P11 DISKRETNI LINEARNI VREMENSKI INVARIJANTNI SISTEMI - KONVOLUCIJA

Signali i sistemi

Diskretni linearni vremenski invarijantni (LTI) sistemi

- Kod diskretnih sistema javljaju se potpuno iste osobine kao kod kontinualnih sistema
- To su sistemi sa memorijom, kauzalnost sistema, linearni sistemi i vremenski invarijantni sistemi.
- Sistemi koji imaju osobinu linearnosti i vremenske invarijantnosti, kao i u slučaju kontinualnih sistema nazivaju se LTI diskretni sistemi.
- Osnovni način opisa LTI sistema je njegov impulsni odziv

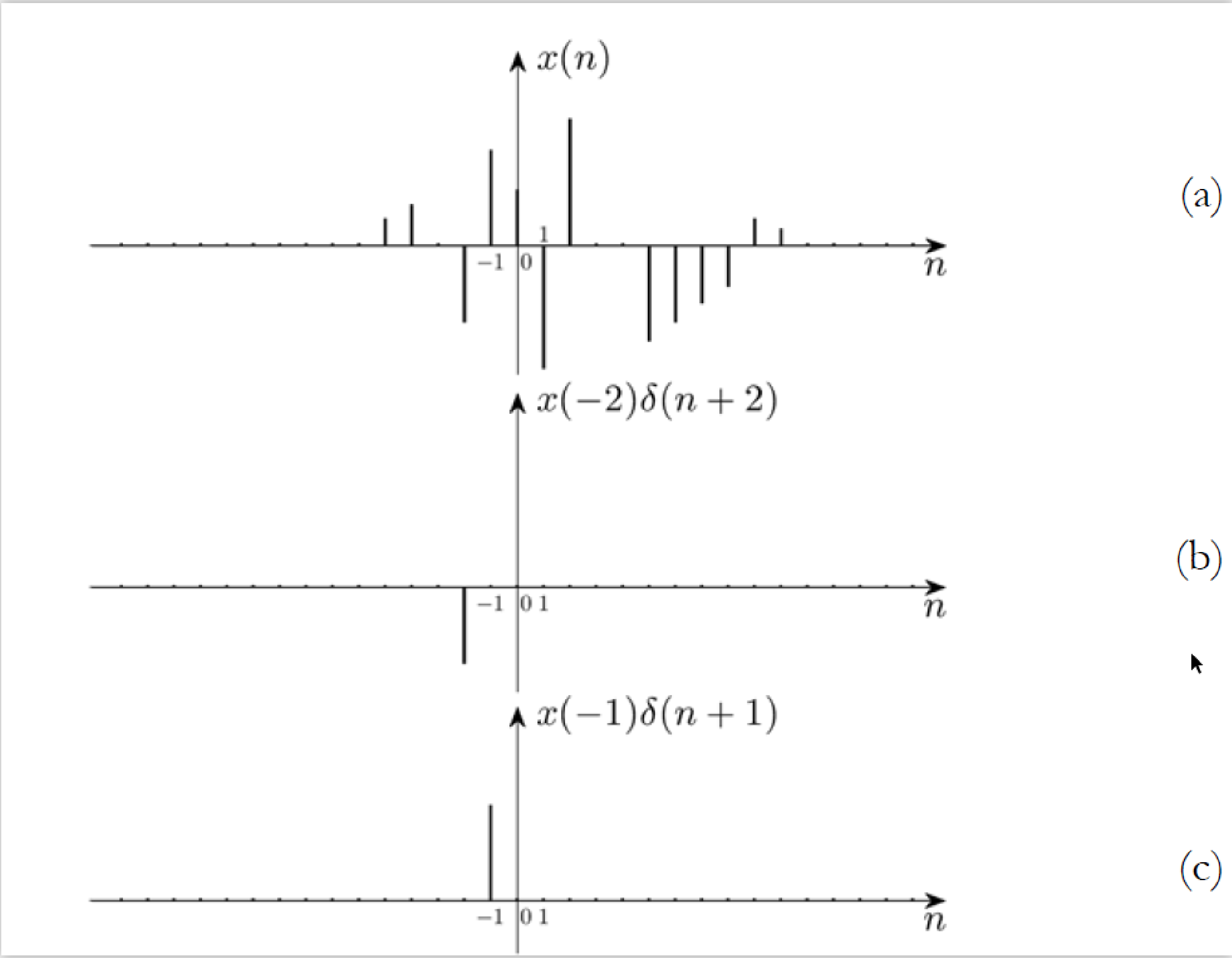
Konvolucija

- Odziv sistema na bilo koju pobudu može da se izračuna kao konvolucija impulsnog odziva i te pobude
- Poznavajući impulsni odziv sistema, matematičkom operacijom koja je označena kao **konvolucija**, moguće je odrediti odziv LTI sistema na pobudni signal proizvoljnog oblika.
- Primer proizvoljnog pobudnog signala možemo predstaviti kao sumu vremenskih pomjerenih impulsa.
- Koristeći osobinu linearnosti i vremenske invarijantnosti LTI sistema, odrediti odziv na tako zapisan pobudni signal.

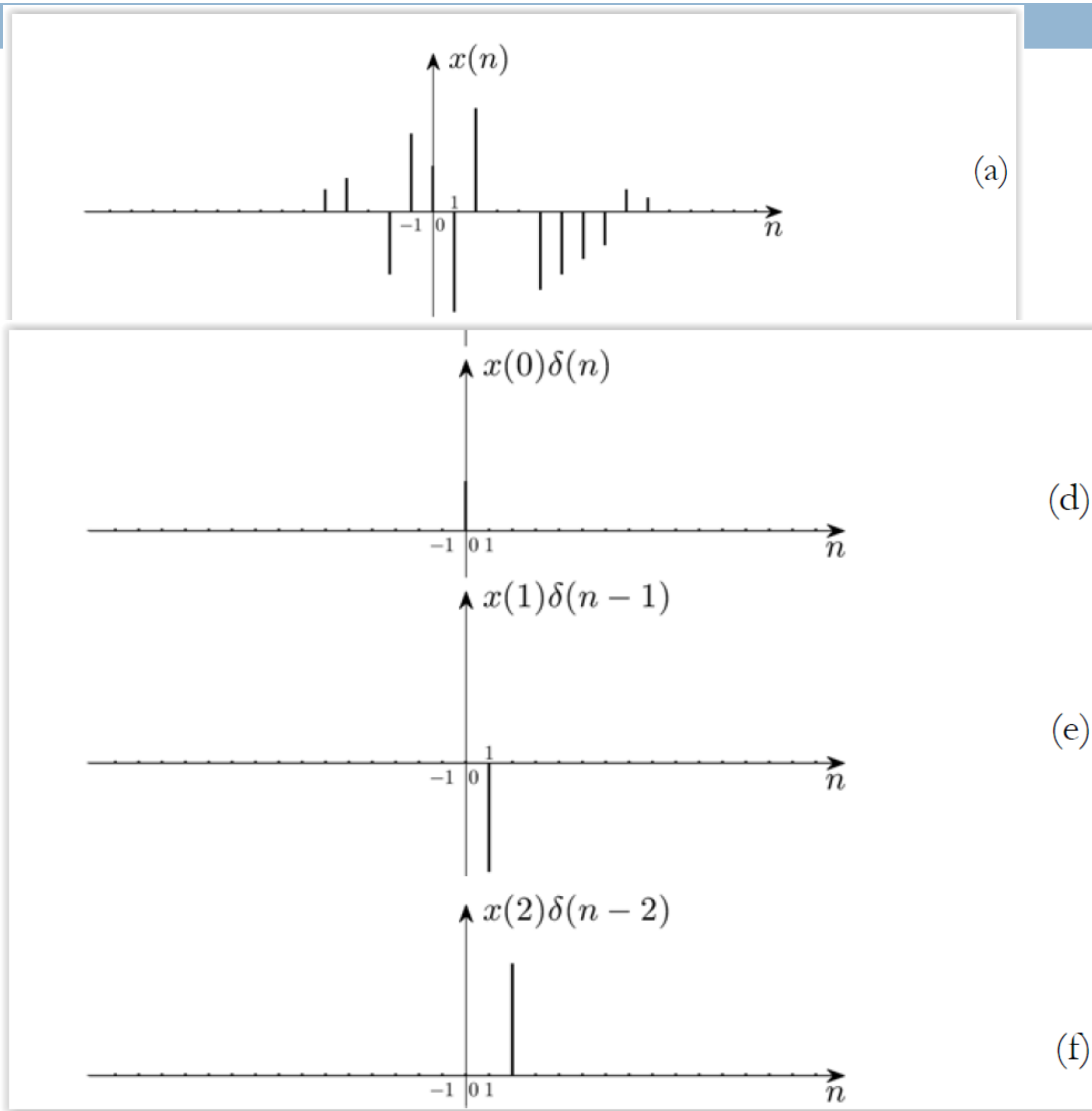
Predstavljanje signala impulsima

- Koristeći svojstvo odabiranja jediničnog impulsa, svaki element signala se definiše kao:
- $x(k)\delta(n-k) = \begin{cases} x(k), & n = k \\ 0, & n \neq k \end{cases}$
- Sumiranjem svih elemenata signala bilo koji diskretni signal može da se predstavi kao:
- $x(n) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} x(k)\delta(n-k)$
- Diskretni signal proizvoljnoig oblika može se izraziti preko težinske sume jediničnih impulsa pomerenih u vremenu čije su amplitude jednake vrednostima signala u trenutcima odabiranja (delovanja)

Predstavljanje signala impulsima



Predstavljanje signala impulsima



Konvolucija diskretnih signala

- Konvolucija diskretnih signala simbolički se označava kao:

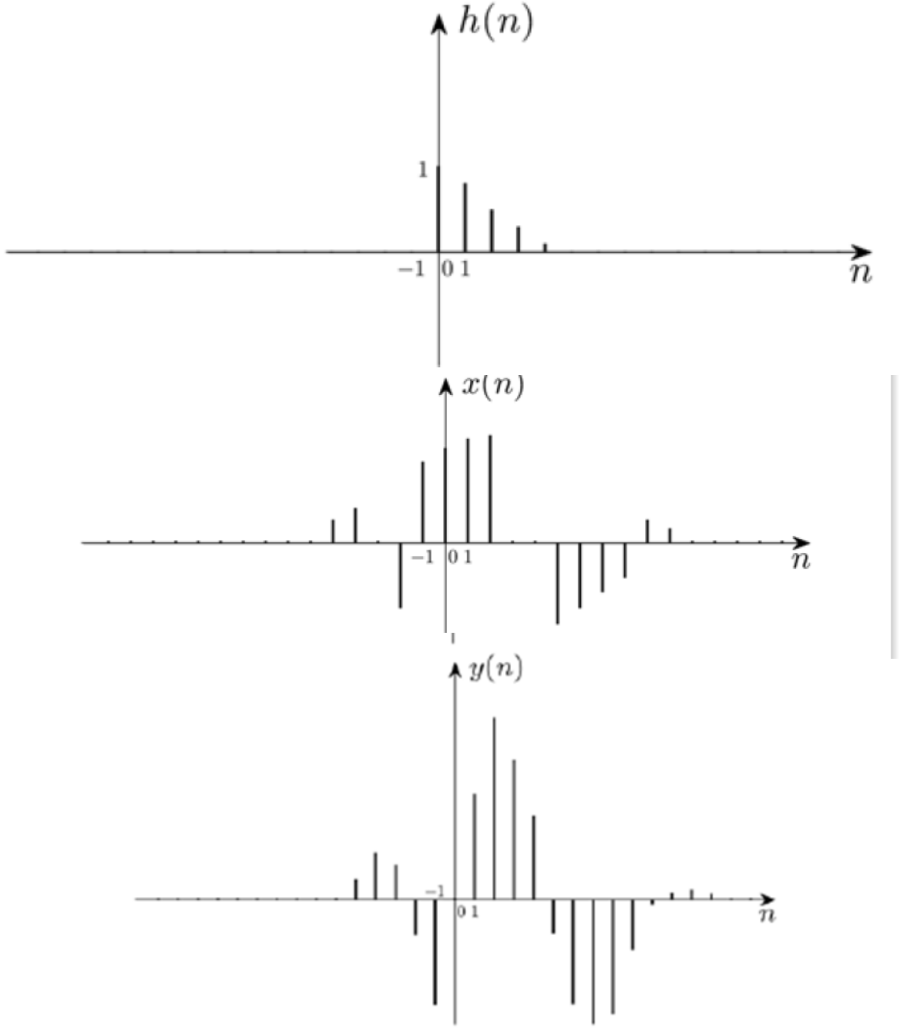
y(n)=x(n)*h(n)

- Smenom promenjivih dobija se oblik:

$$y(n) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} x(k)h(n-k) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} h(k)x(n-k)$$

$$\boldsymbol{y(n) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} h(k)x(n-k)}$$

Primer konvolucije signala y(n)=x(n)*h(n)



Konvolucija diskretnih signala

- Ako je pobudni signal jednak nuli za n<0, odziv sitema je:

$y(n) = \sum_{k=0}^{\infty} x(k)h(n-k) = \sum_{k=-\infty}^{n} h(k)x(n-k)$

U praksi je značajan kauzalni diskretni sistem kod koga impulsni odziv ima N elemenata

$$\boldsymbol{y(n) = \sum_{k=0}^{N-1} h(k)x(n-k)}$$

- Ukoliko jedan signal ima N, a drugi M elemenata, rezultat konvolucije je sekvenca od N+M-1 elemenata

Osobine konvolucije nad diskretnim signalima u vremenu

1. Neparnost

Ako je signal x[n] paran i h[n] neparan, signal y[n]= x[n]* h[n] je neparan

Dokaz:

$$\mathbf{y[n]} = \sum_{k=-\infty}^{\infty} \mathbf{x[k]}\boldsymbol{h}\mathbf{[n\text{-}k]}$$

$$\mathbf{y[n]} = \sum_{k=-\infty}^{\infty} \mathbf{x[-k]}\boldsymbol{h}\mathbf{[k\text{-}n]}$$

Uvođenjem smene m=k-n

$$\mathbf{y[n]} = -\sum_{m=-\infty}^{\infty} \mathbf{h[m]}\boldsymbol{x}\mathbf{[\text{-}n\text{-}m]} = -\,\mathbf{y[\text{-}n]}$$

Osobine konvolucije nad diskretnim signalima u vremenu

2. Parnost

Ako su signali x[n] i h[n] nepare funcije, tada signal y[n]= x[n]* h[n] je parna funcija

Dokaz:

$$\mathbf{y[n]} = \sum_{k=-\infty}^{\infty} \mathbf{x[k]}\boldsymbol{h}\mathbf{[n-k]}$$

$$\mathbf{y[n]} = \sum_{k=-\infty}^{\infty} \mathbf{x[-k]}\boldsymbol{h}\mathbf{[k-n]}$$

Uvođenjem smene m=k-n

$$\mathbf{y[n]} = -\sum_{m=-\infty}^{\infty} \mathbf{h[m]}\boldsymbol{x}\mathbf{[-n-m]} = \mathbf{y[-n]}$$

Osobine konvolucije nad diskretnim signalima u vremenu

3. Periodičnost

Ako je signal x[n] periodičan, tada je i signal y[n] periodičan

- Dokaz: Ako je x[n] periodičan sa periodom N, važi:
- y[n+N]= $=\sum_{k=-\infty}^{\infty}$ x[k]h[n+N-k]
- y[n+N]= $=\sum_{k=-\infty}^{\infty}$ h[k]x[n+N-k]
- y[n+N]= $=\sum_{k=-\infty}^{\infty}$ h[k]x[n-k] = y[n]

Osobine konvolucije nad diskretnim signalima u vremenu

4. Inverzija konvolucije

y[-n] = x[-n]* h[-n]

Dokaz:

- y[-n]= $=\sum_{k=-\infty}^{\infty}$ x[k]h[-n-k]
- Uvođenjem smena k=-m i oznake w[k]=x[−k] i v[k]= h[−k]
- y[-n]= $=\sum_{k=-\infty}^{\infty}$ x[−m]h[-n+m]
- y[-n]= $=\sum_{k=-\infty}^{\infty}$ w[m]v[n-m]= w[n]* v[n]= x[−n] *h[−n]

Osobine konvolucije nad diskretnim signalima u vremenu

5. Pomeranje konvolucije

y[n-n_1-n_2]= x[n-n_1] *h[n-n_2]

- Dokaz:
- y[n-n_1-n_2]==$\sum_{k=-\infty}^{\infty}$ x[k]h[n-n_1-n_2-k]
- Uvođenjem smena; k=m-n_1 i oznaka w [n] =x[n-n_1], v[n]=h[n--n_2]
- y[n-n_1-n_2]=$\sum_{k=-\infty}^{\infty}$ x[m−n_1]h[n-n_2-m]
- y[n-n_1-n_2]=$\sum_{k=-\infty}^{\infty}$ w[m]v[n-m]=w [n]* v[n]=x[n-n_1] *h[n-n_2]

Diskretni linearni vremenski invarijantni (LTI) sistemi

- Ako se na ulaz LTI diskretnog sisteme dovede kao pobuda jedinična impulsna funcija **x[n]= δ[n]** dobija se jedinični impulsni odziv **h[n]**

- Vremenski invarijantni sistem za pomerenu pobudu

x[n]= δ[n-k] generiše odziv **h[n-k]**

- Kako za LTI sistem važi princip superpozicije, za pobudu

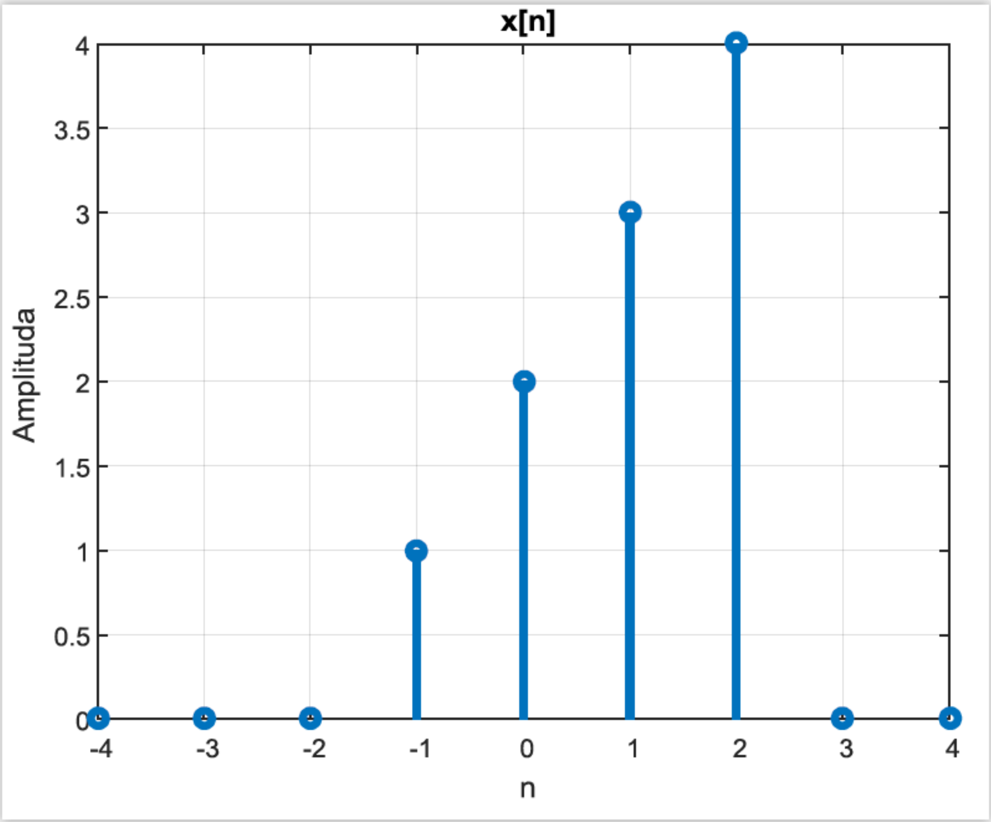
$$x[n]=\sum_k a_k \delta[n-k]$$

- Sistem generiše izlaz

$$y[n]=\sum_k a_k h[n-k]$$

Primer 1: Za dati proizvoljni signal x[n] porebno je odrediti odziv sistema

- **x[n] =(n+2)(u[n+1]- u[n-3])**



- Signal **x[n]** se može napisati u obliku zbira jedinčnih impulsa:
- **x[n]= x[-1] δ[n+1]+ x[0] δ[n]+ x[1] δ[n-1]+ x[2] δ[n-2]**

Primer 1:

- Zamenom konkretnih vrednosti sa slike za **x[-1] , x[0]** itd, signal se može napisati
- **x[n]= 1.δ[n+1]+ 2. δ[n]+ 3. δ[n-1]+ 4. δ[n-2]**
- Signal se može zapisati u obliku sume:
- **y[n]=**$\sum_{k=-1}^{2}(k+2)\delta$ **[n-k]**
- Bilo koji pobudni signal se može napisati u formi zbira jediniĉnih impulsnih signala:
- y[n]= ... x[-2] δ[n+2]+ x[-1] δ[n+1]+ x[0] δ[n]+ x[1] δ[n-1]+ x[2] δ[n-2]+...
- **y[n]=**$\sum_{k=-\infty}^{\infty} x$**[k]**$\delta$ **[n-k]**

Primer 1:

- Za pobudu $\mathbf{x[n]}=\sum_{k=-1}^{2}(k+2)\delta\ [\mathbf{n-k}]$
- Odziv sistema je:
- $\mathbf{y[n]}=\sum_{k=-1}^{2}(k+2)h\ [\mathbf{n-k}]$
- Do ovog rezultata može se doći ako se uvede smena $a_k = \mathbf{x[k]}$ i uvođenjem operacije kovolucije **(*)**
- $\mathbf{y[n]}=\sum_{k=-\infty}^{\infty} \mathbf{x[k]}h[\mathbf{n-k}] = \mathbf{x[n]*h[n]}$
- Kako je konvolucija komutativna operacija izraz može da se napiše kao:
- $\mathbf{y[n]}=\sum_{k=-\infty}^{\infty} \mathbf{h[k]}x\ [\mathbf{n-k}] = \mathbf{h[n]*x[n]}$

Konvolucija diskretnih signala u vremenu

- Konvolucija dva diskretna signala x[n] i h[n] kao rezultat daje signal y[n]
- **y[n]=x[n]*h[n]**

Pri čemu je

- $\mathbf{y[n]}=\sum_{k=-\infty}^{\infty} \mathbf{x[k]}\,h\mathbf{[n\text{-}k]}$
- Odziv sistema na bilo koju pobudu jednak konvoluciji impulsnog odziva i pobude.
- Teorijski gledano, da bi odredili celu diskretnu funkciju y[n] , treba izvršiti beskonačno mnogo sumiranja
- S obzirom na analitičko definisanje signala, ili na ograničeno trajanje signala koji ulaze u konvoluciju, problem je mnogo jednostavniji

Osnovni koraci za realizaciju konvolucije

1. Signal **h[k]** invertovati u vremenu i izvršiti pomeranje kako bi se dobio signal **h[n−k]** koji je funcija parametra ***k***, gde ***n*** predstavlja konkretan parametar
2. Signali **x[k]** i **h[n−k]** se izmnože za sve vrednosti **k**
3. Proizvod **x[k].h[n−k]** se sumira za sve vrednosti **k** čime se dobija vrednost konvolucije **y[n]** za jedno konkretno **n**
4. Vrednost **n** se povećava za 1 i ponovo se izvršavaju koraci 1, 2 i 3

Osnovni koraci za realizaciju konvolucije

- Teorijski, konvolucija se može računati neograničeno
- Za signale koji su ograničeni s leve i desne strane, konvolucija je ograničena
- Ako su signali x[k] i h[k] ograničeni s leve i desne strane važi:

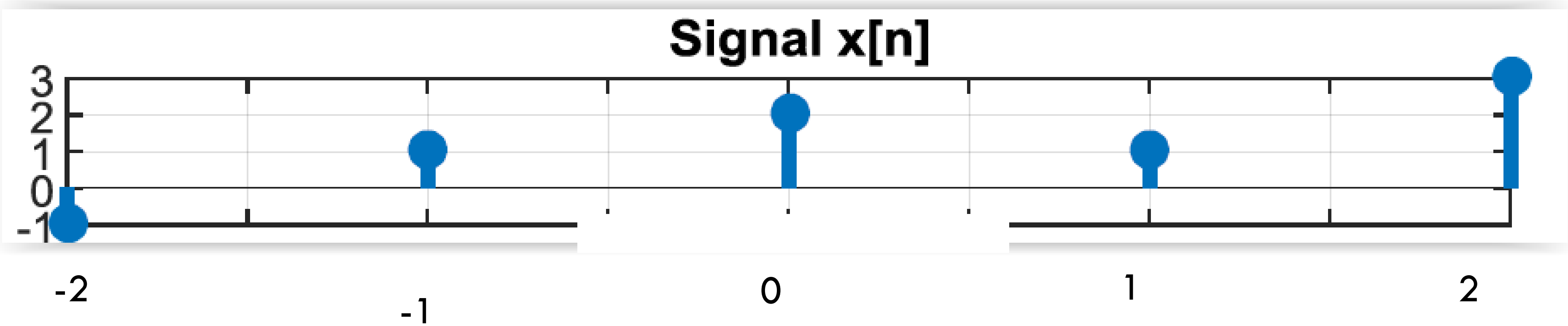
$$\mathbf{x[k]=0,\ za\ k<}\ \boldsymbol{n_1}\ \mathbf{i\ k>}\ \boldsymbol{n_2}$$

$$\mathbf{h[k]=0,\ za\ k<}\ \boldsymbol{n_3}\ \mathbf{i\ k>}\ \boldsymbol{n_4}$$

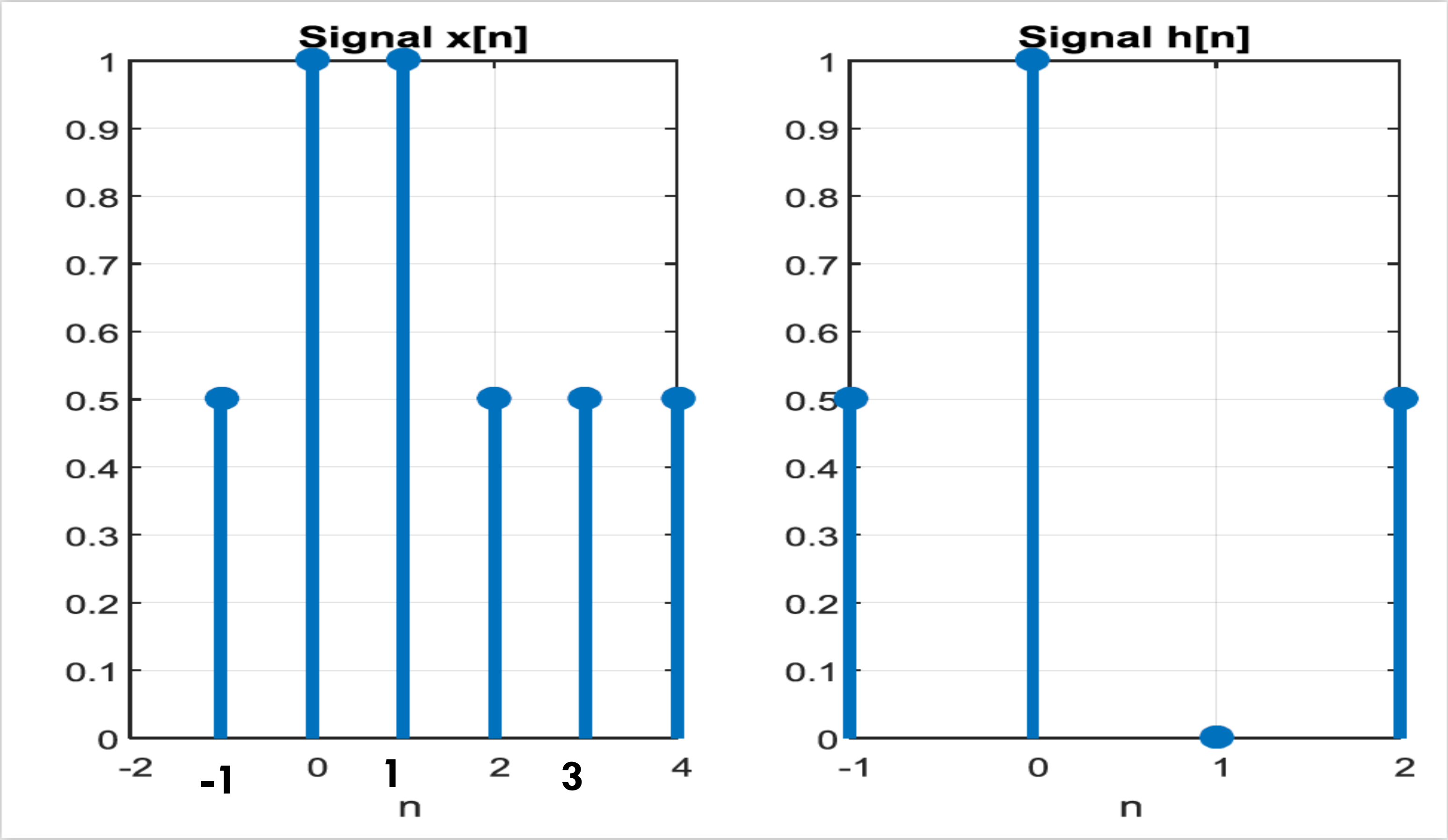
- y[n] je ograničen, pri čemu je početak njegovog trajanja zbir početka signala x[k] i h[k], dok se kraj trajanja dobija kao zbir krajeva istih signala $[\boldsymbol{n_1+n_3, n_2+n_4}]$

Primer 2: Prikazati signal x[n] =[-1 1 [2] 1 3] preko pomerenih jediničnih impulsa.

- x[n]= x[-2] δ[n+2]+ x[-1] δ[n+1]+ x[0] δ[n]+ x[1] δ[n-1]+ x[2] δ[n-2]
- **$x[n]=\sum_{k=-2}^{2} x[k]\delta[n-k]$**
- x[n]= -1.δ[n+2]+ 1.δ[n+1]+ 2.δ[n]+ 1. δ[n-1]+ 3. δ[n-2]



Primer 3. Izračunati konvoluciju signala *x*[*n*] i *h*[*n*]

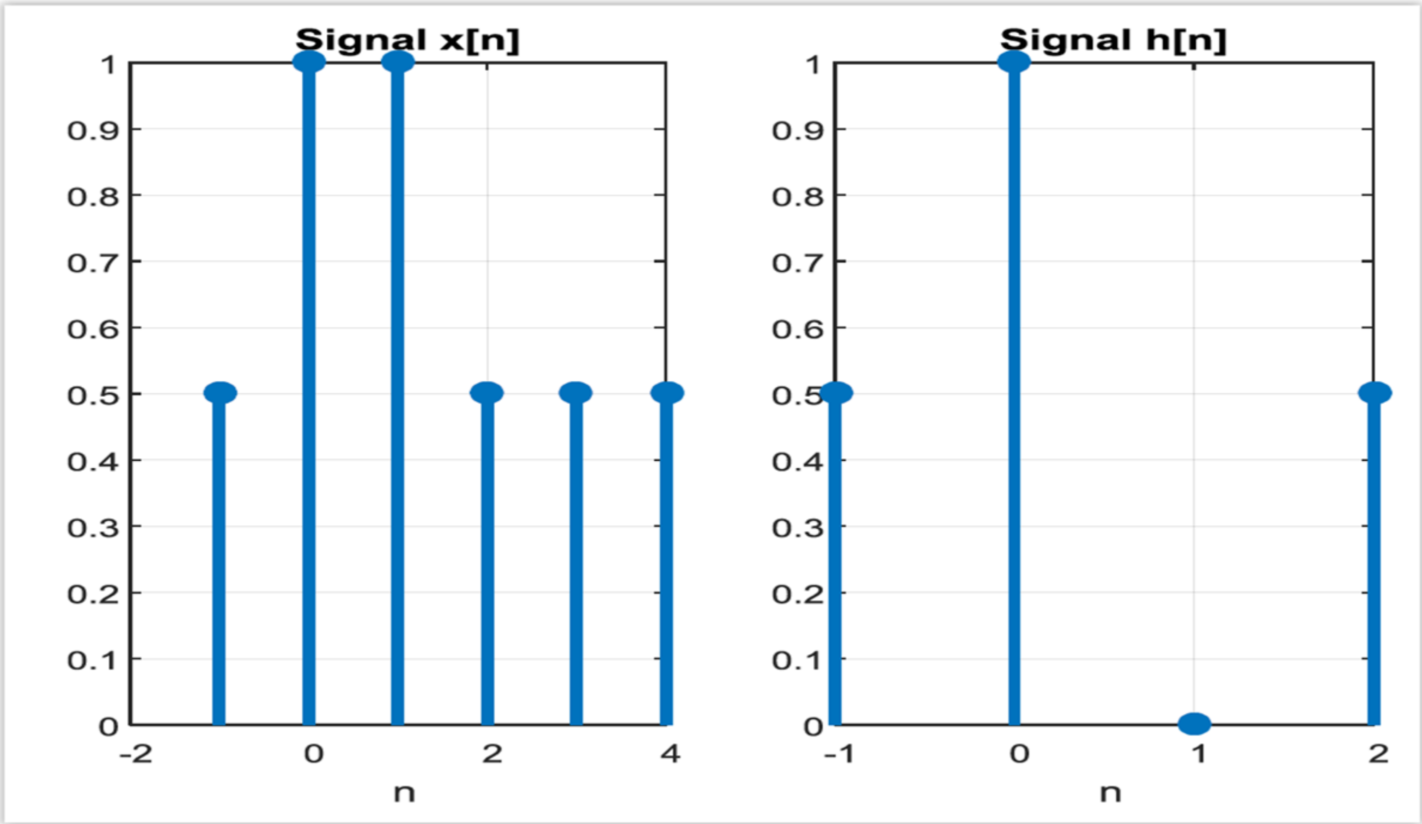


- Signal x[k] traje od -1 do 4 a h[n] traje od -1 do 2

Primer 3. Izračunati konvoluciju signala $x[n]$ i $h[n]$

- **Granice signala su:**
- x[k]: $n_1 = -1$, $n_2 = 4$;
- h[n]: $n_3 = -1$, $n_4 = 2$;
- Signal y[n] je definisan u granicama: $[n_1 + n_3, n_2 + n_4]$, odnosno [-1-1,4 + 2],
- Trajanje signala y[n] je u opsegu [-2,6]
- Potrebno je izračunati signal:
- $\mathbf{y[n]=\sum_{k=-\infty}^{\infty} h[k]x[n-k]}$
- za n = -2, n = -1; n= 0; n=1, n=2, n=3, n=4, n=5 i n=6

Primer 3. Izračunati konvoluciju signala *x*[*n*] i *h*[*n*]



- Prva vrednost za n=-2
- $\mathbf{y[-2]=\sum_{k=-1}^{2} h[k]\boldsymbol{x}[-2-k]}$ = h[-1] x[-1]+ h[0] x[-2]+ h[1] x[-3]+ h[2] .x[-4] =0,25 + 0 + 0 + 0 =0.25

Primer 3. Izračunati konvoluciju signala $x[n]$ i $h[n]$

$$y[-1]=\sum_{k=-1}^{2}h[k]x[-1-k]=h[-1]x[0]+h[0]x[-1]+h[2]x[-3]=0.5+0.5+0=1$$

$$y[0]=\sum_{k=-1}^{2}h[k]x[0-k]=h[-1]x[1]+h[0]x[0]+h[2]x[-2]=0.5+1+0=1.5$$

$$y[1]=\sum_{k=-1}^{2}h[k]x[1-k]=h[-1]x[2]+h[0]x[1]+h[2]x[-1]=0.25+1+0.25=1.5$$

$$y[2]=\sum_{k=-1}^{2}h[k]x[2-k]=h[-1]x[3]+h[0]x[2]+h[2]x[0]=0.25+0.5+0.5=1.25$$

$$y[3]=\sum_{k=-1}^{2}h[k]x[3-k]=h[-1]x[4]+h[0]x[3]+h[2]x[1]=0.25+0.5+0.5=1.25$$

Primer 3. Izračunati konvoluciju signala $x[n]$ i $h[n]$

$$y[4]=\sum_{k=-1}^{2}h[k]x[4-k]=h[-1]x[5]+h[0]x[4]+h[2]x[2]=0+0.5+0.25=0.75$$

$$y[5]=\sum_{k=-1}^{2}h[k]x[5-k]=h[-1]x[6]+h[0]x[5]+h[2]x[3]=0+0+0.25=0.25$$

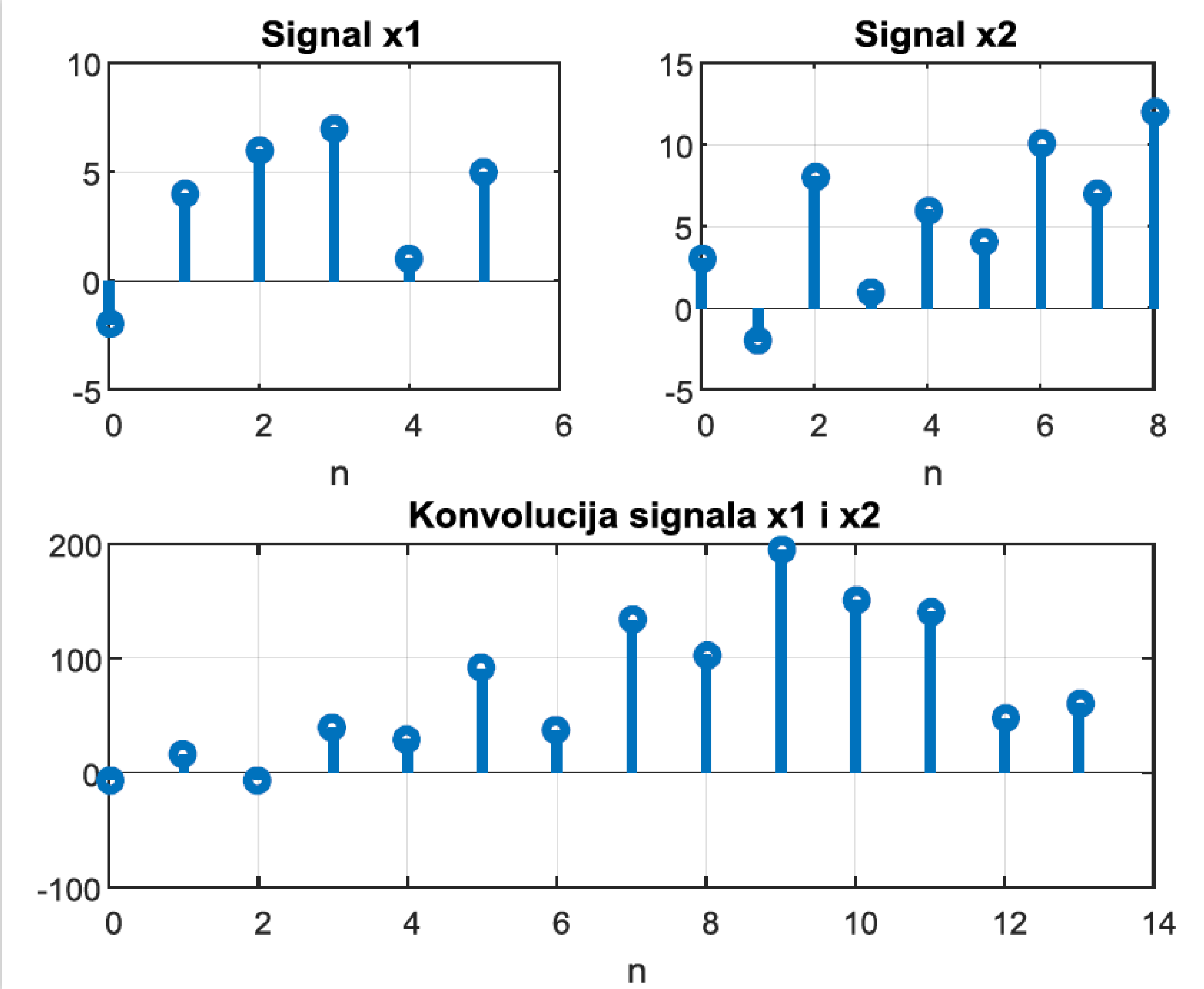
$$y[6]=\sum_{k=-1}^{2}h[k]x[6-k]=h[-1]x[7]+h[0]x[6]+h[2]x[4]=0+0+0.25=0.25$$

- Konvolucija je izračunata za sve vrednosti n.
- Za svaki ĉlan konvolucije mora se izvršiti sumiranje množenja prvog signala koji se ne pomera u vremenu i koji se množi sa drugim signalom koji se pomera u vremenu kako bi se dobila konaĉna vrednost svakog odbirka konvolucije.

Primer 4

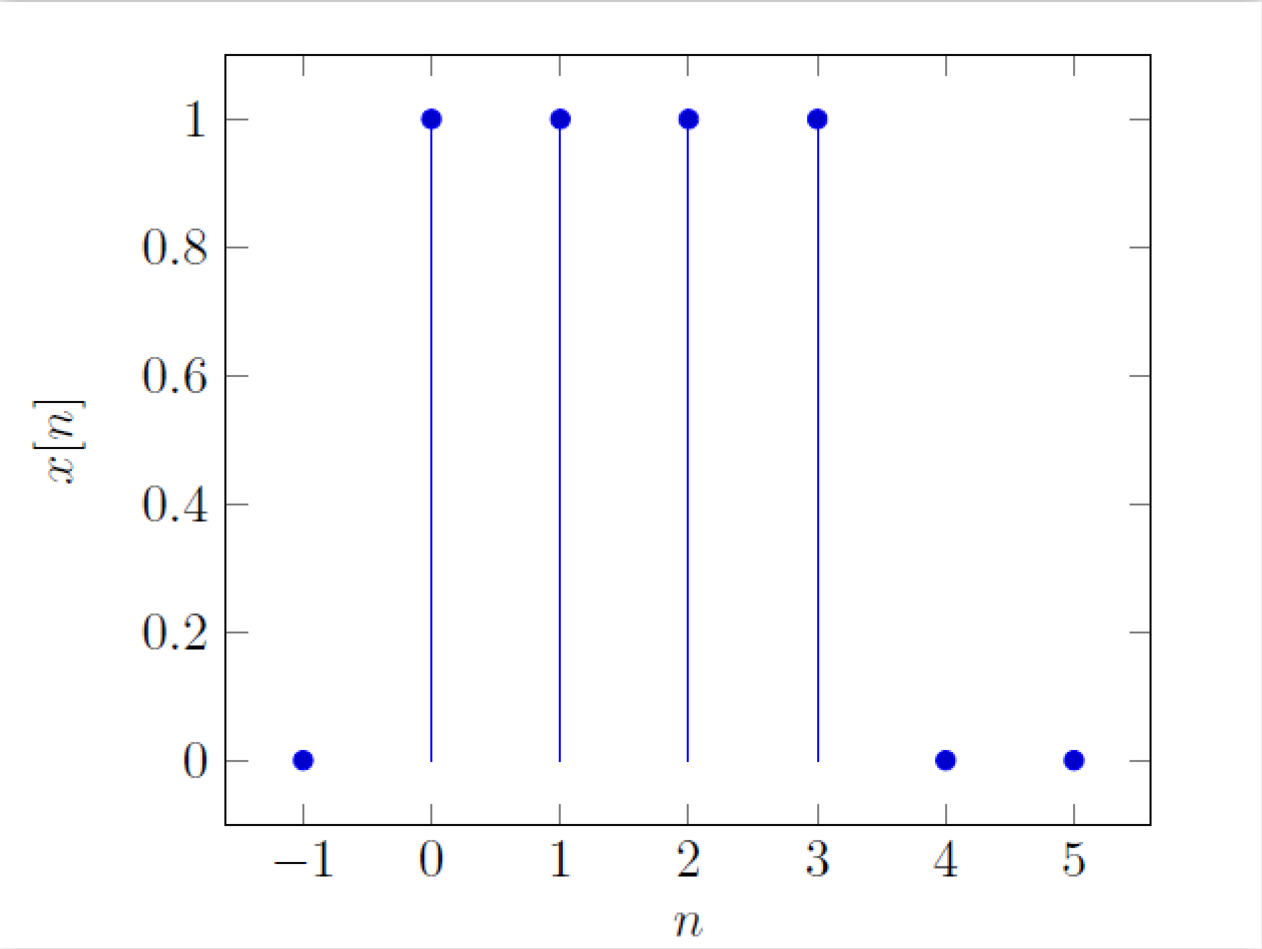
. Izračunati konvoluciju signala:

$$x_1[n] = [-2 \quad 4 \quad 6 \quad 7 \quad 1 \quad 5] \text{ i } x_2[n] = [3 \quad -2 \quad 8 \quad 1 \quad 6 \quad 4 \quad 10 \quad 7 \quad 12]$$



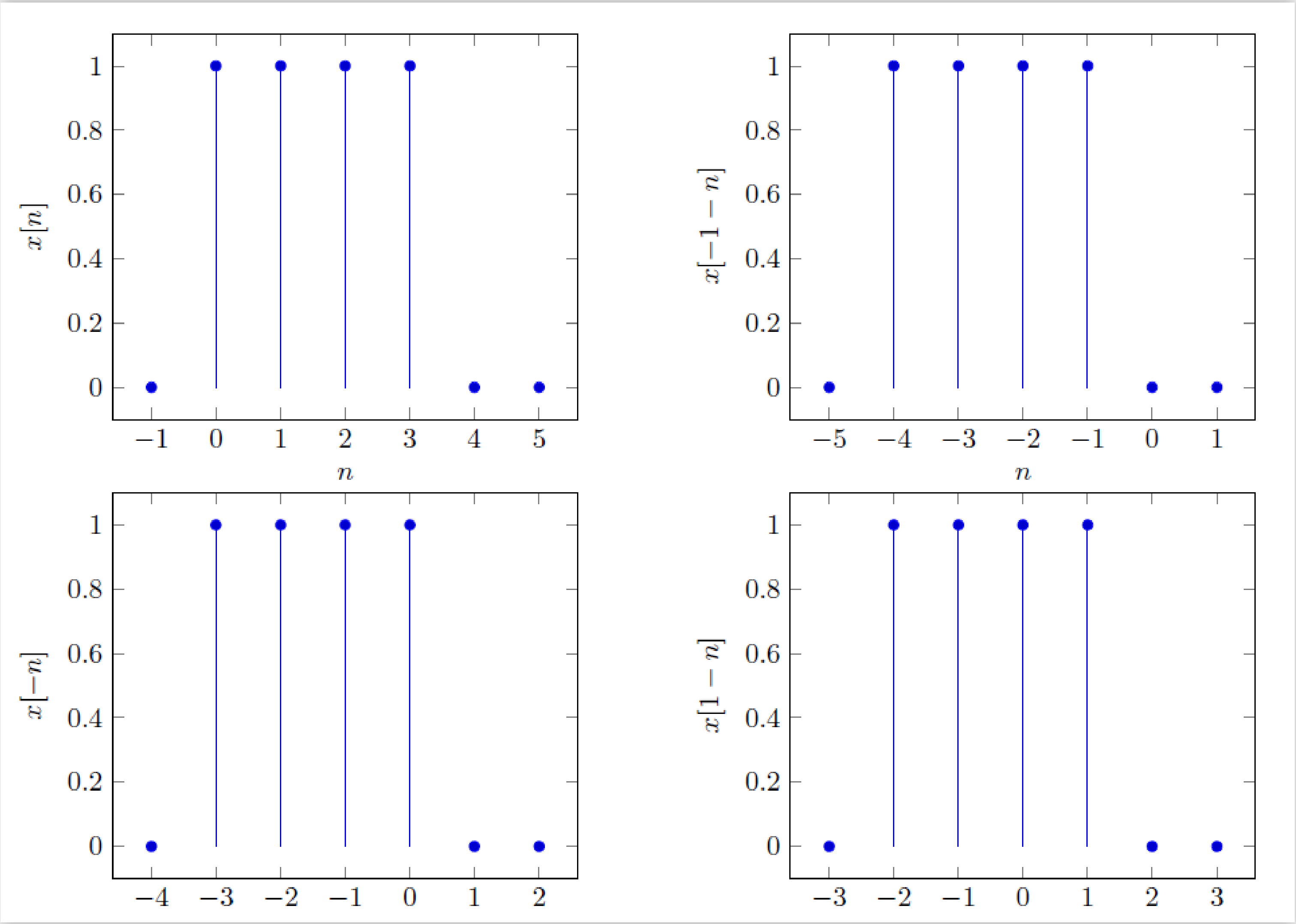
Primer 5: Skicirati signal x[n] = u[n] - u[n - 4].
a) Graficki odrediti konvoluciju signala sa samim sobom.
b) Analiticki odrediti konvoluciju

Rešenje: x[n] = u[n] - u[n - 4].



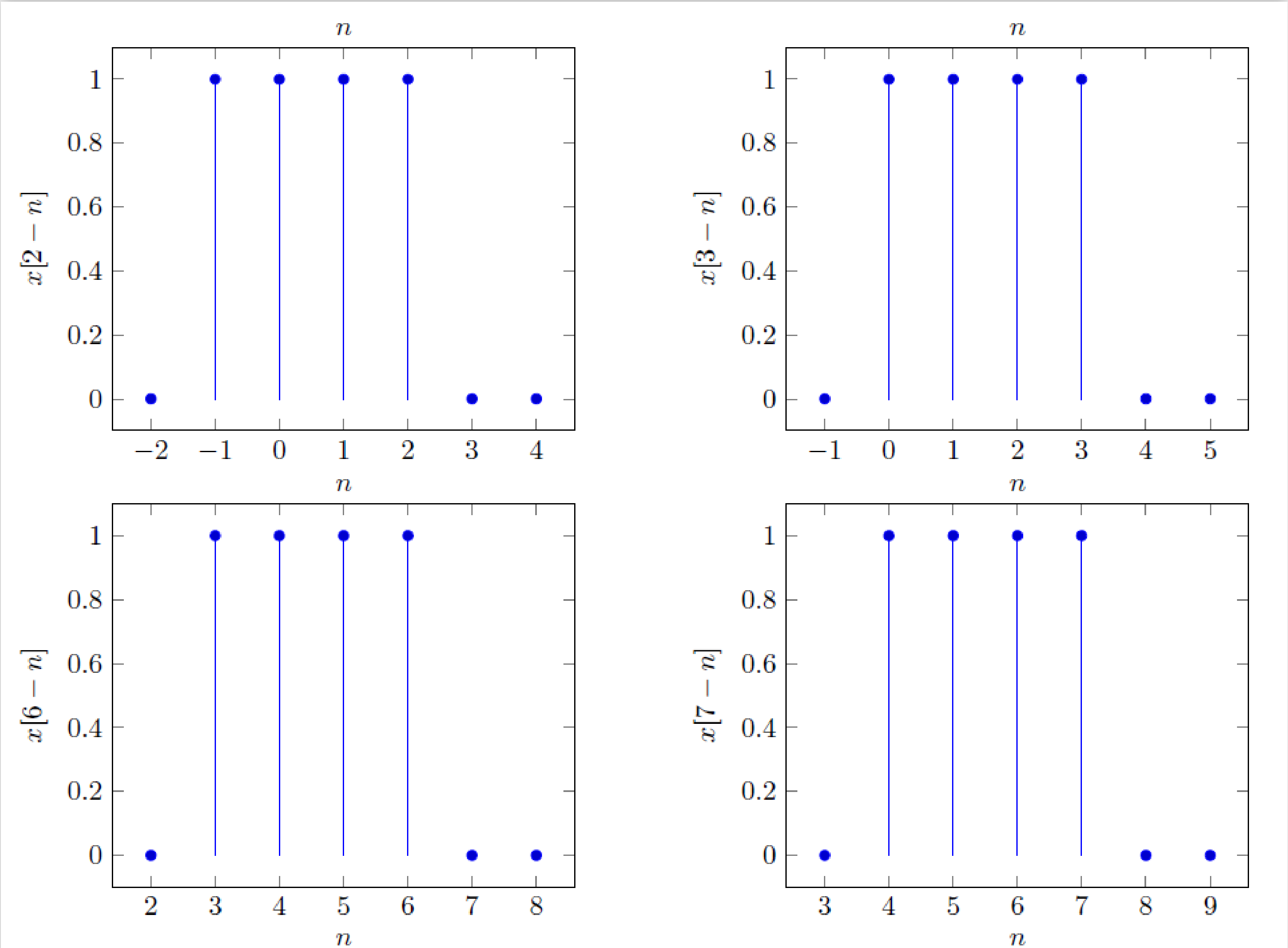
Primer 5: Skicirati signal x[n] = u[n] - u[n - 4].
a) Graficki odrediti konvoluciju signala sa samim sobom.

- a)



Primer 5: Skicirati signal x[n] = u[n] - u[n - 4].
a) Graficki odrediti konvoluciju signala sa samim sobom.

- a)



Primer 5: Skicirati signal x[n] = u[n] - u[n - 4].
a) Graficki odrediti konvoluciju signala sa samim sobom.

a) y[n] = x[n] * x[n]

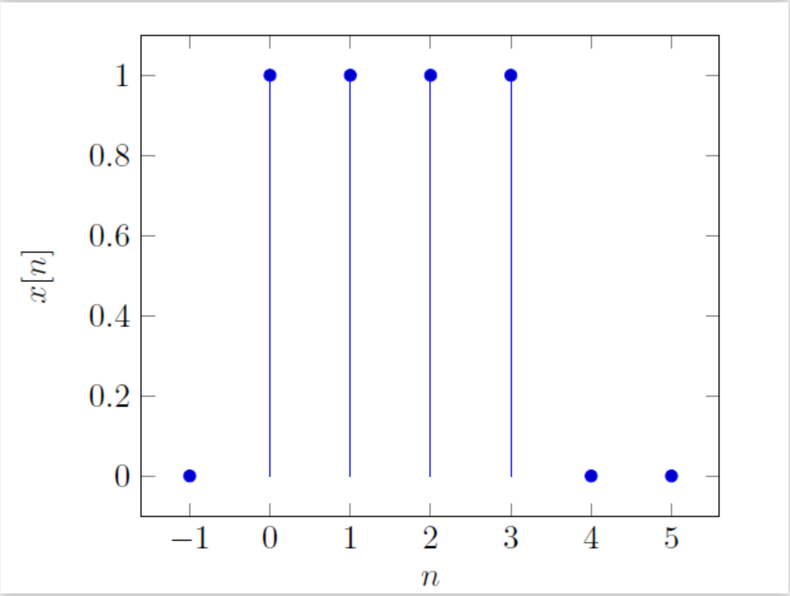
y[n]=$\sum_{k=-\infty}^{\infty}$ h[k]x[n-k]= =$\sum_{k=-\infty}^{\infty}$ x[k]x[n-k]

y[-1] =$\sum_{k=-\infty}^{\infty} x[k]x[-1-k]$ =0, jer ne postoje impulsi koji se poklapaju. Ovo va\i sa svako n<0.

y[0] =$\sum_{k=-\infty}^{\infty} x[k]x[-k]$ =1, jer se poklapa jedan impuls

y[1] =$\sum_{k=-\infty}^{\infty} x[k]x[1-k]$ =2

y[2] =$\sum_{k=-\infty}^{\infty} x[k]x[2-k]$ =3



Primer 5: Skicirati signal x[n] = u[n] - u[n - 4].
a) Graficki odrediti konvoluciju signala sa samim sobom.

a) y[n] = x[n] * x[n]

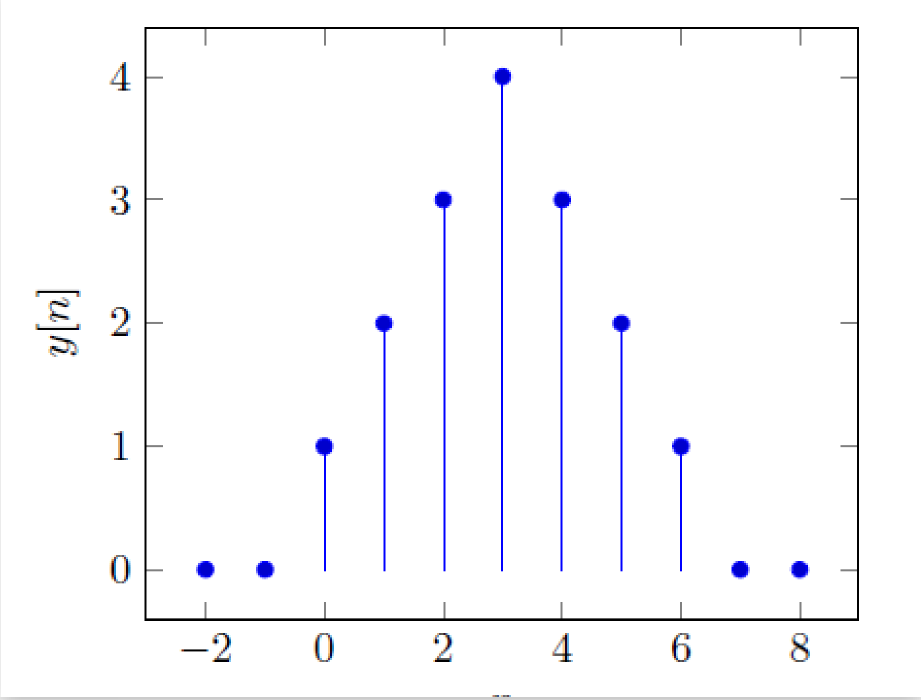
$y[n]=\sum_{k=-\infty}^{\infty} h[k]x[n-k]= =\sum_{k=-\infty}^{\infty} x[k]x[n-k]$

$y[3] =\sum_{k=-\infty}^{\infty} x[k]x[3-k] = 4$

$y[5] =\sum_{k=-\infty}^{\infty} x[k]x[5-k] = 2$

$y[6] =\sum_{k=-\infty}^{\infty} x[k]x[6-k] = 1$

$y[74] =\sum_{k=-\infty}^{\infty} x[k]x[7-k] = 0$

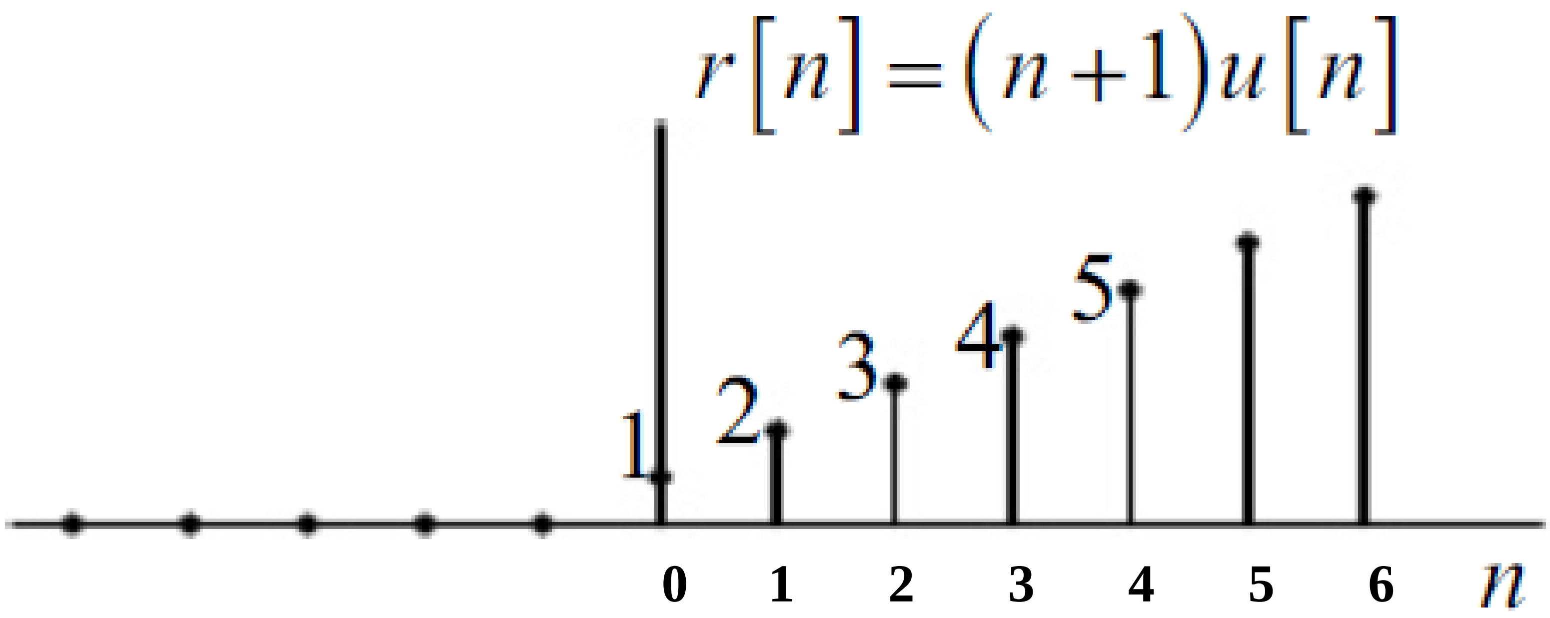


Primer 6: Odrediti konvoluciju dve diskretne jedinične odskočne funcije vremenu

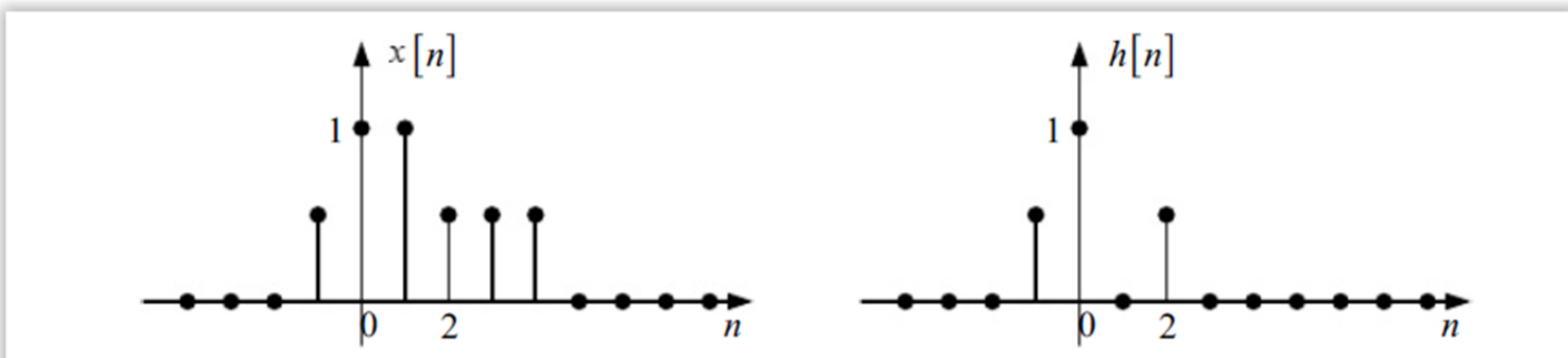
- $y[n]=\sum_{k=-\infty}^{\infty} h[k]x[n-k]$
- **r[n]= u[n]*u[n]**
- Imajući u vidu da je u[n]=0 za k<0 i u[k]=1 za k≥0
- $r[n]=\sum_{k=0}^{\infty} u[k]u[n-k] = =\sum_{k=0}^{\infty} u[n-k]$
- Ako se uvede smena m = n-k
- $r[n] =\sum_{m=-\infty}^{n} u[m]$
- Za n<0, r[n]=0, za n=0 postoji samo jedan sabirak sa vrednošću 1, za n=1 postoje dva takva sabirka, n=2 postoje tri sabirka, itd.
- $r[n]=\begin{cases} 0; & n < 0 \\ n+1; & n \geq 0 \end{cases}$

Primer 6: Konvolucija diskretnih signala u vremenu

- $r[n] = \begin{cases} 0; n < 0 \\ n + 1; n \geq 0 \end{cases}$
- Signal se obično naziva jedinični diskretni usponski signal (*unit-rump signal*)



Primer 7: Izračunati konvoluciju signala x[n] i h [n] prikazanih na slici



- Na osnovu slika možemo zapisati signale kao:
- x[n] = [..., 0,0.5, [1], 1,0,5,0.5,0.5, 0, ...]
- h[n] = [..., 0,0.5, [1], 0,0,5, 0, ...]
- Konvolucija se mora računati po formuli:
- $y[n]=\sum_{k=-\infty}^{\infty} h[k]x[n-k]$

Primer 7: Izračunati konvoluciju signala x[n] i h [n] prikazanih na slici

- x[n] = [..., 0,0.5, [1], 1,0,5,0.5,0.5, 0, ...]
- h[n] = [..., 0,0.5, [1], 0,0,5, 0, ...]
- **Granice signala su:**
- x[k]: n_1= -1, n_2 = 4;
- h[n]: n_3= -1, n_4= 2
- Signal y[n] je definisan u granicama: [n_1+n_3, n_2 +n_4], odnosno [-1-1,4 + 2], odnosno trajanje signalay[n] je u opsegu [-2,6]
- Izračunati **$y[n]=\sum_{k=-\infty}^{\infty} h[k]x[n-k]$**
- za n = -2, n = -1; n= 0; n=1, n=2, n=3, n=4, n=5 i n=6

Primer 7:

$$y[n]=\sum_{k=-\infty}^{\infty} h[k]x[n-k]$$

$$y[-2]=\sum_{k=-\infty}^{\infty} h[k]x[-2-k]=h[-1]x[-1]+h[0]x[-2]+h[2]x[-4]=0.25+0+0=0.25$$

$$y[-1]=\sum_{k=-\infty}^{\infty} h[k]x[-1-k]=h[-1]x[0]+h[0]x[-1]+h[2]x[-3]=0.5+0.5+0=1$$

$$y[0]=\sum_{k=-\infty}^{\infty} h[k]x[-k]=h[-1]x[1]+h[0]x[0]+h[2]x[-2]=0.5+1+0=1.5$$

$$y[1]=\sum_{k=-\infty}^{\infty} h[k]x[1-k]=h[-1]x[2]+h[0]x[1]+h[2]x[-1]=0.25+1+0.25=1.5$$

$$y[2]=\sum_{k=-\infty}^{\infty} h[k]x[2-k]=h[-1]x[3]+h[0]x[2]+h[2]x[0]=0.25+0.5+0.5=1.25$$

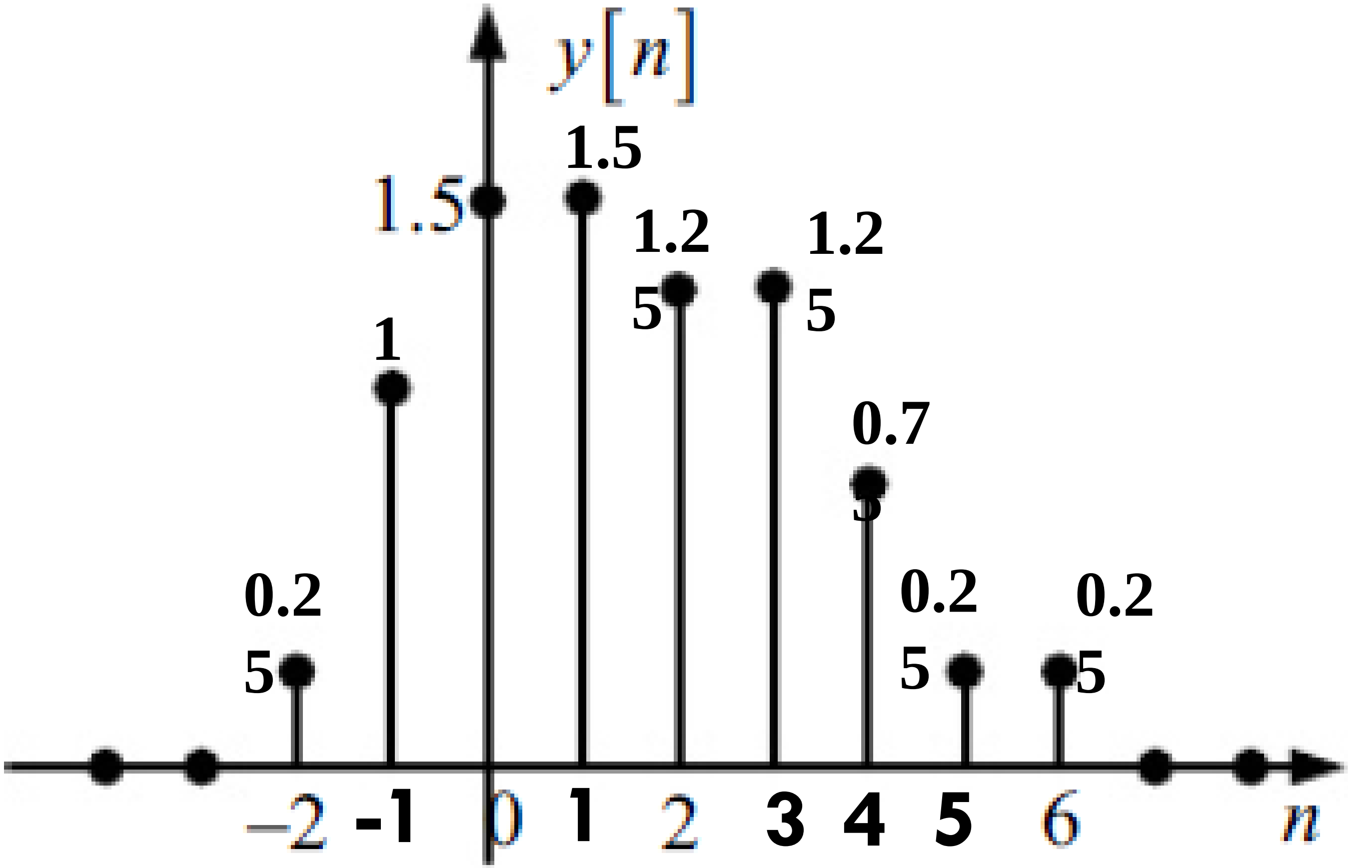
$$y[3]=\sum_{k=-\infty}^{\infty} h[k]x[3-k]=h[-1]x[4]+h[0]x[3]+h[2]x[1]=0.25+0.5+0.5=1.25$$

$$y[4]=\sum_{k=-\infty}^{\infty} h[k]x[4-k]=h[-1]x[5]+h[0]x[4]+h[2]x[2]=0+0.5+0.25=0.75$$

$$y[5]=\sum_{k=-\infty}^{\infty} h[k]x[5-k]=h[-1]x[6]+h[0]x[5]+h[2]x[3]=0+0+0.25=0.25$$

$$y[6]=\sum_{k=-\infty}^{\infty} h[k]x[6-k]=h[-1]x[7]+h[0]x[6]+h[2]x[4]=0+0+0.25=0.25$$

Primer 7: Izračunati konvoluciju signala x[n] i h [n] prikazanih na slici



Primer 8: Izračunati konvoluciju signala x[n] i h [n]

- $x(n) = \delta(n)+3\delta(n-1)+ 9\delta(n-2)+ 9\delta(n-3)+3\delta(n-4)+ \delta(n-5)$
- $h(n) = \delta(n) - \delta(n-1)$

Rešenje:

- x[n] = [...,0, [1], 3,9,9,3, 1,0,...]
- h[n] = [...,0, [1], -1,0, ...]
- Konvolucija se mora računati po formuli:
- $y[n]= x(n) * h(n)=\sum_{k=-\infty}^{\infty} h[k]x[n-k]$

Primer 8: Izračunati konvoluciju signala x[n] i h [n]

- x[n] = [...,0, [1], 3,9,9,3, 1,0,...]
- h[n] = [...,0, [1], -1,0, ...]
- **Granice signala su:**
- x[k]: n_1= 0, n_2 = 5;
- h[n]: n_3= 0, n_4= 1
- Signal y[n] je definisan u granicama: [n_1+n_3, n_2 +n_4], odnosno [0,6]
- Izračunati y[n]=$\sum_{k=-\infty}^{\infty}$ h[k]x[n-k]
- za n = 0, n = 1; n= 2; n=3, n=4, n=5, n=6

Primer 8: Izračunati konvoluciju signala x[n] i h [n]

- x[n] = [...,0, [1], 3,9,9,3, 1,0,...]
- h[n] = [...,0, [1], -1,0, ...]

za n = 0,

- y[0]=$\sum_{k=0}^{6}$ h[k]x[-k]=h[0]. x[0]+ h[1] x[-1]= 1.1-1.0= 1

za n = 1

- y[1]=$\sum_{k=0}^{6}$ h[k]x[1-k]=h[0]. x[1]+ h[1] x[0]= 1.3-1.1= 2

za n = 2

- y[2]=$\sum_{k=0}^{6}$ h[k]x[2-k]=h[0]. x[2]+ h[1] x[1]= 1.9-1.3= 6

Primer 8: Izračunati konvoluciju signala x[n] i h [n]

- x[n] = [...,0, [1], 3,9,9,3, 1,0,...]
- h[n] = [...,0, [1], -1,0, ...]

za n = 3

- y[3]=$\sum_{k=0}^{6}$ h[k]x[3-k]=h[0]. x[3]+ h[1] x[2]= 1.9-1.9= 0

za n = 4

- y[4]=$\sum_{k=0}^{6}$ h[k]x[4-k]=h[0]. x[4]+ h[1] x[3]= 1.3-1.9= -6

za n = 5

- y[5]=$\sum_{k=0}^{6}$ h[k]x[5-k]=h[0]. x[5]+ h[1] x[4]= 1.1-1.3= -2

za n = 6

- y[6]=$\sum_{k=0}^{6}$ h[k]x[6-k]=h[0]. x[6]+ h[1] x[5]= 1.0-1.1= -1

Primer 8: Izračunati konvoluciju signala x[n] i h [n]

- x[n] = [...,0, [1], 3,9,9,3, 1,0,...]
- h[n] = [...,0, [1], -1,0, ...]
- **y[n] = [...,0, [1], 2,6,0,-6, -2,-1,0,...]**