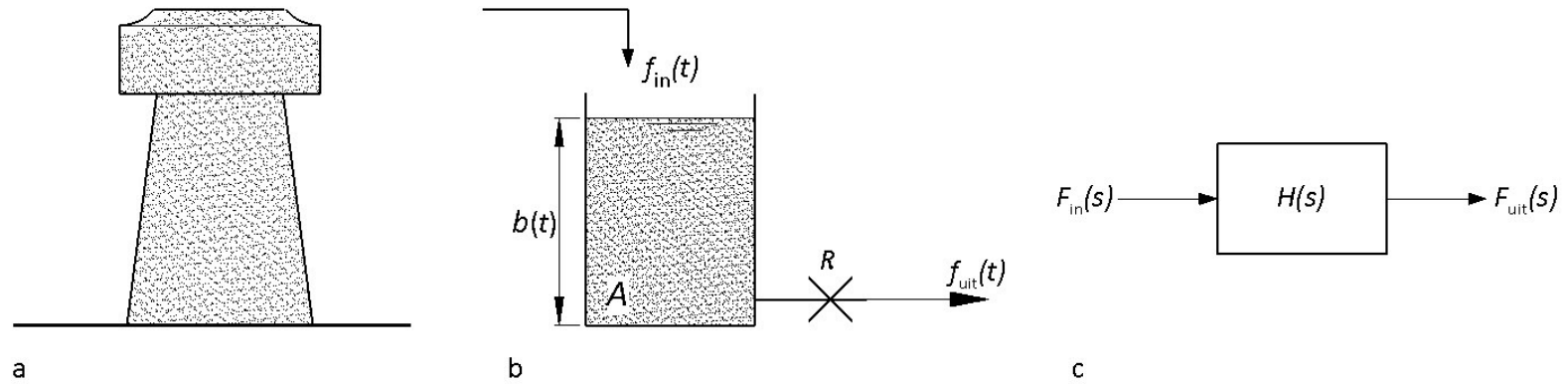


Fig 2.23: Modelling van een watertoren

Fig 2.24

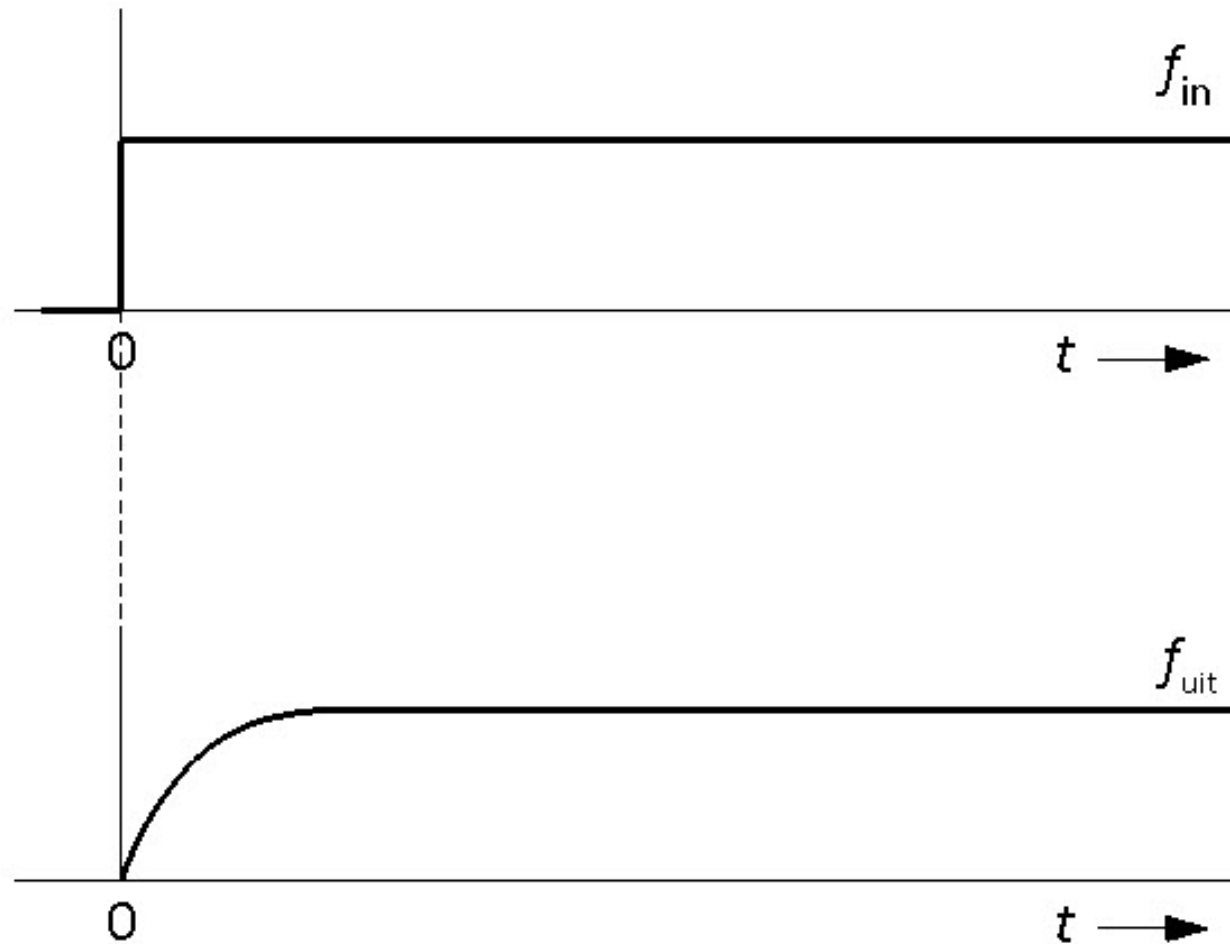
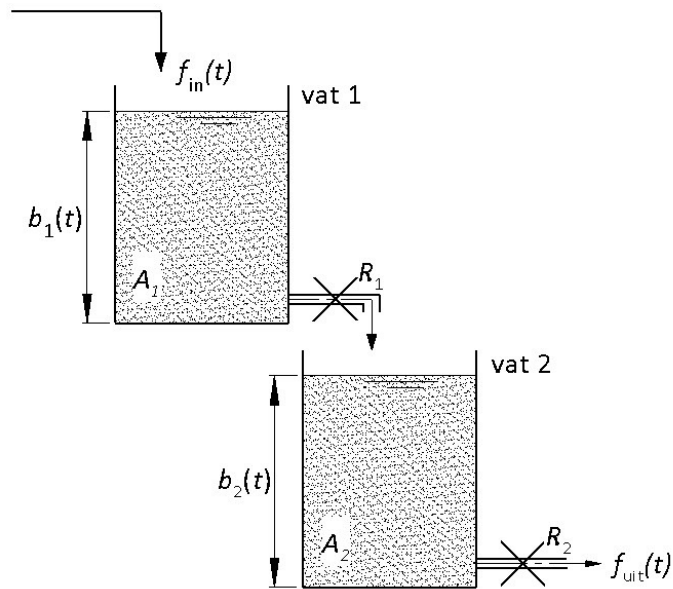


Fig 2.24: Mogelijke stapresponsie van de uitgaande waterstroom

Fig 2.25



a. twee reservoirs achter elkaar



b. blokschema

Fig 2.25: Cascadeschakeling zonder interactie

Fig 2.26

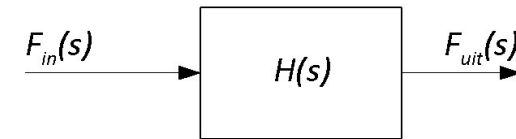
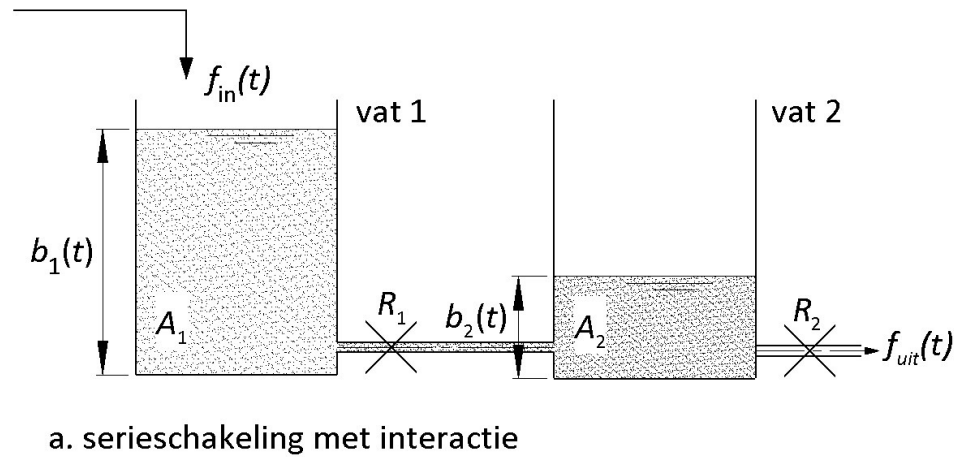


Fig 2.26: Serieschakeling met interactie

Fig 2.27

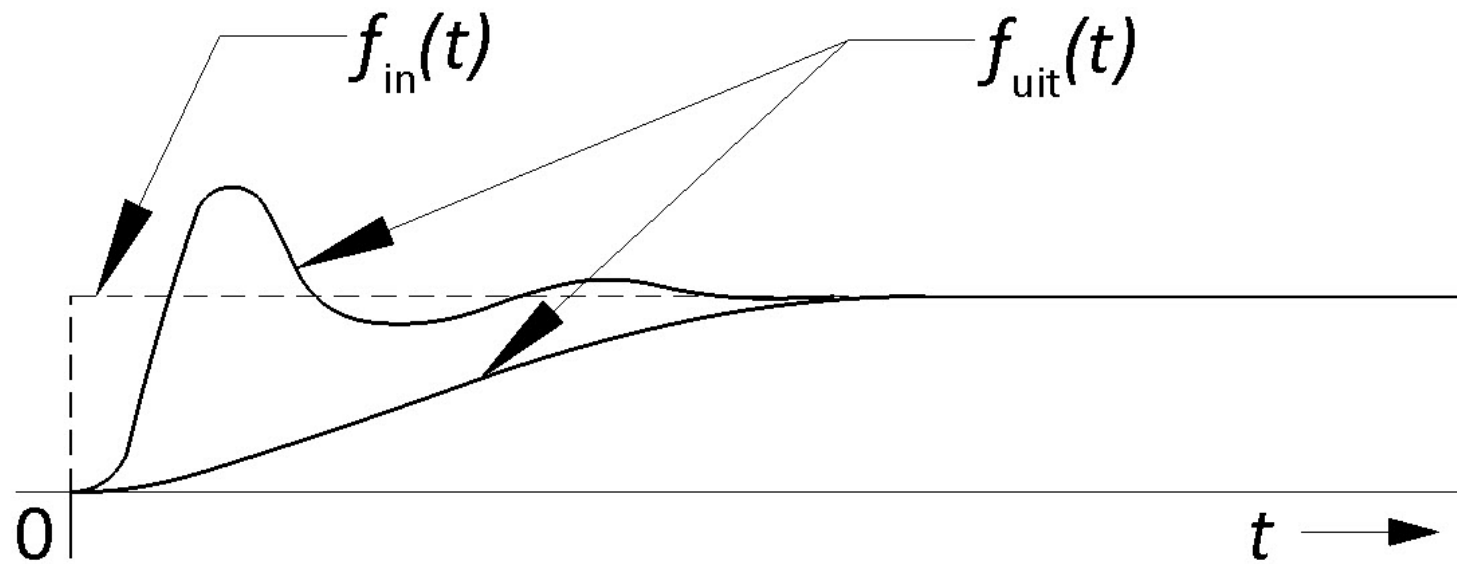
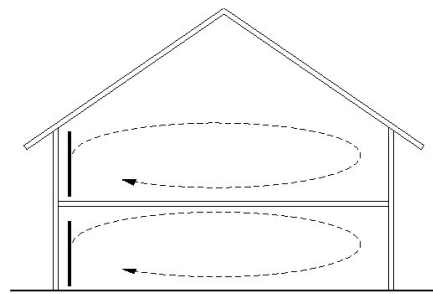
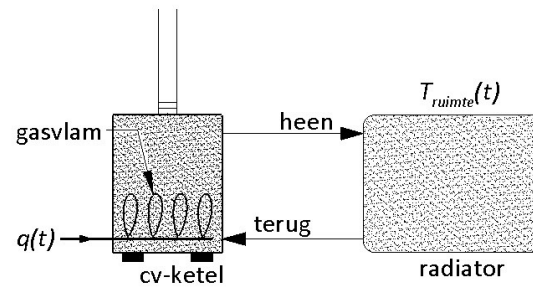


Fig 2.27: Mogelijke stapresponsie van de uitgaande waterstroom

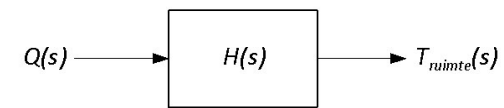
Fig 2.28



a. werkelijkheid



b. processchema



c. blokschema

Fig 2.28: Centrale verwarmingssysteem van een woning

Fig 2.29

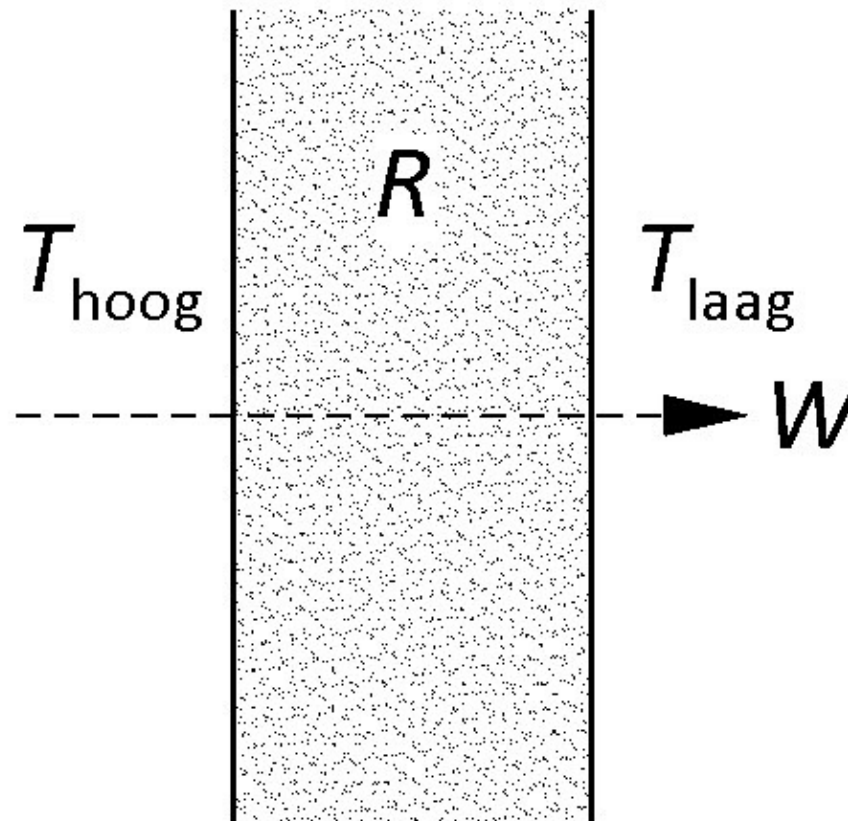


Fig 2.29: Warmtetransport door een scheidingswand via geleiding

Fig 2.30

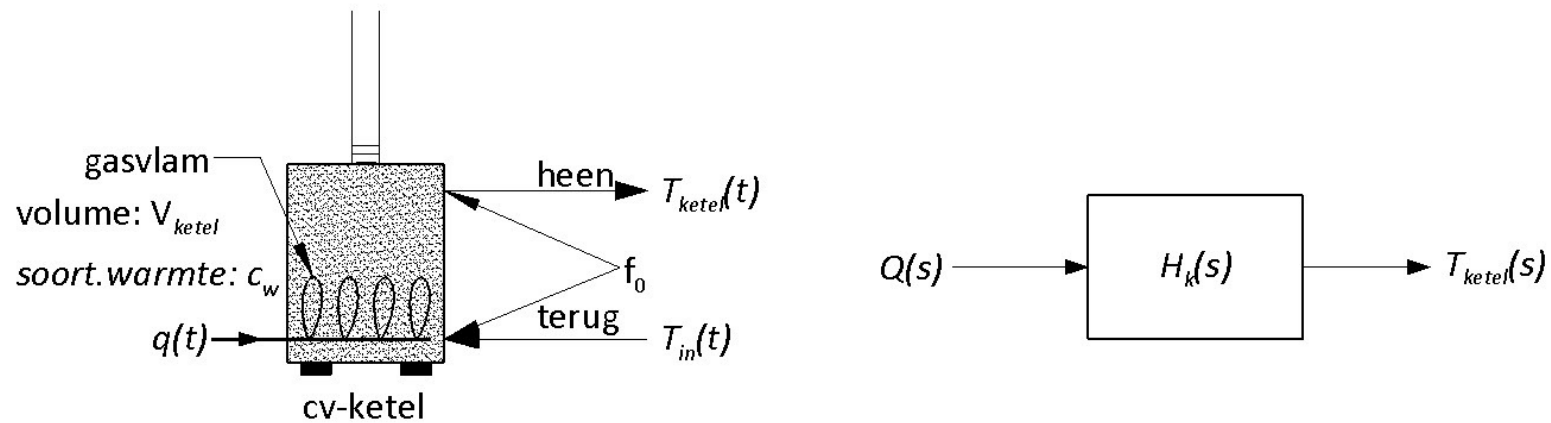


Fig 2.30: Proces- en blokschema van een cv-ketel

Fig 2.31

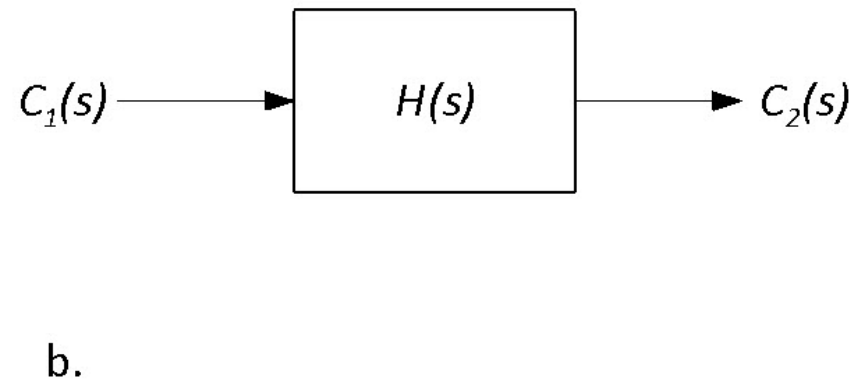
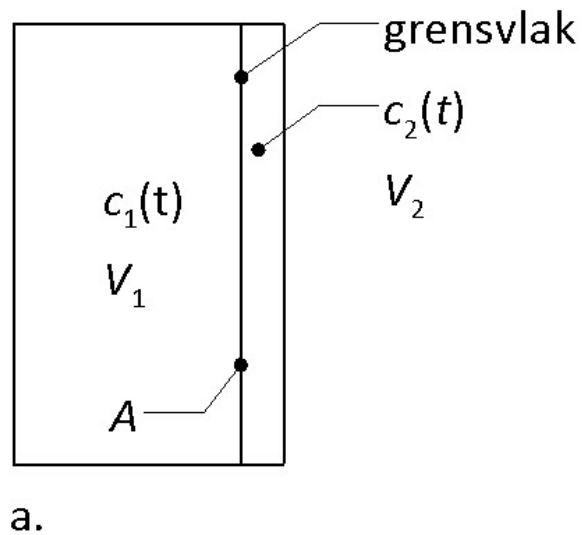


Fig 2.31: Grensvlak tussen twee gebieden met verschillende concentratie (a) en blokschema (b)

Fig 2.32

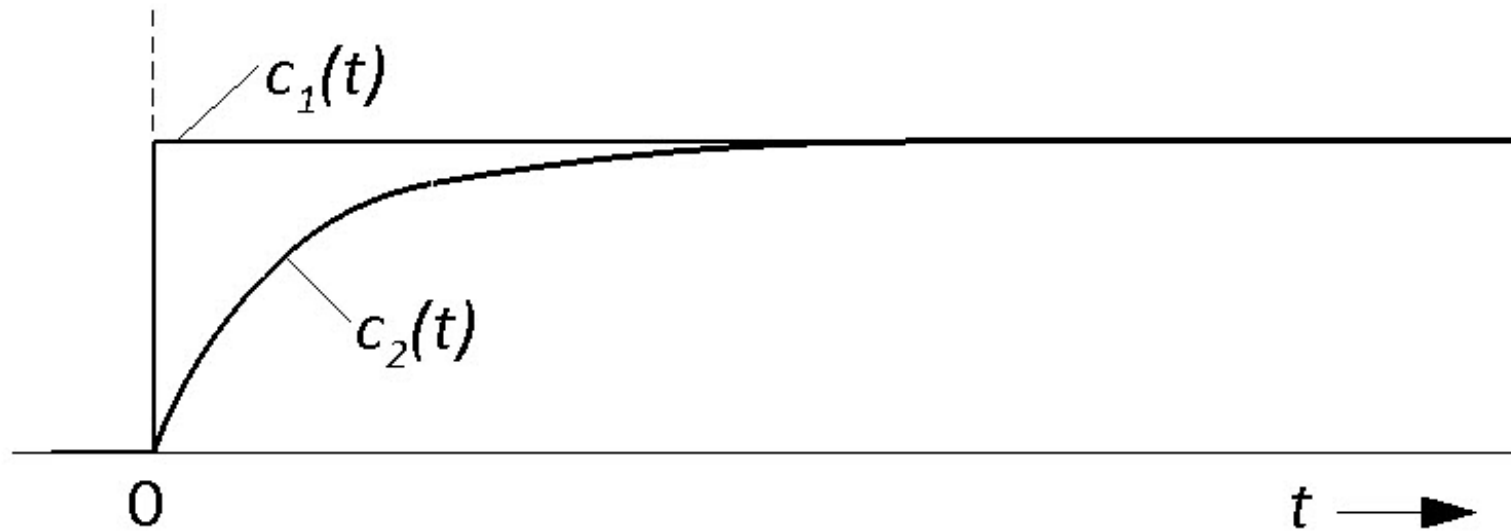


Fig 2.32: Mogelijk verloop van de stapresponsie van c_2

Fig 2.33

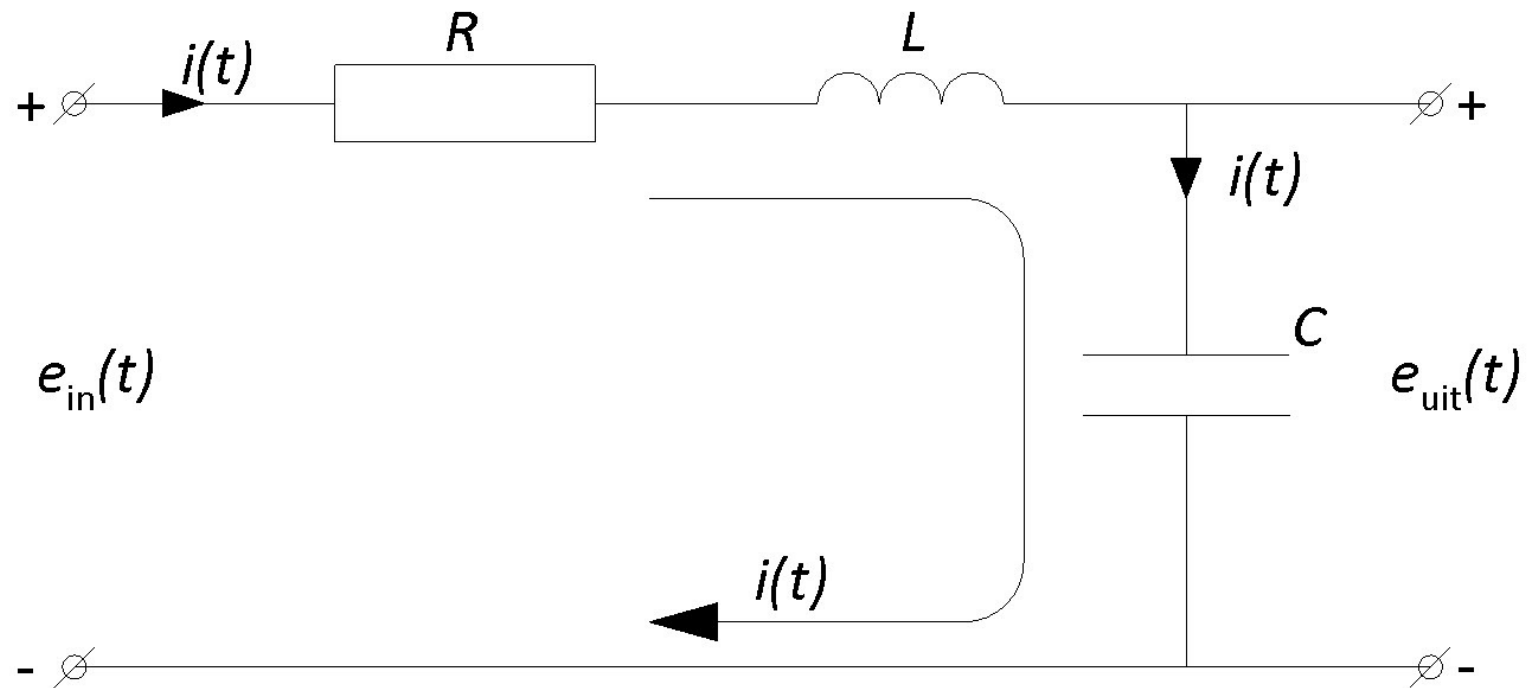


Fig 2.33: Voorbeeld van een elektrisch systeem

Fig 2.34

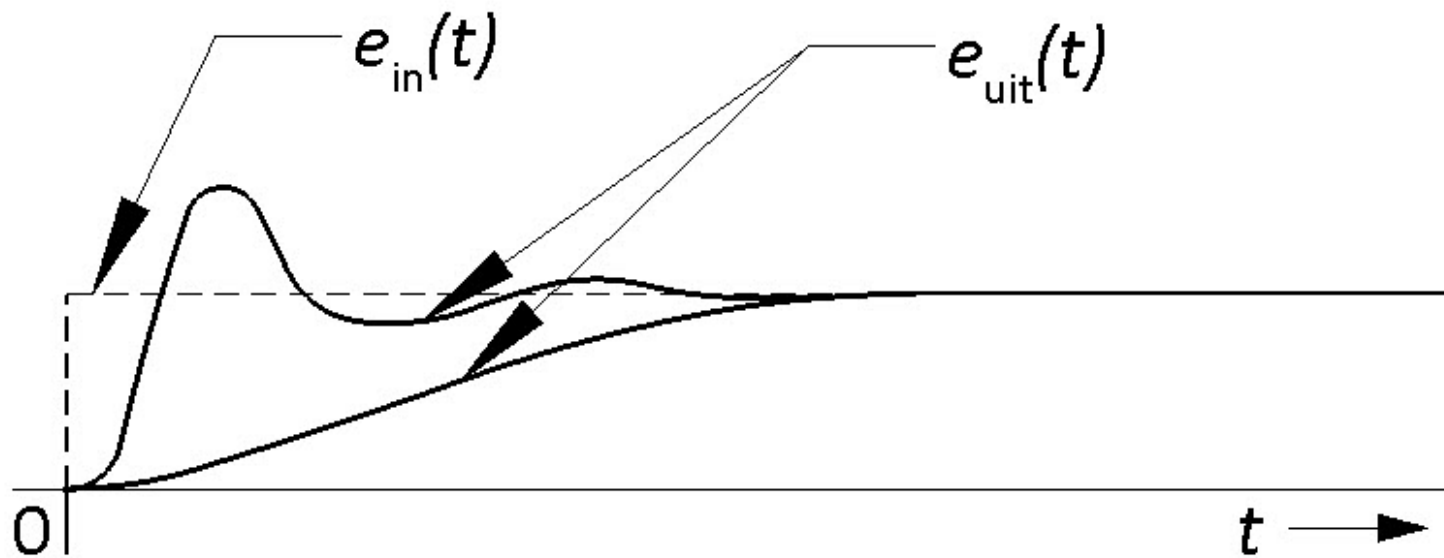
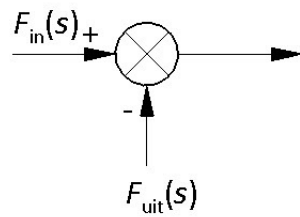
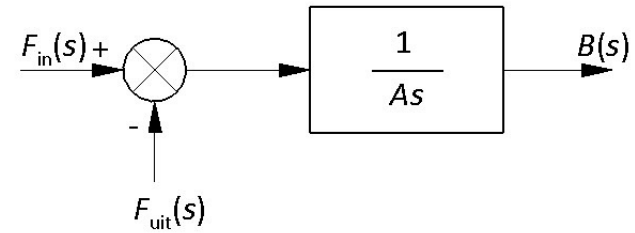


Fig 2.34: Mogelijke stapresponsies van het RLC-circuit van figuur 2.33

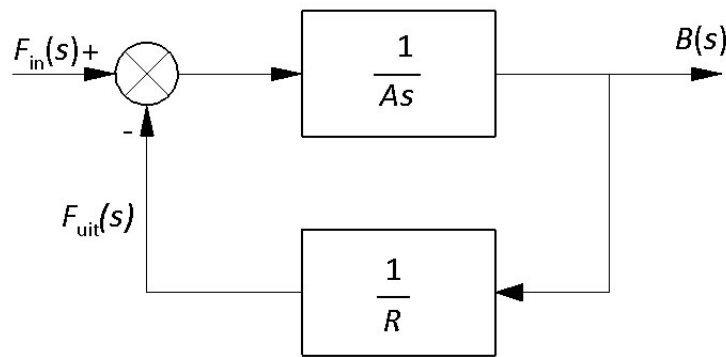
Fig 2.35



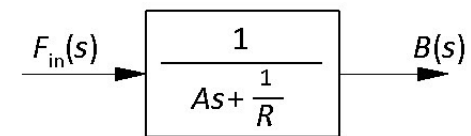
a.



b.



c.



d.

Fig 2.35: Totstandkoming van een blokschema

Fig 2.36

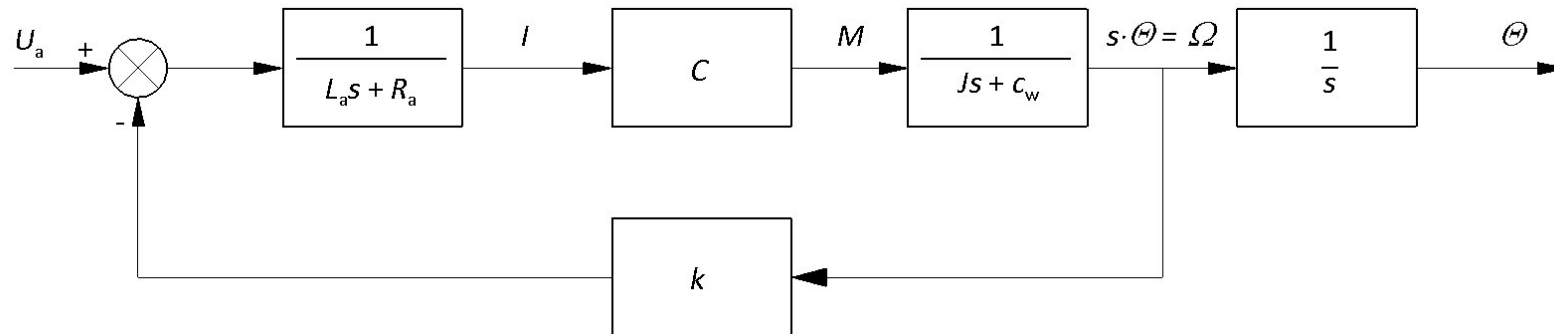
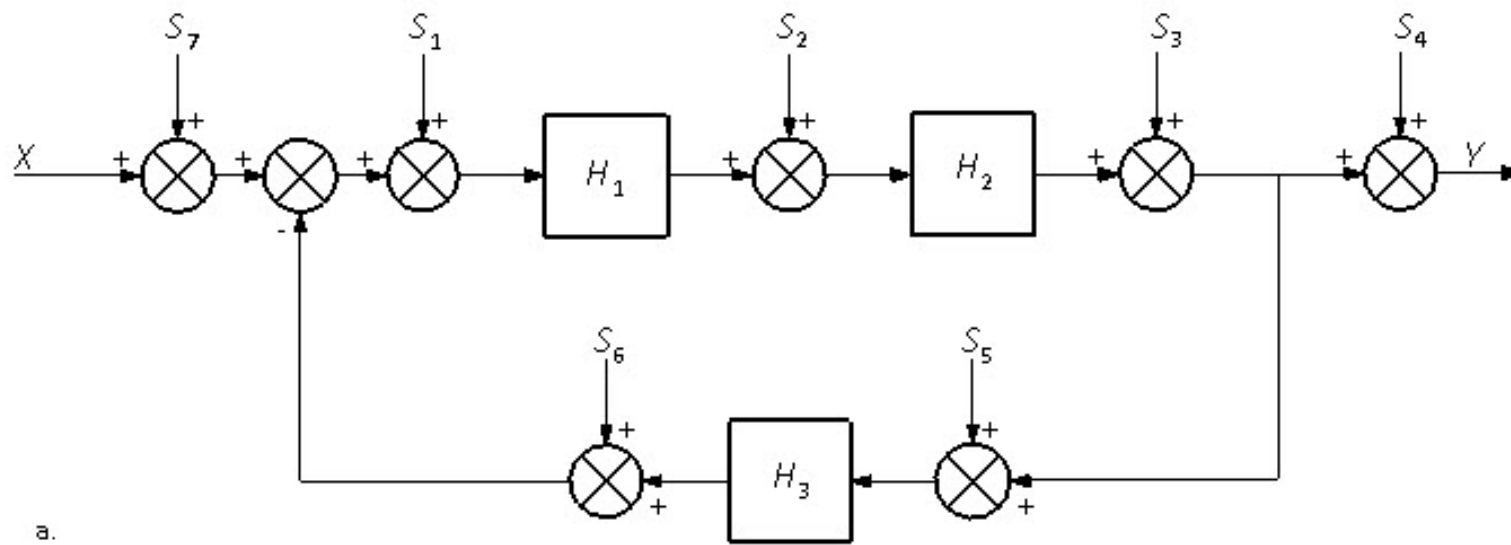


Fig 2.36: Blokschema van een onafhankelijk bekrachtigde gelijkstroommotor

Fig 2.37a



a.

Fig 2.37a: Blokschema a

Fig 2.37b

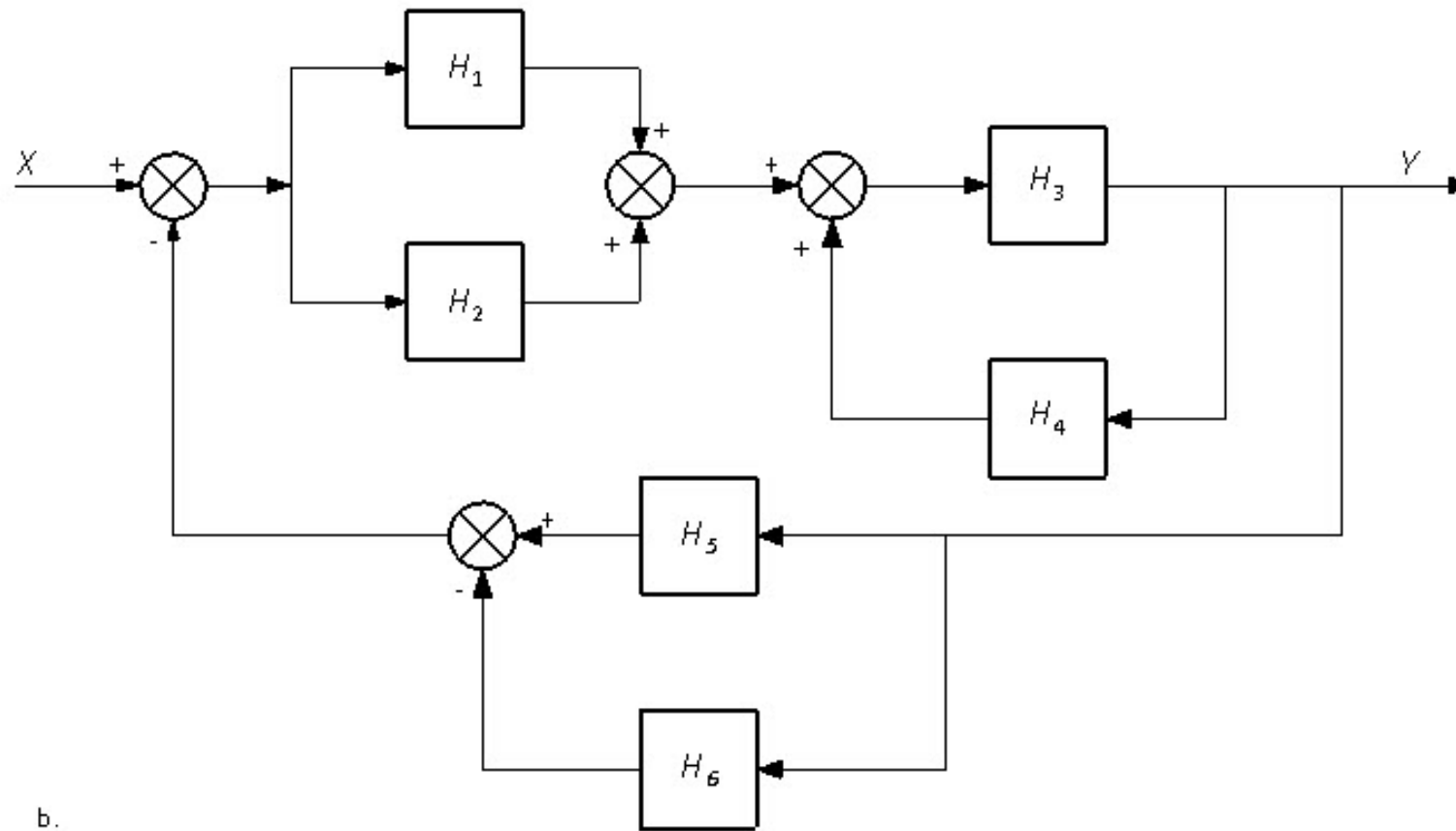


Fig 2.37b: Blokschema b

Fig 2.38

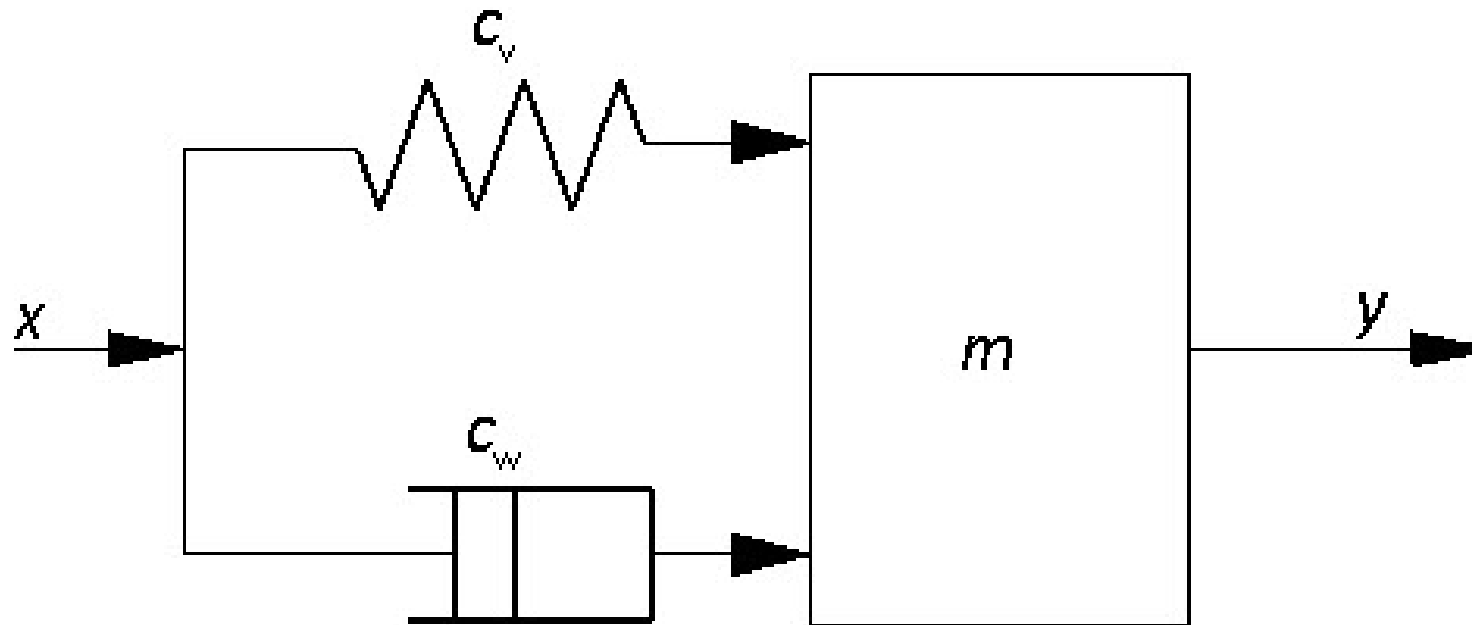


Fig 2.38: Massa-veer-dempersysteem

Fig 2.39

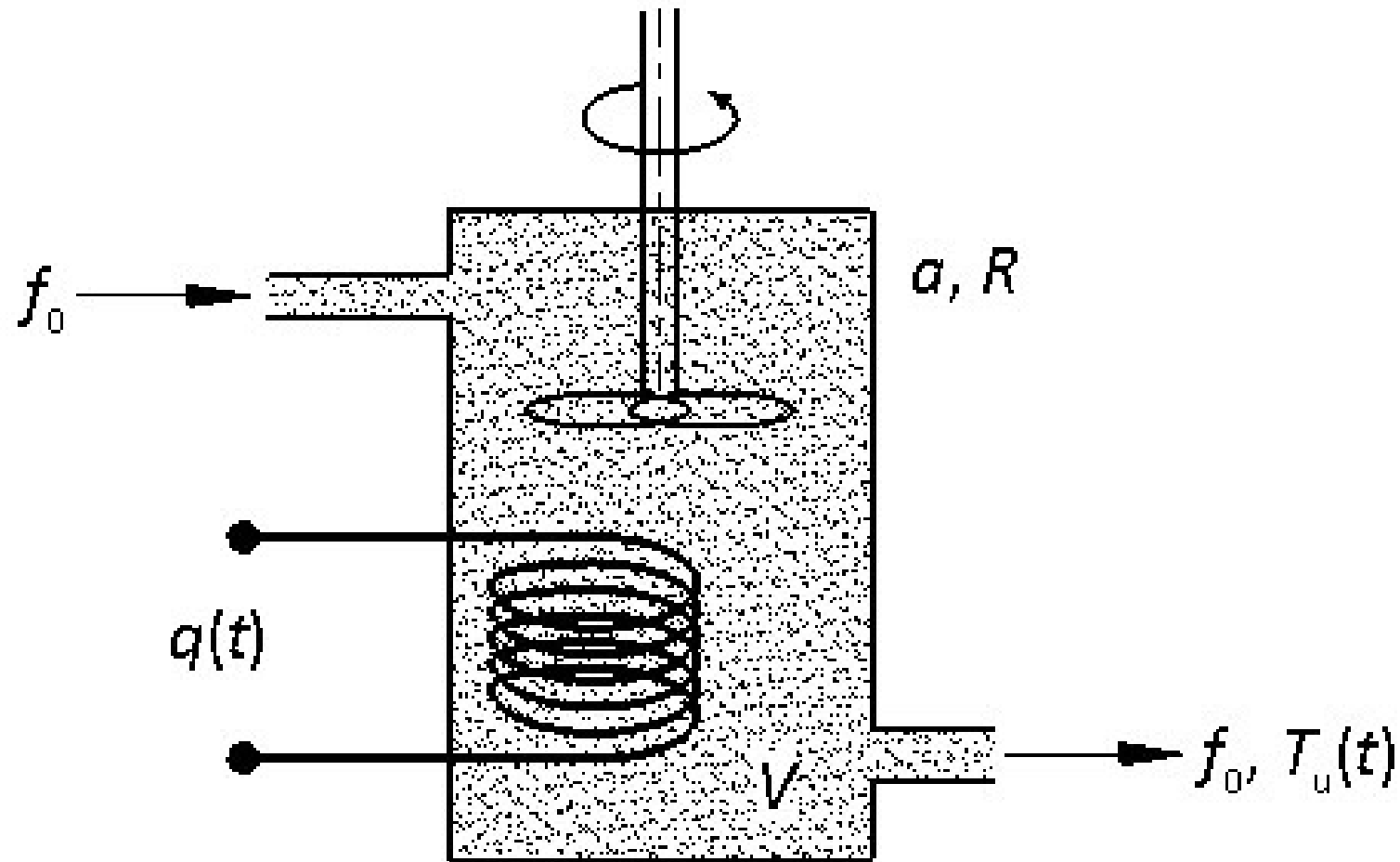


Fig 2.39: Doorstroomapparaat voor de warmwatervoorziening

Fig 2.40

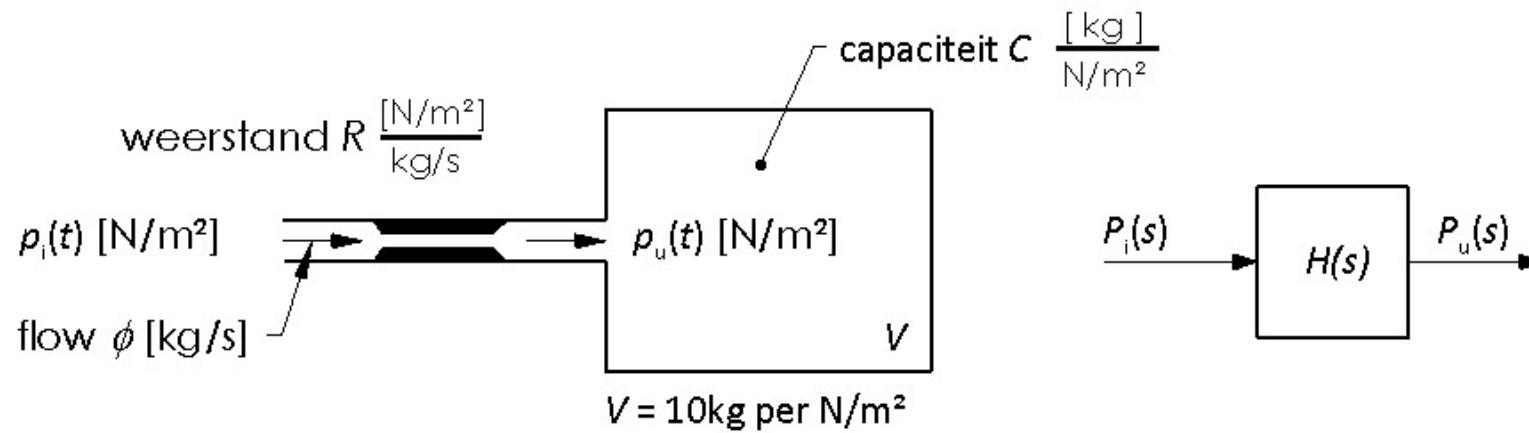


Fig 2.40: Processchema van een pneumatisch systeem

Fig 2.41

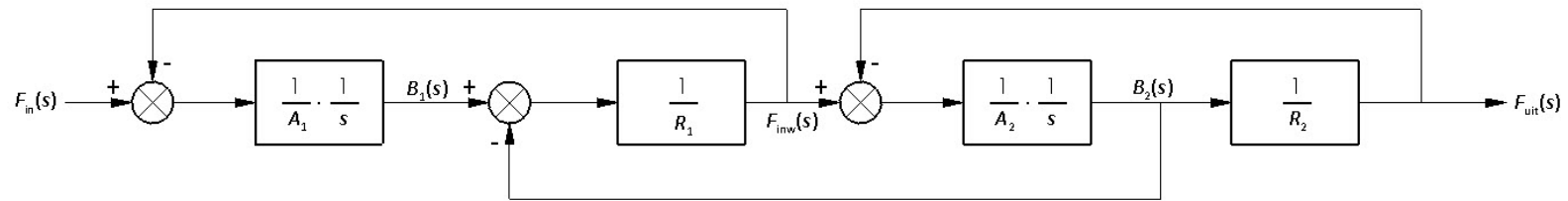


Fig 2.41: Gedetailleerd blokschema

Fig 2.42

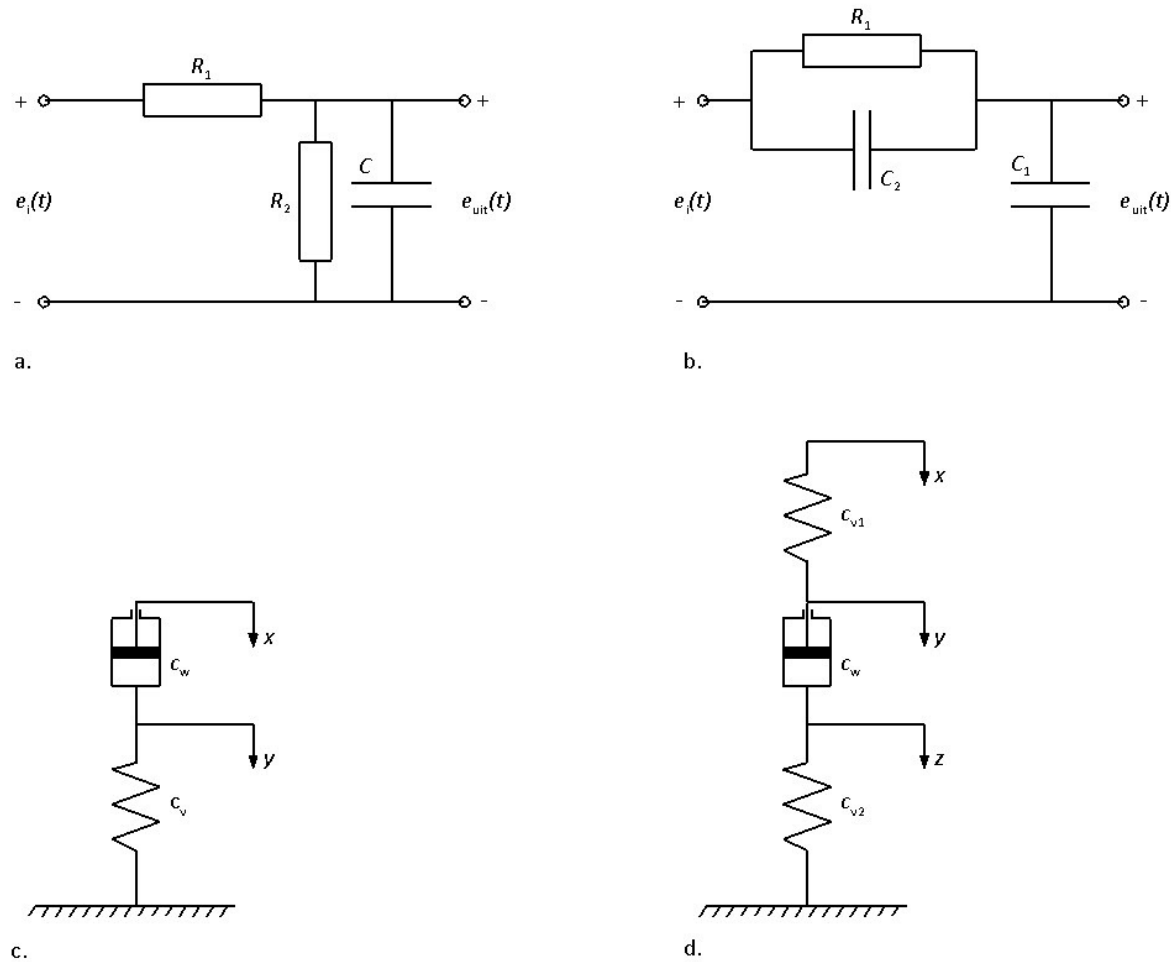


Fig 2.42: Voorbeelden van een systeem

Hoofdstuk 3

	<i>Boek</i>	
	<i>Pag #</i>	
Fig 3.1:	Blokschema met $H(s)$ of $H(j\omega)$	48
Fig 3.2:	RC-circuit (a) en ingangssignaal (b)	49
Fig 3.3:	Stapresponsie van het eerste-ordeproces	50
Fig 3.4:	P_n beeld van het proces volgens (3.14)	52
Fig 3.5:	P_n -beeld van voorbeeld 3.1	52
Fig 3.6:	P_n -beeld van figuur 3.2a	53
Fig 3.7:	Voorbeelden van p_n -beelden: a) p_n -beeld van $Y_1(s)$ b) p_n -beeld van $Y_2(s)$	54
Fig 3.8:	Voorbeeld van een stapresponsie	56
Fig 3.9:	Voorbeeld van de bepaling van een stapresponsie	57
Fig 3.10:	P_n -beeld(a) en sinusresponsie(b)	58
Fig 3.10a:	P_n -beeld (a)	58
Fig 3.10b:	Sinusresponsie(b)	58
Fig 3.11:	Enkele impulsresponsies met de poolposities	59
Fig 3.12:	Het eerste-orde proces	61
Fig 3.13:	Het teruggekoppelde systeem in s -notatie en $j\omega$ -notatie	62

Hoofdstuk 3

	<i>Boek</i>
	<i>Pag #</i>
Fig 3.14: Elektrisch circuit met blokschema's	62
Fig 3.15: Voorbeeld van het mogelijke verloop van een Bode-diagram	64
Fig 3.16: Voorbeeld van het mogelijke verloop van een polaire figuur	64
Fig 3.17: Bode-diagram van het eerste-ordesysteem	65
Fig 3.18: Polaire figuur van het eerste-ordesysteem	65
Fig 3.19: Voorbeeld van een pn-beeld van $Y(s)$	66
Fig 3.20: Grafische methode voor de bepaling van A_1 , A_2 en A_3	67
Fig 3.20a: Grafische methode voor de bepaling van A_1 (a)	67
Fig 3.20b: Grafische methode voor de bepaling van A_2 (b)	67
Fig 3.20c: Grafische methode voor de bepaling van A_3 (c)	67
Fig 3.21: Vectorpatronen voor $w = 2, 4$ en 6	67
Fig 3.21a: Vectorpatroon voor $w = 2$ (a)	67
Fig 3.21b: Vectorpatroon voor $w = 4$ (b)	67
Fig 3.21c: Vectorpatroon voor $w = 6$ (c)	67
Fig 3.22: Voorbeeld van een pn-beeld van $Y(s)$	68

Hoofdstuk 3

	<i>Boek</i>
	<i>Pag #</i>
Fig 3.23: RL-circuit	71
Fig 3.24: Schakelingen met bufferversterkers	71
Fig 3.25: Pn-beelden	71
Fig 3.25a: Pn-beelden (a)	71
Fig 3.25b: Pn-beelden (b)	71
Fig 3.25c: Pn-beelden (c)	71
Fig 3.26: Gelijkstroommotor gevoed door stroombron	72

Fig 3.1

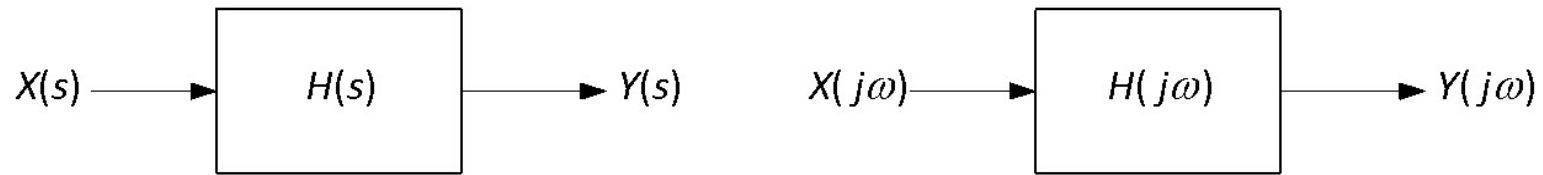


Fig 3.1: Blokschema met $H(s)$ of $H(j\omega)$

Fig 3.2

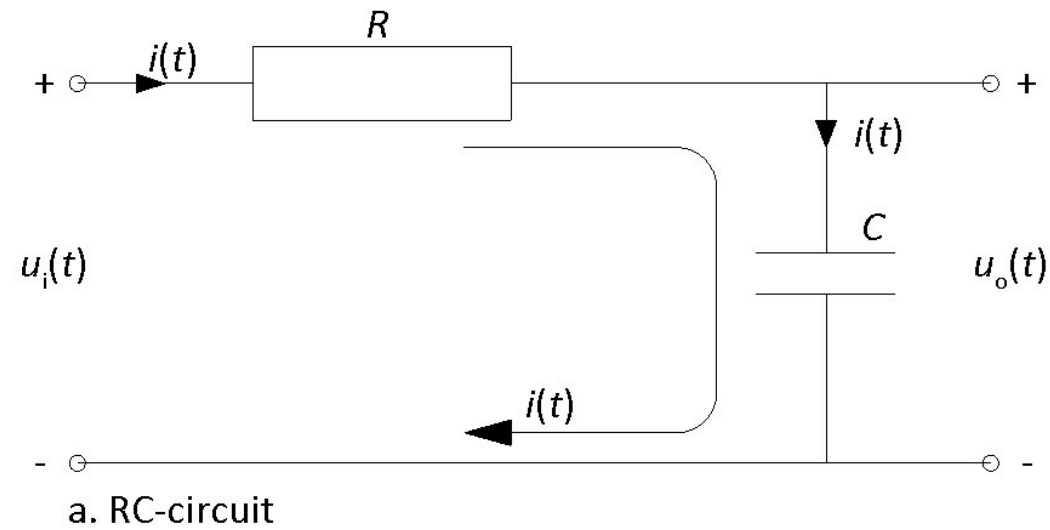


Fig 3.2: RC-circuit (a) en ingangssignaal (b)

Fig 3.3

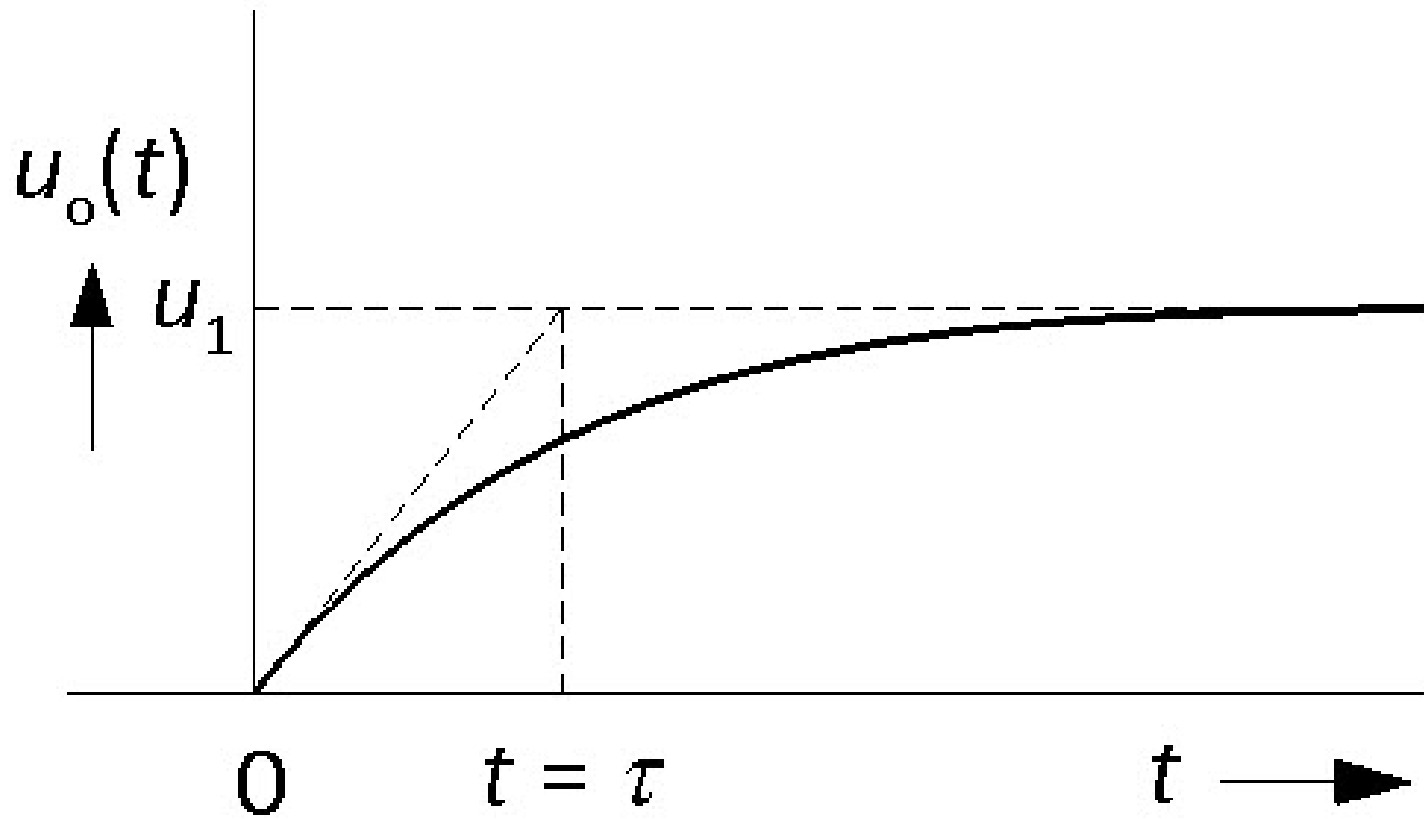


Fig 3.3: Stapresponsie van het eerste-ordeproces

Fig 3.4

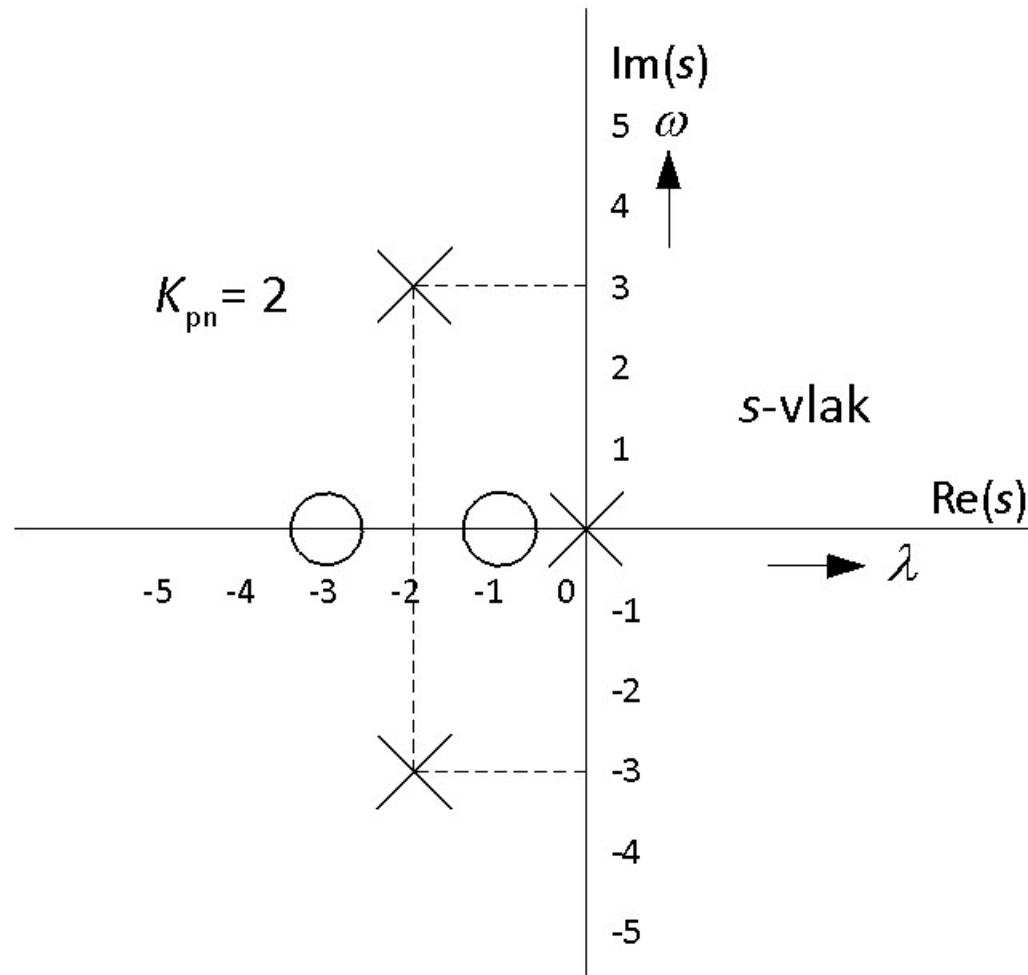


Fig 3.4: Pn beeld van het proces volgens (3.14)

Fig 3.5

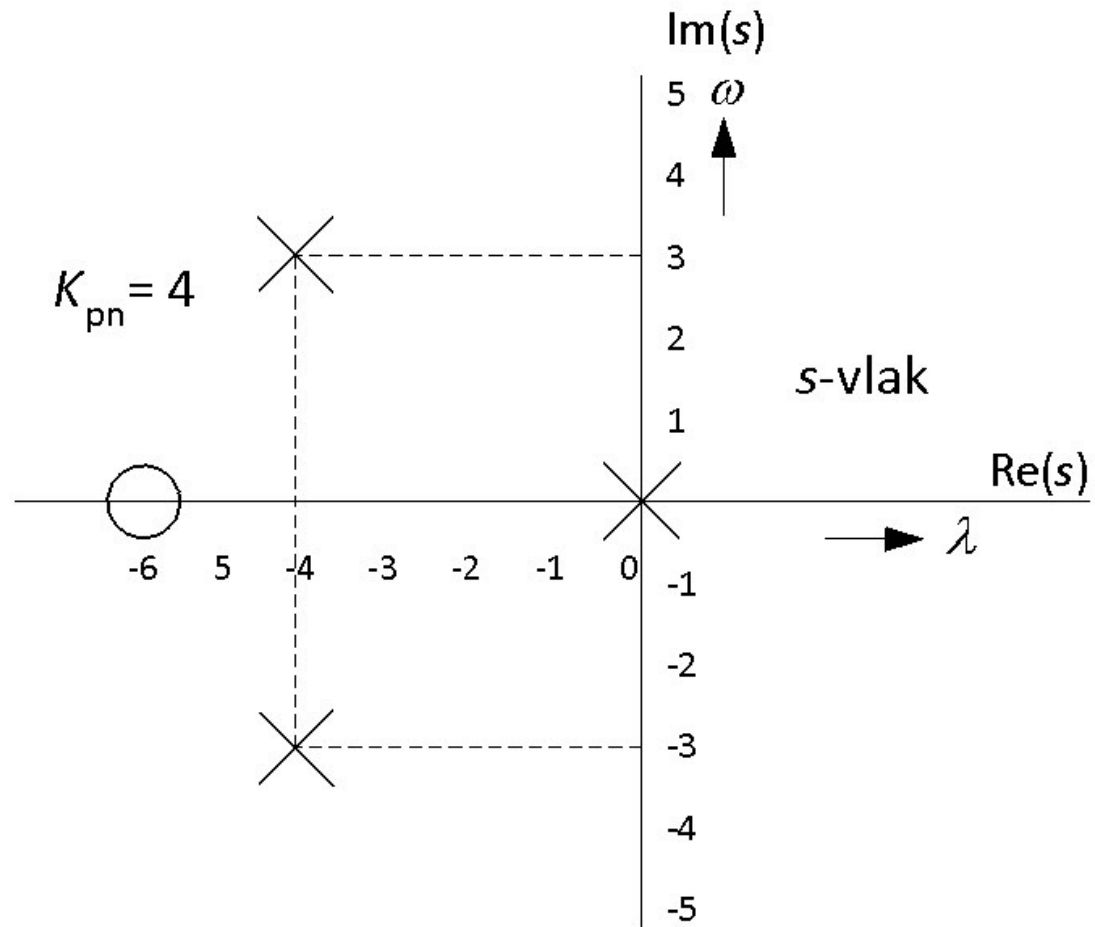


Fig 3.5: Pn-beeld van voorbeeld 3.1

Fig 3.6

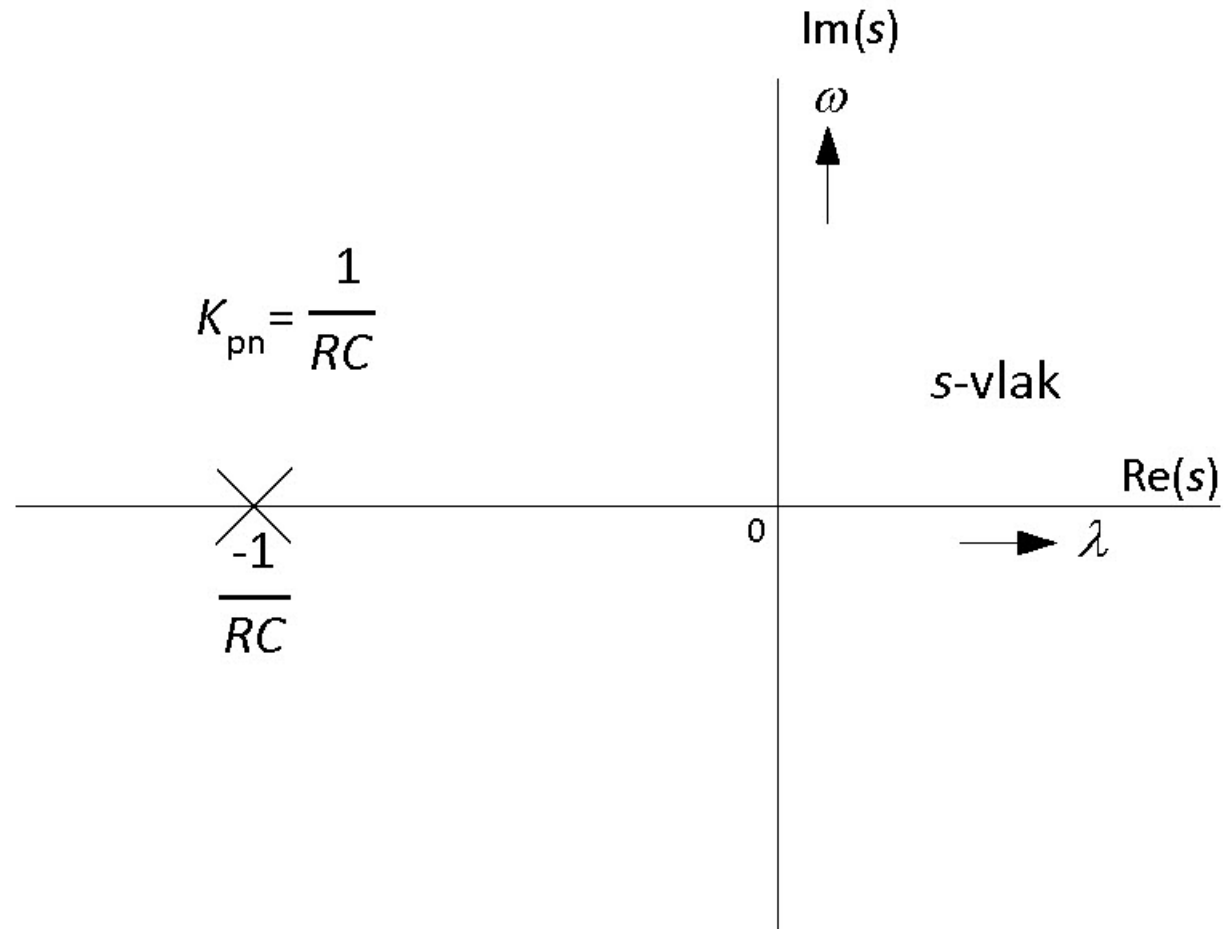
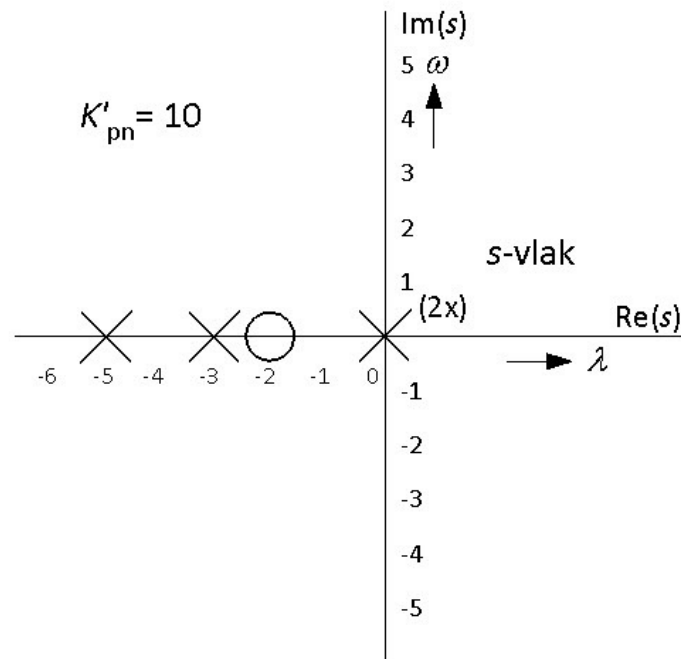
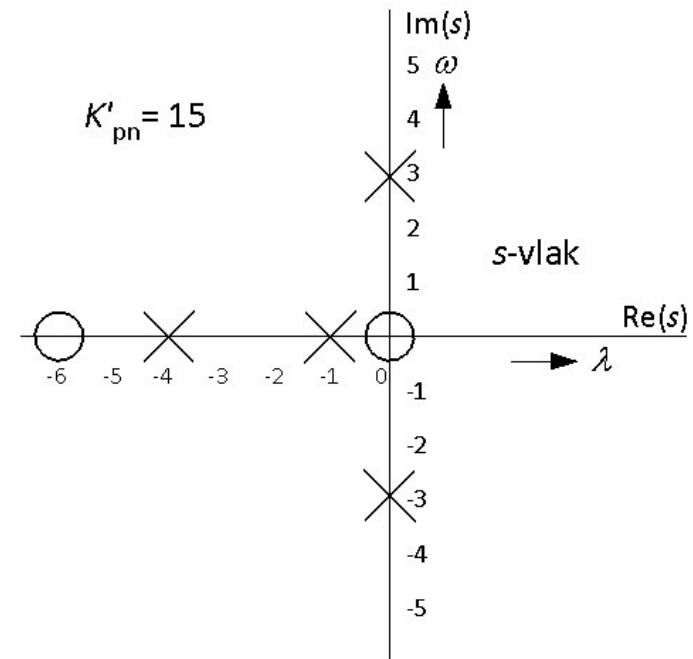


Fig 3.6: Pn-beeld van figuur 3.2a

Fig 3.7



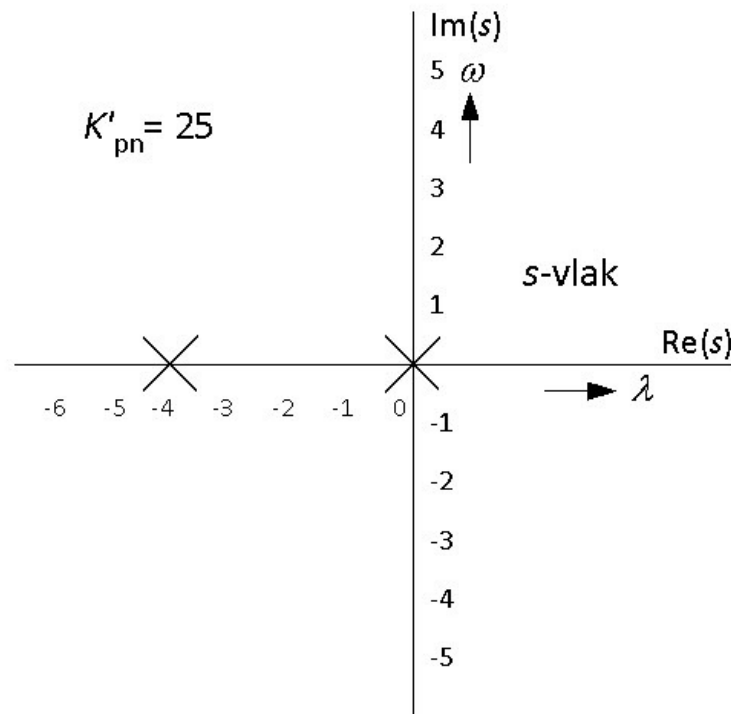
a. pn-beeld van $Y_1(s)$



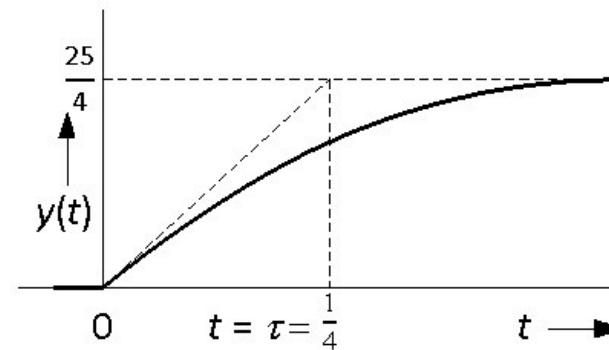
b. pn-beeld van $Y_2(s)$

Fig 3.7: Voorbeelden van pn-beelden: a) pn-beeld van $Y_1(s)$ b) pn-beeld van $Y_2(s)$

Fig 3.8



a. pn-beeld van $Y(s)$



b. stapresponsie $y(t)$

Fig 3.8: Voorbeeld van een stapresponsie

Fig 3.9

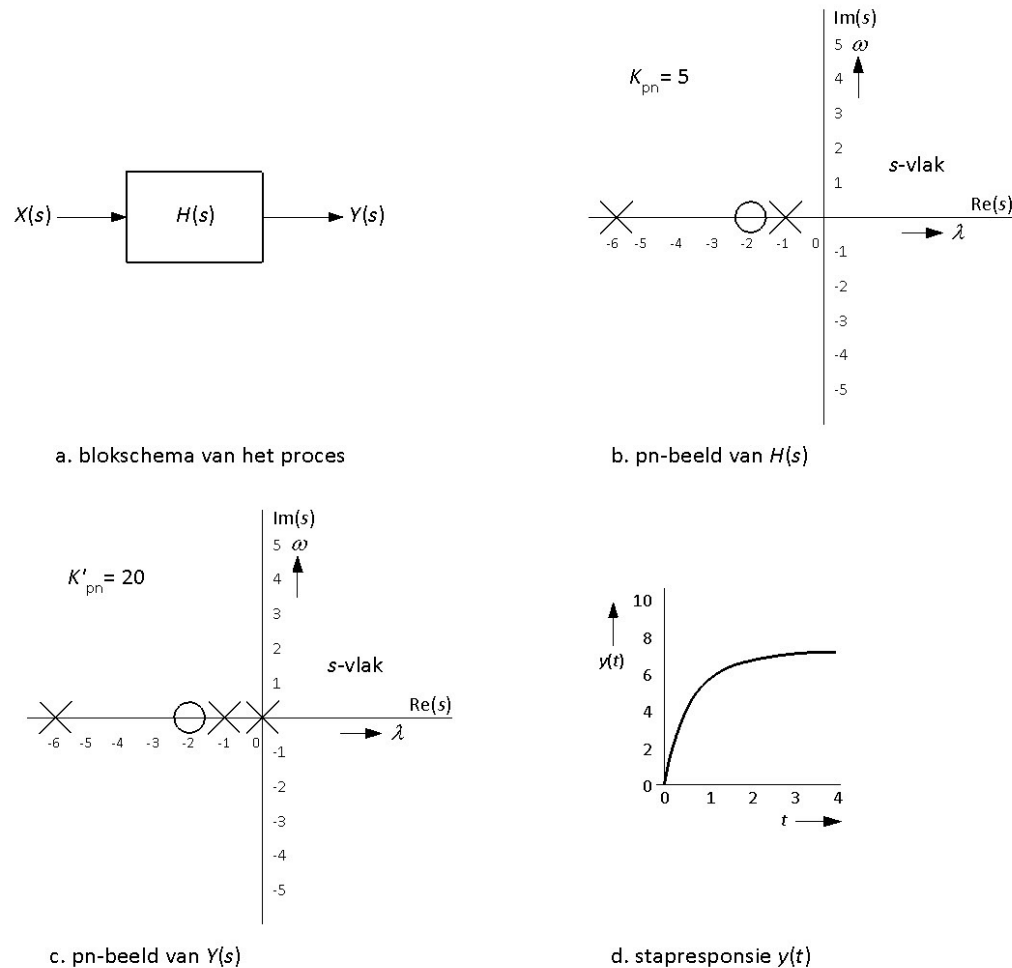


Fig 3.9: Voorbeeld van de bepaling van een stapresponsie

Fig 3.10

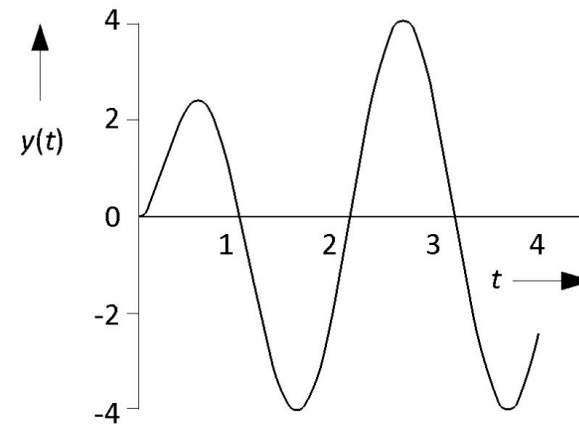
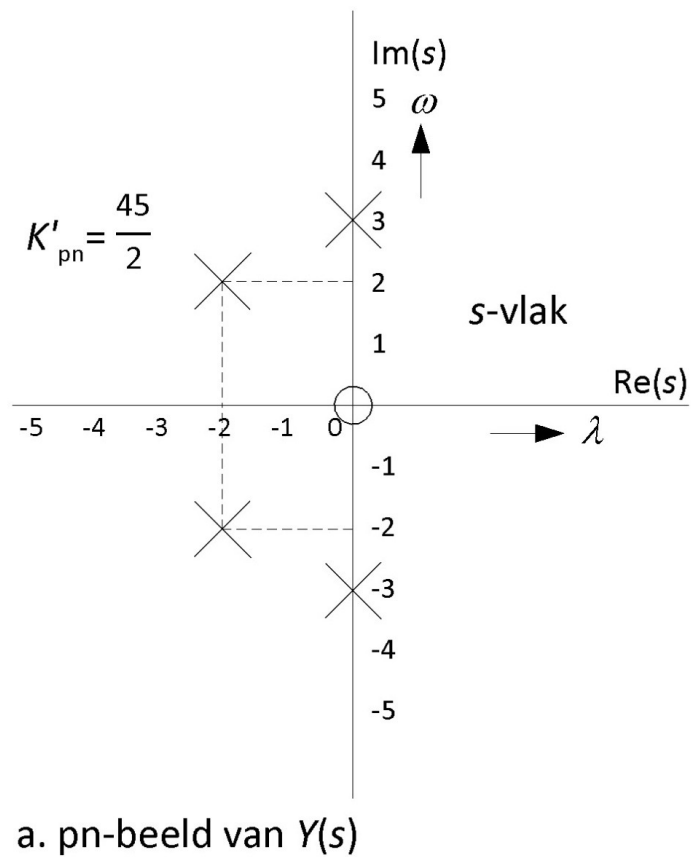
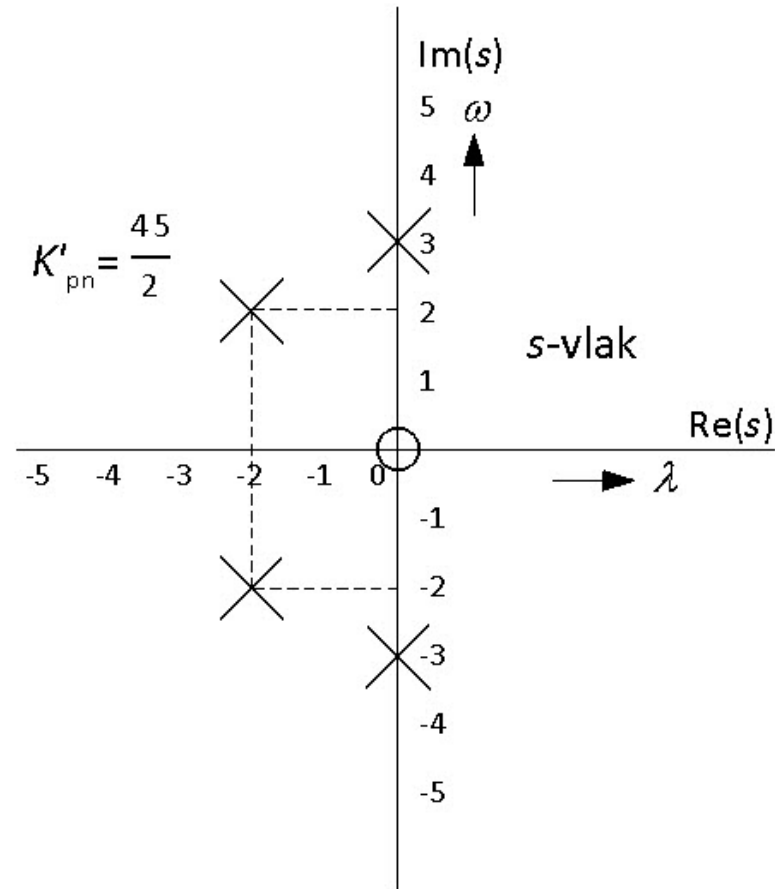


Fig 3.10: Pn-beeld(a) en sinusresponsie(b)

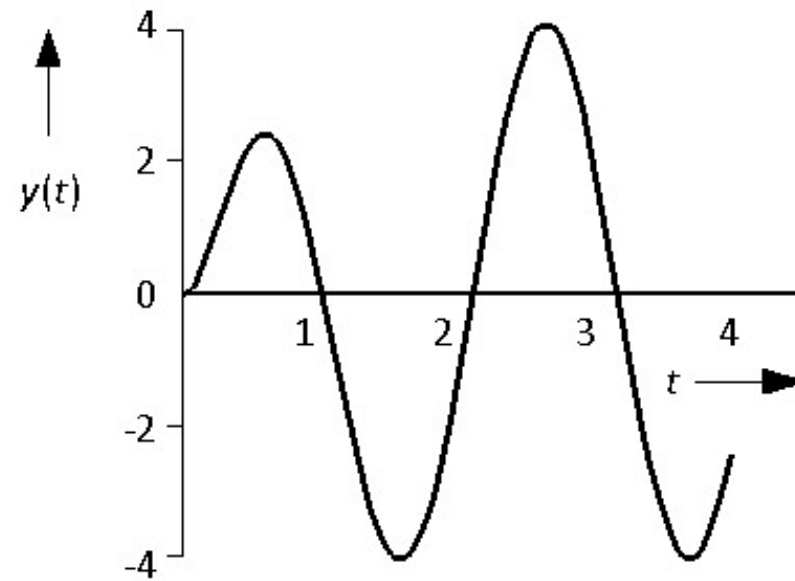
Fig 3.10a



a. pn-beeld van $Y(s)$

Fig 3.10a: Pn-beeld (a)

Fig 3.10b



b. sinusresponsie $y(t)$

Fig 3.10b: Sinusresponsie(b)

Fig 3.11

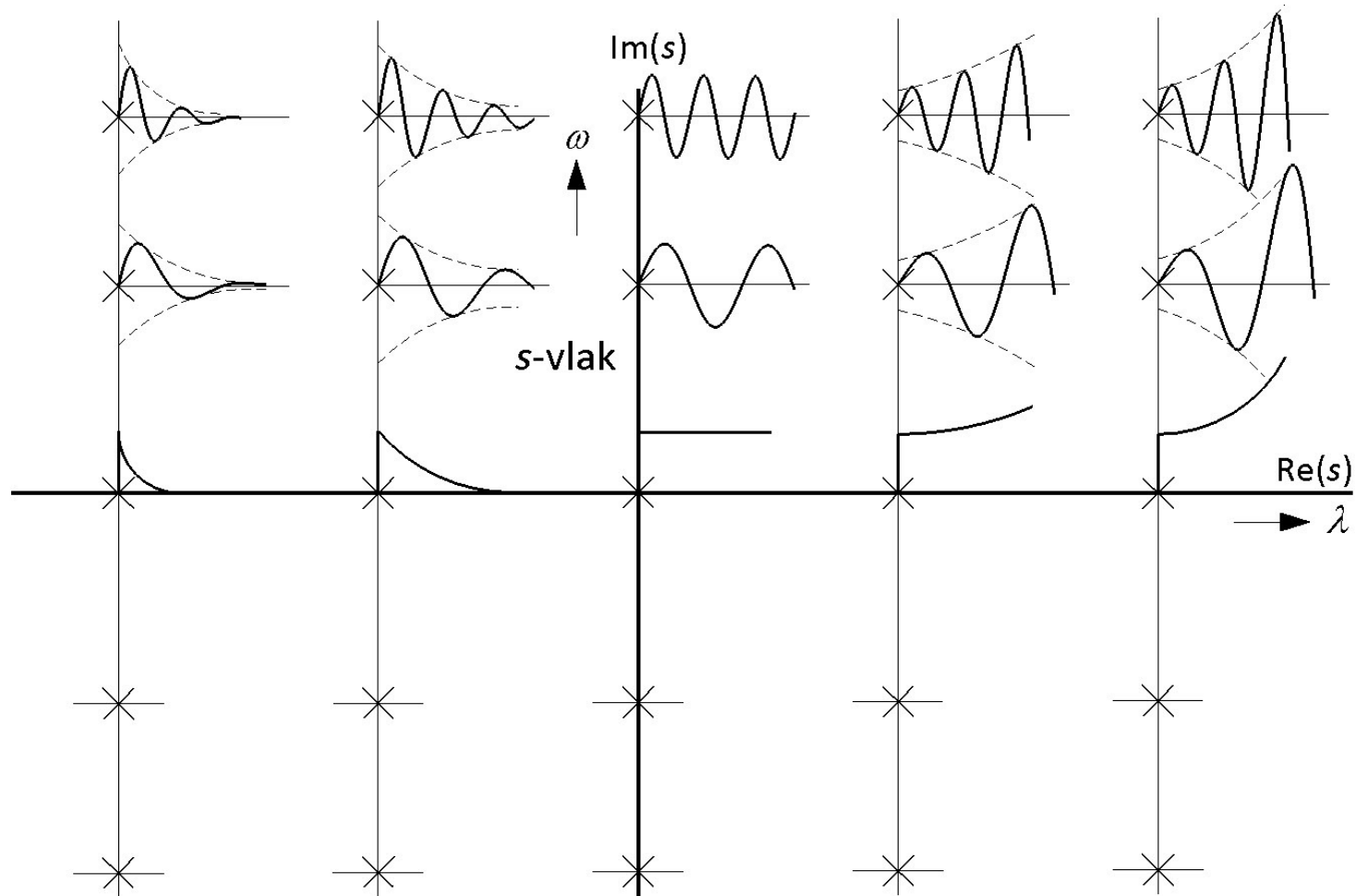


Fig 3.11: Enkele impulsresponsies met de poolposities

Fig 3.12

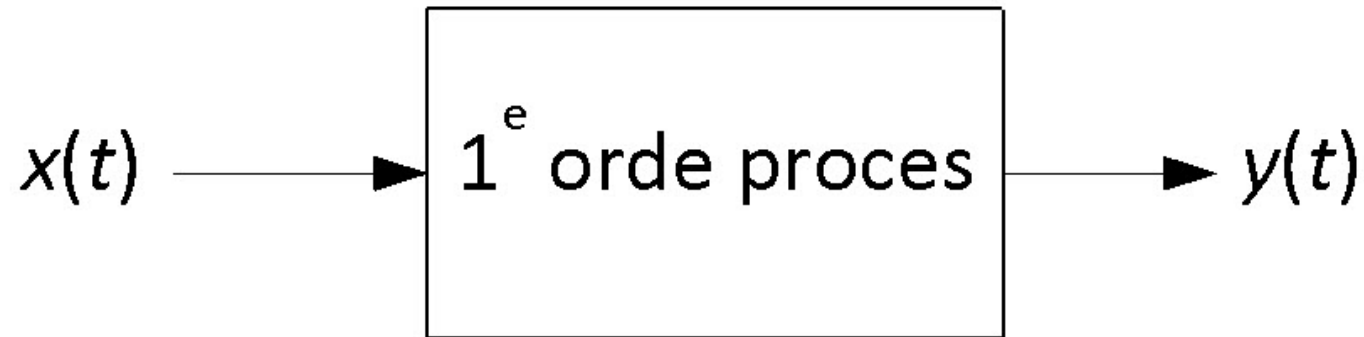


Fig 3.12: Het eerste-orde proces

Fig 3.13

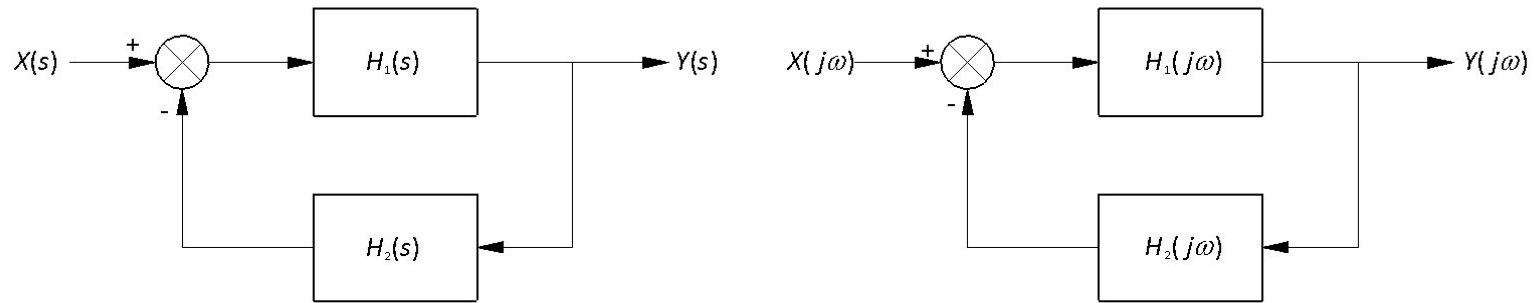


Fig 3.13: Het teruggekoppelde systeem in s-notatie en jw-notatie

Fig 3.14

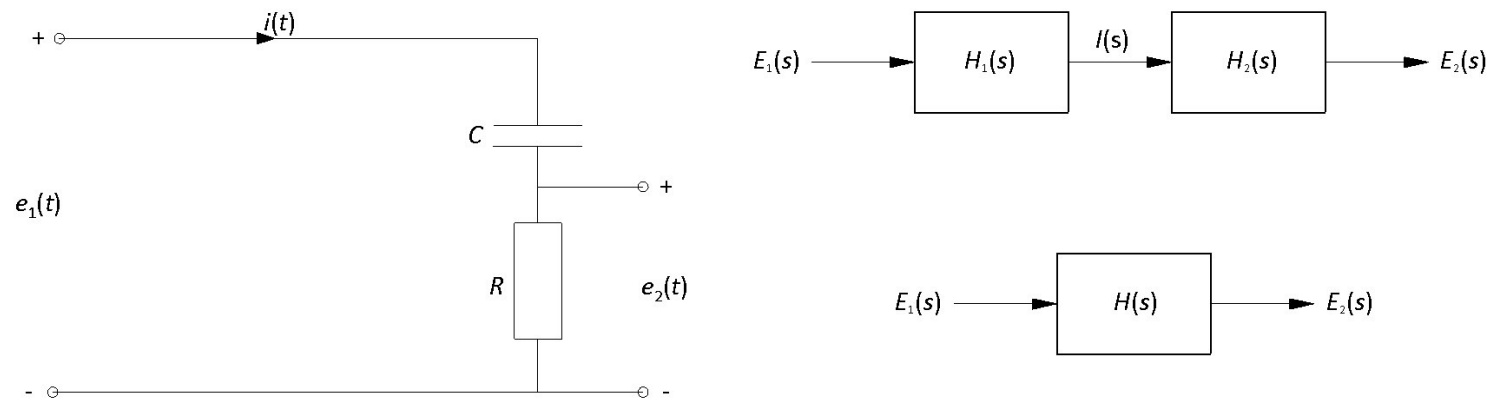


Fig 3.14: Elektrisch circuit met blokschema's

Fig 3.15

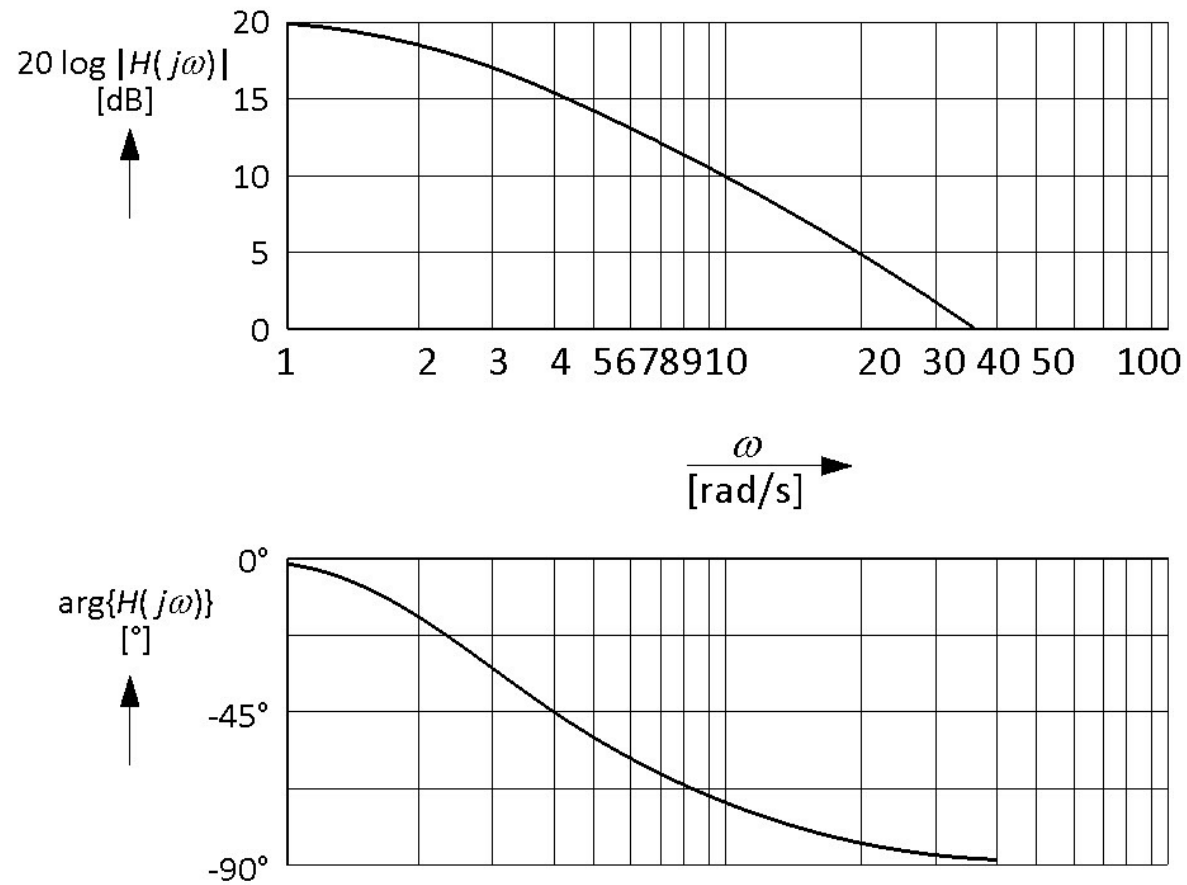


Fig 3.15: Voorbeeld van het mogelijke verloop van een Bode-diagram

Fig 3.16

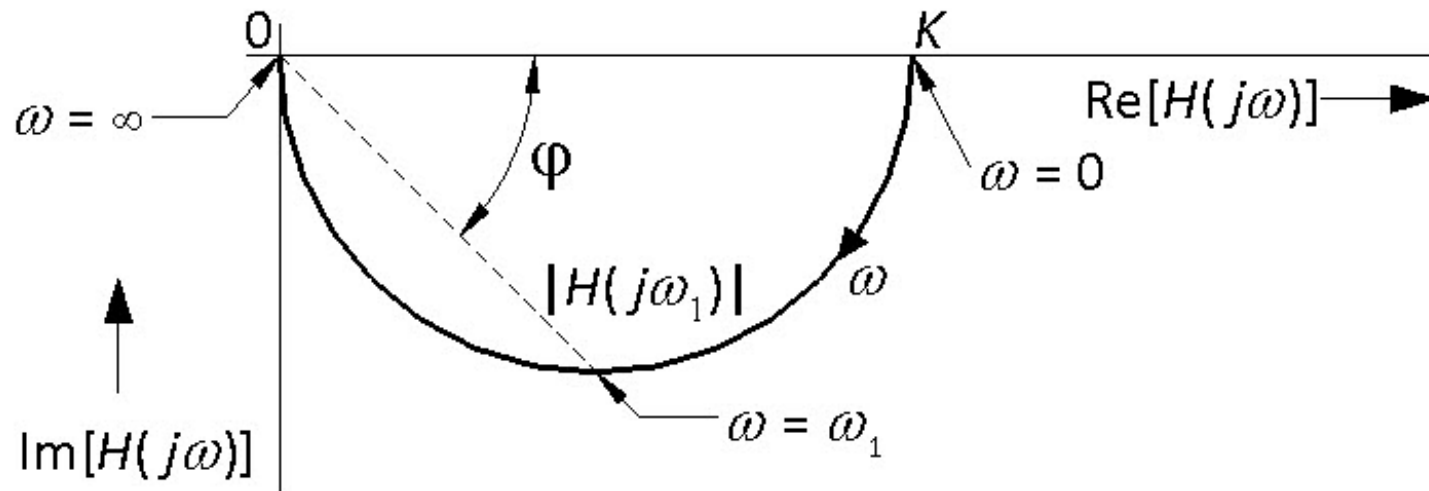


Fig 3.16: Voorbeeld van het mogelijke verloop van een polaire figuur

Fig 3.17

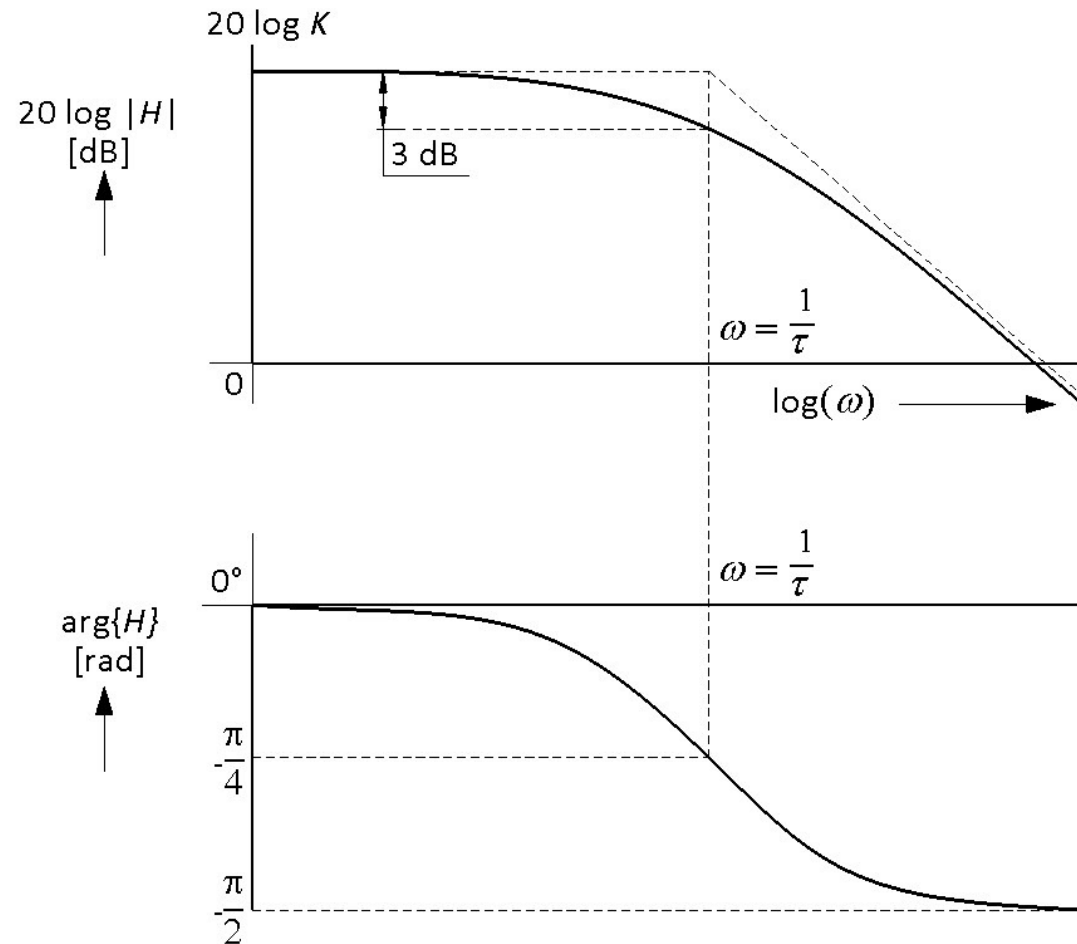


Fig 3.17: Bode-diagram van het eerste-ordesysteem

Fig 3.18

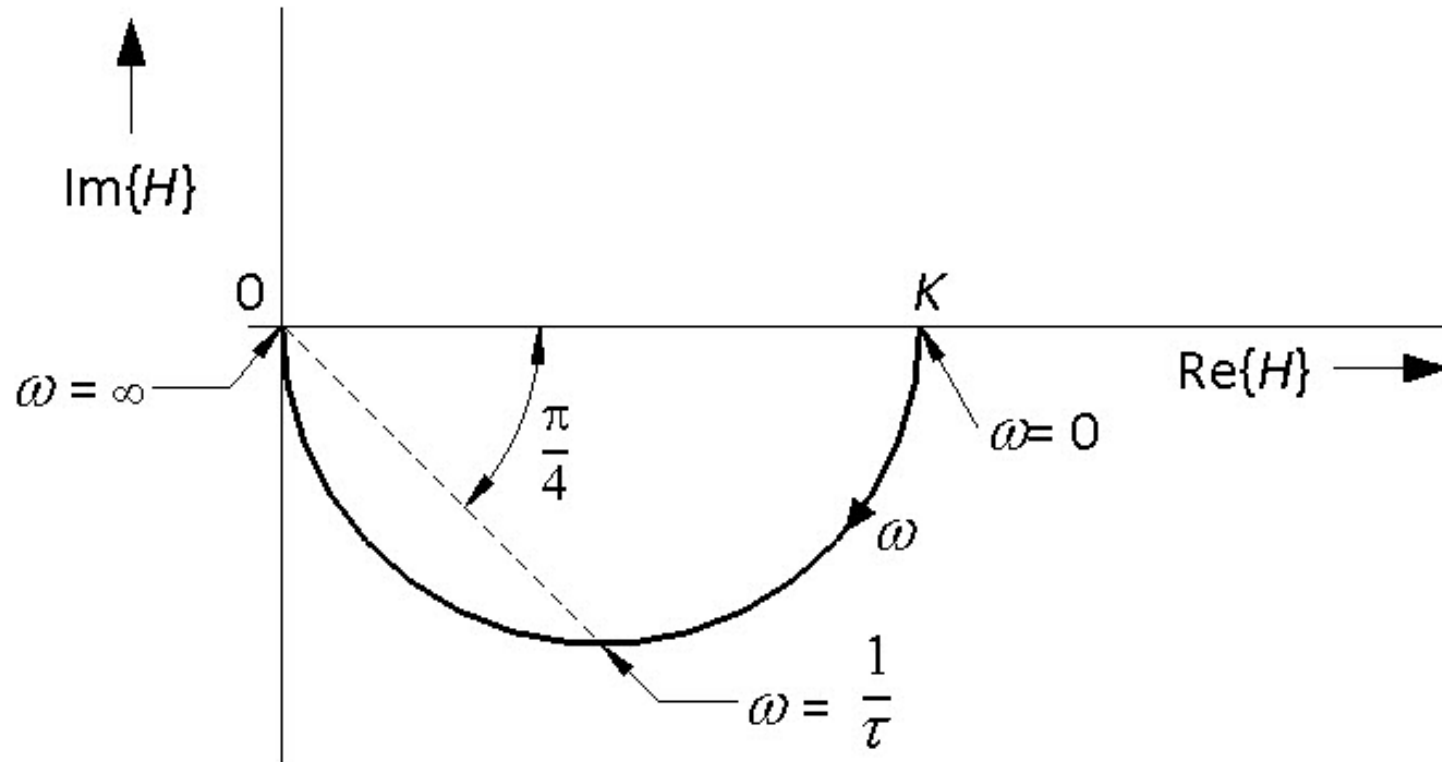


Fig 3.18: Polaire figuur van het eerste-ordesyteem

Fig 3.19

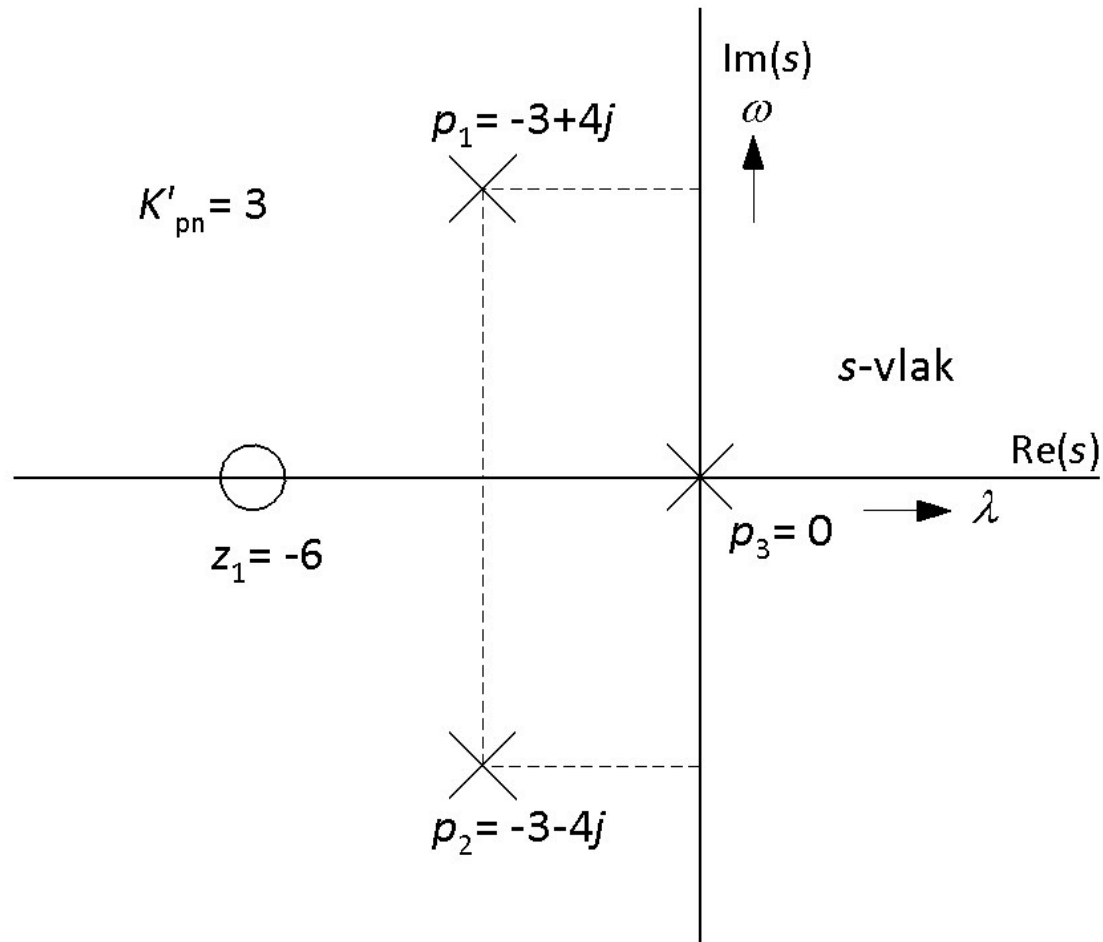


Fig 3.19: Voorbeeld van een pn-beeld van $Y(s)$

Fig 3.20

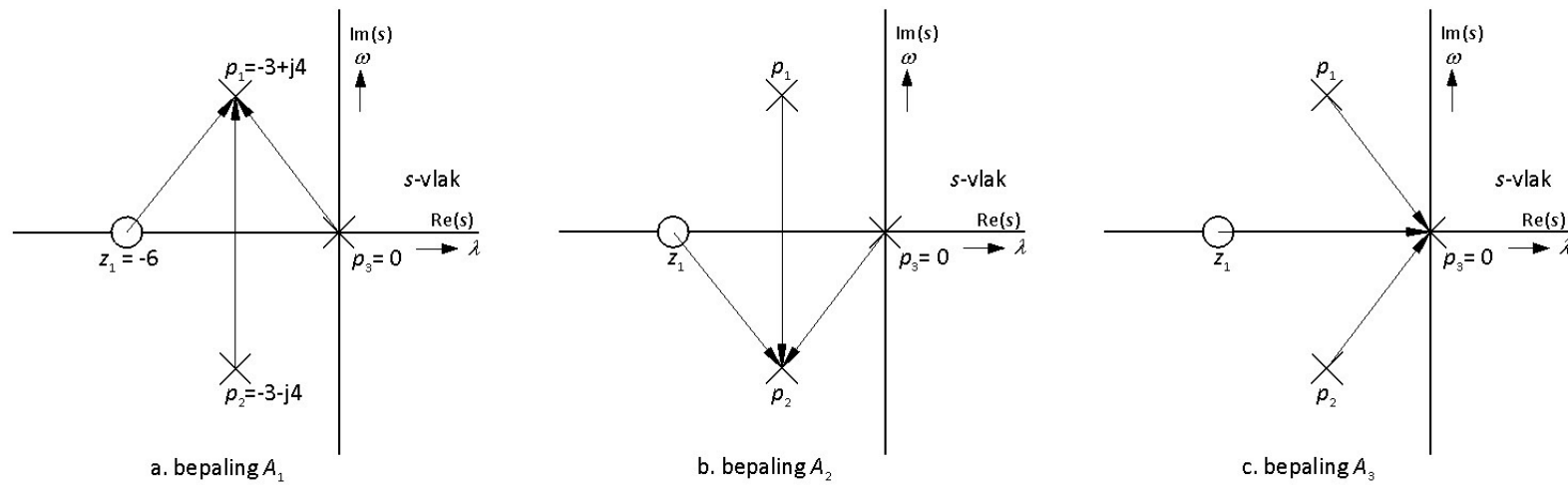
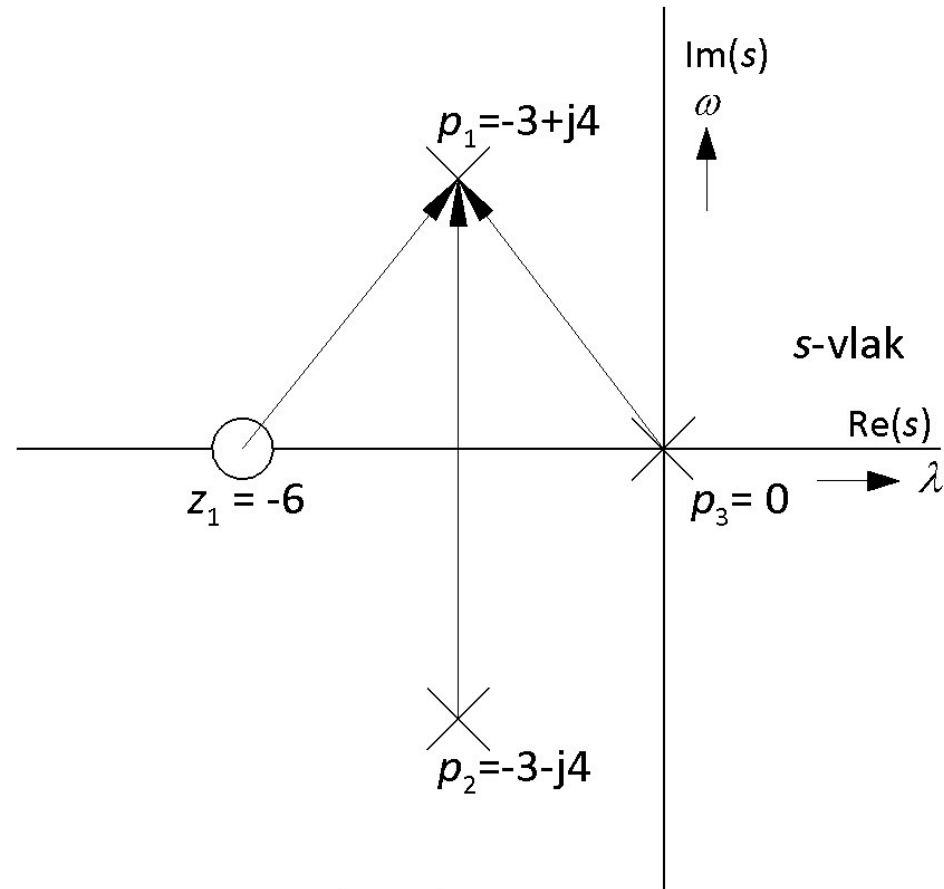


Fig 3.20: Grafische methode voor de bepaling van A_1 , A_2 en A_3

Fig 3.20a



a. bepaling A_1

Fig 3.20a: Grafische methode voor de bepaling van A_1 (a)

Fig 3.20b

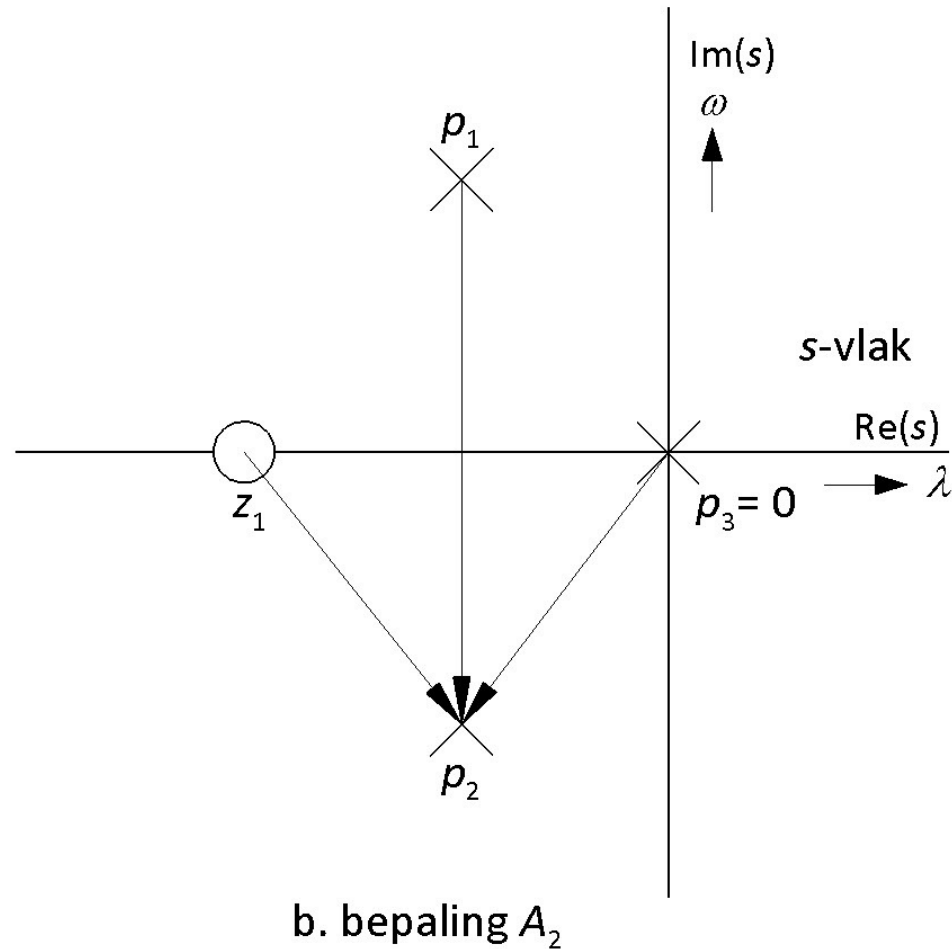
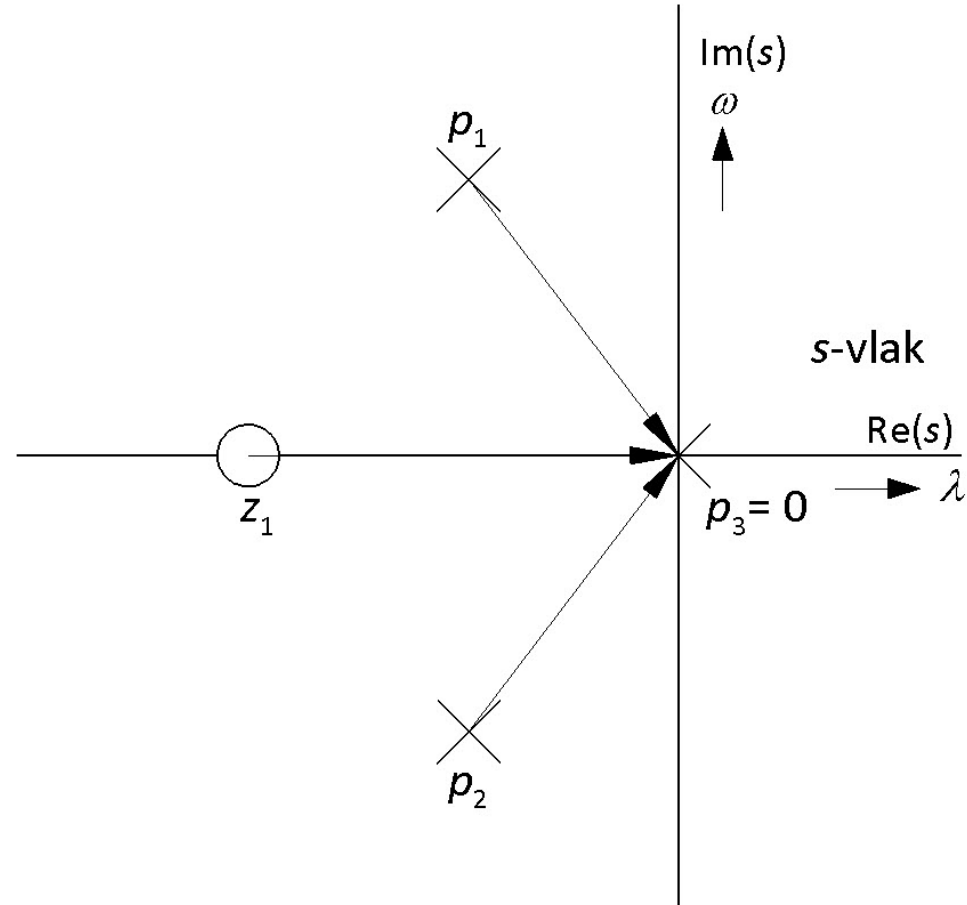


Fig 3.20b: Grafische methode voor de bepaling van A_2 (b)

Fig 3.20c



c. bepaling A_3

Fig 3.20c: Grafische methode voor de bepaling van A_3 (c)

Fig 3.21

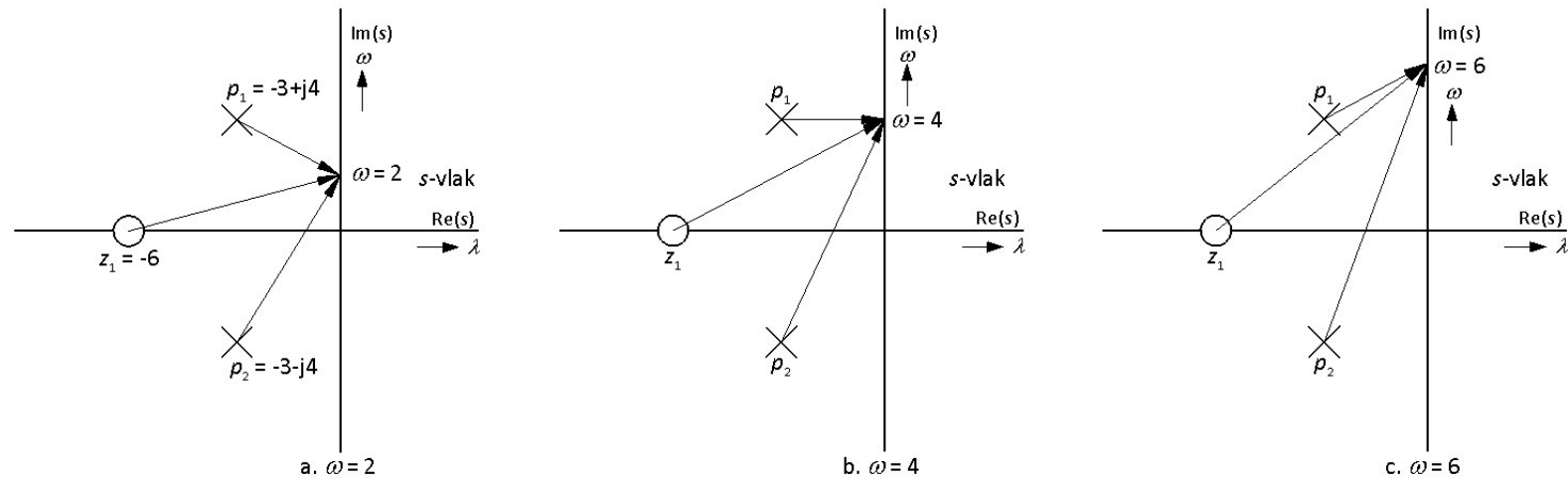


Fig 3.21: Vectorpatronen voor $w = 2, 4$ en 6

Fig 3.21a

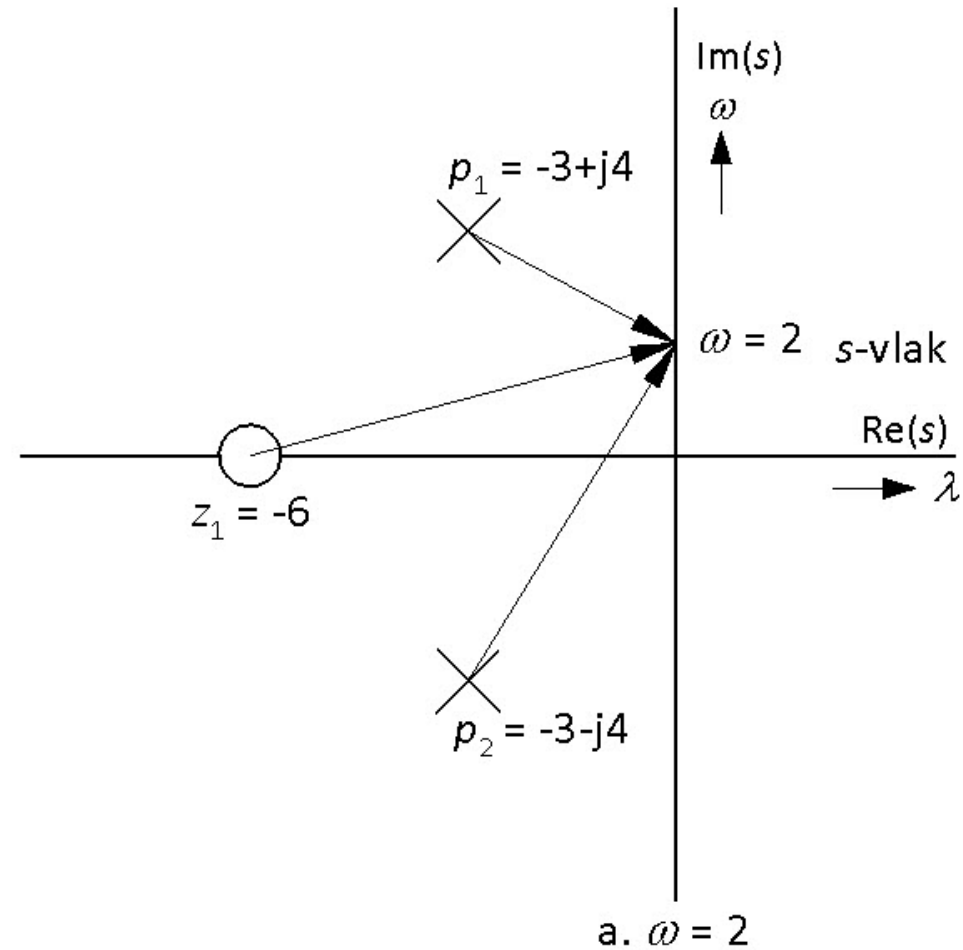


Fig 3.21a: Vectorpatroon voor $w = 2$ (a)

Fig 3.21b

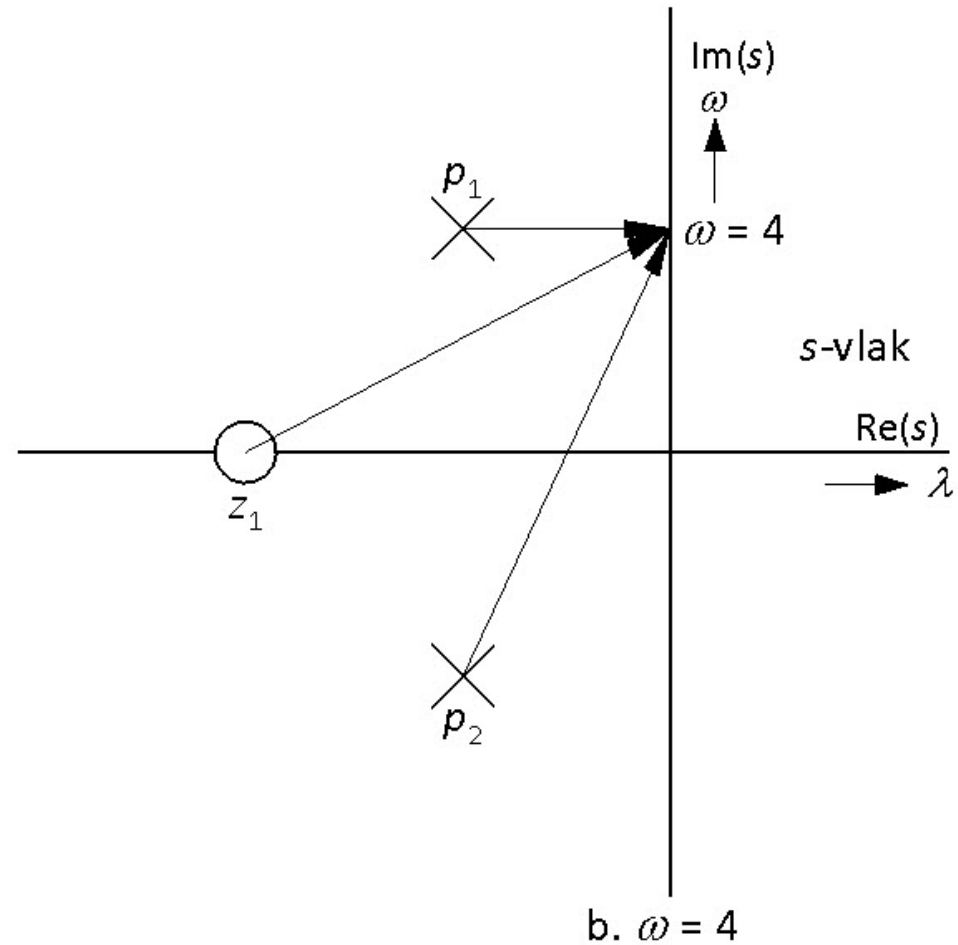


Fig 3.21b: Vectorpatroon voor $w = 4$ (b)

Fig 3.21c

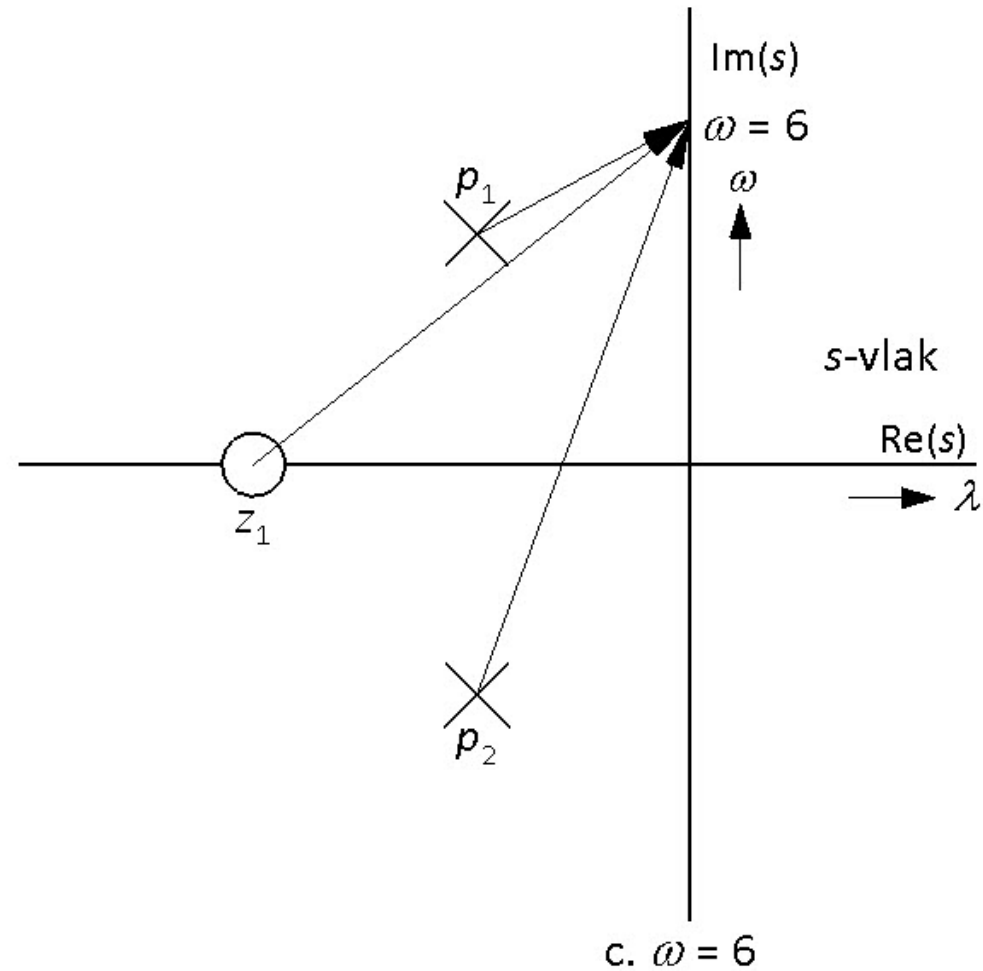


Fig 3.21c: Vectorpatroon voor $w = 6$ (c)

Fig 3.22

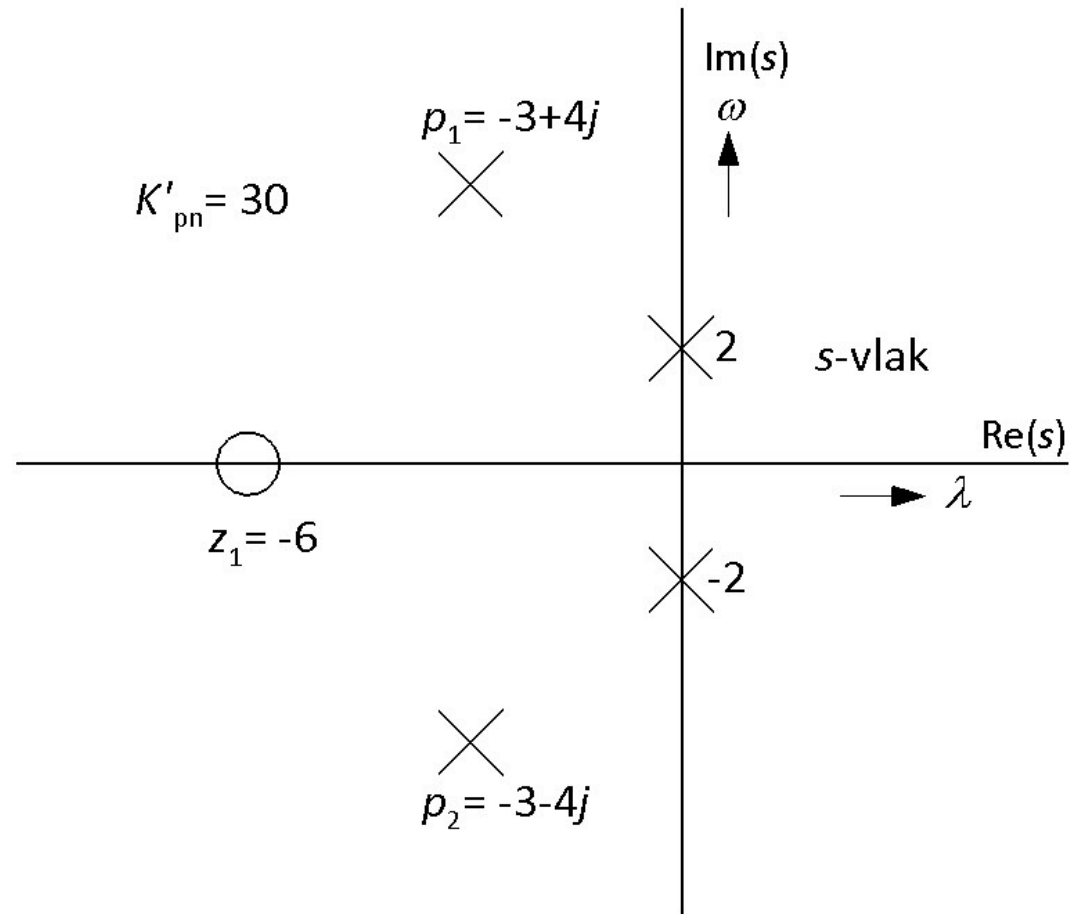


Fig 3.22: Voorbeeld van een pn-beeld van $Y(s)$

Fig 3.23

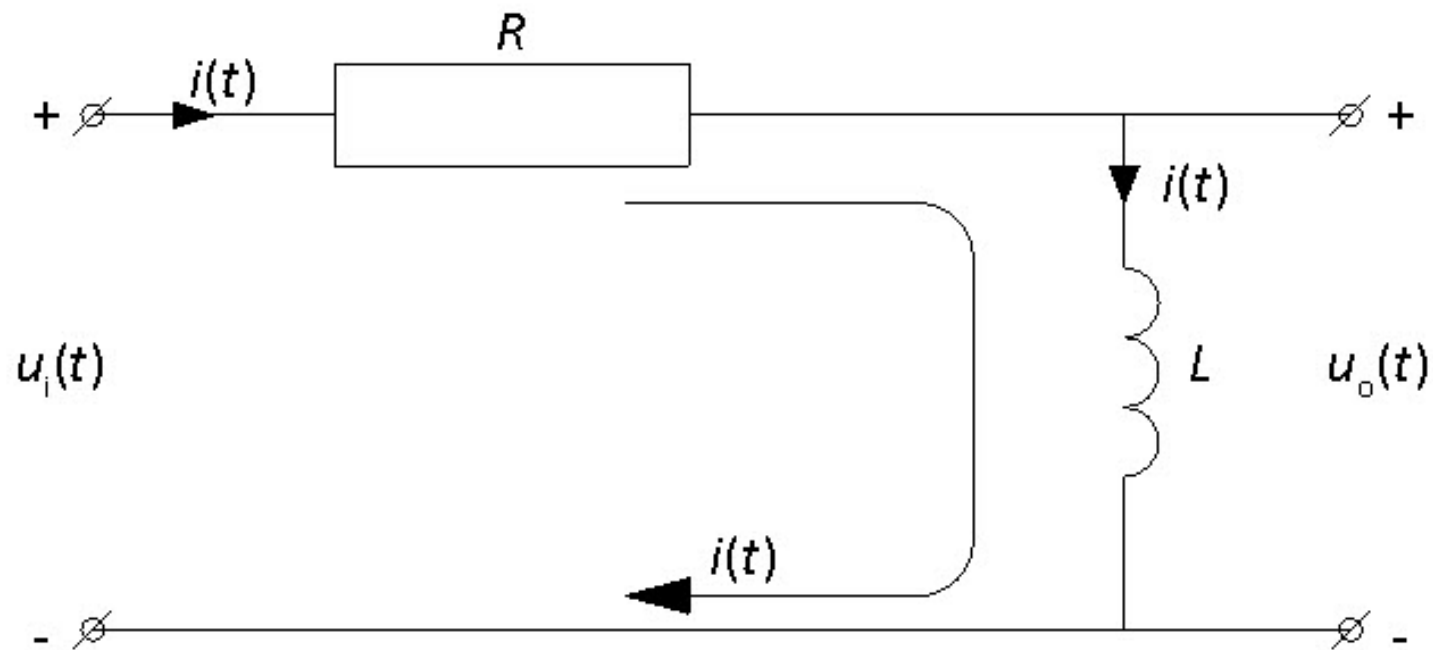


Fig 3.23: RL-circuit

Fig 3.24

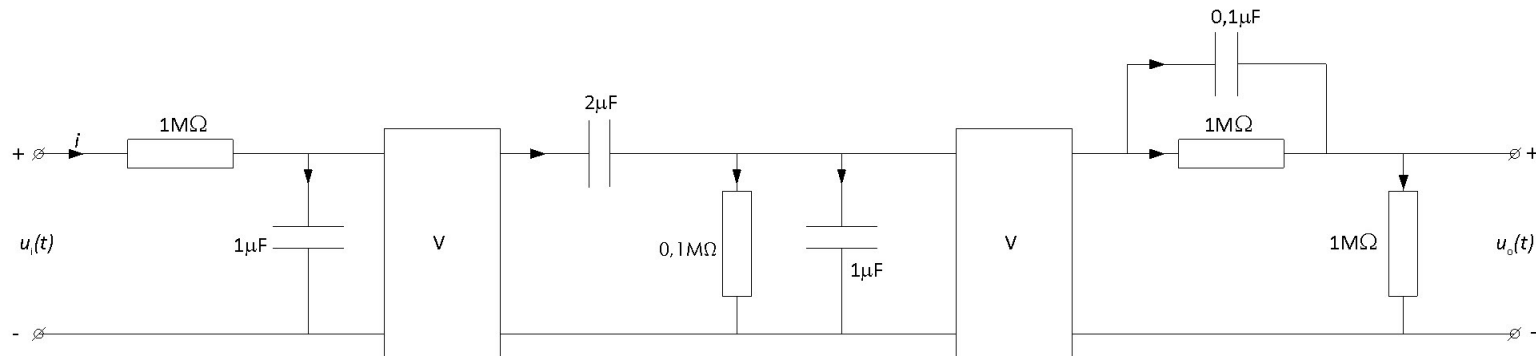


Fig 3.24: Schakelingen met bufferversterkers

Fig 3.25

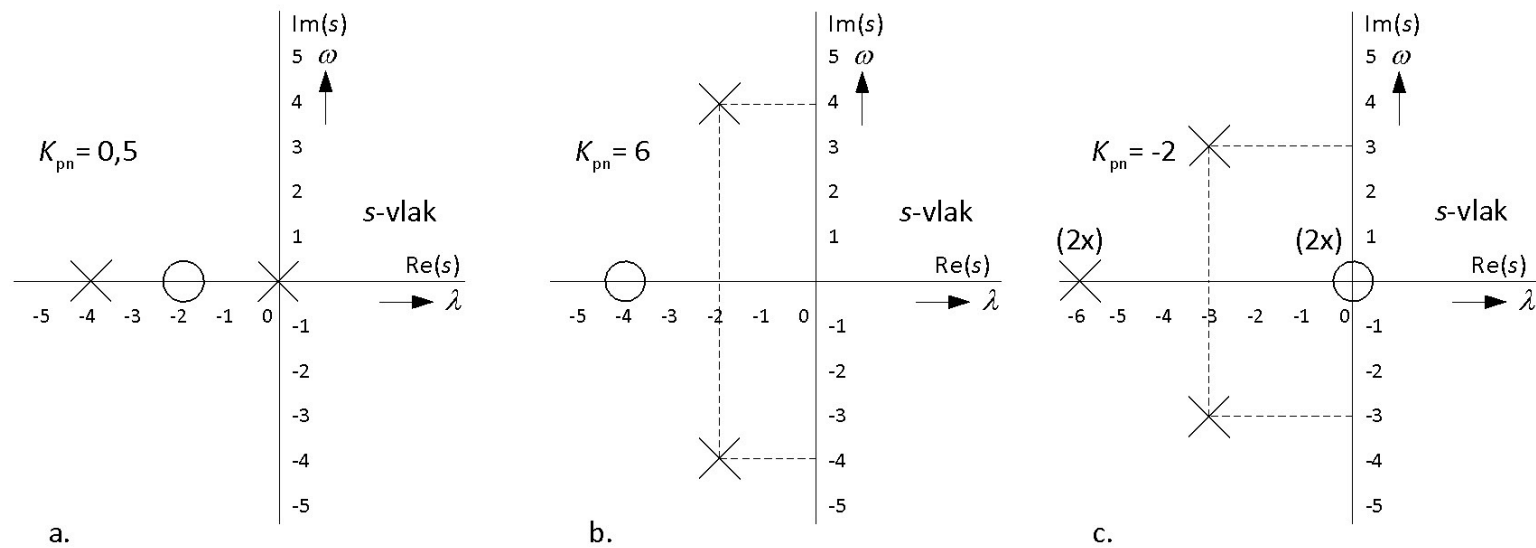
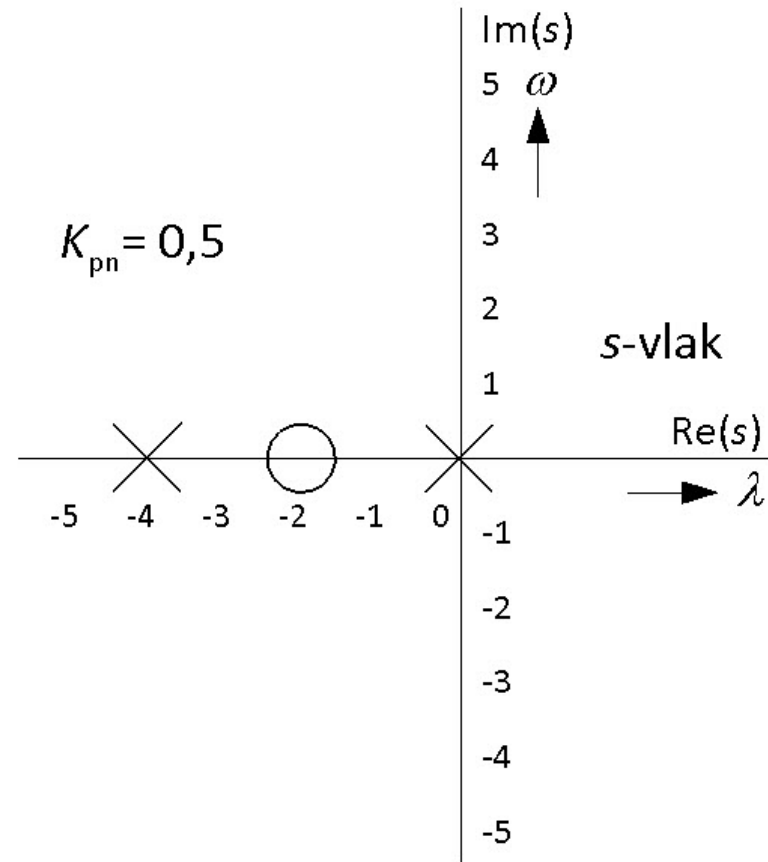


Fig 3.25: Pn-beelden

Fig 3.25a



a.

Fig 3.25a: Pn-beelden (a)

Fig 3.25b

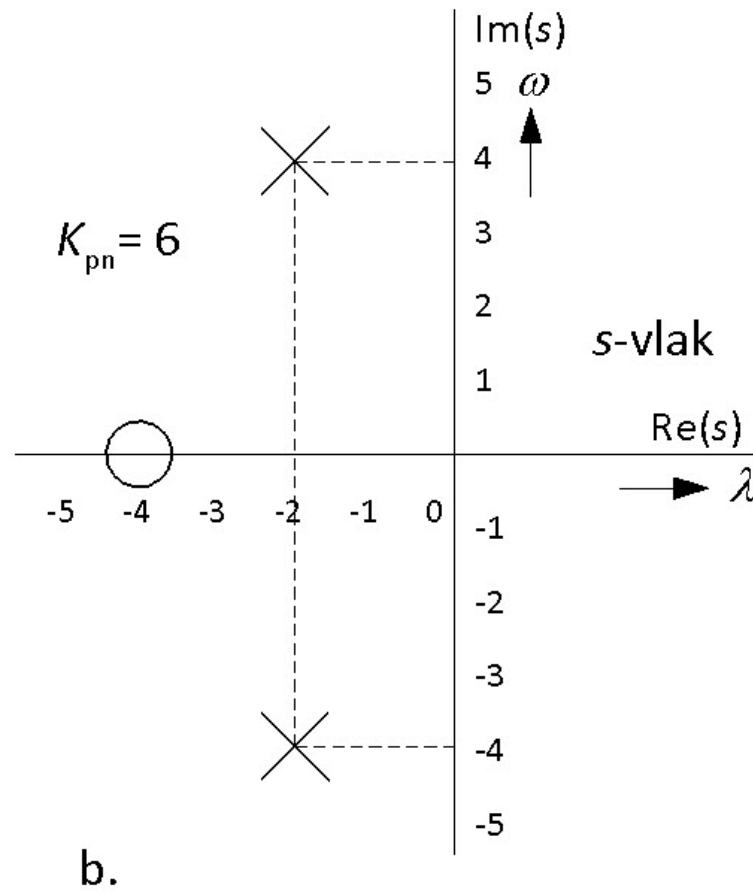
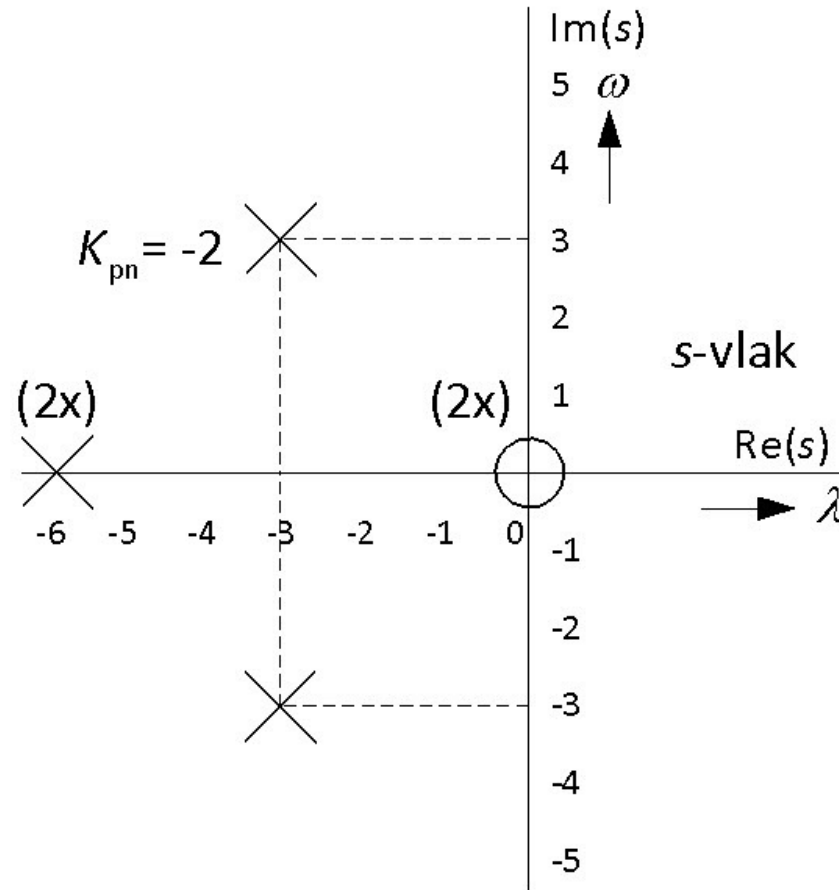


Fig 3.25b: Pn-beelden (b)

Fig 3.25c



c.

Fig 3.25c: Pn-beelden (c)

Fig 3.26

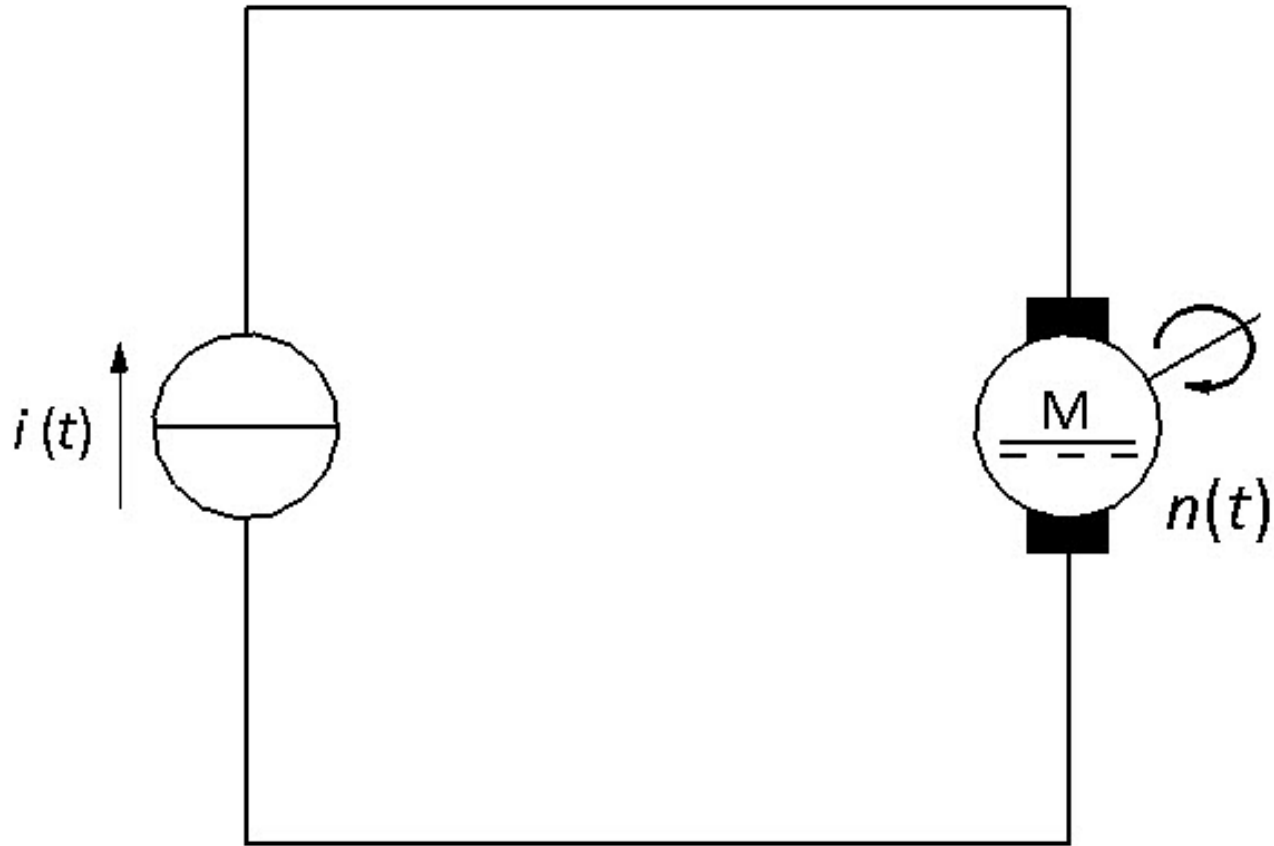


Fig 3.26: Gelijkstroommotor gevoed door stroombron

Hoofdstuk 4

	<i>Boek</i>
	<i>Pag #</i>
Tabel 4.1: Overzicht van de zes basissystemen	103
Fig 4.1: Overbrenging met constante factor	79
Fig 4.2: Pn-beeld en stapresponsie van een eerste-ordesysteem	80
Fig 4.2a: Pn-beeld van een eerste-ordesysteem	80
Fig 4.2b: Stapresponsie van een eerste-ordesysteem	80
Fig 4.2c: Bepaling tijdconstante van een eerste-ordesysteem	80
Fig 4.3: Bepaling mathematisch model uit stapresponsie	81
Fig 4.3a: stapresponsie (a)	81
Fig 4.3b: pn-beeld (b)	81
Fig 4.4: Kenmerkende stapresponsies tweede-ordesysteem	83
Fig 4.5: Grafisch verband K_{pn} , λ , Ω -vorm en K_{stat} , β , Ω_0 -vorm	84
Fig 4.6: Stapresponsie met doorschot en omhullende e-machten	85
Fig 4.7: Weergave van de drie mogelijke stapresponsies van een tweede-ordesysteem	86
Fig 4.8: PN-beelden van een a) overkritisch $\beta > 1$, b) kritisch $\beta = 1$ en c) onderkritisch $0 < \beta < 1$ gedempt tweede-ordesysteem	86
Fig 4.9a: Stapresponsie (a)	87

Hoofdstuk 4

	<i>Boek</i>
	<i>Pag #</i>
Fig 4.9b: pn-beeld (b)	87
Fig 4.10: Blokschema (a) en pn-beeld (b) van een integrator	88
Fig 4.11: Stapresponsie van een integrator	88
Fig 4.12: Niveauproces opgevat als integrator	89
Fig 4.13: Blokschema (a) en pn-beeld (b) van een differentiator	89
Fig 4.14: Responsies differentiator: (a) responsie op $x(t) = 1(t)$, (b) responsie op $x(t) = A \cdot t \cdot 1(t)$	90
Fig 4.15: Pn-beeld (a) en eenheidsstapresponsie (b) van onzuivere differentiator	90
Fig 4.16: Getemde D-actie	91
Fig 4.17: Stapresponsie van de getemde D-actie	91
Fig 4.18: Stapresponsie van de looptijd en eerste-ordebenadering	92
Fig 4.19: Stapresponsie van een tweede-ordesysteem	93
Fig 4.20: Bode-diagram (a) en polaire figuur (b) van een eerste-ordesysteem	94
Fig 4.20a: Bode-diagram (a) van een eerste-ordesysteem	94
Fig 4.20b: Polaire figuur (b) van een eerste-ordesysteem	94
Fig 4.21a: Bode-diagram (a) van een tweede-ordesysteem voor verschillende waarden van β	96

Hoofdstuk 4

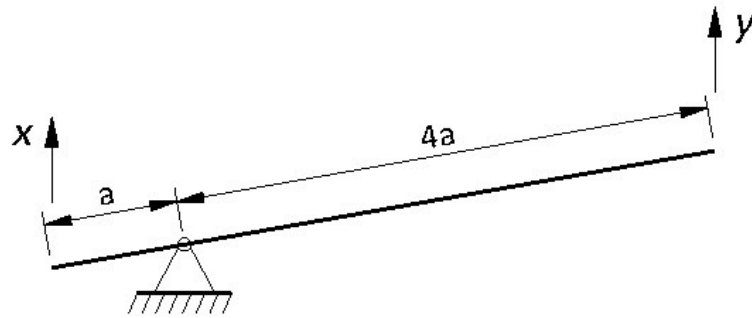
	<i>Boek Pag #</i>
Fig 4.21b: Polaire figuur (b) van een tweede-ordessysteem voor verschillende waarden van β	96
Fig 4.22: Bode-diagram (a) en polaire figuur (b) van de integrator	97
Fig 4.23: Bode-diagram (a) en polaire figuur (b) van de differentiator	98
Fig 4.24: Bode-diagram (a) en polaire figuur (b) van een systeem met looptijd	98
Fig 4.25: Meetopstelling voor bepaling stapresponsie	99
Fig 4.26: Stapresponsie van het proces	100
Fig 4.27: Bepaling overbrengingsfunctie met behulp van frequentiemetingen	100
Fig 4.28: Servosysteem	101
Fig 4.29: Frequentieresponsie-plot van servosysteem	102
Fig 4.30: Asymptoten van het Bode-diagram	102
Fig 4.31: Stapresponsies bij opgave 1	104
Fig 4.32a: Bode-diagrammen bij opgave 4	105
Fig 4.32b: Bode-diagrammen bij opgave 4	105
Fig 4.32c: Bode-diagrammen bij opgave 4	105

Tabel 4.1

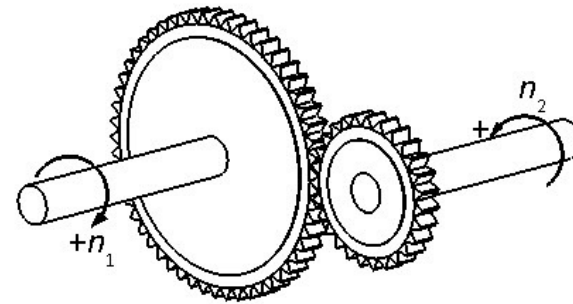
Naam	Tijd domein	s-domein	K_{pn}	K_{stat}
Constate Factor	$y(t) = K \cdot x(t)$	$\frac{Y(s)}{X(s)} = K$	K	K
Eerste orde	$y(t) = (1 - e^{-\frac{t}{\tau}}) \cdot x(t)$	$\frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{1}{\tau s + 1}$	$\frac{1}{\tau}$	1
Tweede orde	fig 4.7	$\frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{1}{c_1 s^2 + c_2 s + c_3}$	$\frac{1}{c_1}$	$\frac{1}{c_3}$
Integrator	$y(t) = \frac{1}{\tau_i} \int_0^t x(\tau) d\tau$	$\frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{1}{\tau_i s}$	$\frac{1}{\tau_i}$	∞
Differentiator	$y(t) = \tau_d \frac{dx(t)}{dt}$	$\frac{Y(s)}{X(s)} = \tau_d s$	τ_d	0
Looptijd	$y(t) = x(t - T_d)$	$\frac{Y(s)}{X(s)} = e^{-T_d s}$	1	1

Tabel 4.1: Overzicht van de zes basissystemen

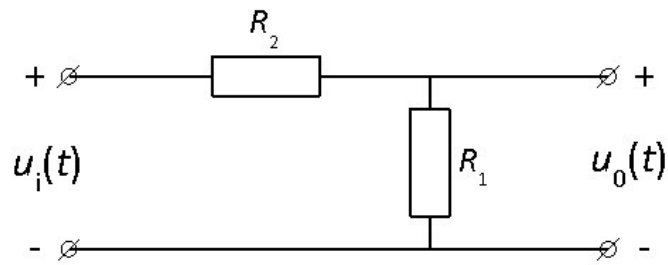
Fig 4.1



a. hefboom



b. tandwieloverbrenging



c. spanningsdeler

Fig 4.1: Overbrenging met constante factor

Fig 4.2

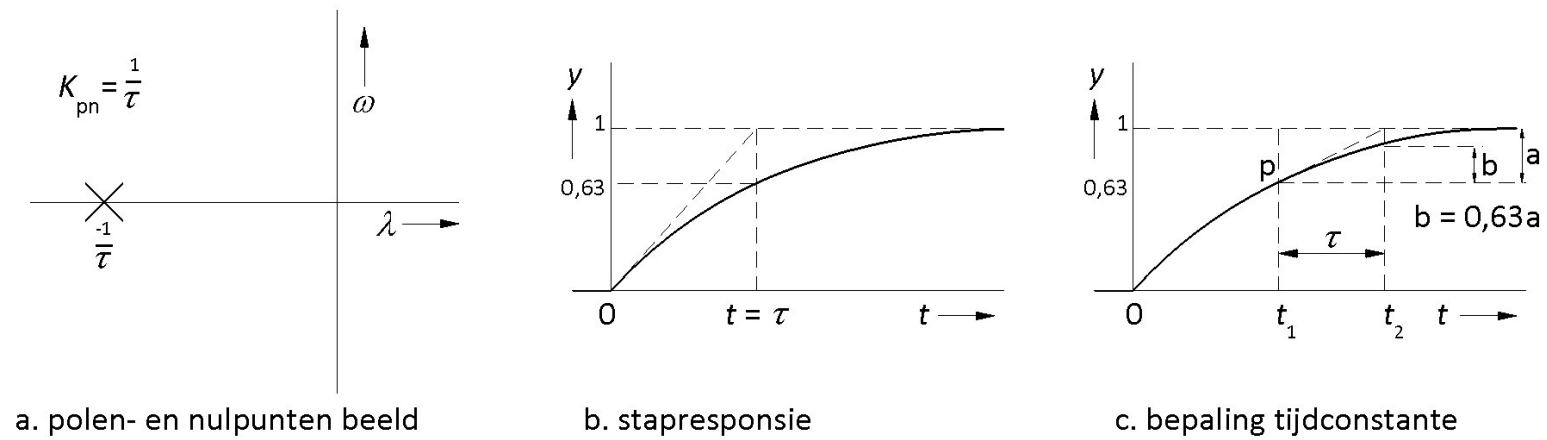
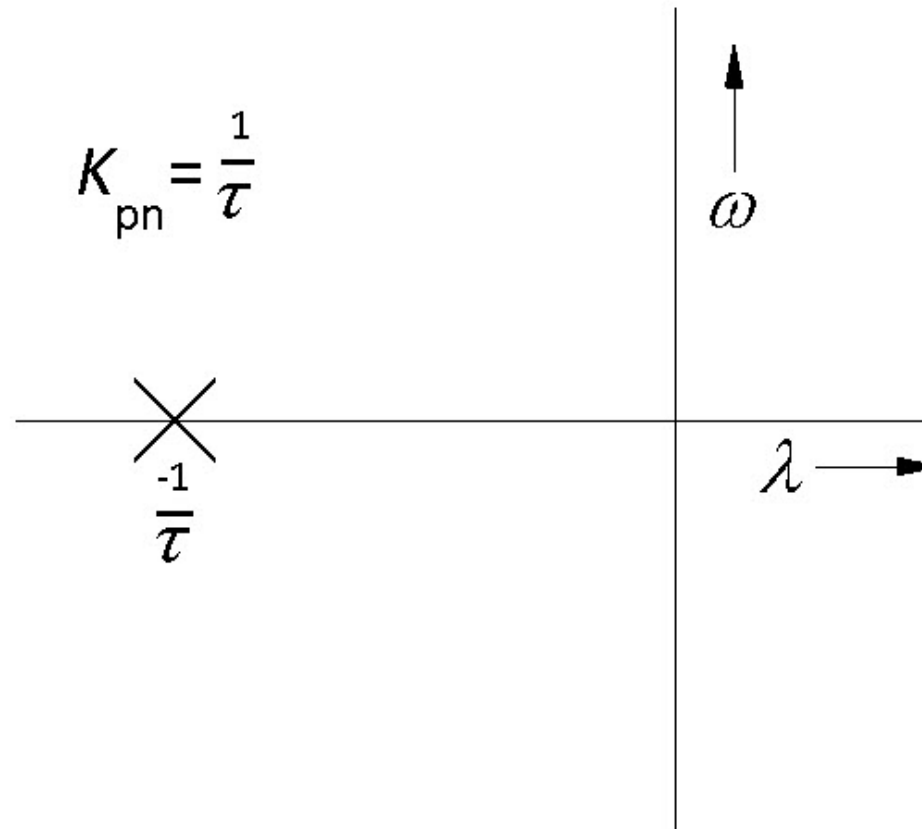


Fig 4.2: Pn-beeld en stapresponsie van een eerste-ordesytem

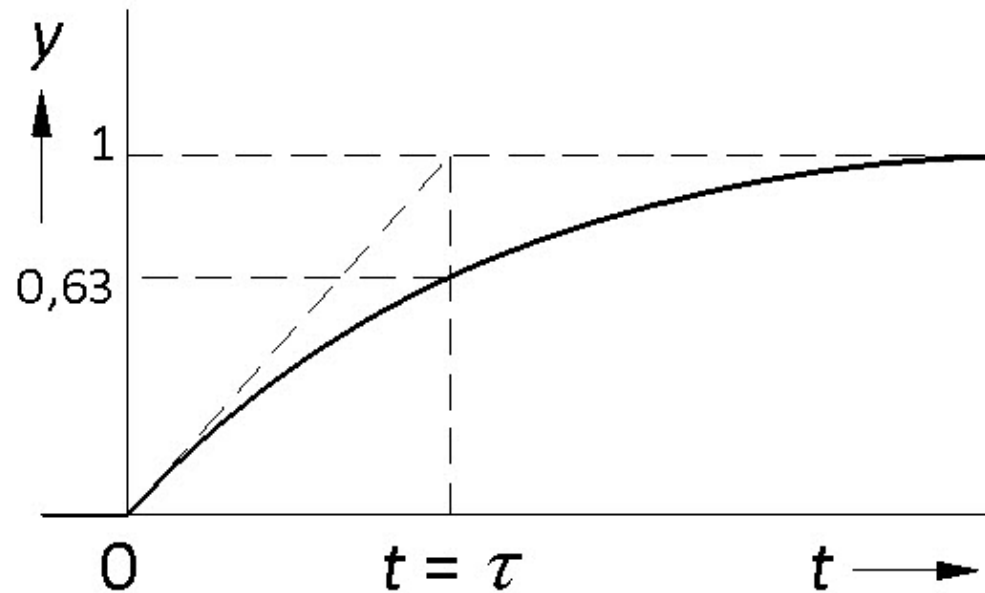
Fig 4.2a



a. polen- en nulpunten beeld

Fig 4.2a: Pn-beeld van een eerste-ordesyteem

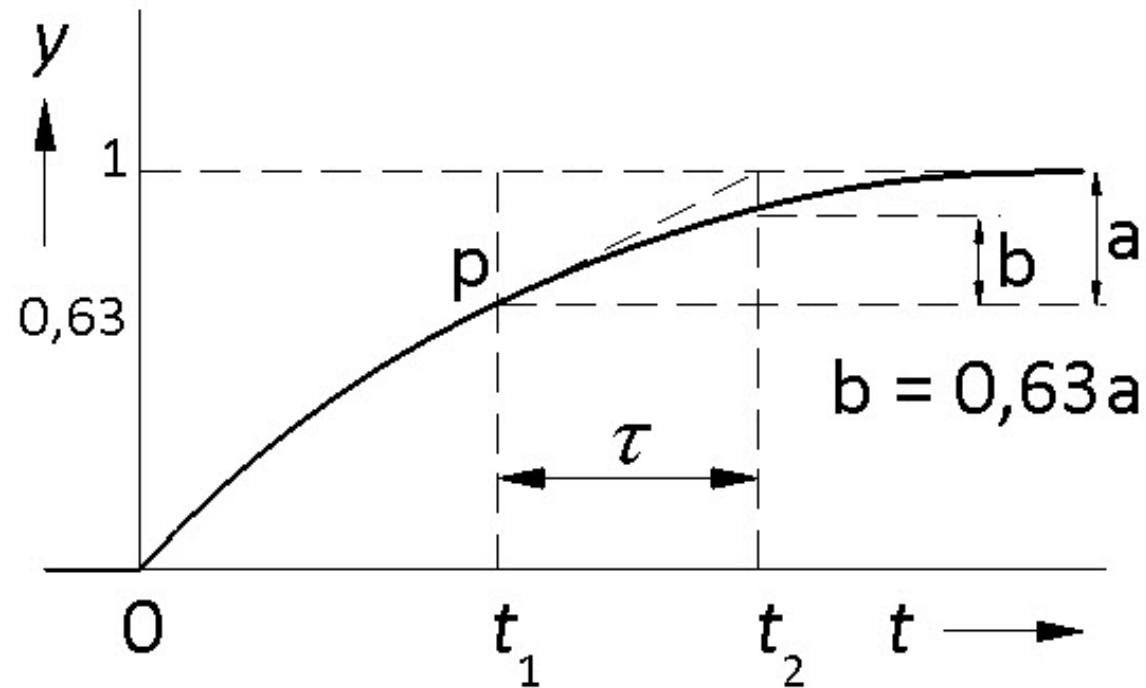
Fig 4.2b



b. stapresponsie

Fig 4.2b: Stapresponsie van een eerste-ordessysteem

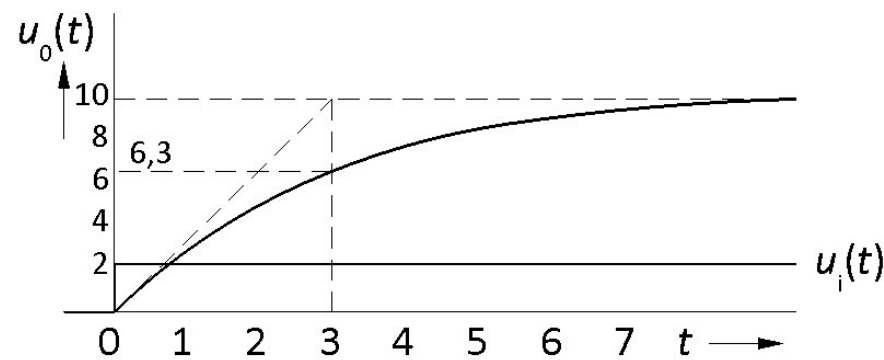
Fig 4.2c



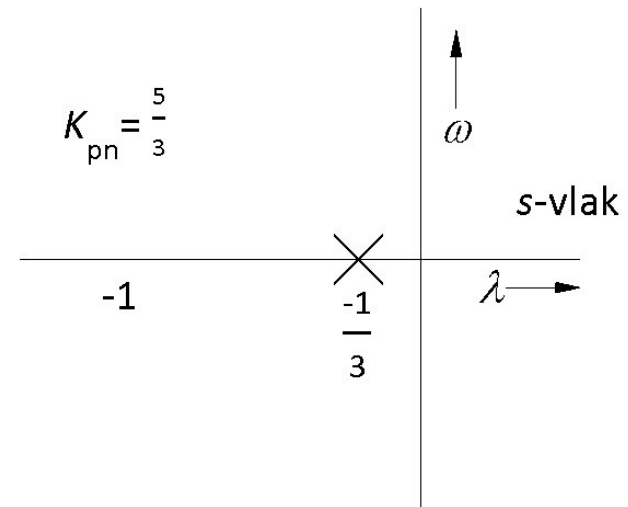
c. bepaling tijdconstante

Fig 4.2c: Bepaling tijdconstante van een eerste-ordesysteem

Fig 4.3



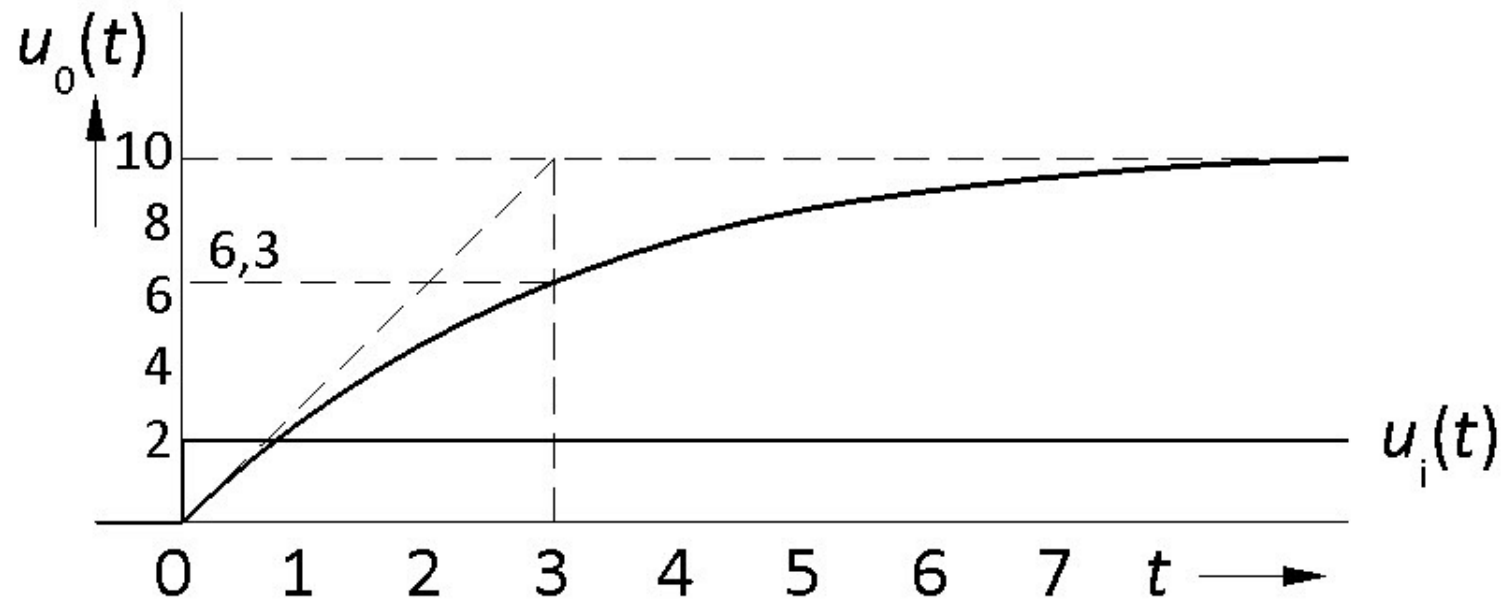
a. stapresponsie



b. pn-beeld

Fig 4.3: Bepaling mathematisch model uit stapresponsie

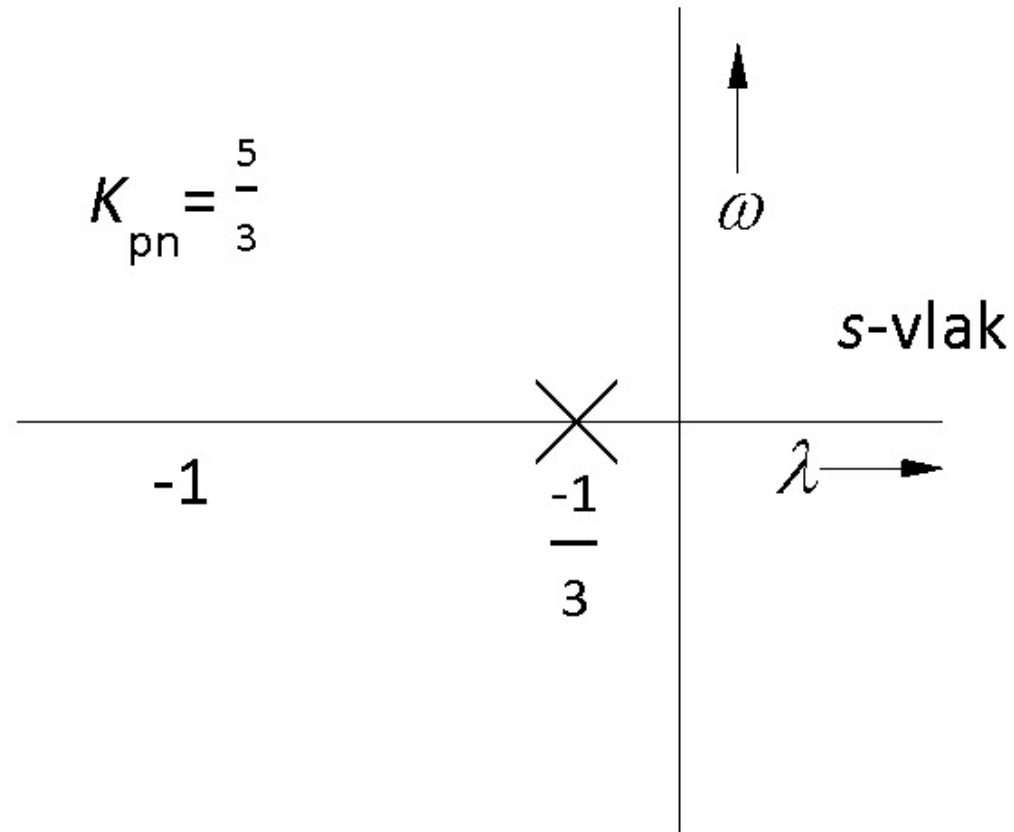
Fig 4.3a



a. stapresponsie

Fig 4.3a: stapresponsie (a)

Fig 4.3b



b. pn-beeld

Fig 4.3b: pn-beeld (b)

Fig 4.4

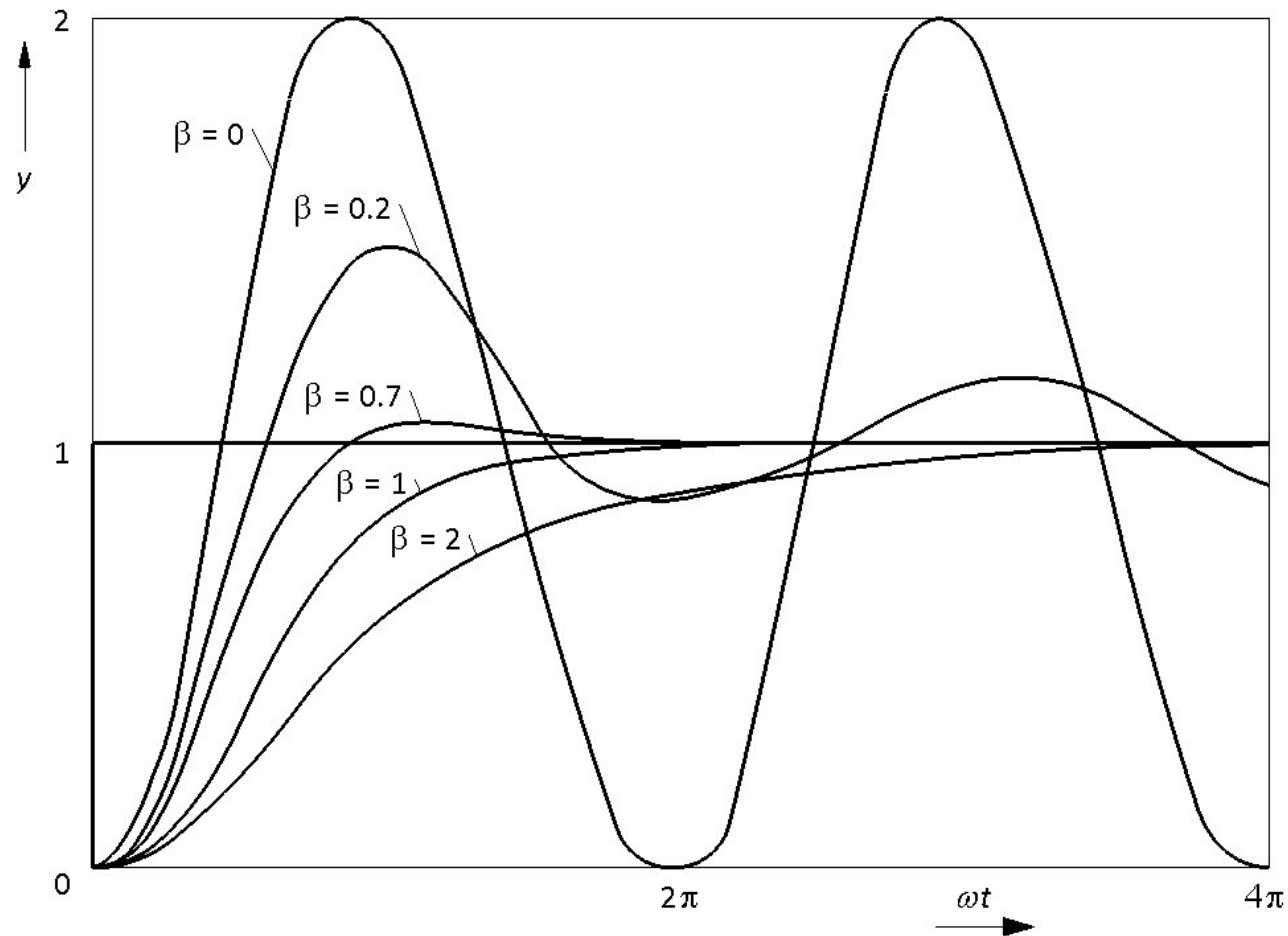


Fig 4.4: Kenmerkende stapresponsies tweede-ordessysteem

Fig 4.5

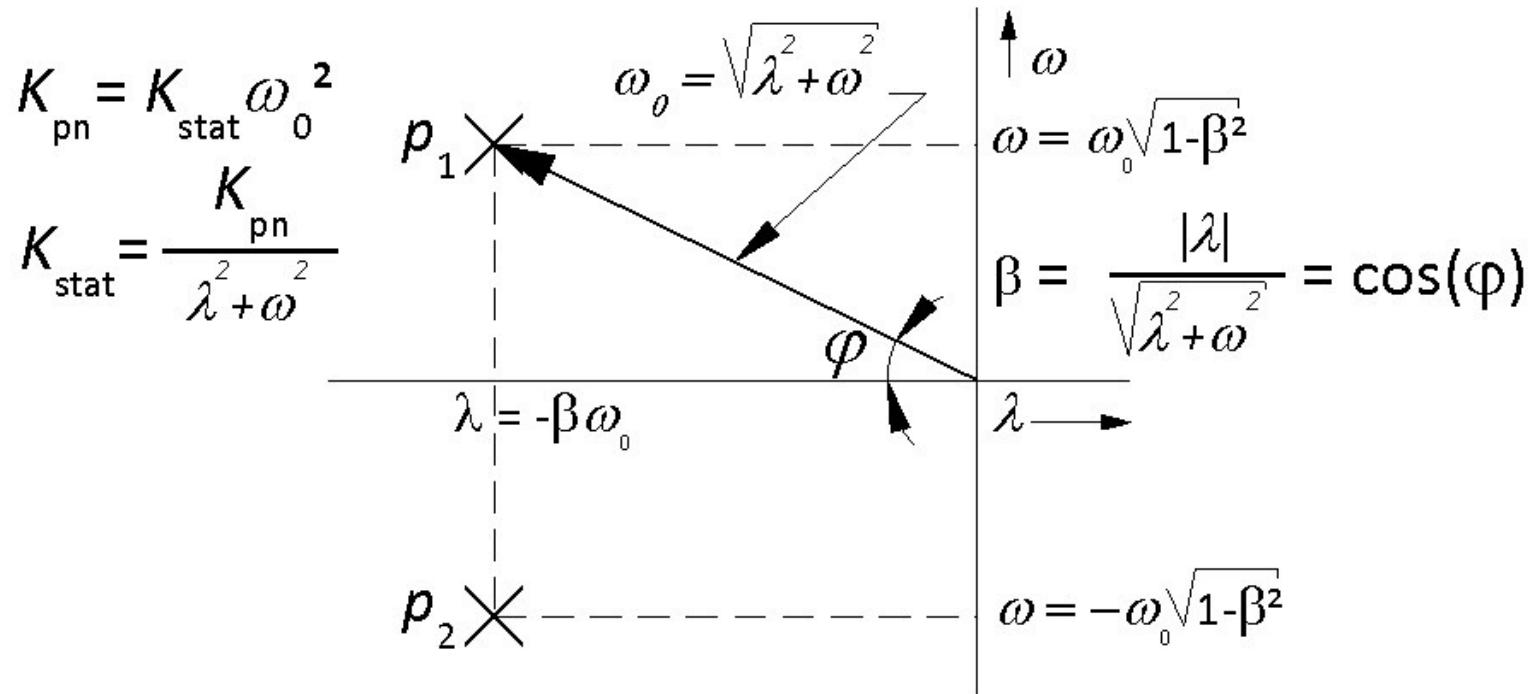


Fig 4.5: Grafisch verband Kpn, Lambda, Omega-vorm en Kstat, β , Omega_0-vorm

Fig 4.6

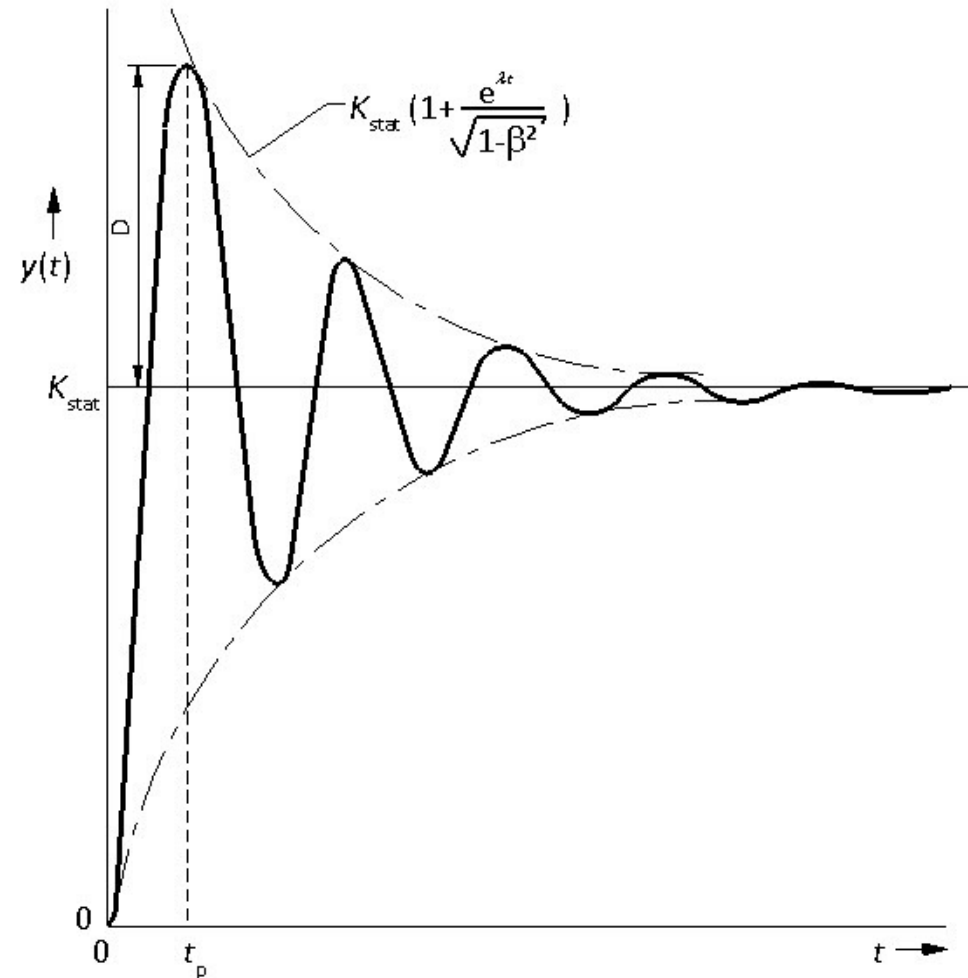


Fig 4.6: Stapresponsie met doorschot en omhullende e-machten

Fig 4.7

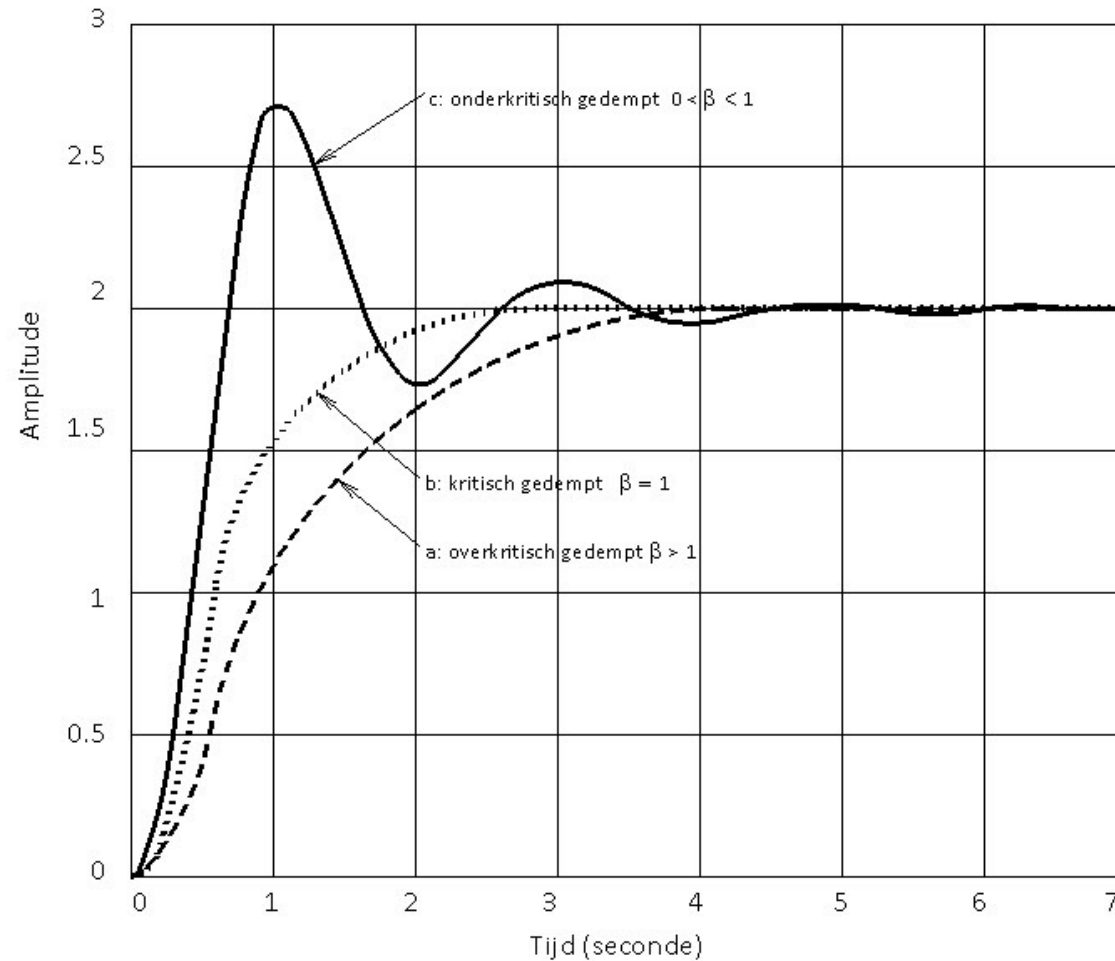


Fig 4.7: Weergave van de drie mogelijke stapresponsies van een tweede-ordersysteem

Fig 4.8

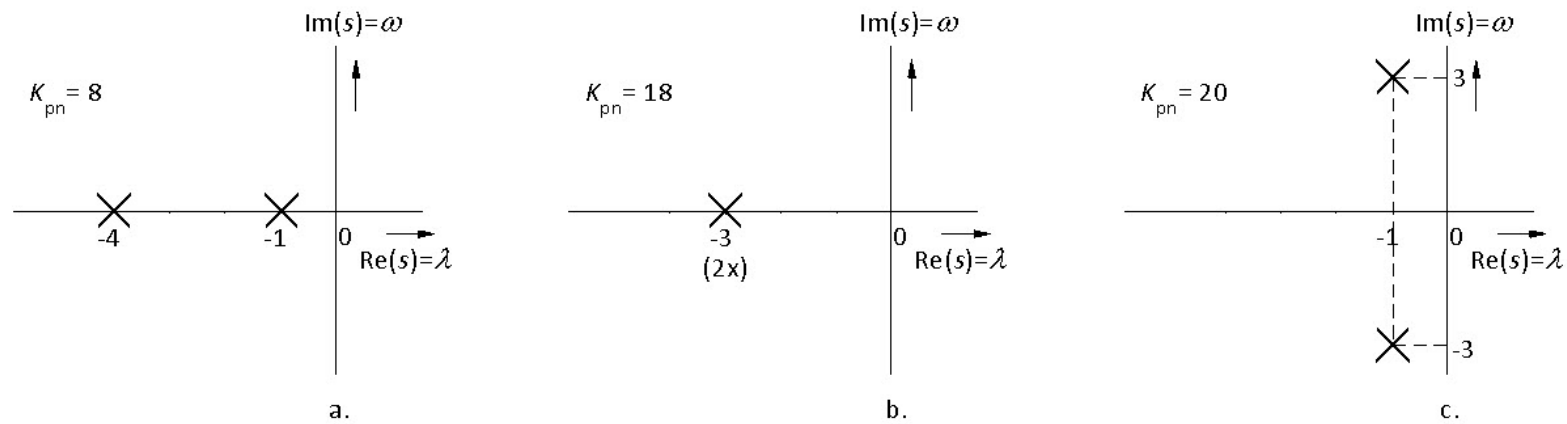
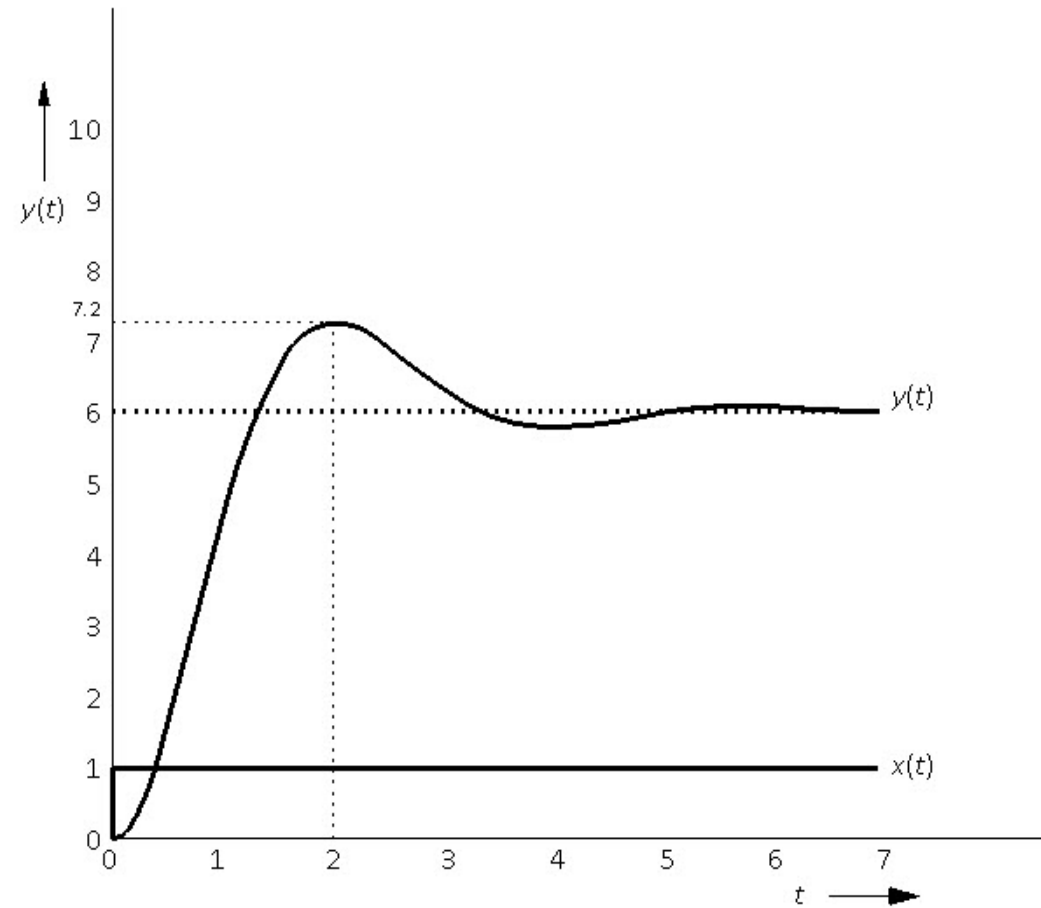


Fig 4.8: PN-beelden van een a) overkritisch $\beta > 1$, b) kritisch $\beta = 1$ en c) onderkritisch $0 < \beta < 1$ gedempt tweede-ordesysteem

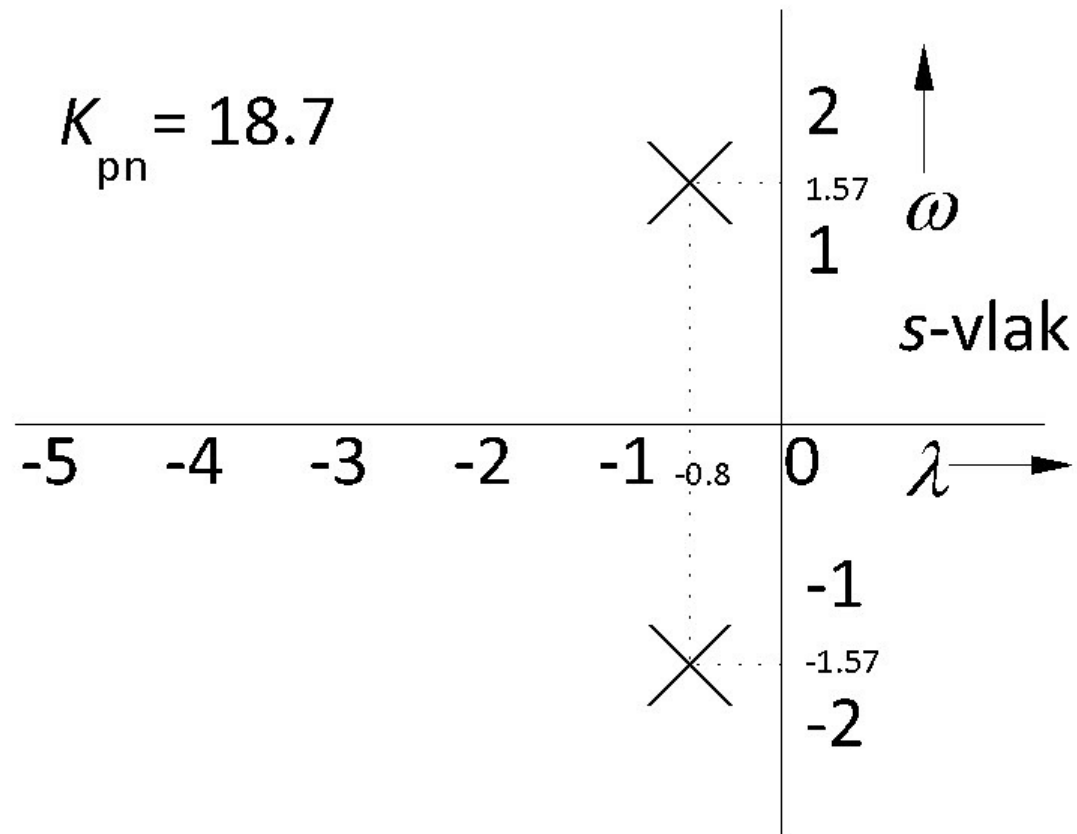
Fig 4.9a



a. eenheidsstapresponsie

Fig 4.9a: Stapresponsie (a)

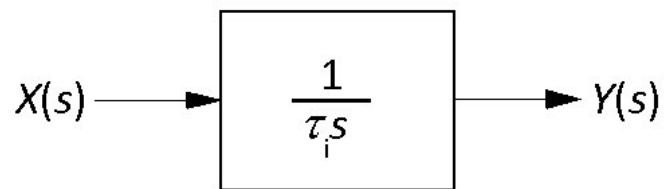
Fig 4.9b



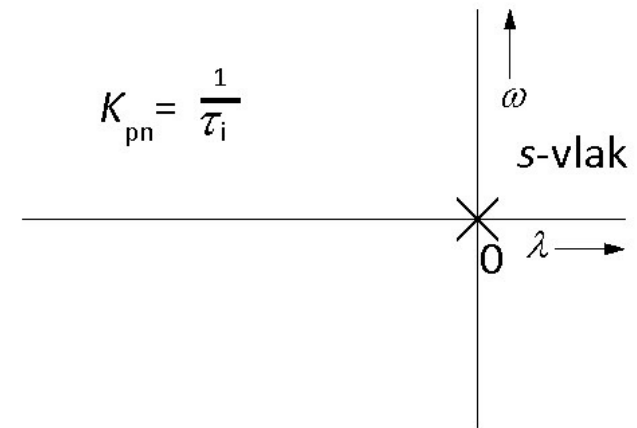
b. polen- en nulpunten beeld

Fig 4.9b: pn-beeld (b)

Fig 4.10



a. blokschema integrator



b. pn-beeld integrator

Fig 4.10: Blokschema (a) en pn-beeld (b) van een integrator

Fig 4.11

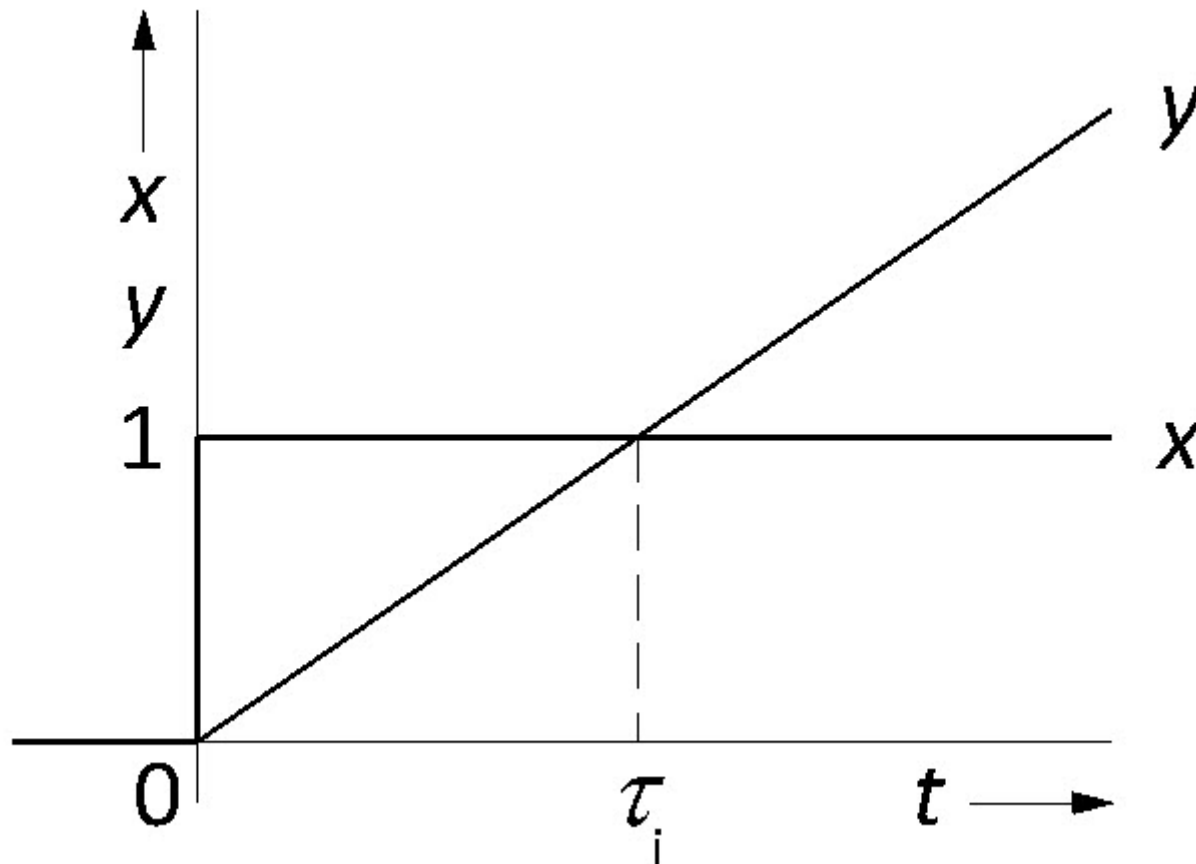
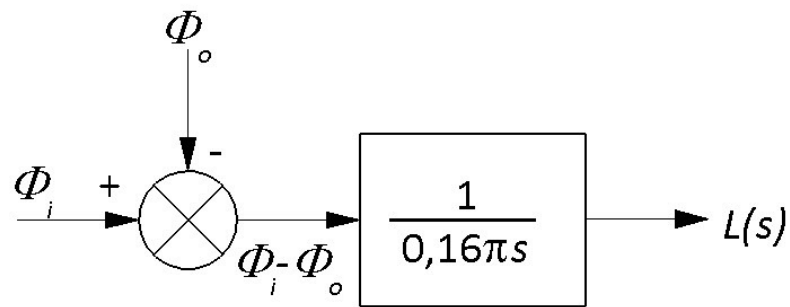
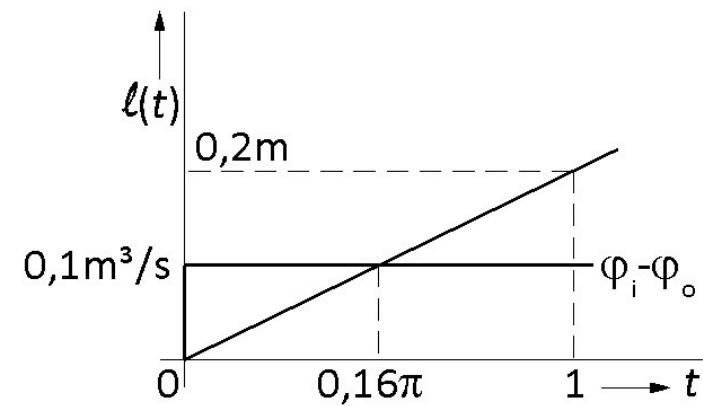


Fig 4.11: Stapresponsie van een integrator

Fig 4.12



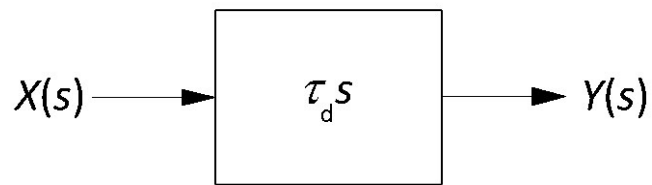
a. blokschema



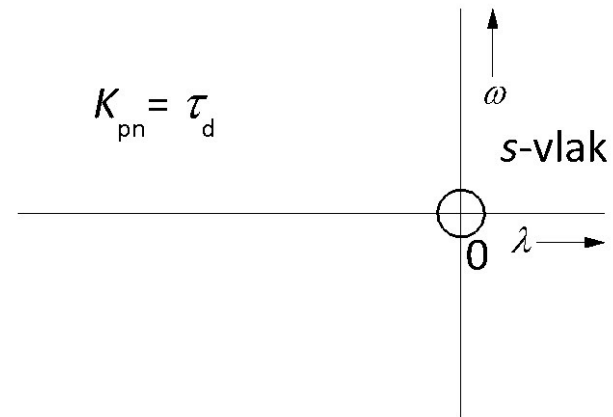
b. niveauperloop

Fig 4.12: Niveauproces opgevat als integrator

Fig 4.13



a. blokschema differentiator



b. pn-beeld differentiator

Fig 4.13: Blokschema (a) en pn-beeld (b) van een differentiator

Fig 4.14

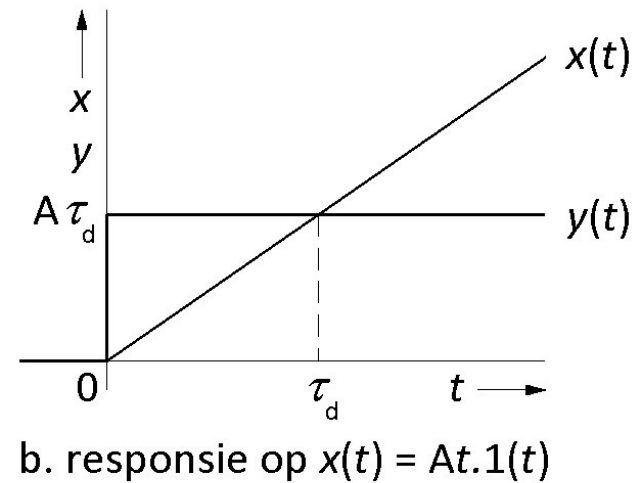
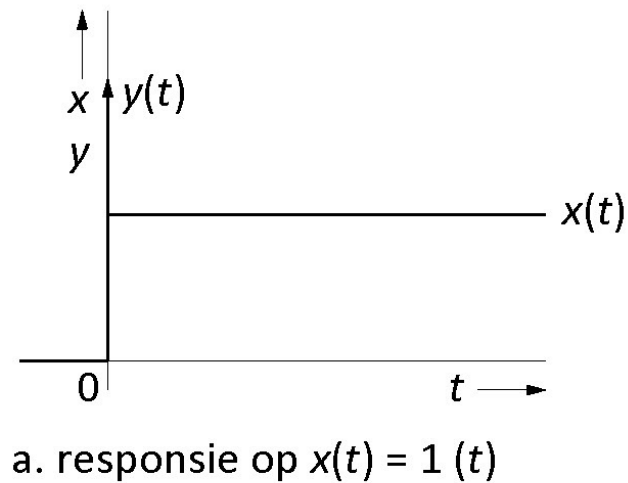
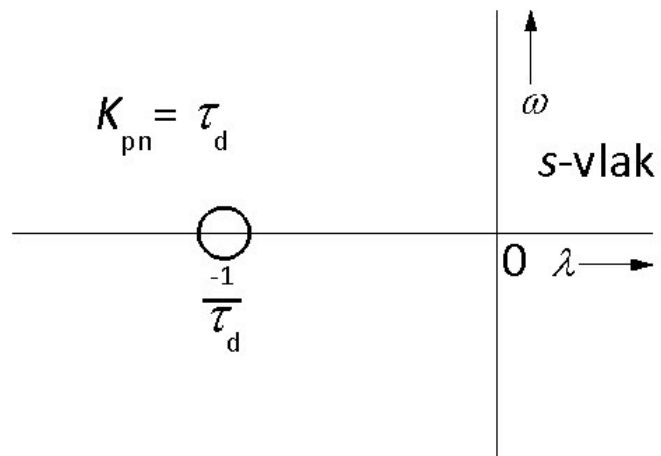
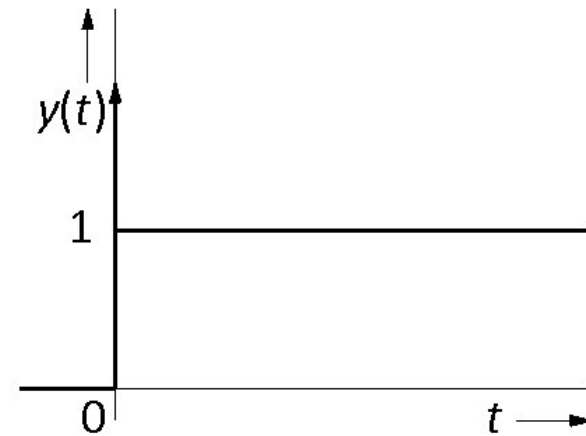


Fig 4.14: Responsies differentiator: (a) responsie op $x(t) = 1(t)$, (b) responsie op $x(t) = A \cdot t \cdot 1(t)$

Fig 4.15



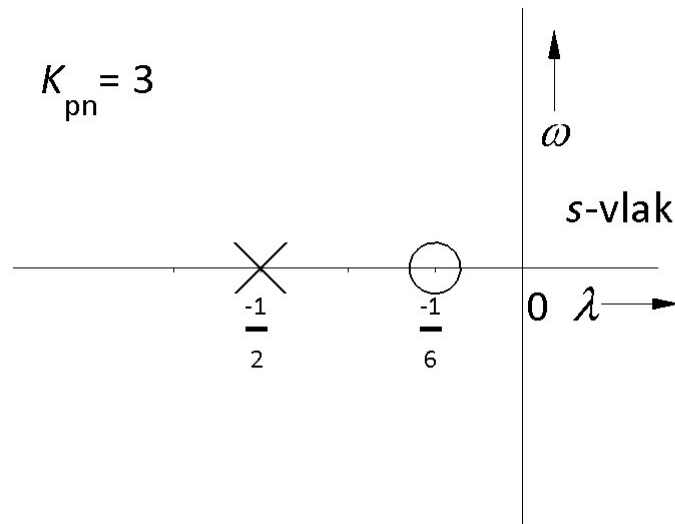
a. pn-beeld



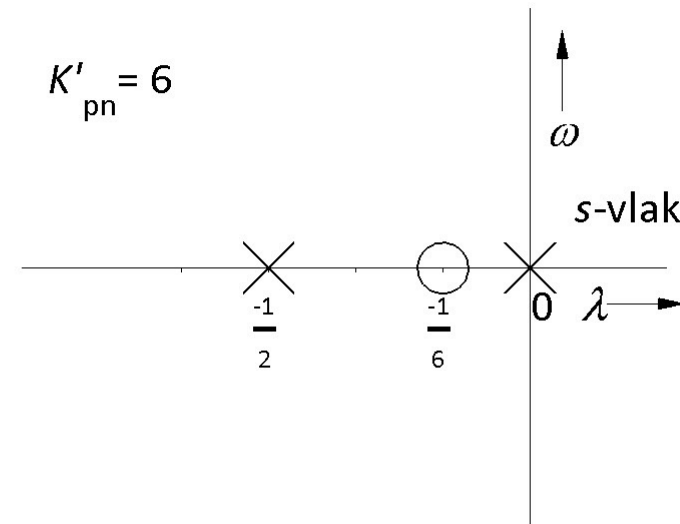
b. eenheidsstapresponsie

Fig 4.15: Pn-beeld (a) en eenheidsstapresponsie (b) van onzuivere differentiator

Fig 4.16



a. pn-beeld van $H(s)$



b. pn-beeld van $Y(s)$

Fig 4.16: Getemde D-actie

Fig 4.17

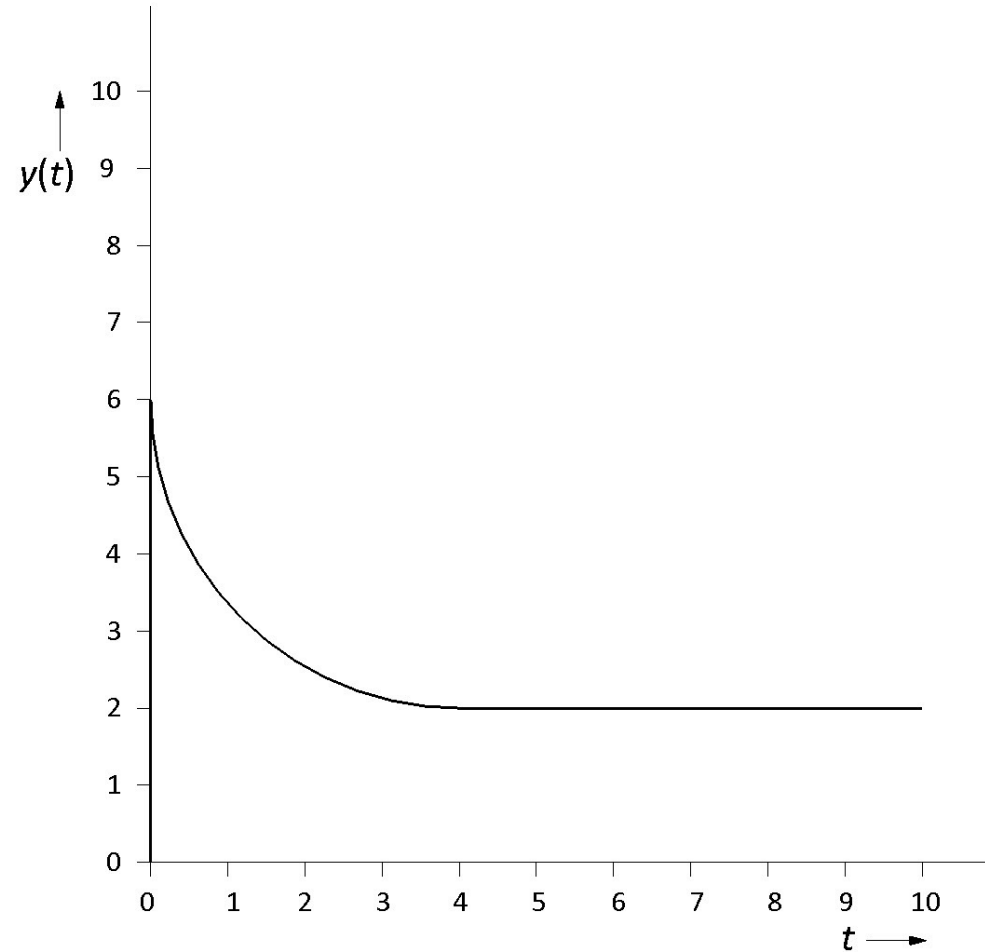


Fig 4.17: Stapresponsie van de getemde D-actie

Fig 4.18

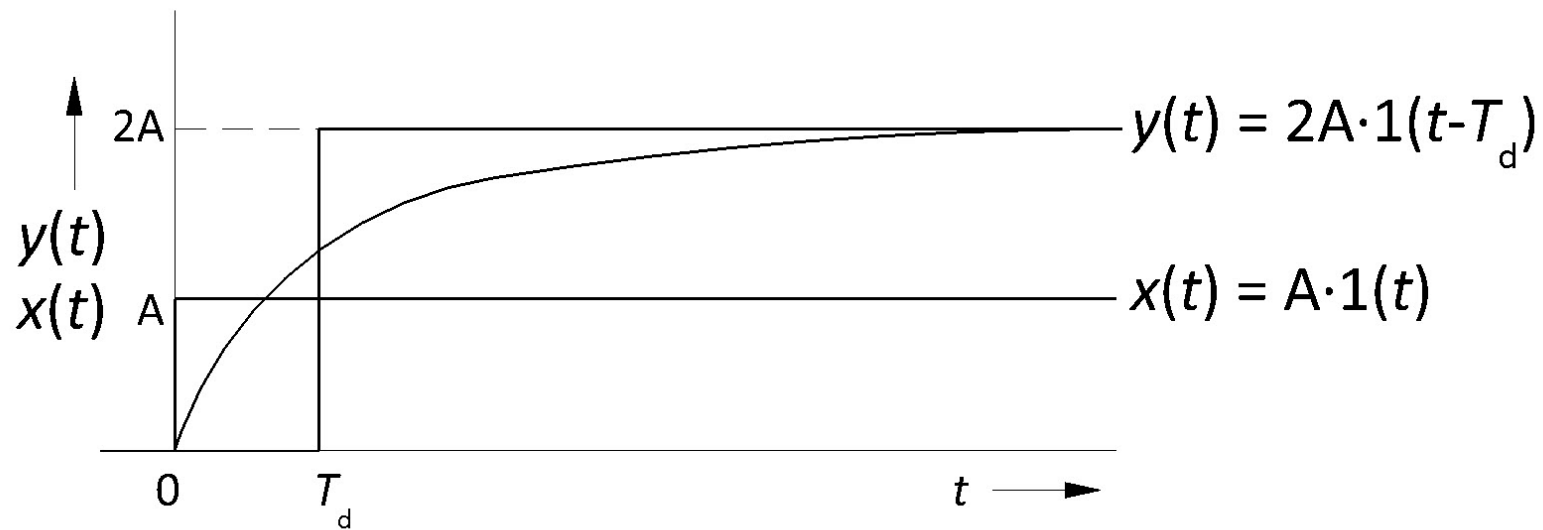


Fig 4.18: Stapresponsie van de looptijd en eerste-ordebenadering

Fig 4.19

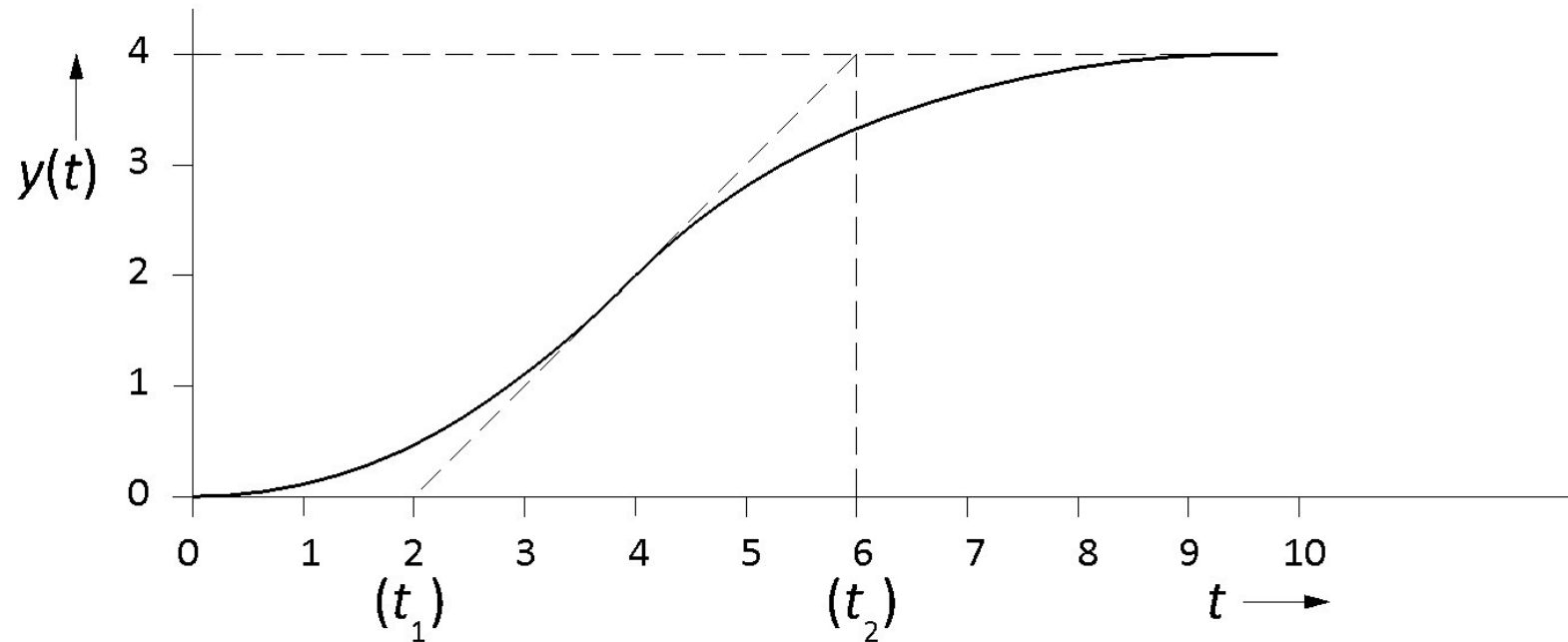


Fig 4.19: Stapresponsie van een tweede-ordesysteem

Fig 4.20

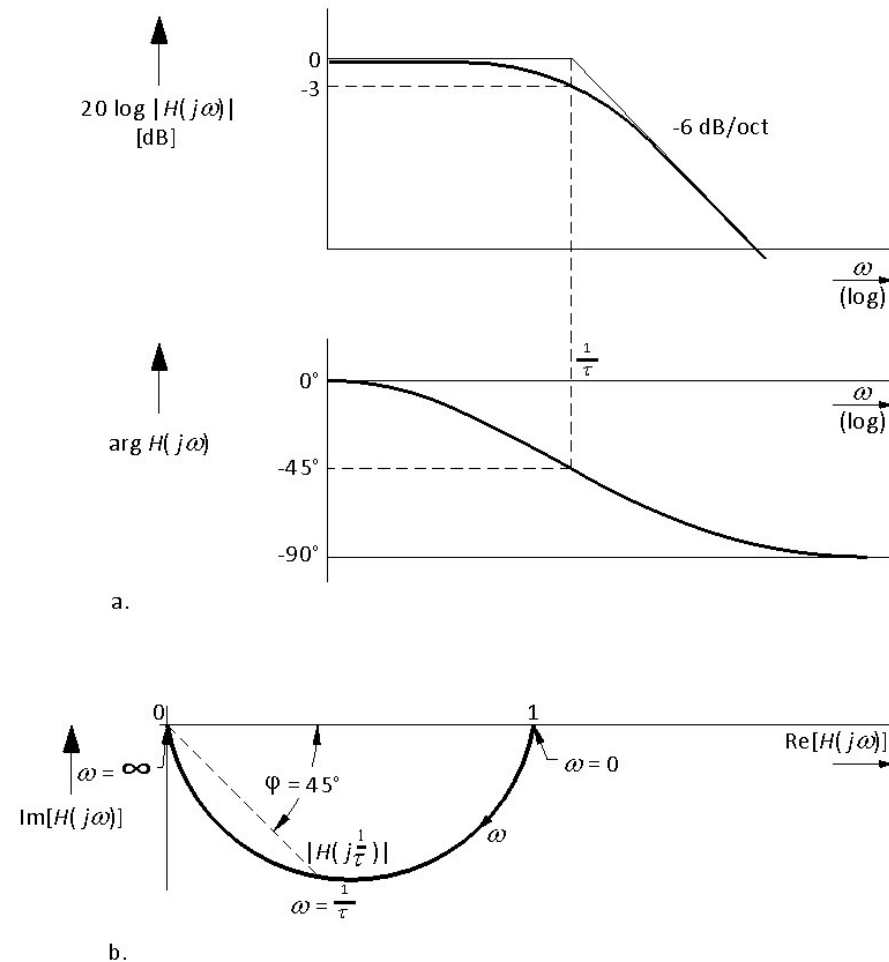
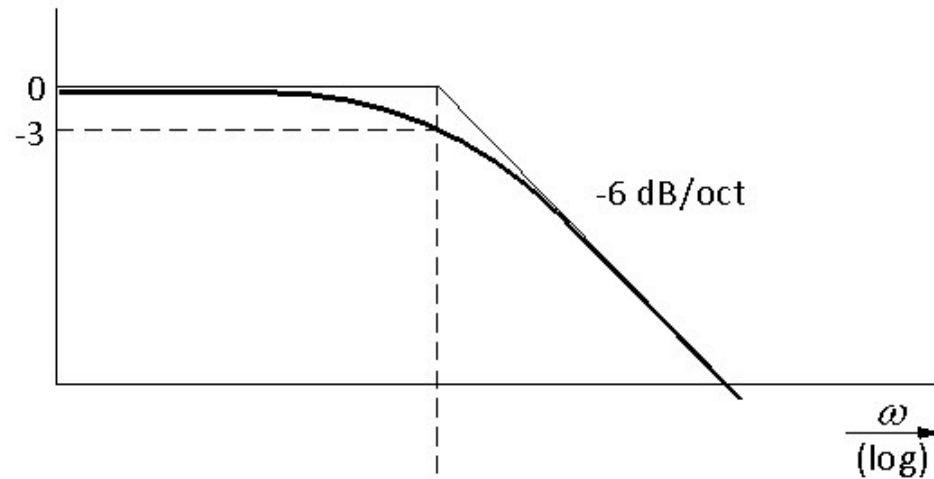


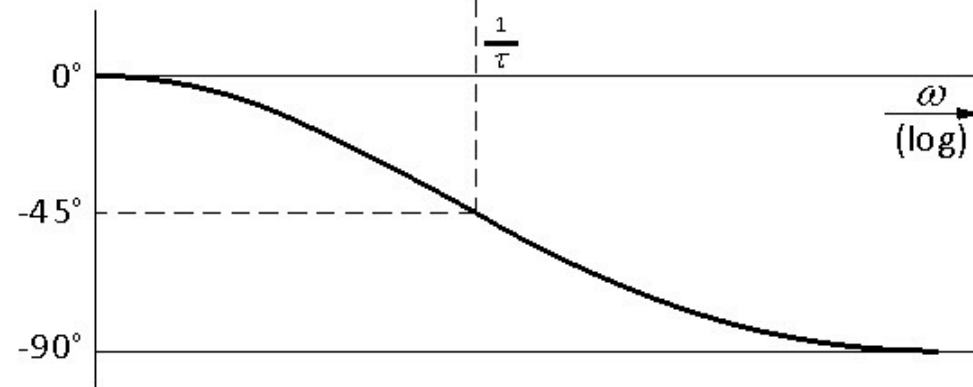
Fig 4.20: Bode-diagram (a) en polaire figuur (b) van een eerste-ordesysteem

Fig 4.20a

↑
 $20 \log |H(j\omega)|$
[dB]



↑
 $\arg H(j\omega)$



a.

Fig 4.20a: Bode-diagram (a) van een eerste-ordesysteem

Fig 4.20b

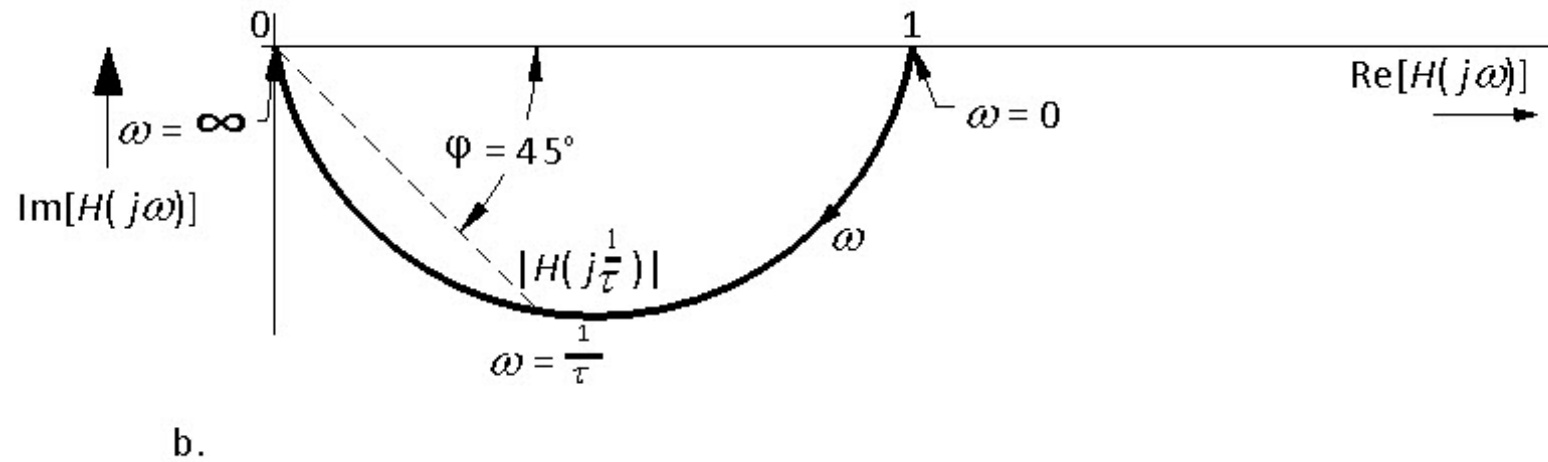
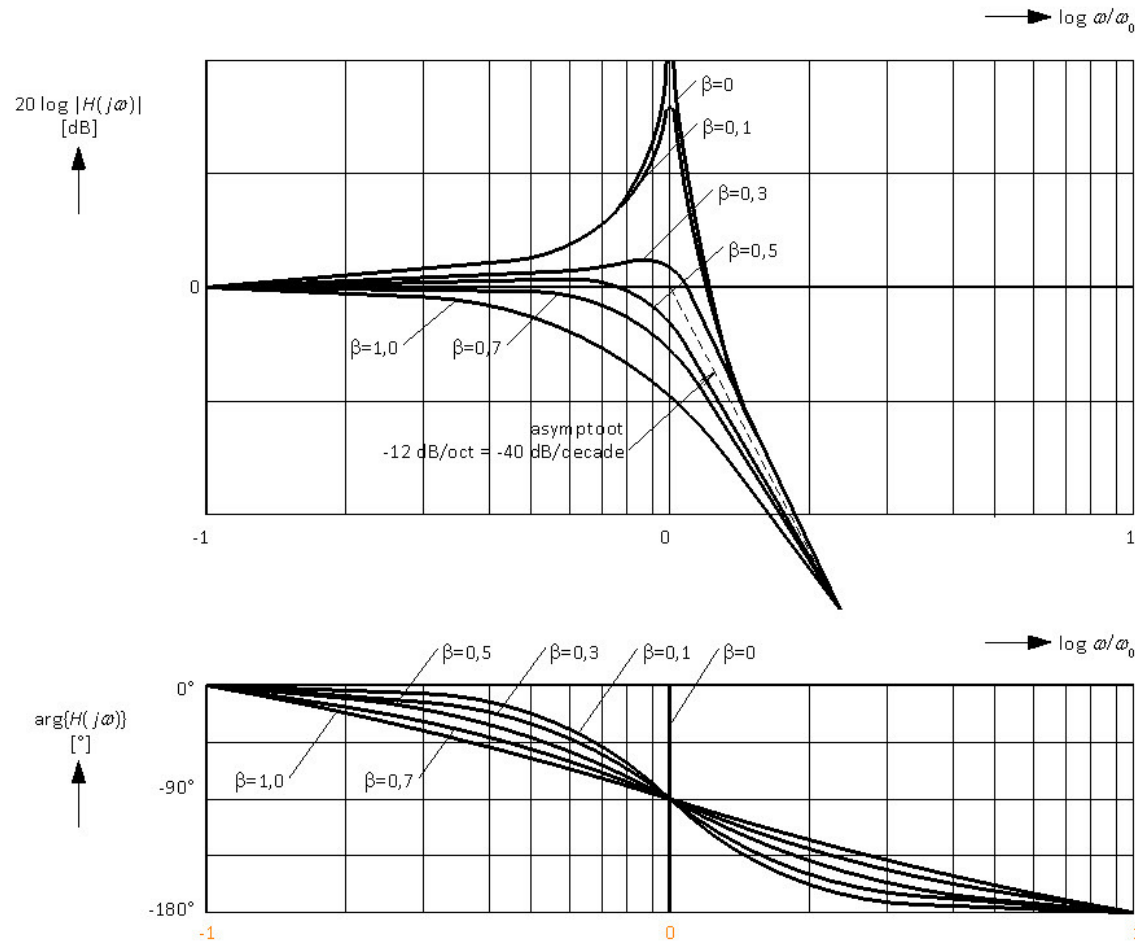


Fig 4.20b: Polaire figuur (b) van een eerste-ordesysteem

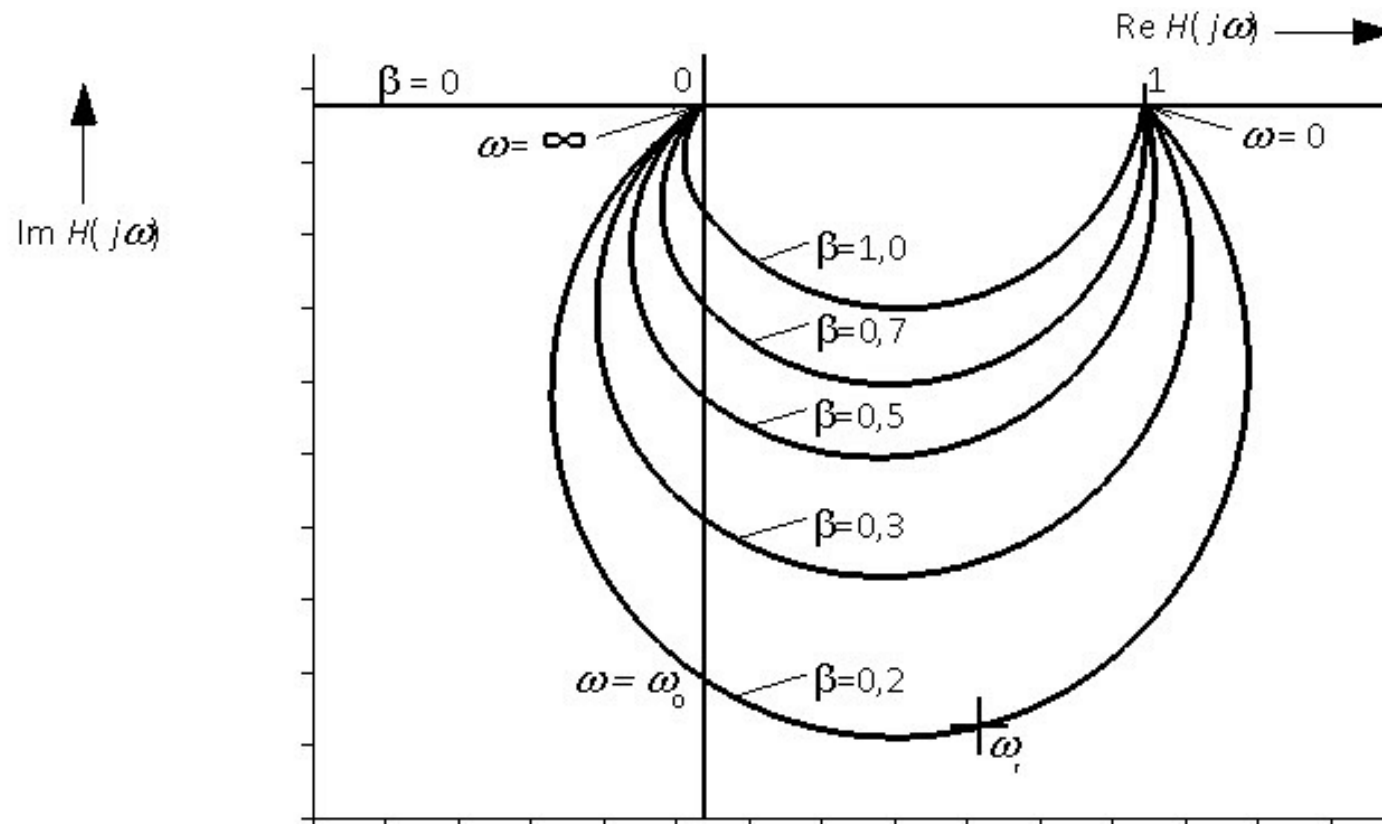
Fig 4.21a



a.

Fig 4.21a: Bode-diagram (a) van een tweede-ordesysteem voor verschillende waarden van β

Fig 4.21b



b.

Fig 4.21b: Polaire figuur (b) van een tweede-ordestelsel voor verschillende waarden van β

Fig 4.22

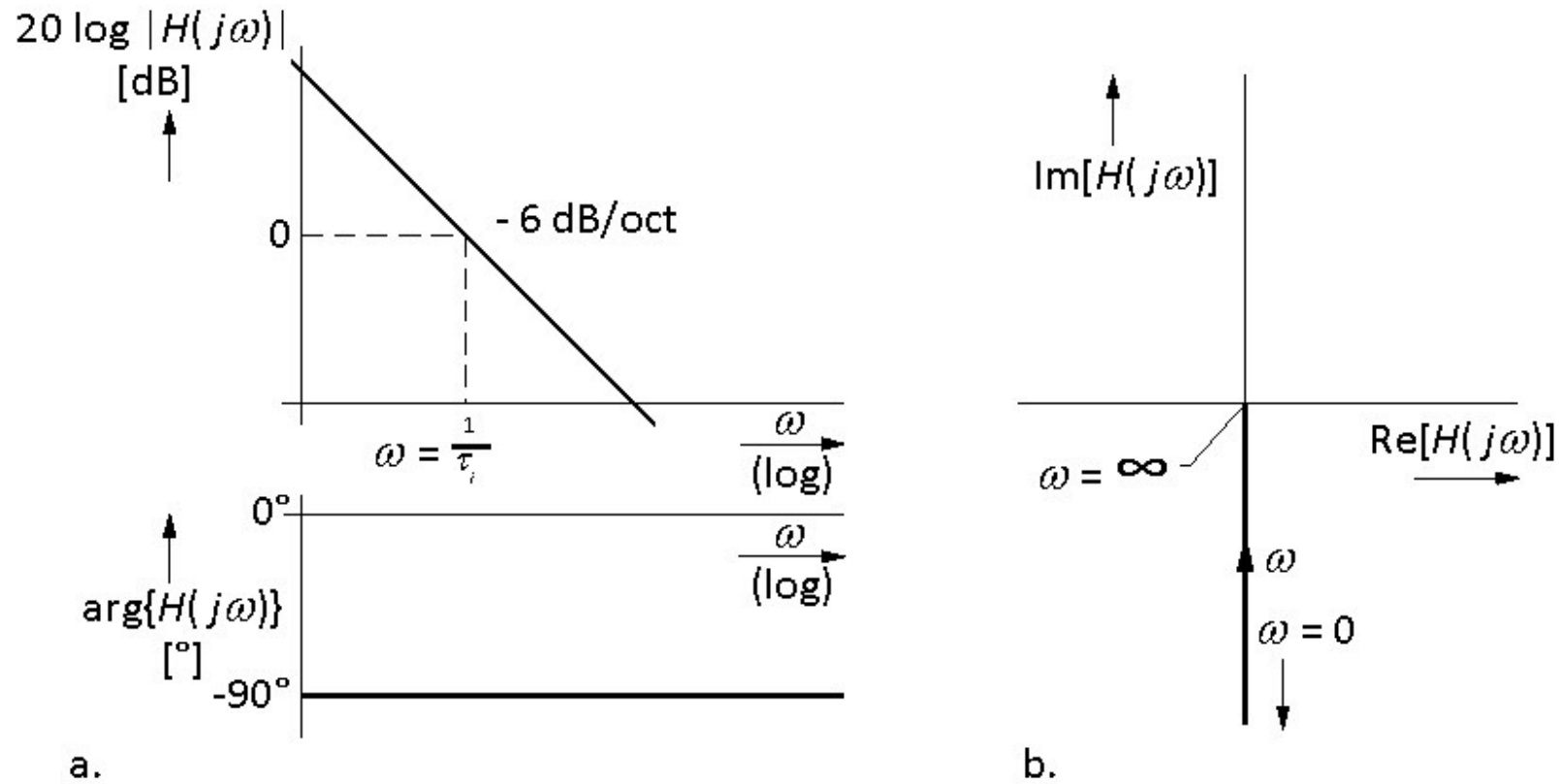


Fig 4.22: Bode-diagram (a) en polaire figuur (b) van de integrator

Fig 4.23

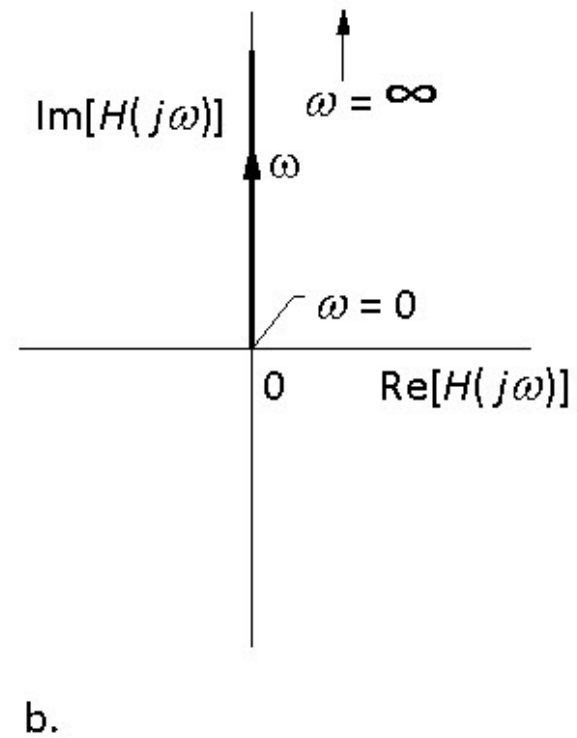
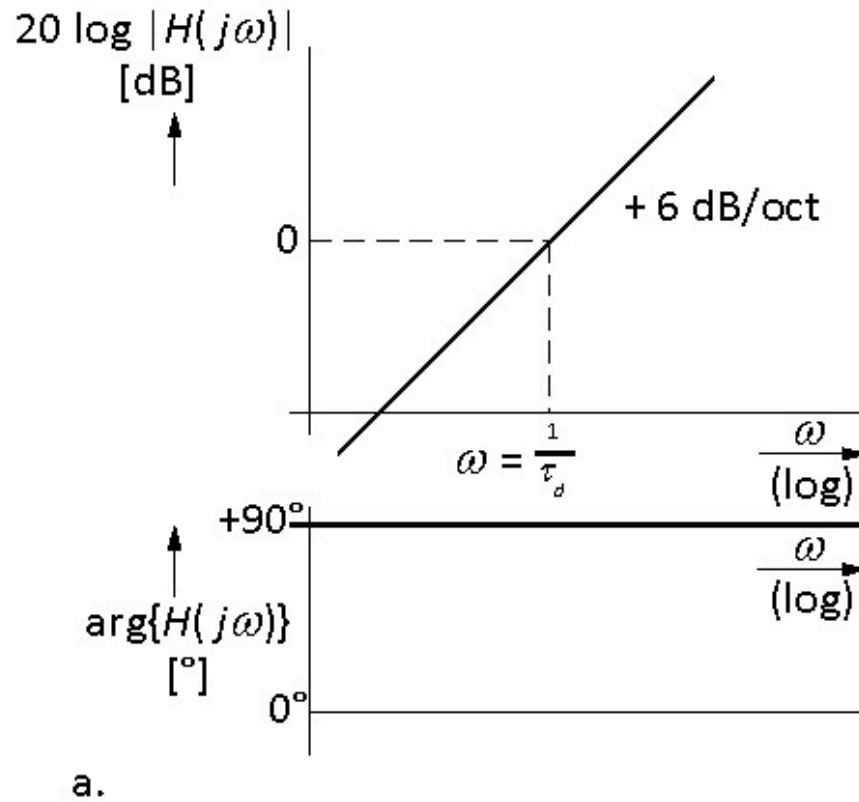


Fig 4.23: Bode-diagram (a) en polaire figuur (b) van de differentiator

Fig 4.24

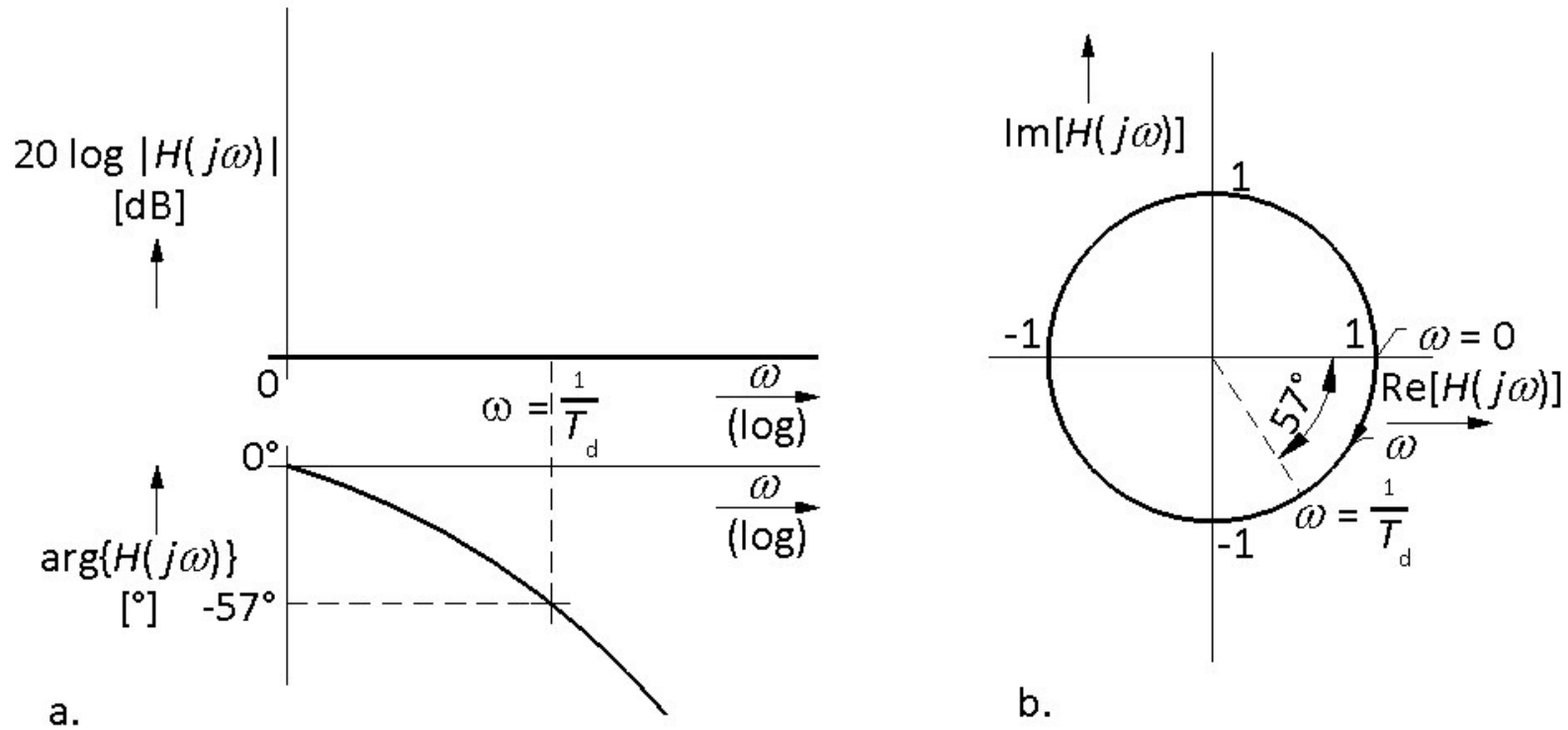


Fig 4.24: Bode-diagram (a) en polaire figuur (b) van een systeem met looptijd

Fig 4.25

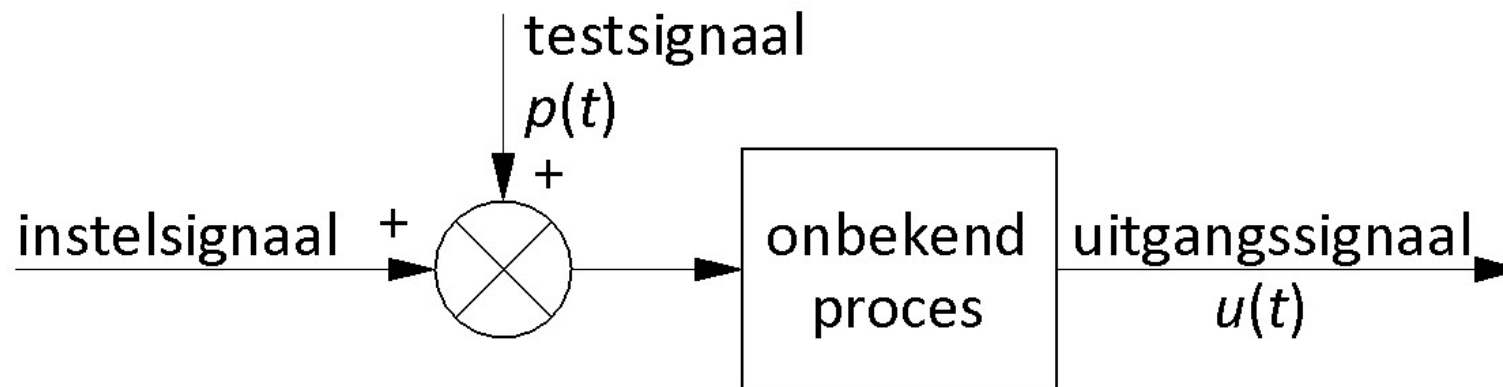


Fig 4.25: Meetopstelling voor bepaling stapresponsie

Fig 4.26

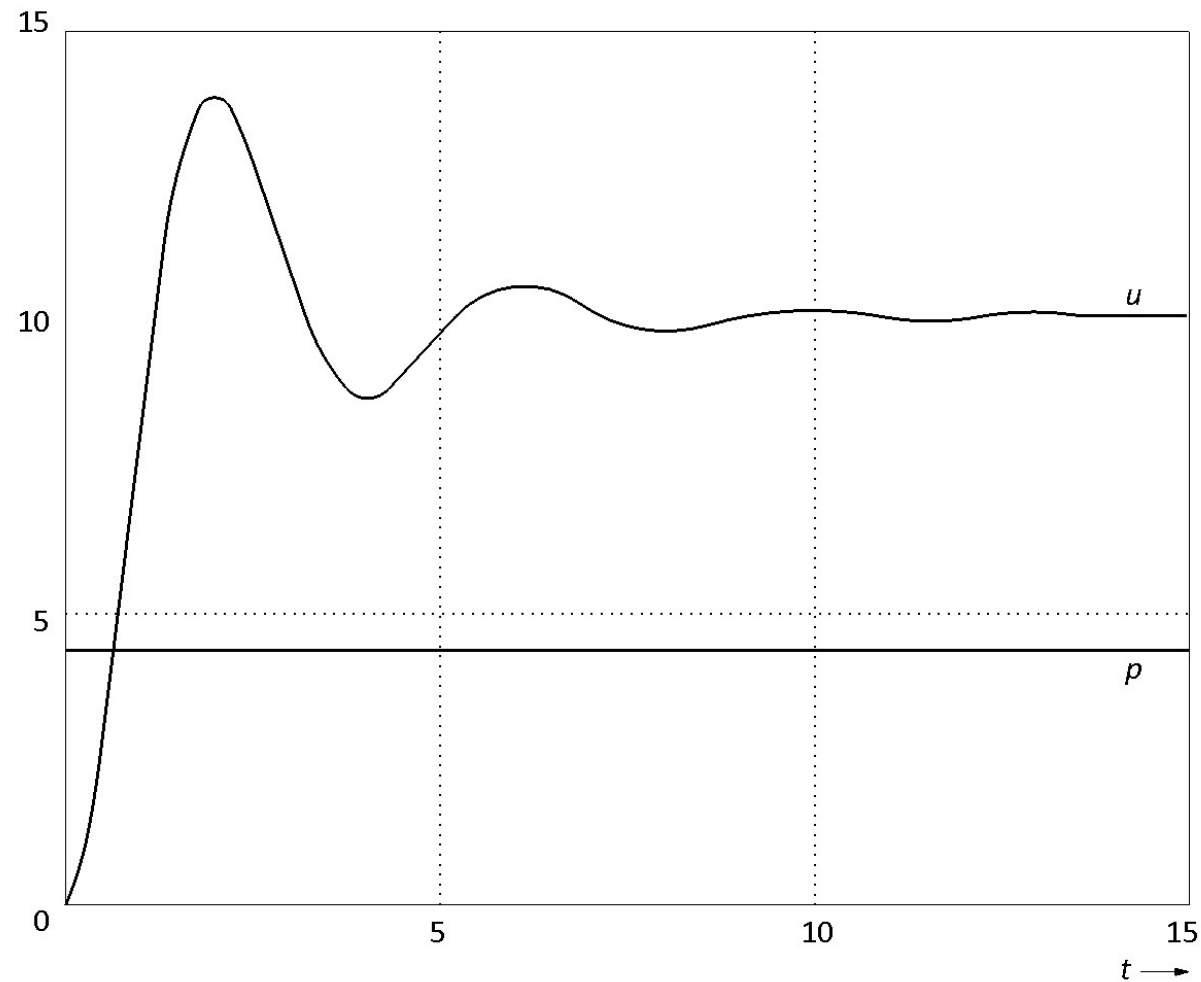


Fig 4.26: Stapresponsie van het proces

Fig 4.27

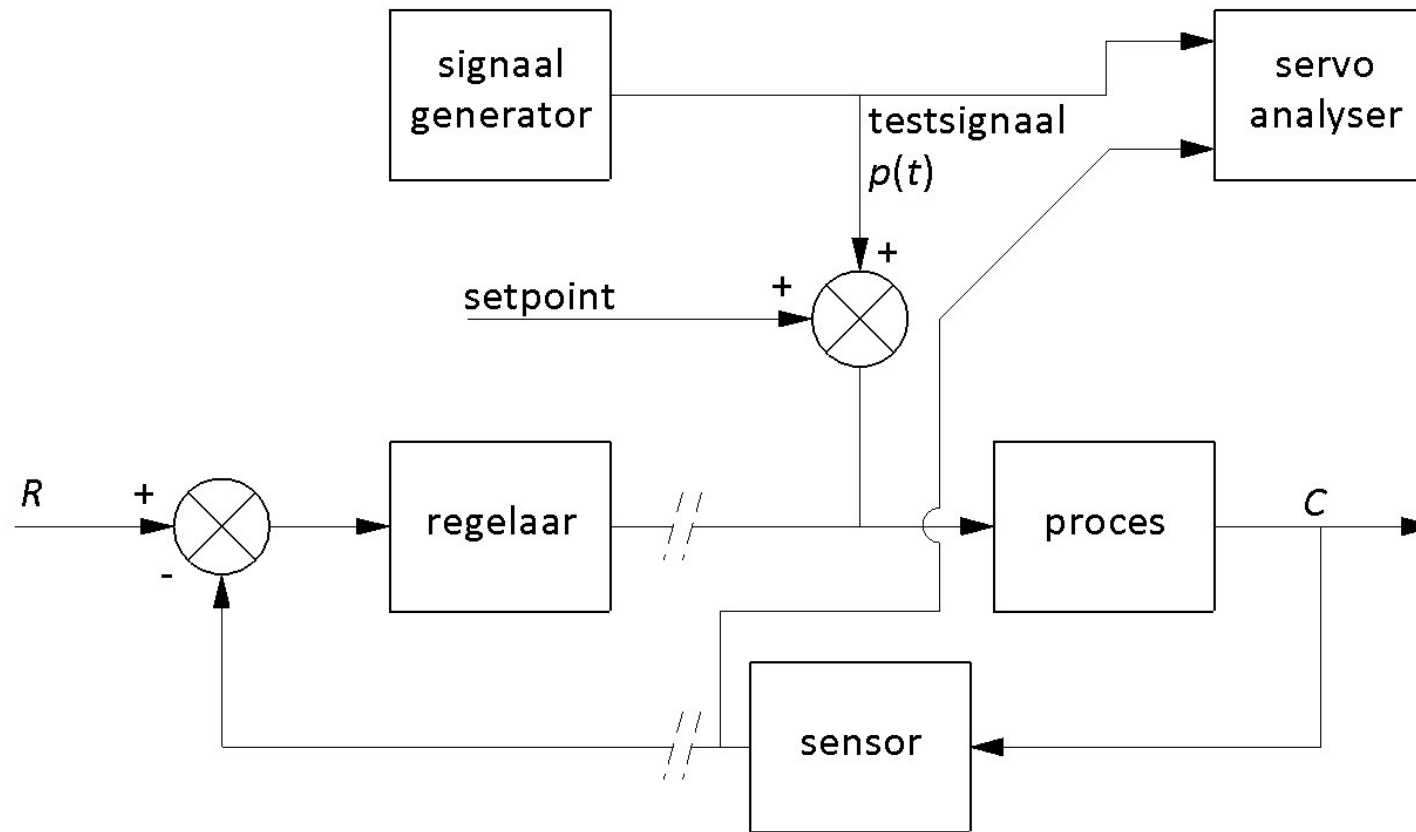


Fig 4.27: Bepaling overbrengingsfunctie met behulp van frequentiemetingen

Fig 4.28

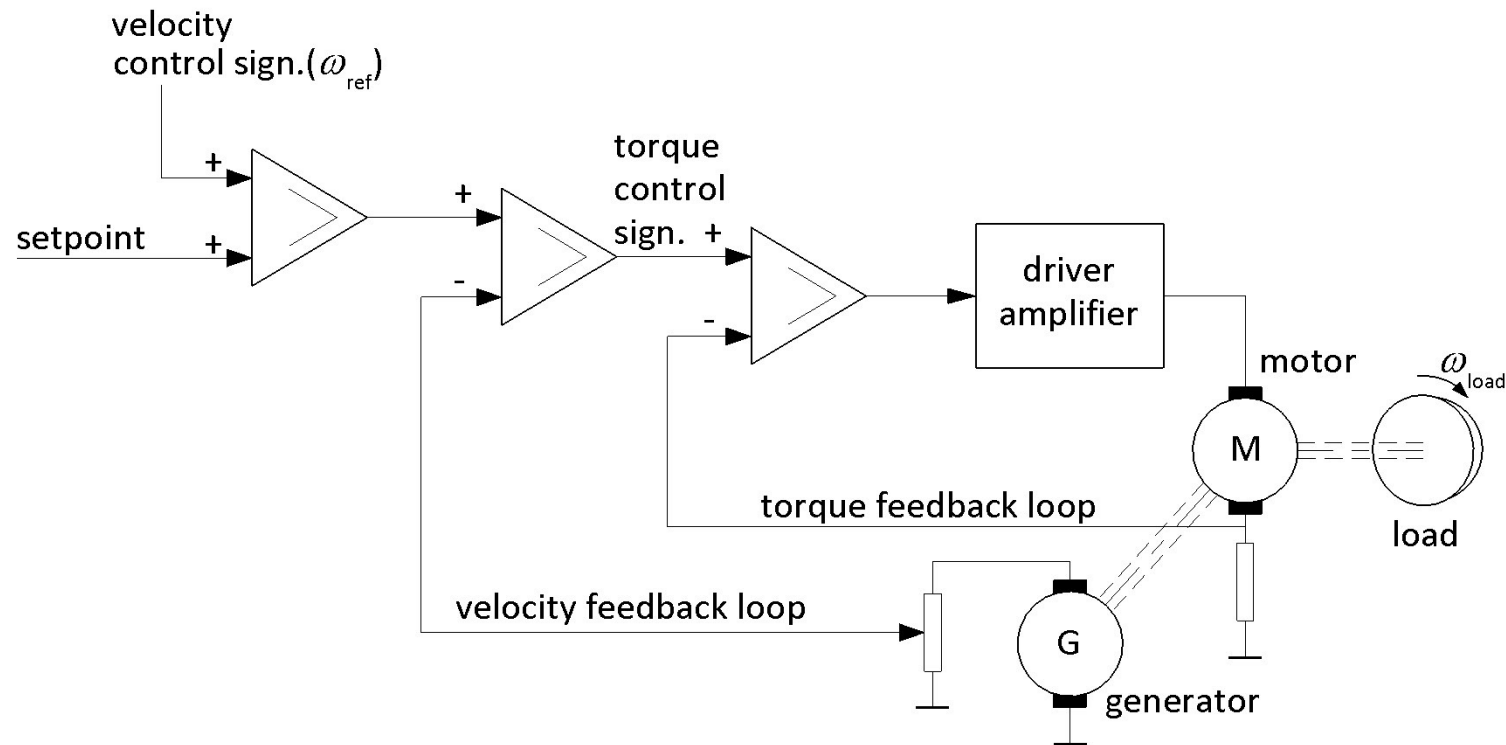


Fig 4.28: Servosysteem

Fig 4.29

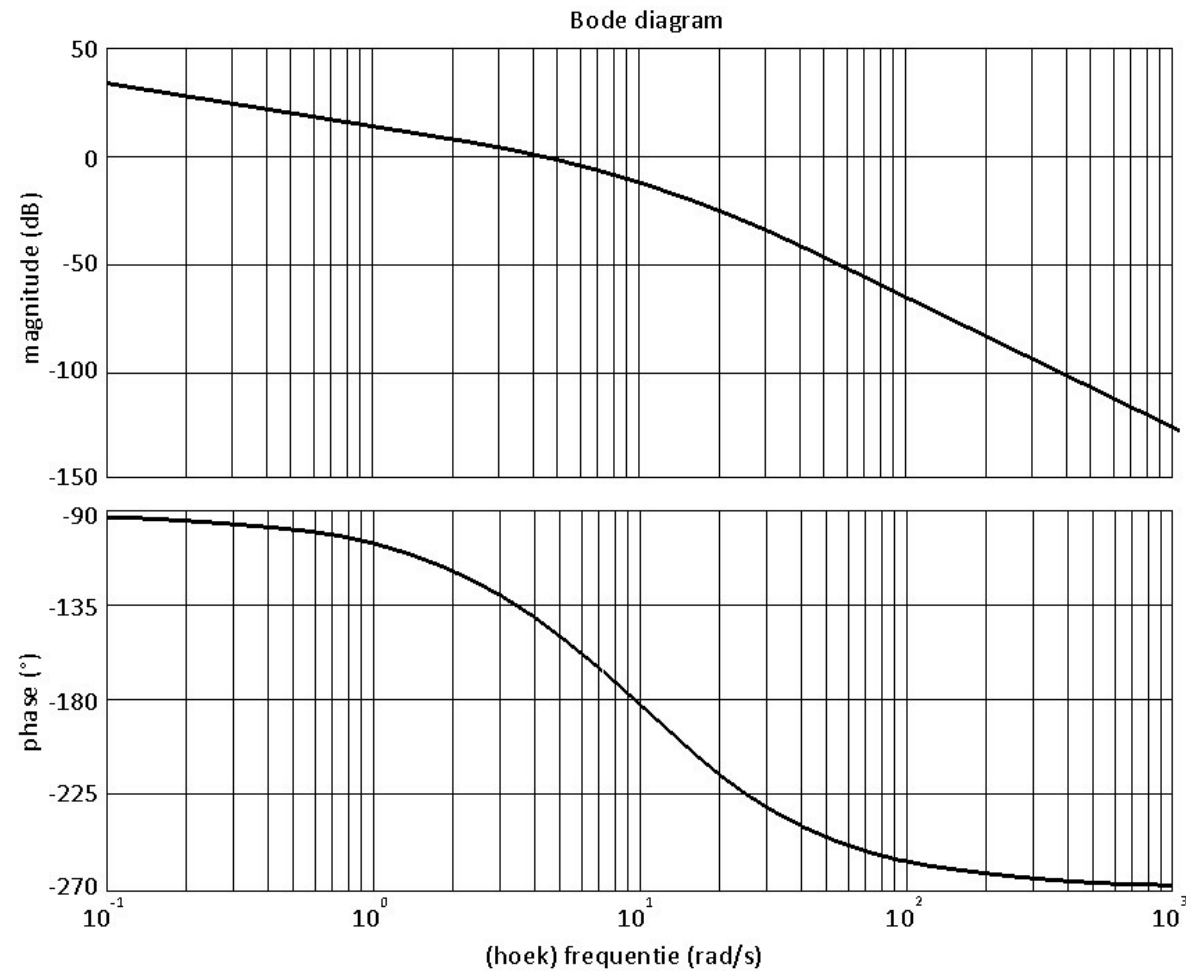


Fig 4.29: Frequentieresponsie-plot van servosysteem

Fig 4.30

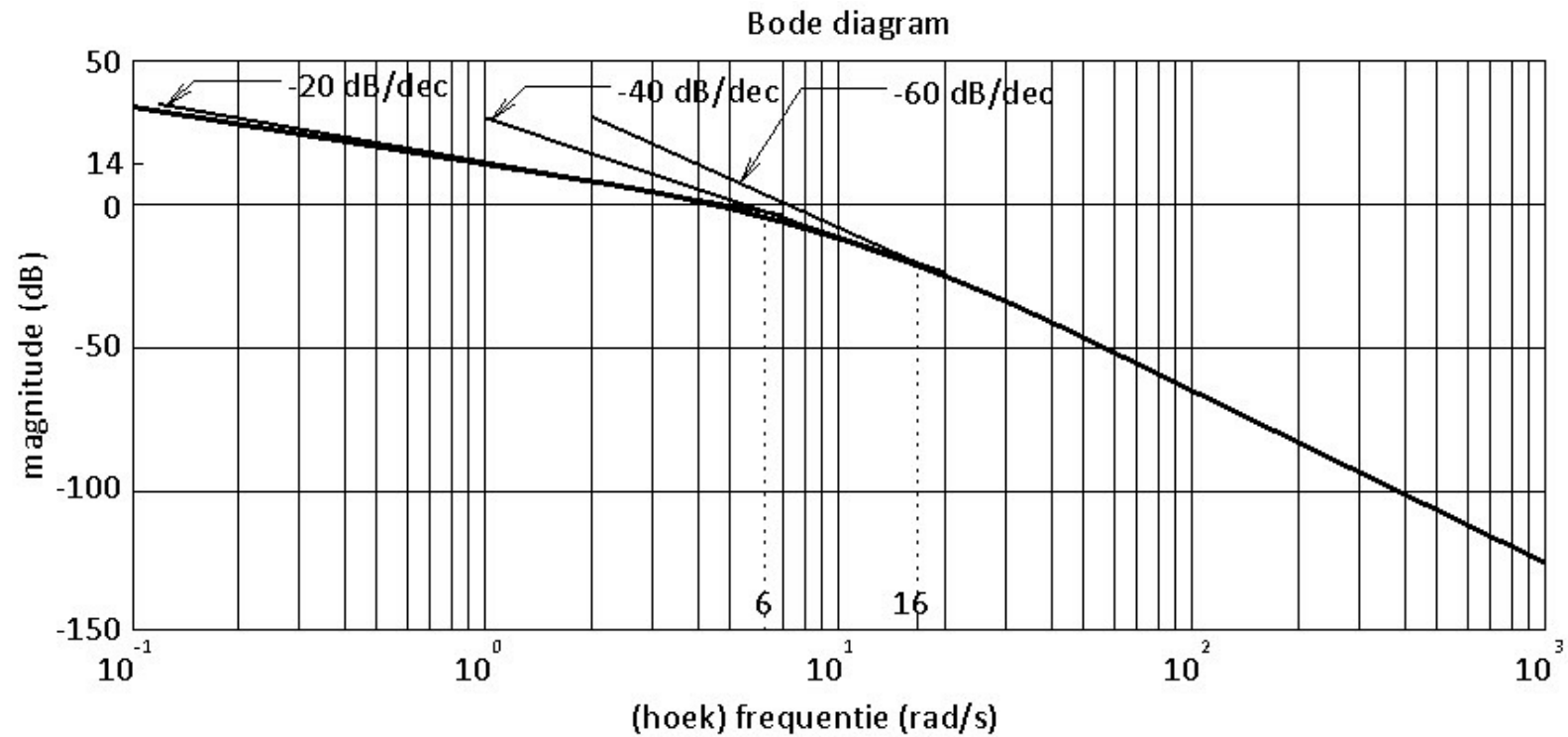
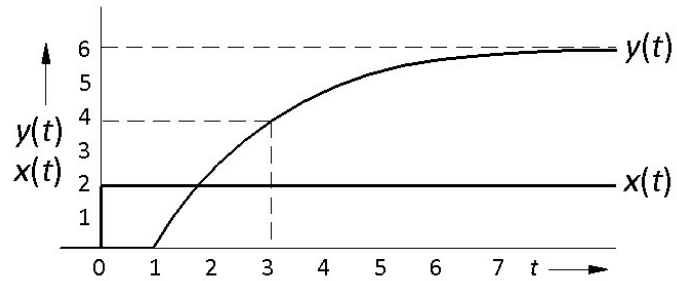
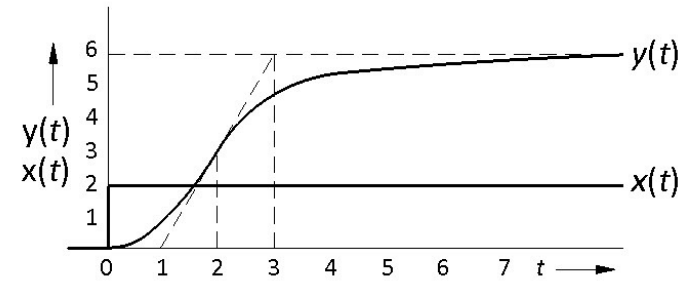


Fig 4.30: Asymptoten van het Bode-diagram

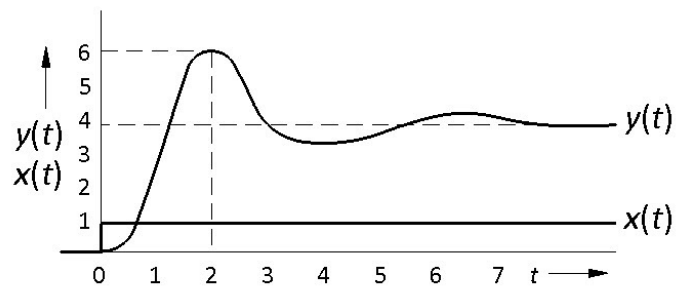
Fig 4.31



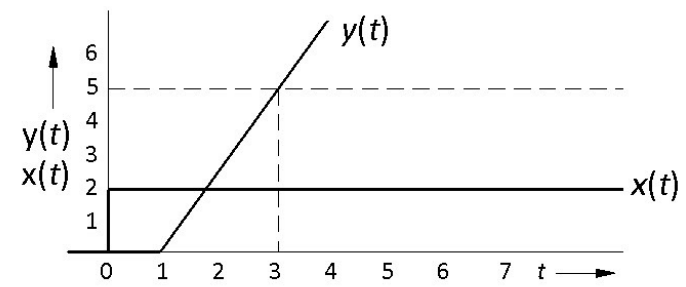
a.



b.



c.



d.

Fig 4.31: Stapresponsies bij opgave 1

Fig 4.32a

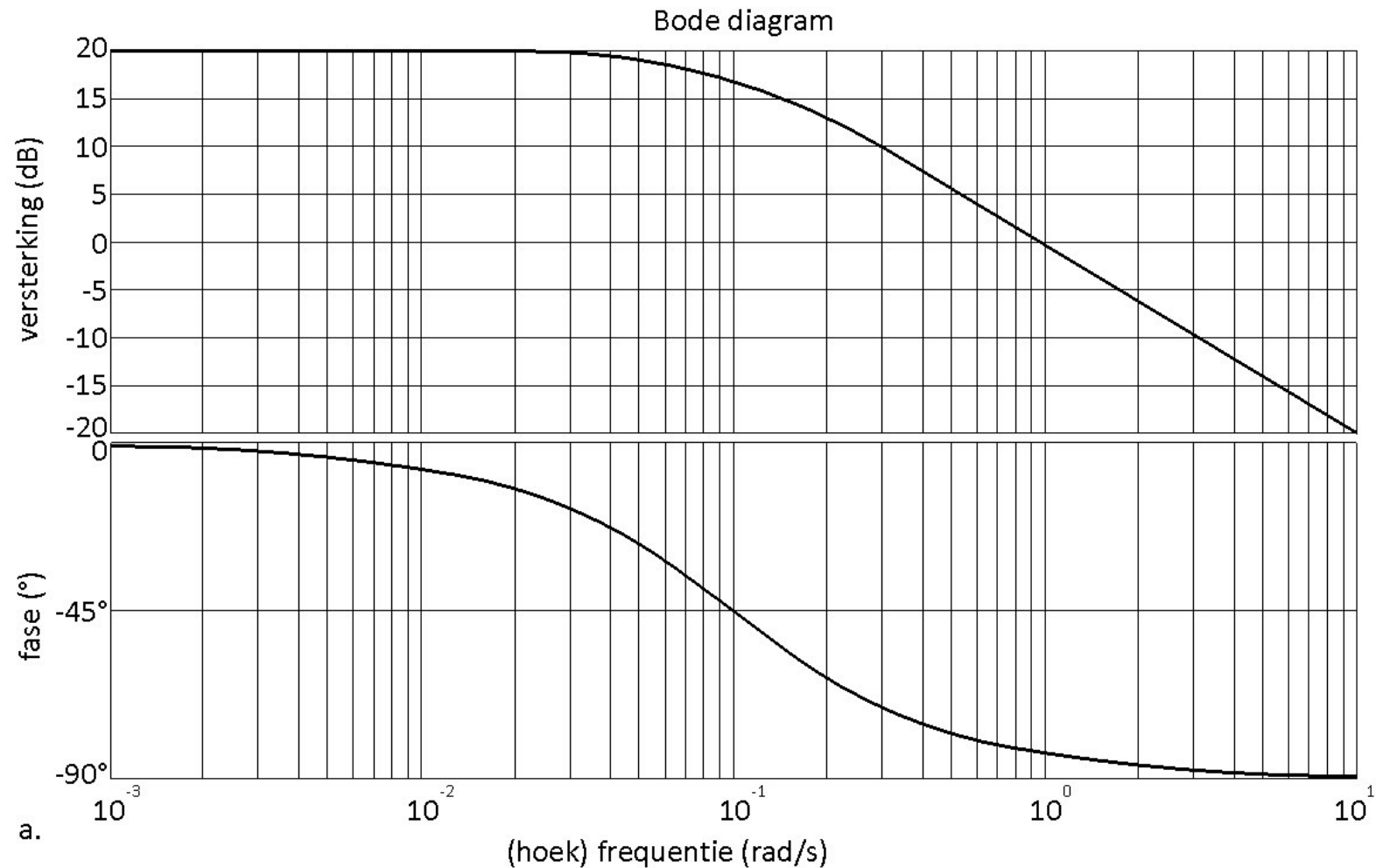


Fig 4.32a: Bode-diagrammen bij opgave 4

Fig 4.32b

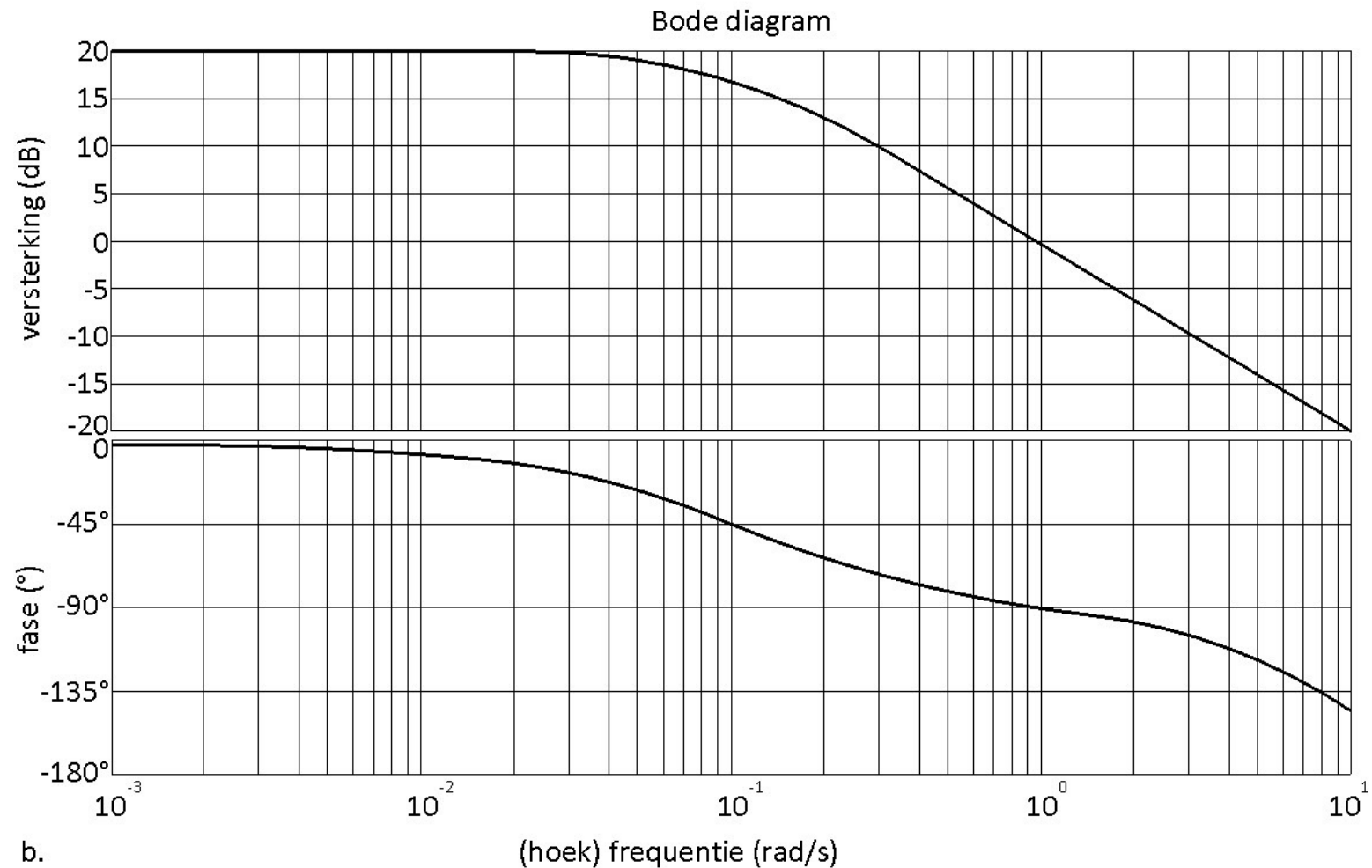


Fig 4.32b: Bode-diagrammen bij opgave 4

Fig 4.32c

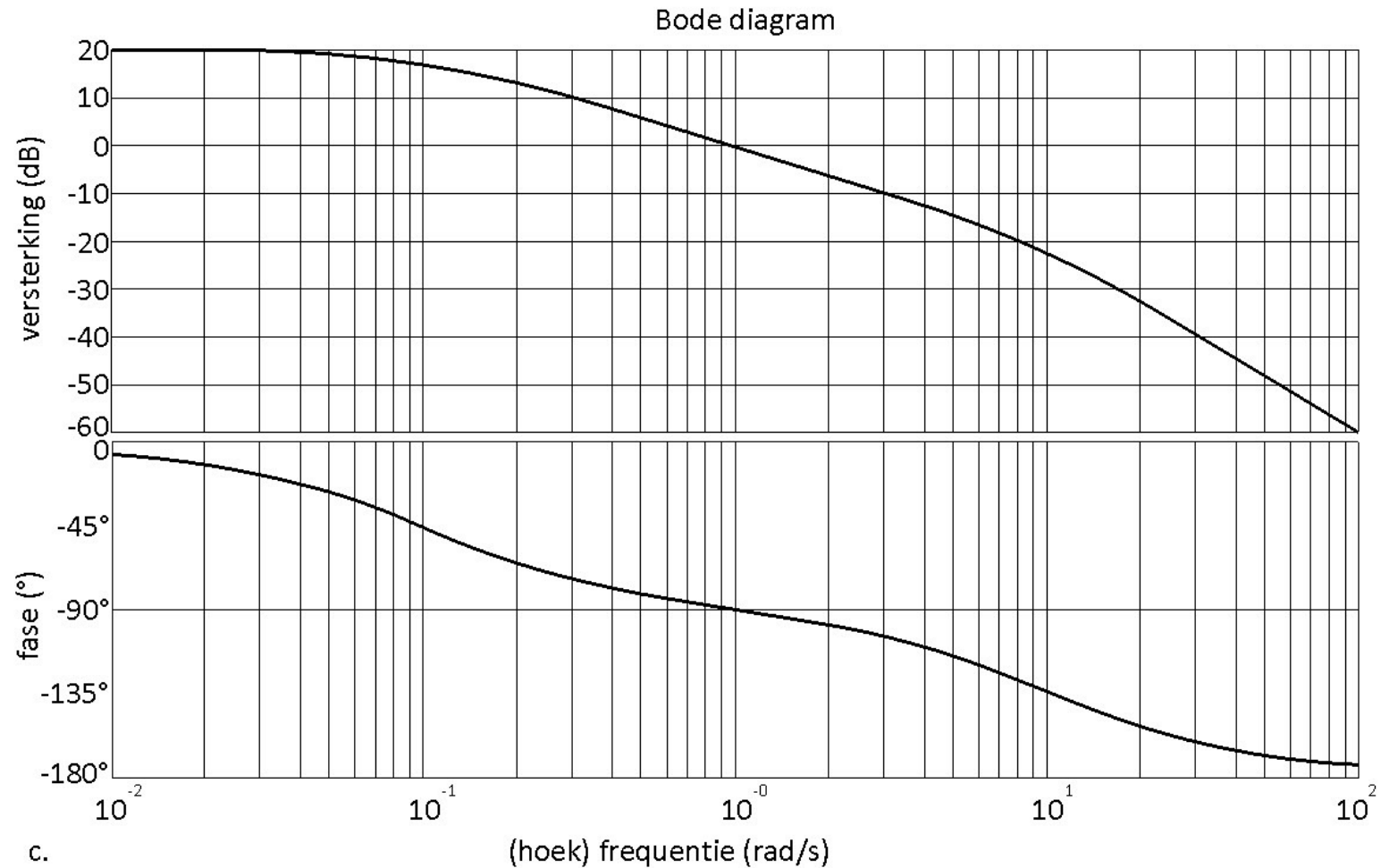


Fig 4.32c: Bode-diagrammen bij opgave 4

Hoofdstuk 5

	<i>Boek</i>
	<i>Pag #</i>
Fig 5.1: Een vroege toepassing van terugkoppeling: niveauregeling met behulp van vlotter	107
Fig 5.2: De ontplofte kernenergiecentrale van Tsjernobyl	108
Fig 5.3: Principe van terugkoppeling	109
Fig 5.4: Niveauregeling	110
Fig 5.5: Blokschema van de niveauregeling	110
Fig 5.6: Generator	110
Fig 5.7: Schema (a) en blokschema (b) van spanningstegenkoppeling	111
Fig 5.7a: Schema (a) van spanningstegenkoppeling	111
Fig 5.7b: Blokschema (b) van spanningstegenkoppeling	111
Fig 5.8: Pn-beeld van voorbeeld 5.4	113
Fig 5.9: Pn-beeld van voorbeeld 5.5	114
Fig 5.10: Blokschema teruggekoppeld systeem	115
Fig 5.11: Blokschema bij voorbeeld 5.6	115
Fig 5.12: Poolbaan van voorbeeld 5.6	116
Fig 5.13: Poolbaan van voorbeeld 5.7	116

Hoofdstuk 5

	<i>Boek</i>
	<i>Pag #</i>
Fig 5.14: Poolbaan van voorbeeld 5.8	117
Fig 5.15: Blokschema van het teruggekoppelde systeem	118
Fig 5.16: Bode-diagram	118
Fig 5.17: Bode-diagram van voorbeeld 5.9	119
Fig 5.18: Polaire figuur van Hronngaand(jw) voor K=1 en K=2	119
Fig 5.19: Stabiliteitsonderzoek in de polaire figuur	120
Fig 5.19a: Stabiliteitsonderzoek in de polaire figuur: stabiel (a)	120
Fig 5.19b: Stabiliteitsonderzoek in de polaire figuur: instabiel (b)	120
Fig 5.20: Eerste-ordeproces (a); stapresponsie (b); terugkoppeling (c)	121
Fig 5.20a: Eerste-ordeproces (a)	121
Fig 5.20b: Stapresponsie (b)	121
Fig 5.20c: Terugkoppeling (c)	121
Fig 5.21: Niveauregeling in tank (a); blokschema (b); responsie op verstoring (c)	122
Fig 5.21a: Niveauregeling in tank (a)	122
Fig 5.21b: Blokschema (b);	122

Hoofdstuk 5

	<i>Boek</i>
	<i>Pag #</i>
Fig 5.21c: Responsie op verstoring (c)	122
Fig 5.22: Blokschema's bij opgave 4	123
Fig 5.22a: Blokschema bij opgave 4a	123
Fig 5.22b: Blokschema bij opgave 4b	123
Fig 5.22c: Blokschema bij opgave 4c	123
Fig 5.22d: Blokschema bij opgave 4d	123
Fig 5.23: Blokschema bij opgave 5	123
Fig 5.24: Blokschema van opgave 6	123
Fig 5.25: Blokschema en Bode-diagram van opgave 7	124
Fig 5.25a: Blokschema van opgave 7	124
Fig 5.25b: Bode-diagram van opgave 7	124

Fig 5.1

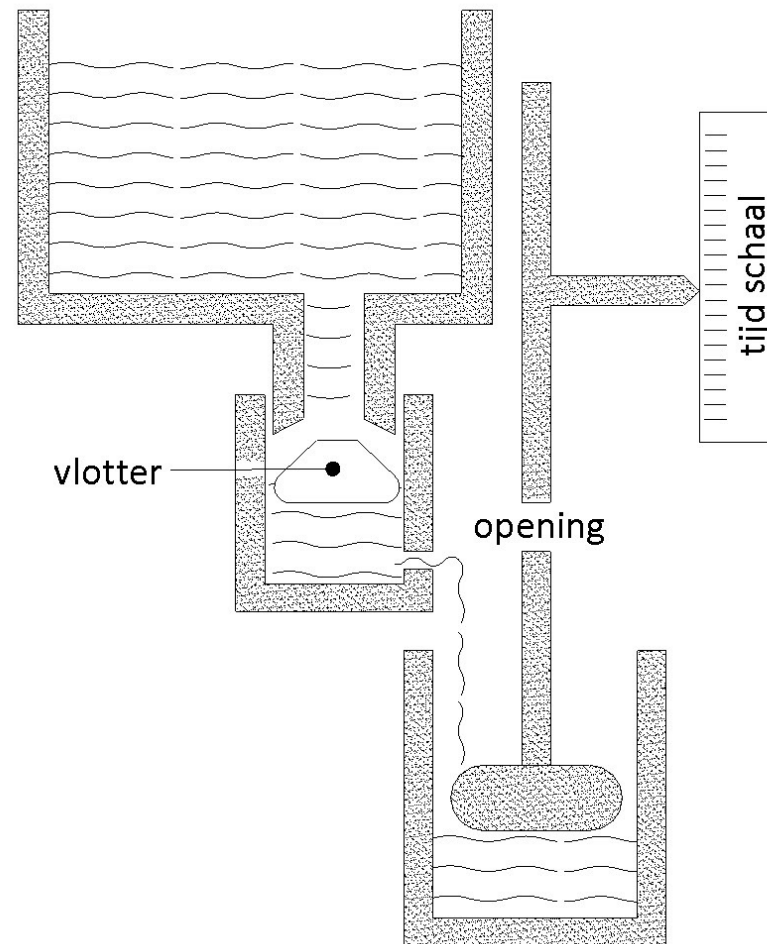


Fig 5.1: Een vroege toepassing van terugkoppeling: niveauregeling met behulp van vlotter

Fig 5.2

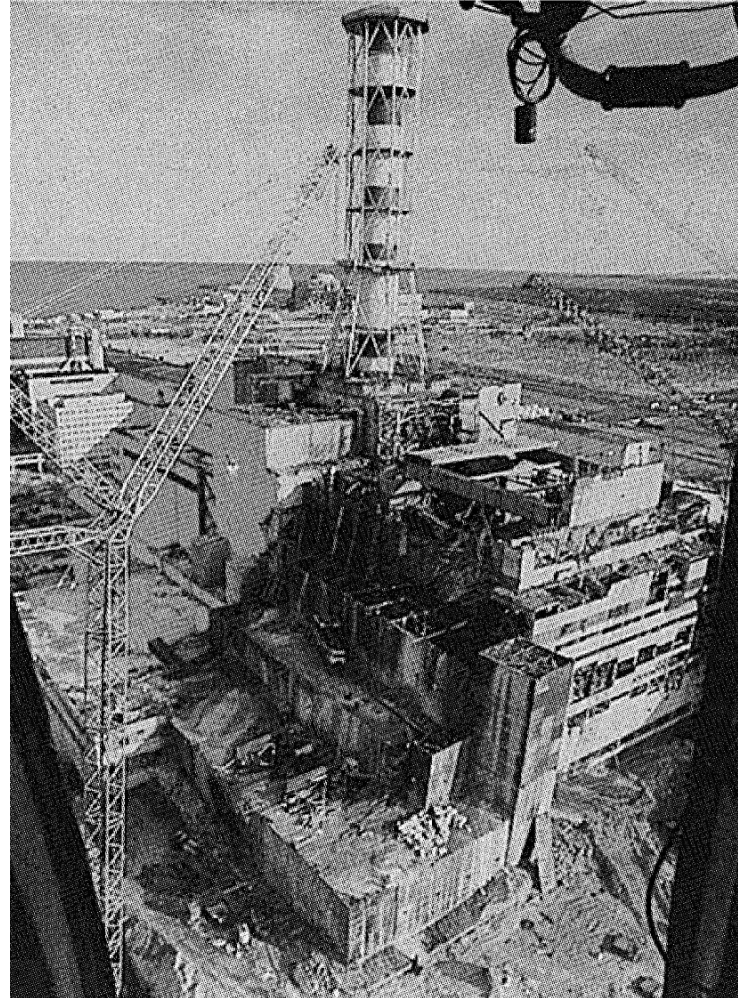


Fig 5.2: De ontplofte kernenergiecentrale van Tsjernobyl

Fig 5.3

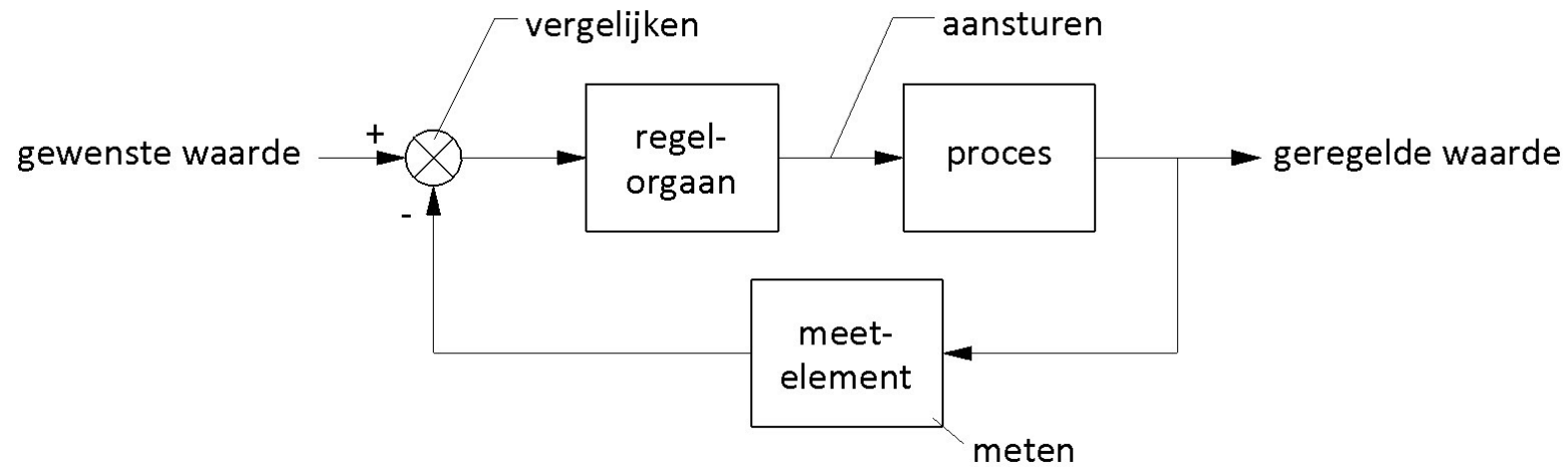


Fig 5.3: Principe van terugkoppeling

Fig 5.4

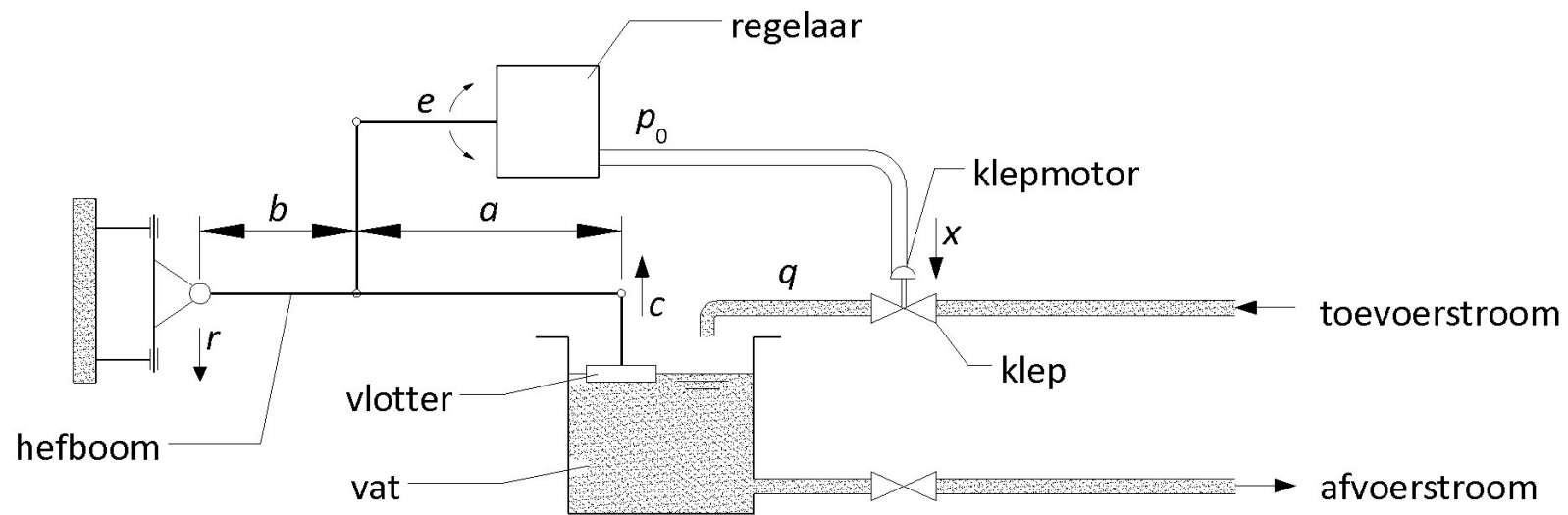


Fig 5.4: Niveauregeling

Fig 5.5

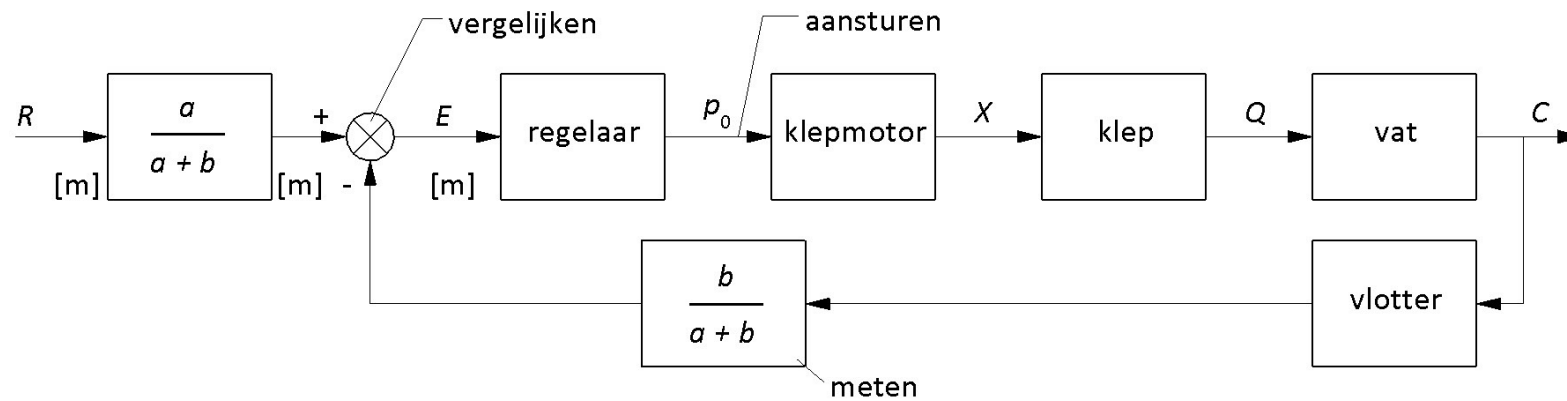


Fig 5.5: Blokschema van de niveauregeling

Fig 5.6

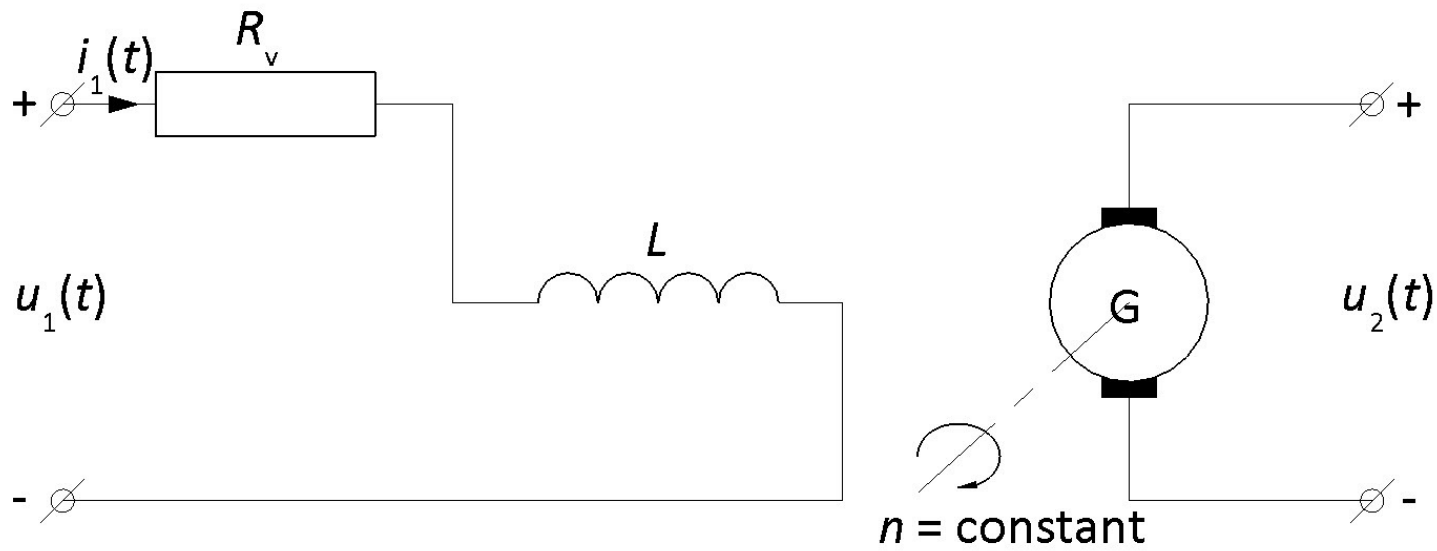
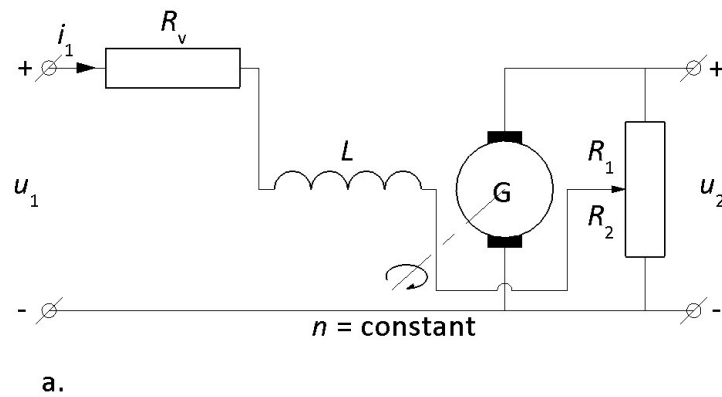


Fig 5.6: Generator

Fig 5.7



$$\alpha = \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

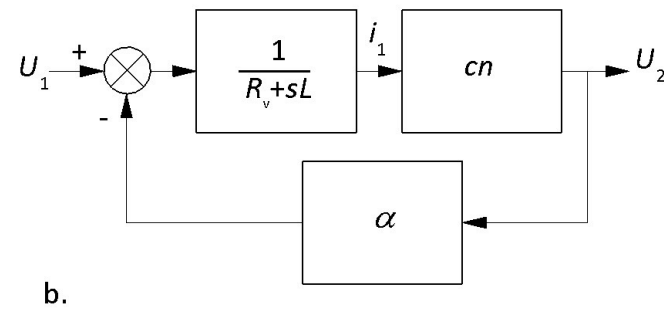
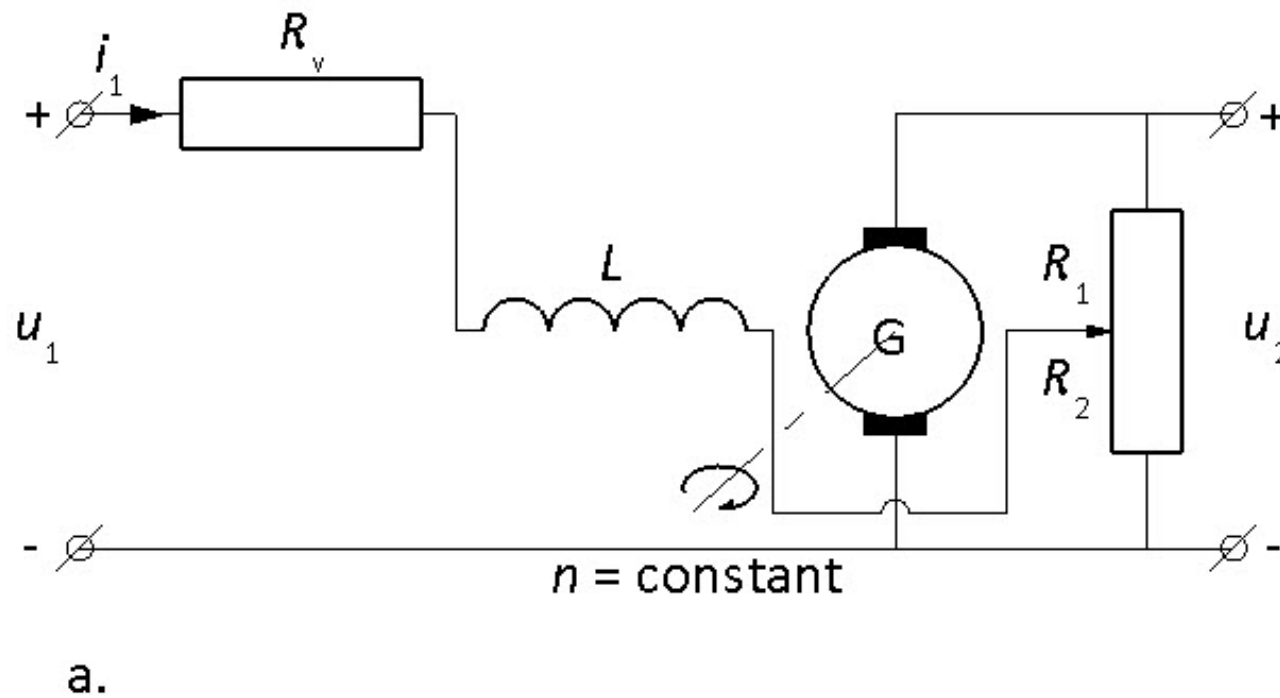


Fig 5.7: Schema (a) en blokschema (b) van spanningstegenkoppeling

Fig 5.7a



$$\alpha = \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

Fig 5.7a: Schema (a) van spanningstegenkoppeling

Fig 5.7b

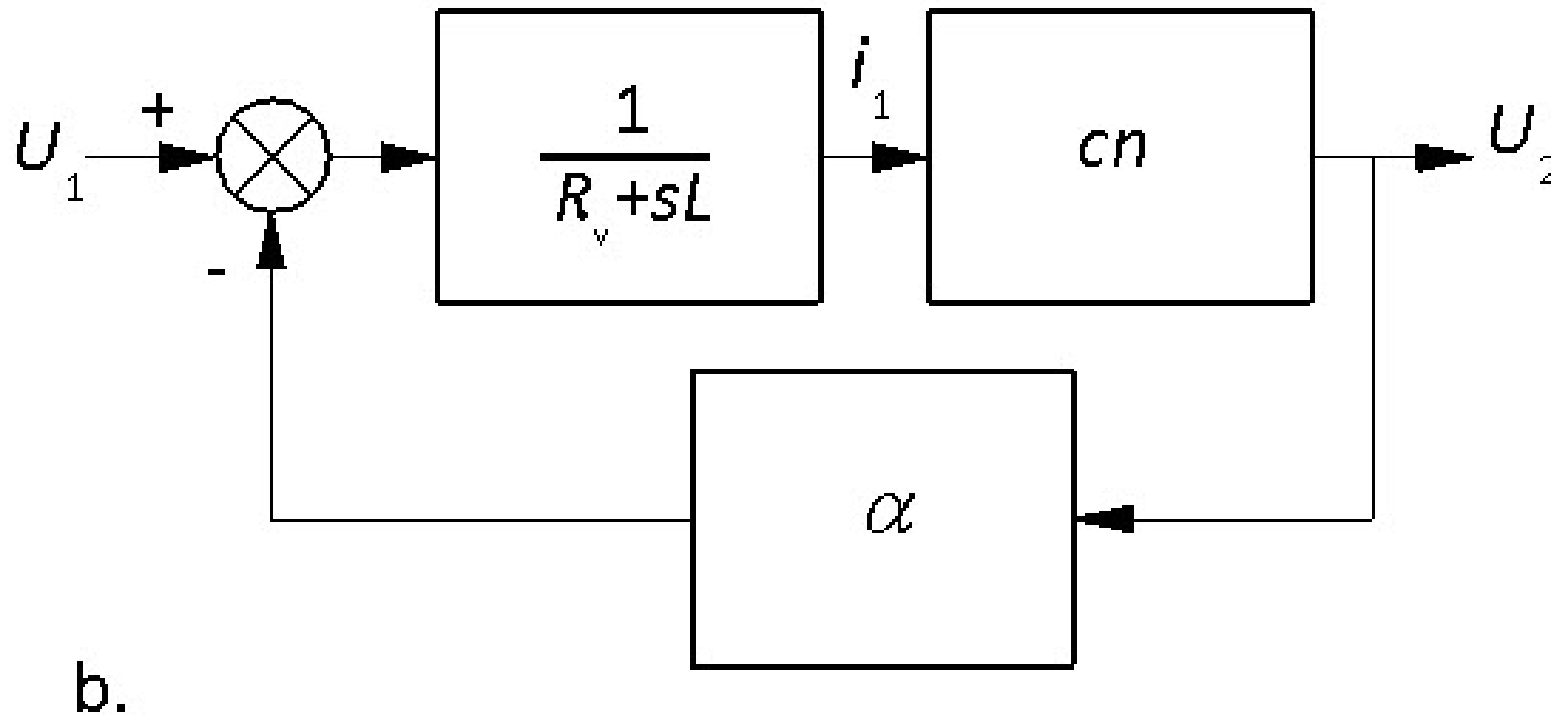


Fig 5.7b: Blokschema (b) van spanningstegenkoppeling

Fig 5.8

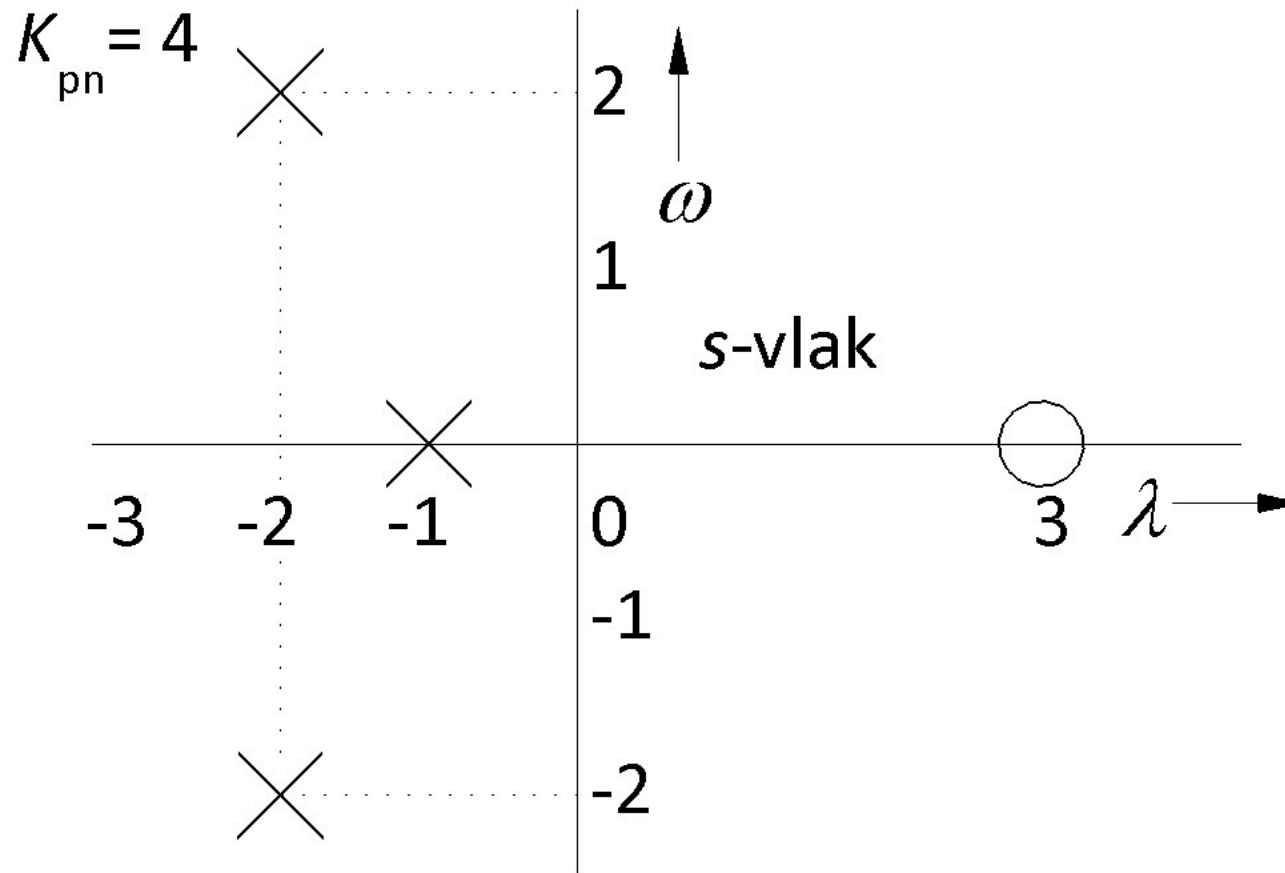


Fig 5.8: Pn-beeld van voorbeeld 5.4

Fig 5.9

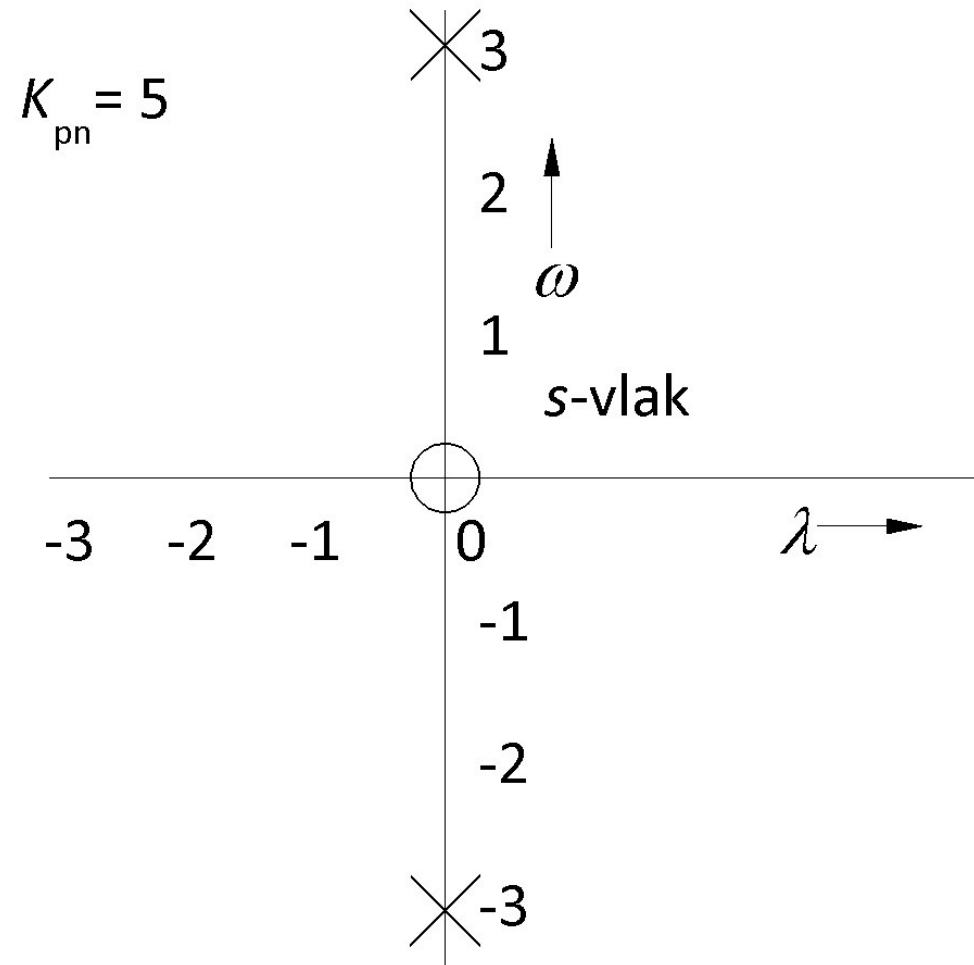


Fig 5.9: Pn-beeld van voorbeeld 5.5

Fig 5.10

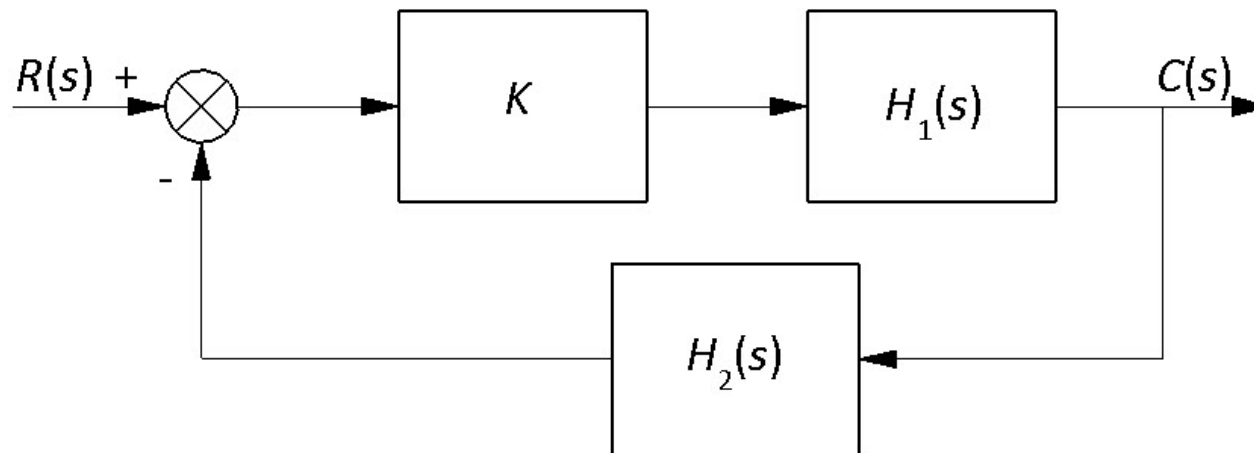


Fig 5.10: Blokschema teruggekoppeld systeem

Fig 5.11

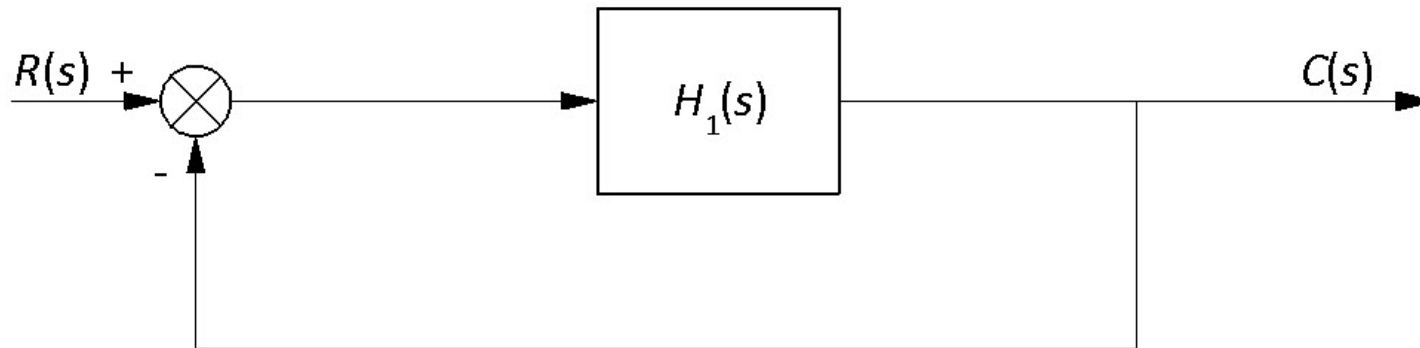


Fig 5.11: Blokschema bij voorbeeld 5.6

Fig 5.12

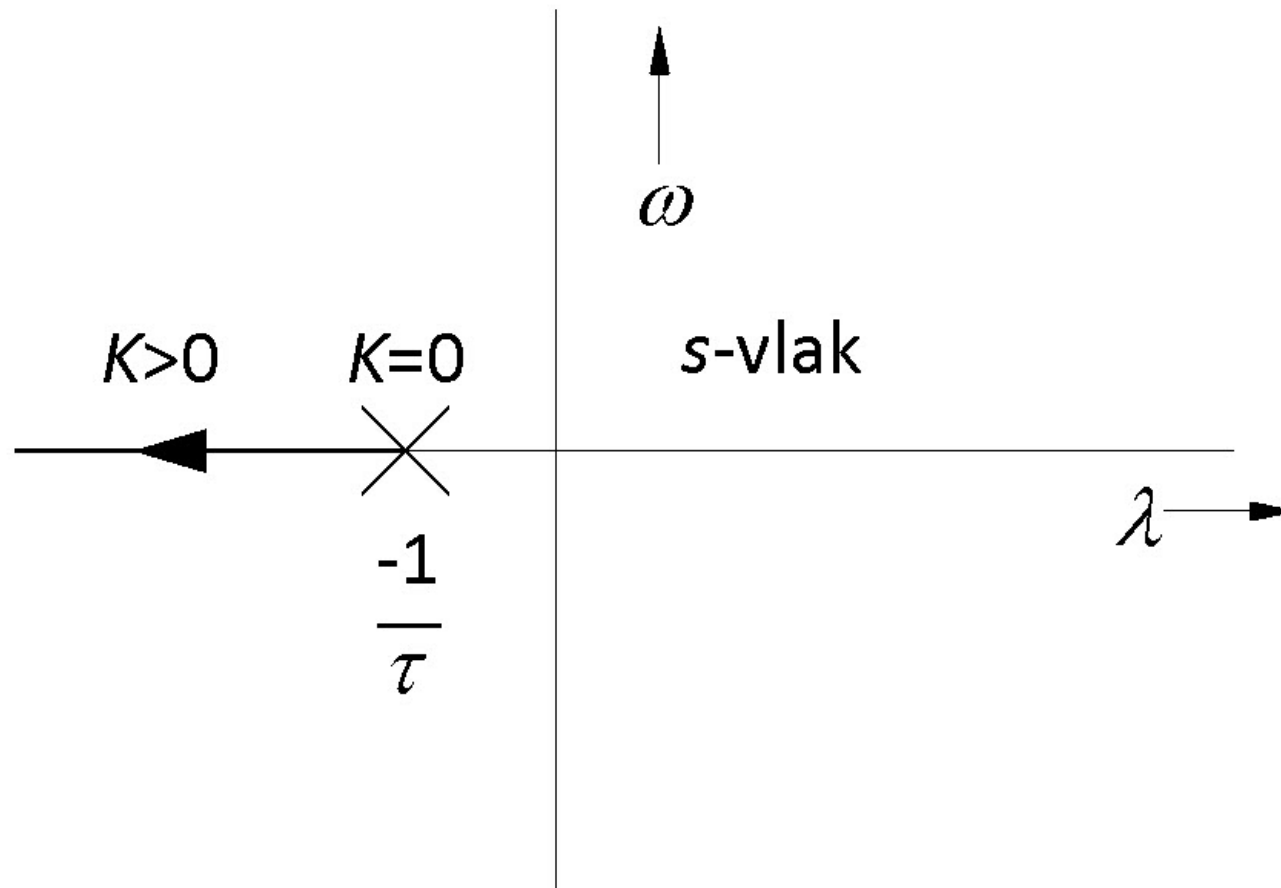


Fig 5.12: Poolbaan van voorbeeld 5.6

Fig 5.13

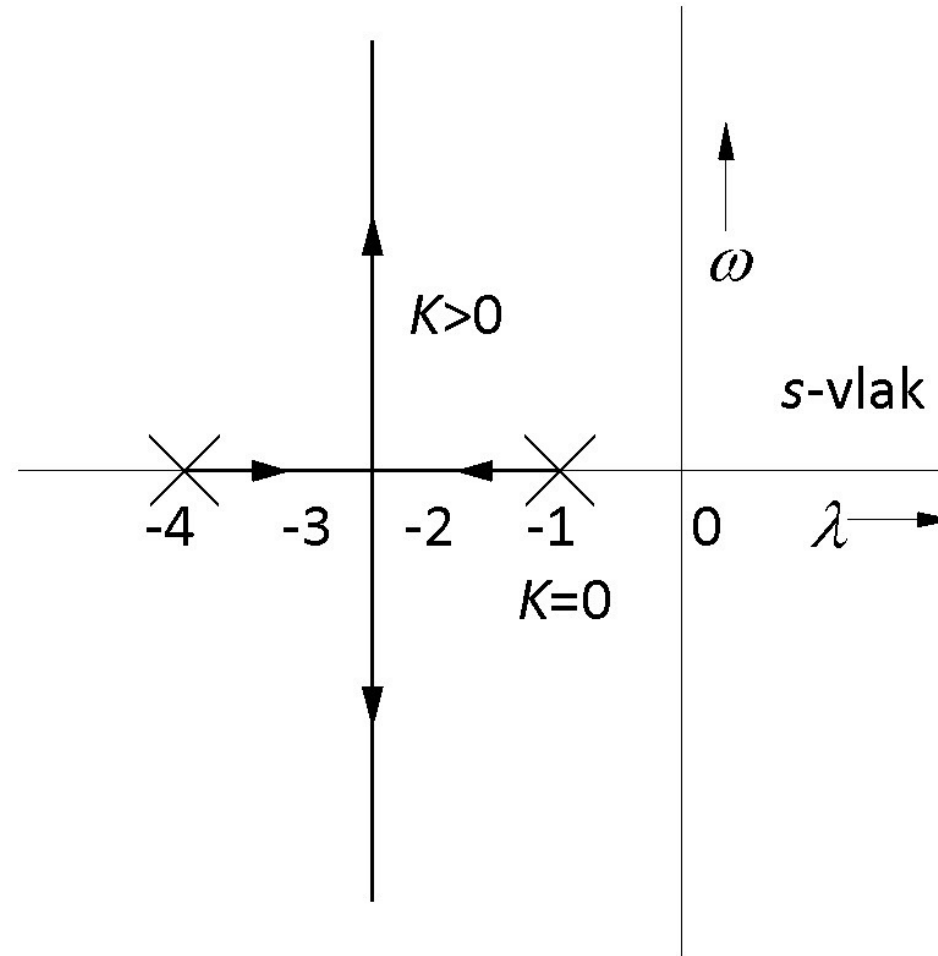


Fig 5.13: Poolbaan van voorbeeld 5.7

Fig 5.14

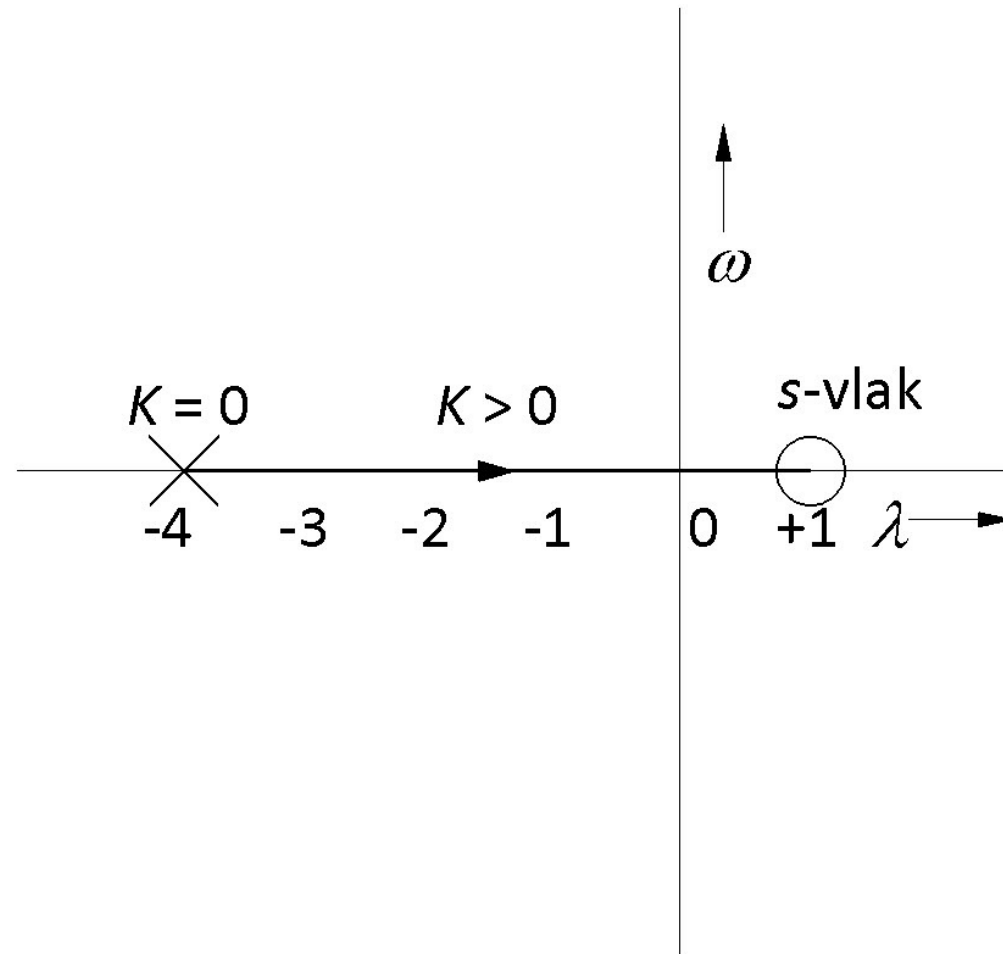


Fig 5.14: Poolbaan van voorbeeld 5.8

Fig 5.15

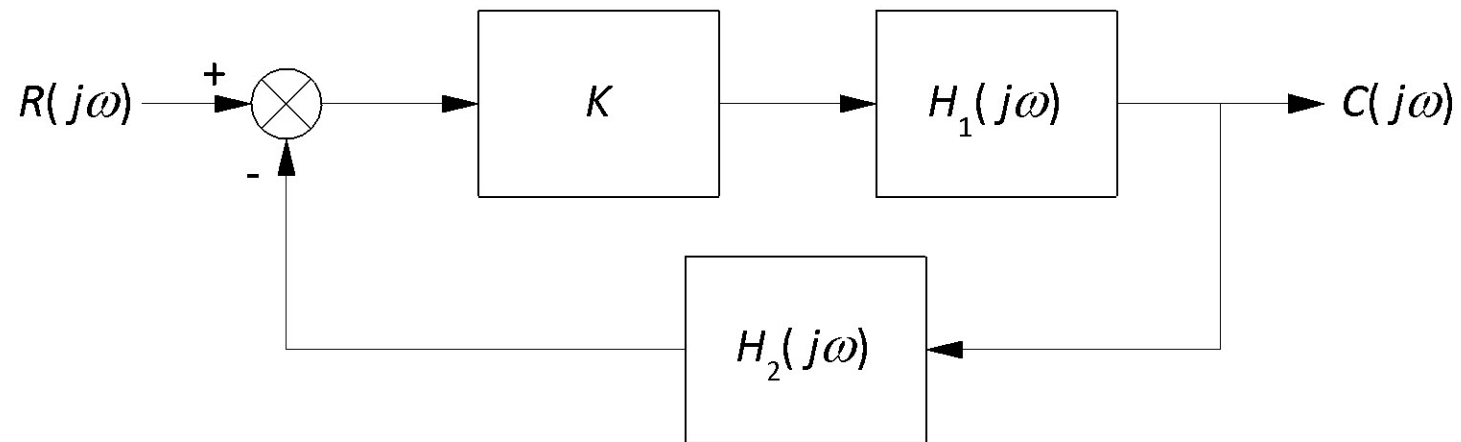


Fig 5.15: Blokschema van het teruggekoppelde systeem

Fig 5.16

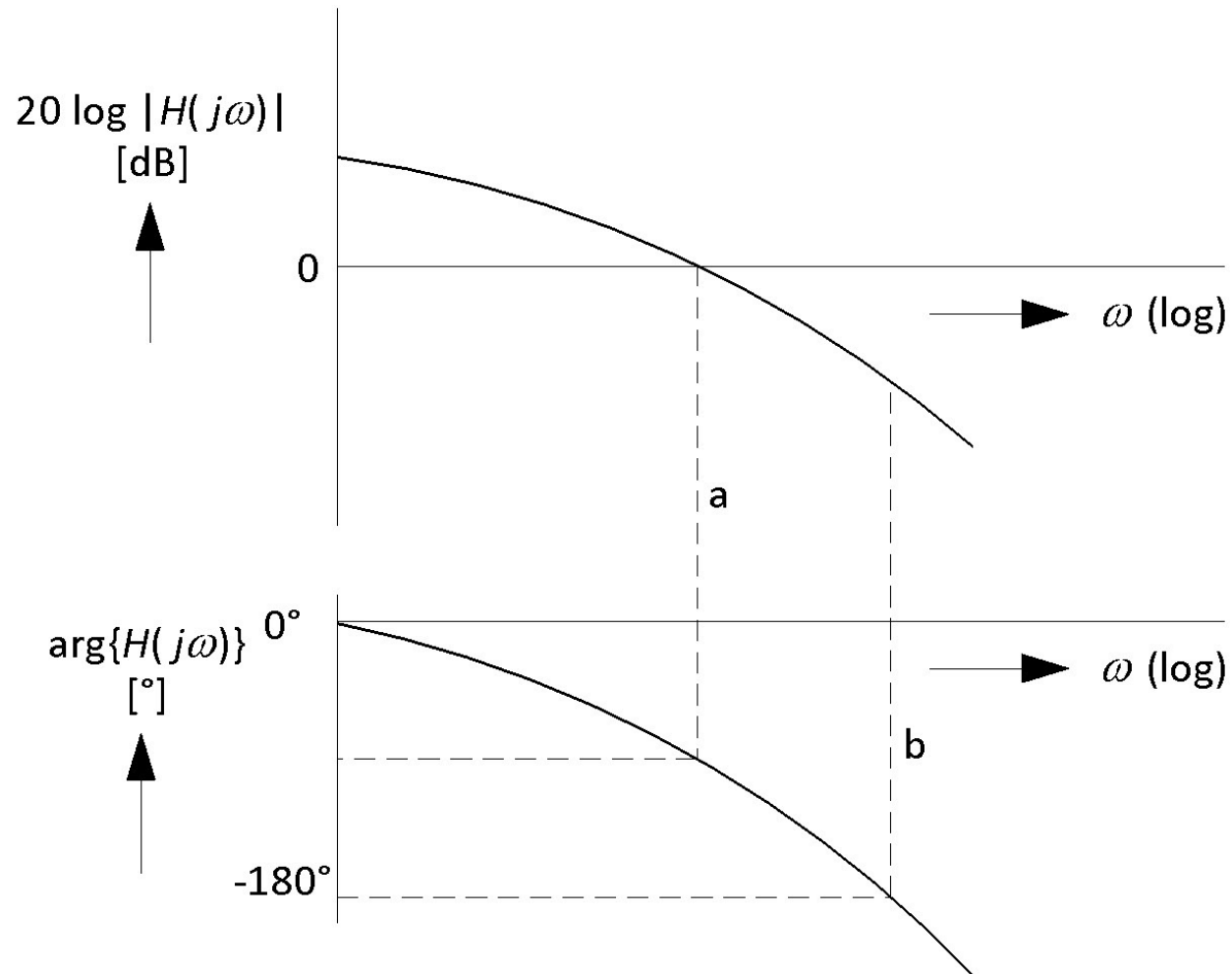


Fig 5.16: Bode-diagram

Fig 5.17

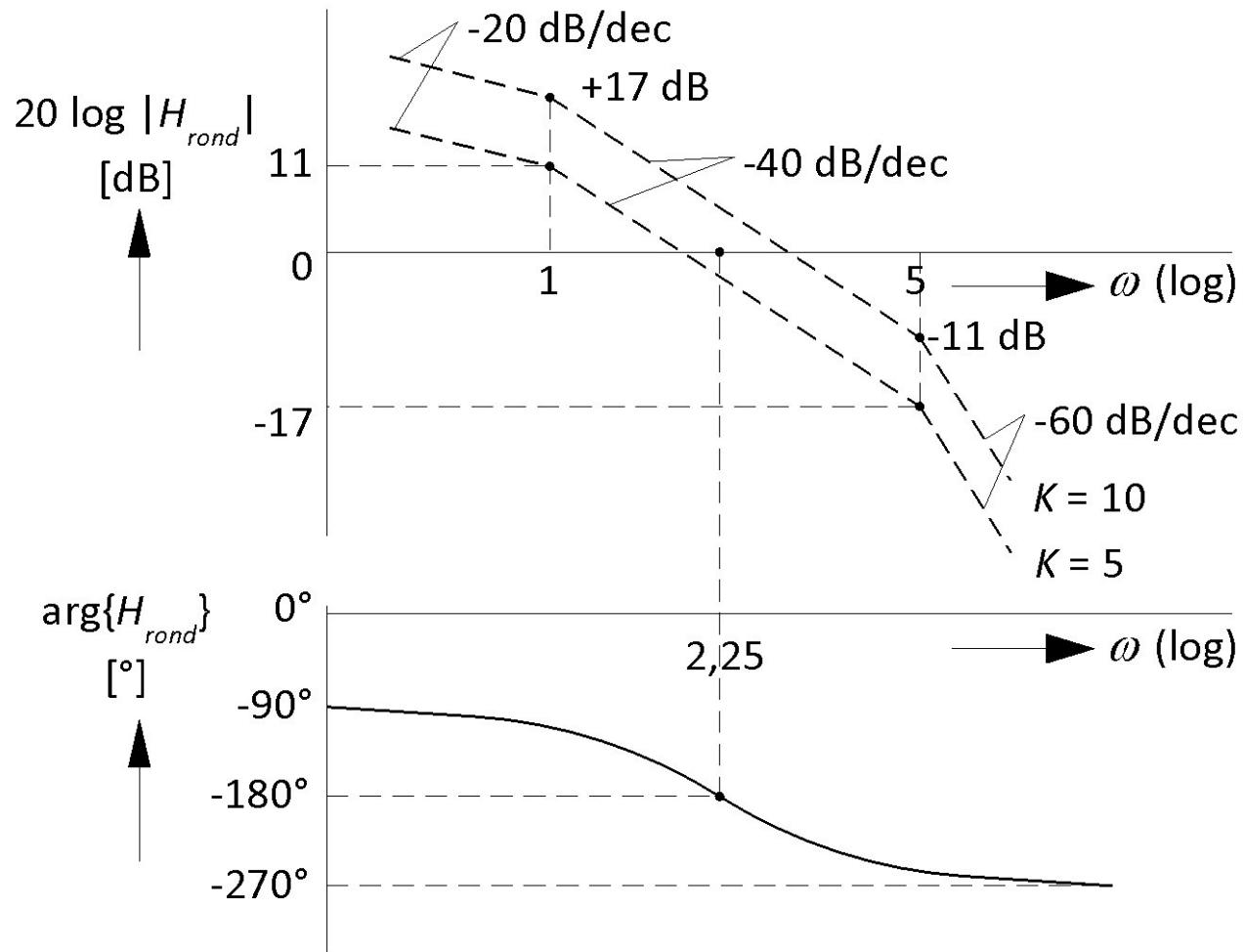


Fig 5.17: Bode-diagram van voorbeeld 5.9

Fig 5.18

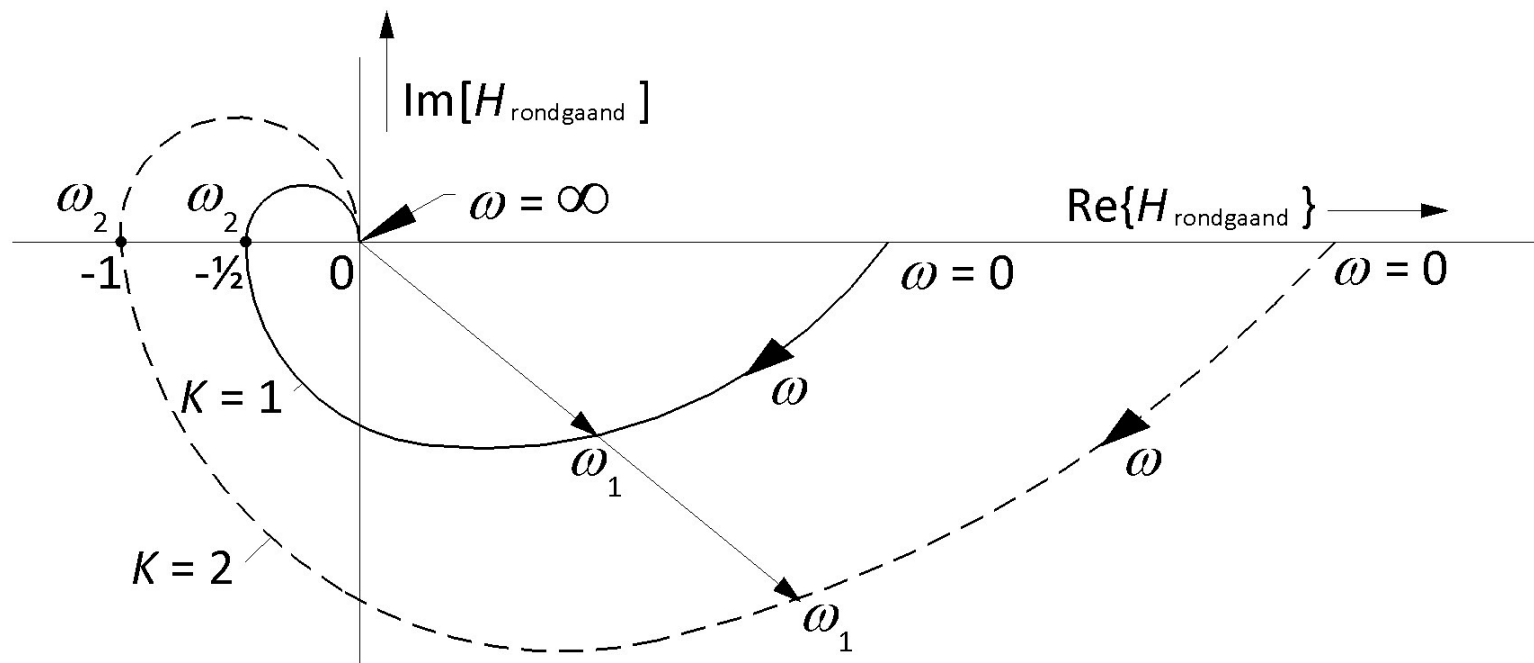


Fig 5.18: Polaire figuur van $H_{\text{rondgaand}}(j\omega)$ voor $K=1$ en $K=2$

Fig 5.19

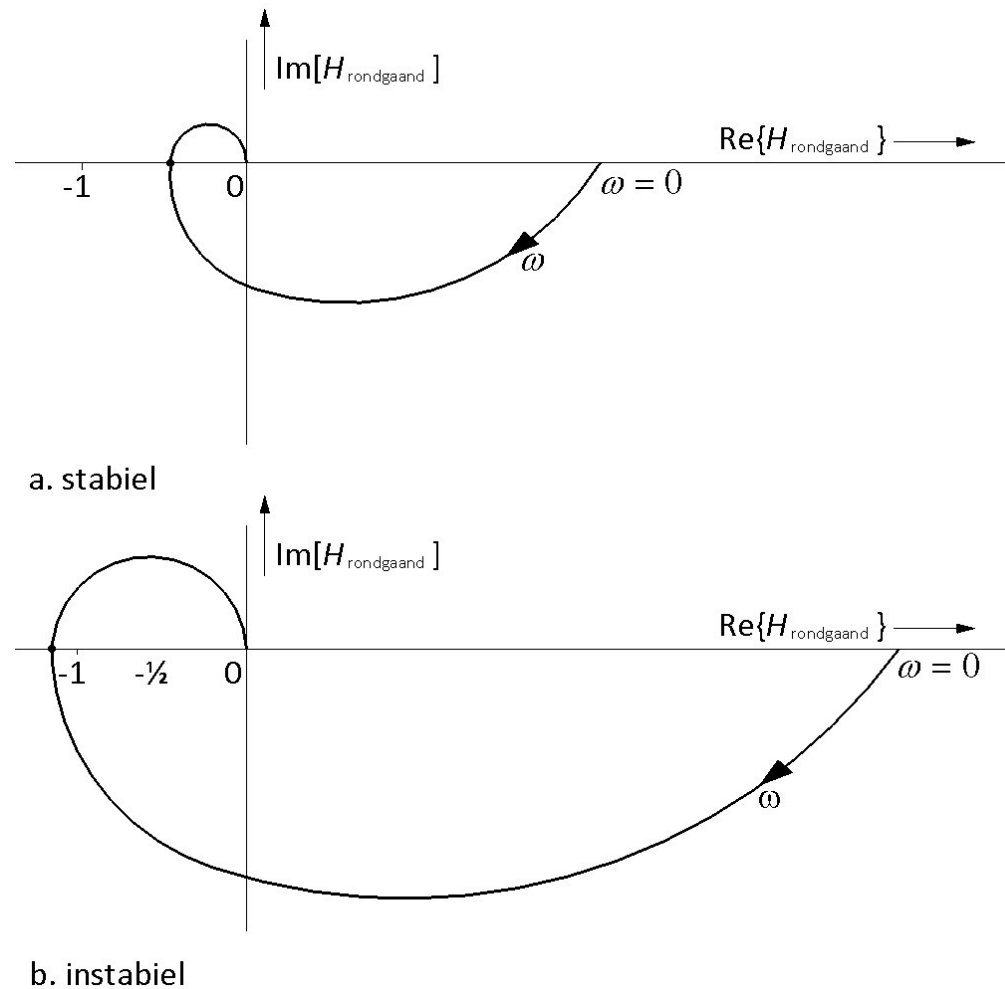
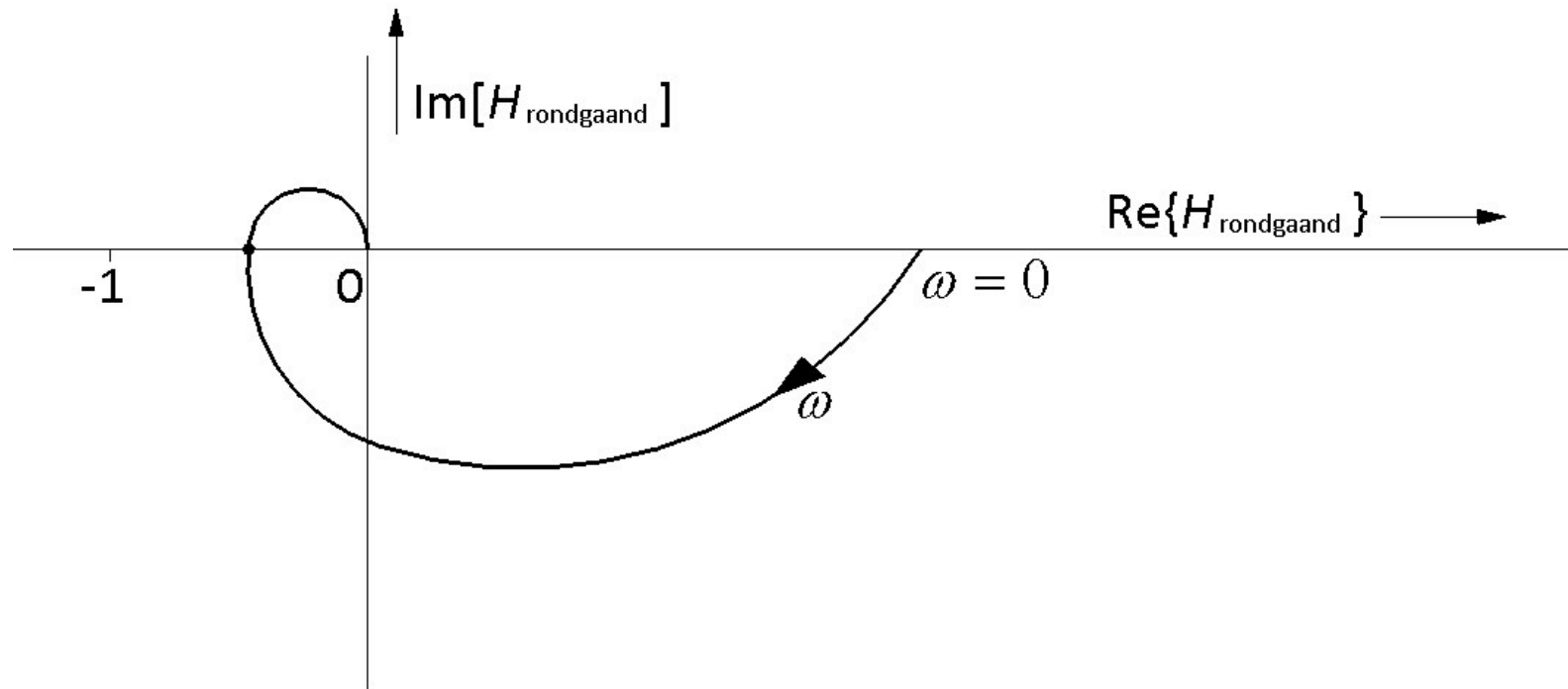


Fig 5.19: Stabiliteitsonderzoek in de polaire figuur

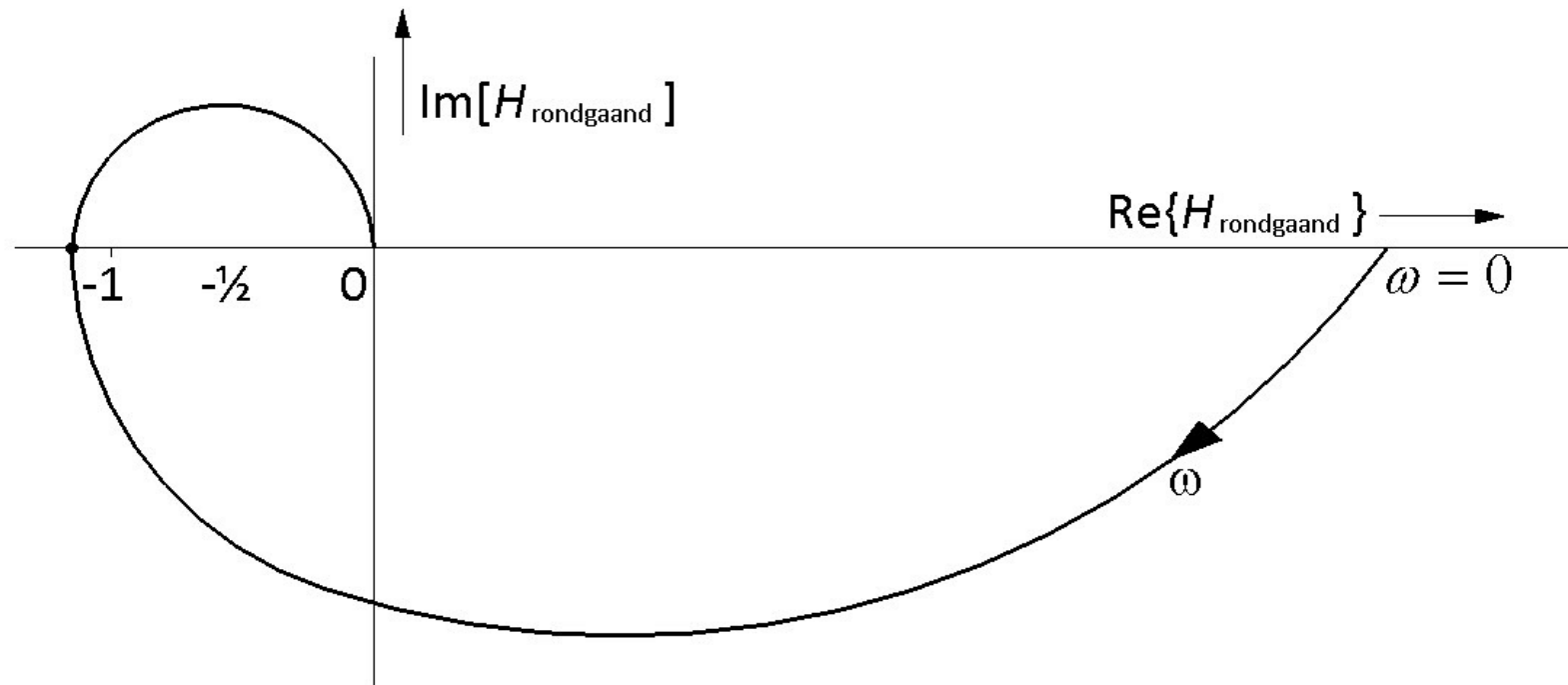
Fig 5.19a



a. stabiel

Fig 5.19a: Stabiliteitsonderzoek in de polaire figuur: stabiel (a)

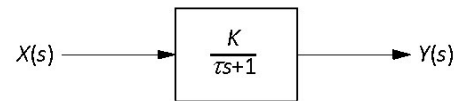
Fig 5.19b



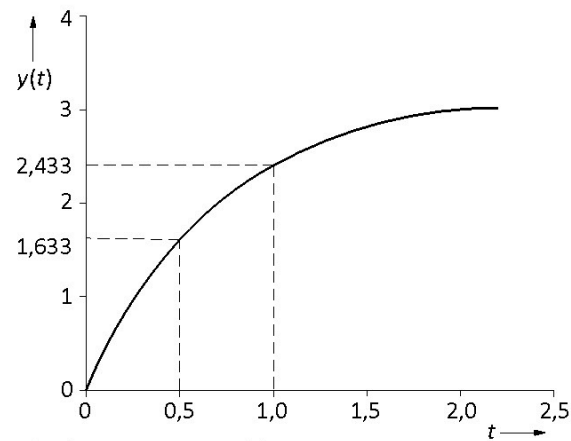
b. instabiel

Fig 5.19b: Stabiliteitsonderzoek in de polaire figuur: instabiel (b)

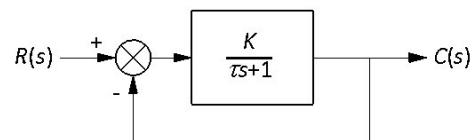
Fig 5.20



a.



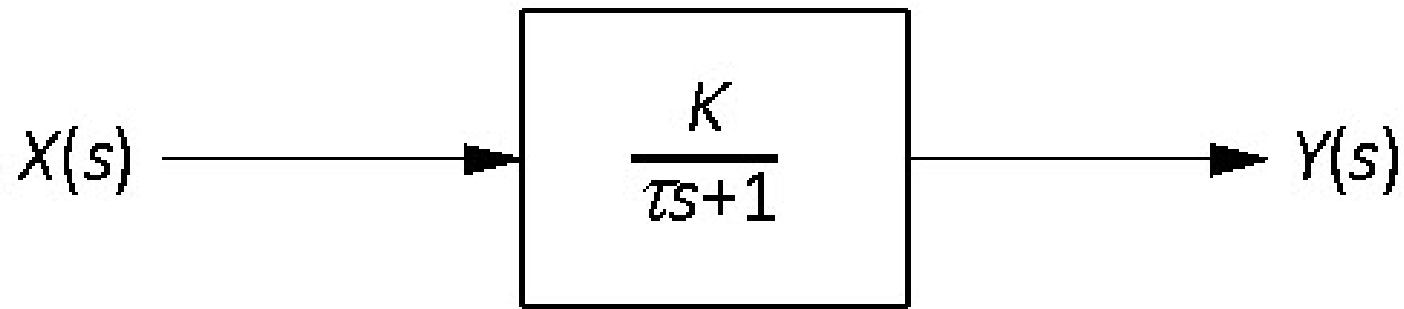
b. Eenheidsstapresponsie $y(t)$ van open proces



c.

Fig 5.20: Eerste-ordeproces (a); stapresponsie (b); terugkoppeling (c)

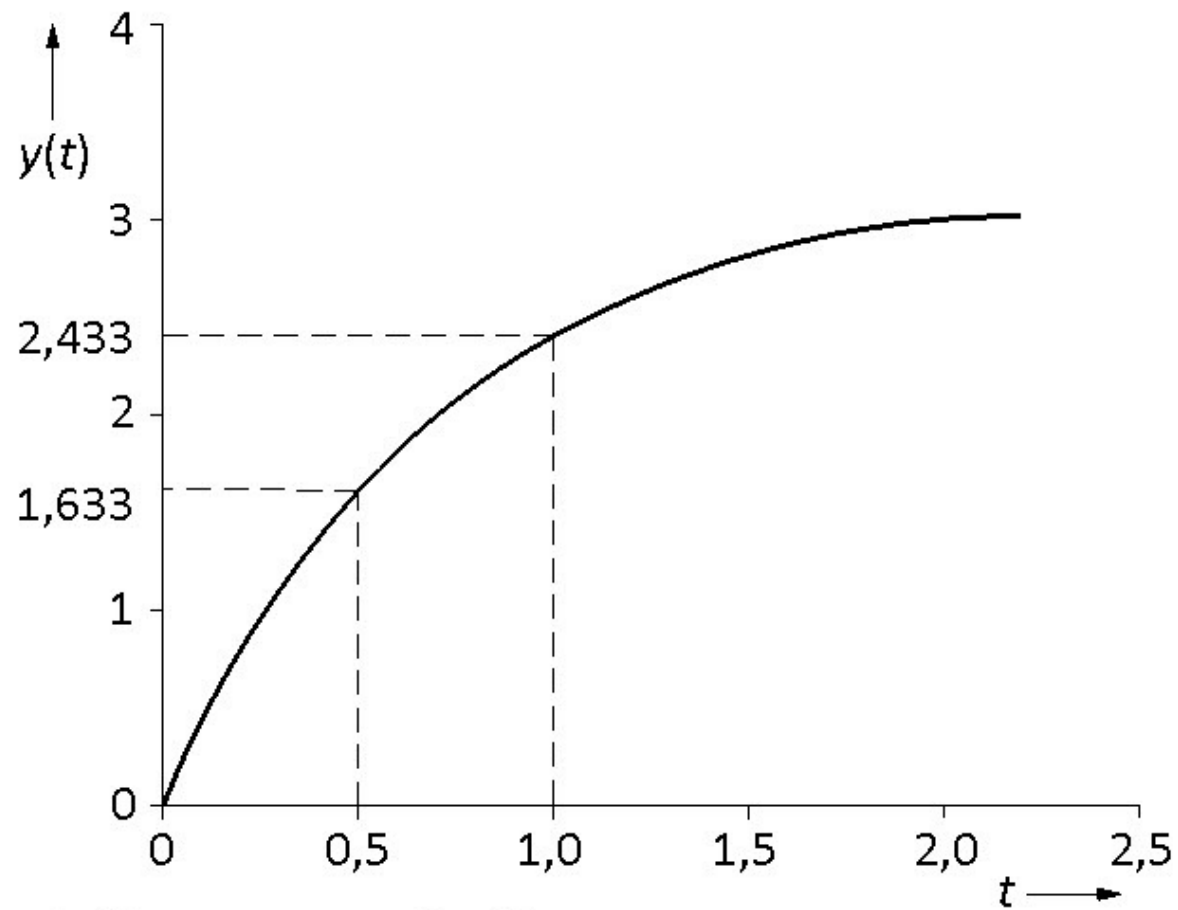
Fig 5.20a



a.

Fig 5.20a: Eerste-ordeproces (a)

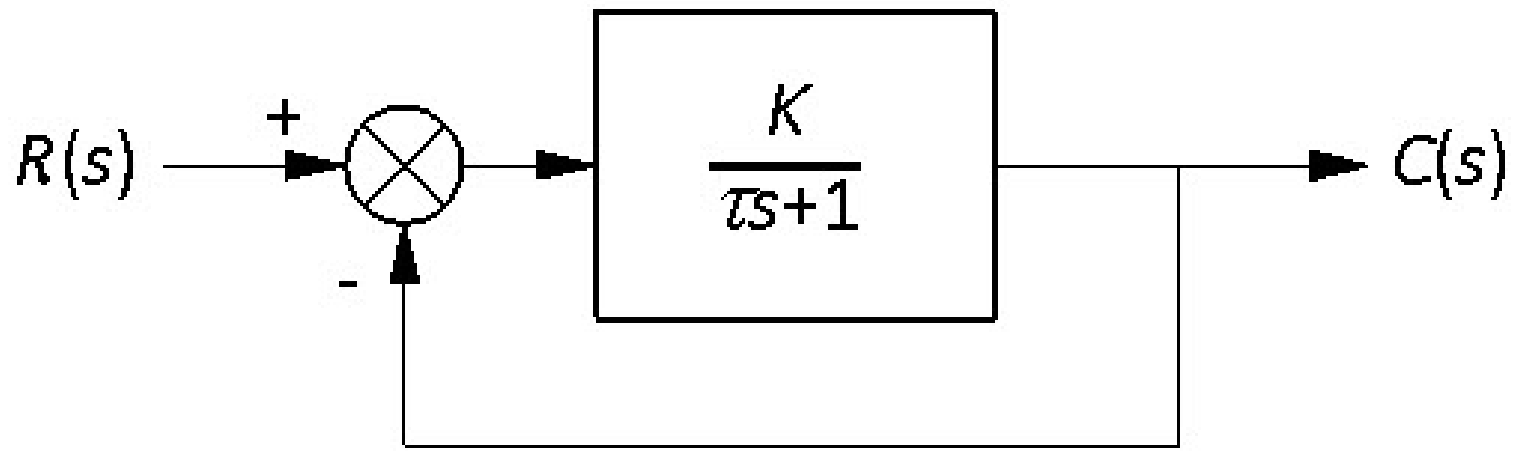
Fig 5.20b



b. Eenheidsstapresponsie $y(t)$ van open proces

Fig 5.20b: Stapresponsie (b)

Fig 5.20c



c.

Fig 5.20c: Terugkoppeling (c)

Fig 5.21

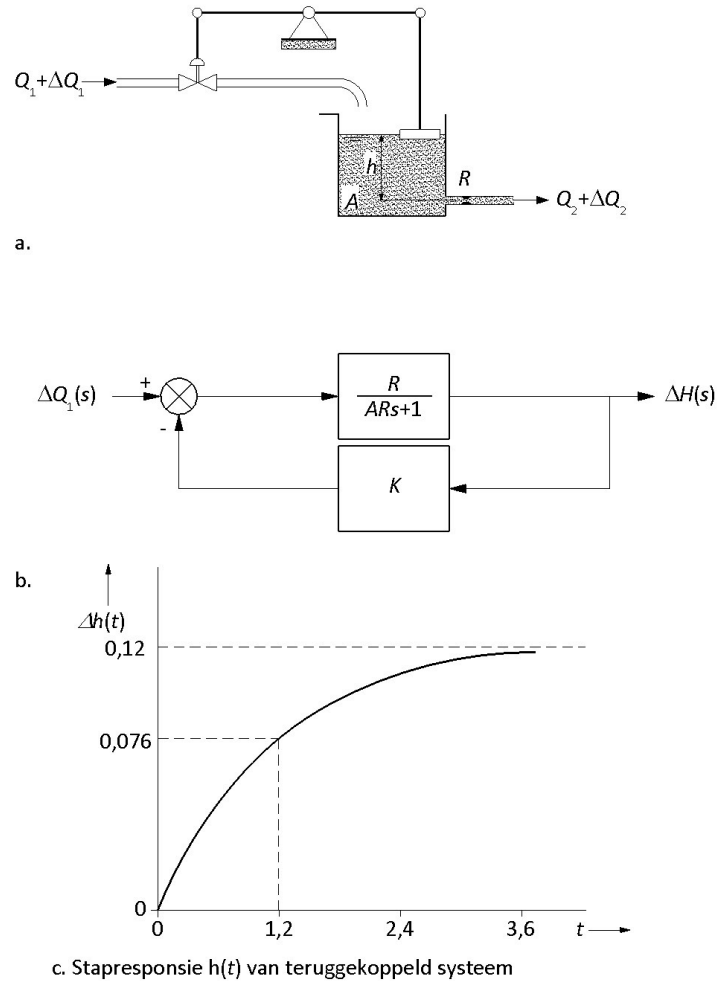
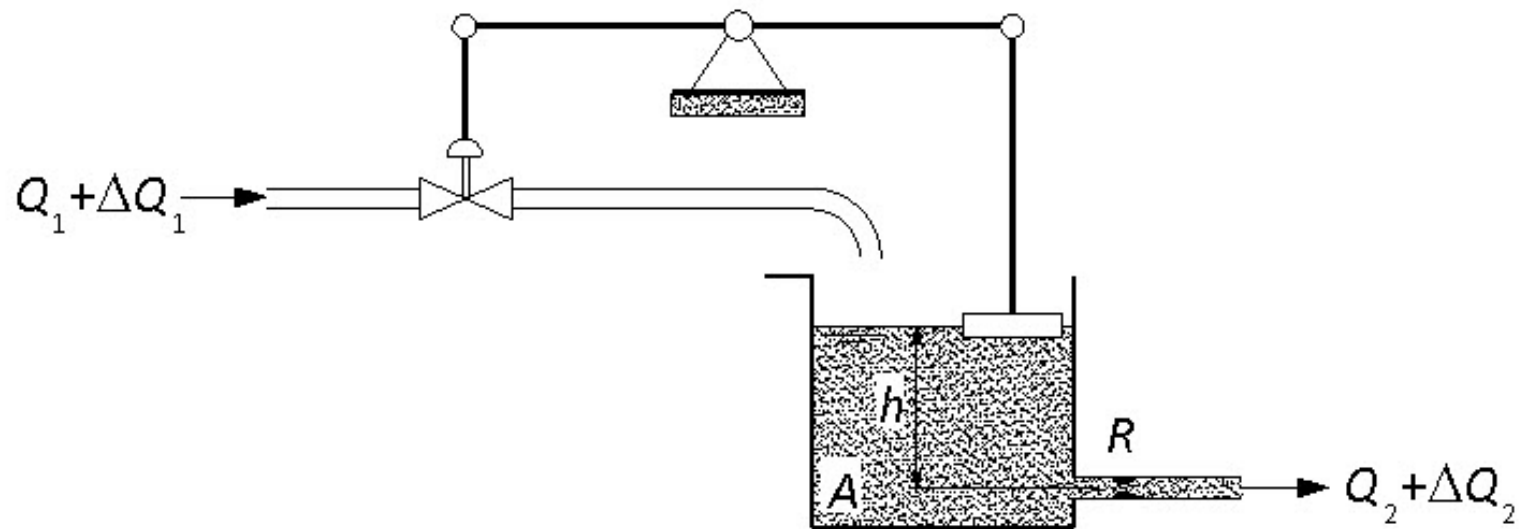


Fig 5.21: Niveauregeling in tank (a); blokschema (b); responsie op verstoring (c)

Fig 5.21a



a.

Fig 5.21a: Niveauregeling in tank (a)

Fig 5.21b

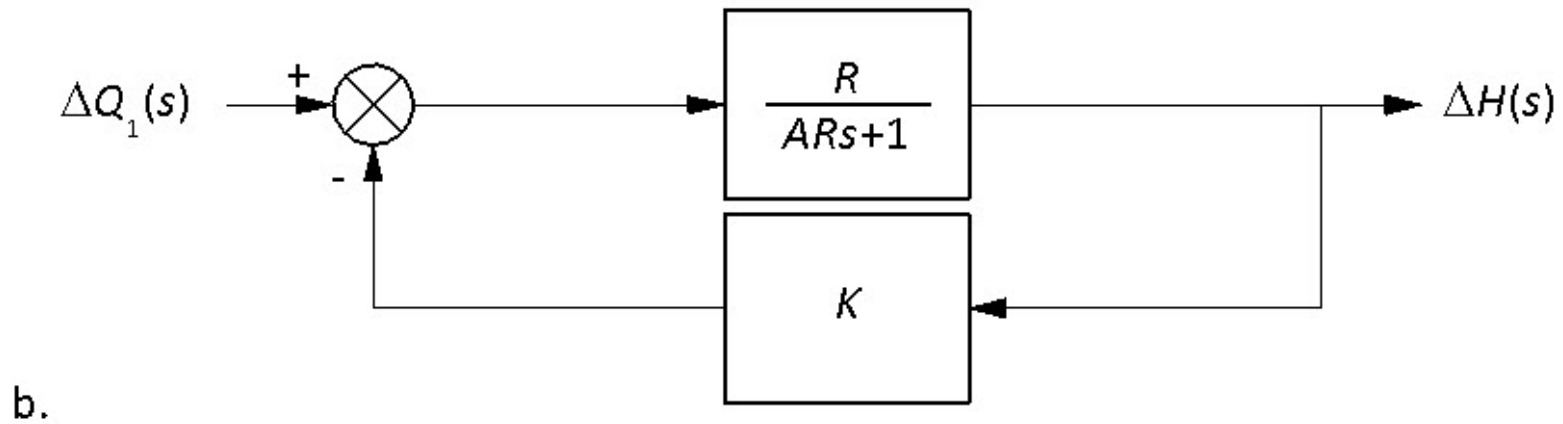
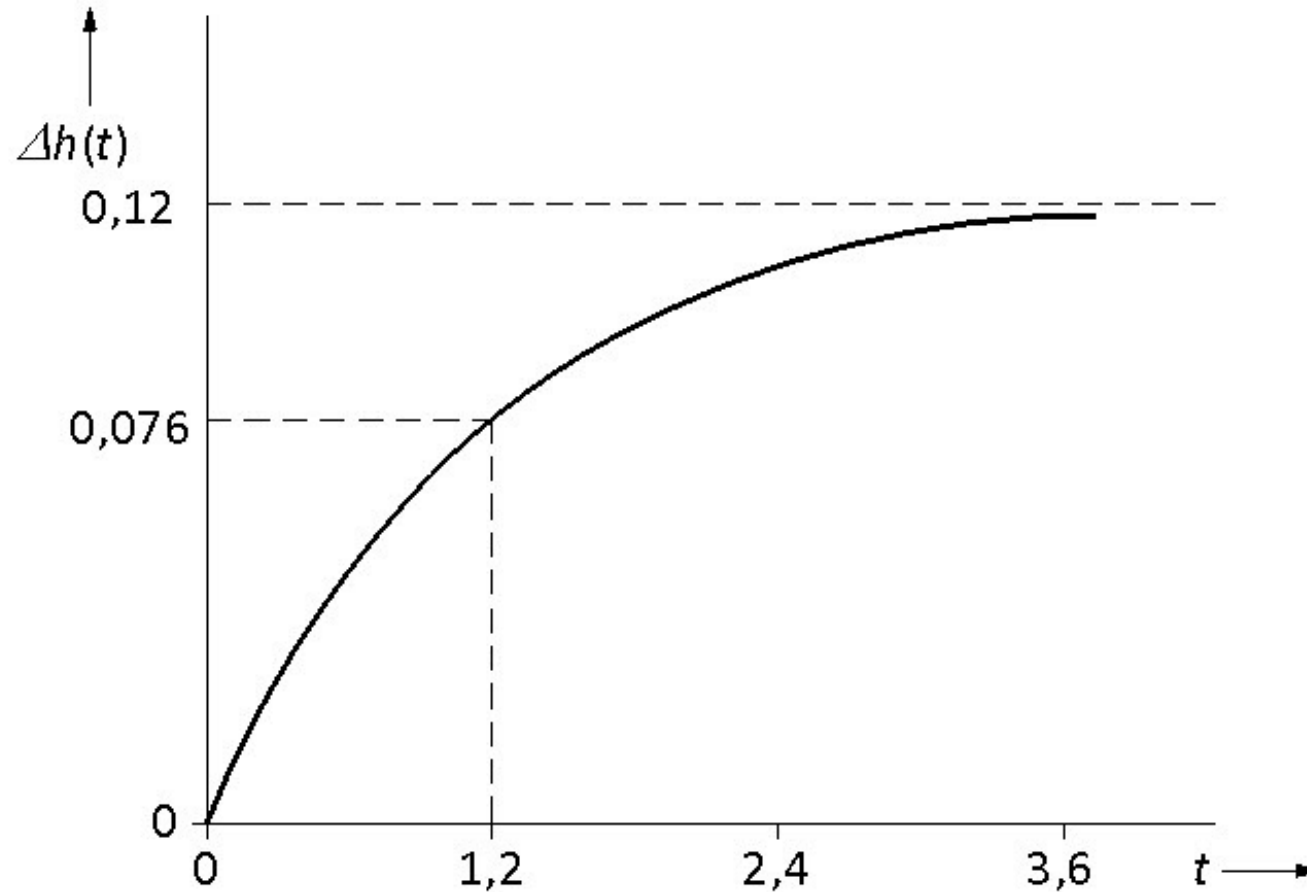


Fig 5.21b: Blokschema (b);

Fig 5.21c



c. Stapresponsie $h(t)$ van teruggekoppeld systeem

Fig 5.21c: Responsie op verstoring (c)

Fig 5.22

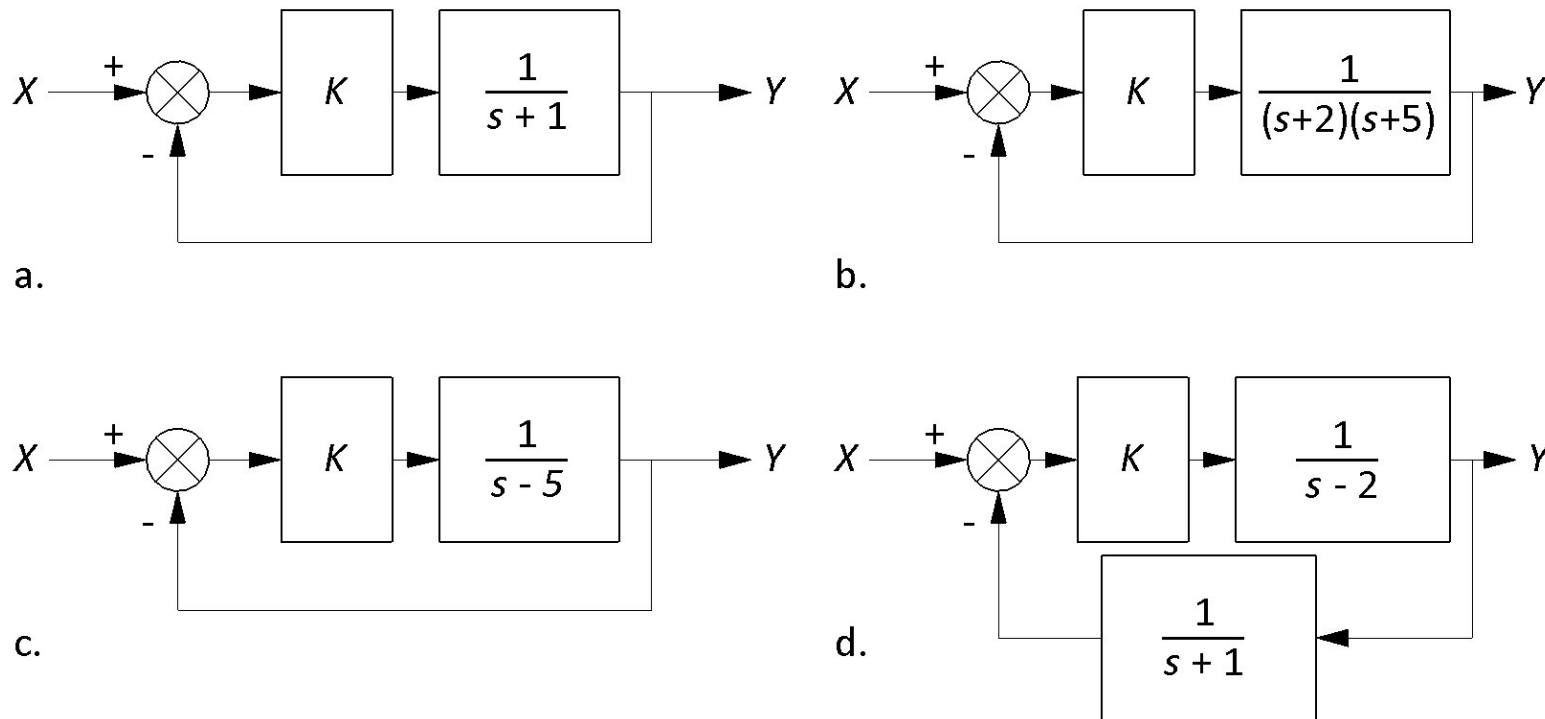


Fig 5.22: Blokschema's bij opgave 4

Fig 5.22a

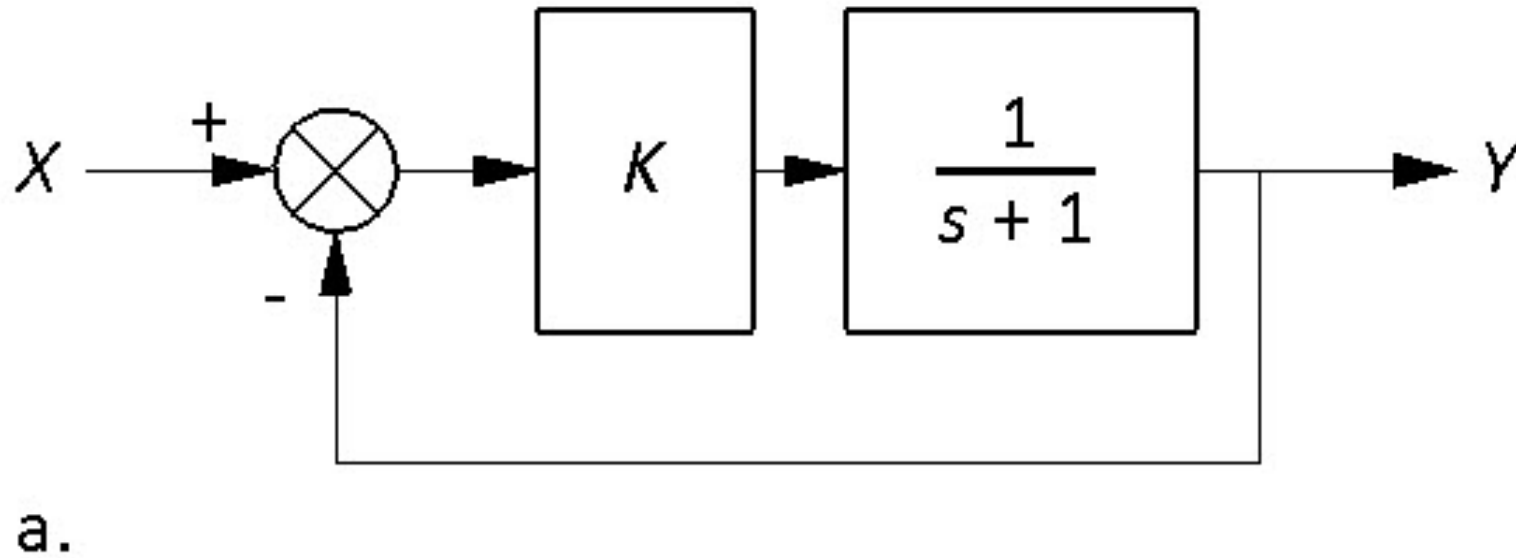
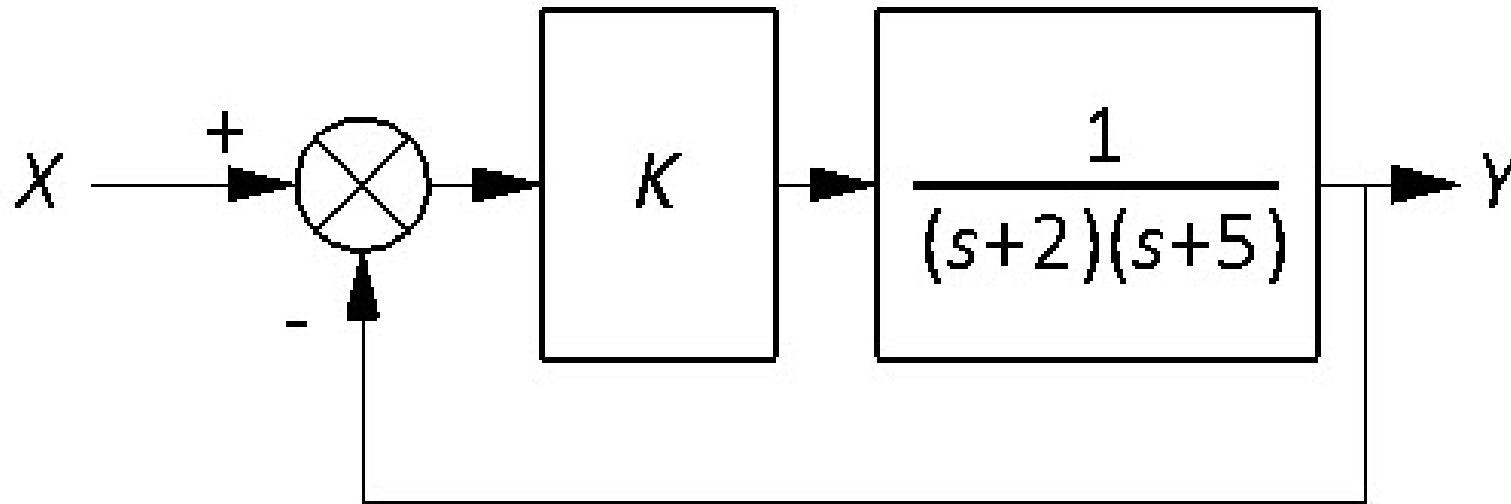


Fig 5.22a: Blokschema bij opgave 4a

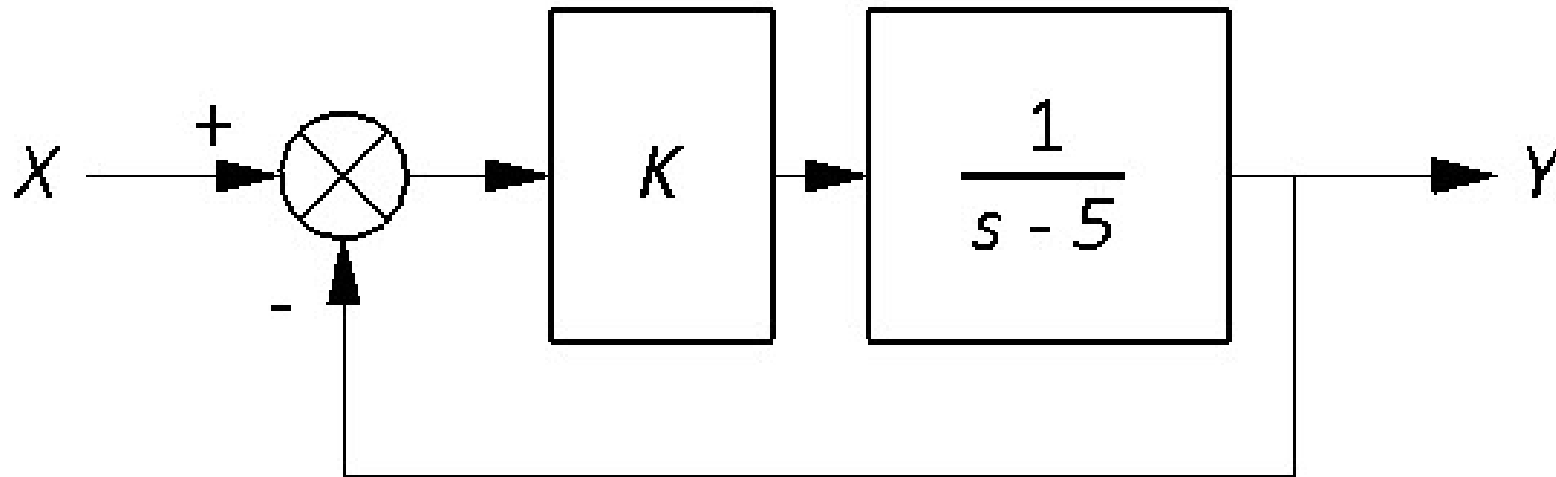
Fig 5.22b



b.

Fig 5.22b: Blokschema bij opgave 4b

Fig 5.22c



c.

Fig 5.22c: Blokschema bij opgave 4c

Fig 5.22d

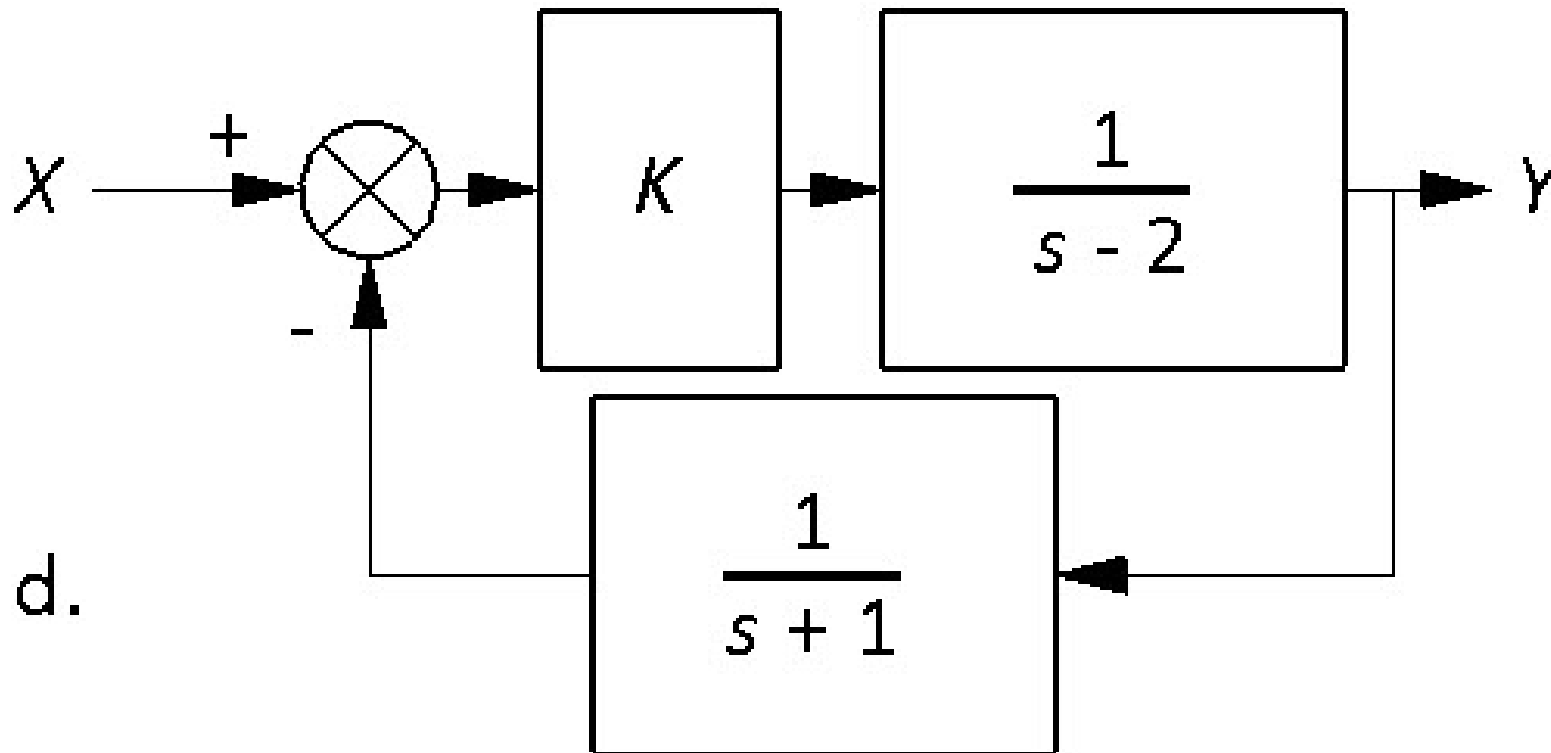


Fig 5.22d: Blokschema bij opgave 4d

Fig 5.23

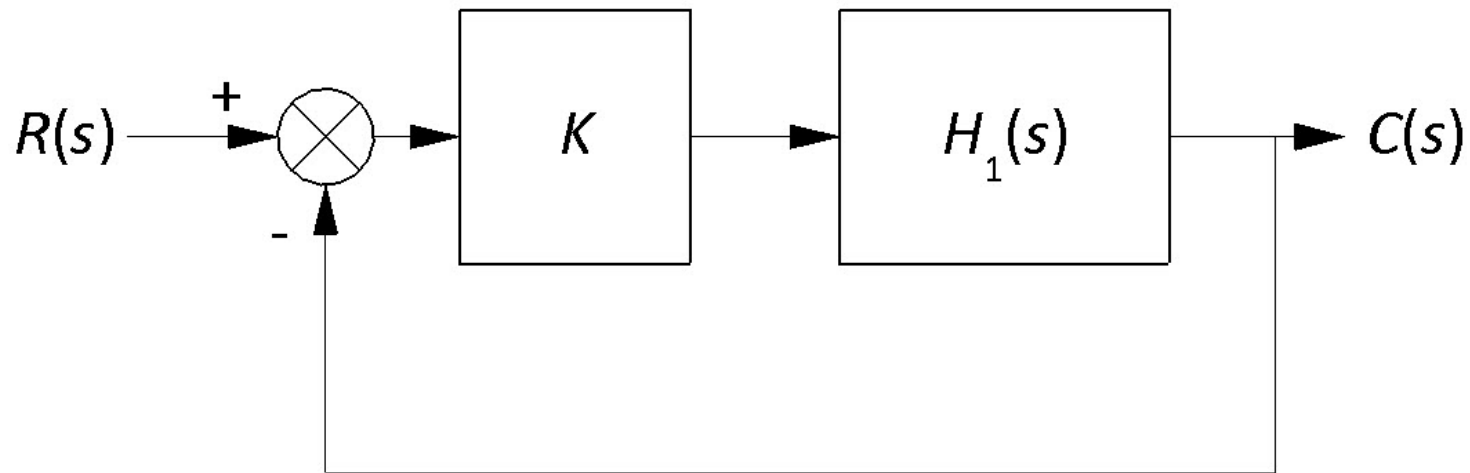


Fig 5.23: Blokschema bij opgave 5

Fig 5.24

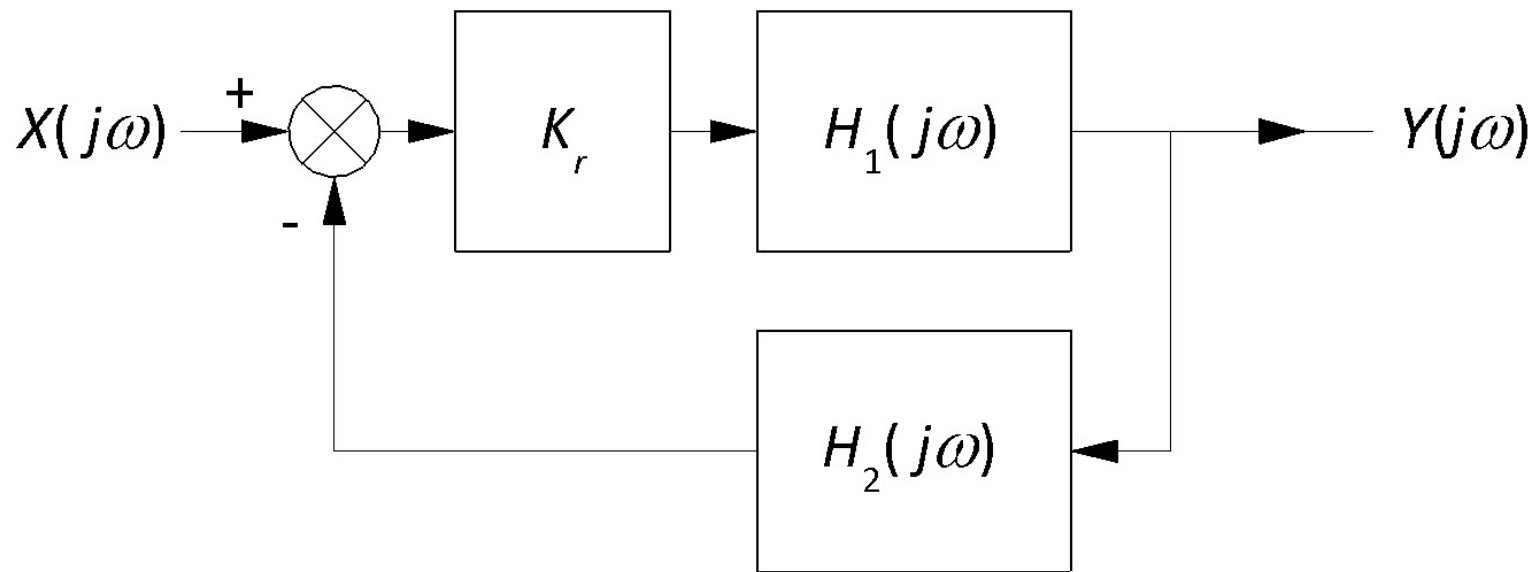


Fig 5.24: Blokschema van opgave 6

Fig 5.25

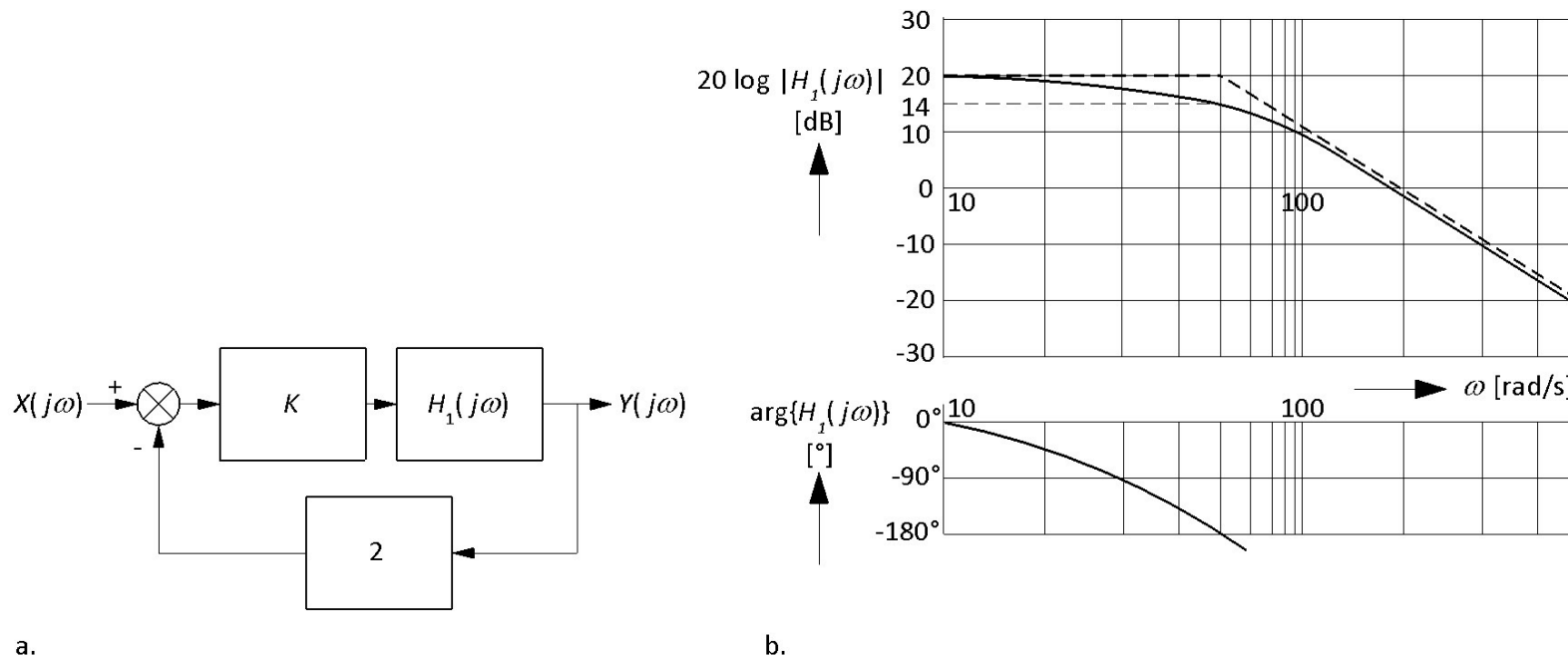
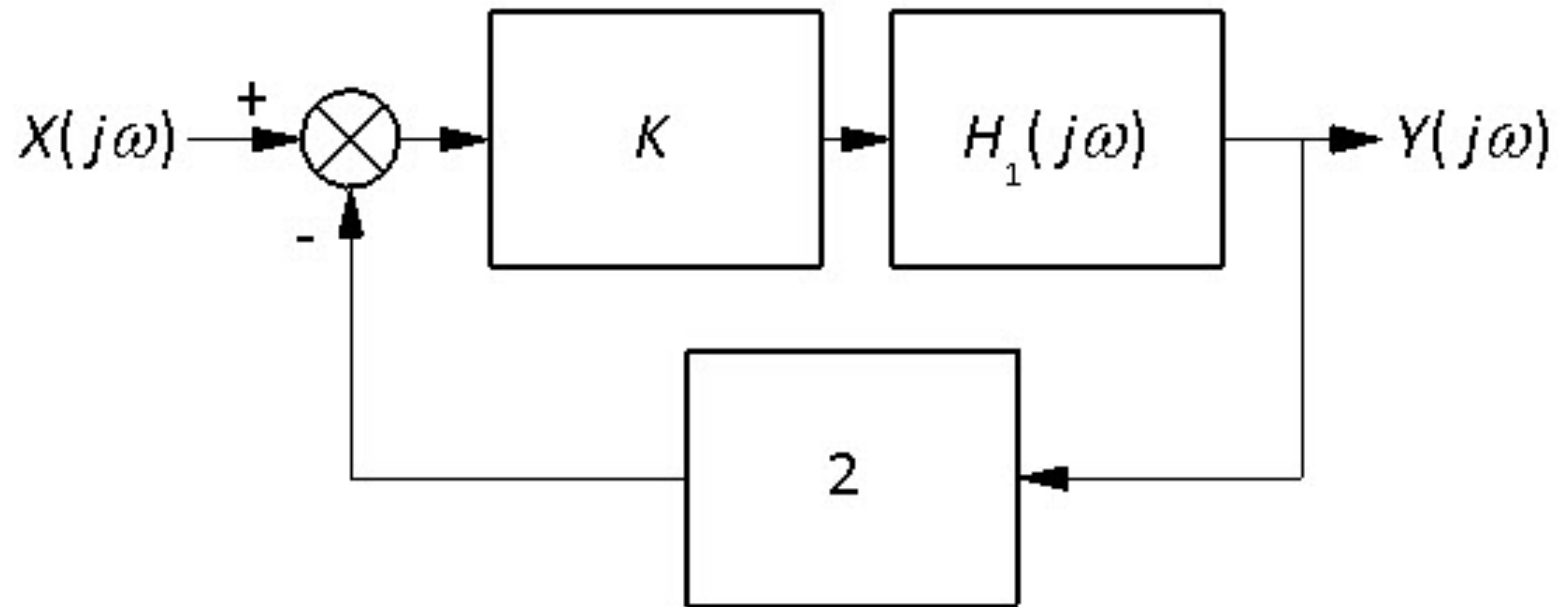


Fig 5.25: Blokschema en Bode-diagram van opgave 7

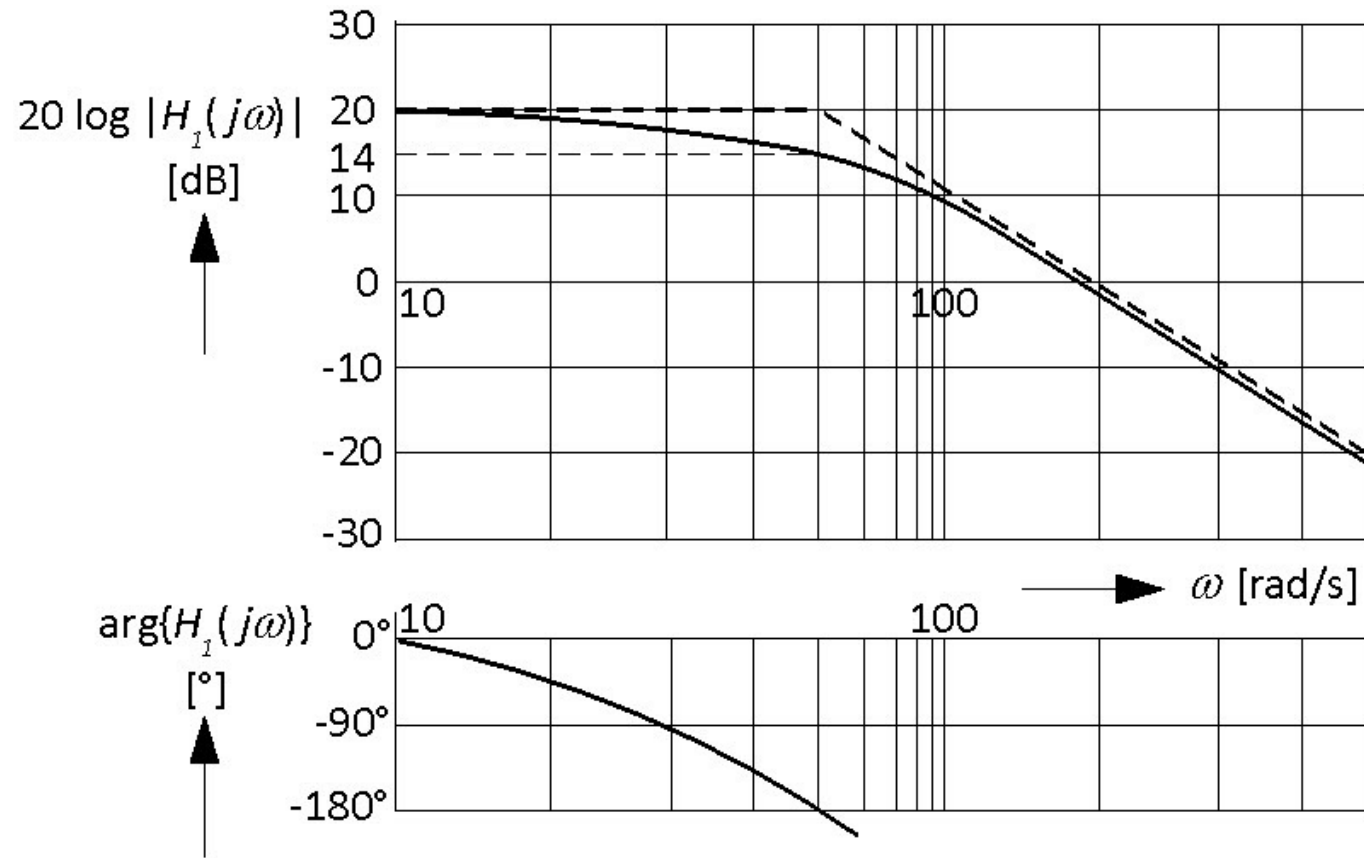
Fig 5.25a



a.

Fig 5.25a: Blokschema van opgave 7

Fig 5.25b



b.

Fig 5.25b: Bode-diagram van opgave 7

Hoofdstuk 6

	<i>Boek</i>
	<i>Pag #</i>
Fig 6.1: Zwaartekrachtoplichters laten een voorwerp zweven met behulp van een magnetische kracht tegengesteld aan de zwaartekracht	126
Fig 6.2: Blokschema van een teruggekoppeld systeem	127
Fig 6.3a: Teruggekoppeld eerste-ordesysteem (a)	128
Fig 6.3b: Poolbaan bij variabele versterking (b)	128
Fig 6.4: Teruggekoppeld systeem	130
Fig 6.5: Poolbaan van voorbeeld 6.4	131
Fig 6.6: Bepaling van de fase voor de punten s	132
Fig 6.7: Gedeeltelijke poolbaan van voorbeeld 6.5	132
Fig 6.8: Poolbaan voorbeeld 6.6	134
Fig 6.9: Poolbaan van voorbeeld 6.7	135
Fig 6.10: Bewijs van het cirkelvormige verloop van een deel van de poolbaan	137
Fig 6.11: Poolbaan voorbeeld 6.10	138
Fig 6.12: Blokschema voor het bepalen van de poolbaanconstructieregels	139
Fig 6.13a: Enkele voorbeelden van poolbanen	140
Fig 6.13b: Enkele voorbeelden van poolbanen	140

Hoofdstuk 6

	<i>Boek</i>
	<i>Pag #</i>
Fig 6.14: Blokschema van systeem van voorbeeld 6.12	142
Fig 6.15: Poolbaan van het systeem van voorbeeld 6.12	143
Fig 6.16: Blokschema van een PD-geregeld systeem	144
Fig 6.17: Poolbaan van voorbeeld 6.13	144
Fig 6.18: Plaatdiktereregeling bij staalwalsen	145
Fig 6.19: Warmtewisselaar	146
Fig 6.20: Poolbaan van systeem met looptijd	147
Fig 6.21: Blokschema van opgave 4	149
Fig 6.22: Teruggekoppeld tweede-ordesysteem met looptijd	149

Fig 6.1

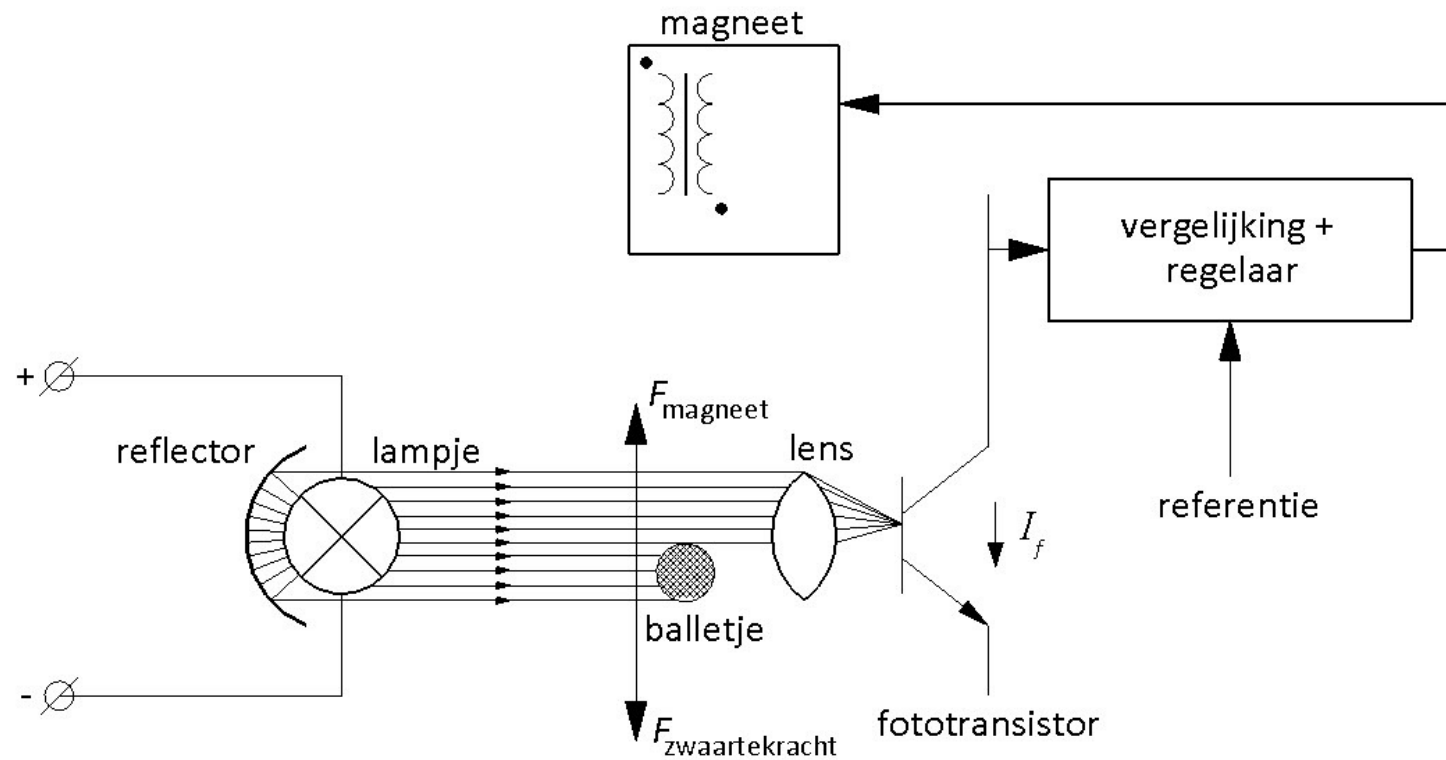


Fig 6.1: Zwaartekrachtoplichters laten een voorwerp zweven met behulp van een magnetische kracht tegengesteld aan de zwaartekracht

Fig 6.2

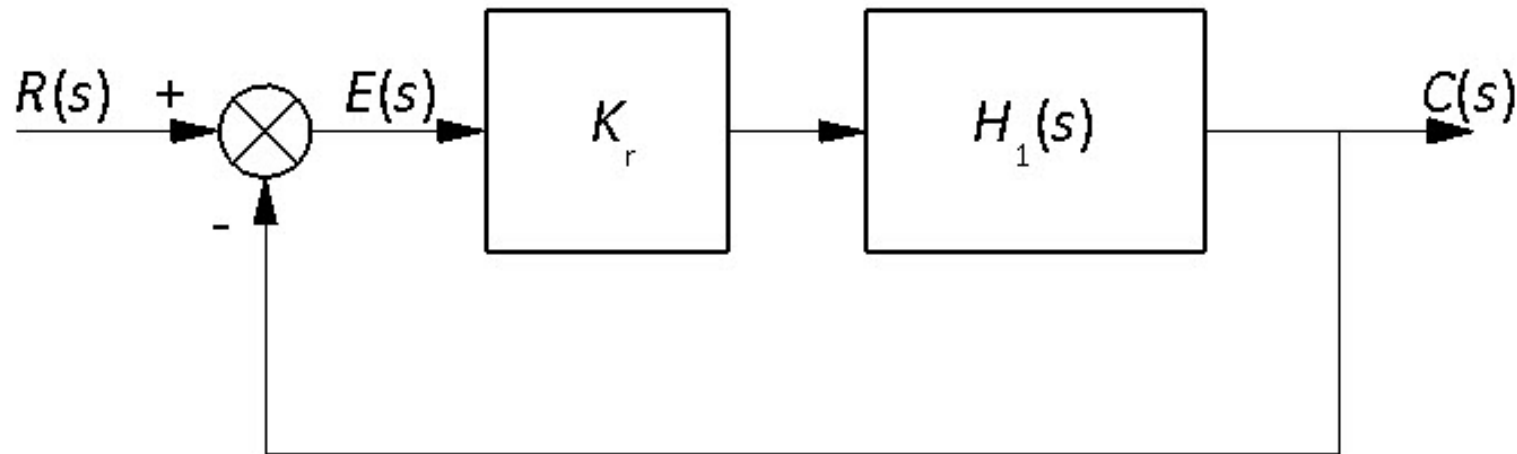
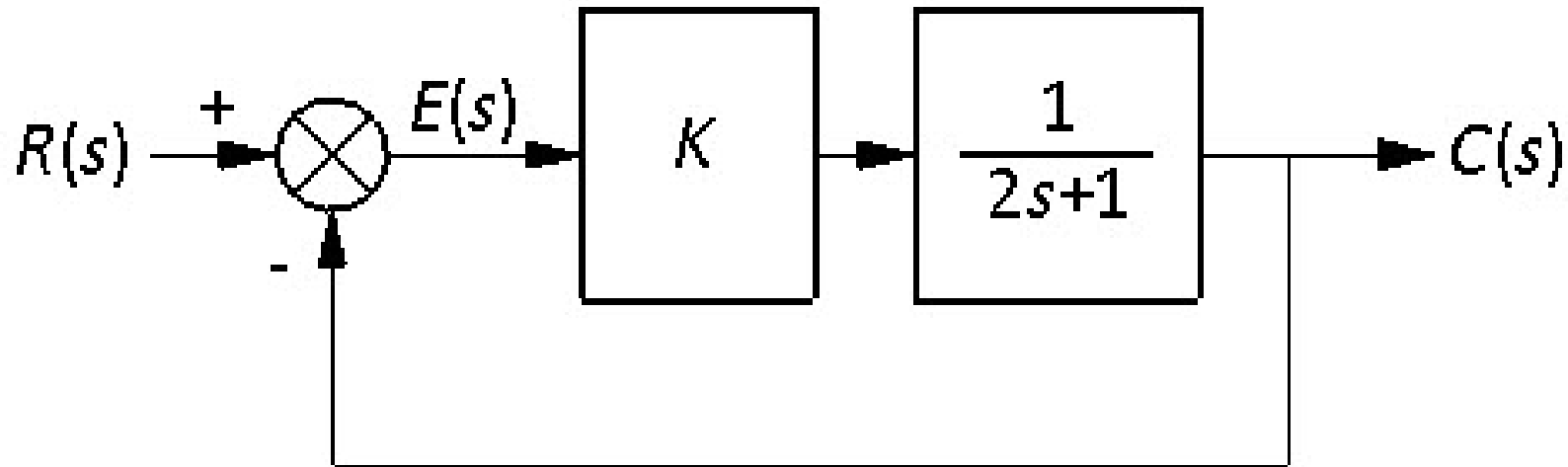


Fig 6.2: Blokschema van een teruggekoppeld systeem

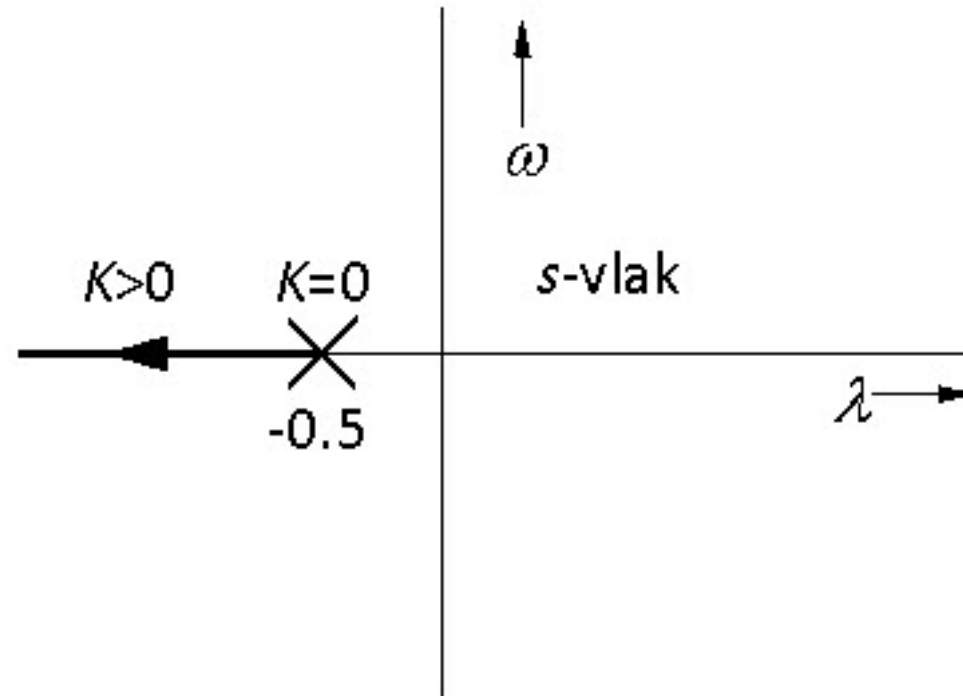
Fig 6.3a



a. teruggekoppeld eerste-ordesysteem

Fig 6.3a: Teruggekoppeld eerste-ordesysteem (a)

Fig 6.3b



b. poolbaan bij variabele versterking

Fig 6.3b: Poolbaan bij variabele versterking (b)

Fig 6.4

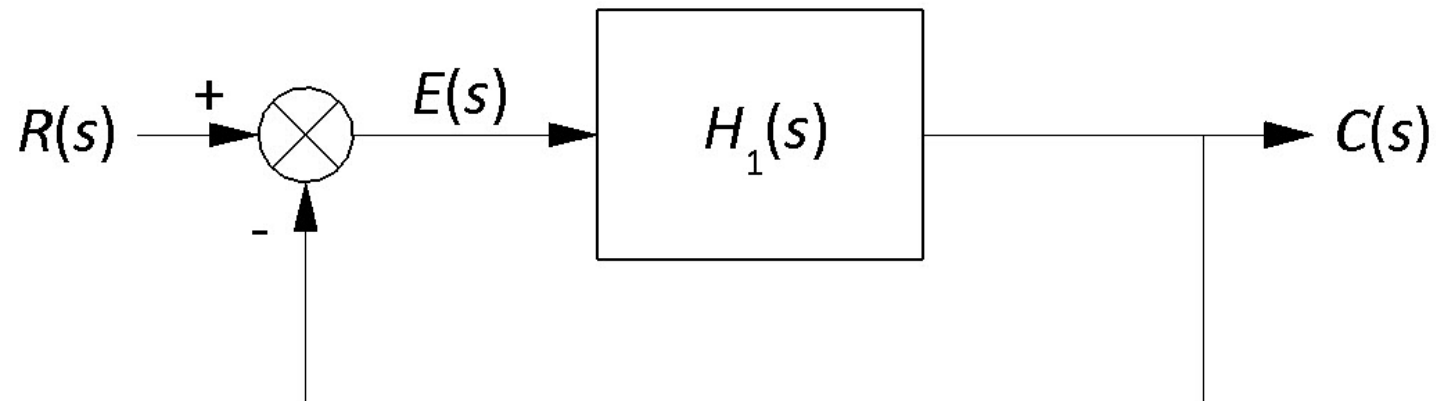


Fig 6.4: Teruggekoppeld systeem

Fig 6.5

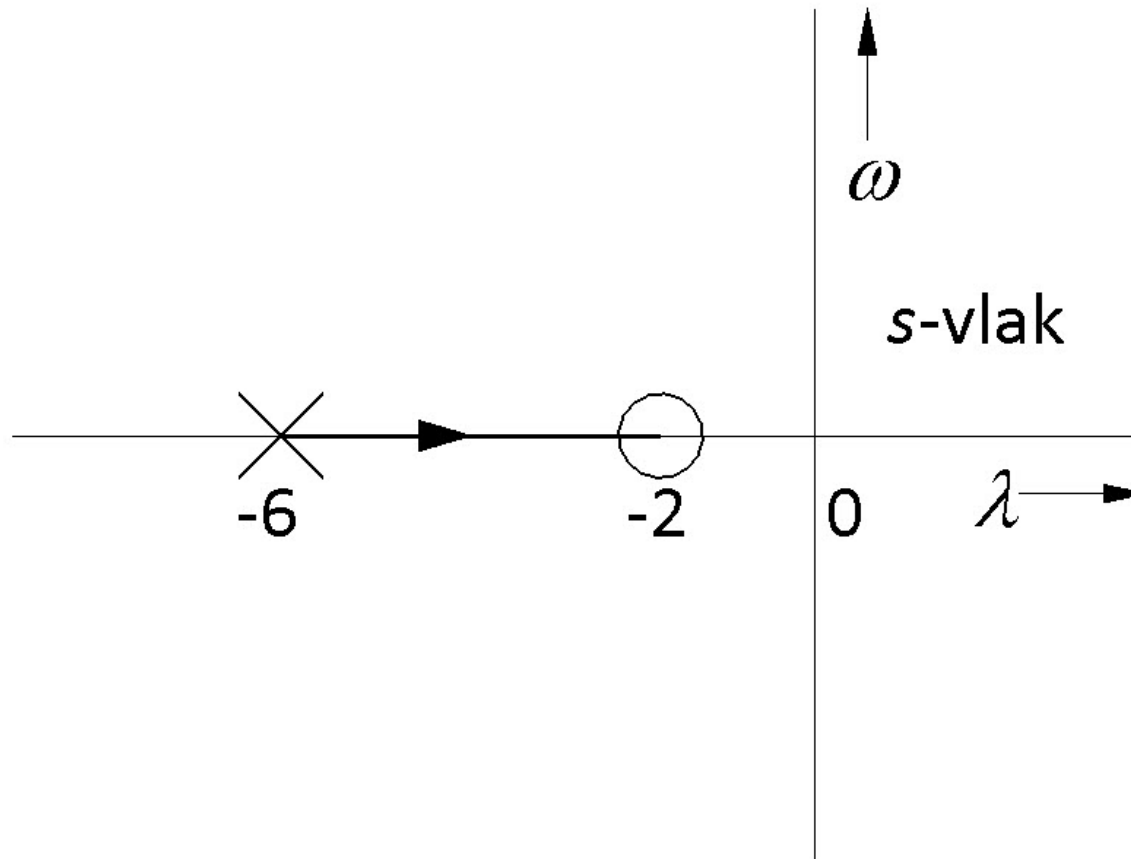
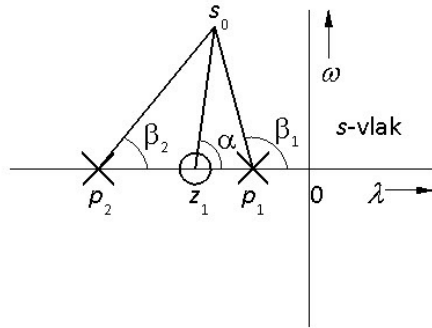
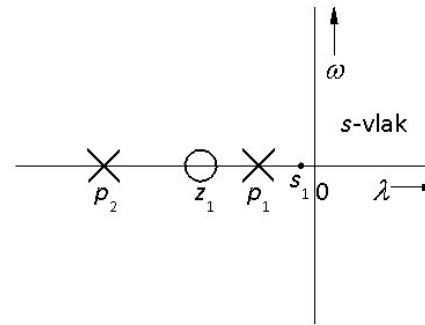


Fig 6.5: Poolbaan van voorbeeld 6.4

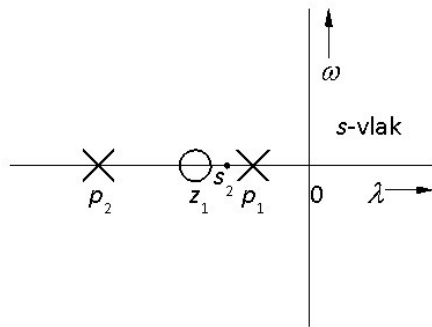
Fig 6.6



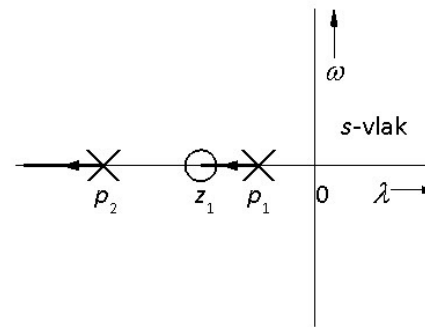
$$\text{a. } \arg \left\{ \frac{T(s_0)}{N(s_0)} \right\} = \alpha - (\beta_1 + \beta_2) \neq (1 \pm 2k)\pi$$



$$\text{b. } \arg \left\{ \frac{T(s_1)}{N(s_1)} \right\} = 0 - (0 + 0) \neq (1 \pm 2k)\pi$$



$$\text{c. } \arg \left\{ \frac{T(s_2)}{N(s_2)} \right\} = 0 - (\pi + 0) = (1 \pm 2k)\pi$$



d. poolbaan van het systeem

Fig 6.6: Bepaling van de fase voor de punten s

Fig 6.7

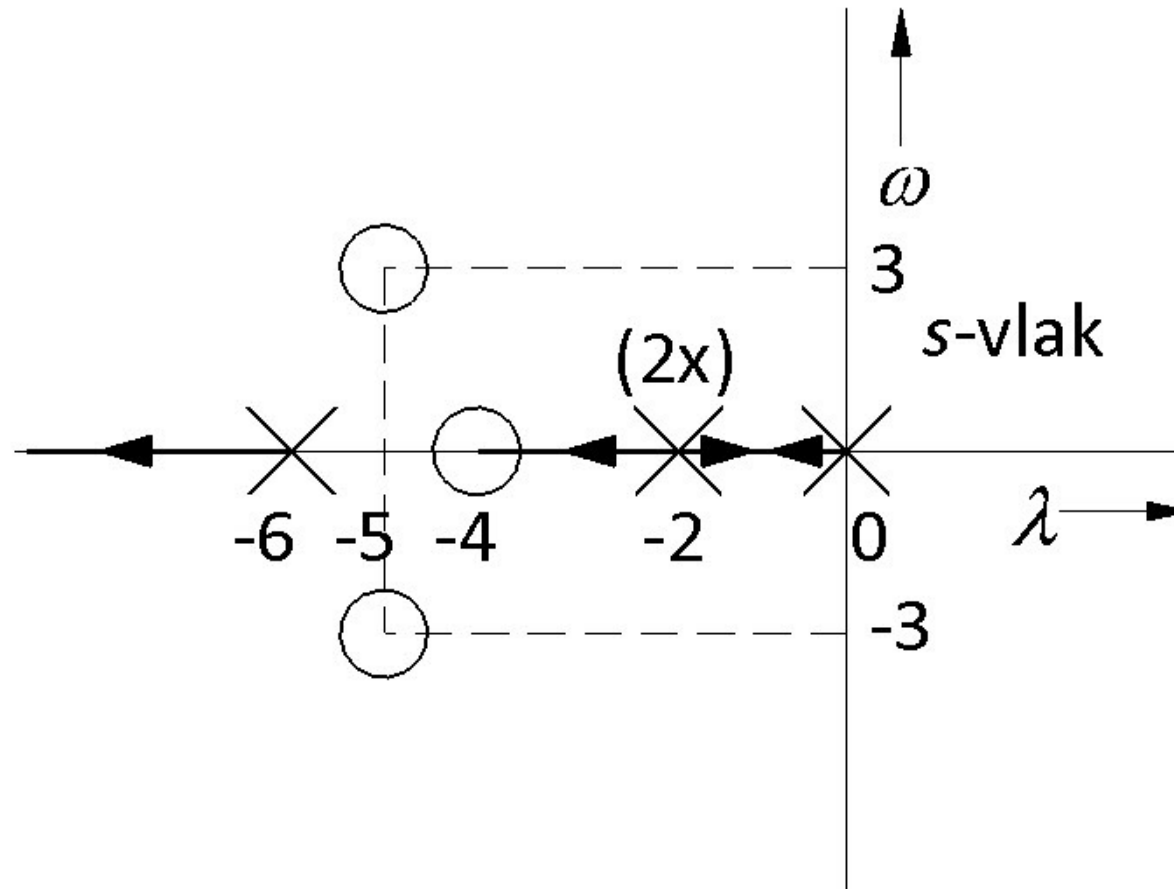


Fig 6.7: Gedeeltelijke poolbaan van voorbeeld 6.5

Fig 6.8

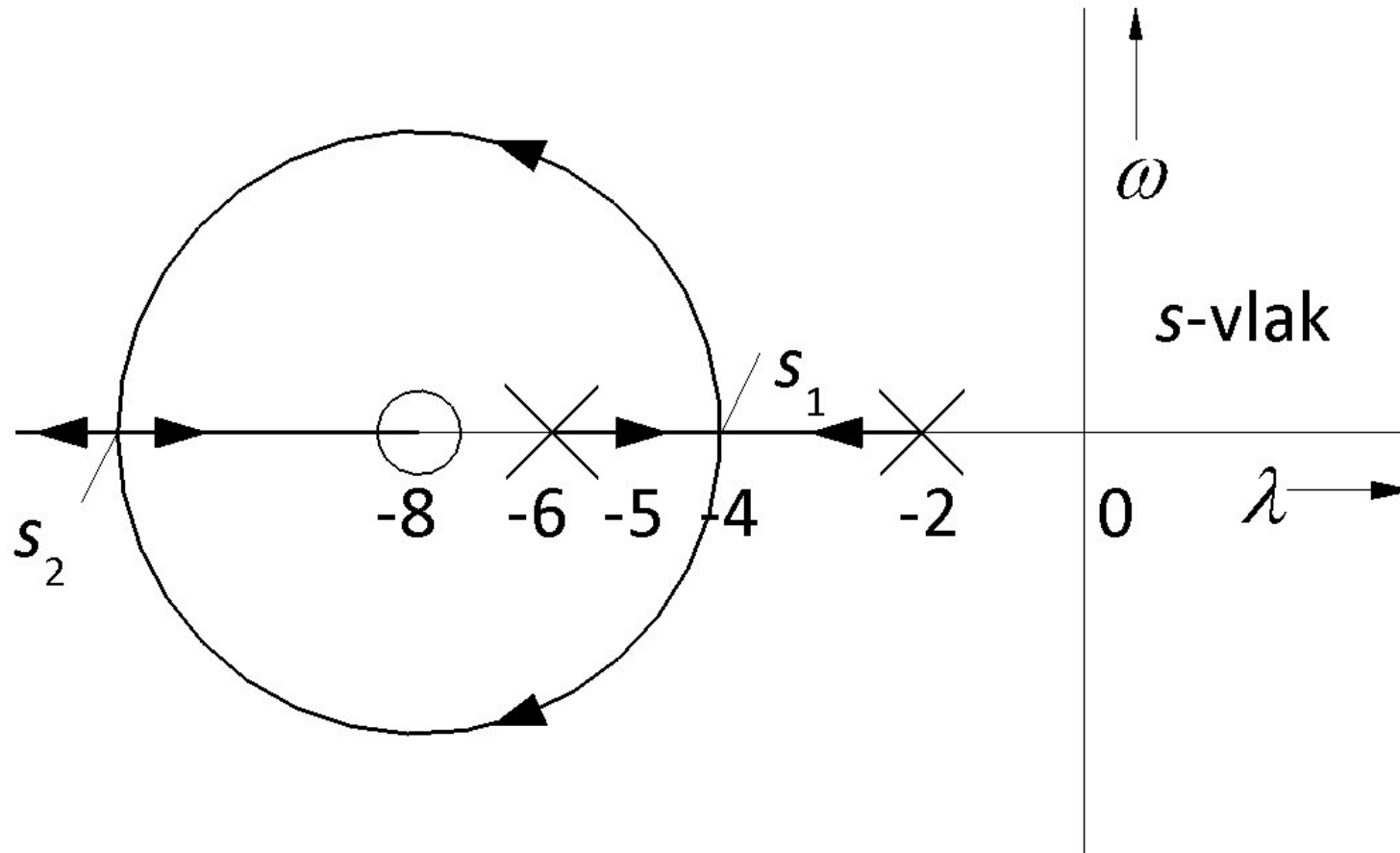


Fig 6.8: Poolbaan voorbeeld 6.6

Fig 6.9

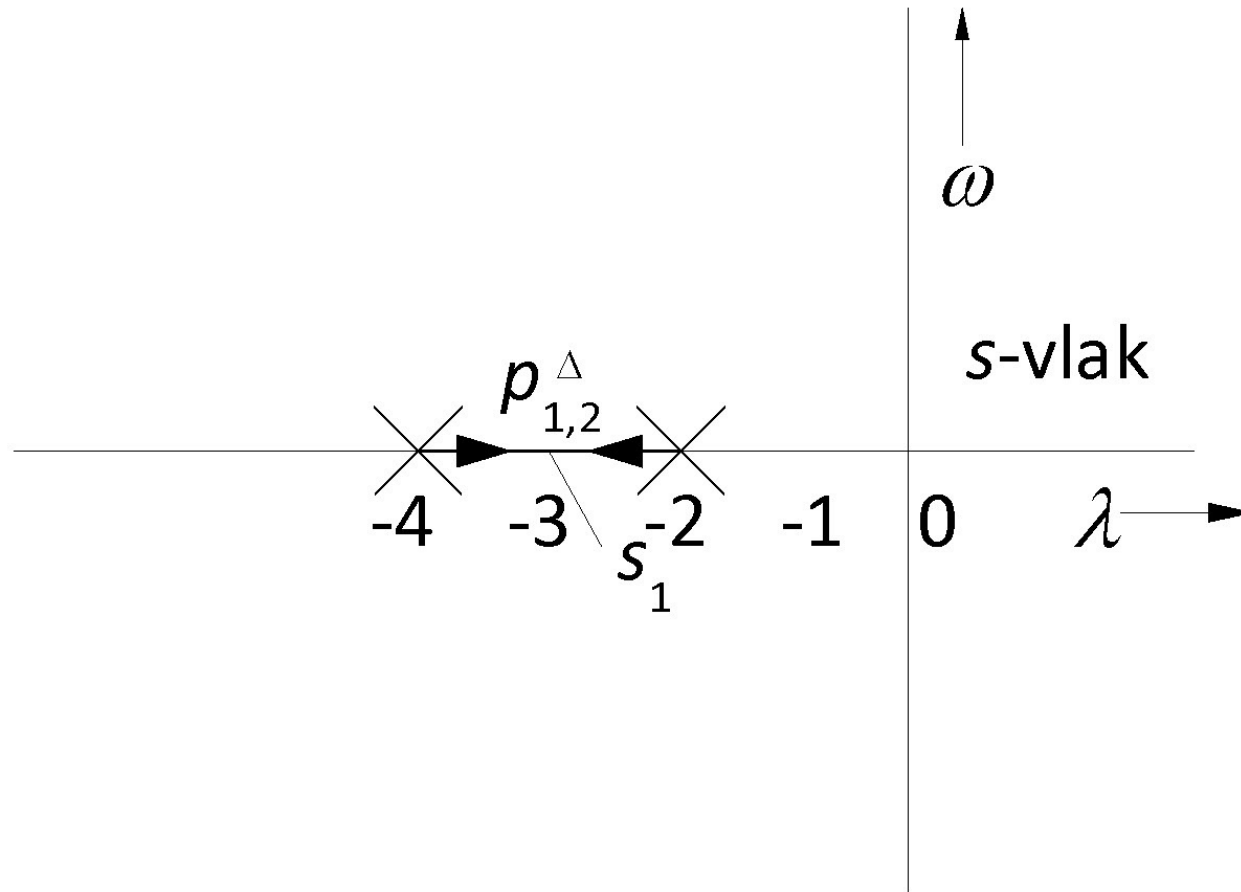


Fig 6.9: Poolbaan van voorbeeld 6.7

Fig 6.10

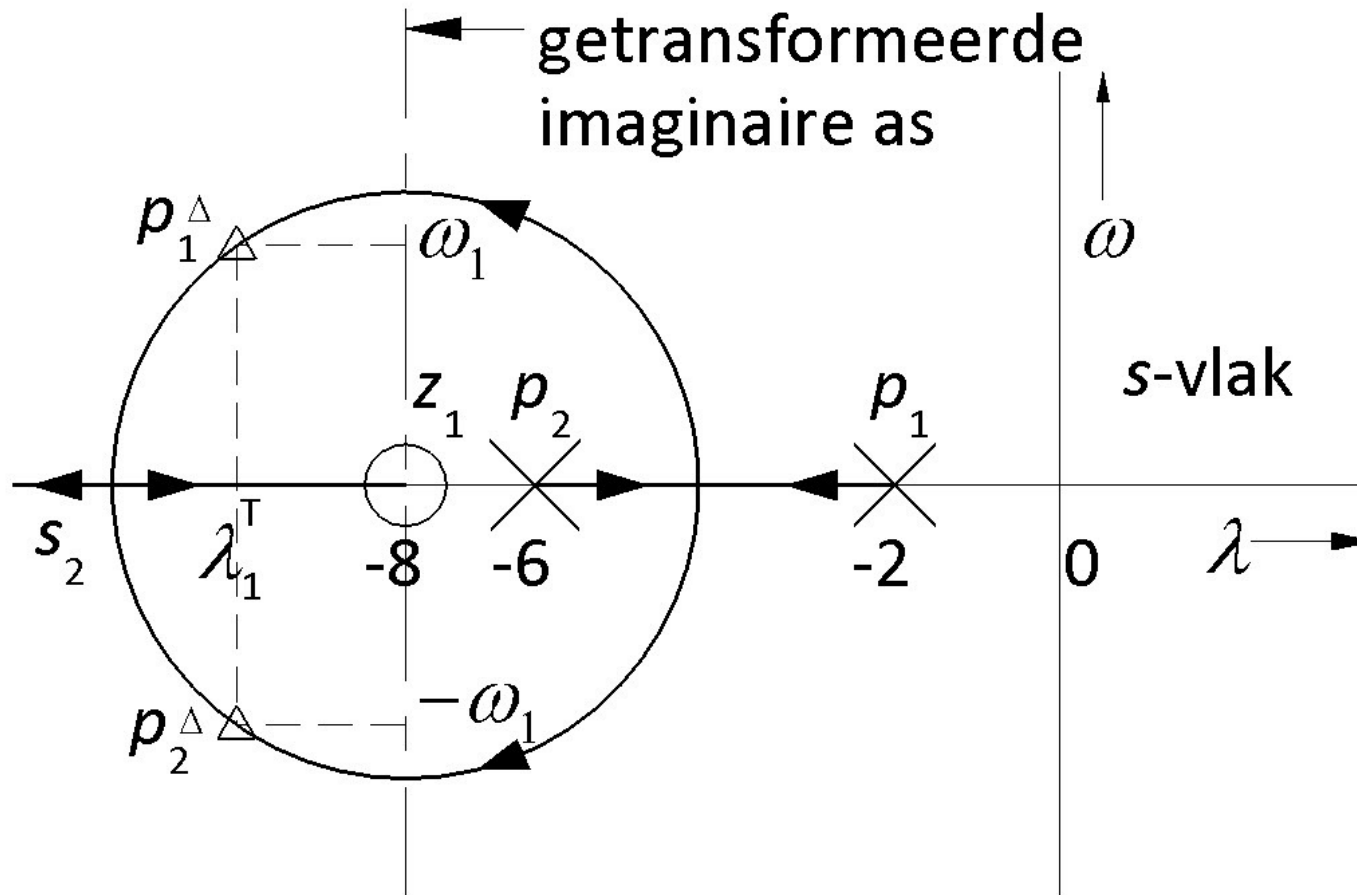


Fig 6.10: Bewijs van het cirkelvormige verloop van een deel van de poolbaan

Fig 6.11

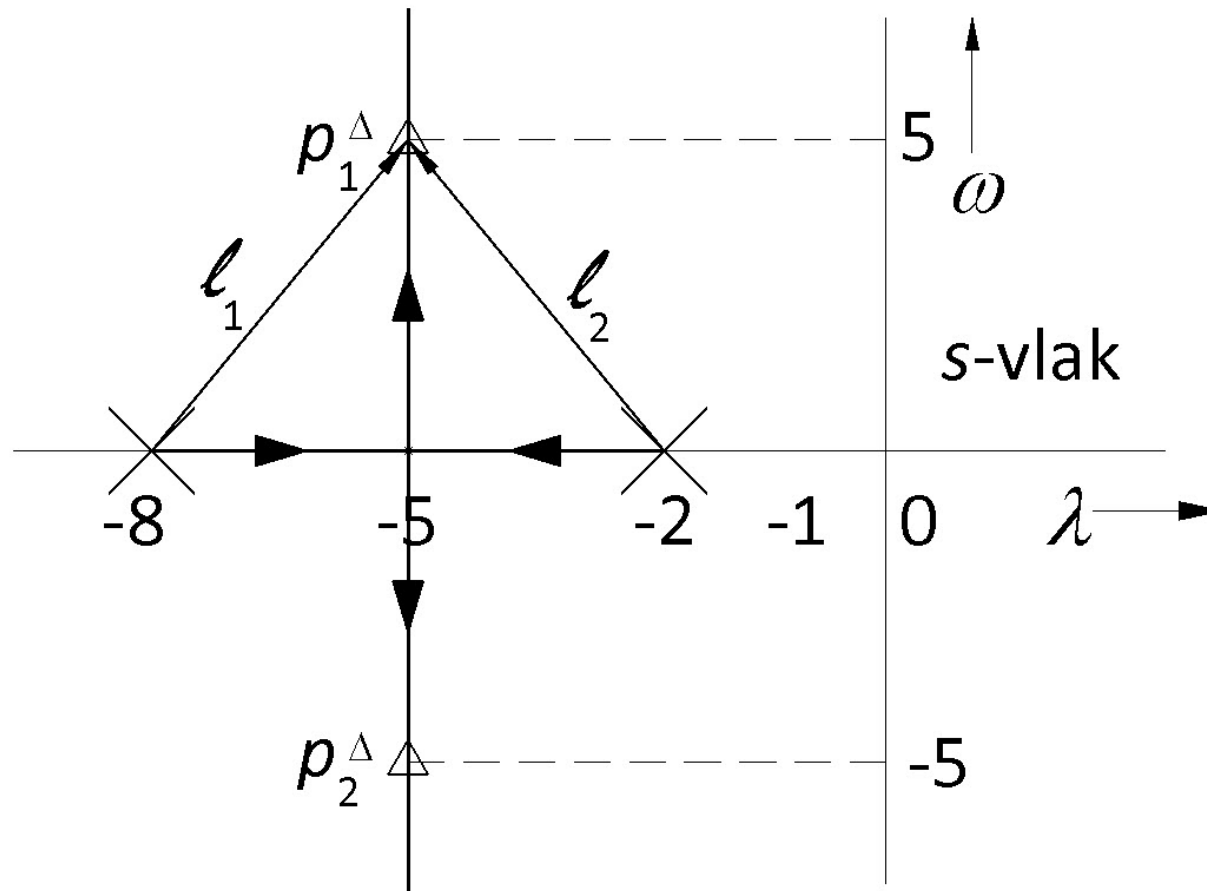


Fig 6.11: Poolbaan voorbeeld 6.10

Fig 6.12

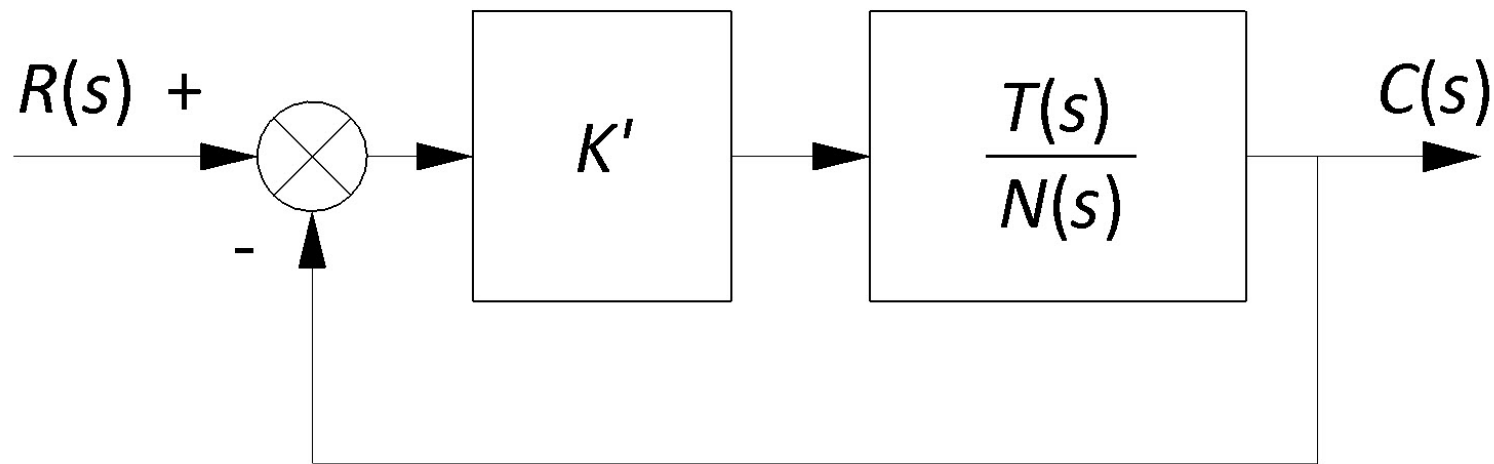
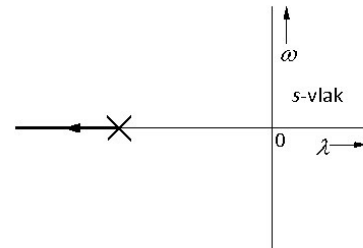
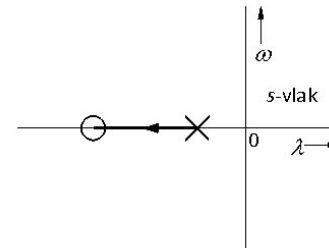


Fig 6.12: Blokschema voor het bepalen van de poolbaanconstructieregels

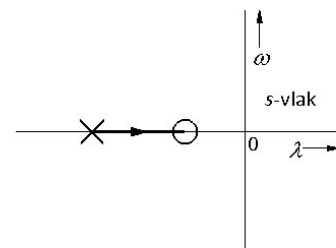
Fig 6.13a



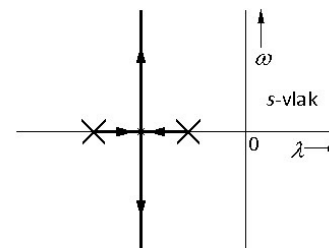
a. één pool



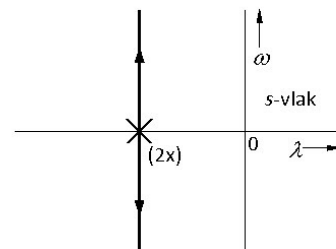
b. één pool en één nulpunt



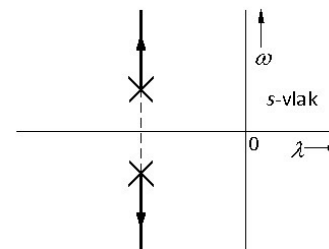
c. één pool en één nulpunt



d. twee verschillende reële polen



e. twee samenvallende polen



f. twee toegevoegd complexe polen

Fig 6.13a: Enkele voorbeelden van poolbanen

Fig 6.13b

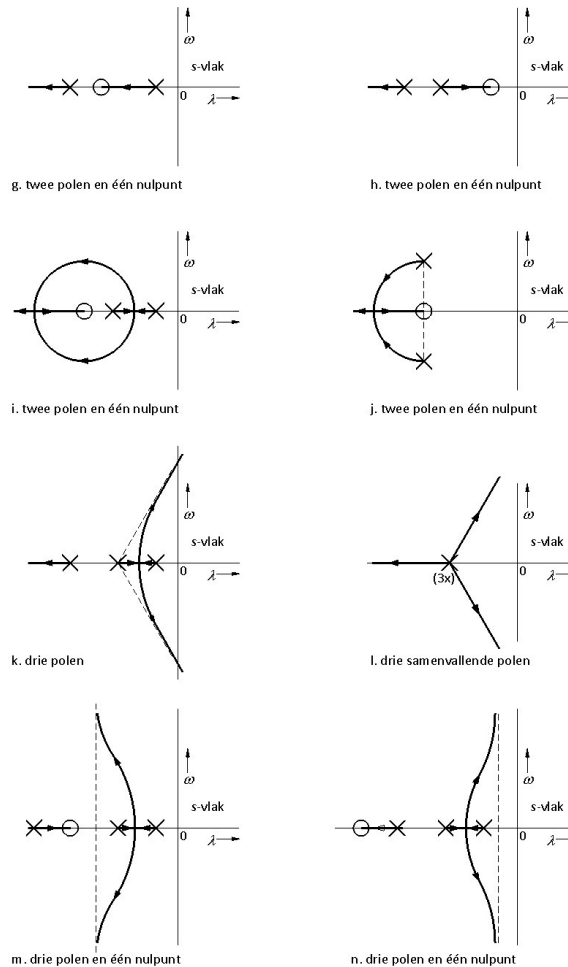


Fig 6.13b:

Enkele voorbeelden van poolbanen

Fig 6.14

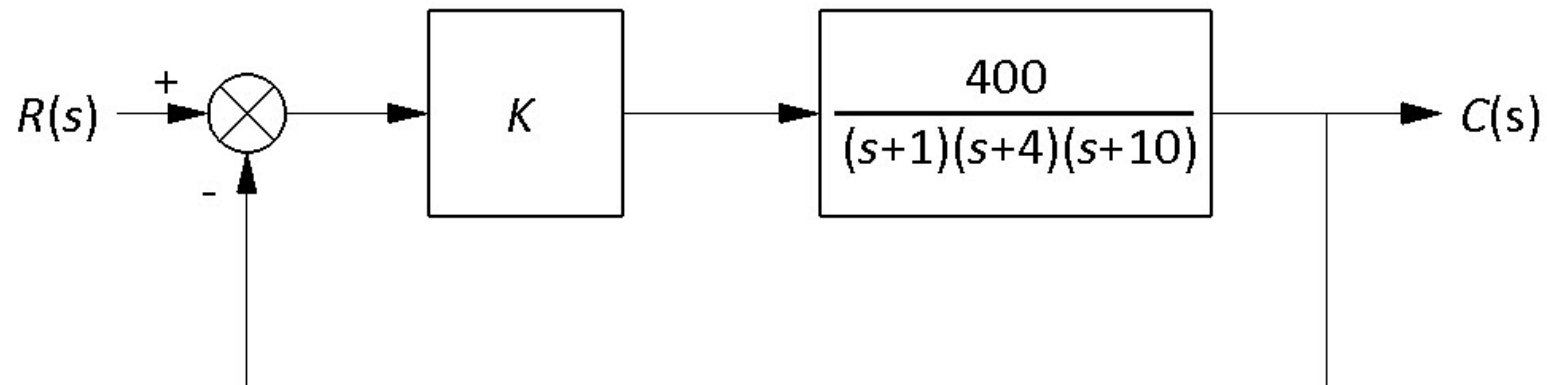


Fig 6.14: Blokschema van systeem van voorbeeld 6.12

Fig 6.15

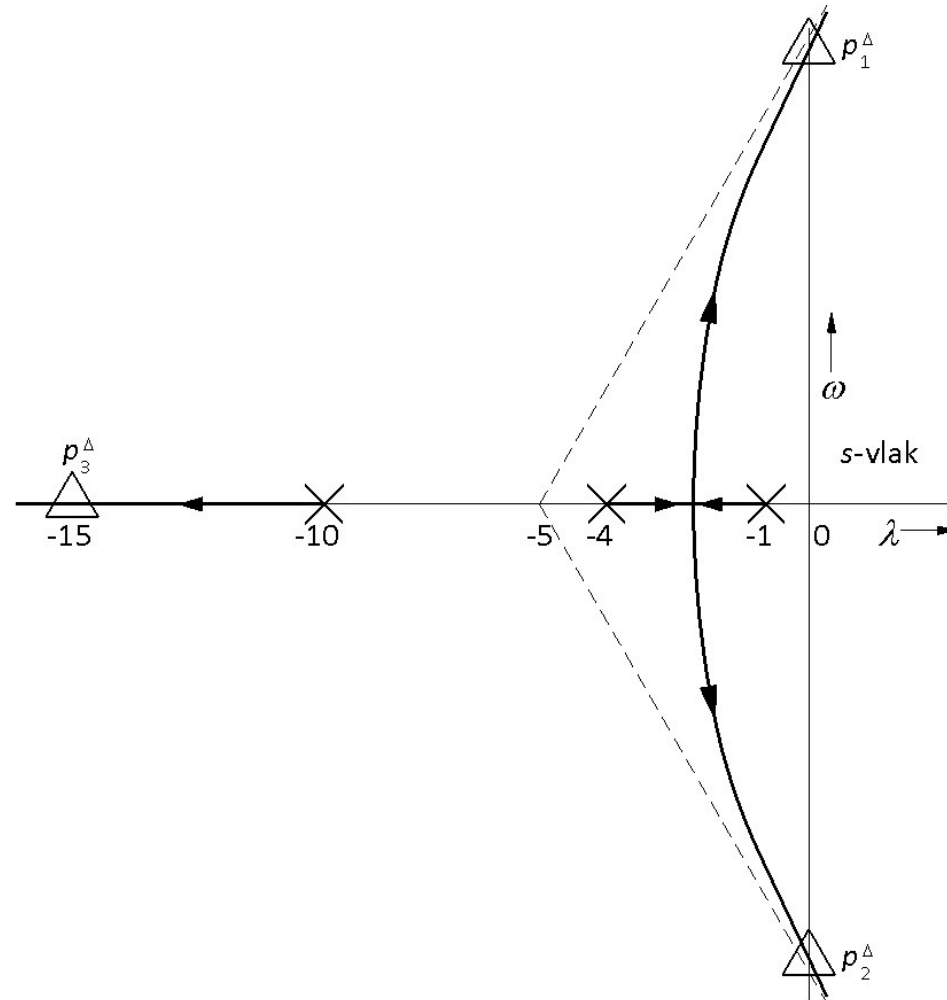


Fig 6.15: Poolbaan van het systeem van voorbeeld 6.12

Fig 6.16

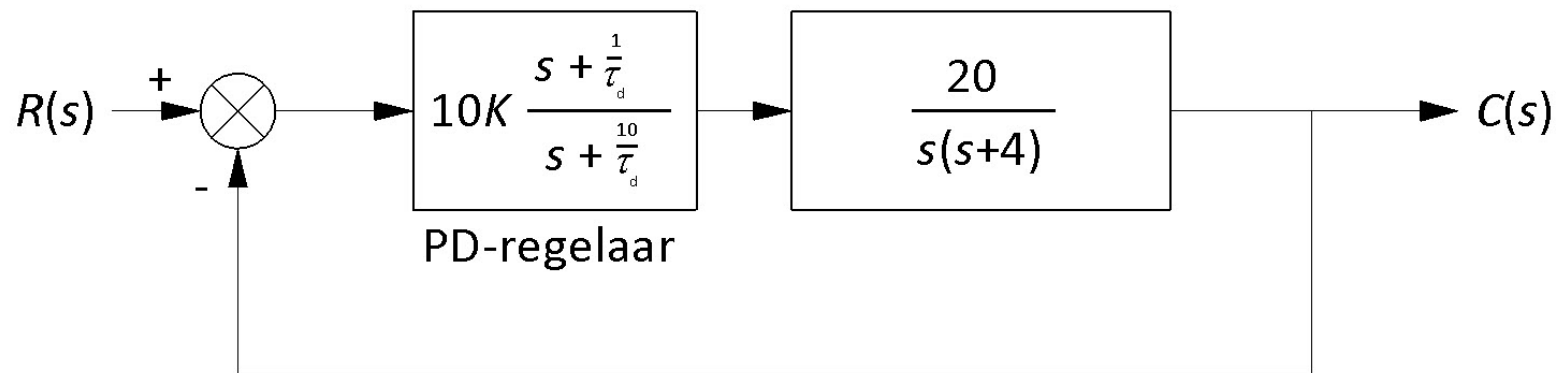


Fig 6.16: Blokschema van een PD-geregeld systeem

Fig 6.17

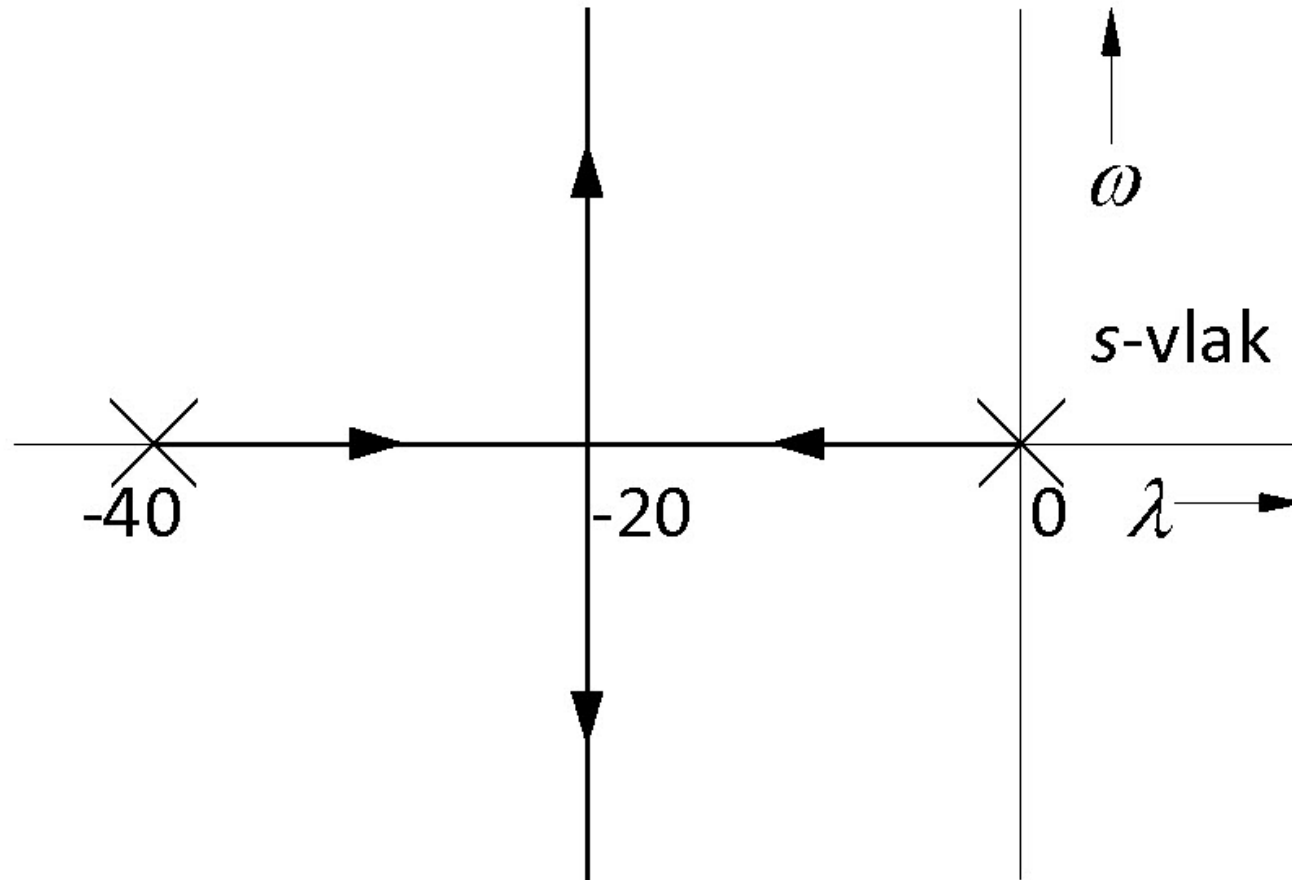


Fig 6.17: Poolbaan van voorbeeld 6.13

Fig 6.18

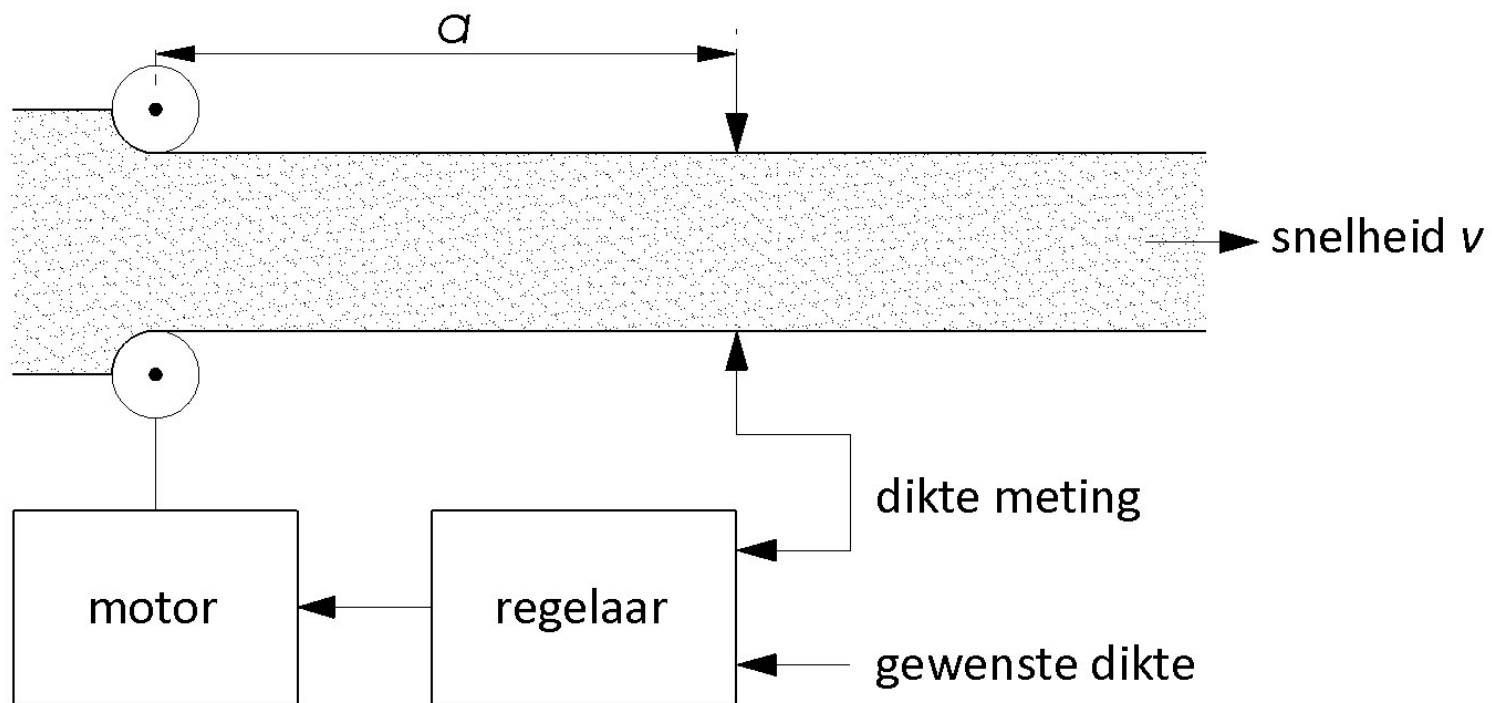
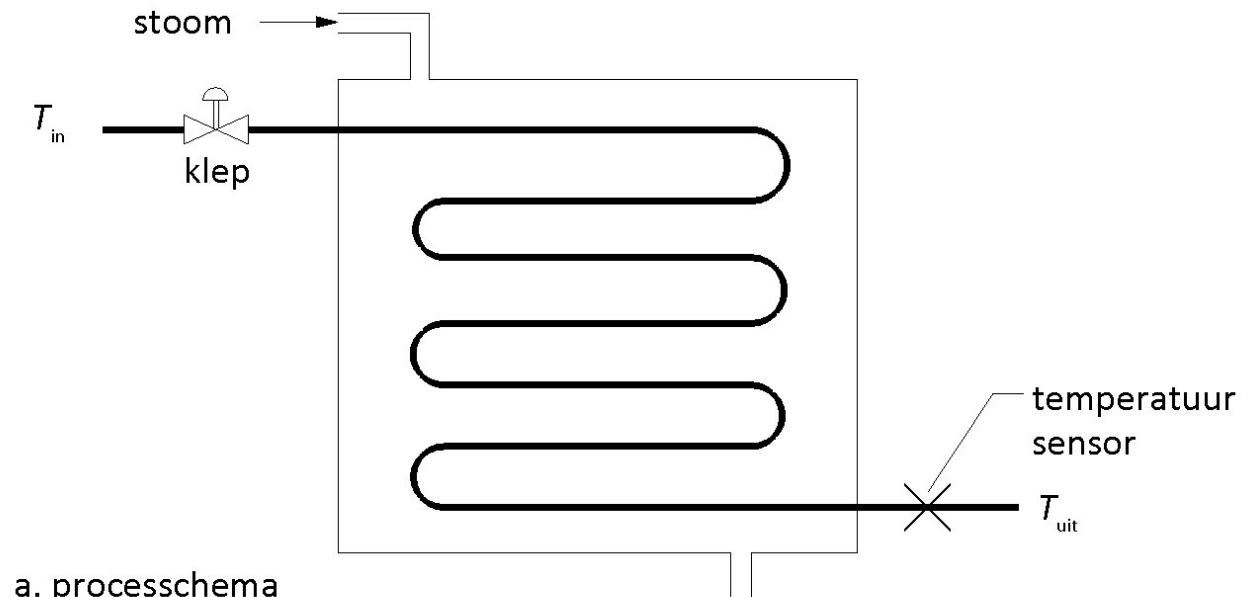
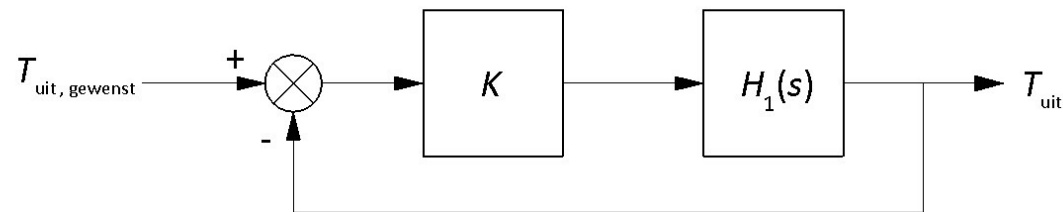


Fig 6.18: Plaatdikteregeling bij staalwalsen

Fig 6.19



a. processchema



b. blokschema

Fig 6.19: Warmtewisselaar

Fig 6.20

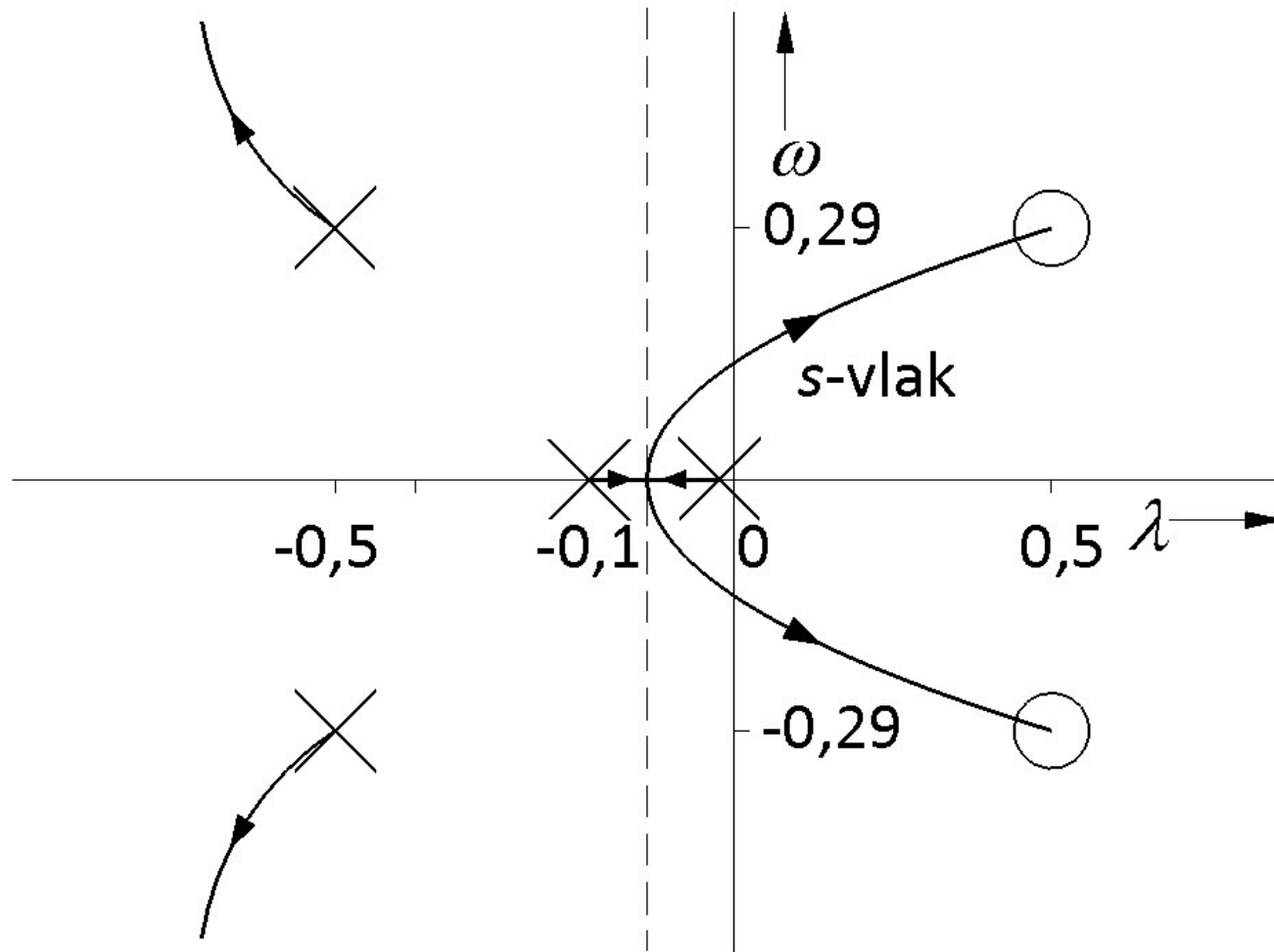


Fig 6.20: Poolbaan van systeem met looptijd

Fig 6.21

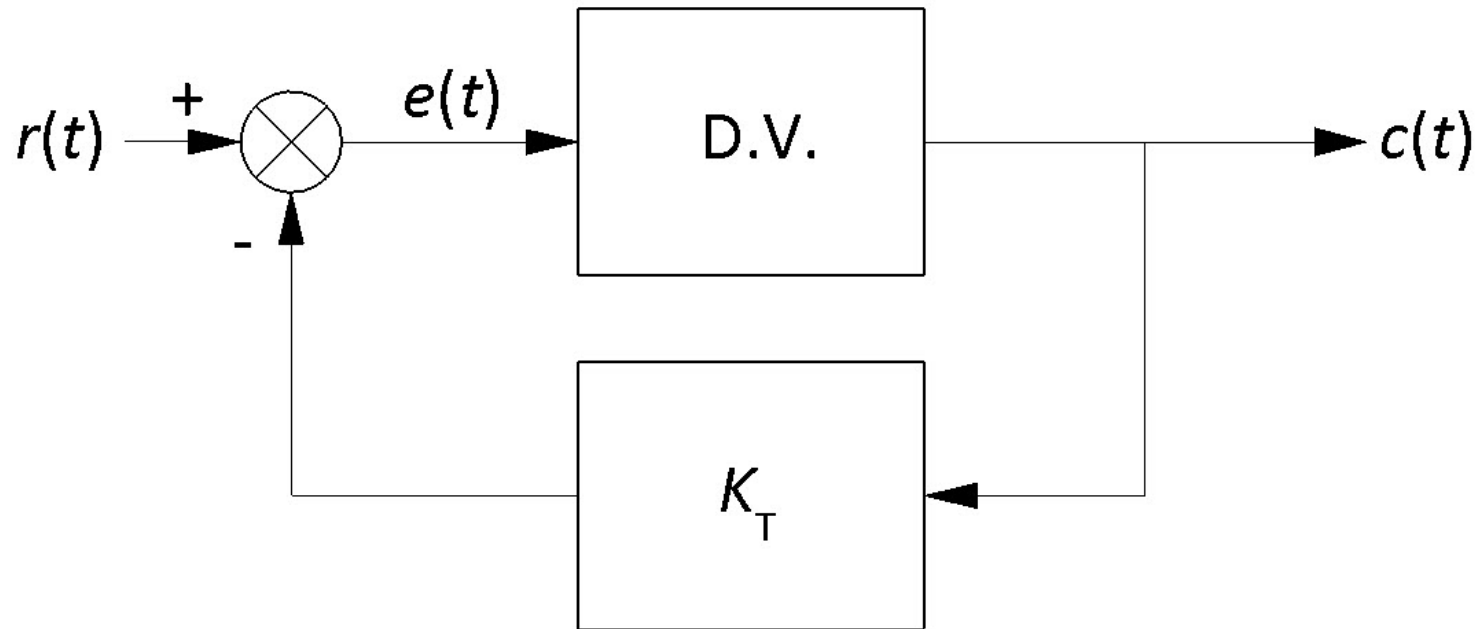


Fig 6.21: Blokschema van opgave 4

Fig 6.22

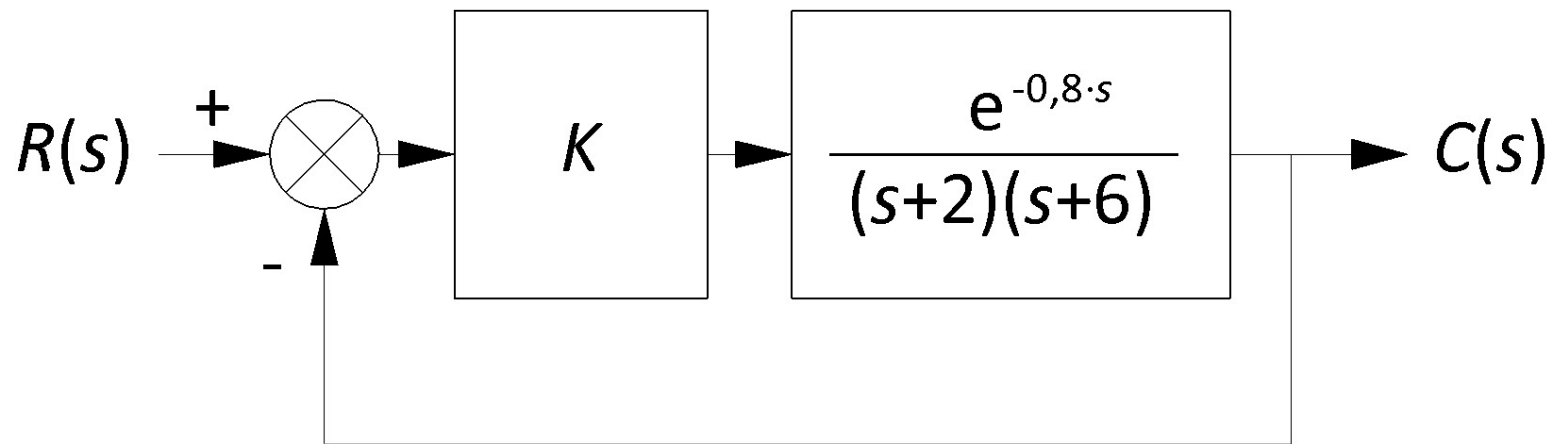


Fig 6.22: Teruggekoppeld tweede-ordesysteem met looptijd

Hoofdstuk 7

	<i>Boek</i>
	<i>Pag #</i>
Fig 7.1: Rekeningrijden	152
Fig 7.2: Winstoptimalisatie	152
Fig 7.3: Ontwerpcriteria gerelateerd aan de stapresponsie	153
Fig 7.4: Tweede-ordessysteem met stapresponsie	154
Fig 7.5: Stapresponsie van het tweede-ordessysteem	155
Fig 7.6: Verboden gebied voor de polen bij een bepaalde maximale settling time	156
Fig 7.7: Lijnen van relatieve demping in het s-vlak	157
Fig 7.8: Fase- en versterkingsmarge	158
Fig 7.9: Rondgaande overbrengingsverhouding van een eerste-ordessysteem met en zonder looptijd	159
Fig 7.10: Bandbreedte in de amplitudekarakteristiek	160
Fig 7.11: Het eenheidsteruggekoppelde systeem	161
Fig 7.12: Blokschema van de regelkring	162

Fig 7.1

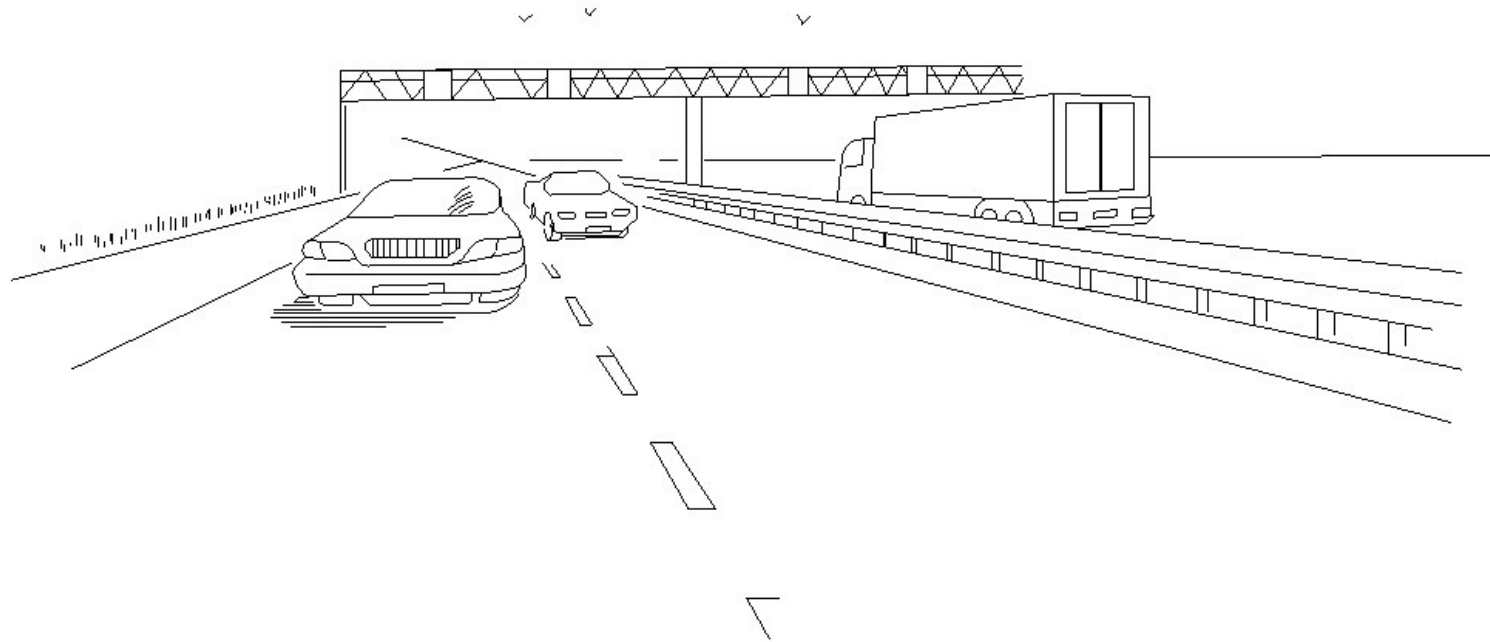


Fig 7.1: Rekeningrijden

Fig 7.2

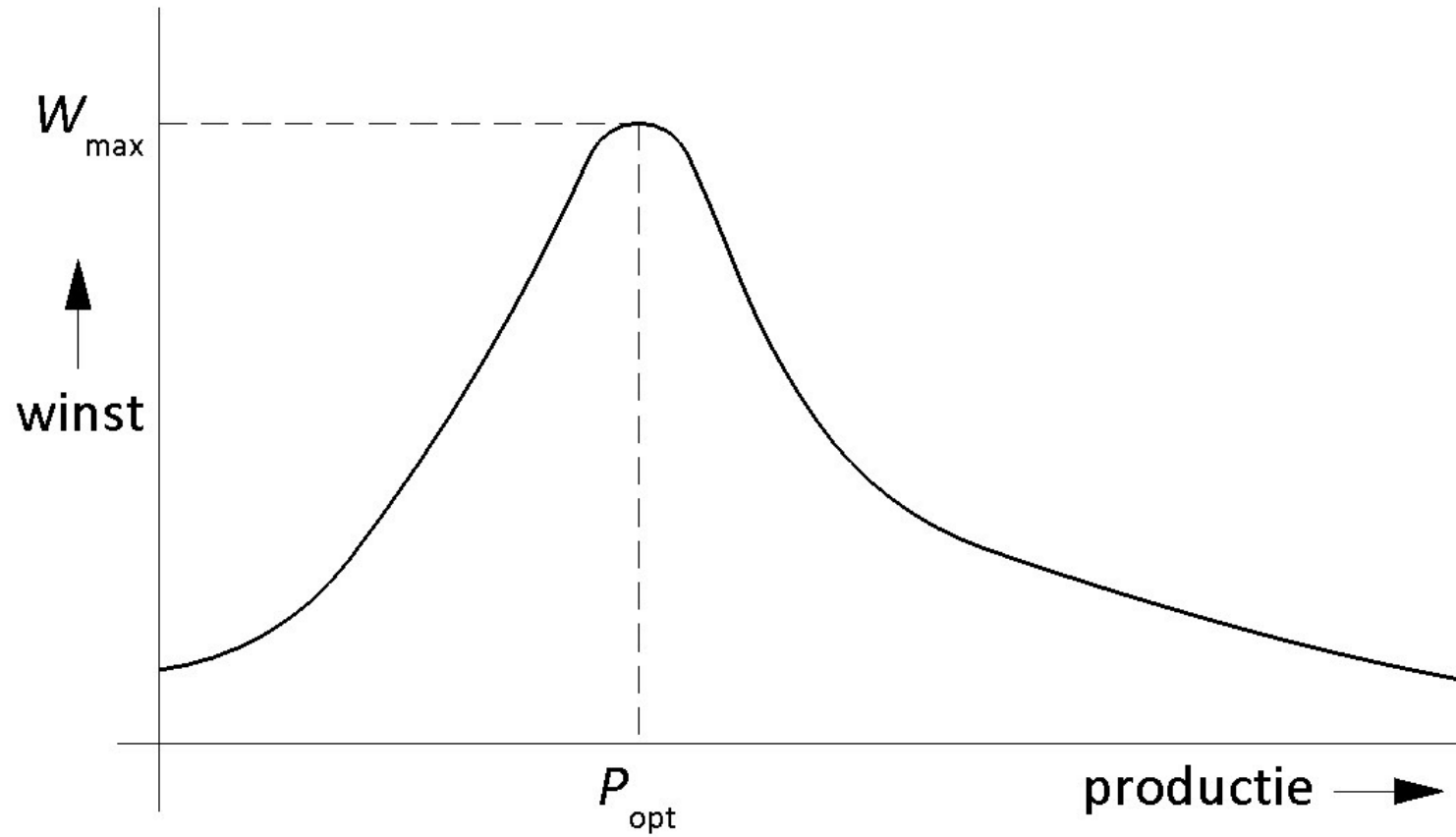


Fig 7.2: Winstoptimalisatie

Fig 7.3

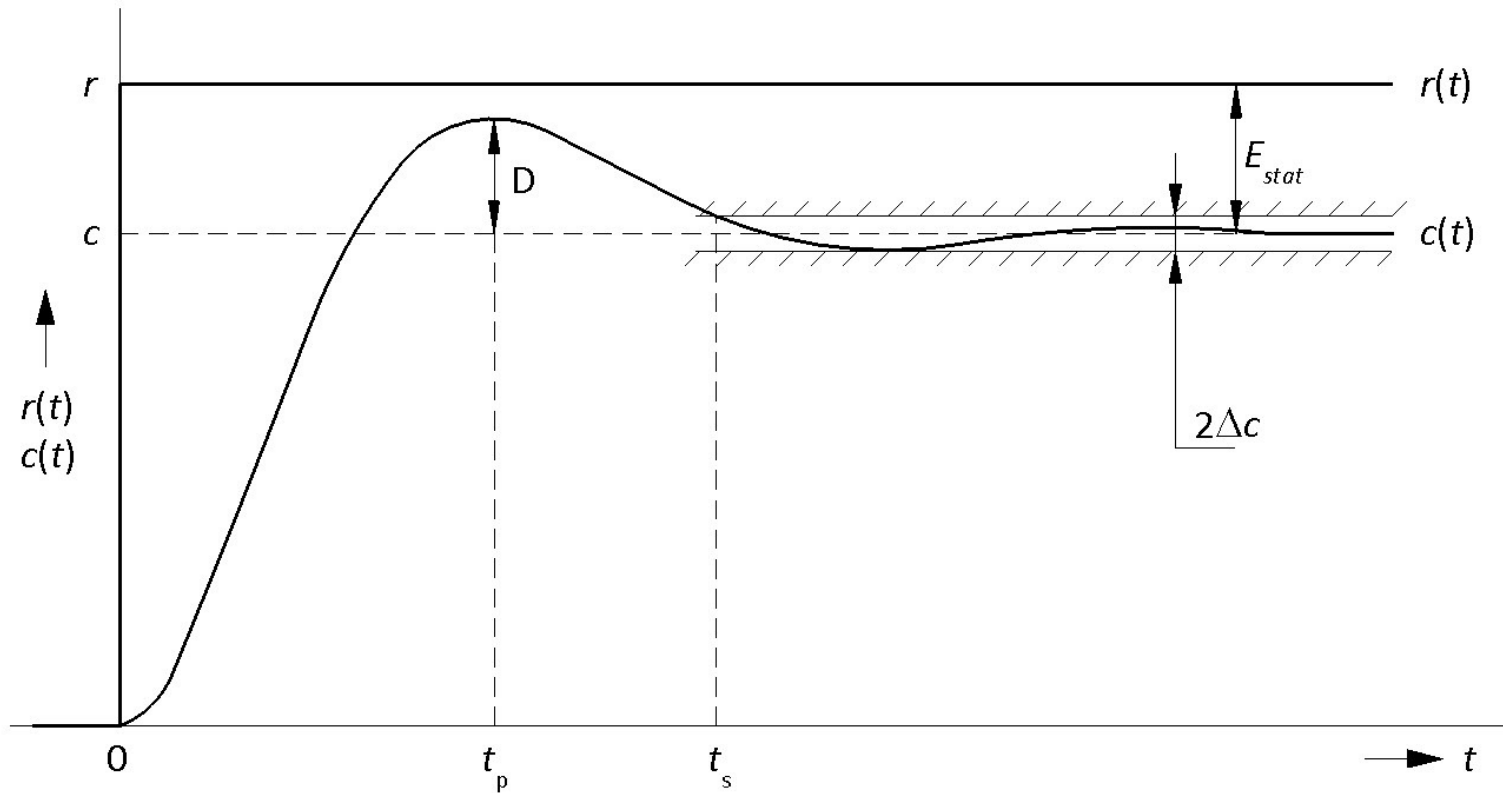
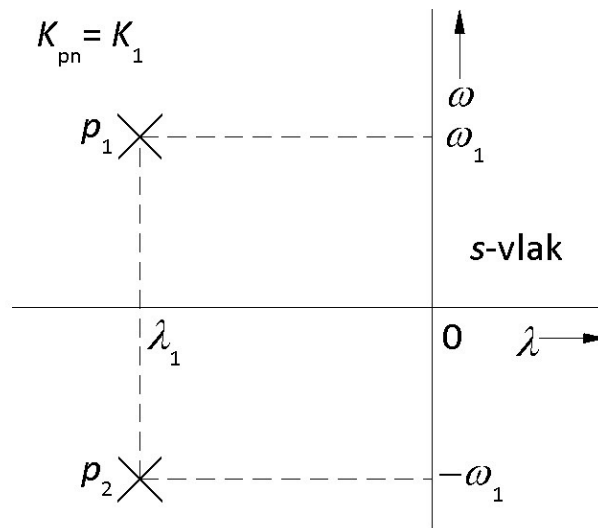
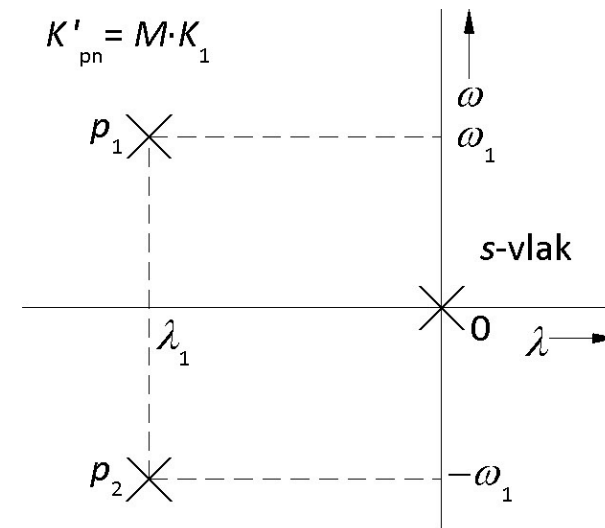


Fig 7.3: Ontwerpcriteria gerelateerd aan de stapresponsie

Fig 7.4



a. pn-beeld



b. pn-beeld stapresponsie

Fig 7.4: Tweede-ordesysteem met stapresponsie

Fig 7.5

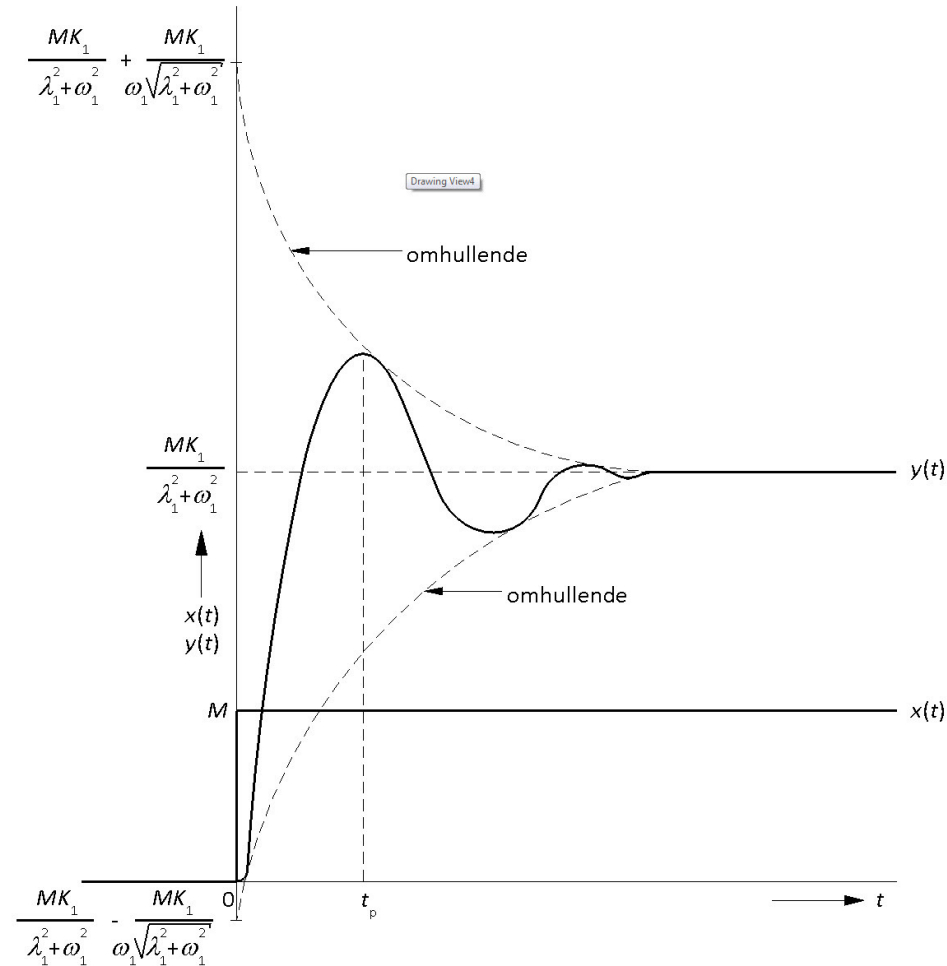


Fig 7.5: Stapresponsie van het tweede-ordesysteem

Fig 7.6

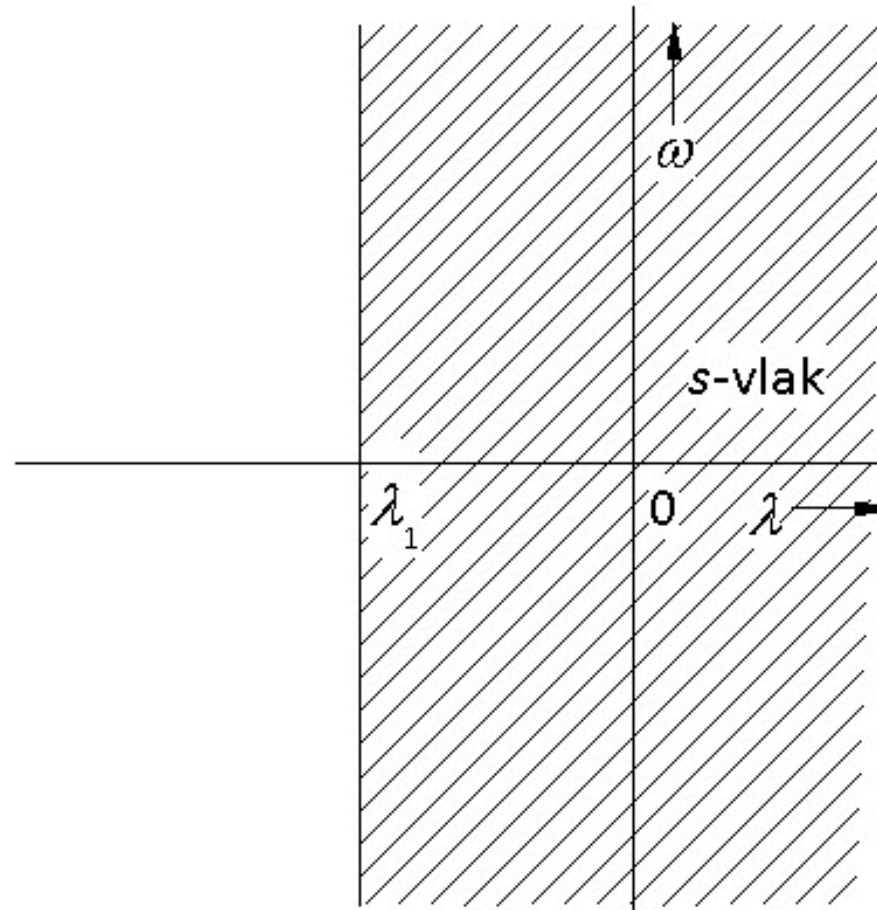


Fig 7.6: Verboden gebied voor de polen bij een bepaalde maximale settling time

Fig 7.7

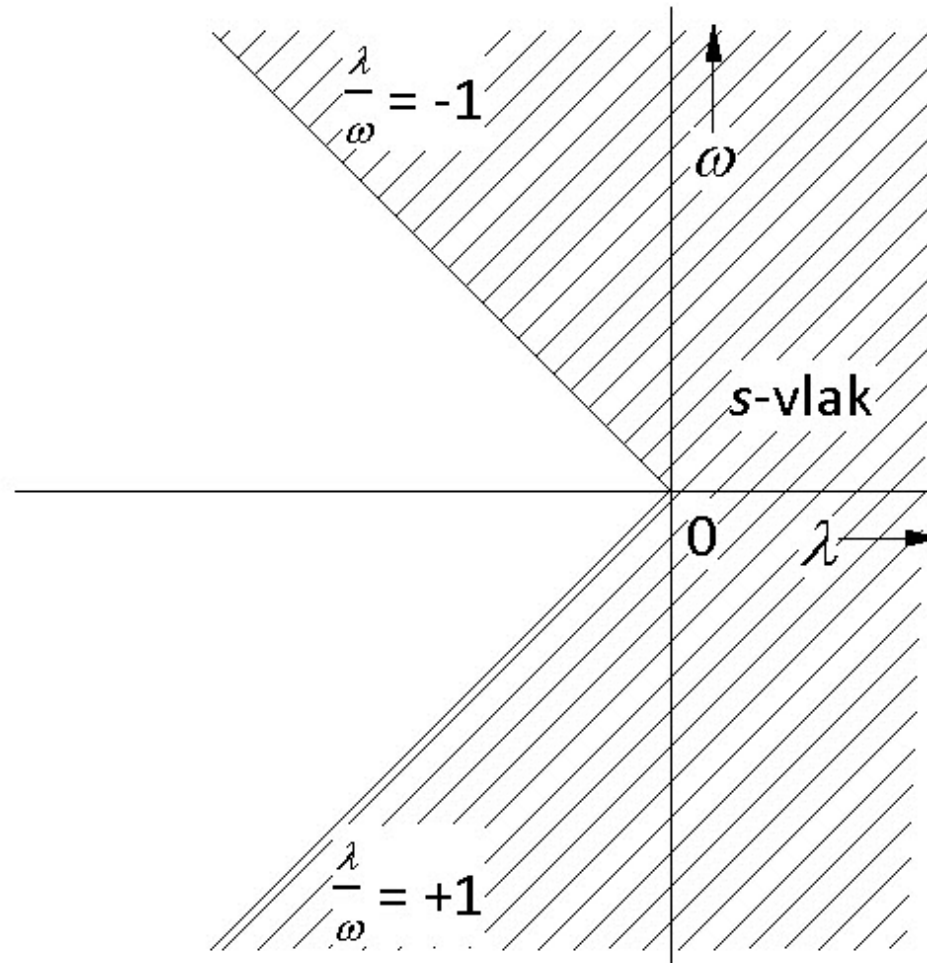


Fig 7.7: Lijnen van relatieve demping in het s-vlak

Fig 7.8

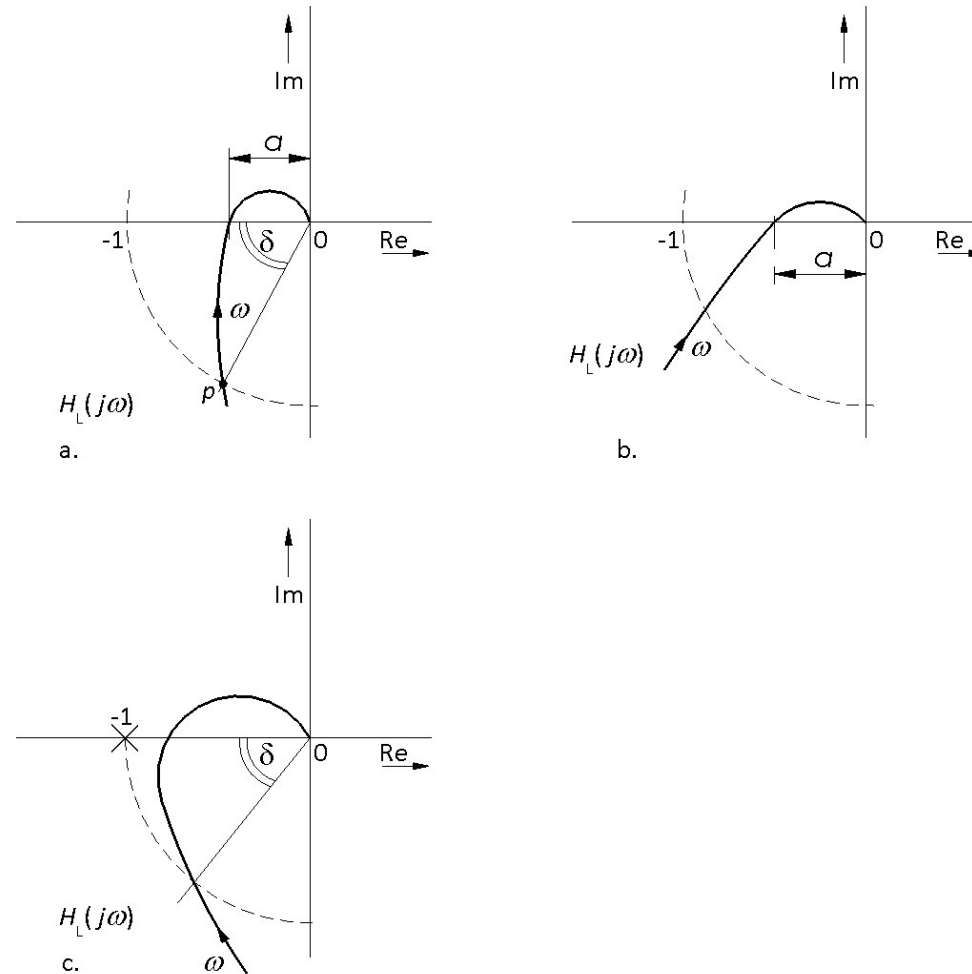


Fig 7.8: Fase- en versterkingsmarge

Fig 7.9

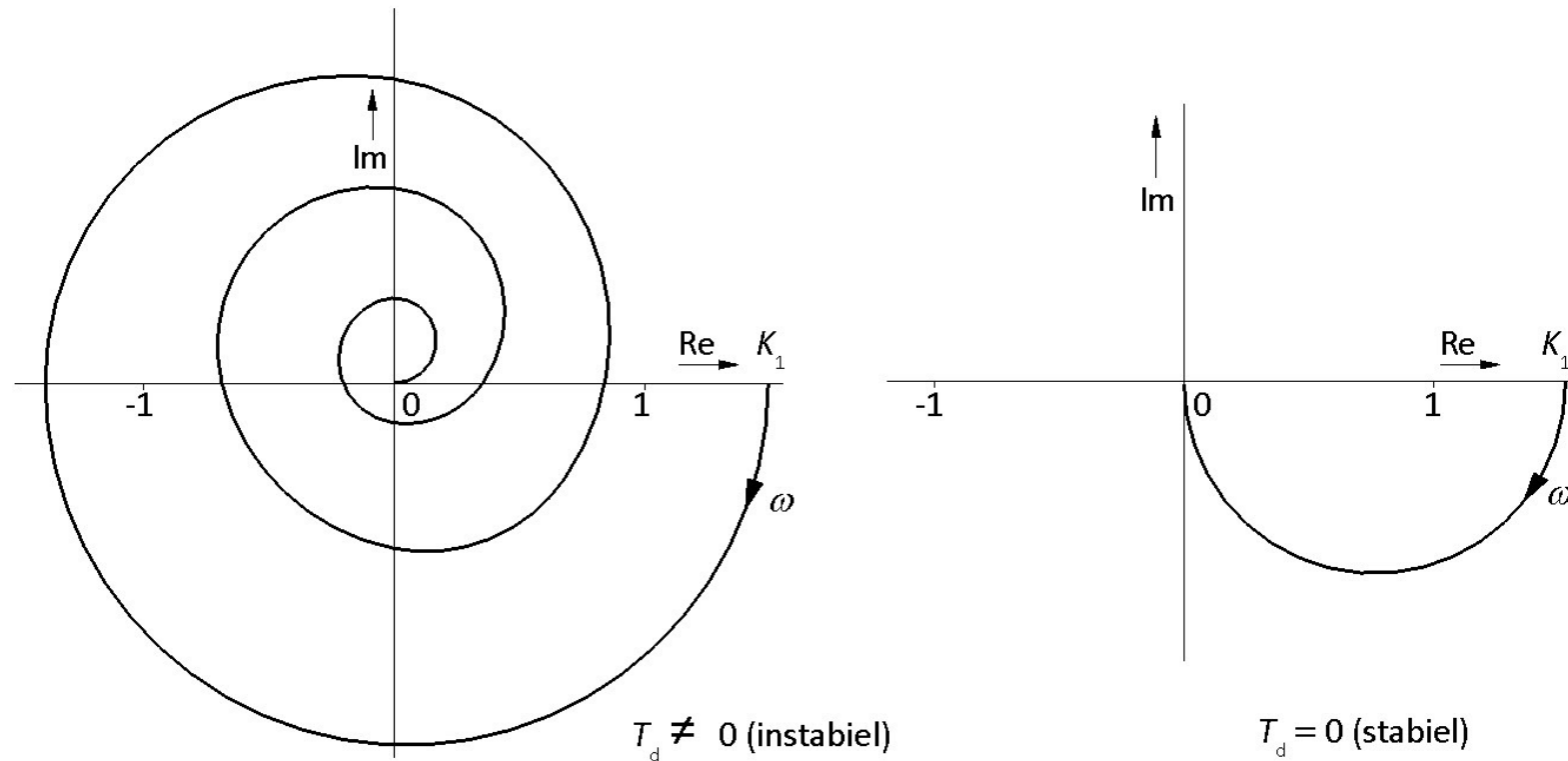


Fig 7.9: Rondgaande overbrengingsverhouding van een eerste-orde-systeem met en zonder looptijd

Fig 7.10

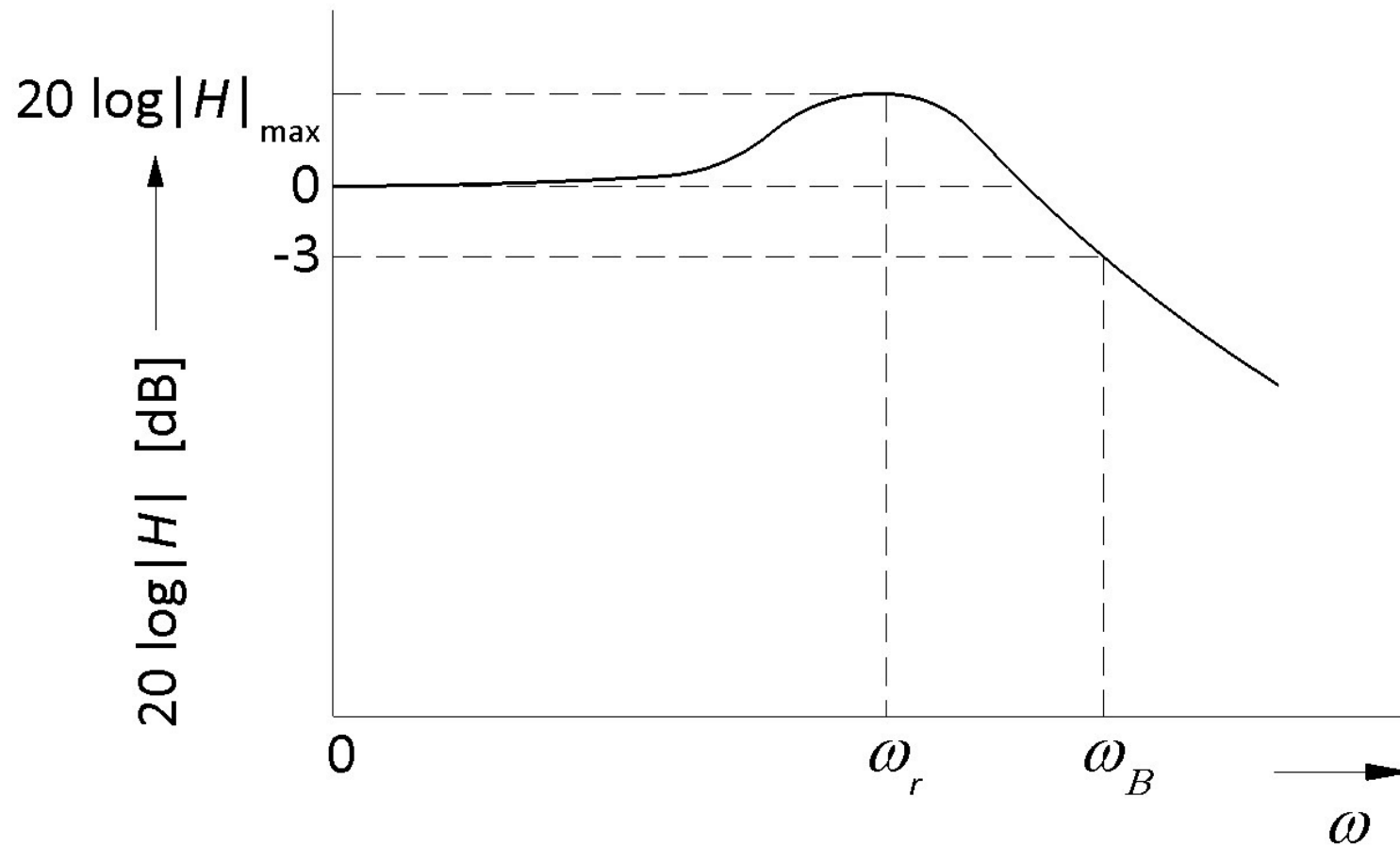


Fig 7.10: Bandbreedte in de amplitudekarakteristiek

Fig 7.11

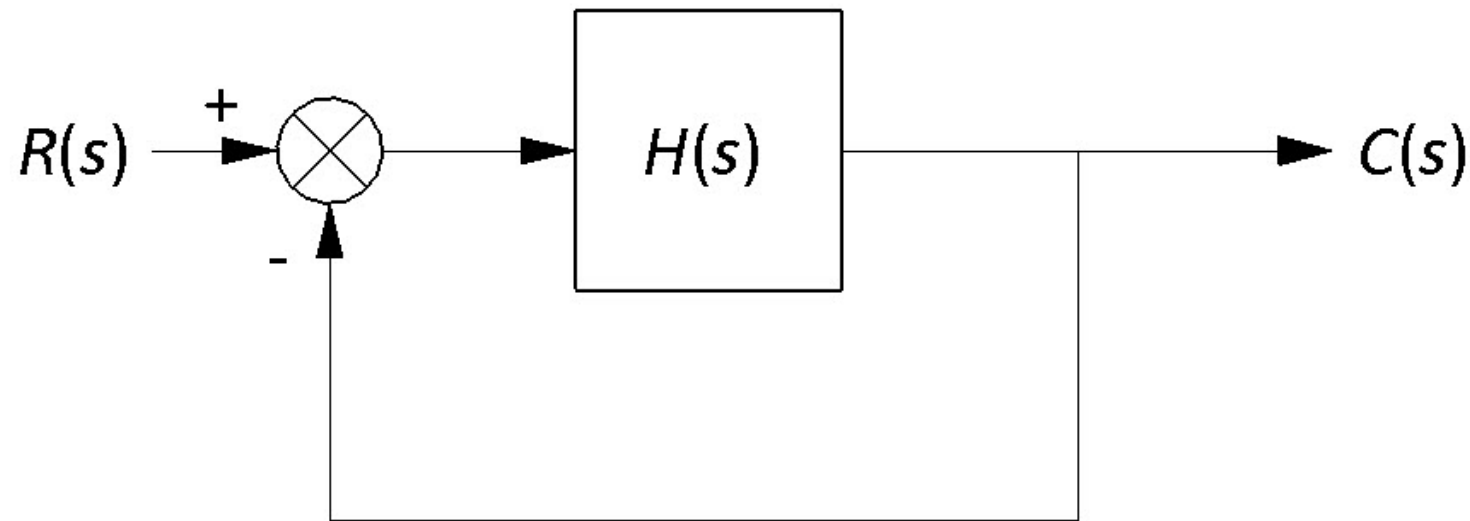


Fig 7.11: Het eenheidsteruggekoppelde systeem

Fig 7.12

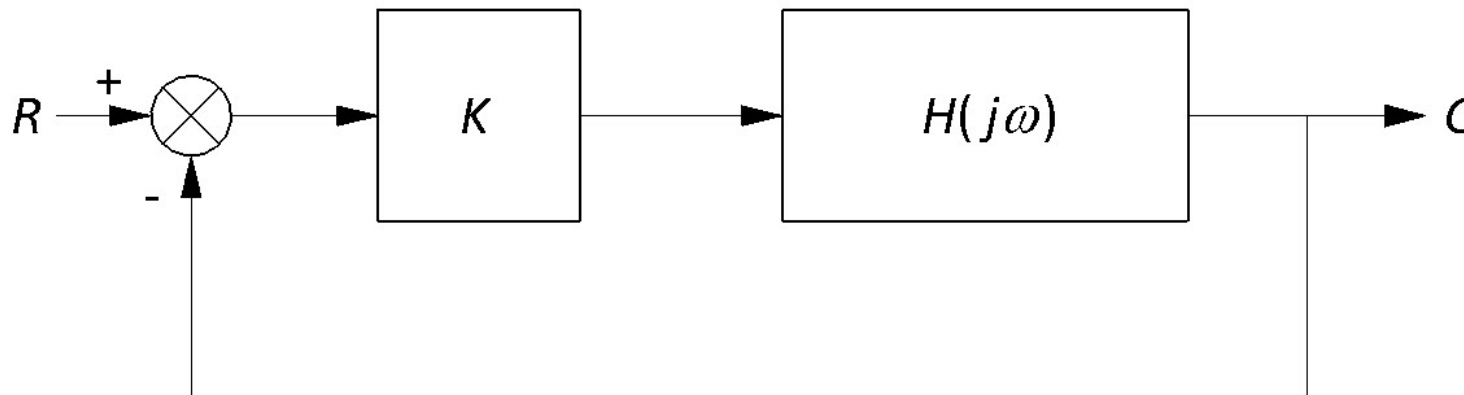


Fig 7.12: Blokschema van de regelkring

Hoofdstuk 8

	<i>Boek</i>
	<i>Pag #</i>
Tabel 8.1: Instelwaarden volgens Ziegler en Nichols (stapresponsiemethode)	199
Tabel 8.2: Instelwaarden volgens Ziegler en Nichols (oscillatiemethode)	200
Fig 8.1: Blokschema geregeld systeem	168
Fig 8.2: Automatische regelaar	169
Fig 8.3: Het proces van een warmtewisselaar met stoomspiraal	170
Fig 8.4: Stapresponsies geregelde systemen	171
Fig 8.5: Verboden gebied voor de dominante polen	174
Fig 8.6: Blokschema van een proportioneel geregeld tweede-ordesysteem	175
Fig 8.7: Poolbaan van het systeem volgens figuur 8.6	176
Fig 8.8: Blokschema van het systeem in voorbeeld 8.3	176
Fig 8.9: Poolbaan van het systeem in voorbeeld 8.3	176
Fig 8.10: Pn-beeld van een integrerende regelactie	178
Fig 8.11: Blokschema van een PI-geregeld systeem	178
Fig 8.12: Poolbanen van een PI-geregeld systeem	179
Fig 8.13: Pn-beeld van een getemde D-actie	180

Hoofdstuk 8

	<i>Boek</i>
	<i>Pag #</i>
Fig 8.14: Blokschema van een PD-geregeld systeem	180
Fig 8.15: Poolbanen bij verschillende waarden van de differentiatietijd	181
Fig 8.16: Geregeld systeem door variatie van een nulpunt	182
Fig 8.17: Poolbaan voor variatie van het toegevoegde nulpunt van min oneindig naar nul	183
Fig 8.18: Geregeld systeem door variatie van een pool	183
Fig 8.19: Poolbaan voor variatie van de toegevoegde pool van min oneindig naar nul	184
Fig 8.20: Blokschema van een PD-geregeld eerste-ordeproces	184
Fig 8.21: Poolbaan voor variatie van de differentiatietijd	185
Fig 8.22: Pn-beelden van een PD-geregeld eerste-ordesysteem	185
Fig 8.23: Effect op $H_{\text{rondgaand}}(j\omega) = H_r \cdot H_p$ van een zuivere PI-actie	187
Fig 8.24: Effect op $H_{\text{rondgaand}}(j\omega) = H_r \cdot H_p$ van een zuivere PD-actie	188
Fig 8.25: Proportioneel geregeld systeem	188
Fig 8.26: Bode diagram van $K_r \cdot H_p$ van figuur 8.25 met $K_r = 1$	189
Fig 8.27: Stapresponsies van open en gesloten systeem met P-actie	190
Fig 8.28: Polaire figuur en Bode-diagram van een (onzuivere) I-actie	191

Hoofdstuk 8

	<i>Boek</i>
	<i>Pag #</i>
Fig 8.29: Polaire figuur en Bode-diagram van een getemde D-actie	192
Fig 8.30: Derde-ordeproces met regelaar	193
Fig 8.31: Bode-diagram van het procesblok van figuur 8.30; $\alpha_p=20\cdot\log H_p $ en $\Phi_p=\arg\{H_p\}$	193
Fig 8.32: Regelkring	197
Fig 8.33: Bode-diagram van regelkring met P-regelaar	197
Fig 8.34: Bode-diagram van regelkring met PD-regelaar	198
Fig 8.35: Bode-diagram van regelkring met PI-regelaar	198
Fig 8.36: Eerste-ordeproces met looptijd (a) en benadering (b)	199
Fig 8.37: Blokschema van een teruggekoppeld systeem	201
Fig 8.38: PD-geregeld derde-orde-systeem	202
Fig 8.39: Blokschema van het systeem	202
Fig 8.40: Blokschema van een regelsysteem	203
Fig 8.41: Feed forward toegevoegd aan de snelheidsregeling van de maxon motor	203

Tabel 8.1

Regelactie	$K_r K_p$	τ_i	τ_d
P	$\frac{\tau}{T_d}$	—	—
PI	$0,9 \frac{\tau}{T_d}$	$3,3 T_d$	—
PID	$1,2 \frac{\tau}{T_d}$	$2 T_d$	$0,5 T_d$

Tabel 8.1: Instelwaarden volgens Ziegler en Nichols (stapresponsiemethode)

Tabel 8.2

Regelactie	K_r	τ_i	τ_d
P	$0,5 K_u$	–	–
PI	$0,45 K_u$	$0,8 T_u$	–
PID	$0,6 K_u$	$0,5 T_u$	$0,125 T_u$

Tabel 8.2: Instelwaarden volgens Ziegler en Nichols (oscillatiemethode)

Fig 8.1

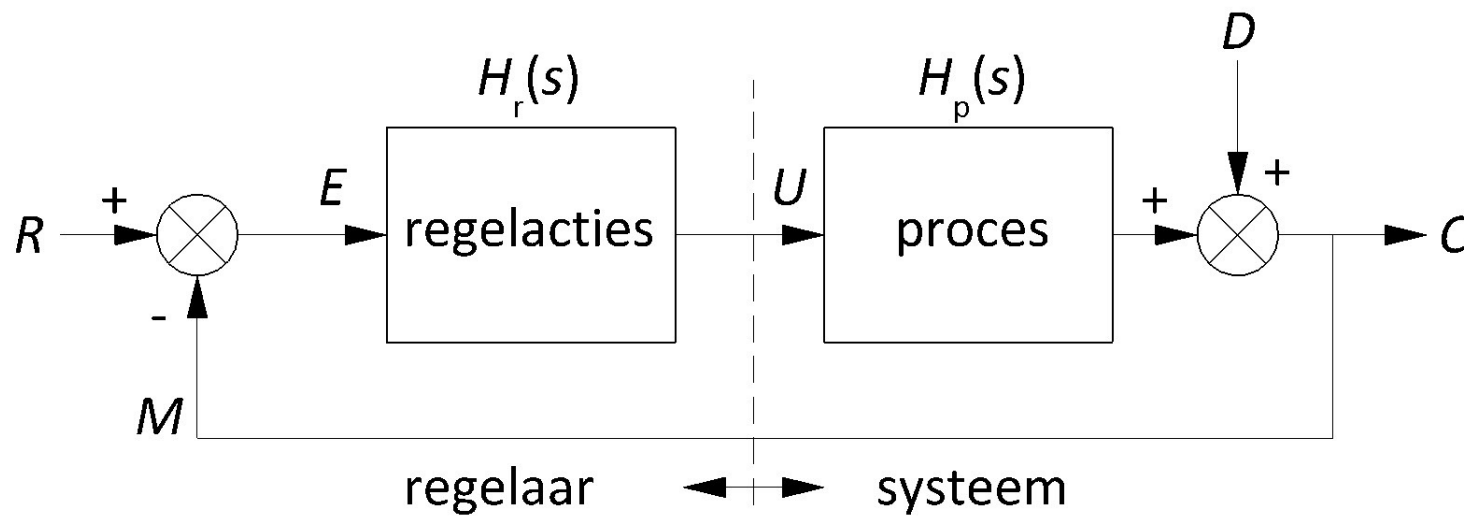


Fig 8.1: Blokschema geregeld systeem

Fig 8.2

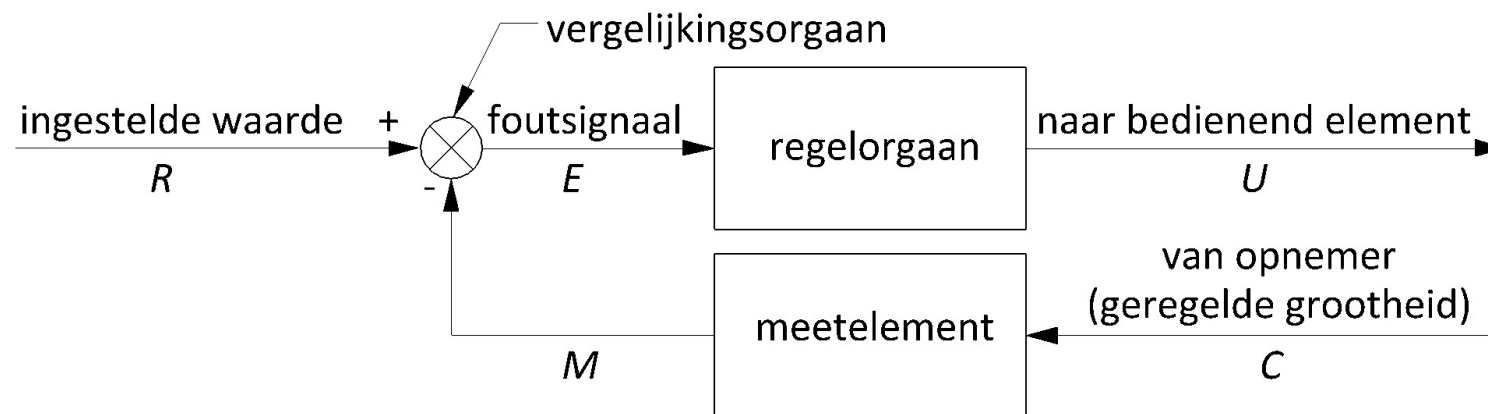


Fig 8.2: Automatische regelaar

Fig 8.3

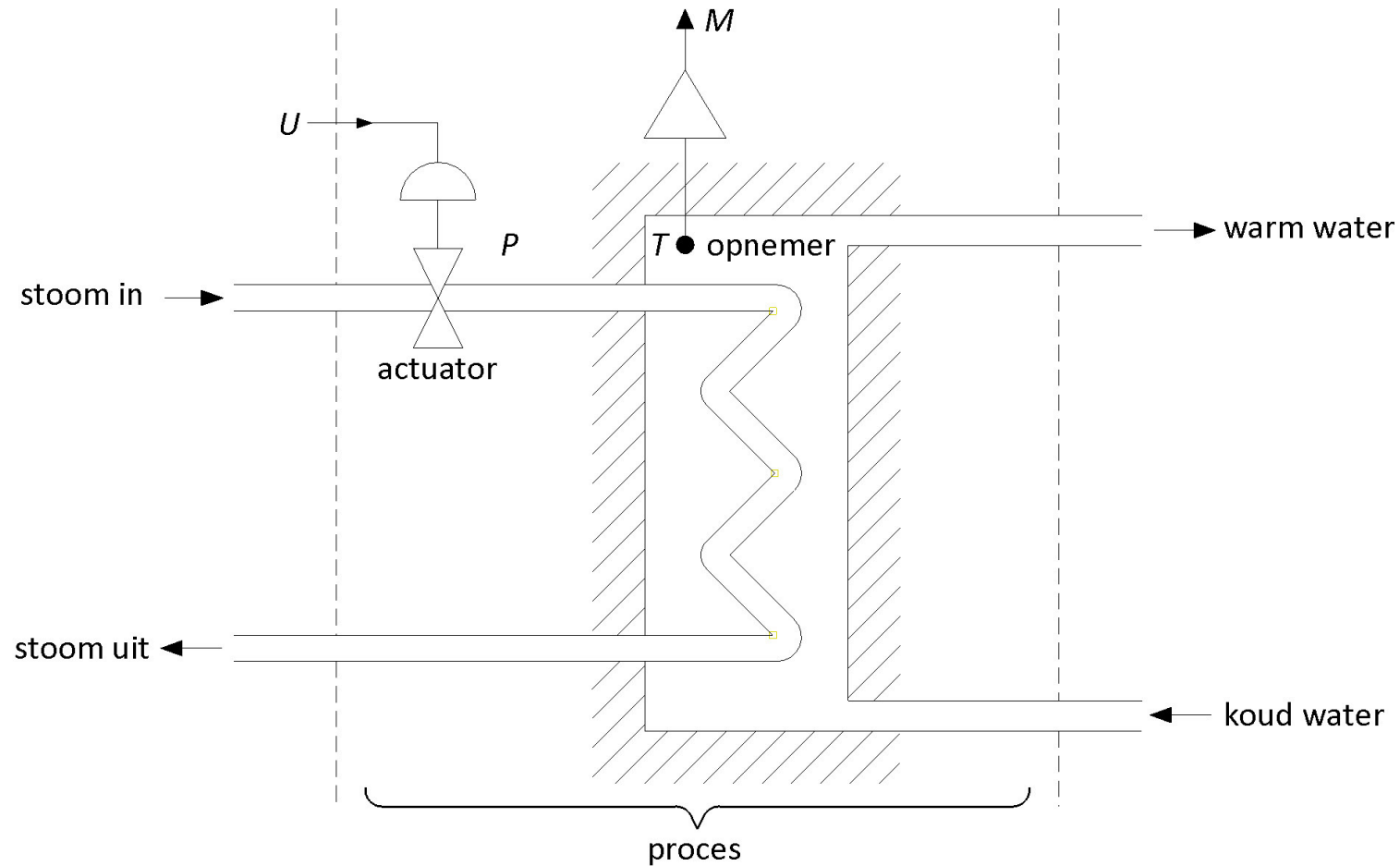
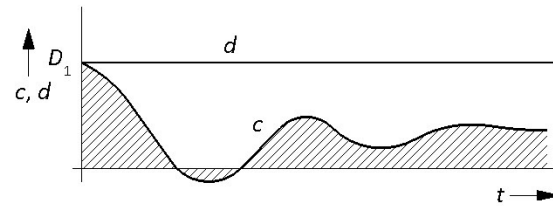
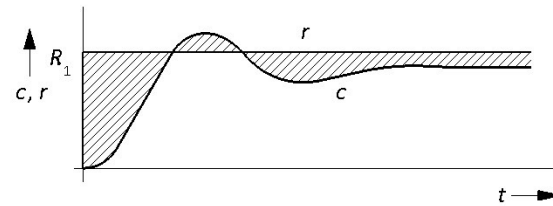


Fig 8.3: Het proces van een warmtewisselaar met stoomspiraal

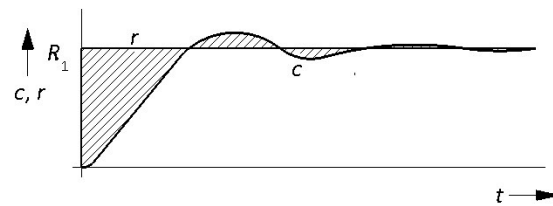
Fig 8.4



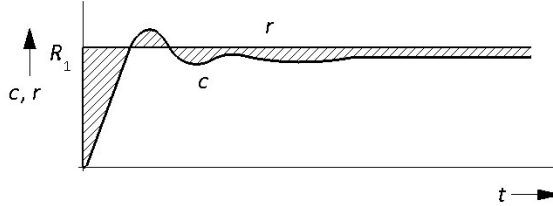
a. stapresponsie c als d verandert van 0 naar D_1
bij P-geregeld systeem



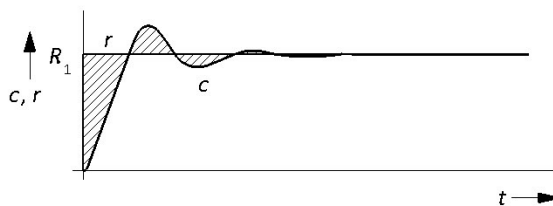
b. stapresponsie c als r verandert van 0 naar R_1
bij P-geregeld systeem



c. stapresponsie c als r verandert van 0 naar R_1
bij PI-geregeld systeem



d. stapresponsie c als r verandert van 0 naar R_1
bij PD-geregeld systeem



e. stapresponsie c als r verandert van 0 naar R_1
bij PID-geregeld systeem

Fig 8.4: Stapresponsies geregelde systemen

Fig 8.5

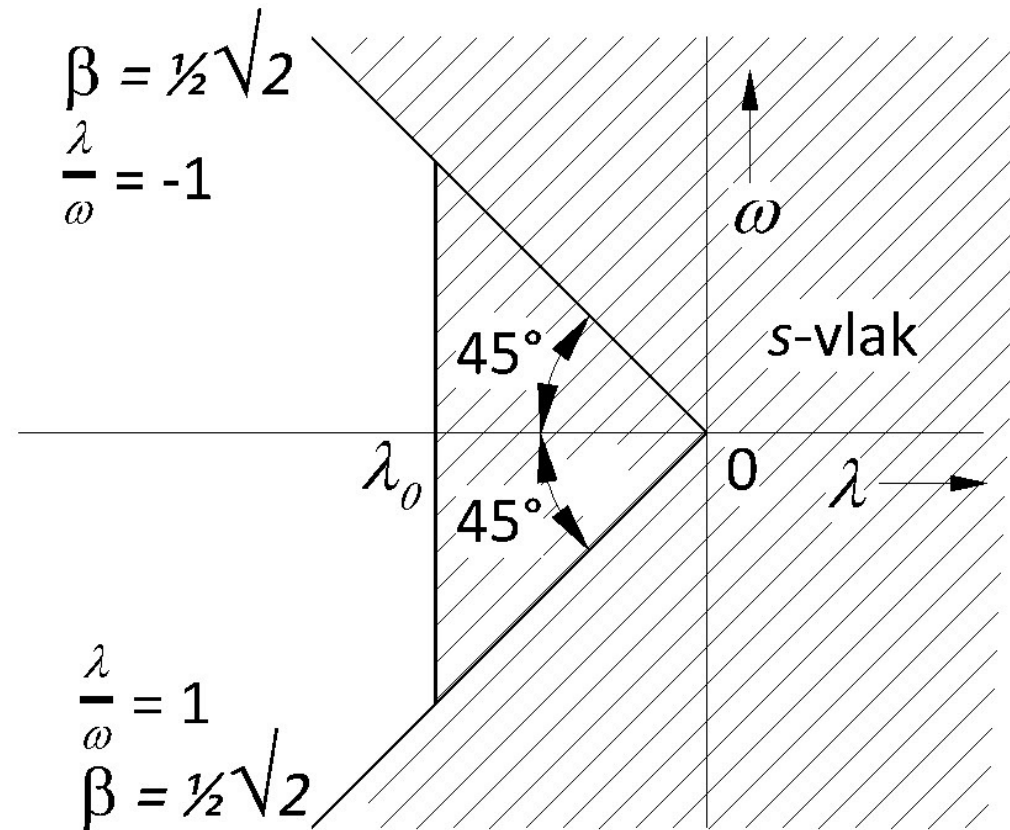


Fig 8.5: Verboden gebied voor de dominante polen

Fig 8.6

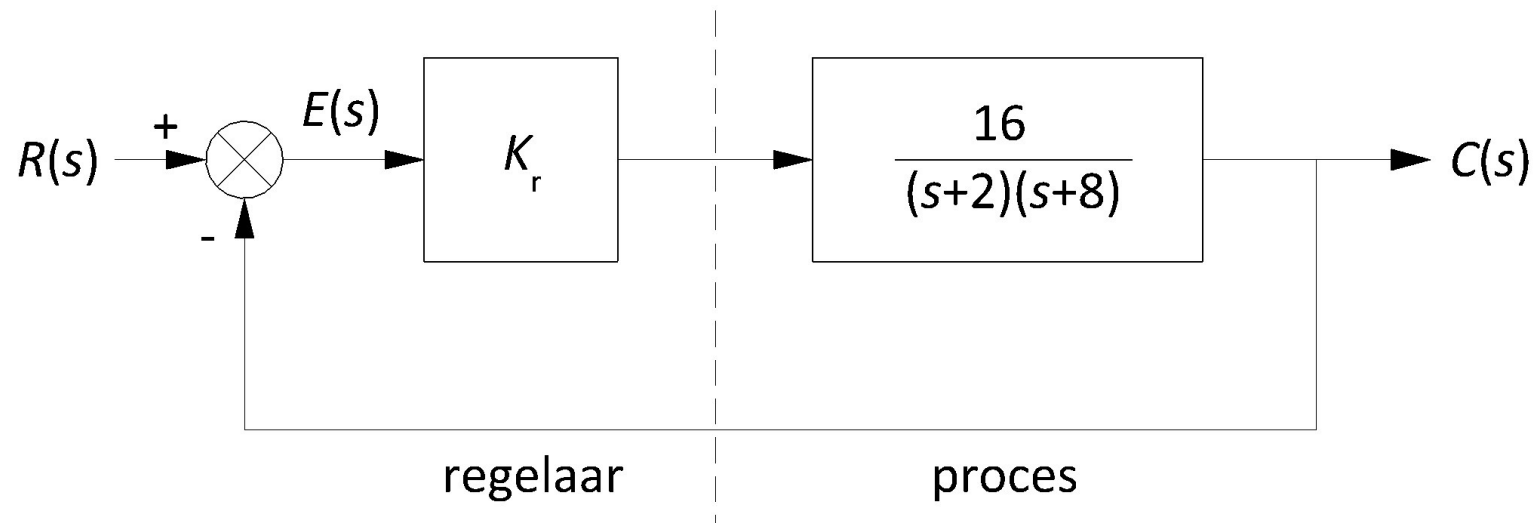


Fig 8.6: Blokschema van een proportioneel geregeld tweedepoortstelsel

Fig 8.7

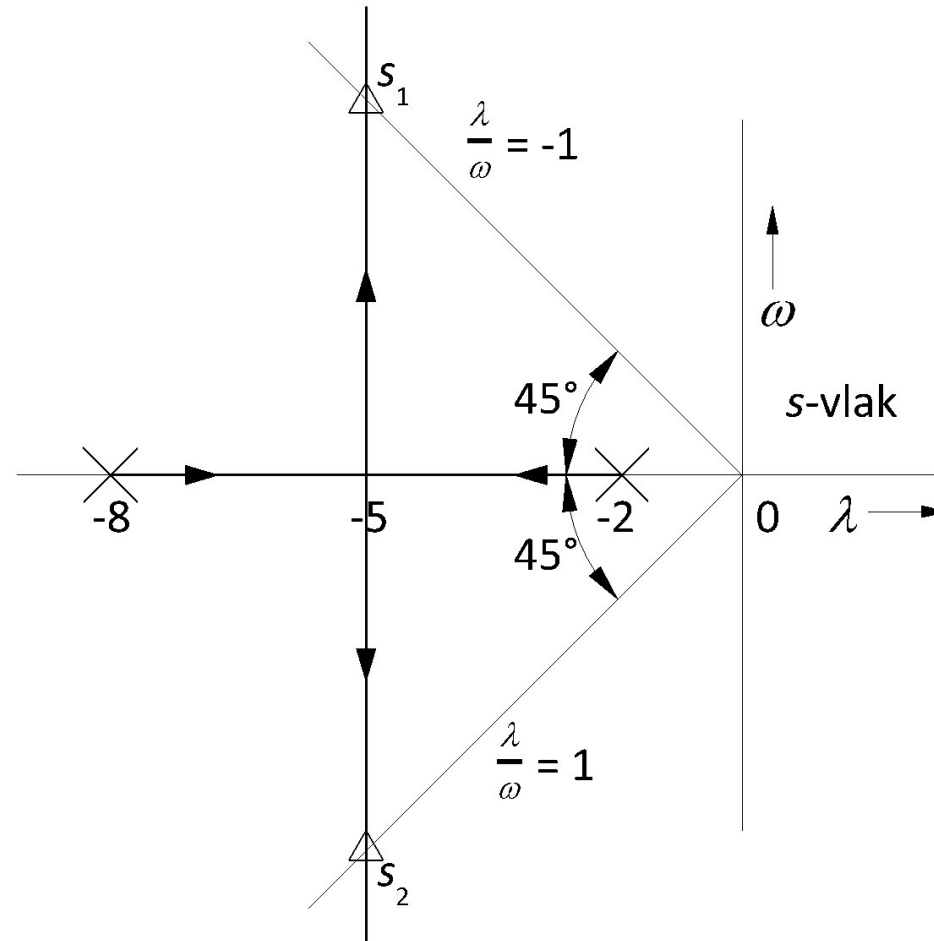


Fig 8.7: Poolbaan van het systeem volgens figuur 8.6

Fig 8.8

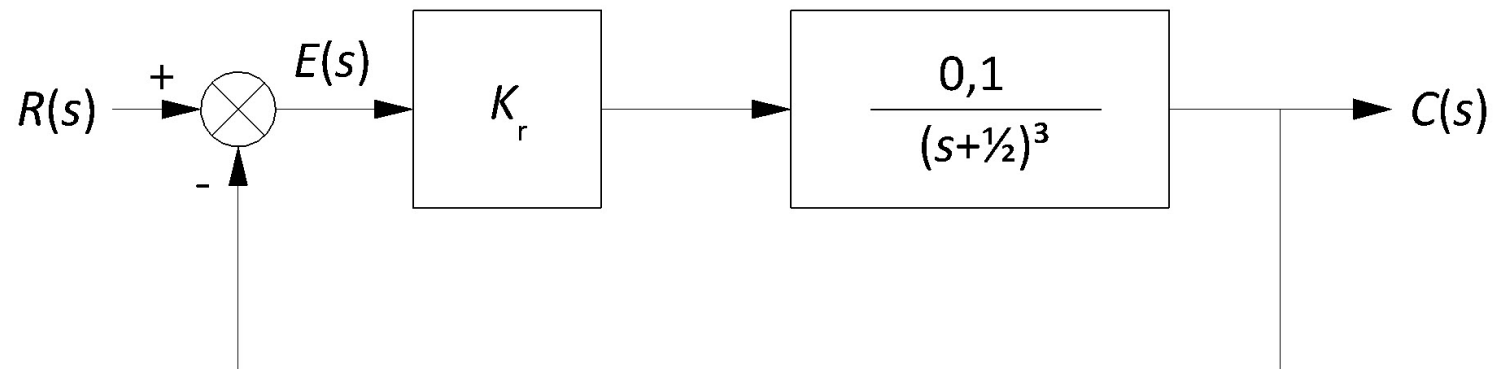


Fig 8.8: Blokschema van het systeem in voorbeeld 8.3

Fig 8.9

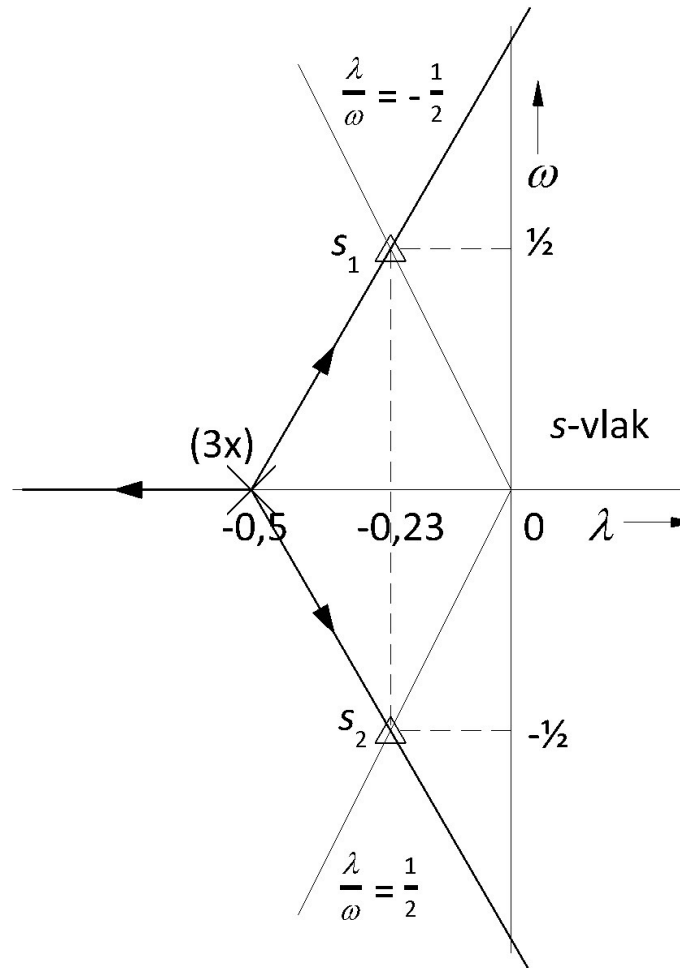


Fig 8.9: Poolbaan van het systeem in voorbeeld 8.3

Fig 8.10

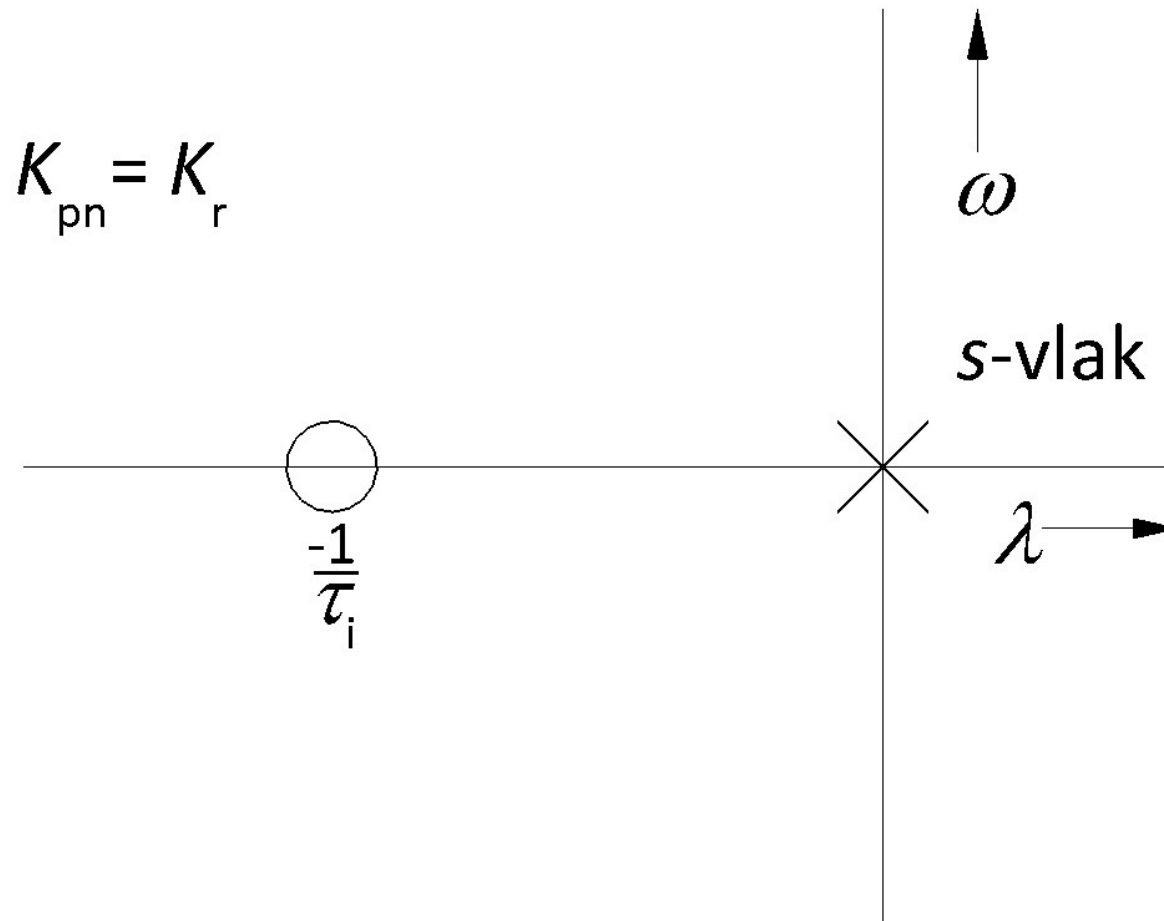


Fig 8.10: Pn-beeld ven een integrerende regelactie

Fig 8.11

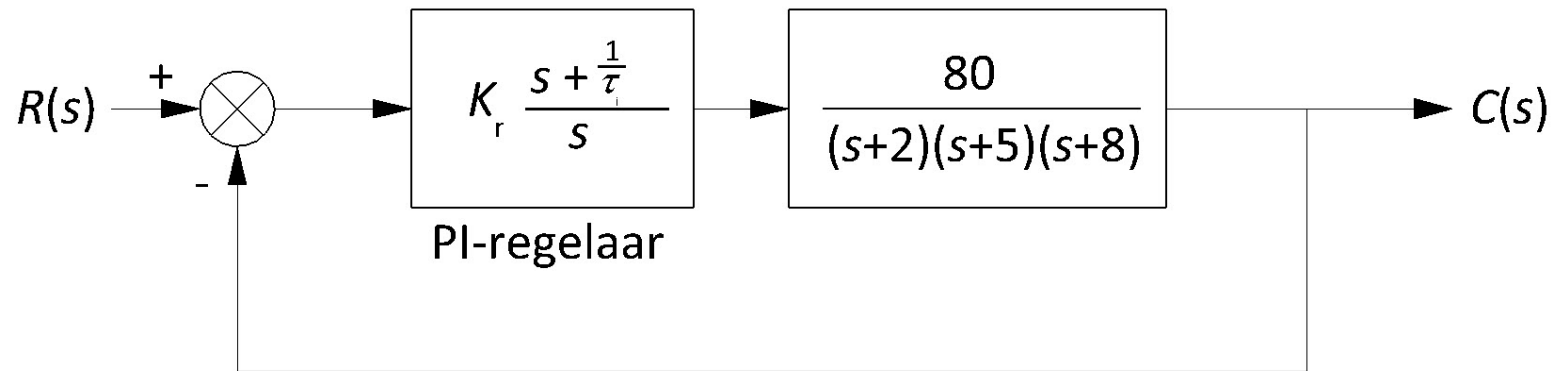


Fig 8.11: Blokschema van een PI-geregeld systeem

Fig 8.12

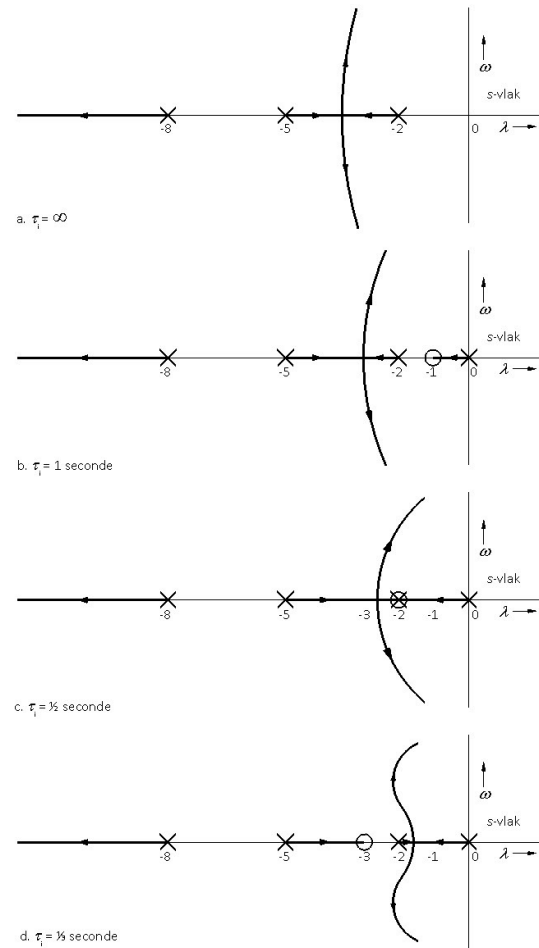


Fig 8.12: Poolbanen van een PI-geregeld systeem

Fig 8.13

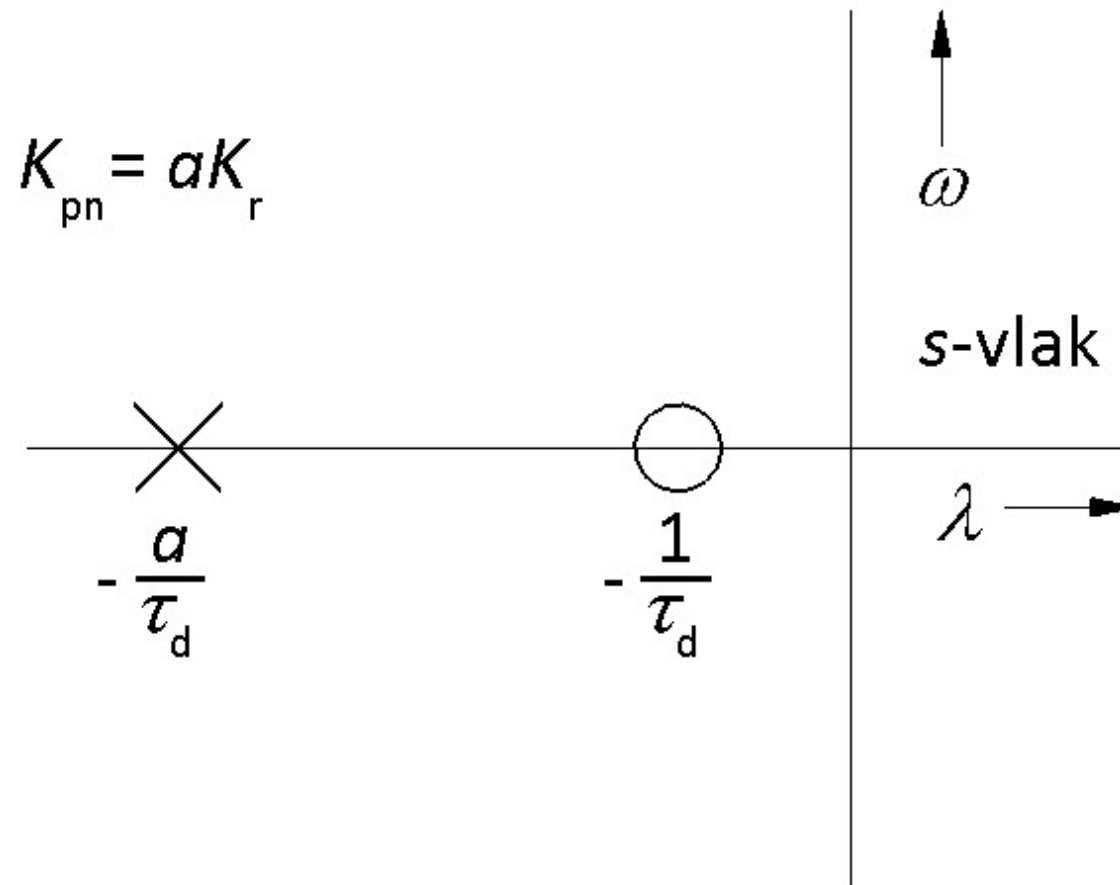


Fig 8.13: Pn-beeld van een getemde D-actie

Fig 8.14

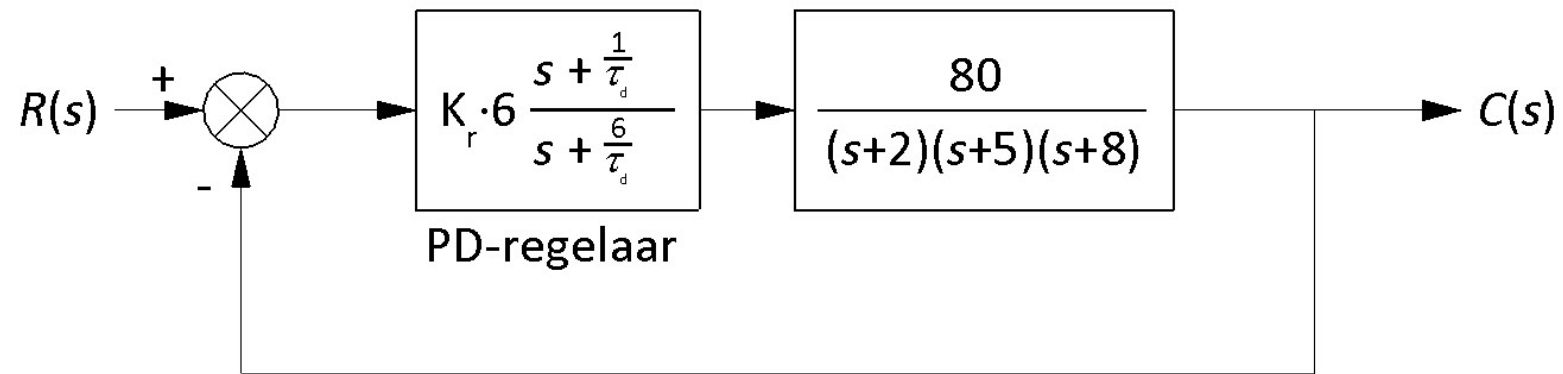


Fig 8.14: Blokschema van een PD-geregeld systeem

Fig 8.15

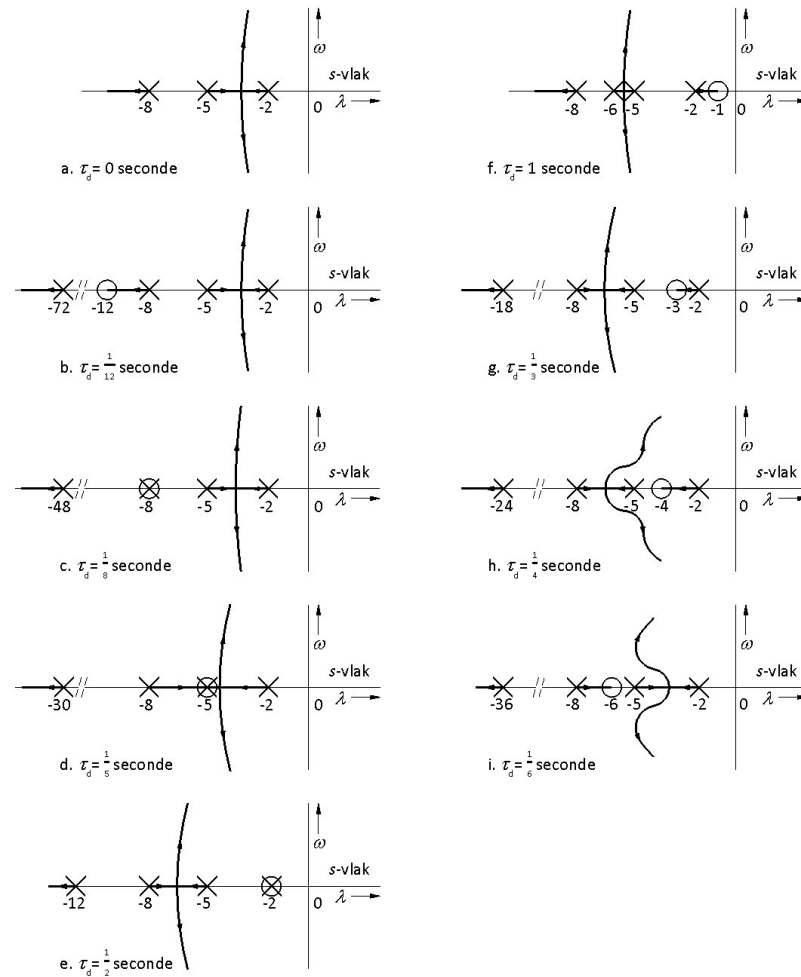


Fig 8.15: Poolbanen bij verschillende waarden van de differentiatietijd

Fig 8.16

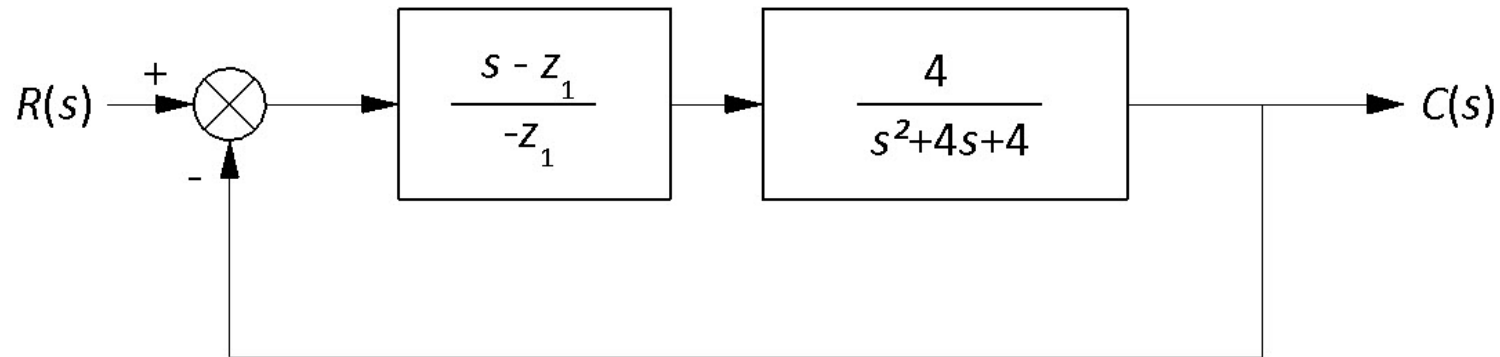


Fig 8.16: Geregeld systeem door variatie van een nulpunt

Fig 8.17

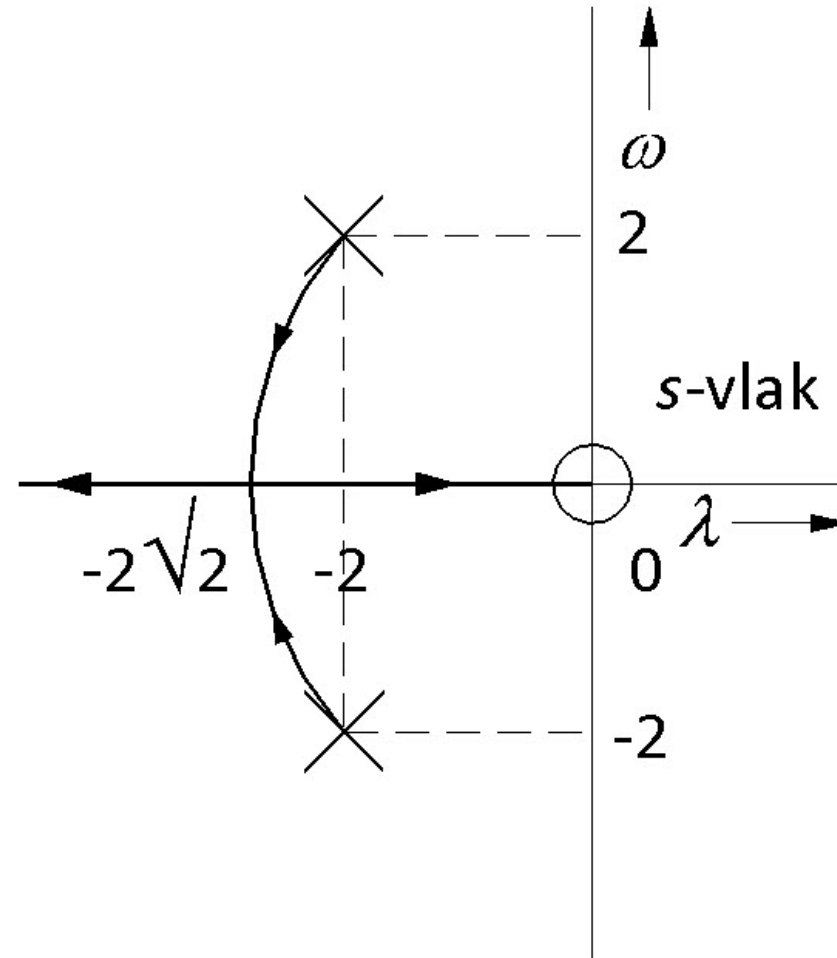


Fig 8.17: Poolbaan voor variatie van het toegevoegde nulpunt van min oneindig naar nul

Fig 8.18

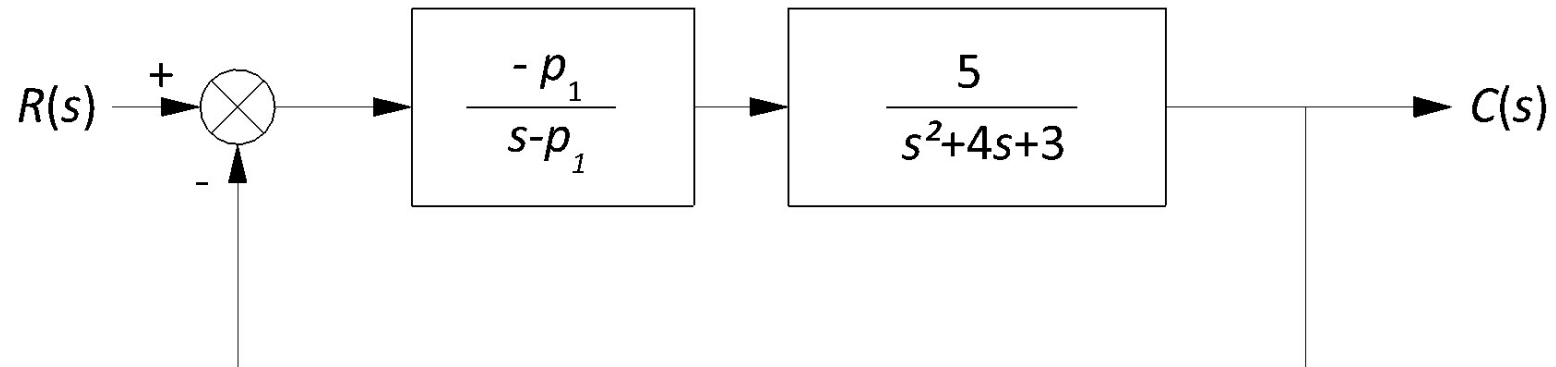


Fig 8.18: Geregeld systeem door variatie van een pool

Fig 8.19

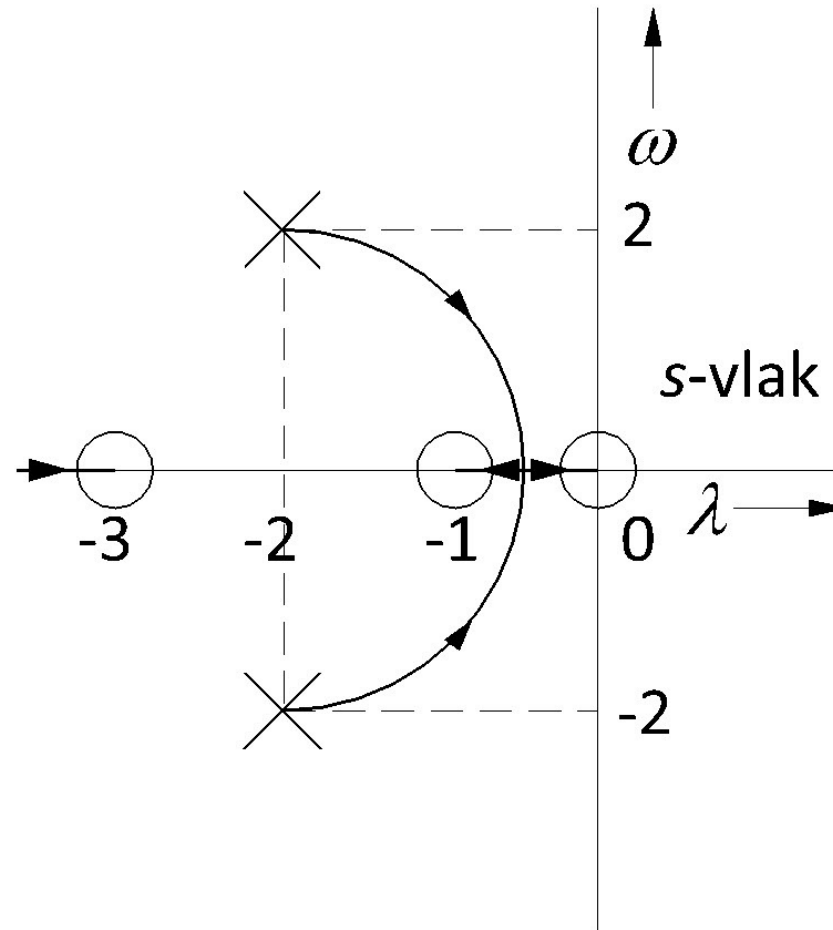


Fig 8.19: Poolbaan voor variatie van de toegevoegde pool van min oneindig naar nul

Fig 8.20

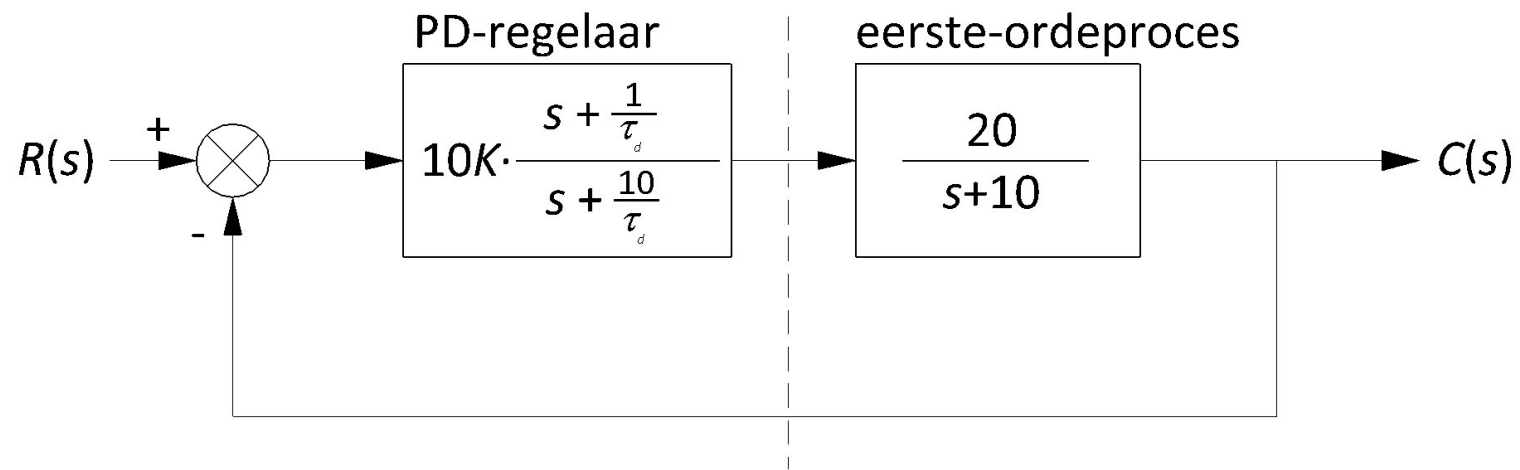


Fig 8.20: Blokschema van een PD-geregeld eerste-ordeproces

Fig 8.21

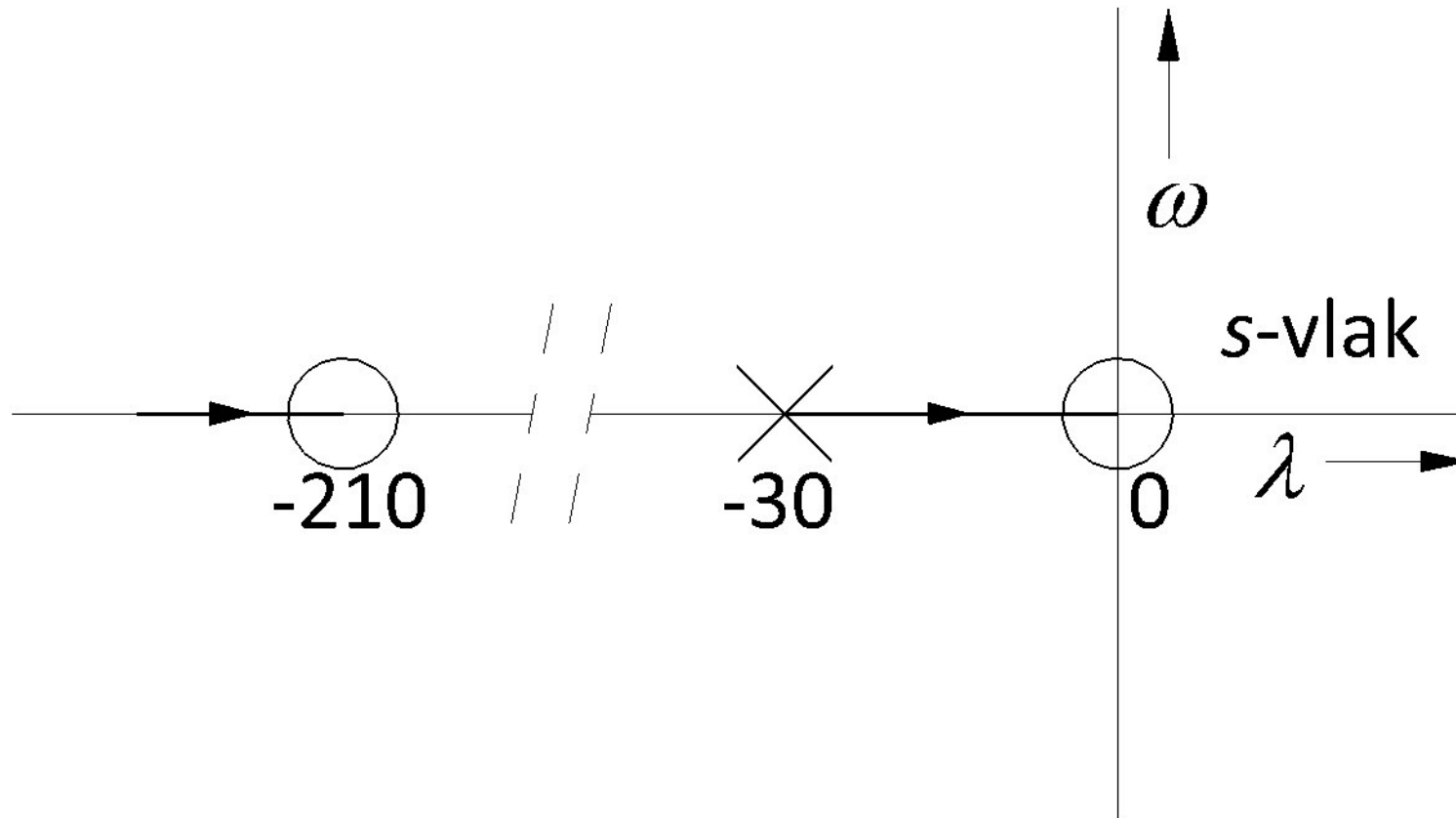


Fig 8.21: Poolbaan voor variatie van de differentiatietijd

Fig 8.22

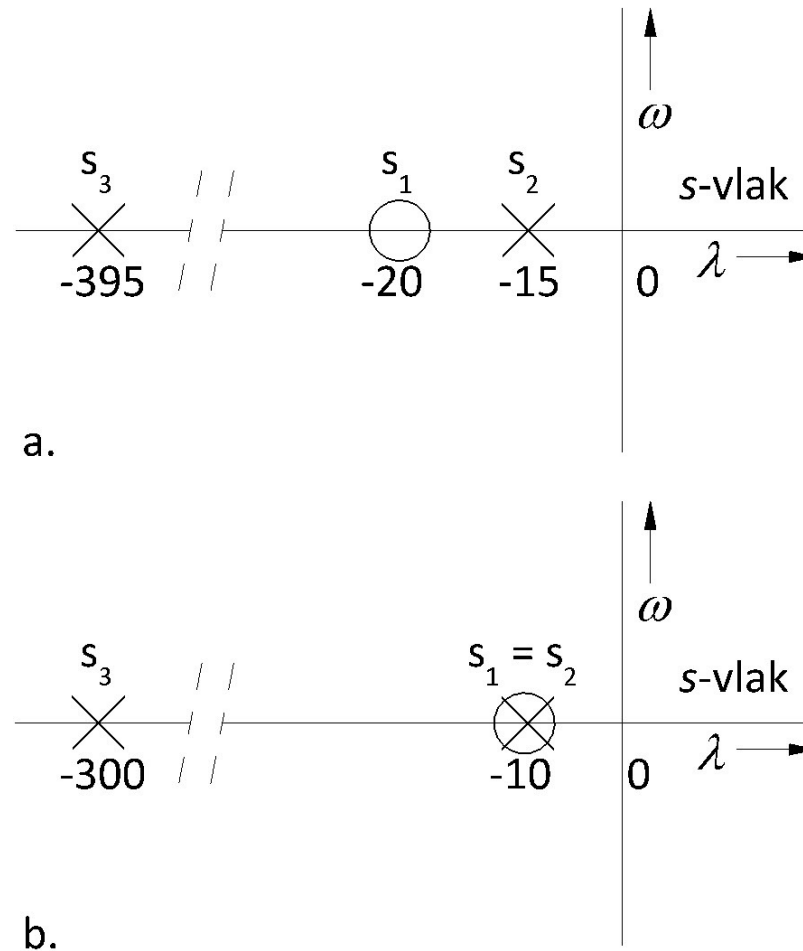


Fig 8.22: Pn-beelden van een PD-geregeld eerste-ordestelsel

Fig 8.23

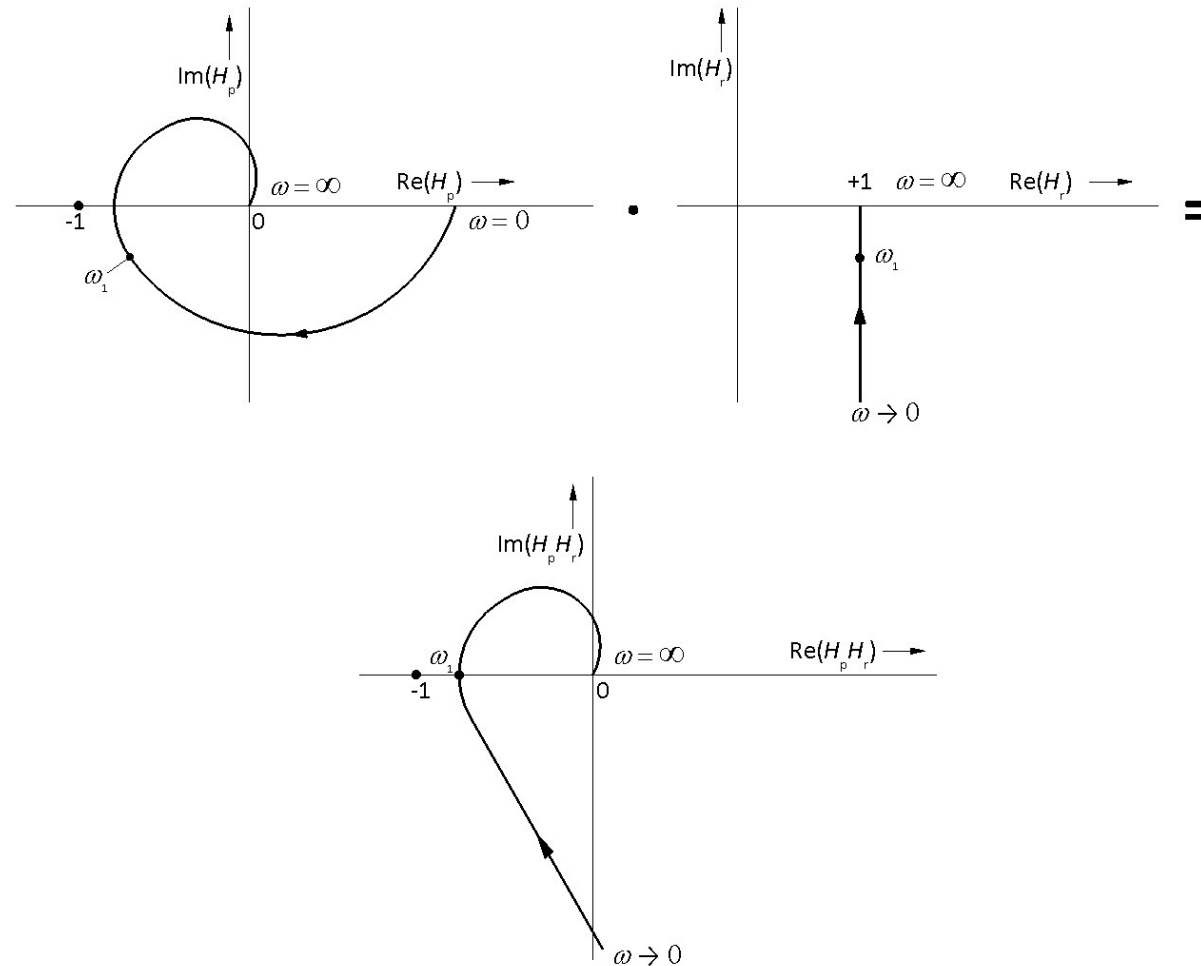


Fig 8.23: Effect op H rondgaand(jw) = $H_r \cdot H_p$ van een zuivere PI-actie

Fig 8.24

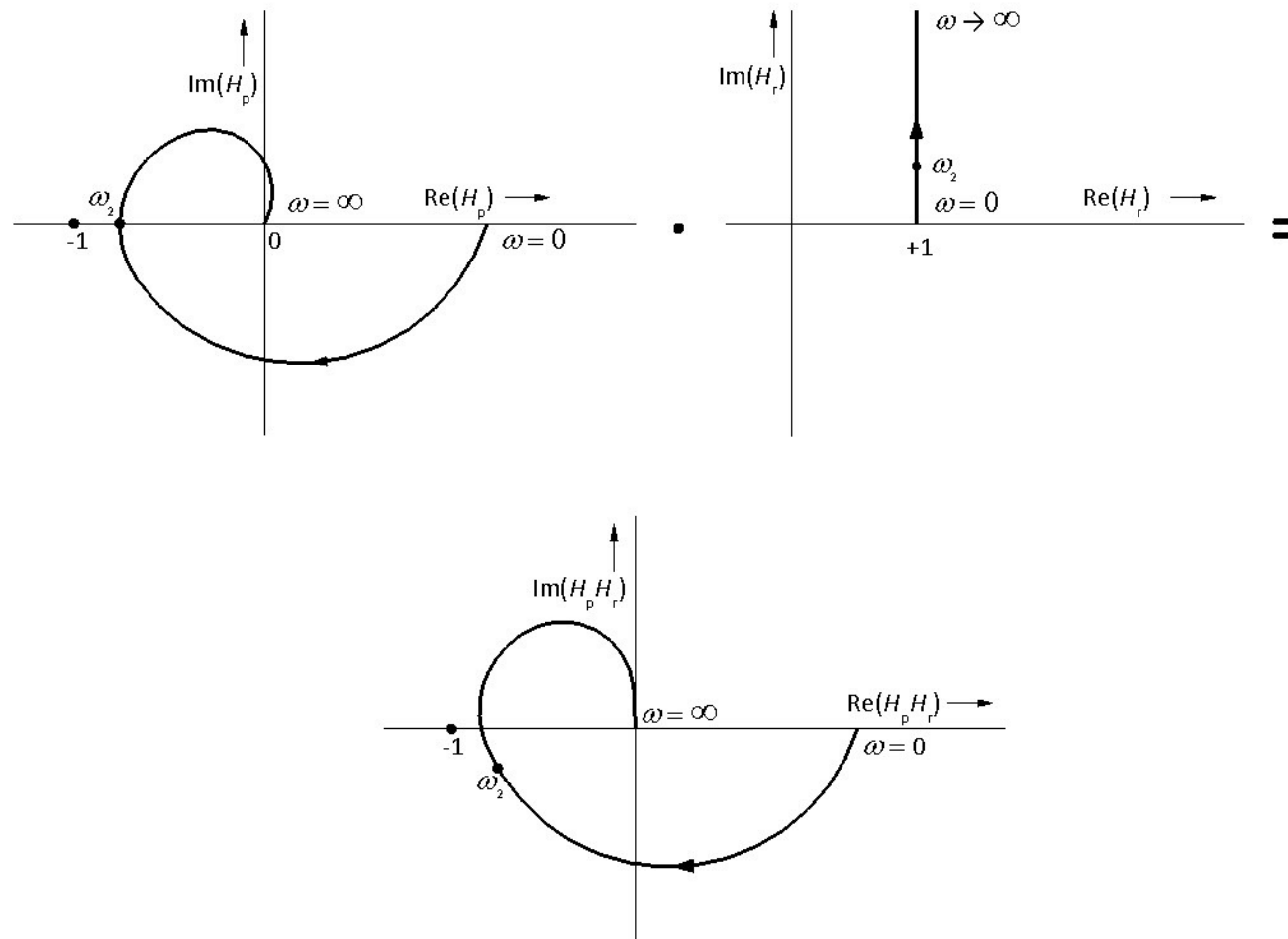


Fig 8.24: Effect op H rondgaand(jw) = H_r·H_p van een zuivere PD-actie

Fig 8.25

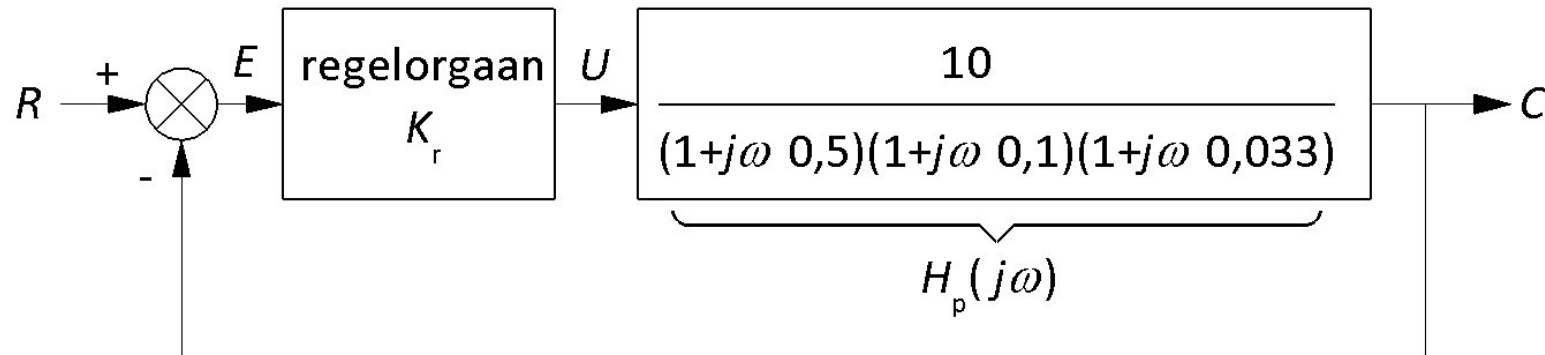


Fig 8.25: Proportioneel geregeld systeem

Fig 8.26

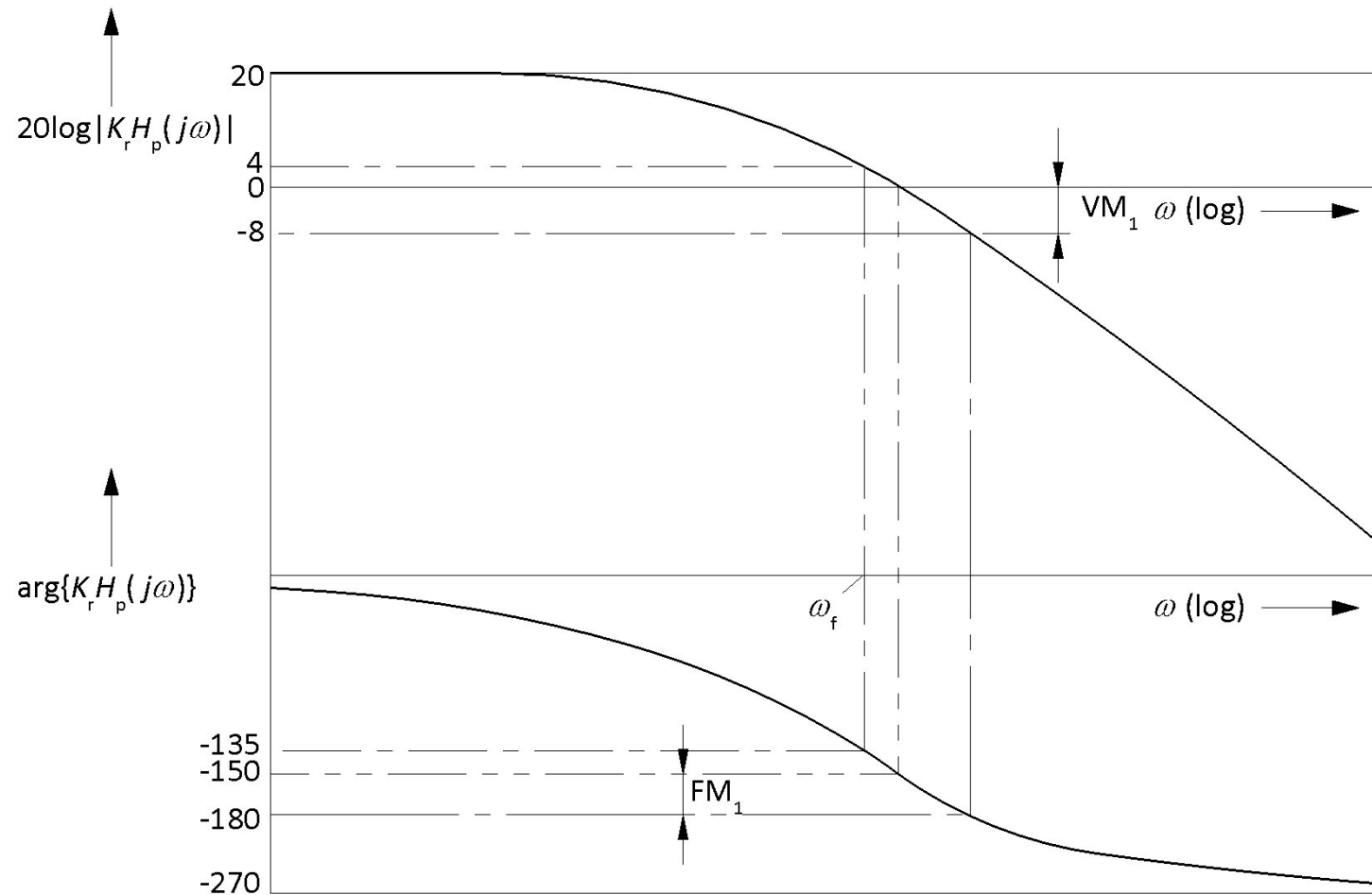


Fig 8.26: Bode diagram van $K_r \cdot H_p$ van figuur 8.25 met $K_r = 1$

Fig 8.27

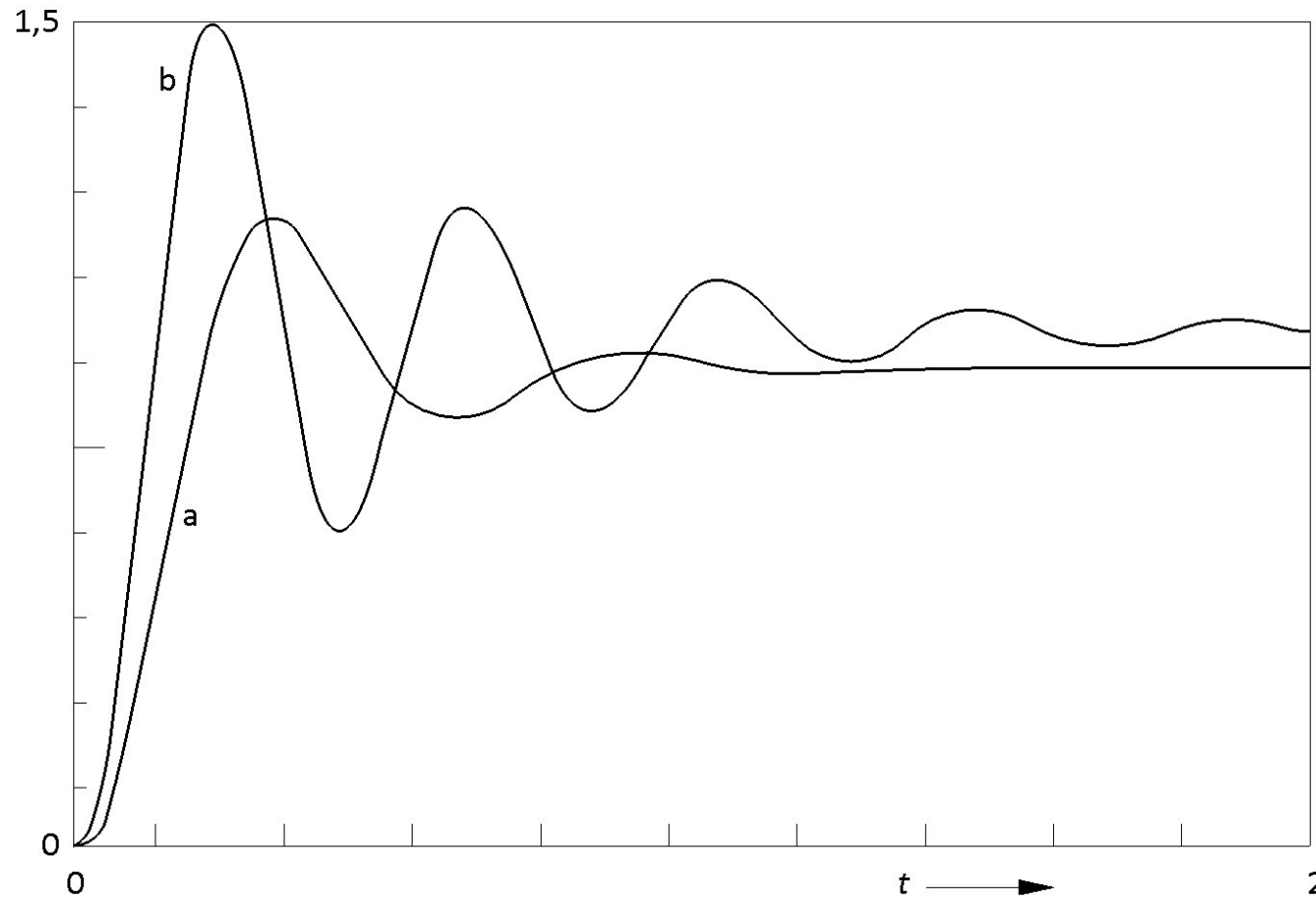


Fig 8.27: Stapresponsies van open en gesloten systeem met P-actie

Fig 8.28

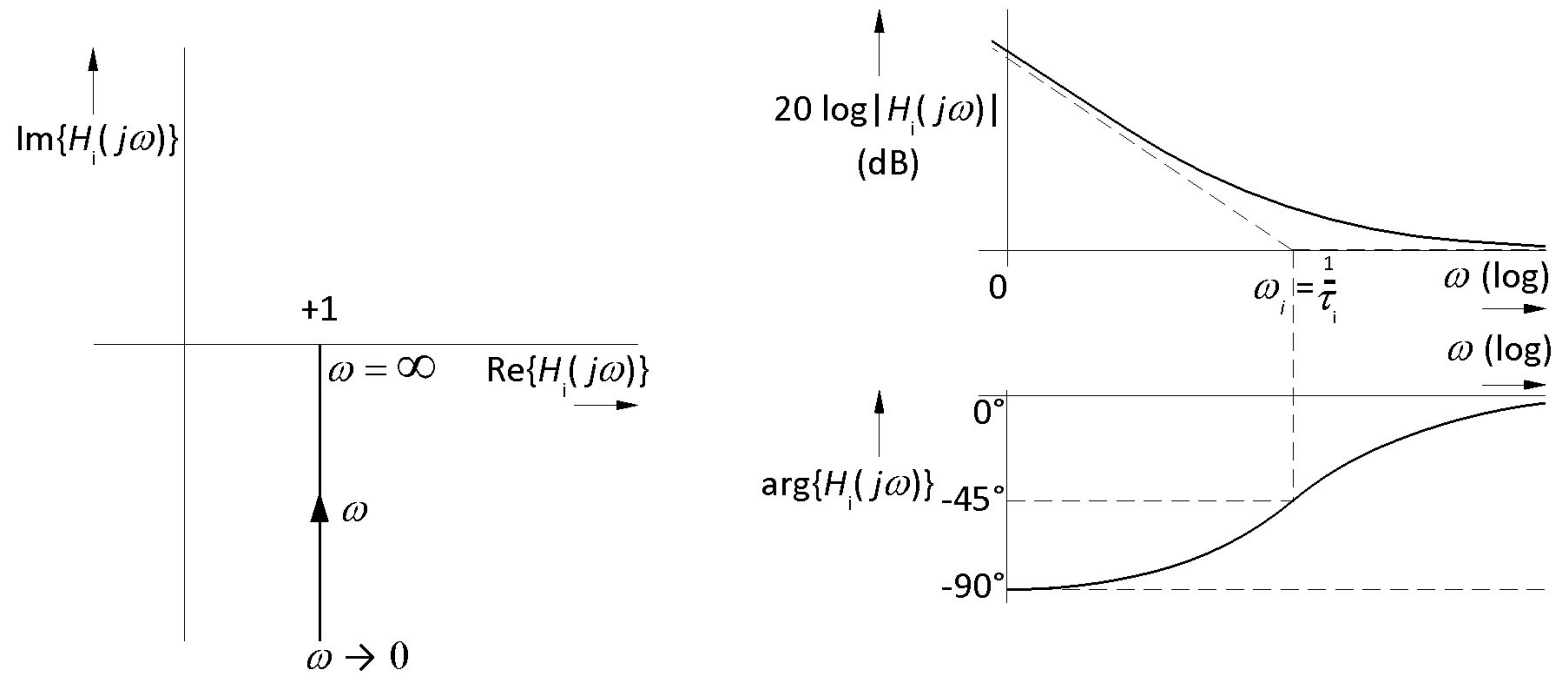


Fig 8.28: Polaire figuur en Bode-diagram van een (onzuivere) I-actie

Fig 8.29

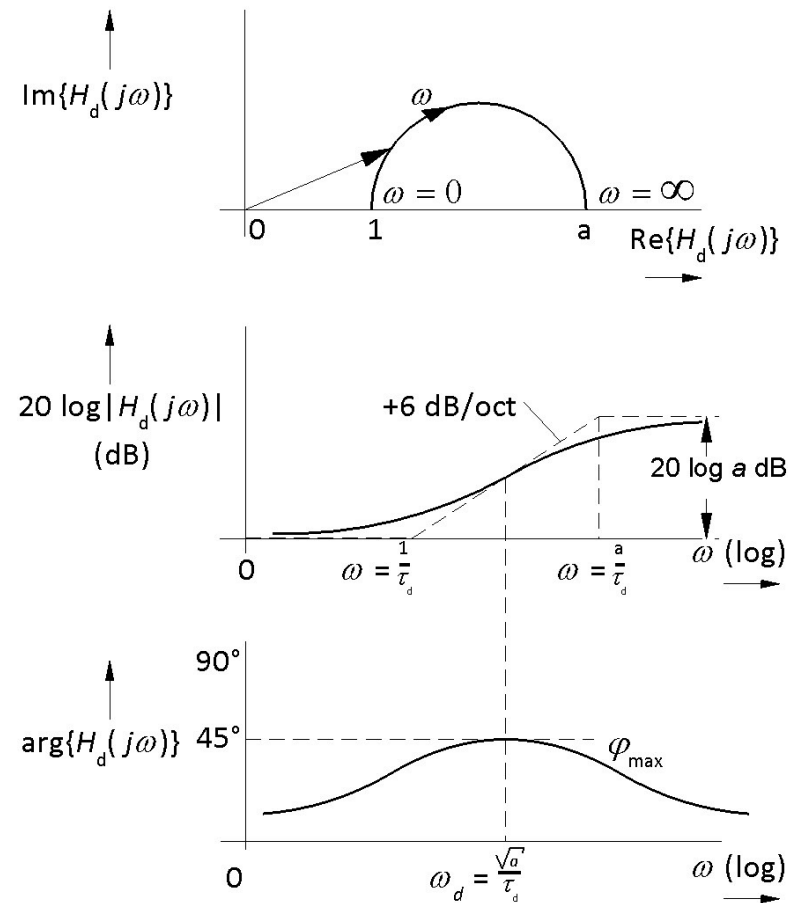


Fig 8.29: Polaire figuur en Bode-diagram van een getemde D-actie

Fig 8.30

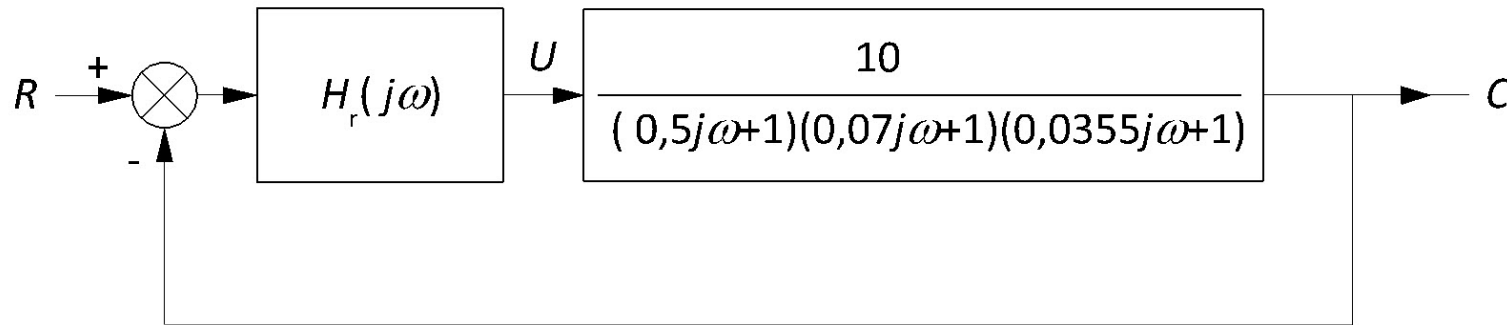


Fig 8.30: Derde-ordeproces met regelaar

Fig 8.31

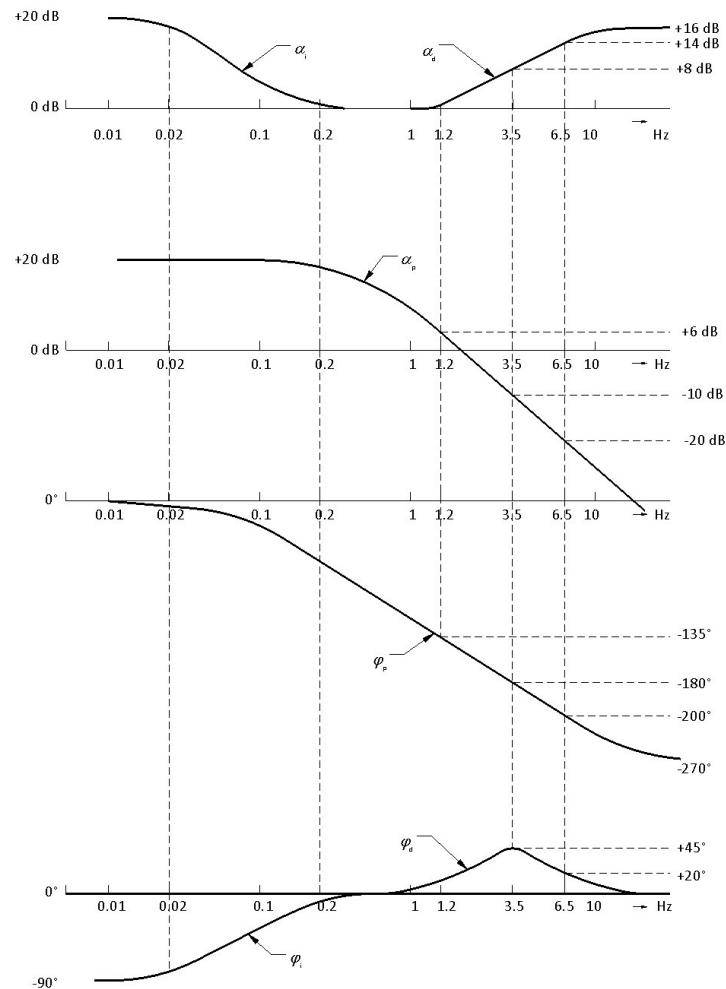


Fig 8.31: Bode-diagram van het procesblok van figuur 8.30; $\alpha_p = 20 \cdot \log |H_p|$ en $\phi_p = \arg\{H_p\}$

Fig 8.32

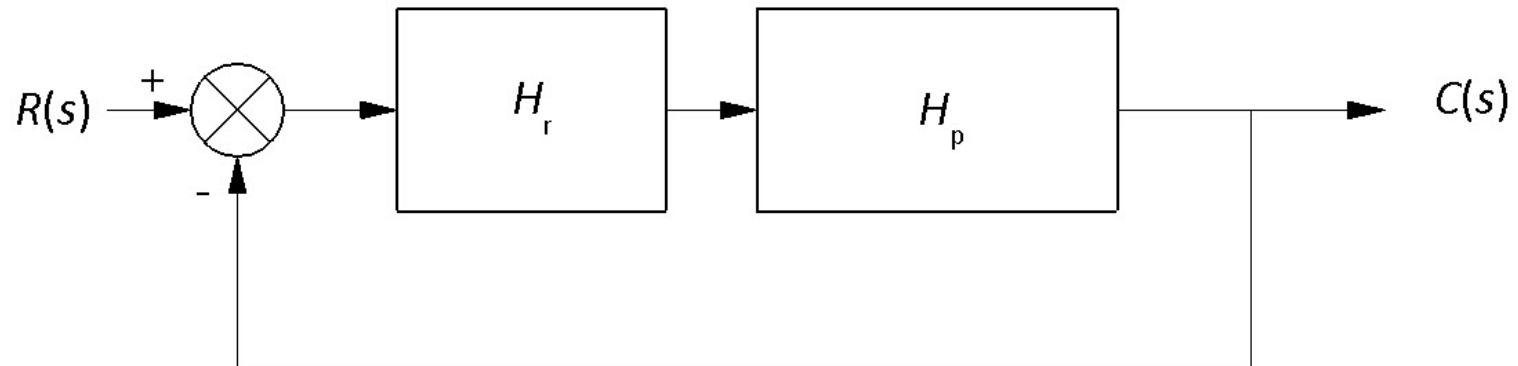


Fig 8.32: Regelkring

Fig 8.33

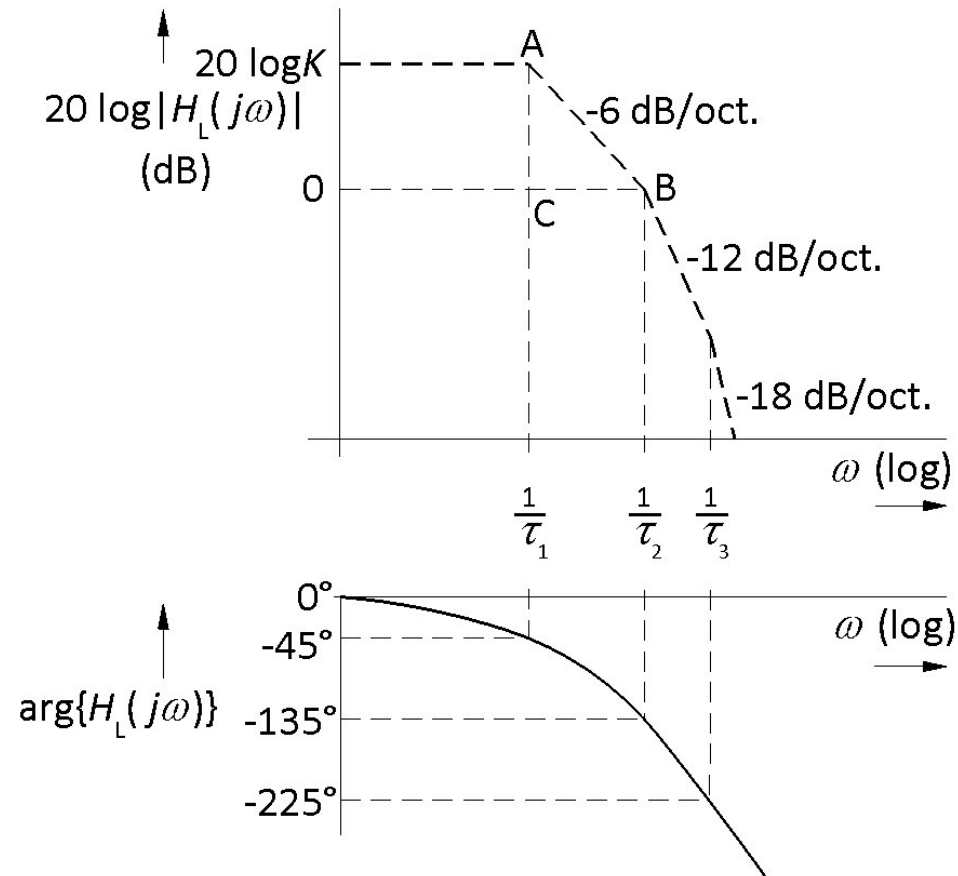


Fig 8.33: Bode-diagram van regelkring met P-regelaar

Fig 8.34

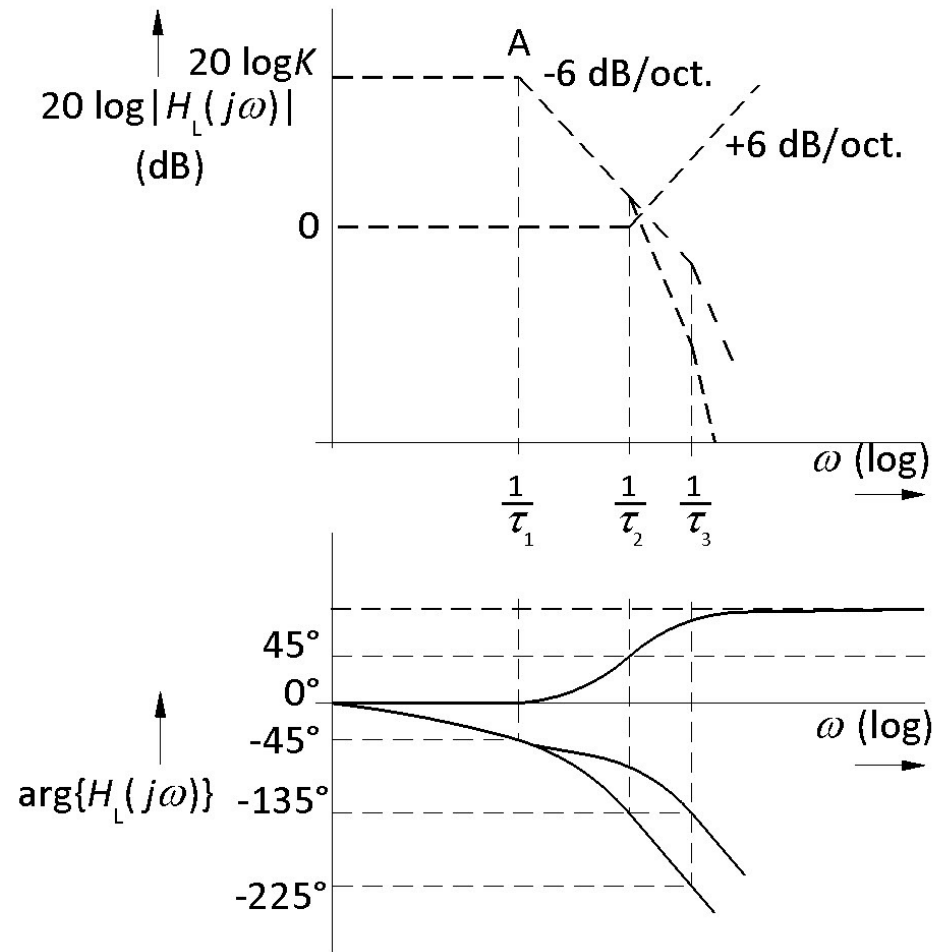


Fig 8.34: Bode-diagram van regelkring met PD-regelaar

Fig 8.35

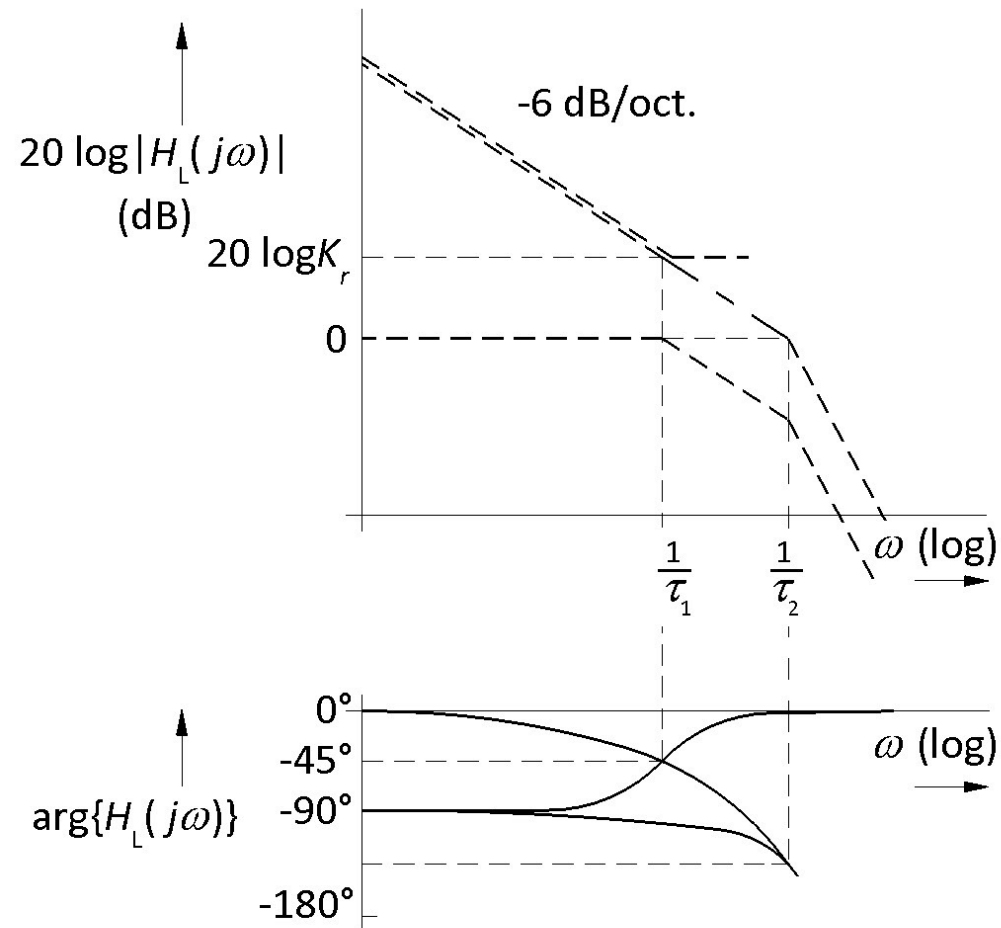


Fig 8.35: Bode-diagram van regelkring met PI-regelaar

Fig 8.36

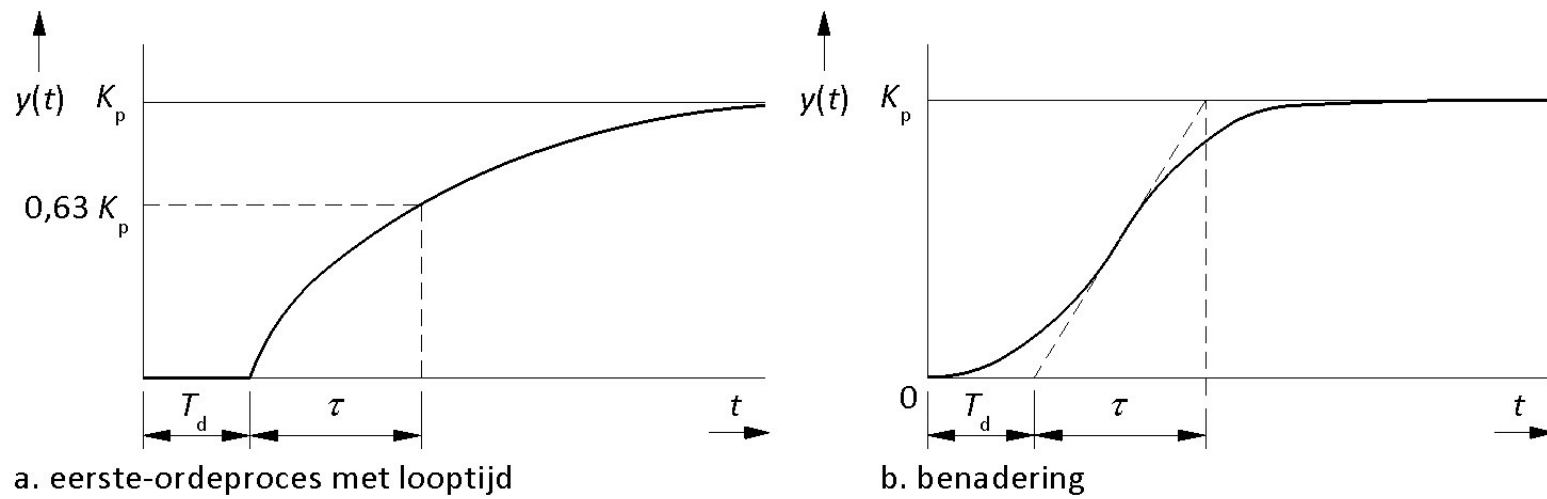


Fig 8.36: Eerste-ordeproces met looptijd (a) en benadering (b)

Fig 8.37

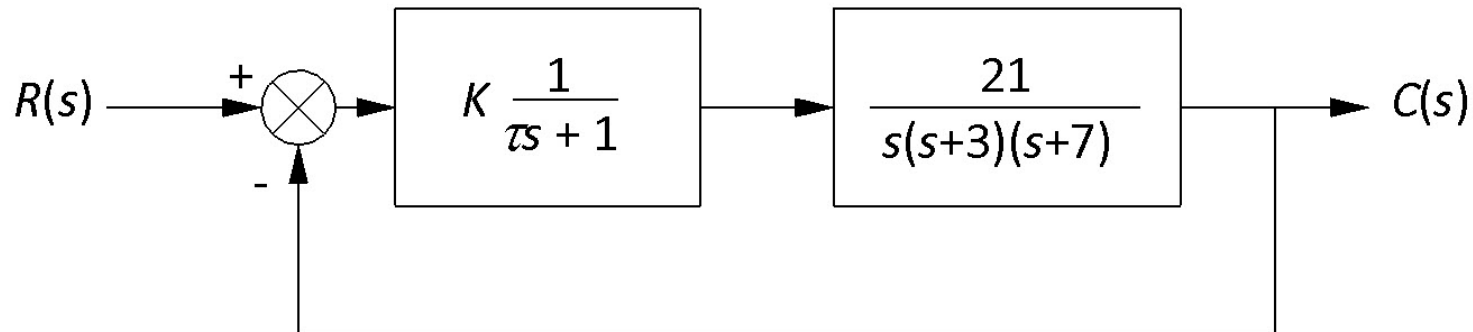


Fig 8.37: Blokschema van een teruggekoppeld systeem

Fig 8.38

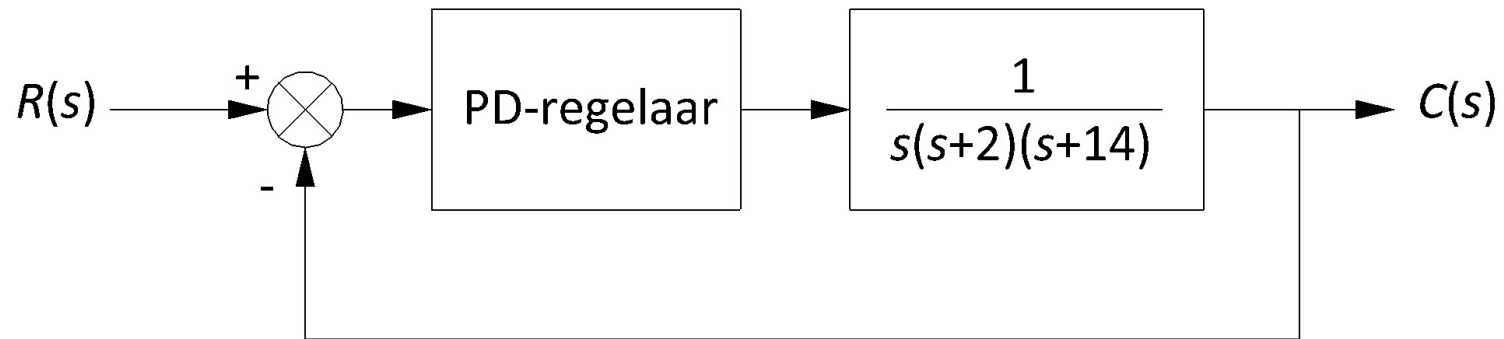


Fig 8.38: PD-geregeld derde-ordestelsel

Fig 8.39

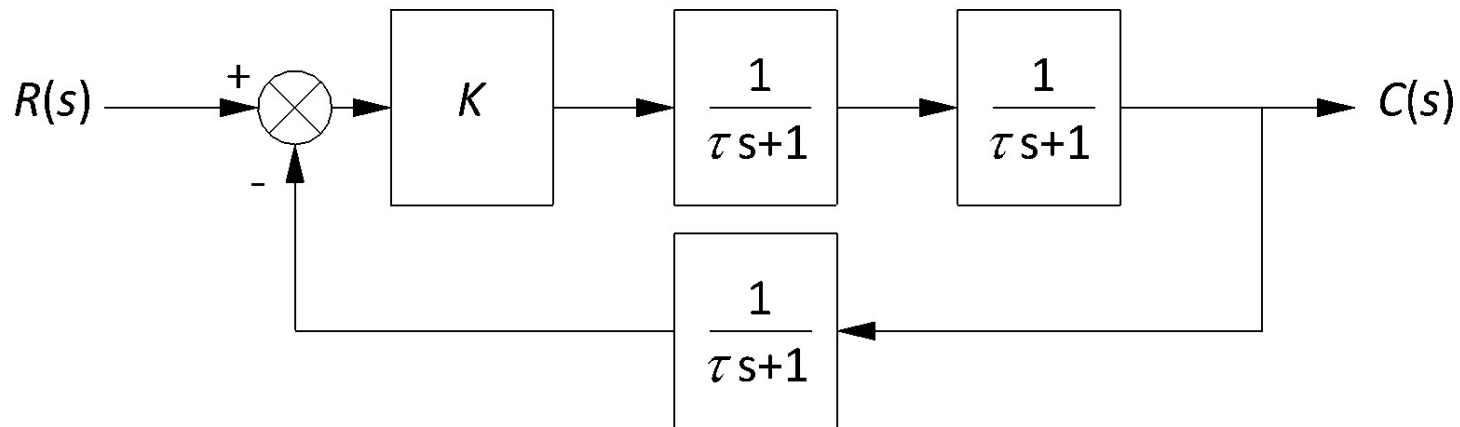


Fig 8.39: Blokschema van het systeem

Fig 8.40

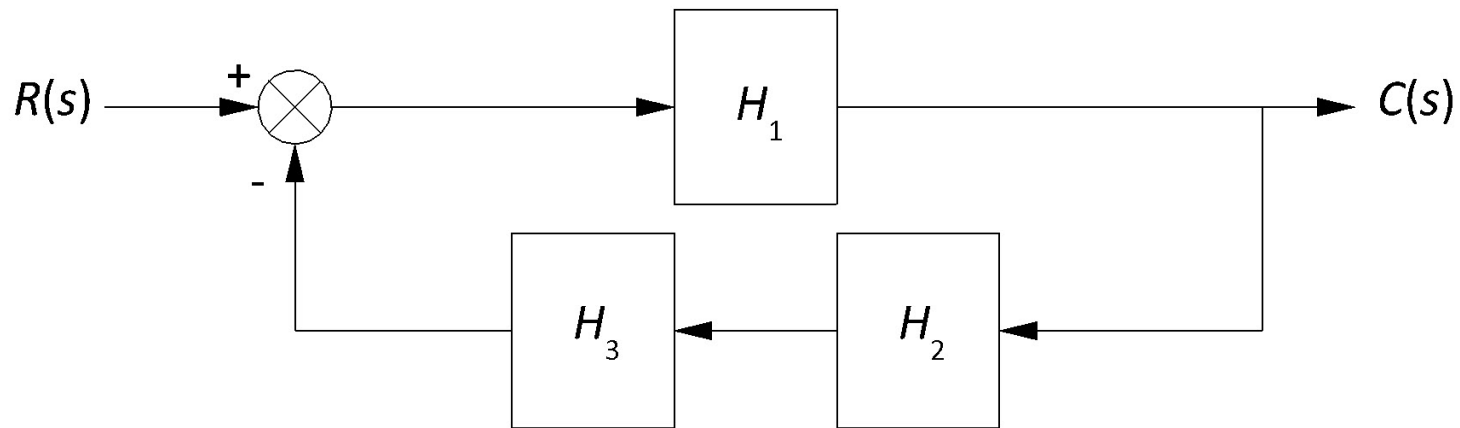


Fig 8.40: Blokschema van een regelsysteem

Fig 8.41

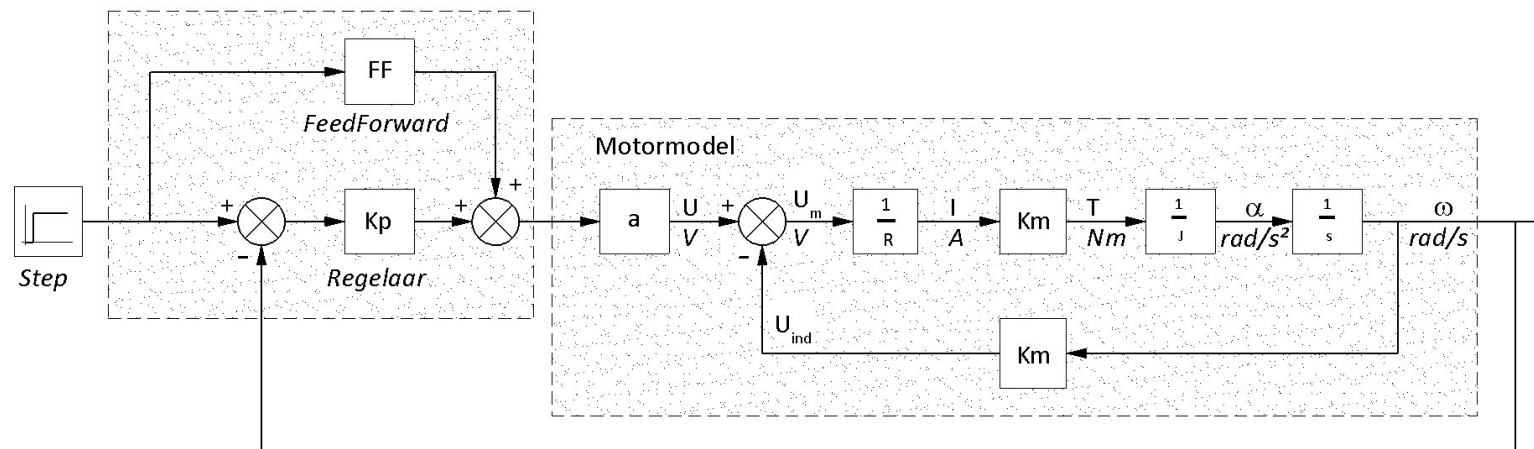


Fig 8.41: Feed forward toegevoegd aan de snelheidsregeling van de maxon motor

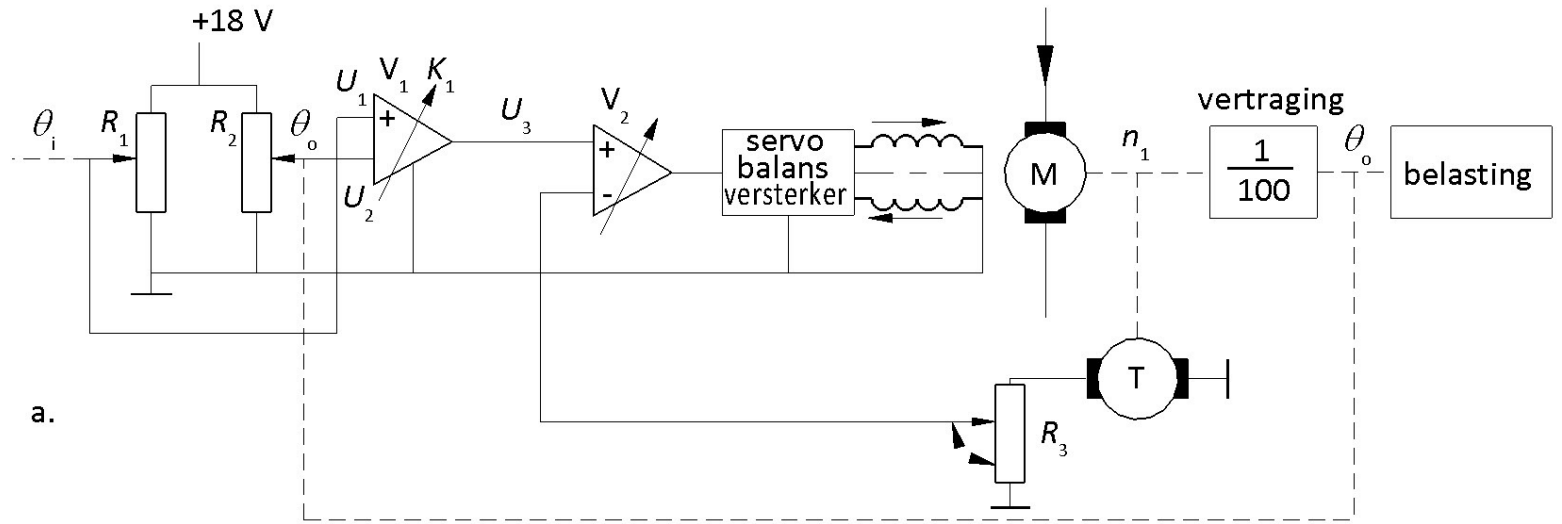
Hoofdstuk 9

	<i>Boek Pag #</i>
Fig 9.1: Processchema (a) en blokschema (b) van een gelijkspannings-positie-servosysteem	208
Fig 9.2: Blokschema behorende bij het systeem zonder snelheidstegenkoppeling	209
Fig 9.3: Poolbaan behorend bij het systeem zonder snelheidstegenkoppeling	209
Fig 9.4: Blokschema van het systeem met snelheidstegenkoppeling	210
Fig 9.5: Poolbaan voor variatie van K_2 van het systeem met snelheidstegenkoppeling	211
Fig 9.6: Stapresponsies van het servosysteem zonder (1) en met (2) snelheidstegenkoppeling	212
Fig 9.7: Schematische weergave van een cv-systeem	212
Fig 9.8: Blokschema van het cv-systeem	213
Fig 9.9: Vereenvoudigd blokschema van het cv-systeem	214
Fig 9.10: Bodediagram van $H_{rondgaand}(j\omega)$ van vergelijking 9.9	214
Fig 9.11: Stapresponsies van de gevonden oplossingen voor een stap van 20 graden	215
Fig 9.12: Toevoegen van feed-forward ter compensatie van verstoringen van buitenaf	216
Fig 9.13: Toevoegen van feed-forward aan de temperatuurregeling van paragraaf 9.3	216
Fig 9.14: Stapresponsie van de temperatuurregeling van paragraaf 9.3 met en zonder feed-forward	217
Fig 9.15: Oprollen van een papierbaan	218

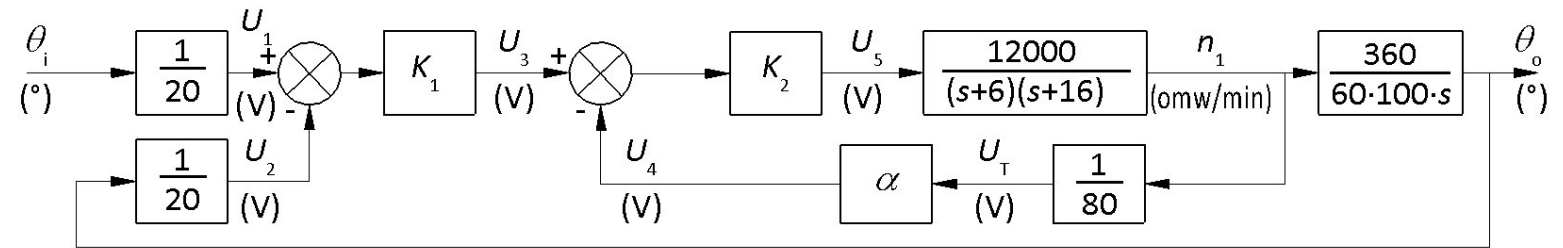
Hoofdstuk 9

	<i>Boek</i>
	<i>Pag #</i>
Fig 9.16: Blokschema van figuur 9.15	218
Fig 9.17: Meetpunten van het statische gedrag	219
Fig 9.18: Eenheidsstapresponsie in het werkpunt van figuur 9.17	219
Fig 9.19: Bodediagram in het werkpunt van figuur 9.17	220
Fig 9.20: Implementatie van een digitale regelaar in figuur 9.16	221
Fig 9.21: Gevolgen van het bemonsteringsproces	222
Fig 9.22: Nulde-orde-houdschakeling	223
Fig 9.23: Blokschema behorend bij formule 9.25	227

Fig 9.1



a.



b.

Fig 9.1: Processchema (a) en blokschema (b) van een gelijkspannings-positieservosysteem

Fig 9.2

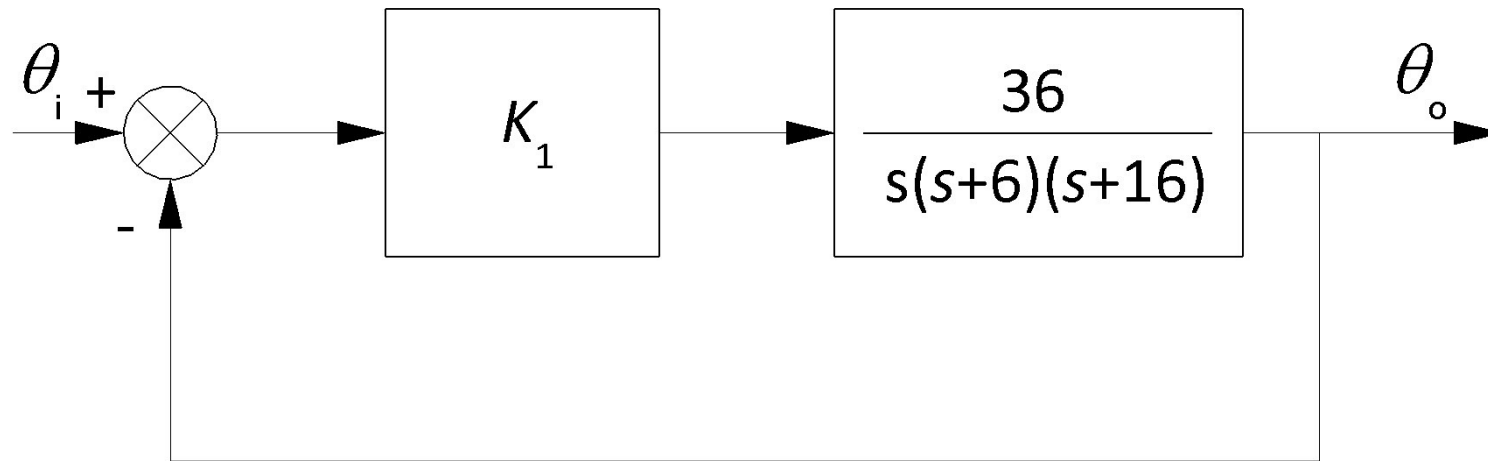


Fig 9.2: Blokschema behorende bij het systeem zonder snelheidstegenkoppeling

Fig 9.3

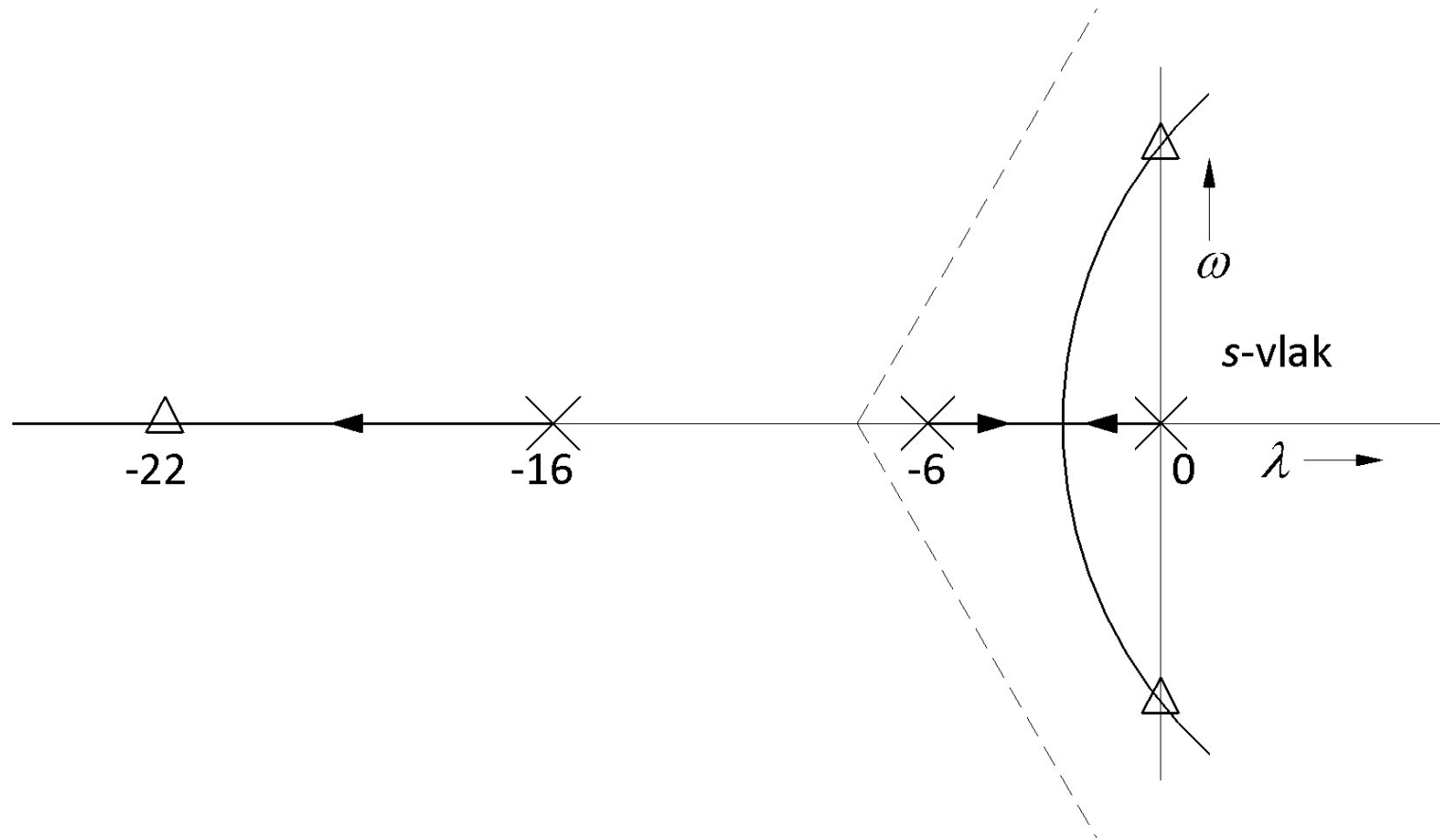


Fig 9.3: Poolbaan behorend bij het systeem zonder snelheidstegenkoppeling

Fig 9.4

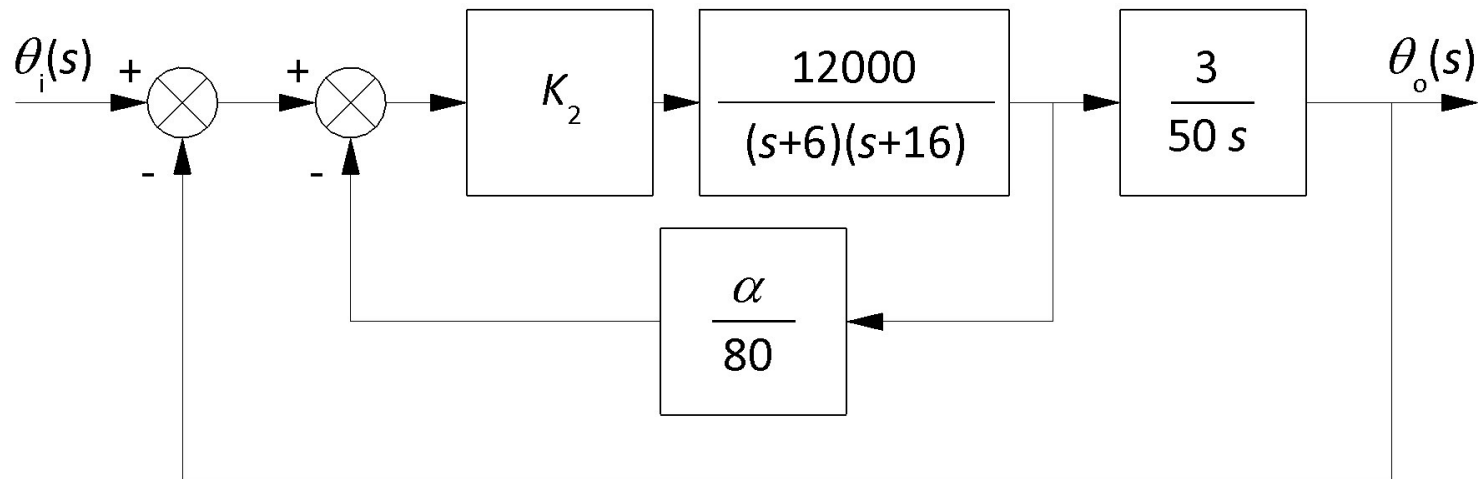


Fig 9.4: Blokschema van het systeem met snelheidstegenkoppeling

Fig 9.5

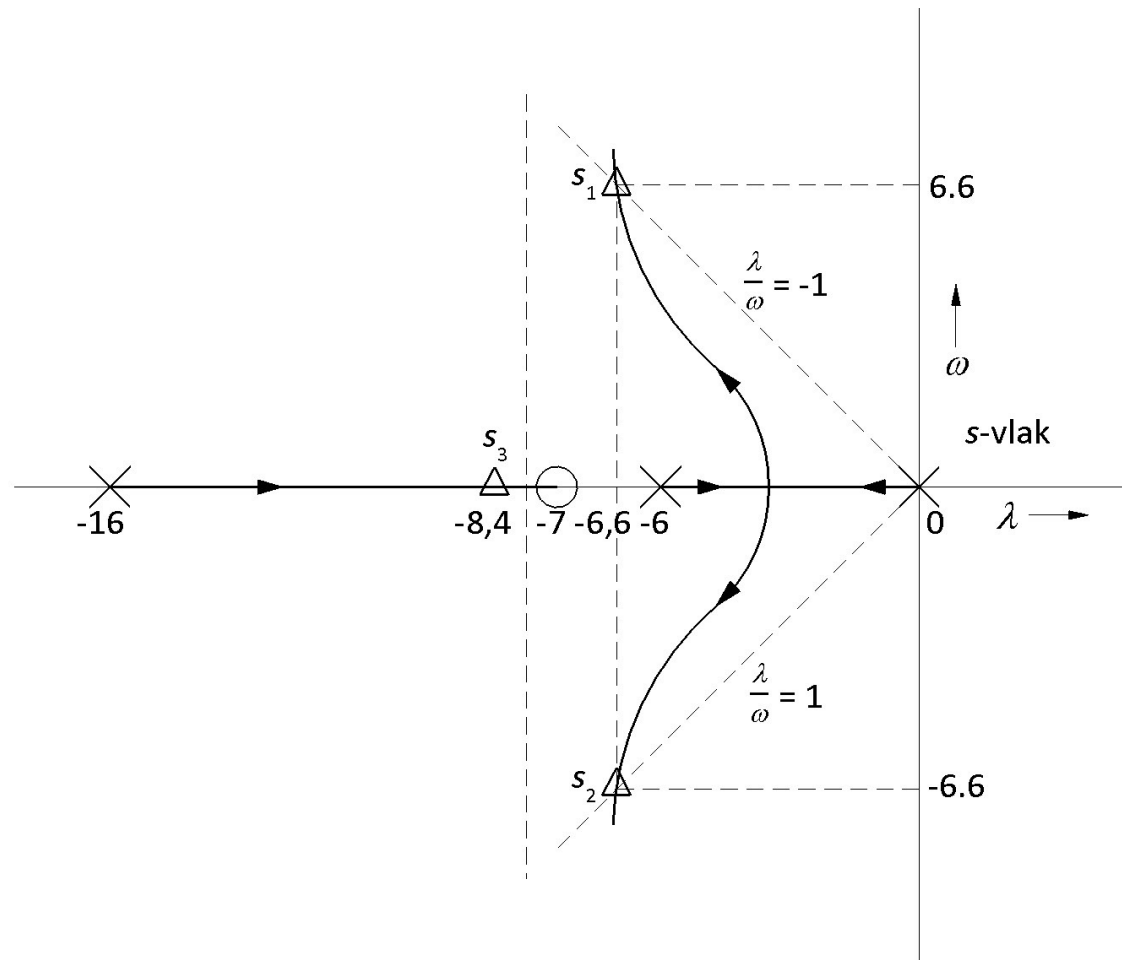


Fig 9.5: Poolbaan voor variatie van K_2 van het systeem met snelheidstegenkoppeling

Fig 9.6

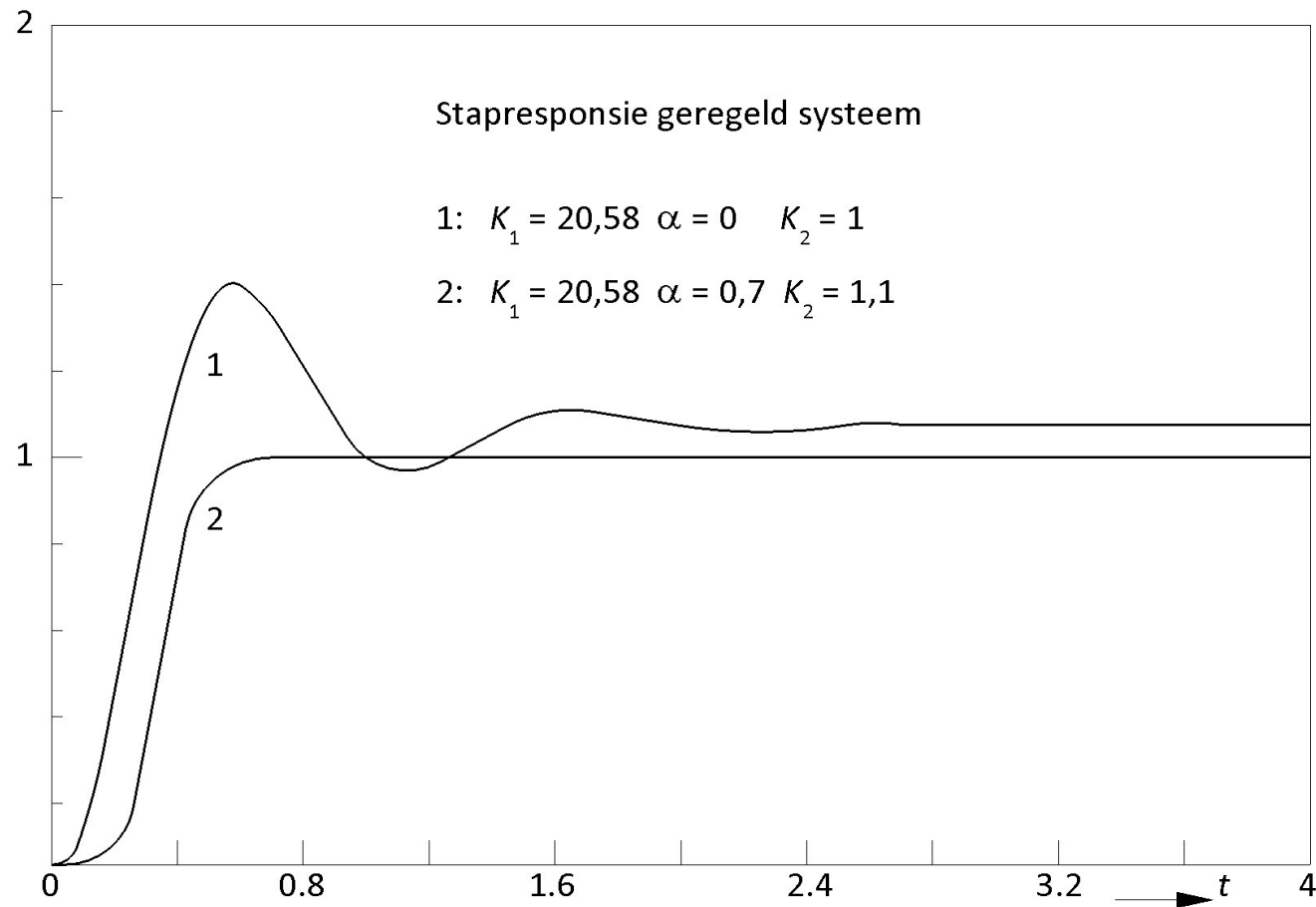


Fig 9.6: Stapresponsies van het servosysteem zonder (1) en met (2) snelheidstegenkoppeling

Fig 9.7

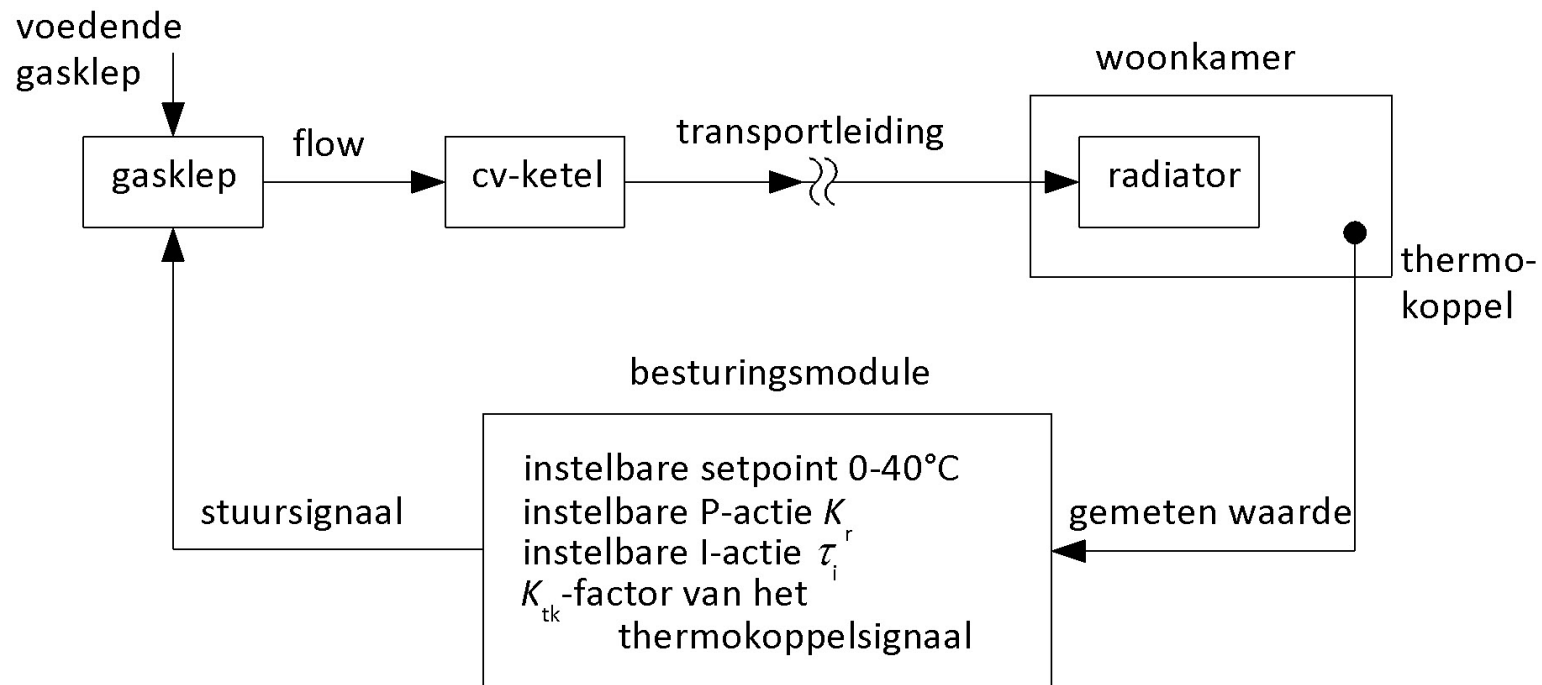


Fig 9.7: Schematische weergave van een cv-systeem

Fig 9.8

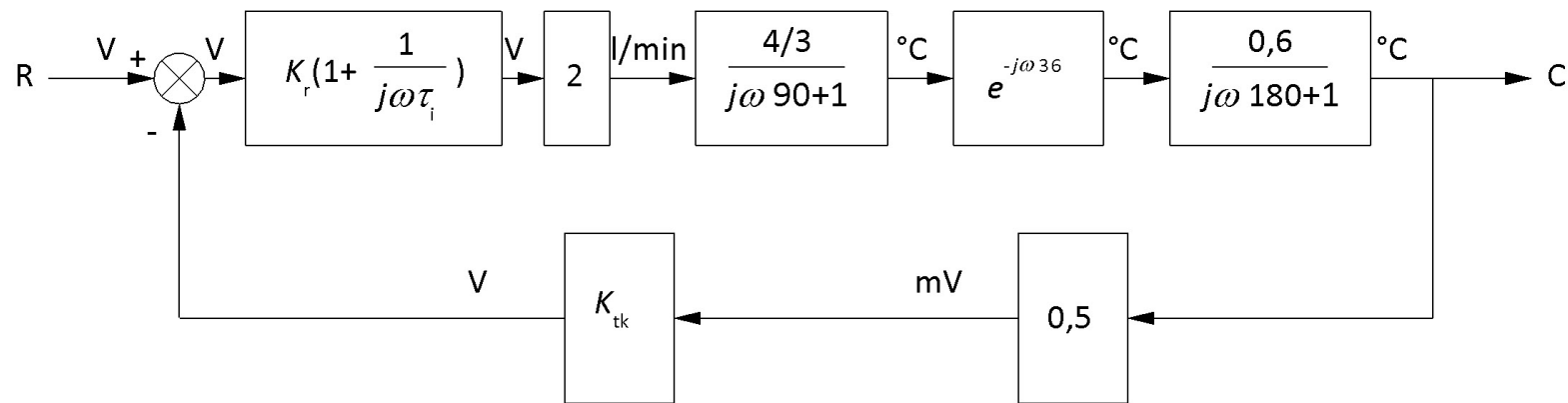


Fig 9.8: Blokschema van het cv-systeem

Fig 9.9

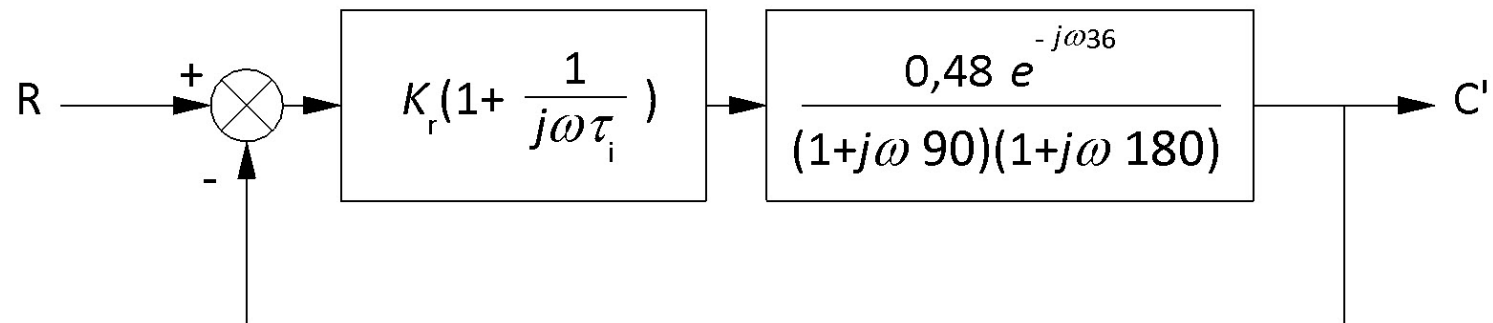


Fig 9.9: Vereenvoudigd blokschema van het cv-systeem

Fig 9.10

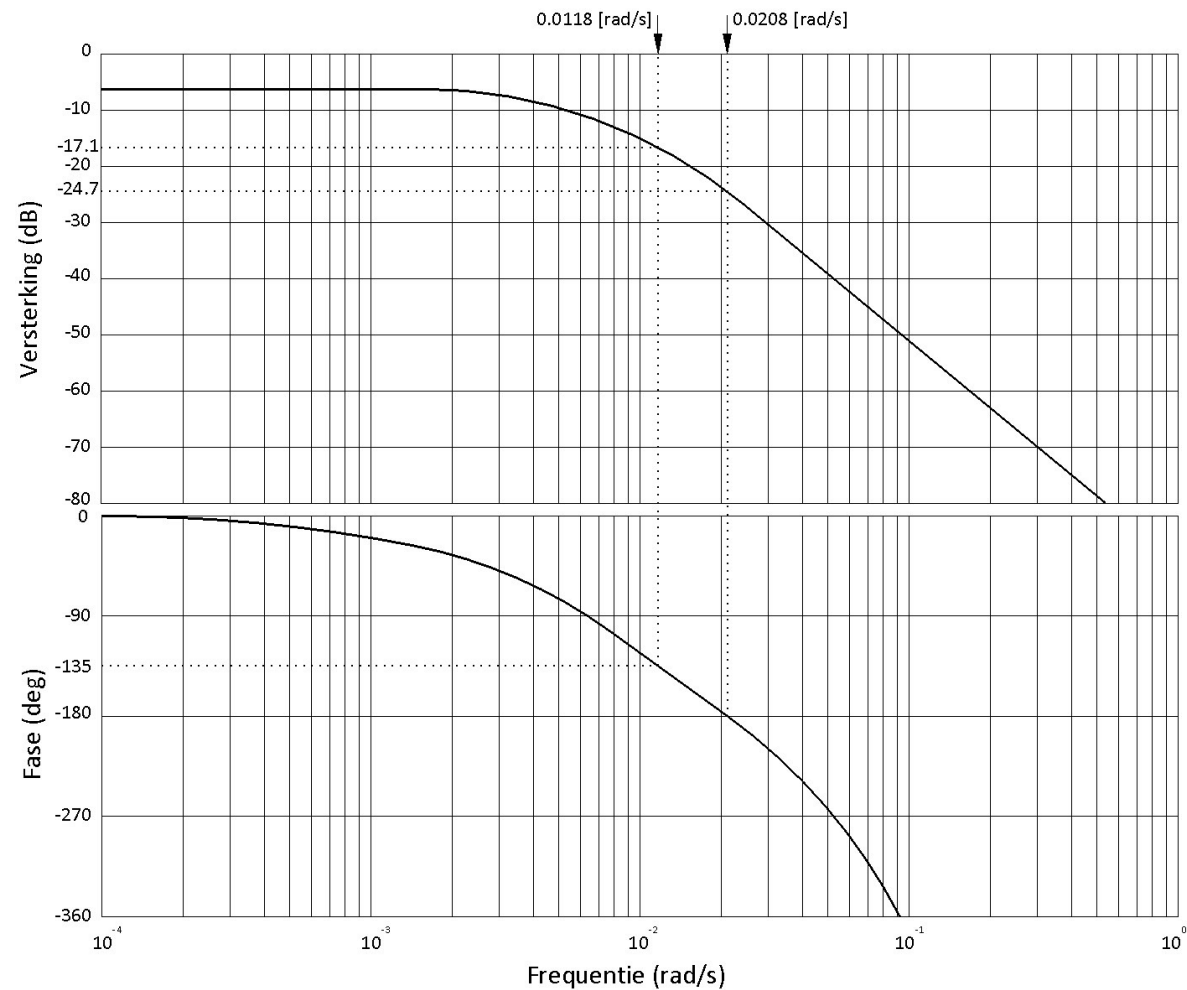


Fig 9.10: Bodediagram van $H_{\text{rondgaand}}(j\omega)$ van vergelijking 9.9

Fig 9.11

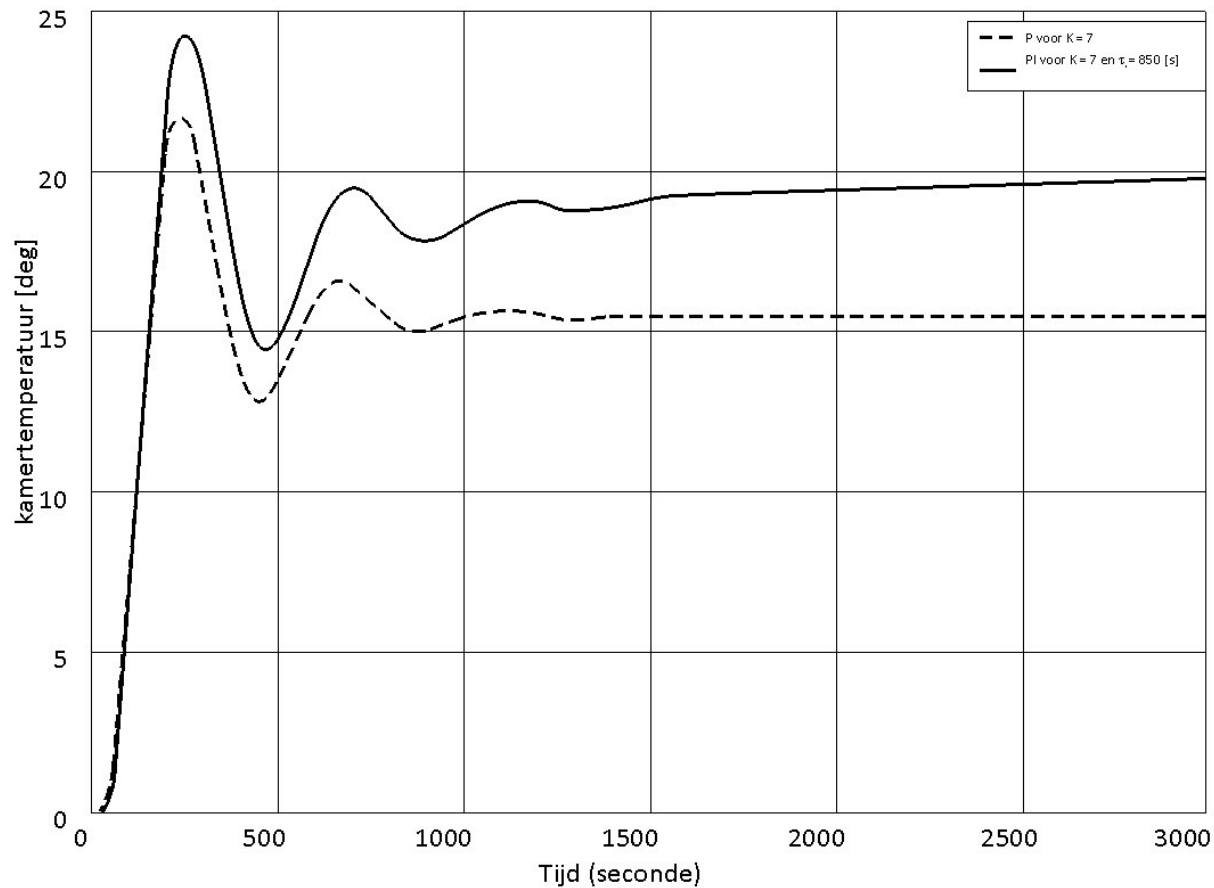


Fig 9.11: Stapresponsies van de gevonden oplossingen voor een stap van 20 graden

Fig 9.12

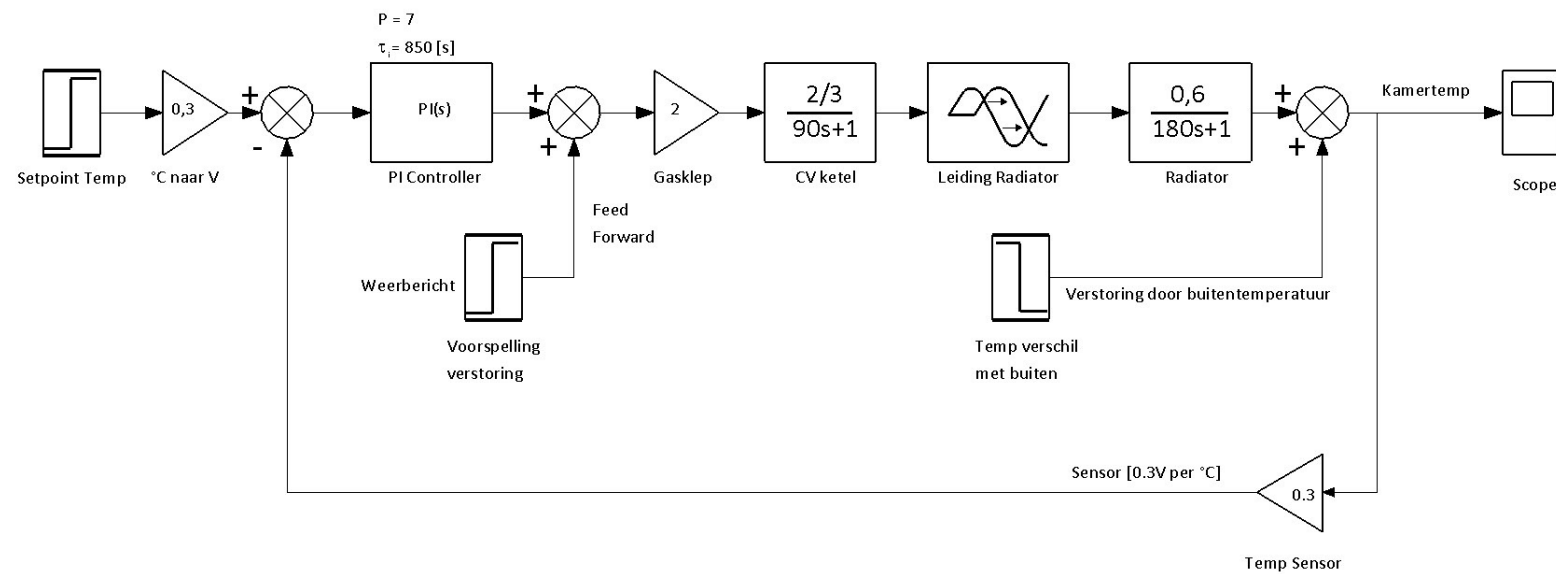


Fig 9.12: Toevoegen van feed-forward ter compensatie van verstoringen van buitenaf

Fig 9.13

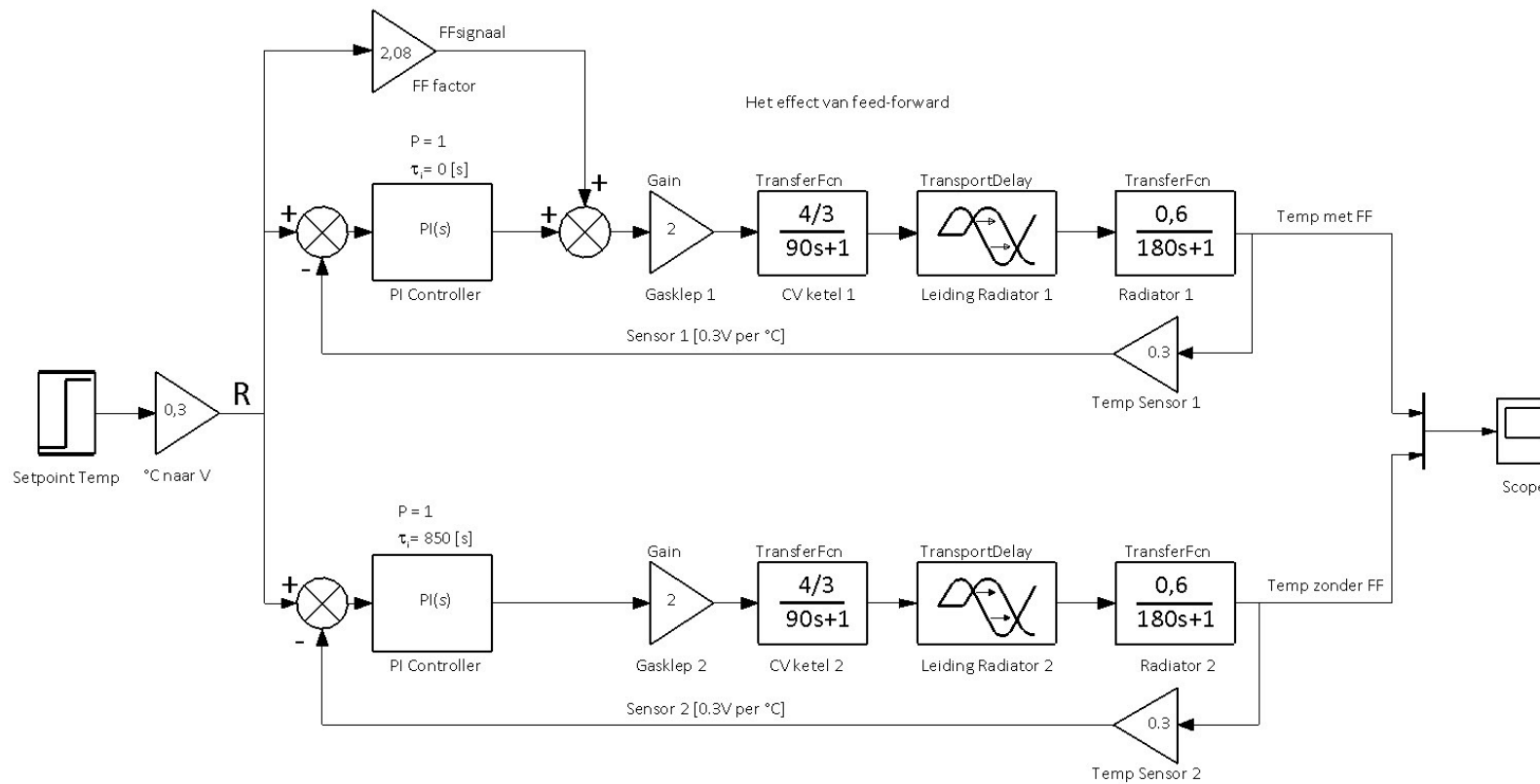


Fig 9.13: Toevoegen van feed-forward aan de temperatuurregeling van paragraaf 9.3

Fig 9.14

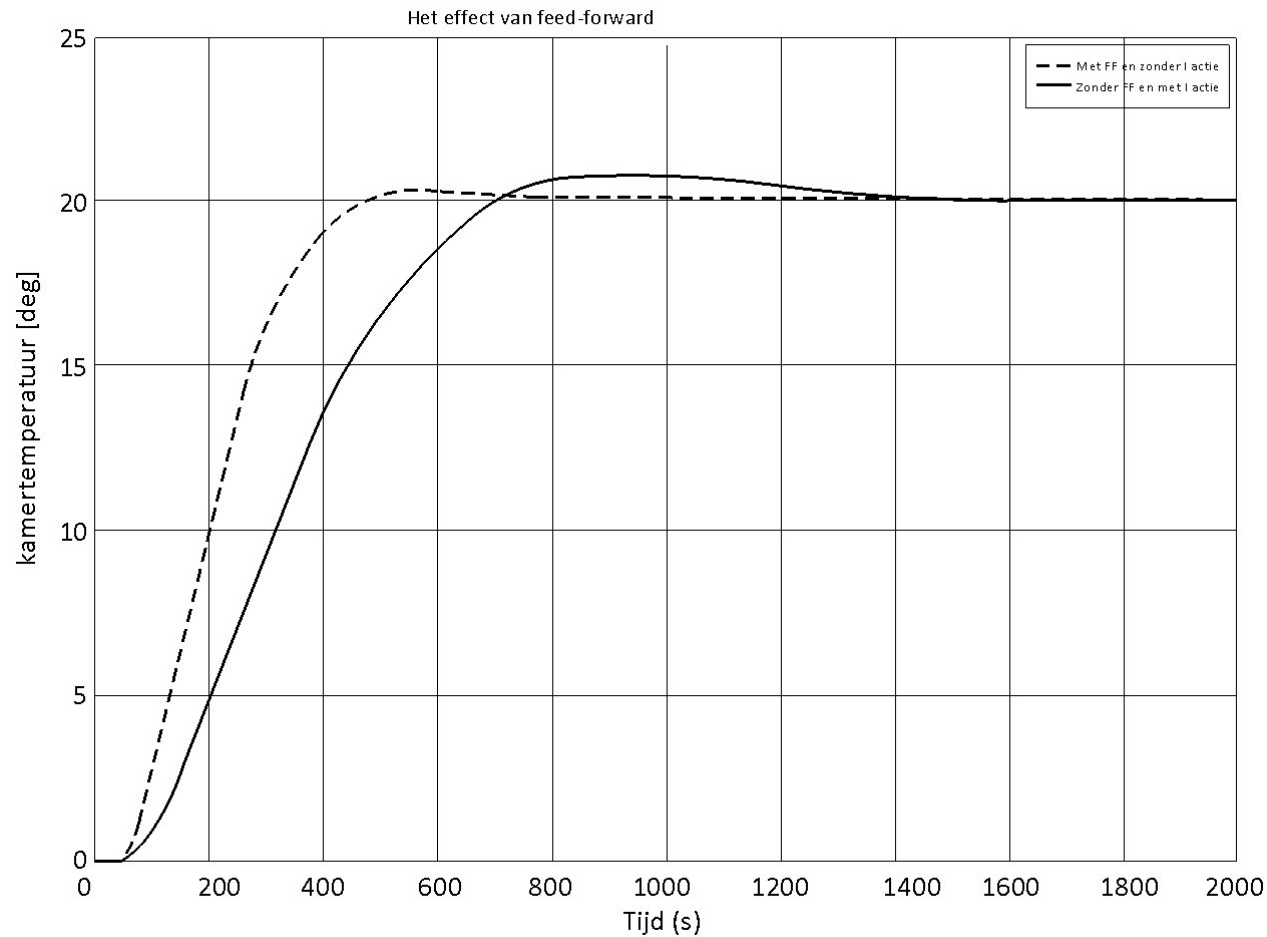


Fig 9.14: Stapresponsie van de temperatuurregeling van paragraaf 9.3 met en zonder feed-forward

Fig 9.15



Fig 9.15: Oprollen van een papierbaan

Fig 9.16

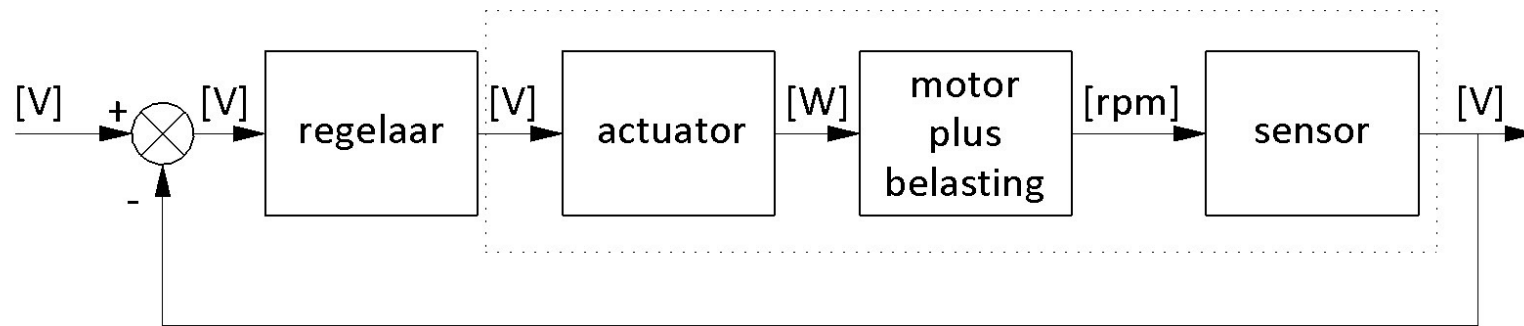


Fig 9.16: Blokschema van figuur 9.15

Fig 9.17

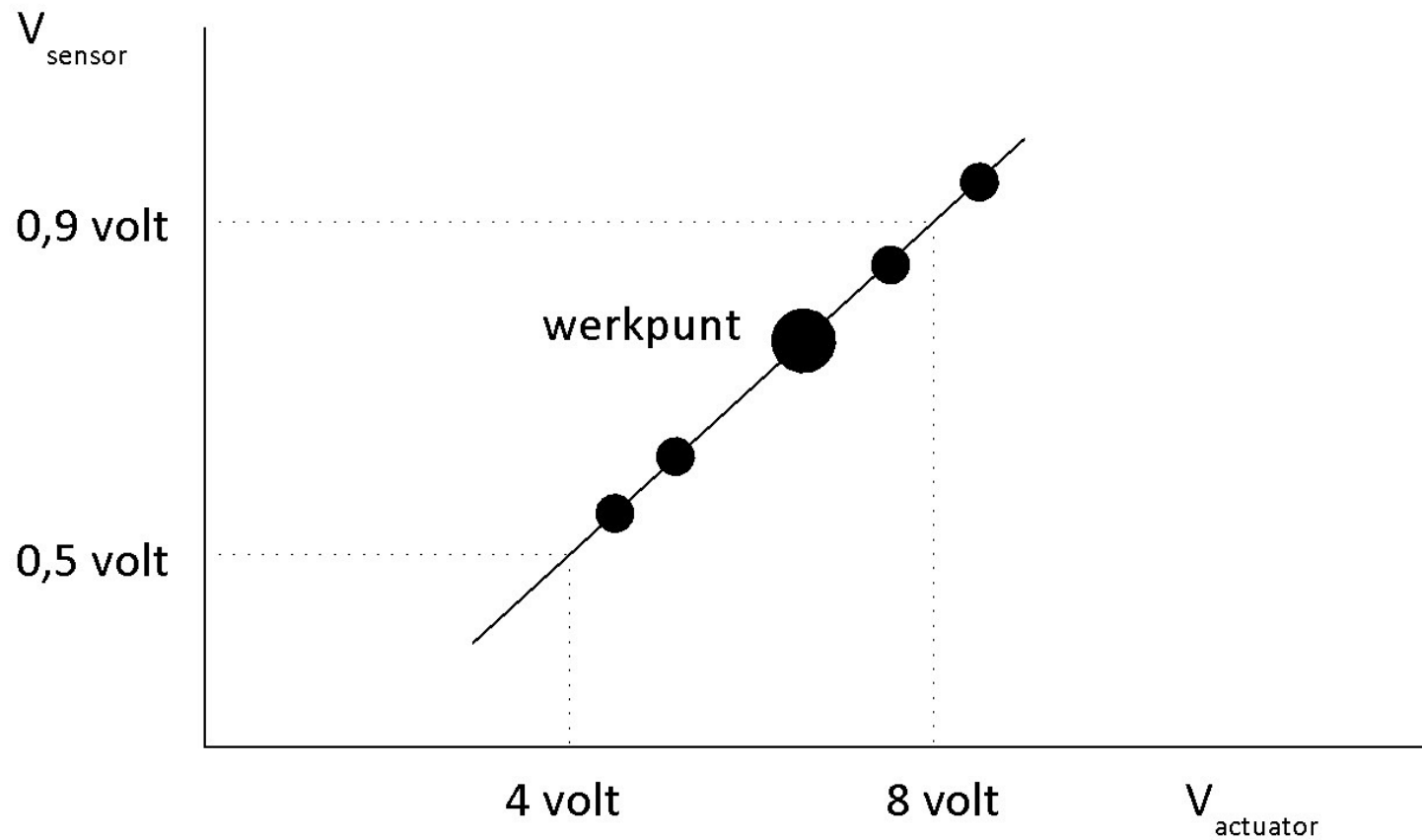


Fig 9.17: Meetpunten van het statische gedrag

Fig 9.18

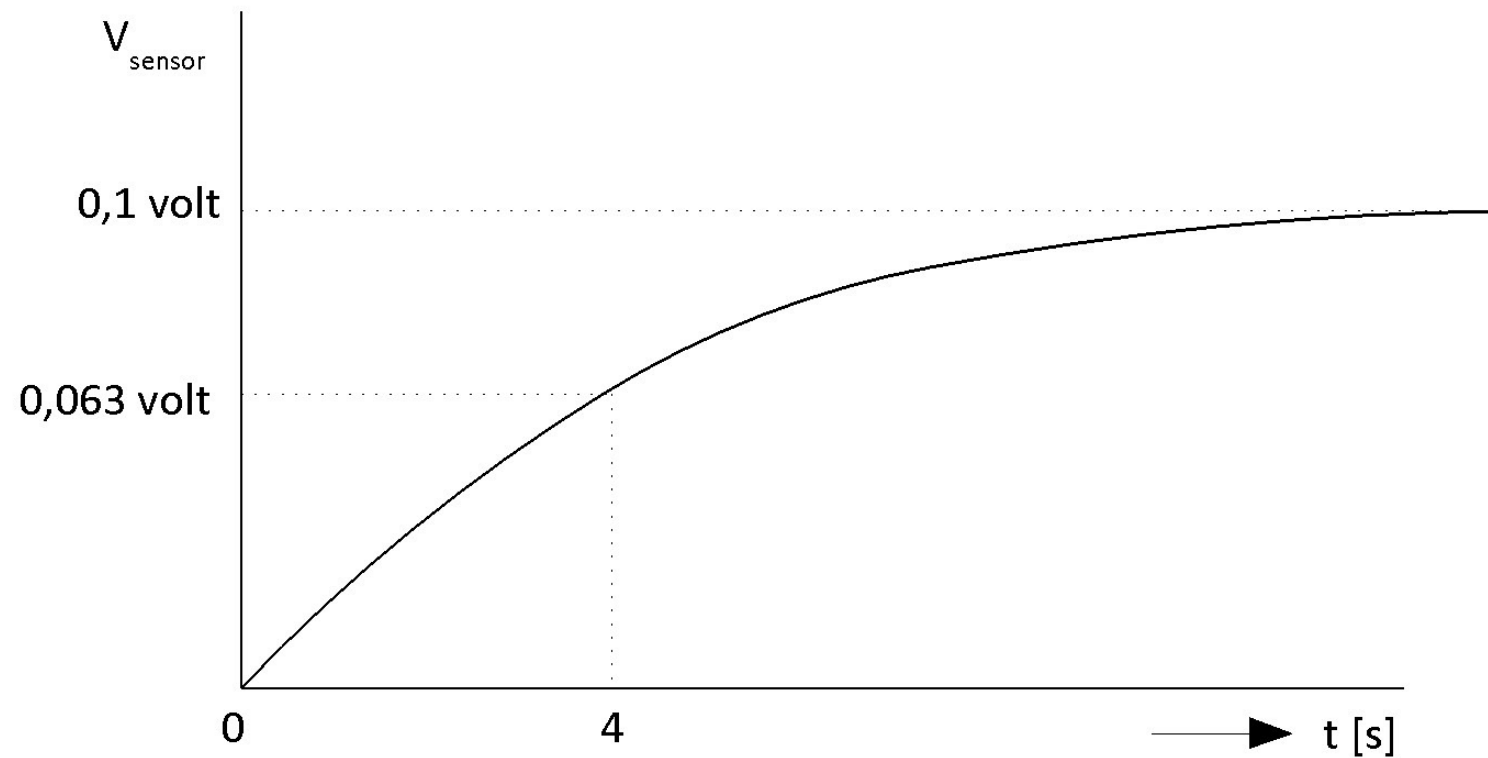


Fig 9.18: Eenheidsstapresponsie in het werkpunt van figuur 9.17

Fig 9.19

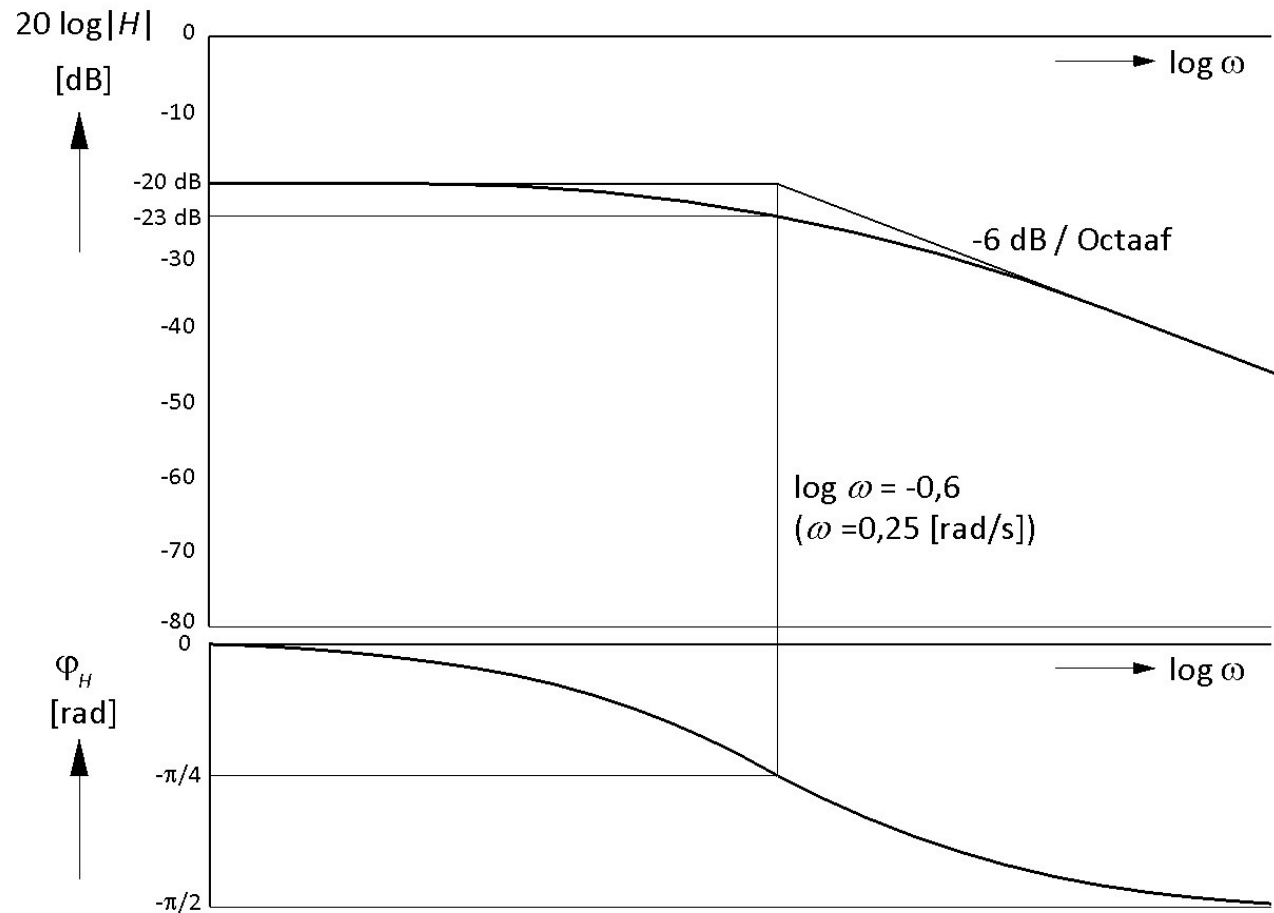


Fig 9.19: Bodediagram in het werkpunt van figuur 9.17

Fig 9.20

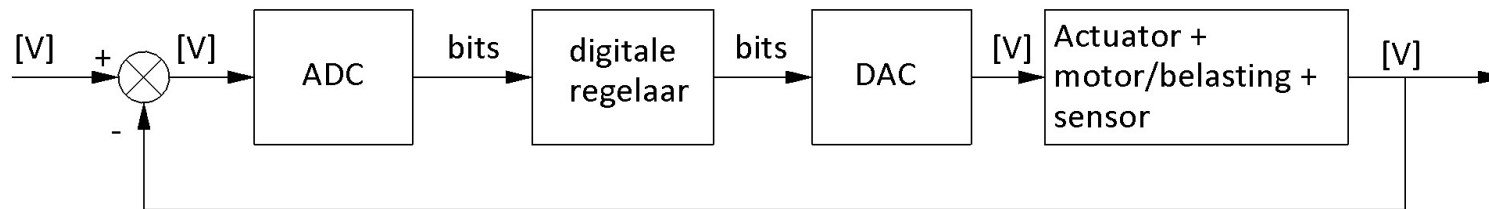


Fig 9.20: Implementatie van een digitale regelaar in figuur 9.16

Fig 9.21

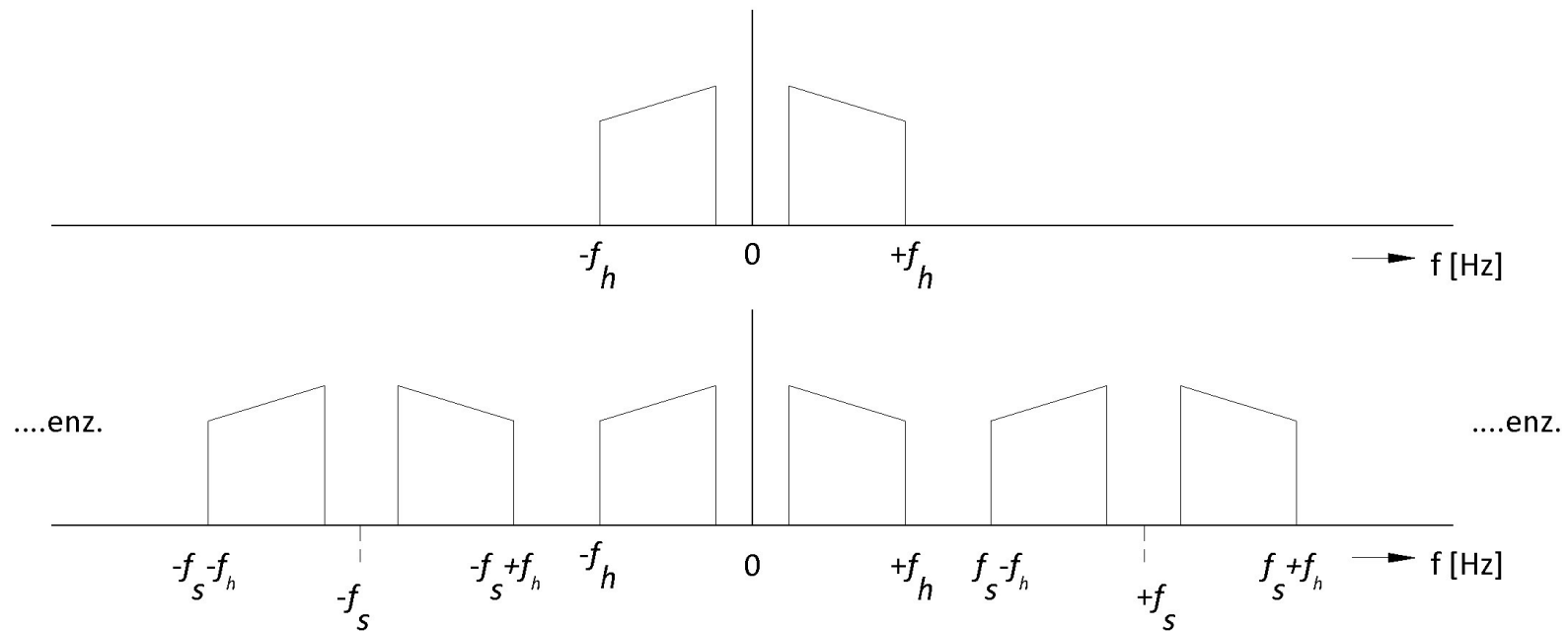


Fig 9.21: Gevolgen van het bemonsteringsproces

Fig 9.22

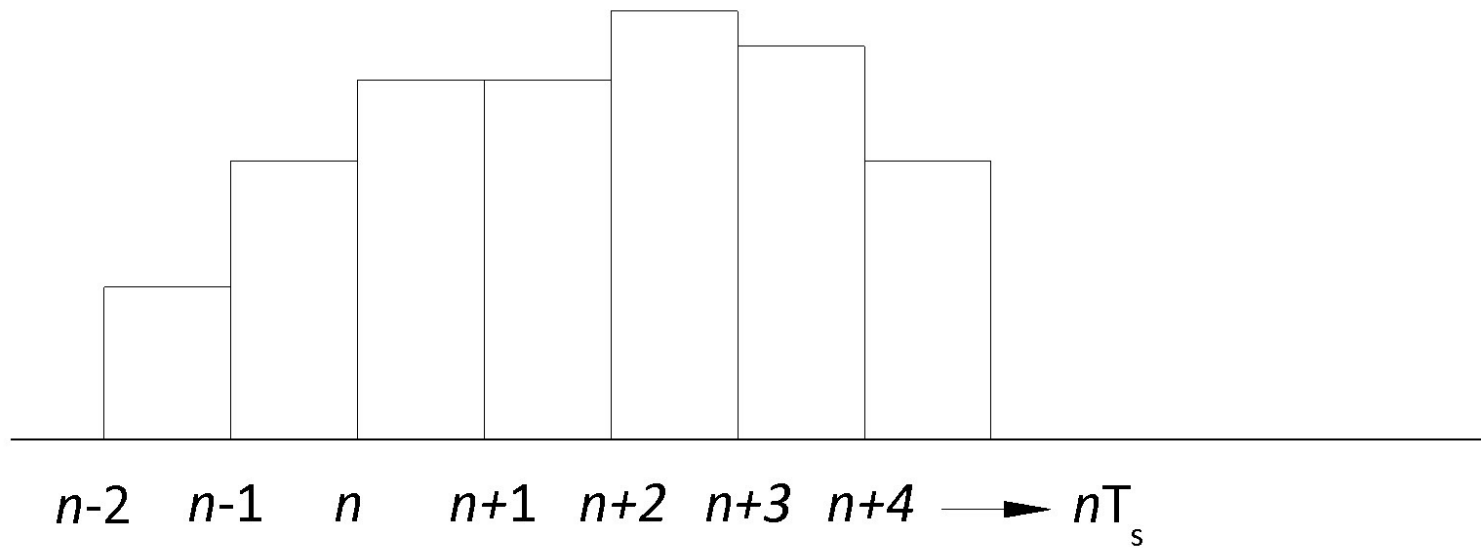


Fig 9.22: Nulde-orde-houdschakeling

Fig 9.23

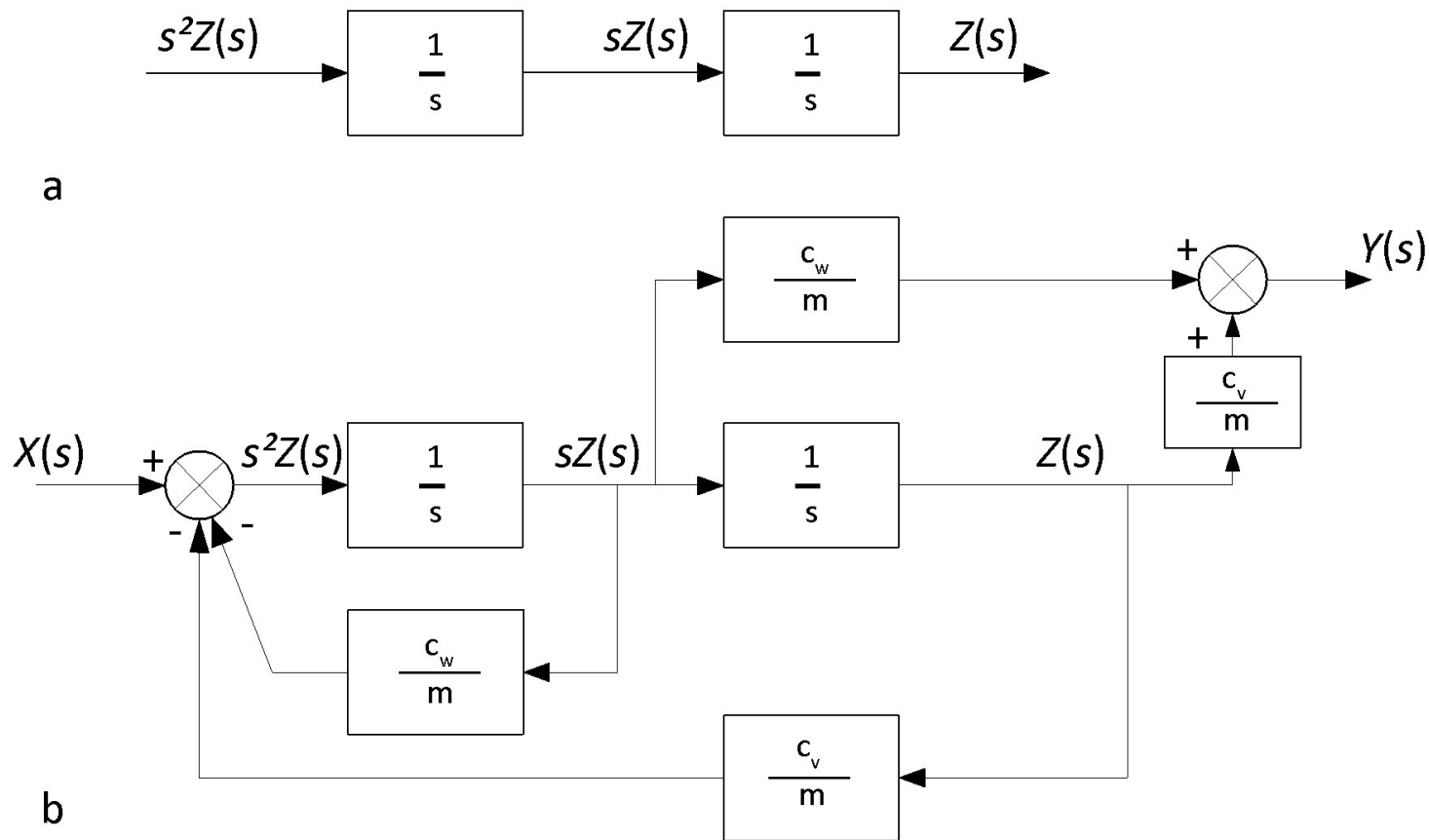


Fig 9.23: Blokschema behorend bij formule 9.25

Bijlage A

	<i>Boek</i>
	<i>Pag #</i>
Tabel A.1: Eigenschappen	233
Tabel A.2: Laplace tabel	233
Fig A.1: Transformaties	232
Fig A.2: Blokschema in het tijddomein (a) en in het s-domein b)	234

Tabel A.1

Regel	t -domein	s -domein
lineariteit	$a \cdot f(t) + b \cdot g(t)$	$a \cdot F(s) + b \cdot G(s)$
demping	$e^{-at} \cdot f(t)$	$F(s+a)$
verschuiving in de tijd	$f(t-a)$	$e^{-as} \cdot F(s)$
afgeleiden (beginvoorwaarden nul)	$\frac{d^n}{dt^n} f(t)$	$s^n \cdot F(s)$
beginwaardetheorema	$f(0) = \lim_{t \rightarrow 0} f(t)$	$f(0) = \lim_{s \rightarrow \infty} s \cdot F(s)$
eindwaardetheorema	$f(\infty) = \lim_{t \rightarrow \infty} f(t)$	$f(\infty) = \lim_{s \rightarrow 0} s \cdot F(s)$

Tabel A.1: Eigenschappen

Tabel A.2

Signaaltype	t-domein	s-domein
stapfunctie	$1(t)$	$\frac{1}{s}$
deltafunctie	$\delta(t)$	1
exponentiële functie	$t^n \cdot 1(t)$	$\frac{n!}{s^{n+1}}$
e-macht	$e^{-at} \cdot 1(t)$	$\frac{1}{s+a}$
sinus	$\sin \omega t \cdot 1(t)$	$\frac{\omega}{s^2 + \omega^2}$
cosinus	$\cos \omega t \cdot 1(t)$	$\frac{s}{s^2 + \omega^2}$
gedempte sinus	$e^{-at} \cdot \sin \omega t \cdot 1(t)$	$\frac{\omega}{(s+a)^2 + \omega^2}$
gedempte cosinus	$e^{-at} \cdot \cos \omega t \cdot 1(t)$	$\frac{s+a}{(s+a)^2 + \omega^2}$

Tabel A.2: Laplace tabel

Fig A.1

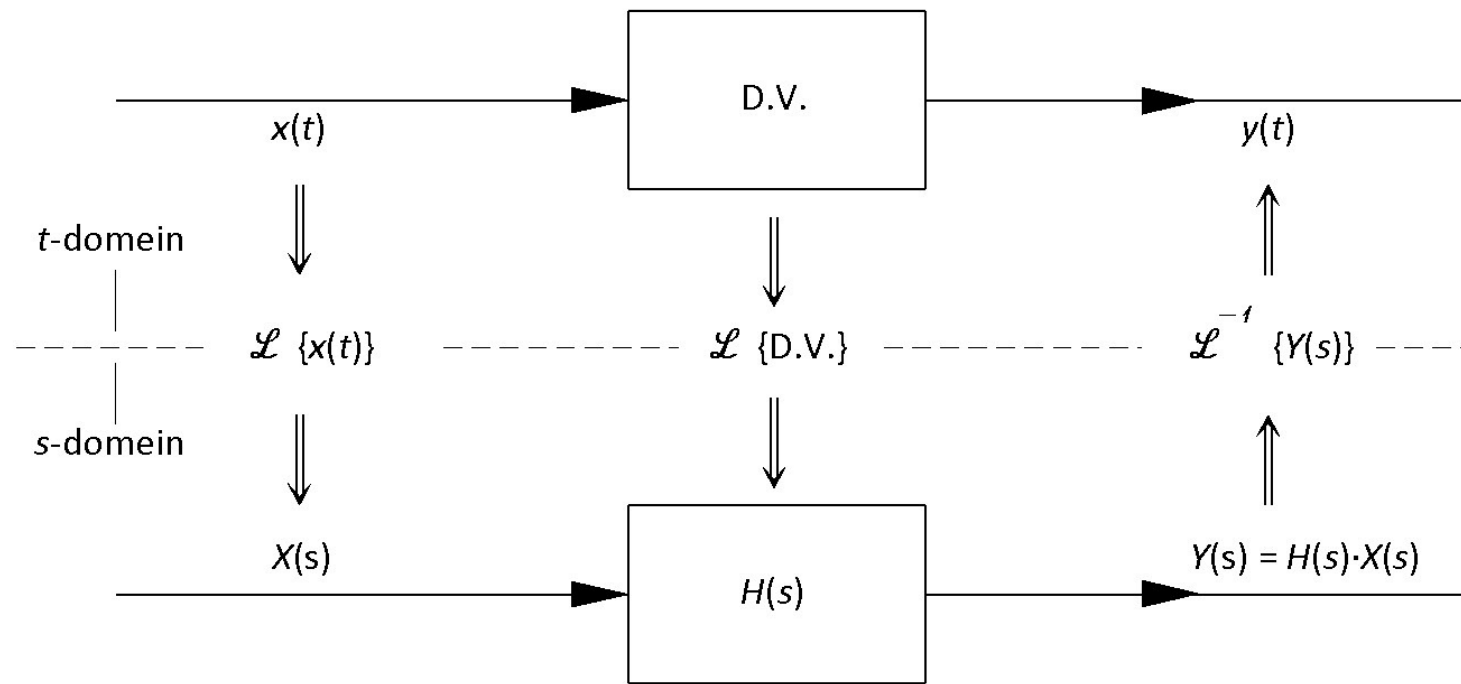


Fig A.1: Transformaties

Fig A.2

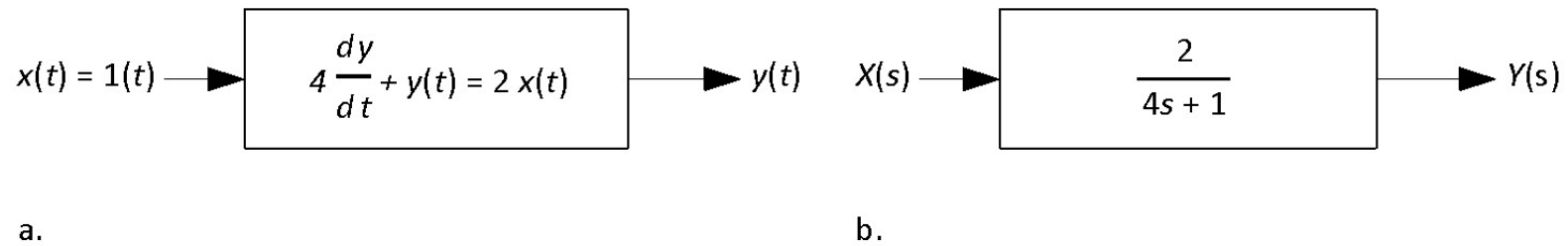


Fig A.2: Blokschema in het tijddomein (a) en in het s-domein b)

Bijlage B

Fig B.1: Het schema in Simulink voor het simuleren van een stapresponsie

Boek
Pag #
240

Fig B.1

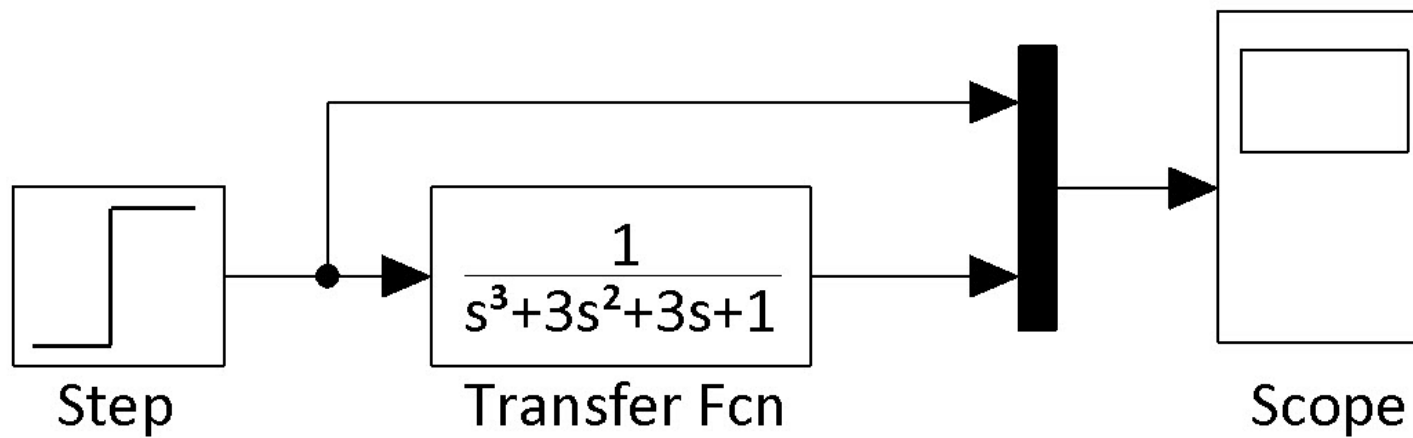


Fig B.1: Het schema in Simulink voor het simuleren van een stapresponsie

Bijlage C

Tabel C.1: Verdiepingsonderwerpen op de website bij het boek

Boek
Pag #
245

Tabel C.1

No	Onderwerp
H10	Digitale Regelsystemen
H11	Mathematische beschrijving van bemonsterde signalen
H12	Blokschema's van systemen met signaalbemonstering
H13	Analyse en synthese van bemonsterde regelsystemen
H14	Digitale netwerken
H15	Praktische regels voor directe digitale regeling (DDC)
H16	Tijd-optimale regelsystemen (dead-beat)
H17	Fuzzy control
H18	Niet lineaire systemen

Tabel C.1: Verdiepingsonderwerpen op de website bij het boek