

Resposta a senyals periòdics

Aplicació de les Sèries de Fourier

Orestes Mas

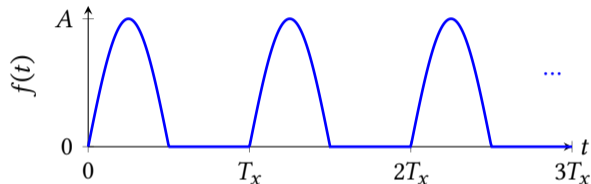
Circuits i Sistemes Lineals

25 de maig de 2021

Desenvolupament en Sèrie de Fourier

Formulació matemàtica

Funció original (periòdica)



$$\omega_x = 2\pi f_x = \frac{2\pi}{T_x}$$

Forma trigonomètrica:

$$f(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cos(n\omega_x t) + b_n \sin(n\omega_x t)$$

a_0 , a_n i b_n : Coeficients de Fourier

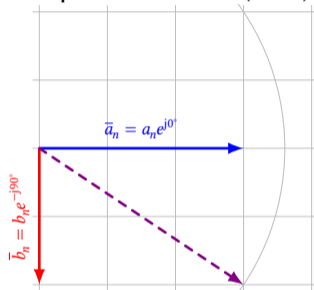
Desenvolupament en Sèrie de Fourier

Formulacions alternatives

Forma trigonomètrica:

$$f(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cos(n\omega_x t) + b_n \sin(n\omega_x t)$$

Interpretació fasorial ($t = 0$):



Desenvolupament en Sèrie de Fourier

Formulacions alternatives

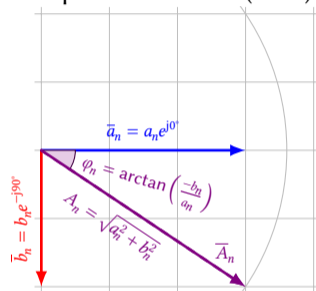
Forma trigonomètrica:

$$f(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cos(n\omega_x t) + b_n \sin(n\omega_x t)$$

Forma «circuital»:

$$f(t) = A_0 + \sum_{n=1}^{\infty} A_n \cos(n\omega_x t + \varphi_n)$$

Interpretació fasorial ($t = 0$):



$$\bar{A}_n = A_n e^{j\varphi_n}$$

$$A_n \cos(n\omega_x t + \varphi_n) = \Re\{ \bar{A}_n e^{jn\omega_x t} \}$$

Desenvolupament en Sèrie de Fourier

Formulacions alternatives

Forma trigonomètrica:

$$f(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cos(n\omega_x t) + b_n \sin(n\omega_x t)$$

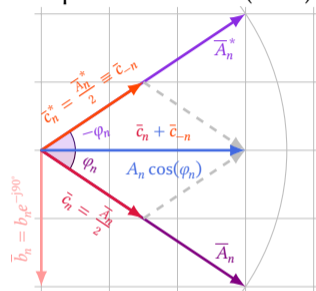
Forma «circuital»:

$$f(t) = A_0 + \sum_{n=1}^{\infty} A_n \cos(n\omega_x t + \varphi_n)$$

Forma exponencial:

$$f(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \bar{c}_n e^{jn\omega_x t}$$

Interpretació fasorial ($t = 0$):



$$\bar{c}_0 \equiv A_0 = a_0$$

$$\bar{c}_n = \frac{\bar{A}_n}{2} \Rightarrow \bar{A}_n = 2 \cdot \bar{c}_n$$

$$\bar{c}_{-n} \equiv \bar{c}_n^*$$

Càlcul dels coeficients de Fourier

Utilitzem la forma exponencial per *calcular* els coeficients de la circuital

$$f(t) = A_0 + \sum_{n=1}^{\infty} A_n \cos(n\omega_x t + \varphi_n)$$

Els coeficients es calculen amb:

$$\bar{c}_n = \frac{1}{T_x} \int_{T_x} f(t) \cdot e^{-jn\omega_x t} dt \quad \left(\bar{c}_0 = \frac{1}{T_x} \int_{T_x} f(t) dt \right)$$

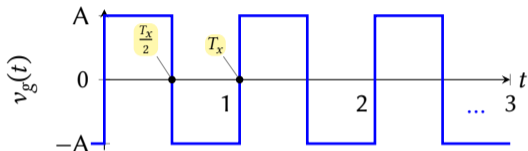
Una vegada calculats fem:

$$\begin{cases} A_0 = \bar{c}_0 = c_0 \\ A_n = 2 \cdot |\bar{c}_n| \\ \varphi_n = \angle \bar{c}_n \end{cases} \quad \text{És sempre un valor } \textit{real} \text{ (= valor mig de } f(t) \text{ en } T_x)$$

Exemple de càlcul dels coeficients (I)

Aplicació al senyal quadrat de valor mig nul

Quadrada amb $T_x = 1$ s ($\omega_x = 2\pi$ rad/s)



$$\bar{c}_0 = \int_0^1 v_g(t) dt = 0$$

$$\begin{aligned}\bar{c}_n &= \int_0^{1/2} A \cdot e^{-j2\pi n t} dt + \int_{1/2}^1 -A \cdot e^{-j2\pi n t} dt \\ &= \dots = \frac{2A}{jn\pi} \quad (\text{únicament per } n \text{ imparell})\end{aligned}$$

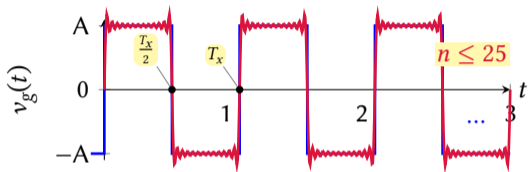
$$A_0 = 0 \quad A_n = \begin{cases} 0 & \text{per } n \text{ parell} \\ \frac{4A}{n\pi} & \text{per } n \text{ imparell} \end{cases}$$
$$\varphi_0 = 0 \quad \varphi_n = \begin{cases} 0 & \text{per } n \text{ parell} \\ -\frac{\pi}{2} & \text{per } n \text{ imparell} \end{cases}$$

$$\begin{aligned}v_g(t) &= \sum_{\substack{n=1 \\ n \text{ imparell}}}^{\infty} \frac{4A}{n\pi} \cos\left(2\pi n t - \frac{\pi}{2}\right) \\ &= \sum_{\substack{n=1 \\ n \text{ imparell}}}^{\infty} \frac{4A}{n\pi} \sin(2\pi n t)\end{aligned}$$

Exemple de càlcul dels coeficients (I)

Aplicació al senyal quadrat de valor mig nul

Quadrada amb $T_x = 1$ s ($\omega_x = 2\pi$ rad/s)



$$\bar{c}_0 = \int_0^1 v_g(t) dt = 0$$

$$\begin{aligned}\bar{c}_n &= \int_0^{1/2} A \cdot e^{-j2\pi nt} dt + \int_{1/2}^1 -A \cdot e^{-j2\pi nt} dt \\ &= \dots = \frac{2A}{jn\pi} \quad (\text{únicament per } n \text{ imparell})\end{aligned}$$

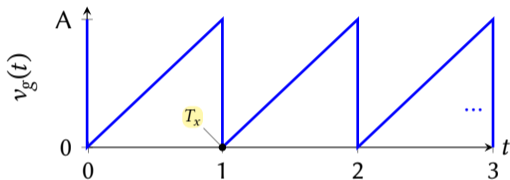
$$\begin{aligned}A_0 &= 0 & A_n &= \begin{cases} 0 & \text{per } n \text{ parell} \\ \frac{4A}{n\pi} & \text{per } n \text{ imparell} \end{cases} \\ \varphi_0 &= 0 & \varphi_n &= \begin{cases} 0 & \text{per } n \text{ parell} \\ -\frac{\pi}{2} & \text{per } n \text{ imparell} \end{cases}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}v_g(t) &= \sum_{\substack{n=1 \\ n \text{ imparell}}}^{\infty} \frac{4A}{n\pi} \cos\left(2\pi nt - \frac{\pi}{2}\right) \\ &= \sum_{\substack{n=1 \\ n \text{ imparell}}}^{\infty} \frac{4A}{n\pi} \sin(2\pi nt)\end{aligned}$$

Exemple de càlcul dels coeficients (II)

Aplicació al senyal dent de serra

Dent de serra amb $T_x = 1$ s ($\omega_x = 2\pi$ rad/s)



$$\bar{c}_0 = \int_0^1 A \cdot t \, dt = \left. \frac{1}{2} A \cdot t^2 \right|_0^1 = \frac{A}{2} \text{ (valor mig)}$$

$$\bar{c}_n = \int_0^1 A \cdot t \cdot e^{-j2\pi n t} \, dt = \dots = j \frac{A}{2n\pi}$$

$$A_0 = \frac{A}{2}$$

$$\varphi_0 = 0$$

$$A_n = \frac{A}{n\pi}$$

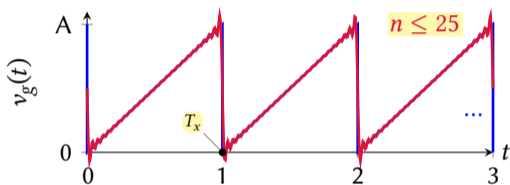
$$\varphi_n = \frac{\pi}{2}$$

$$\begin{aligned} v_g(t) &= \frac{A}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{A}{n\pi} \cos\left(2\pi n t + \frac{\pi}{2}\right) \\ &= \frac{A}{2} - \sum_{n=1}^{\infty} \frac{A}{n\pi} \sin(2\pi n t) \end{aligned}$$

Exemple de càlcul dels coeficients (II)

Aplicació al senyal dent de serra

Dent de serra amb $T_x = 1$ s ($\omega_x = 2\pi$ rad/s)



$$\bar{c}_0 = \int_0^1 A \cdot t \, dt = \frac{1}{2} A \cdot t^2 \Big|_0^1 = \frac{A}{2} \text{ (valor mig)}$$

$$\bar{c}_n = \int_0^1 A \cdot t \cdot e^{-j2\pi n t} \, dt = \dots = j \frac{A}{2n\pi}$$

$$A_0 = \frac{A}{2}$$

$$\varphi_0 = 0$$

$$A_n = \frac{A}{n\pi}$$

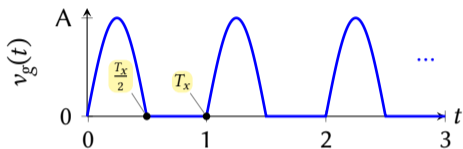
$$\varphi_n = \frac{\pi}{2}$$

$$\begin{aligned} v_g(t) &= \frac{A}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{A}{n\pi} \cos\left(2\pi n t + \frac{\pi}{2}\right) \\ &= \frac{A}{2} - \sum_{n=1}^{\infty} \frac{A}{n\pi} \sin(2\pi n t) \end{aligned}$$

Exemple de càlcul dels coeficients (III)

Aplicació al senyal sinusoidal rectificat a mitja ona

Rectificada amb $T_x = 1$ s ($\omega_x = 2\pi$ rad/s)



$$\bar{c}_0 = \int_0^1 v_g(t) dt = \dots = \frac{A}{\pi}$$

$$\bar{c}_1 = \int_0^{1/2} A \sin(2\pi t) \cdot e^{-j2\pi t} dt = \dots = \frac{A}{4j}$$

$$\bar{c}_{n \geq 2, \text{ parell}} = \int_0^{1/2} v_g(t) \cdot e^{-j2\pi n t} dt = \dots = \frac{-A}{(n^2 - 1)\pi}$$

$$A_0 = \frac{A}{\pi} \quad A_n = \begin{cases} \frac{A}{2} & \text{per } n = 1 \\ \frac{2A}{(n^2 - 1)\pi} & \text{per } n \geq 2, n \text{ parell} \\ 0 & \text{per } n \text{ imparell} \end{cases}$$

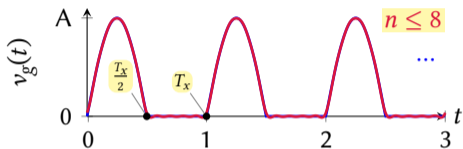
$$\varphi_0 = 0 \quad \varphi_n = \begin{cases} -\frac{\pi}{2} & \text{per } n = 1 \\ -\pi & \text{per } n \geq 2, n \text{ parell} \end{cases}$$

$$v_g(t) = \frac{A}{\pi} + \frac{A}{2} \sin(2\pi t) + \sum_{\substack{n=2 \\ n \text{ parell}}}^{\infty} \frac{2A}{(n^2 - 1)\pi} \cos(2\pi n t)$$

Exemple de càlcul dels coeficients (III)

Aplicació al senyal sinusoidal rectificat a mitja ona

Rectificada amb $T_x = 1$ s ($\omega_x = 2\pi$ rad/s)



$$\bar{c}_0 = \int_0^1 v_g(t) dt = \dots = \frac{A}{\pi}$$

$$\bar{c}_1 = \int_0^{1/2} A \sin(2\pi t) \cdot e^{-j2\pi t} dt = \dots = \frac{A}{4j}$$

$$\bar{c}_{n \geq 2, \text{ parell}} = \int_0^{1/2} v_g(t) \cdot e^{-j2\pi n t} dt = \dots = \frac{-A}{(n^2 - 1)\pi}$$

$$A_0 = \frac{A}{\pi} \quad A_n = \begin{cases} \frac{A}{2} & \text{per } n = 1 \\ \frac{2A}{(n^2 - 1)\pi} & \text{per } n \geq 2, n \text{ parell} \\ 0 & \text{per } n \text{ imparell} \end{cases}$$

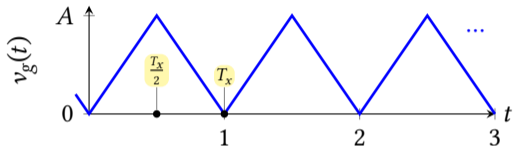
$$\varphi_0 = 0 \quad \varphi_n = \begin{cases} -\frac{\pi}{2} & \text{per } n = 1 \\ -\pi & \text{per } n \geq 2, n \text{ parell} \end{cases}$$

$$v_g(t) = \frac{A}{\pi} + \frac{A}{2} \sin(2\pi t) + \sum_{\substack{n=2 \\ n \text{ parell}}}^{\infty} \frac{2A}{(n^2 - 1)\pi} \cos(2\pi n t)$$

Exemple de càlcul dels coeficients (IV)

Aplicació al senyal triangular

Senyal triangular amb $T_x = 1$ s ($\omega_x = 2\pi$ rad/s)



$$\bar{c}_0 = \int_0^1 v_g(t) dt = \dots = \frac{A}{2}$$

$$\begin{aligned} \bar{c}_n &= \int_0^{1/2} 2At \cdot e^{-j2\pi nt} dt + \int_{1/2}^1 -2A(t-1) \cdot e^{-j2\pi nt} dt \\ &= \dots = -\frac{2A}{n^2\pi^2} \quad (\text{únicament per } n \text{ imparell}) \end{aligned}$$

$$A_0 = \frac{A}{2} \quad A_n = \begin{cases} 0 & \text{per } n \text{ parell} \\ \frac{4A}{n^2\pi^2} & \text{per } n \text{ imparell} \end{cases}$$

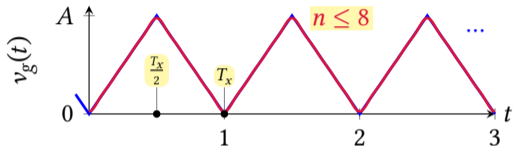
$$\varphi_0 = 0 \quad \varphi_n = \begin{cases} 0 & \text{per } n \text{ parell} \\ -\pi & \text{per } n \text{ imparell} \end{cases}$$

$$v_g(t) = \sum_{n=1}^{\infty} \underset{n \text{ imparell}}{-\frac{4A}{n^2\pi^2}} \cos(2\pi nt)$$

Exemple de càlcul dels coeficients (IV)

Aplicació al senyal triangular

Senyal triangular amb $T_x = 1$ s ($\omega_x = 2\pi$ rad/s)



$$\bar{c}_0 = \int_0^1 v_g(t) dt = \dots = \frac{A}{2}$$

$$\begin{aligned} \bar{c}_n &= \int_0^{1/2} 2At \cdot e^{-j2\pi nt} dt + \int_{1/2}^1 -2A(t-1) \cdot e^{-j2\pi nt} dt \\ &= \dots = -\frac{2A}{n^2\pi^2} \quad (\text{únicament per } n \text{ imparell}) \end{aligned}$$

$$A_0 = \frac{A}{2} \quad A_n = \begin{cases} 0 & \text{per } n \text{ parell} \\ \frac{4A}{n^2\pi^2} & \text{per } n \text{ imparell} \end{cases}$$

$$\varphi_0 = 0 \quad \varphi_n = \begin{cases} 0 & \text{per } n \text{ parell} \\ -\pi & \text{per } n \text{ imparell} \end{cases}$$

$$v_g(t) = \sum_{\substack{n=1 \\ n \text{ imparell}}}^{\infty} -\frac{4A}{n^2\pi^2} \cos(2\pi nt)$$

Representació espectral de senyals periòdics (I)

Composició freqüencial dels senyals

Partim de la forma «circuital»:

$$f(t) = A_0 + \sum_{n=1}^{\infty} \underbrace{A_n \cos(n\omega_x t + \varphi_n)}$$

Representació espectral de senyals periòdics (I)

Composició freqüencial dels senyals

Partim de la forma «circuital»:

$$f(t) = A_0 + \sum_{n=1}^{\infty} \underbrace{A_n \cos(n\omega_x t + \varphi_n)}$$

Component «DC» ($\omega = 0$)
Valor mig de $f(t)$

Representació espectral de senyals periòdics (I)

Composició freqüencial dels senyals

Partim de la forma «circuital»:

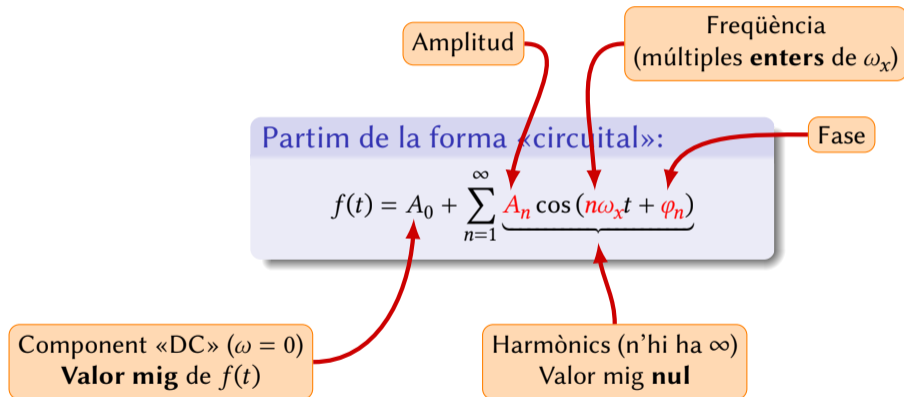
$$f(t) = A_0 + \sum_{n=1}^{\infty} \underbrace{A_n \cos(n\omega_x t + \varphi_n)}$$

Component «DC» ($\omega = 0$)
Valor mig de $f(t)$

Harmònics (n'hi ha ∞)
Valor mig nul

Representació espectral de senyals periòdics (I)

Composició freqüencial dels senyals

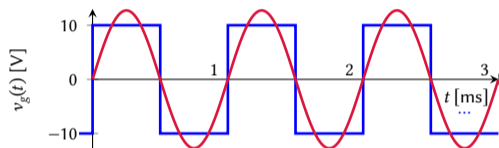




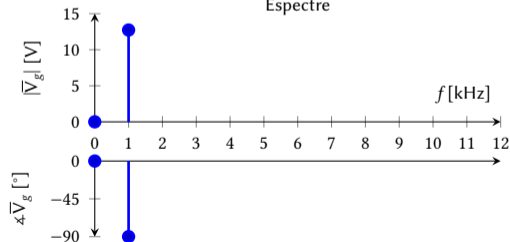
Representació espectral de senyals periòdics (II)

Composició freqüencial – Ona quadrada simètrica

Quadrada amb $T_x = 1 \text{ ms}$ ($\omega_x = 2\pi \times 1000 \text{ rad/s}$) i $A = 10 \text{ V}$



Espectre



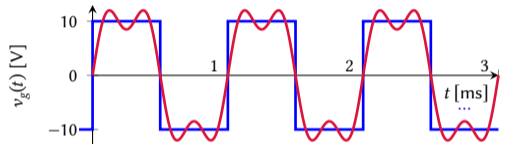
$$v_g(t) = 0 + \sum_{\substack{n=1 \\ n \text{ imparell}}}^{\infty} \frac{40}{n\pi} \cos\left(2\pi \times 1000 nt - \frac{\pi}{2}\right)$$

n	f [Hz]	A_n [V]	φ_n
0	0	0	0°
↪ 1	1000	12,73	-90°
2	2000	0	0°
3	3000	4,24	-90°
4	4000	0	0°
5	5000	2,55	-90°
6	6000	0	0°
7	7000	1,82	-90°
8	8000	0	0°
9	9000	1,41	-90°
⋮	⋮	⋮	⋮
25	25.000	0,51	-90°
⋮	⋮	⋮	⋮

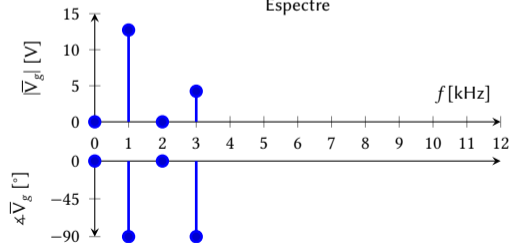
Representació espectral de senyals periòdics (II)

Composició freqüencial – Ona quadrada simètrica

Quadrada amb $T_x = 1 \text{ ms}$ ($\omega_x = 2\pi \times 1000 \text{ rad/s}$) i $A = 10 \text{ V}$



Espectre



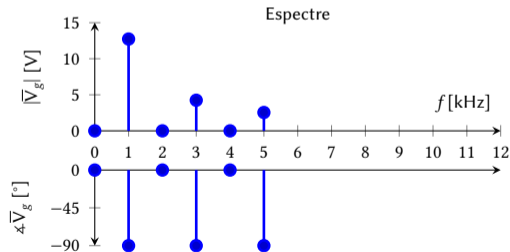
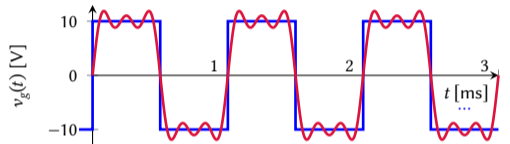
$$v_g(t) = 0 + \sum_{\substack{n=1 \\ n \text{ imparell}}}^{\infty} \frac{40}{n\pi} \cos\left(2\pi \times 1000 nt - \frac{\pi}{2}\right)$$

n	f [Hz]	A_n [V]	φ_n
0	0	0	0°
1	1000	12,73	-90°
2	2000	0	0°
↪ 3	3000	4,24	-90°
4	4000	0	0°
5	5000	2,55	-90°
6	6000	0	0°
7	7000	1,82	-90°
8	8000	0	0°
9	9000	1,41	-90°
⋮	⋮	⋮	⋮
25	25.000	0,51	-90°
⋮	⋮	⋮	⋮

Representació espectral de senyals periòdics (II)

Composició freqüencial – Ona quadrada simètrica

Quadrada amb $T_x = 1 \text{ ms}$ ($\omega_x = 2\pi \times 1000 \text{ rad/s}$) i $A = 10 \text{ V}$



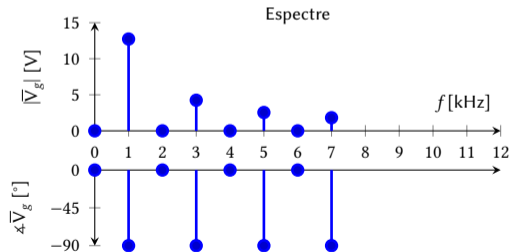
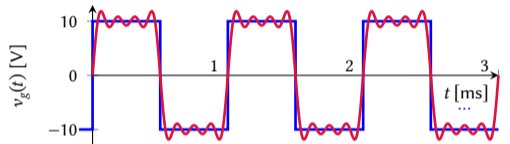
$$v_g(t) = 0 + \sum_{\substack{n=1 \\ n \text{ imparell}}}^{\infty} \frac{40}{n\pi} \cos\left(2\pi \times 1000 nt - \frac{\pi}{2}\right)$$

n	f [Hz]	A_n [V]	φ_n
0	0	0	0°
1	1000	12,73	-90°
2	2000	0	0°
3	3000	4,24	-90°
4	4000	0	0°
↪ 5	5000	2,55	-90°
6	6000	0	0°
7	7000	1,82	-90°
8	8000	0	0°
9	9000	1,41	-90°
⋮	⋮	⋮	⋮
25	25.000	0,51	-90°
⋮	⋮	⋮	⋮

Representació espectral de senyals periòdics (II)

Composició freqüencial – Ona quadrada simètrica

Quadrada amb $T_x = 1 \text{ ms}$ ($\omega_x = 2\pi \times 1000 \text{ rad/s}$) i $A = 10 \text{ V}$



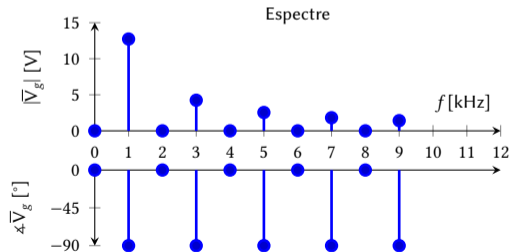
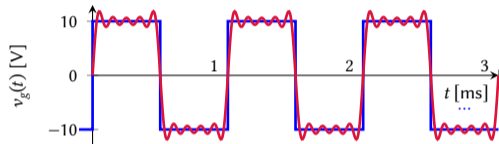
$$v_g(t) = 0 + \sum_{\substack{n=1 \\ n \text{ imparell}}}^{\infty} \frac{40}{n\pi} \cos\left(2\pi \times 1000 nt - \frac{\pi}{2}\right)$$

n	f [Hz]	A_n [V]	φ_n
0	0	0	0°
1	1000	12,73	-90°
2	2000	0	0°
3	3000	4,24	-90°
4	4000	0	0°
5	5000	2,55	-90°
6	6000	0	0°
7	7000	1,82	-90°
8	8000	0	0°
9	9000	1,41	-90°
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots
25	25.000	0,51	-90°
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots

Representació espectral de senyals periòdics (II)

Composició freqüencial – Ona quadrada simètrica

Quadrada amb $T_x = 1 \text{ ms}$ ($\omega_x = 2\pi \times 1000 \text{ rad/s}$) i $A = 10 \text{ V}$



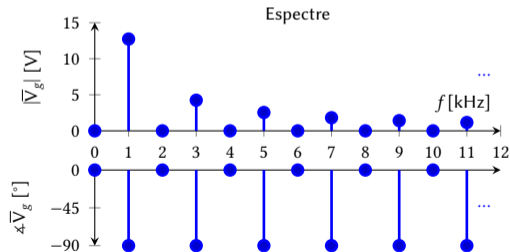
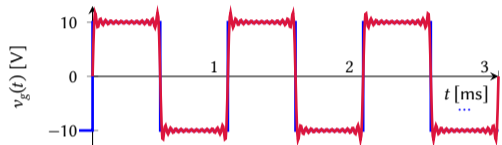
$$v_g(t) = 0 + \sum_{\substack{n=1 \\ n \text{ imparell}}}^{\infty} \frac{40}{n\pi} \cos\left(2\pi \times 1000 nt - \frac{\pi}{2}\right)$$

n	f [Hz]	A_n [V]	φ_n
0	0	0	0°
1	1000	12,73	-90°
2	2000	0	0°
3	3000	4,24	-90°
4	4000	0	0°
5	5000	2,55	-90°
6	6000	0	0°
7	7000	1,82	-90°
8	8000	0	0°
9	9000	1,41	-90°
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots
25	25.000	0,51	-90°
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots

Representació espectral de senyals periòdics (II)

Composició freqüencial – Ona quadrada simètrica

Quadrada amb $T_x = 1 \text{ ms}$ ($\omega_x = 2\pi \times 1000 \text{ rad/s}$) i $A = 10 \text{ V}$



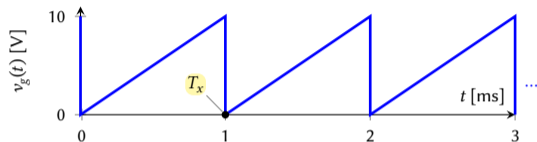
$$v_g(t) = 0 + \sum_{\substack{n=1 \\ n \text{ imparell}}}^{\infty} \frac{40}{n\pi} \cos\left(2\pi \times 1000 nt - \frac{\pi}{2}\right)$$

n	f [Hz]	A_n [V]	φ_n
0	0	0	0°
1	1000	12,73	-90°
2	2000	0	0°
3	3000	4,24	-90°
4	4000	0	0°
5	5000	2,55	-90°
6	6000	0	0°
7	7000	1,82	-90°
8	8000	0	0°
9	9000	1,41	-90°
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots
\Rightarrow 25	25.000	0,51	-90°
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots

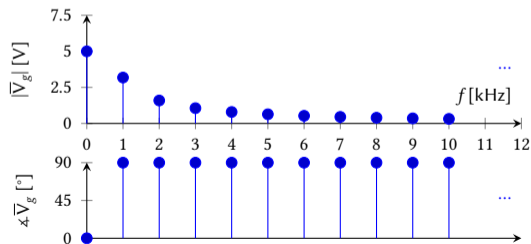
Representació espectral de senyals periòdics (III)

Composició freqüencial – Ona dent de serra

Dent de serra amb $T_x = 1$ ms ($\omega_x = 2\pi \times 1000$ rad/s) i $A = 10$ V



Espectre



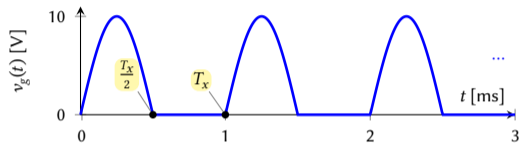
$$v_g(t) = 5 + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{10}{n\pi} \cos\left(2\pi \times 1000 nt + \frac{\pi}{2}\right)$$

n	f [Hz]	A_n [V]	φ_n
0	0	5	0°
1	1000	3,18	90°
2	2000	1,59	90°
3	3000	1,06	90°
4	4000	0,79	90°
5	5000	0,636	90°
6	6000	0,53	90°
7	7000	0,45	90°
8	8000	0,397	90°
...

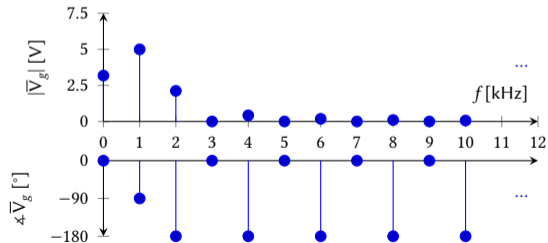
Representació espectral de senyals periòdics (IV)

Composició freqüencial – Ona rectificada $\frac{1}{2}$

Rectificada amb $T_x = 1$ ms ($\omega_x = 2\pi \times 1000$ rad/s) i $A = 10$ V



Espectre

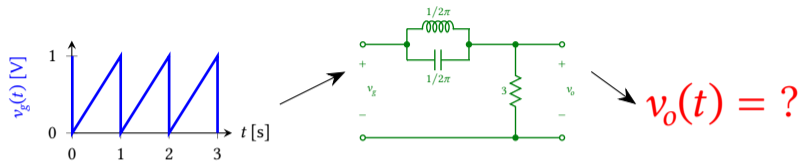


$$v_g(t) = \frac{10}{\pi} + 5 \cos\left(2\pi \times 1000 t - \frac{\pi}{2}\right) + \sum_{\substack{n=2 \\ n \text{ parell}}}^{\infty} \frac{20}{\pi(n^2 - 1)} \cos(2\pi \times 1000 n t - \pi)$$

n	f [Hz]	A_n [V]	φ_n
0	0	3,18	0°
1	1000	5	-90°
2	2000	2,122	-180°
3	3000	0	0°
4	4000	0,424	-180°
5	5000	0	0°
6	6000	0,1819	-180°
7	7000	0	0°
8	8000	0,1010	-180°
\vdots			

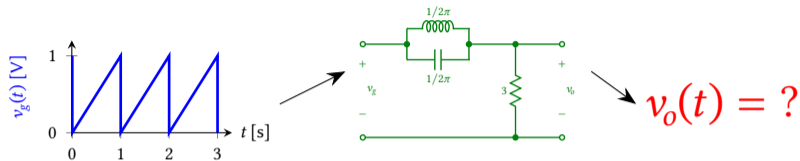
Càlcul de la resposta dels circuits a excitacions periòdiques

Interpretació freqüencial



Càlcul de la resposta dels circuits a excitacions periòdiques

Interpretació freqüencial

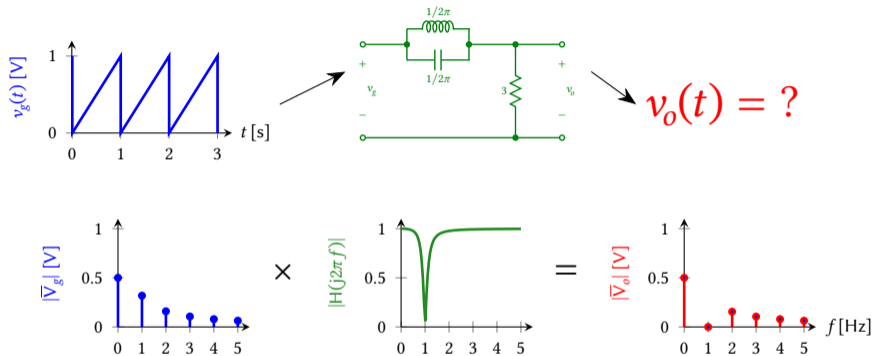


Raonar via Transformada de Laplace és mala idea:

- Les transformades de Laplace de senyals periòdics no sinusoidals són **molt complicades** (infinitos harmònics \rightarrow infinites sinusoides \rightarrow infinitos pols)
- Laplace obté també el transitori, i no hi estem interessats
- El plantejament freqüencial és molt més simple i directe

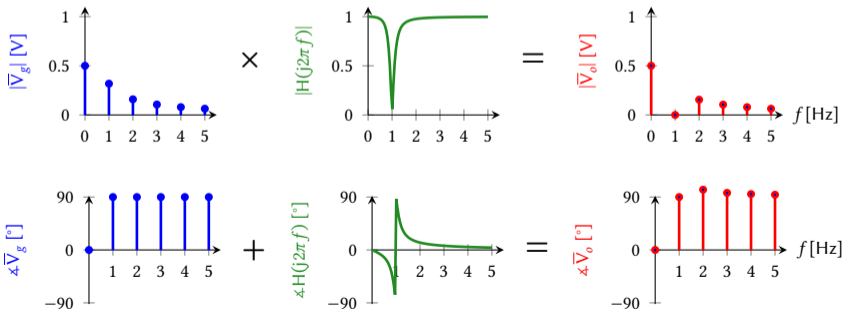
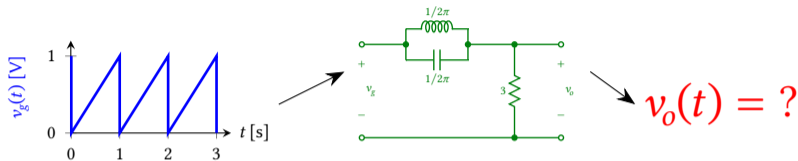
Càlcul de la resposta dels circuits a excitacions periòdiques

Interpretació freqüencial



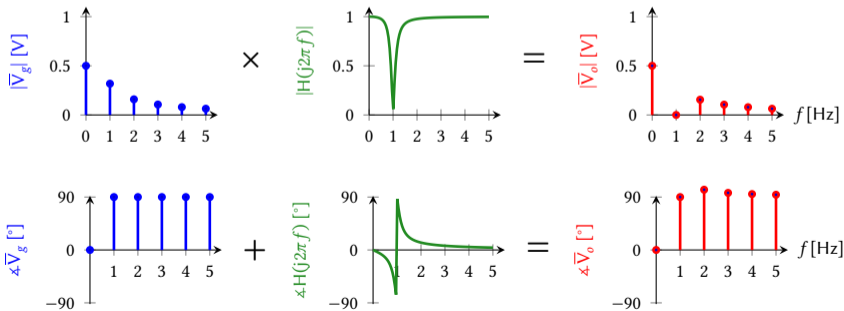
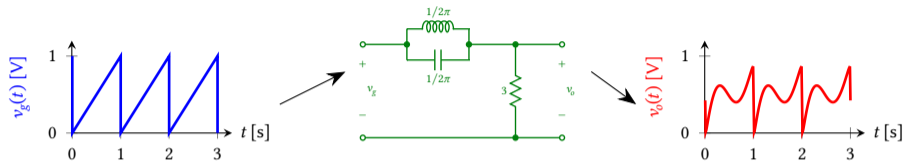
Càlcul de la resposta dels circuits a excitacions periòdiques

Interpretació freqüencial



Càlcul de la resposta dels circuits a excitacions periòdiques

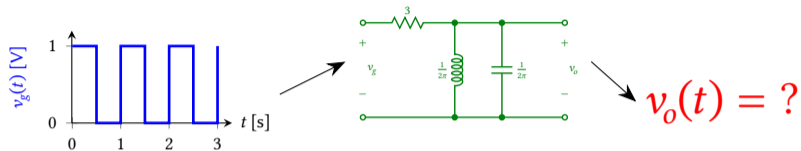
Interpretació freqüencial



Exemples d'aplicacions de l'anàlisi de Fourier

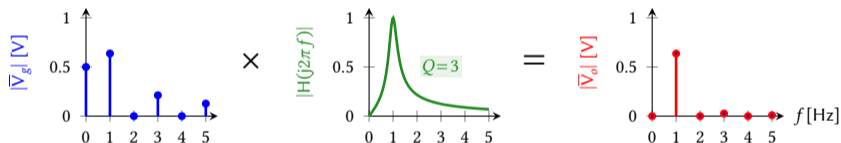
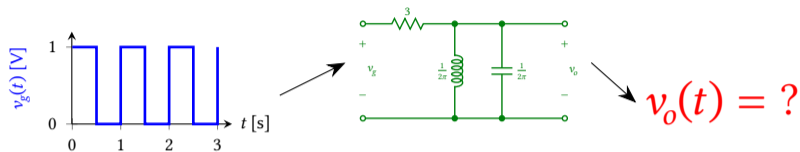
Aplicació 1: Selecció d'harmònics per filtrat passabanda

Selecció del **primer** harmònic



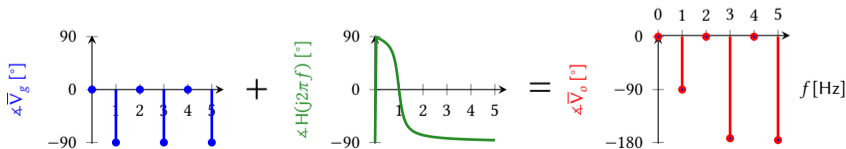
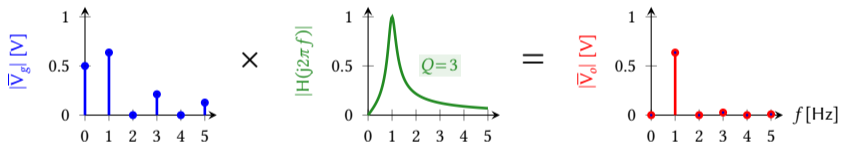
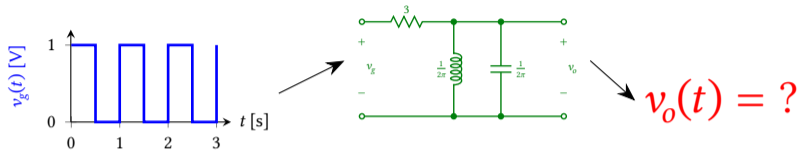
Aplicació 1: Selecció d'harmònics per filtrat passabanda

Selecció del **primer** harmònic



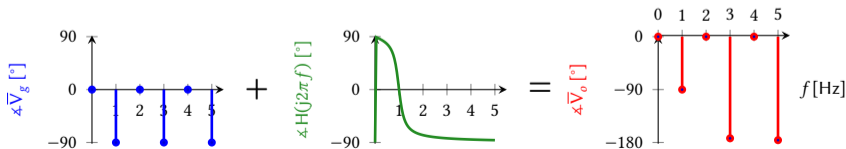
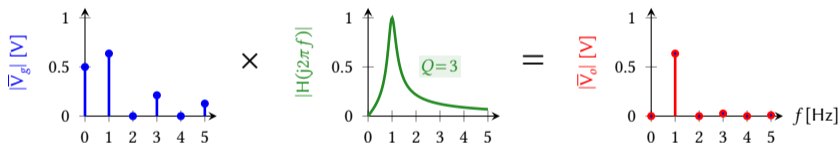
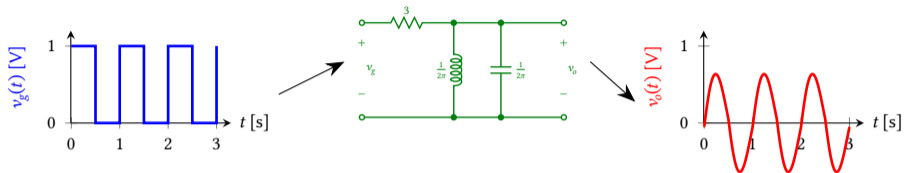
Aplicació 1: Selecció d'harmònics per filtrat passabanda

Selecció del **primer** harmònic



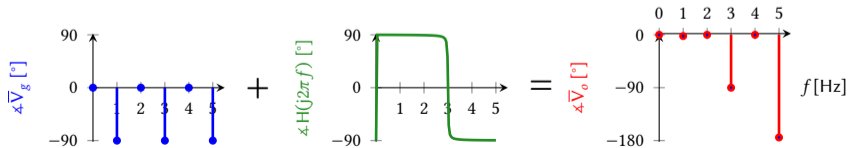
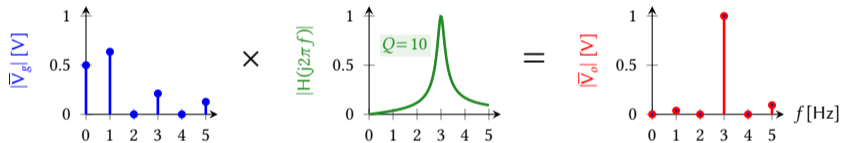
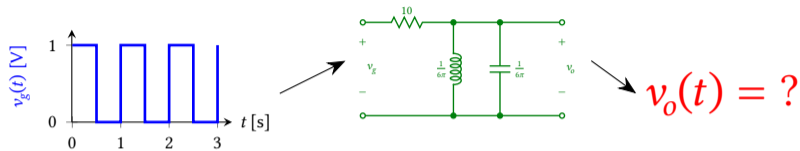
Aplicació 1: Selecció d'harmònics per filtrat passabanda

Selecció del **primer** harmònic



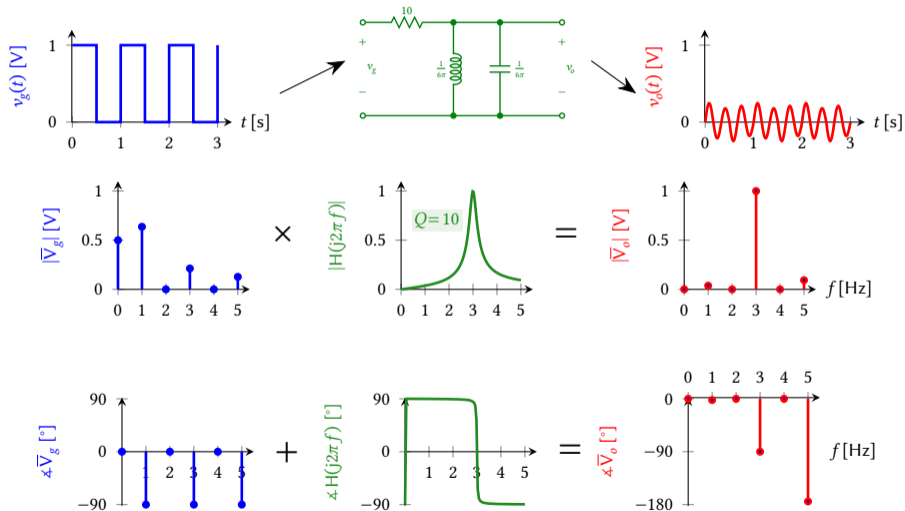
Aplicació 1: Selecció d'harmònics per filtrat passabanda

Selecció del **tercer** harmònic



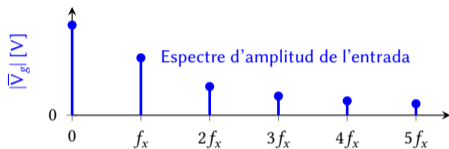
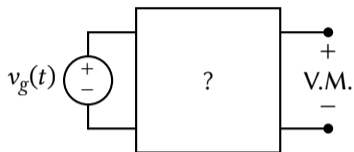
Aplicació 1: Selecció d'harmònics per filtrat passabanda

Selecció del **tercer** harmònic



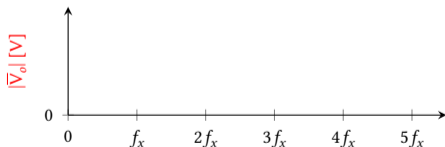
Aplicació 2: Obtenció del **valor mig** d'un senyal periòdic

Noteu que el raonament NO depèn del senyal concret



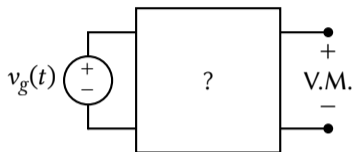
Recordem:

- El **valor mig** d'un senyal $f(t)$ és $\frac{1}{T} \int_T f(t) dt$, que es correspon amb l'harmònic A_0 .
- L'harmònic A_0 està ubicat a la freqüència $f = 0$ (DC).



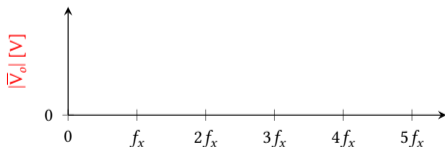
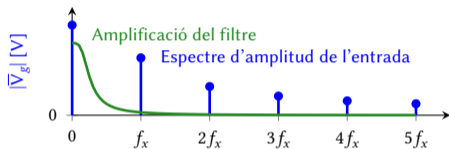
Aplicació 2: Obtenció del **valor mig** d'un senyal periòdic

Noteu que el raonament NO depèn del senyal concret



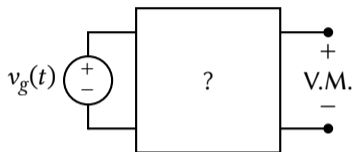
Recordem:

- El **valor mig** d'un senyal $f(t)$ és $\frac{1}{T} \int_T f(t) dt$, que es correspon amb l'harmònic A_0 .
- L'harmònic A_0 està ubicat a la freqüència $f = 0$ (DC).



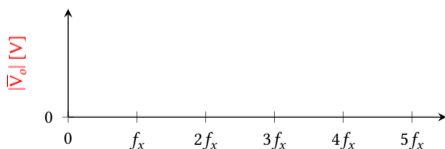
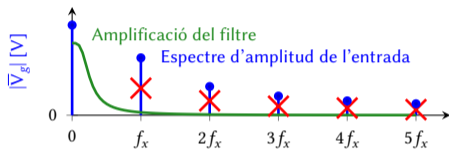
Aplicació 2: Obtenció del **valor mig** d'un senyal periòdic

Noteu que el raonament NO depèn del senyal concret



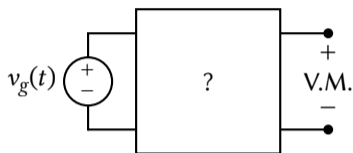
Recordem:

- El **valor mig** d'un senyal $f(t)$ és $\frac{1}{T} \int_T f(t) dt$, que es correspon amb l'harmònic A_0 .
- L'harmònic A_0 està ubicat a la freqüència $f = 0$ (DC).



Aplicació 2: Obtenció del **valor mig** d'un senyal periòdic

Noteu que el raonament NO depèn del senyal concret



Recordem:

- El **valor mig** d'un senyal $f(t)$ és $\frac{1}{T} \int_T f(t) dt$, que es correspon amb l'harmònic A_0 .
- L'harmònic A_0 està ubicat a la freqüència $f = 0$ (DC).

