



Instituut voor
Engineering en Applied Science

Naam deelnemer:

Studentnummer:

--	--	--	--	--	--	--

Opleiding : **Elektrotechniek**

Cursusnaam : **Digitale Systemen**

Cursuscode : **ELEDIS10**

Tentamenperiode : **T3**

Toetsdatum : **9 april 2026**

Begintijd : **13:30**

Duur (in minuten) : **135 min**

Docent : **StrjG**

Collegiale review : **BroJZ**

Cesuur : **22 punten**

Minimaal benodigd aantal punten : **16 punten**

Aantal pagina's : **4 (exclusief voorblad)**

Toetsen inleveren : **Ja**

Kladpapier inleveren : **Ja**

Toegestane hulpmiddelen:

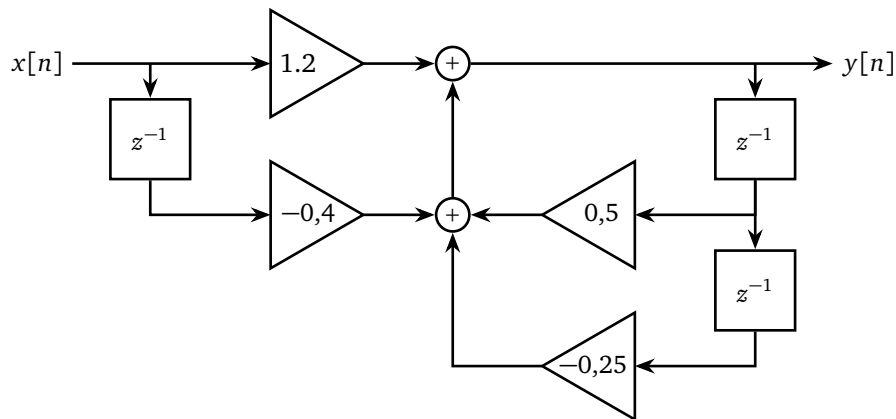
- Normale rekenmachine.

**Overige
opmerkingen:**

- Puntenverdeling per vraag:

Vraag:	1	2	3	4	5	6	Totaal
Punten:	6	4	6	6	8	10	40

1. (Leerdoel 1) Gegeven het volgende LTI-systeem:



- [2 punten] Bepaal de recurrente betrekking $y[n] = \dots$ voor dit LTI-systeem.
- [2 punten] Bepaal de eerste 4 waarden van de stapresponsie $s[n]$ van dit LTI-systeem.
- [2 punten] Bepaal de eindwaarde van de stapresponsie $s[n]$ van dit LTI-systeem.

2. (Leerdoel 1) Stel dat het signaal:

$$x(t) = 3 + \frac{1}{2} \cos(500\pi t) + 3 \sin(2000\pi t)$$

gesampled moet worden.

- [2 punten] Leg uit hoe de samplefrequentie f_s gekozen moet worden om er voor te zorgen dat er geen informatieverlies van het signaal optreed en bepaal deze frequentie voor het bovenstaande signaal.
- [2 punten] Bepaal de samplefunctie $x[n]$ als functie van het samplenummer n als $x(t)$ gesampled wordt met samplefrequentie $f_s = 20$ kHz.

3. [6 punten] (Leerdoel 2) Gegeven de volgende samples van een *periodiek* signaal met een periode van 4 samples:

$$x[0] = 0$$

$$x[1] = 1$$

$$x[2] = 2$$

$$x[3] = 3$$

Bepaal de spectrale coëfficiënten a_0 , a_1 en a_2 .

4. Gegeven de recurrente betrekking van een LTI-systeem met een samplefrequentie van $f_s = 40$ kHz:

$$y[n] = 0.8y[n-2] + x[n] + x[n-2]$$

- [4 punten] (Leerdoel 2) Bepaal de overdrachtsfunctie $H(\Omega)$.
- [2 punten] (Leerdoel 3) Bereken de versterking $|H(\Omega)|$ bij de volgende frequenties: $f = 0$ kHz en 10 kHz.

5. (Leerdoel 3) Gegeven de overdrachtsfunctie $H(z)$ van een digitaal filter:

$$H(z) = \frac{z^2 + 0,8z}{z^2 - z + 0,5}$$

a. [4 punten] Bepaal de polen en nulpunten van de overdrachtsfunctie $H(z)$ en schets deze in het z -vlak.

De samplefrequentie f_s die wordt gebruikt is 40 kHz.

b. [2 punten] Bereken de versterkingsfactor $|H(z)|$ bij de volgende frequenties: $f = 0$ kHz, 10 kHz en 20 kHz.

c. [2 punten] Schets de versterkingsfactor van deze overdrachtsfunctie als functie van f voor $0 \leq f \leq 20$ kHz.

6. (Leerdoel 4) In deze opgave ga je een FIR-filter ontwerpen dat de genormeerde frequenties Ω tussen 0 rad/sample en $\frac{1}{3}\pi$ *versterkt* met een factor 3, de genormeerde frequenties tussen $\frac{2}{3}\pi$ en π *versterkt* met een factor 2 en de overige genormeerde frequenties volledig onderdrukt.

a. [2 punten] Teken de gewenste frequentierespons $|H(\Omega)|$ voor $-2\pi \leq \Omega \leq 2\pi$.

b. [2 punten] Met behulp van de Inverse Discrete-Time Fourier Transform kan de gewenste impulsresponsie $h[n]$ bepaald worden. Voor dit specifieke filter is dat een formule die bestaat uit de som van ten minste twee integralen. Geef deze formule en geef daarin duidelijk de integratiegrenzen aan. *Let op!* Het is niet de bedoeling dat je deze formule voor $h[n]$ voor $n \neq 0$ zelf verder uitwerkt.

c. [4 punten] Bepaal de waarde van $h[n]$ voor $n = 0$.

d. [2 punten] De volgende waarden van $h[n]$ voor $n \neq 0$ zijn door de docent berekend:

$$\begin{aligned} h[-4] &= -0,344; \quad h[-3] = 0; \quad h[-2] = 0,689; \quad h[-1] = 0,276; \\ h[1] &= 0,276; \quad h[2] = 0,689; \quad h[3] = 0; \quad h[4] = -0,344 \end{aligned}$$

Bepaal de waarde van de coëfficiënten b_0 tot en met b_4 van een *vierde orde* implementatie van dit filter door een rechthoekig window toe te passen op de impulsresponsie $h[n]$ en deze vervolgens causaal te maken.

Einde van dit tentamen.

Tabel 1: Eigenschappen van de Discrete Fourier-reeks.

Eigenschap of operatie	Periodiek signaal	Discrete Fourier-reeks
Transformatie	$x[n]$	$a_k = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x[n] \cdot e^{-j2\pi kn/N}$
Inverse transformatie	$x[n] = \sum_{k=0}^{N-1} a_k \cdot e^{j2\pi kn/N}$	a_k
Lineariteit	$c_1 \cdot x_1[n] + c_2 \cdot x_2[n]$	$c_1 \cdot a_{k_1} + c_2 \cdot a_{k_2}$
Tijdverschuiving	$x[n - n_0]$	$a_k \cdot e^{-j2\pi kn_0/N}$

Tabel 2: Eigenschappen van de Discrete Tijd Fourier Transformatie (DTFT).

Eigenschap of operatie	Signaal	Discrete Fourier-transformatie
Transformatie	$x[n]$	$X(\Omega) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x[n] \cdot e^{-j\Omega n}$
Inverse transformatie	$x[n] = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} X(\Omega) \cdot e^{j\Omega n} d\Omega$	$X(\Omega)$
Lineariteit	$c_1 \cdot x_1[n] + c_2 \cdot x_2[n]$	$c_1 \cdot X_1(\Omega) + c_2 \cdot X_2(\Omega)$
Tijdverschuiving	$x[n - n_0]$	$X(\Omega) \cdot e^{-j\Omega n_0}$
Convolutie	$x_1[n] * x_2[n]$	$X_1(\Omega) \cdot X_2(\Omega)$

Tabel 3: Eigenschappen van de Z-transformatie.

Eigenschap of operatie	Signaal	Z-transformatie
Transformatie	$x[n]$	$X(z) = \sum_{n=0}^{\infty} x[n] \cdot z^{-n}$
Inverse transformatie	$x[n] = \frac{1}{2\pi j} \oint X(z) \cdot z^{n-1} dz$	$X(z)$
Lineariteit	$A \cdot x_1[n] + B \cdot x_2[n]$	$A \cdot X_1(z) + B \cdot X_2(z)$
Tijdverschuiving	$x[n - n_0]$	$X(z) \cdot z^{-n_0}$
Convolutie	$x_1[n] * x_2[n]$	$X_1(z) \cdot X_2(z)$

Tabel 4: DTF-transformatieparen.

Basissignaal	$x[n]$	$X(\Omega)$
Eenheidsimpuls	$\delta[n]$	1
Vershoven eenheidsimpuls	$\delta[n - n_0]$	$e^{-j\Omega n_0}$
Eenheidstap	$u[n]$	$(1 - e^{-j\Omega})^{-1}$
Macht	$a^n u[n]$	$(1 - a \cdot e^{-j\Omega})^{-1}$

Tabel 5: Z-transformatieparen.

Basissignaal	$x[n]$	$X(z)$
Eenheidsimpuls	$\delta[n]$	1
Verschoven eenheidsimpuls	$\delta[n - n_0]$	z^{-n_0}
Eenheidstap	$u[n]$	$\frac{z}{z - 1}$
Helling	$r[n] = n \cdot u[n]$	$\frac{z}{(z - 1)^2}$
Macht	$a^n u[n]$	$\frac{z}{z - a}$
Inverse macht	$(1 - a^n)u[n]$	$\frac{z(1 - a)}{(z - a)(z - 1)}$
Cosinus	$\cos(n\Omega_0)u[n]$	$\frac{z(z - \cos \Omega_0)}{z^2 - 2z \cos \Omega_0 + 1}$
Sinus	$\sin(n\Omega_0)u[n]$	$\frac{z \sin \Omega_0}{z^2 - 2z \cos \Omega_0 + 1}$
Gedempte sinus	$a^n \sin(n\Omega_0)u[n]$	$\frac{az \sin \Omega_0}{z^2 - 2az \cos \Omega_0 + a^2}$

Tabel 6: Overige formules.

Naam	Formule
Convolutie	$y[n] = x[n] * h[n] = \sum_{k=-\infty}^{\infty} x[k] \cdot h[n - k]$
Euler	$e^{jx} = \cos(x) + j \sin(x)$
Halveringsformules	$\cos(x) = \frac{e^{jx} + e^{-jx}}{2}$ $\sin(x) = \frac{e^{jx} - e^{-jx}}{2j}$
Geometrische reeks	$\sum_{k=0}^N a^k = \frac{1 - a^{N+1}}{1 - a}$ $\lim_{N \rightarrow \infty} \sum_{k=0}^N a^k = \frac{1}{1 - a}, \text{ voor } a < 1$ $\sum_{k=k_0}^N a^k = \frac{a^{k_0} - a^{N+1}}{1 - a}$ $\lim_{N \rightarrow \infty} \sum_{k=k_0}^N a^k = \frac{a^{k_0}}{1 - a}, \text{ voor } a < 1$
Bilineaire transformatie (BLT)	$s = \frac{2}{T_s} \cdot \frac{z - 1}{z + 1}$
Impuls invariantie	$H(s) = 1 \Leftrightarrow H(z) = 1$ $H(s) = \frac{K}{s - p_1} \Leftrightarrow H(z) = \frac{K \cdot z}{z - e^{p_1 T_s}}$