

**XARXES (GEINF i GDDV)      CURS 2017/18**  
**Primer examen parcial de teoria i problemes (20 de novembre de 2017)**

Nom: \_\_\_\_\_

DNI: \_\_\_\_\_

La duració de l'examen és de 2 hores.

No es poden utilitzar apunts.

**Test (5 punts)**

**OPCIÓ A**

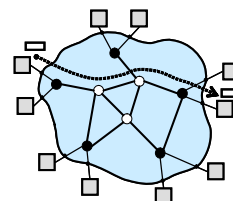
Una resposta correcta suma 0.500 punts, una incorrecta resta 0.125 punts, i una no contestada suma zero. Fes servir la taula que tens a sota (les respostes que no estiguin a la taula no es comptaran).

Respostes

|     |   |   |   |   |
|-----|---|---|---|---|
| 1)  | a | b | c | d |
| 2)  | a | b | c | d |
| 3)  | a | b | c | d |
| 4)  | a | b | c | d |
| 5)  | a | b | c | d |
| 6)  | a | b | c | d |
| 7)  | a | b | c | d |
| 8)  | a | b | c | d |
| 9)  | a | b | c | d |
| 10) | a | b | c | d |

- 1) A través de la xarxa de commutació de paquets de la figura es transmet un flux de paquets que segueix el camí indicat (5 enllaços). Cadascun dels enllaços d'aquesta xarxa té una velocitat de transmissió  $r_b$  de 100 Mbps, una longitud de 10 km i una velocitat de propagació  $v_p$  de  $2.5 \cdot 10^8$  m/s. La longitud dels paquets és 1000 bytes. Quin és el retard de paquet més petit possible (és a dir, quan el paquet troba les cues buides)?

- ☒ a. 0.60 ms.  
b. 0.25 ms.  
c. 0.48 ms.  
d. 0.42 ms.



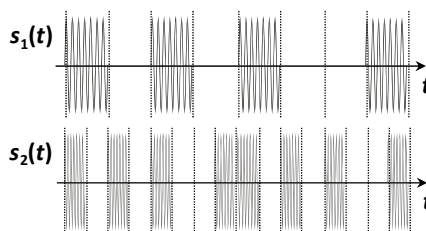
- 2) Una aplicació de correu electrònic està estructurada en 3 capes, la capa d'Aplicació de Correu Electrònic (ACE), la de Transport Fiable (TF) i la de Xarxa (X) no fiable. Quina és FALSA?

- ☒ a. El camp "informació" d'un paquet d'ACE conté un paquet de TF, i alhora el camp "informació" d'un paquet de TF conté un paquet de X.  
b. El servei de la capa X és portar paquets entre estacions, el de TF és portar paquets entre "processos d'aplicació" (i de manera fiable) i el d'ACE enviar i rebre correus electrònics.  
c. Els camps "adreces origen i destí" d'un paquet de X identifiquen les entitats de TF origen i destí, i juntament amb els camps "adreces origen i destí" d'un paquet de TF identifiquen les entitats d'ACE origen i destí.  
d. Els serveis de la capa d'ACE es construeixen d'acord amb el protocol d'ACE i fent servir els serveis de la capa de TF (a través de la interfície de la capa de TF).

- 3) Quant al mecanisme de la finestra lliscant de longitud  $k$ , quina és FALSA?

- a. Si el destí no processa els missatges prou ràpidament o l'usuari (capa superior) no els llegeix, el *buffer* del destí s'emplena, i els següents missatges que arriben es perden; per arreglar-ho cal "frenar" a la font, cal un mecanisme de control de flux com p.e., el de la finestra lliscant.  
b. En ARQ continu la finestra lliscant pot fer que l'enviament no sigui continu (si  $k \cdot T_{ix} < t_{AT}$ , on  $t_{AT}$  és el temps d'anada i tornada, i  $T_{ix}$  és el temps de transmissió d'un paquet d'informació).  
c. En ARQ de parada i espera es pot dir que el valor de  $k$  és 1.  
☒ d. En ARQ continu el destí envia a la font un missatge que conté el valor de  $k$  que la font ha de fer servir, un valor gran si el *buffer* del destí està força ple o un valor petit si està força buit.

- 4) El camp de control d'error d'un protocol és 1 bit de paritat (parella). Quina és FALSA?
- No es pot corregir cap situació d'error d'1 bit, 2 bits, 3 bits...  $n$  bits ( $n$  qualsevol).
  - Si es rep el missatge 1011001 (el darrer bit és el de paritat), es decidirà que és correcte.
  - Es poden detectar totes les situacions d'error d'1 bit, 3 bits, 5 bits...  $n$  bits ( $n$  imparell).
  - ☒ Es poden detectar totes les situacions d'error de 2 bits, 4 bits, 6 bits...  $n$  bits ( $n$  parell).
- 5) Quant al concepte d'"arquitectura (o pila) de protocols" d'una aplicació en xarxa (o aplicació distribuïda), quina és FALSA?
- L'arquitectura de protocols és el conjunt de serveis de cada capa i els protocols de cada capa.
  - ☒ Les interfícies de cada capa formen part de l'arquitectura de protocols.
  - Dos processos es poden comunicar si tenen la mateixa arquitectura de protocols.
  - L'arquitectura de protocols que es fa servir a Internet s'anomena "TCP/IP".
- 6) Quant al soroll, quina és CERTA?
- El filtre del receptor pot eliminar tot el soroll afegit al senyal original durant la transmissió.
  - Com major és la relació de senyal a soroll rebuda  $(S/N)_R$ , pitjor és la qualitat de la transmissió.
  - ☒ Si el filtre del receptor es dissenya bé, com major és l'amplada de banda del senyal transmès, major és la potència del soroll rebut.
  - La relació de senyal a soroll rebuda  $(S/N)_R$  es dona en dBm o dBW.
- 7) Un senyal PSK-4 ( $E_{FD} = 2$ ) a la banda de 900 MHz transporta música d'alta qualitat d'amplada de banda  $B_m$  de 18 kHz. S'utilitza digitalització PCM, amb mostreig a la freqüència de Nyquist (la mínima) i 256 nivells de quantificació. Quina és CERTA?
- La velocitat de senyalització  $r_s$  és 576 kbaud.
  - Cada mostra es codifica amb 256 bits.
  - La velocitat de transmissió  $r_b$  és 144 kbps.
  - ☒ L'amplada de banda de transmissió  $B_T$  és 144 kHz.
- 8) Si els senyals ASK-2 de la figura,  $s_1(t)$  i  $s_2(t)$ , tenen velocitats de transmissió  $r_{b1}$  i  $r_{b2}$ , i amplitudes de banda  $B_{T1}$  i  $B_{T2}$ , respectivament, quina és CERTA?
- $r_{b1}$  és major que  $r_{b2}$  i  $B_{T1}$  és major que  $B_{T2}$ .
  - ☒  $r_{b1}$  és menor que  $r_{b2}$  i  $B_{T1}$  és menor que  $B_{T2}$ .
  - $r_{b1}$  és menor que  $r_{b2}$  i  $B_{T1}$  és major que  $B_{T2}$ .
  - $r_{b1}$  és major que  $r_{b2}$  i  $B_{T1}$  és menor que  $B_{T2}$ .
- 9) Es volen transmetre 3 senyals FSK-4, cadascun amb una amplada de banda de 100 MHz i una freqüència portadora  $f_{p1}$ ,  $f_{p2}$  i  $f_{p3}$ , respectivament, a través d'un cable amb una amplada de banda de 500 a 800 MHz, fent servir la "divisió en freqüència". Quina és CERTA?
- Si  $f_{p1} = 550$  MHz,  $f_{p2} = 600$  MHz, i  $f_{p3} = 650$  MHz, la transmissió és possible.
  - ☒ Si  $f_{p1} = 550$  MHz,  $f_{p2} = 650$  MHz, i  $f_{p3} = 750$  MHz, la transmissió és possible.
  - Si  $f_{p1} = 700$  MHz,  $f_{p2} = 800$  MHz, i  $f_{p3} = 900$  MHz, la transmissió és possible.
  - No hi ha cap combinació de valors de  $f_{p1}$ ,  $f_{p2}$  i  $f_{p3}$ , per fer possible la transmissió.
- 10) Si un senyal format per una única cosinusoide  $s_{in}(t) = 2\cos(2\pi 20t + \pi/3)$  [ms] passa a través d'un amplificador, i a la sortida el senyal és  $s_{out}(t) = 4\cos(2\pi 20t + \pi/6)$ , la resposta freqüencial  $H_a(f)$  (d'amplitud  $|H_a(f)|$  i de fase  $\arg H_a(f)$ ) de l'amplificador a 20 kHz és
- $|H_a(20)| = 0.5$ ,  $\arg H_a(20) = -\pi/6$ .
  - $|H_a(20)| = 2$ ,  $\arg H_a(20) = \pi/6$ .
  - ☒  $|H_a(20)| = 2$ ,  $\arg H_a(20) = -\pi/6$ .
  - $|H_a(20)| = 0.5$ ,  $\arg H_a(20) = \pi/6$ .



### Exercicis (5 punts)

Cada exercici son 2.5 punts.

1.- Un protocol de la capa de transport orientat a la connexió utilitza el mecanisme de control d'errors ARQ continu *go-back-N* i el mecanisme de control de flux de la finestra lliscant de longitud  $k$ . Els noms i significats dels seus missatges són els següents:

PIC: petició d'inici de connexió.

PFC: petició de fi de connexió.

RP: resposta (positiva) de les peticions anteriors.

I(N): missatge d'informació número N.

ACK(N): confirmació positiva del missatge I(N) i de tots els anteriors.

Els números de seqüència no estan limitats i els missatges es numeren consecutivament (0,1,2, etc.). No hi ha confirmacions negatives. S'envia una confirmació positiva sempre que es rep correctament un missatge I. En un moment determinat una entitat de protocol A estableix la connexió amb una altra entitat B per enviar-li un fitxer, i després allibera la connexió. El fitxer es fragmenta en 9 missatges I. Tots els missatges intercanviats arriben bé, excepte el cinquè missatge I(4) que no arriba bé (es perd o es detecta error) el primer cop. La longitud de la finestra lliscant  $k$  és 6. Es demana el següent:

- La seqüència temporal de missatges intercanviats per les entitats A i B (poseu-hi comentaris raonant totes les accions que fan les dues entitats A i B).
- La velocitat efectiva de transmissió del fitxer.

NOTA:

- La velocitat de transmissió de l'enllaç de sortida de la font (A) és 10 Mbps.
- Tots els missatges d'informació I són de 1500 bytes i cadascun conté 1475 bytes d'informació.
- El valor del *timeout* és 8.4 ms.
- Els retards dels paquets (tant d'anada com de tornada) són constants i tenen els valors següents: el retard d'un missatge d'informació I  $D_I$  és 3.6 ms, i el retard dels altres missatges  $D_{altres}$  és 2.4 ms.
- El temps de processament de les estacions és zero.

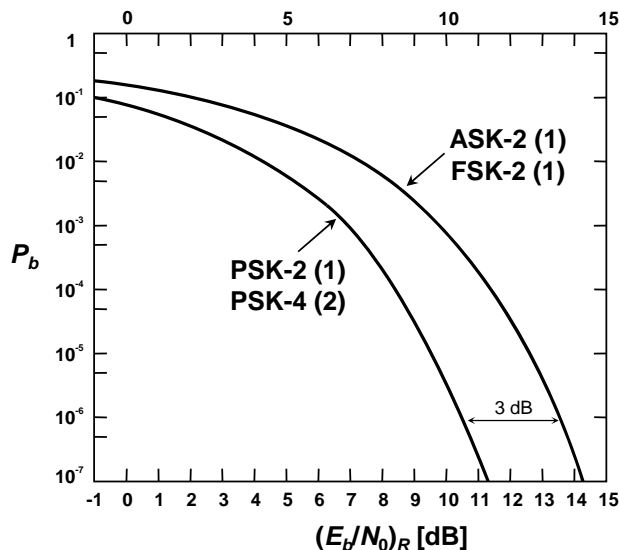
2.- Dos *routers* d'una xarxa estan units a través d'un enllaç (ràdio) de 100 Mbps. El transmissor està format per un codificador, un modulador ASK-2 a la freqüència de 2 GHz i un amplificador amb un guany de 30 dB, que dona a la seva sortida una potència de senyal transmès de 0 dBm. L'enllaç té una longitud de 100 km, una atenuació de 0.7 dB/km i una temperatura de soroll de 3000 K. El receptor està format per un filtre, un amplificador amb un guany de 40 dB, un desmodulador i un descodificador. El senyal no pateix distorsió.

Es demana el següent:

- Dibuixeu el senyal transmès  $s_T(t)$  quan transporta un paquet amb 10000111 (indiqueu el temps entre símbols  $T_s$ , la velocitat de senyalització  $r_s$ , etc.), i dibuixeu el seu espectre  $S_T(f)$  (indiqueu l'amplada de banda  $B_T$ , la posició, etc.).
- Dibuixeu una possible resposta freqüencial del cable  $H_c(f)$ , la resposta freqüencial dels dos amplificadors  $H_{aT}(f)$  i  $H_{aR}(f)$ , i la del filtre  $H_f(f)$  (indiqueu les amplades de banda  $B_c$ ,  $B_{aT}$ ,  $B_{aR}$  i  $B_f$ , la posició, etc.).
- Deduïu l'expressió de la relació de senyal a soroll rebuda  $(S/N)_R$  en funció de la potència del senyal transmès  $S_T$ , la temperatura de soroll  $T_n$ , l'amplada de banda del senyal  $B_T$  i l'atenuació del cable  $L_c$ .
- Calculeu la probabilitat d'error de bit  $P_b$ .

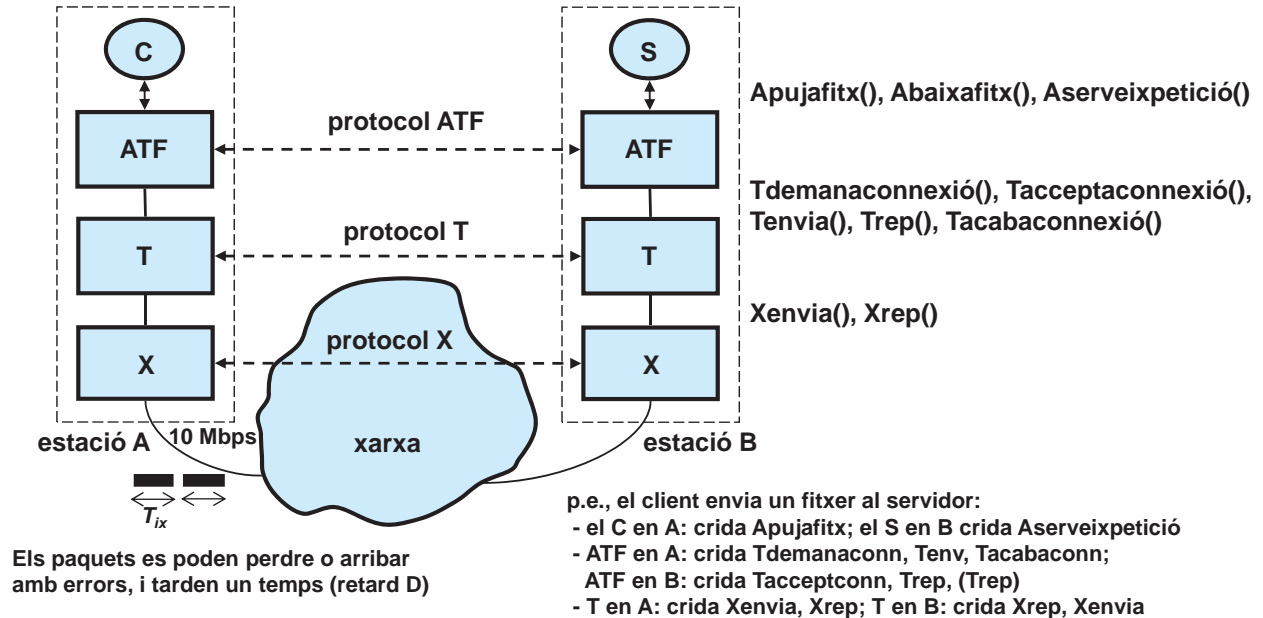
NOTA:

- La constant de *Boltzman* és  $K = 1.38 \cdot 10^{-23}$  J/K.
- L'eficiència espectral  $E_{fD}$  d'un senyal ASK-2 és 1.
- Feu servir els gràfics  $P_b - (S/N)_R$  següents, on  $(S/N)_R \text{ [dB]} = (E_b/N_0)_R \text{ [dB]} + 10 \log_{10} E_{fD}$ :



# Exercici 1

- Es tracta d'una aplicació de transferència de fitxers, amb arquitectura (~ TCP/IP):
  - Aplicació de Transferència de Fitxers (ATF): transfereix fitxers, C-S; 2 missatges
  - Transport (T): permet que múltiples processos d'aplicació s'enviïn i rebin missatges; aquí és orientada a la connexió i fiable; missatges info, confirmacions, per connexions
  - Xarxa (X): envia i rep missatges d'informació entre estacions; aquí és no orientada a la connexió i no fiable; 1 únic missatge



# Exercici 1

- El protocol T és orientat a la connexió i utilitza ARQ amb ACKs (i no NAKs), per corregir els paquets perduts i erronis de la xarxa:
  - els ACKs són acumulatius!
  - les causes de retransmissió són expiracions de *timeout* però no NAKs!
  - els #seqüència no estan limitats

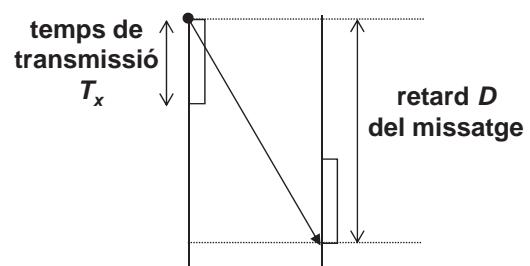
- El fitxer es fragmenta en 9 missatges-I idèntics:



Els altres missatges en general són molt més curts

- Els temps els posem en funció del temps de transmissió  $T_{ix}$  d'un missatge-I:

- $T_{ix} = 1500 \cdot 8 / (10 \cdot 10^6) = 1.2 \cdot 10^{-3} \text{ s} = 1.2 \text{ ms}$
- $D_I = 3.6 \text{ ms} (= 3 \cdot T_{ix})$
- $D_{altres} = 2.4 \text{ ms} (= 2 \cdot T_{ix})$
- $t_{AT} = D_I + D_{ack} = 3.6 + 2.4 = 6 \text{ ms} (= 5 \cdot T_{ix})$
- $timeout = 8.4 \text{ ms} (= 7 \cdot T_{ix})$



2 divisions =  $T_{ix}$  (=1.2 ms)

Indica que la finestra és plena, és a dir, que hi ha  $k = 6$  missatges  $I(N)$  pendents de confirmar

Aquí la finestra no para mai l'enviament; p.e., quan s'ha acabat d'enviar  $I(4)$  i alhora arriba  $ACK(0)$ , queden  $I(1)$ ,  $I(2)$ ,  $I(3)$  i  $I(4)$  pendents de confirmar (4<6); quan s'ha acabat d'enviar  $I(7)$  i alhora arriba  $ACK(3)$  queden  $I(4)$ ,  $I(5)$ ,  $I(6)$  i  $I(7)$  pendents

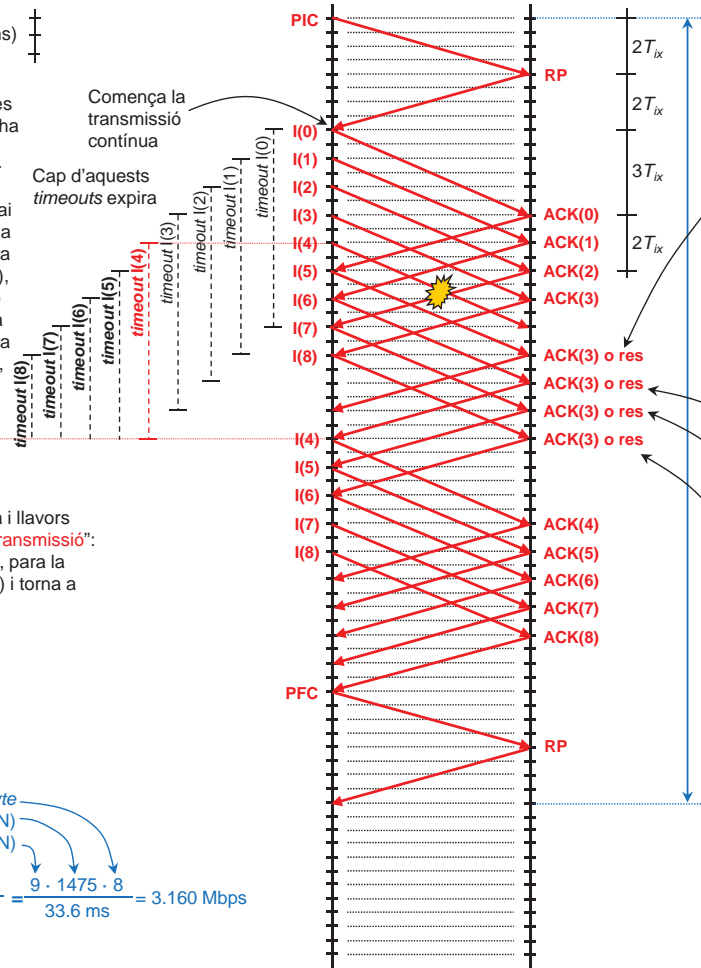
El **timeout** d' $I(4)$  expira i llavors comença "GBN-4 en transmissió": ho reinicia tot (finestra, para la resta de **timeouts**, etc.) i torna a començar des d' $I(4)$

8 bits per byte  
bytes d'info a cada  $I(N)$   
nombre de  $I(N)$

$$v_{er} = \frac{\text{bits del fitxer}}{\text{temps total}} = \frac{9 \cdot 1475 \cdot 8}{33.6 \text{ ms}} = 3.160 \text{ Mbps}$$

Comença la transmissió contínua

Cap d'aquests **timeouts** expira



Go-back-N  
finestra  $k = 6$

$I(4)$  no arriba bé, és a dir, o bé es perd o bé arriba erroni

Espera  $I(4)$  i ...

(si  $I(4)$  perdut) rep bé  $I(5)$ ...

(si  $I(4)$  erroni) rep un missatge erroni que descarta, i després rep bé  $I(5)$

En resum, en els dos casos, **espera  $I(4)$  i rep bé  $I(5)$** . Llavors comença "GBN-4 en recepció": no hi ha NAKs, envia un  $ACK(3)$  duplicat (els  $ACK$  són "acumulatius") o bé no envia res, i descarta l' $I(5)$  que s'ha rebut bé... Farà això fins que rebí bé  $I(4)$

Li falta  $I(4)$ , descarta  $I(6)$ , i envia un  $ACK(3)$  duplicat o bé res

Li falta  $I(4)$ , descarta  $I(7)$ , i envia un  $ACK(3)$  duplicat o bé res

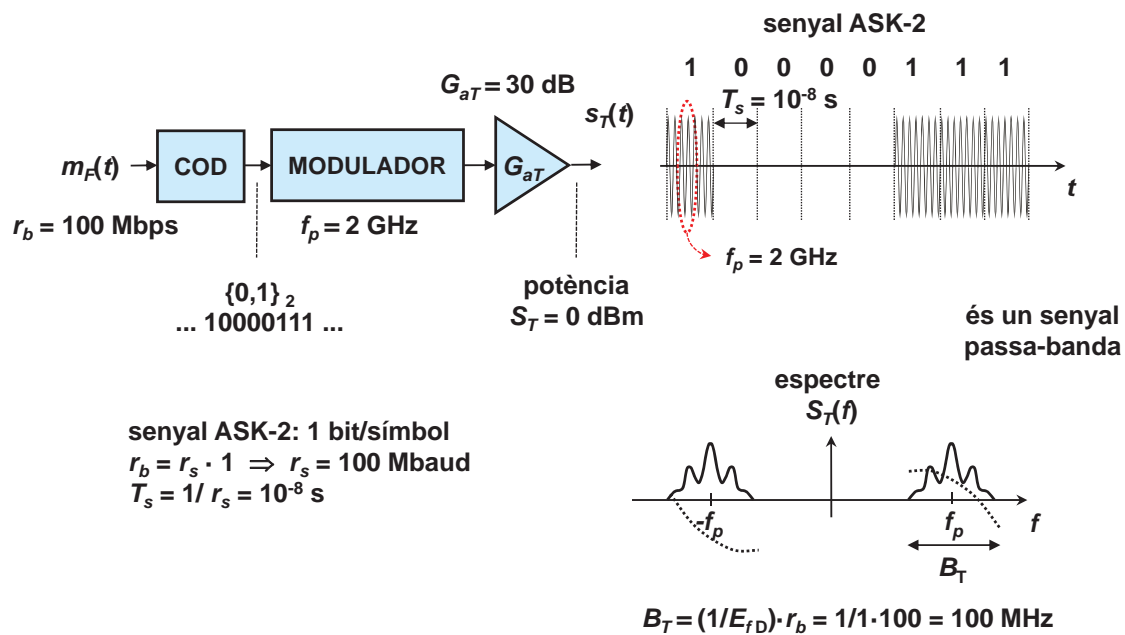
Li falta  $I(4)$ , descarta  $I(8)$ , i envia un  $ACK(3)$  duplicat o bé res

temps total =  $28 \cdot T_{ix} = 33.6 \text{ ms}$

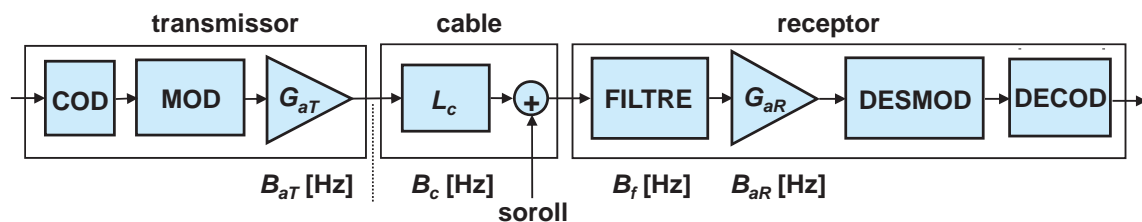
Missatges  $I(N)$  rebuts:

0,1,2,3,ERR/res,5,6,7,8,4,5,6,7,8

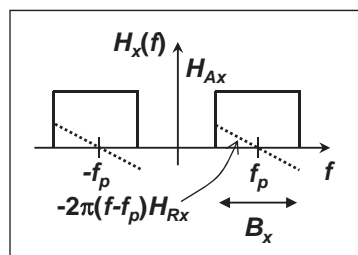
## Exercici 2: senyal i espectre



## Exercici 2: respostes freqüencials



Sigui  $H_x(f)$  una resposta freqüencial. Si no causa distorsió, la resposta freqüencial d'amplitud  $|H_x(f)|$  és plana i la resposta freqüencial de fase  $\arg H_x(f)$  és lineal en la banda del senyal  $B_x$ :



$H_x(f)$  passa-banda:

$f_p = 2 \text{ GHz}$ , al mig de  $B_x$

$B_x : B_c \geq B_T$   $B_{aT} = B_{aR} = B_f = B_T$  ( $B_T = 100 \text{ MHz}$ )

$H_{Rx}$ : un retard (pendent) determinat

$H_{Ax}$ :  $<1$  línia,  $=1$  filtre,  $>1$  amplificadors

senyal  $s_{out}(t) = H_{Ax} s_{in}(t - H_{Rx})$

potència  $S_{out} = \overline{s_{out}(t)^2} = H_{Ax}^2 \overline{s_{in}(t - H_{Rx})^2} = H_{Ax}^2 S_{in}$

$L_c = 70 \text{ dB}^*$  lineal  $L_c = 10^{70/10} = 10^7$  ( $L_c = 1/H_{Ac}^2$ )  $H_{Ac} = 3.16 \cdot 10^{-4}$

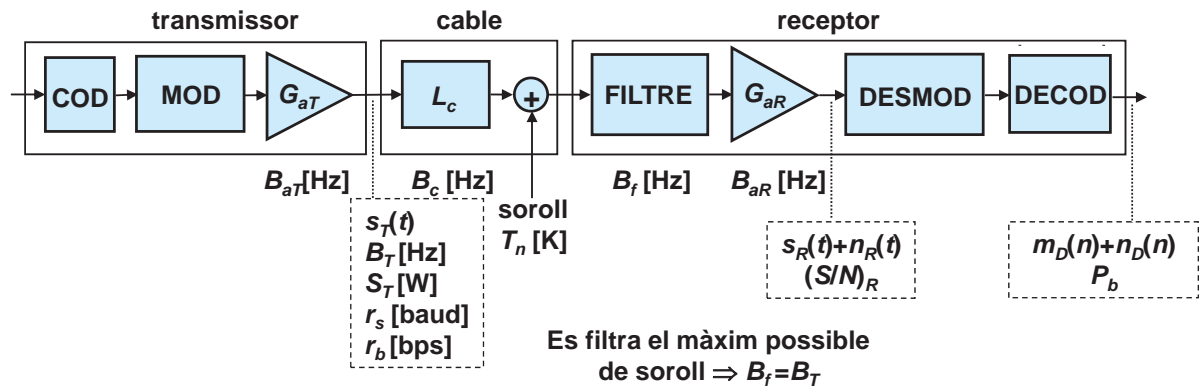
$G_{aT} = 30 \text{ dB}$  lineal  $G_{aT} = 10^{30/10} = 10^3$  ( $G_{aT} = H_{At}^2$ )  $H_{At} = 31.62$

$G_{aR} = 40 \text{ dB}$  lineal  $G_{aR} = 10^{40/10} = 10^4$  ( $G_{aR} = H_{Ar}^2$ )  $H_{Ar} = 100$

Filtre  $H_{Af} = 1$

\*  $L_c$  del cable (100 km, 0.7 dB/km) =  $100 \cdot 0.7 = 70 \text{ dB}$

## Exercici 2: la $(S/N)_R$



$$\left. \begin{aligned} S_R &= \overline{s_R^2(t)} = \overline{s_T^2(t - H_R)} \frac{1}{L_c} G_{aR} = S_T [W] \frac{1}{L_c} G_{aR} [W] \\ N_R &= \overline{n_R^2(t)} = (KT_n) B_f G_{aR} = K [J/K] T_n [K] B_f [Hz] G_{aR} [W] \end{aligned} \right\} (S/N)_R = \frac{S_R}{N_R} = \frac{S_T / L_c G_{aR}}{KT_n B_f G_{aR}} = \frac{S_T}{KT_n B_f L_c}$$

$$\underbrace{10 \cdot \log_{10}(S/N)_R}_{\triangleq (S/N)_R [\text{dB}]} = 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{S_T}{KT_n B_f L_c} \right) = \underbrace{10 \cdot \log_{10} S_T [W]}_{\triangleq S_T [\text{dBW}]} - 10 \cdot \log_{10} KT_n B_f - \underbrace{10 \cdot \log_{10} L_c}_{\triangleq L_c [\text{dB}]}$$

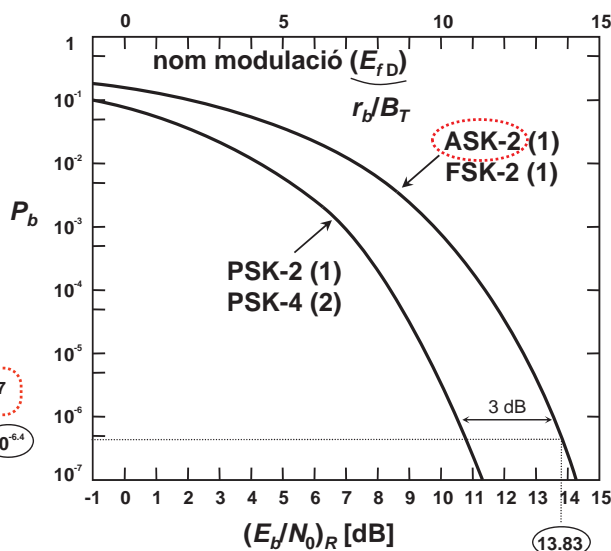
$$(S/N)_R [\text{dB}] = S_T [\text{dBW}] - 10 \log_{10}(KT_n B_f) - L_c [\text{dB}]$$

## Exercici 2: $P_b$

$$S_T [\text{dBm}] = 0 \text{ dBm} \Rightarrow S_T [\text{mW}] = 10^{0/10} \text{ mW} = 1 \text{ mW} = 10^{-3} \text{ W}$$

$$S_T [\text{dBW}] = 10 \log_{10}(10^{-3}) = -30 \text{ dBW}$$

$$(S/N)_R [\text{dB}] = S_T [\text{dBW}] - 10 \log_{10} \underbrace{KT_n B_f}_{1.38 \cdot 10^{-23} \cdot 3 \cdot 10^3 \cdot 10^8} - L_c [\text{dB}] = -30 - (-113.83) - 70 = 13.83 \text{ dB} \quad (24.15)$$



$$(S/N)_R [\text{dB}] = (E_b/N_0)_R [\text{dB}] + 10 \log_{10} E_{fD}$$

$$(E_b/N_0)_R = 13.83 - 10 \log_{10} 1 = 13.83 \text{ dB}$$