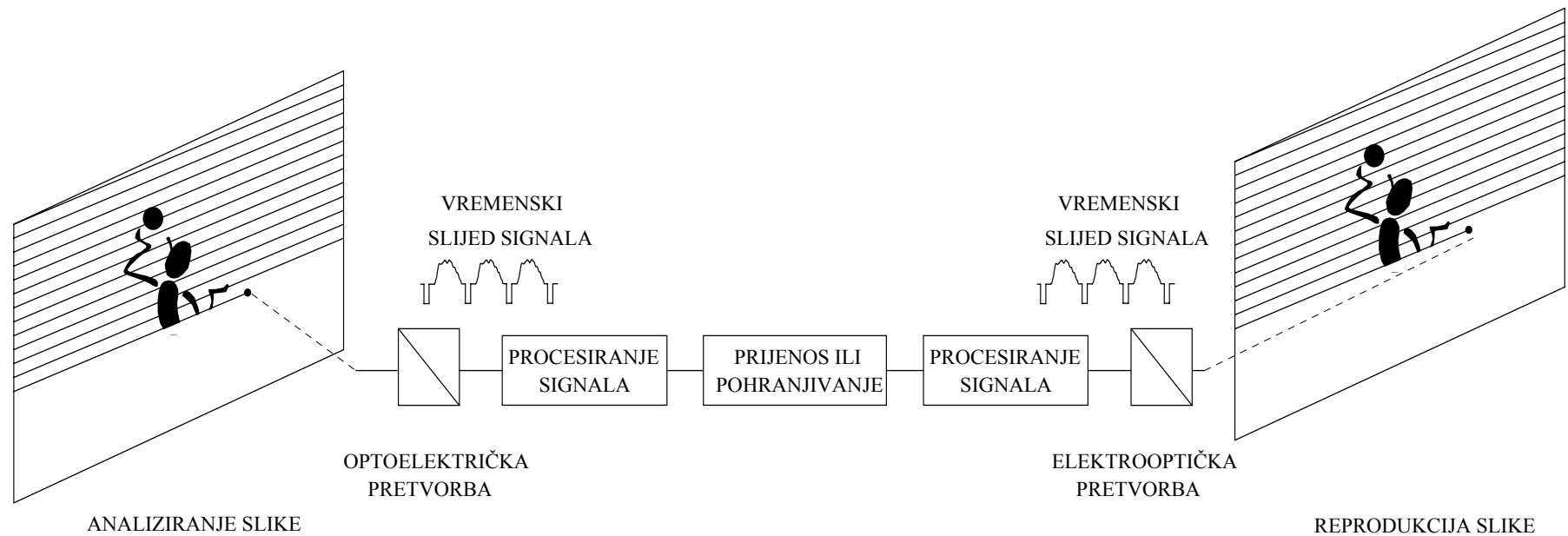


# **Temeljni koncepti analognog i digitalnog videosignala**

# Pretvorba svjetlosti u električki signal

- kako bi u multimedijским sustavima kao medijske sadržaje mogli uključiti slike i videosignale, optičke slike (prostorni raspored svjetlosnih jakosti) potrebno je pretvoriti u električki signal
  - električki signal je jednodimenzijski signal (u određenom vremenskom trenutku zauzima samo jednu vrijednost napona ili struje)
  - postupkom analiziranja utvrđuje se raspored u skladu s kojim se optičke slike pretvaraju u električki signal
  - isti raspored se primjenjuje u postupku reprodukcije kojim se električki signal pretvara u sliku

# Nastanak videosignala



# Nastanak videosignala

- analiziranje slike
  - provodi se u videokameri
    - videokamera sadrži fotoosjetljivi senzor (aktivni element) pomoću kojeg se provodi analiziranje i optoelektrička pretvorba
      - prostorni raspored svjetlosnih jakosti koji predstavlja sliku, transformira se u vremenski slijed električkih impulsa
    - senzori se mogu podijeliti u dvije temeljne skupine
      - analizirajuće cijevi
      - poluvodički slikovni senzori (**CCD**, *Charge Coupled Devices* ili **CMOS**, *Complementary Metal Oxide Semiconductor*)
  - nastali električki impulsi svojom amplitudom odgovaraju svjetlosnoj jakosti trenutno analiziranog površinskog elementa slike i predstavljaju **videosignal**

# Nastanak videosignala

- senzor kamere
  - optička slika scene usmjerava se na fotoosjetljivu površinu senzora
  - pod utjecajem svjetlosti na fotoosjetljivoj površini senzora stvara se slika naboja, koja odgovara rasporedu svjetlosnih jakosti optičke slike
  - kamere s analizirajućim cijevima
    - analiziranje slike provodi se elektronskim snopom koji se naziva analizirajući snop
    - elektronski snop se otklanja horizontalno i vertikalno uz pomoć otklonskih zavojnica, koje se nalaze se izvan cijevi za analiziranje
    - analizirajući snop prelazi preko slike naboja pohranjene na fotoosjetljivoj površini senzora pri čemu dolazi do neutralizacije pozitivnog naboja
    - time nastaju uzastopne promjene napona na izlazu iz kamere koje nazivamo videosignalom
  - kamere s poluvodičkim slikovnim senzorima
    - ne postoji elektronski snop, već se analiziranje provodi horizontalnim i vertikalnim pomicanjem i očitavanjem naboja u točno određenom slijedu, koji ovisi o vrsti senzora

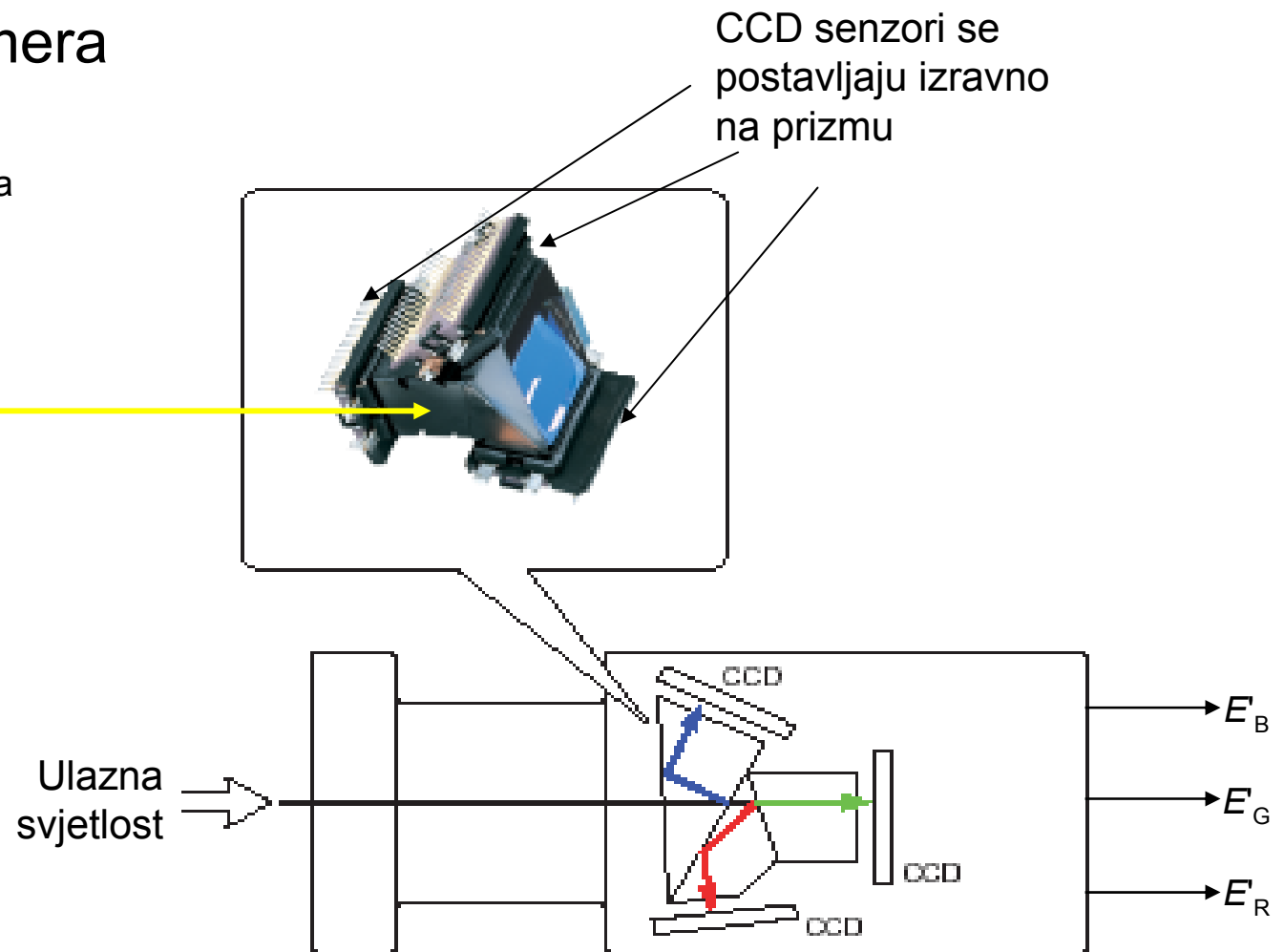
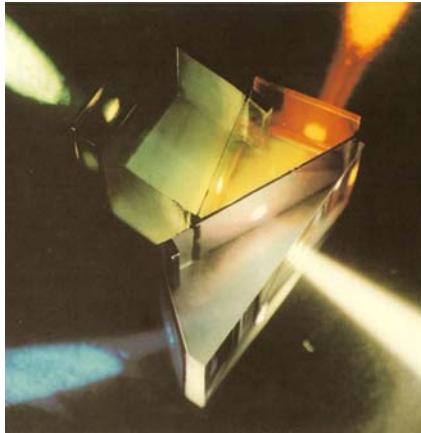
# Nastanak videosignala

- videosignal
  - u akromatskoj (crno-bijeloj) kameri se pod videosignalom podrazumijeva luminantni signal ( $E_Y$ ), koji prenosi informaciju o luminanciji snimane scene
  - u kromatskoj kameri (kameri u boji) nastaju tri signala koji se nazivaju signali primarnih boja
    - signal za crvenu boju -  $E_R$
    - signal za zelenu boju -  $E_G$
    - signal za plavu boju -  $E_B$
    - ulazna svjetlost se u prizmi za razdvajanje boja dijeli na tri spektralne komponente, a svaka komponenta se usmjerava na vlastiti senzor u kome se provodi optoelektričke pretvorba

# Nastanak videosignala

- kromatska kamera

Prizma za razdvajanje boja



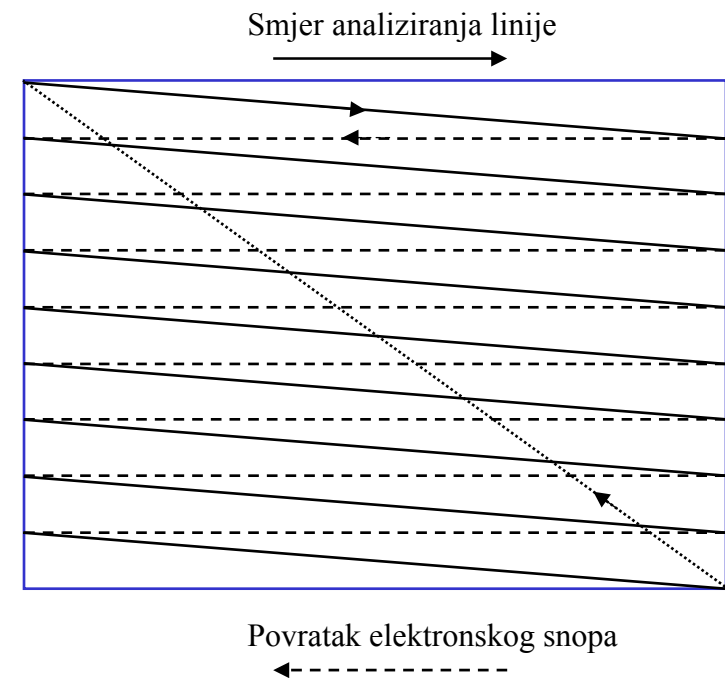
# Nastanak videosignala

- reprodukcija slike
  - videosignal se pretvara u raspodjelu svjetlosnih jakosti (elektrooptička pretvorba) sinkrono s postupkom analiziranja u kameri
  - kao uređaji za prikazivanje slike najčešće se rabe:
    - katodne cijevi (CRT, *Cathode Ray Tube*)
    - ekrani s tekućim kristalima (LCD, *Liquid Crystal Display*)
    - ekrani s plazmom
    - videoprojektori



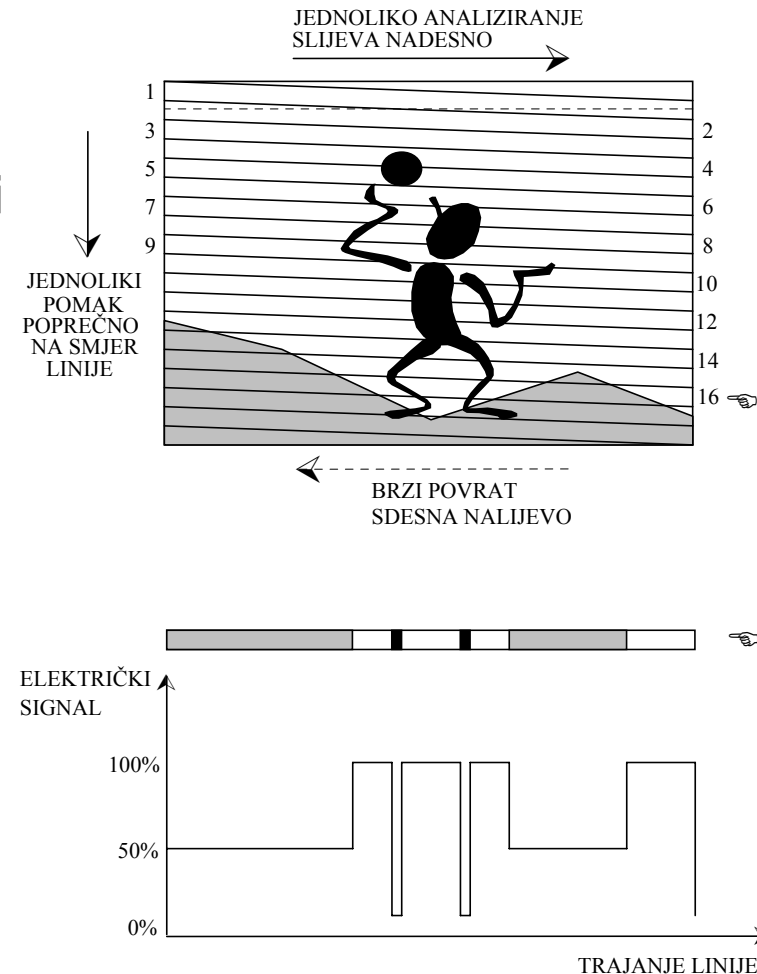
# Analiziranje slike

- način analiziranja u kamerama s analizirajućim cijevima
  - analizirajući snop kreće se preko slike slijeva nadesno, a zatim se vraća na početak i započinje analiziranje iduće linije
  - proces analiziranja po linijama se nastavlja do kraja slike, kada se analizirajući snop vraća prema gore i započinje analiziranje nove slike
  - brzina analiziranja mora biti dovoljno visoka kako bi se cijela slika analizirala prije promjene njezina sadržaja



# Analiziranje slike

- analiziranjem slike slijeva nadesno nastaje aktivni dio videosignala jedne linije (vidljiv na ekranu)
  - visokoj razini svjetlosnih jakosti (bijeli i svijetli dijelovi slike) odgovara veća amplituda električkog signala
  - niskoj razini svjetlosnih jakosti (crni dijelovi slike) odgovara manja amplituda videosignala
- povratak elektronskog snopa s kraja jedne na početak iduće linije ne smije biti vidljiv i događa se za vrijeme horizontalnog potisnog intervala (HPI)



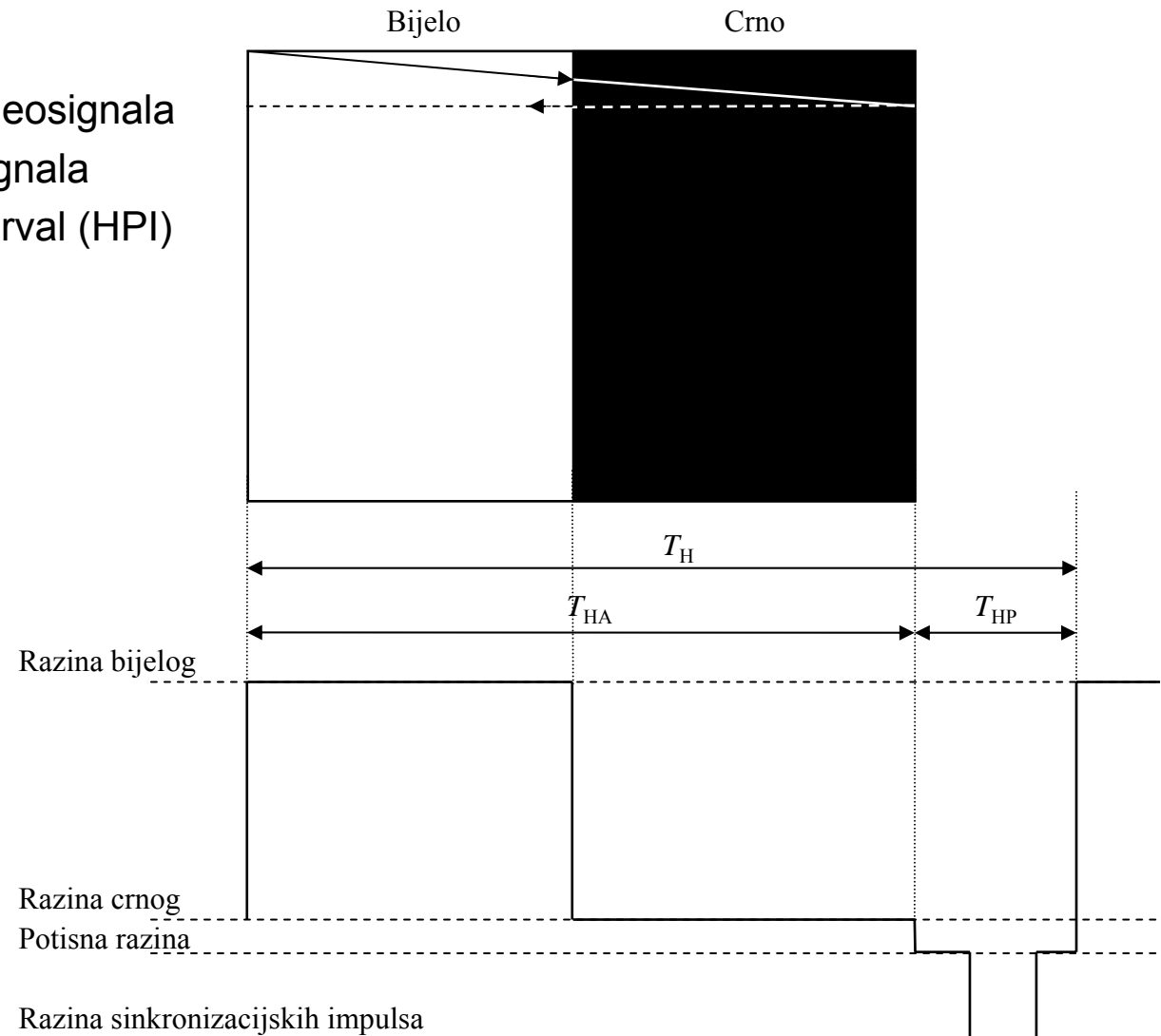
# Sastav videosignala

- vremenski odnosi

$T_H$  - ukupno trajanje linije videosignala

$T_{HA}$  - aktivni dio linije videosignala

$T_{HP}$  - horizontalni potisni interval (HPI)

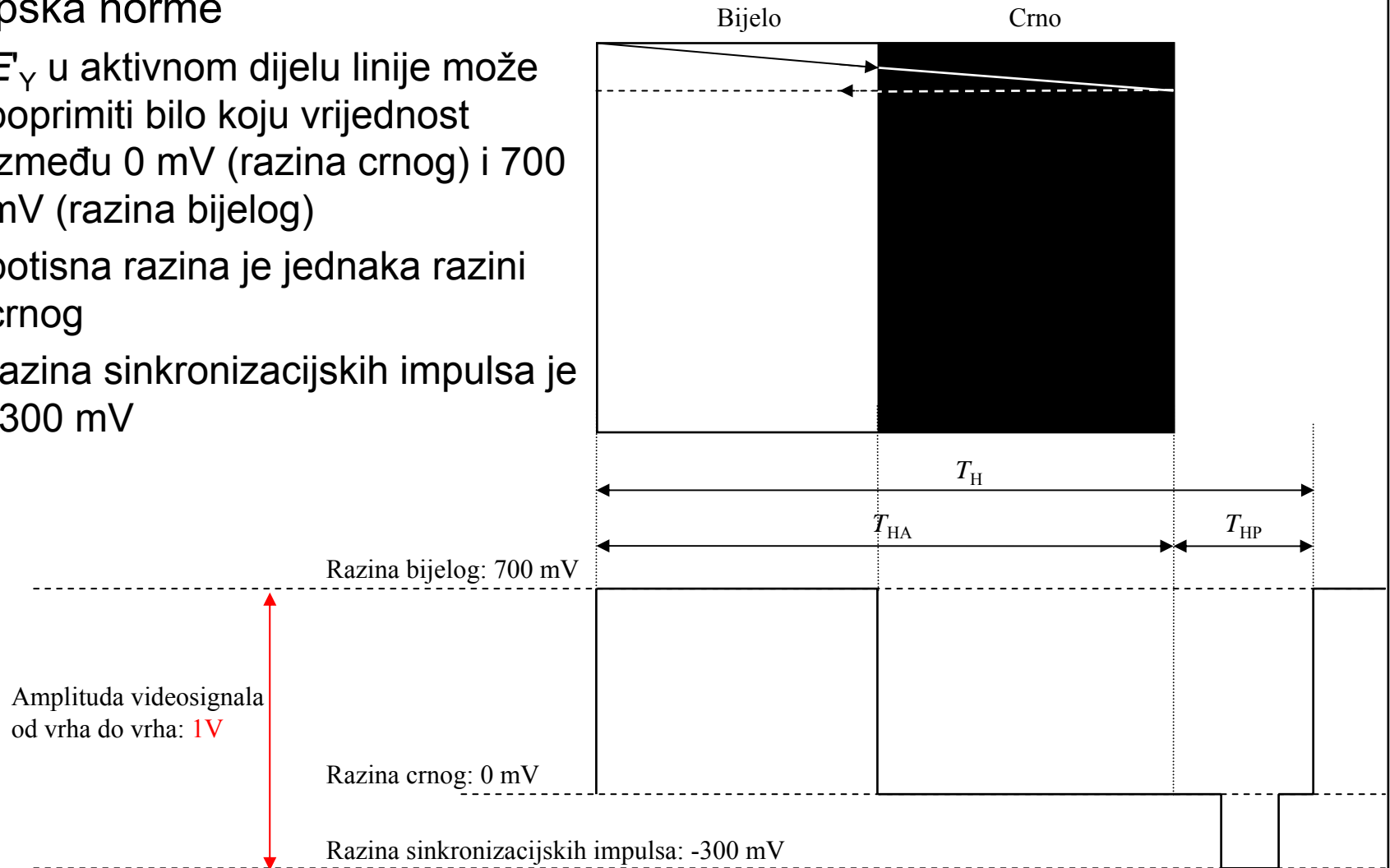


# Sastav videosignala

- horizontalni potisni interval
  - dodaje se nakon aktivnog dijela linije
    - osigurava potiskivanje elektronskog snopa u analizirajućoj cijevi i katodnoj cijevi za vrijeme horizontalnog povratka elektronskog snopa s kraja jedne na početak iduće linije
  - unutar HPI nalaze se horizontalni sinkronizacijski impulsi (HSI)
    - razina sinkronizacijskih impulsa je u području "crnjem od crnog" (ne vide se na ekranu)
    - omogućavaju sinkronizaciju odašiljačke i prijamne strane
- vertikalni potisni interval (VPI)
  - dodaje se nakon završetka analiziranja cijele slike
    - osigurava potiskivanje elektronskog snopa za vrijeme vertikalnog povratka ( $T_{VP}$ ) s kraja jedne na početak iduće slike
  - unutar VPI nalaze se vertikalni sinkronizacijski impulsi (VSI)
    - omogućavaju sinkronizaciju odašiljačke i prijamne strane

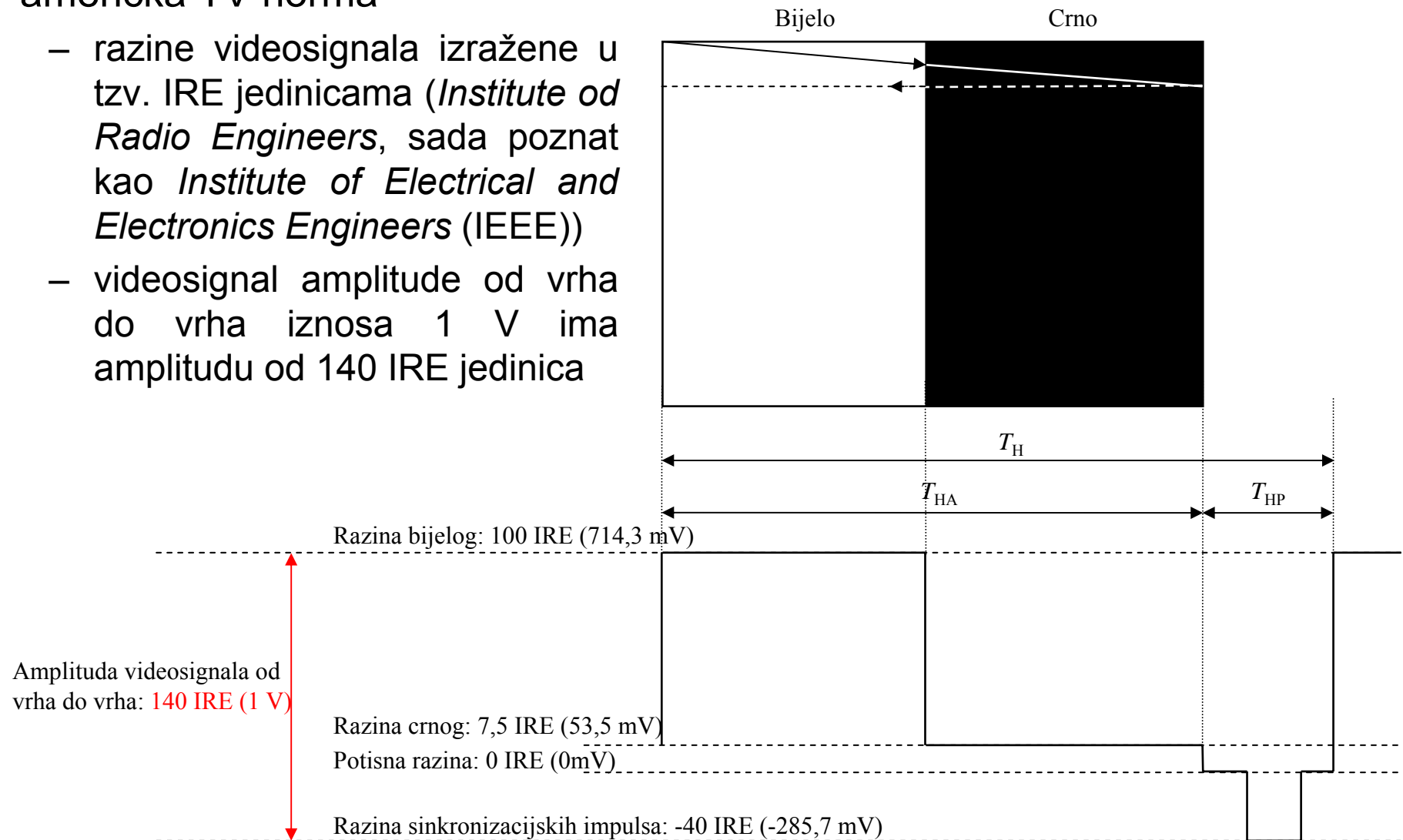
# Amplitudni odnosi u videosignalu

- europska norme
  - $E_Y$  u aktivnom dijelu linije može poprimiti bilo koju vrijednost između 0 mV (razina crnog) i 700 mV (razina bijelog)
  - potisna razina je jednaka razini crnog
  - razina sinkronizacijskih impulsa je -300 mV



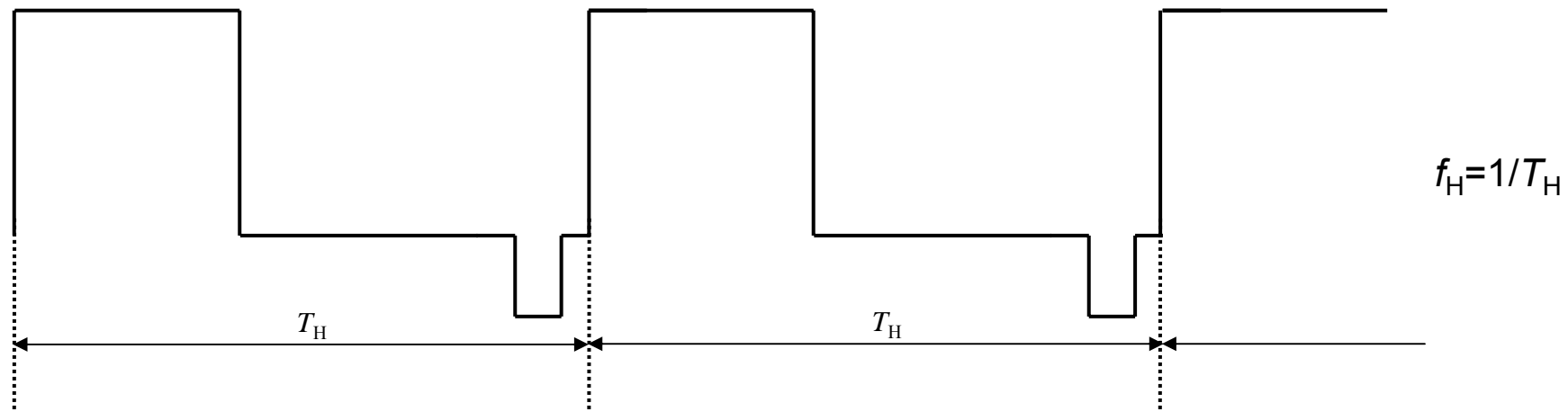
# Amplitudni odnosi u videosignalu

- američka TV norma
  - razine videosignala izražene u tzv. IRE jedinicama (*Institute of Radio Engineers*, sada poznat kao *Institute of Electrical and Electronics Engineers* (IEEE))
  - videosignal amplitude od vrha do vrha iznosa 1 V ima amplitudu od 140 IRE jedinica



# Horizontalna frekvencija

- proces analiziranja se ponavlja po linijama
  - analiziranje u horizontalnom smjeru se provodi u ritmu horizontalne frekvencije  $f_H$  ( $f_H=1/T_H$ )
  - horizontalna frekvencija je frekvencija izmjene linija
  - analiziranjem slike, slika se prikazuje kao slijed linija videosignala
    - povećanjem broja linija na koji se slika razlaže, raste kvaliteta slike ali raste i cijena prijenosnog sustava jer je potrebna veća širina frekvencijskog pojasa za prijenos videosignala



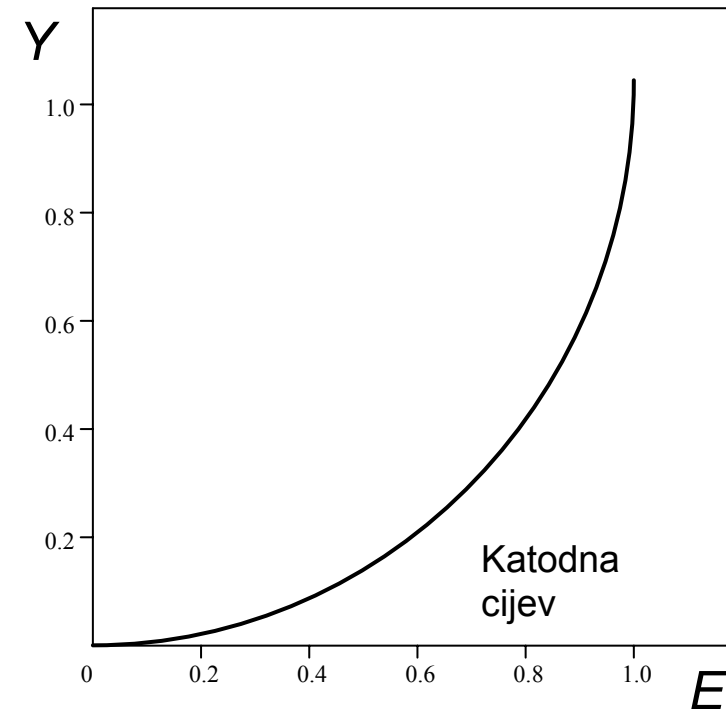
# Reprodukcija slike

- pri reprodukciji slike u katodnoj cijevi napon videosignala modulira struju elektronskog snopa
  - struja elektronskog snopa se mijenja u ovisnosti o promjenama naponskih razina videosignala
  - prednja strana katodne cijevi izvedena je od sloja sastavljenog od posebnih vrsta fosfora koji svijetle kada u njih udari elektronski snop
  - u fosfornom sloju se kinetička energija elektronskog snopa pretvara u svjetlosnu jakost
  - luminancija površine na koju udari elektronski snop proporcionalna je struji elektronskog snopa
- odnos između struje elektronskog snopa i napona videosignala je nelinearan, što izaziva pogrešnu reprodukciju luminantnih razina i boja
- kako bi se nelinearnost pretvorbe električkog signala u svjetlost ispravila provodi se gama-korekcija



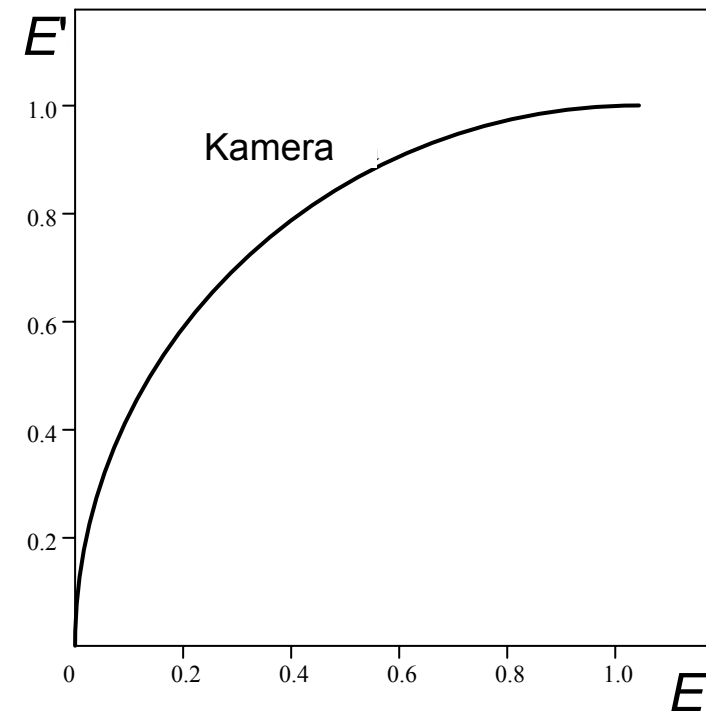
# Gama-korekcija

- nelinearni odnos između napona  $E$ , koji se privodi katodnoj cijevi i luminancije slike  $Y$  može prikazati kao:  $Y=k(E)^\gamma$ 
  - faktor  $\gamma$  (gama-faktor) iskazuje stupanj nelinearnosti koja se pojavljuje pri pretvorbi videosignala u svjetlost
- propisana vrijednost gama-faktora televizijskih prijamnika iznosi europskim TV sustavima  $\gamma = 2,8$ , a u američkom sustavu  $\gamma = 2,2$ 
  - krivulja CRT televizora:
    - $Y=kE^{2,8}$  (Europa)
    - $Y=kE^{2,2}$  (Amerika)



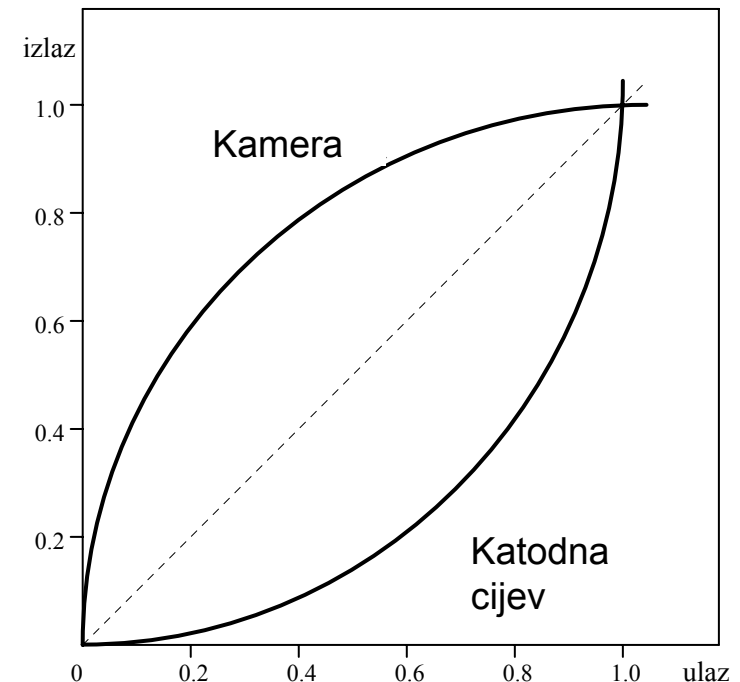
# Gama-korekcija

- gama-korekcija ne provodi se u televizorima
  - neekonomično rješenje (svaki TV prijamnik bi morao sadržavati složeno nelinearno pojačalo)
- gama-korekcija se provodi u kamerama
  - videosignal nastao u kameri ( $E$ ), propušta se preko nelinearnog pojačala i nastaje signal  $E'$
  - pojačalo ima recipročnu karakteristiku karakteristici katodne cijevi
  - gama-faktor tog pojačala iznosi
    - $1/2,8=0,3571$  (Europa)
    - $1/2,2=0,4545$  (Amerika)



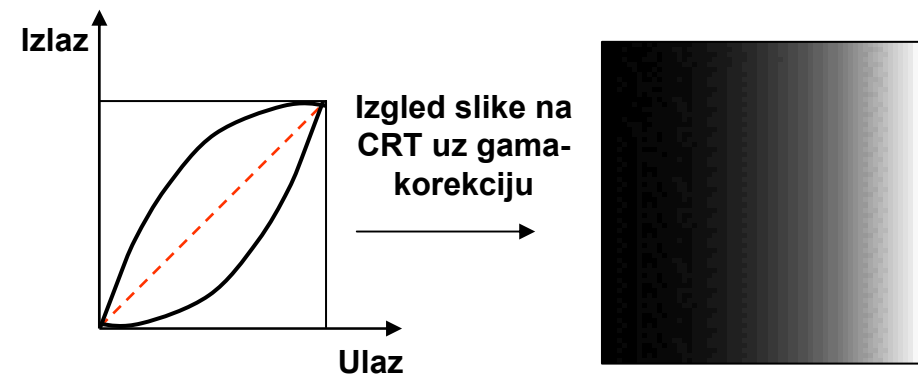
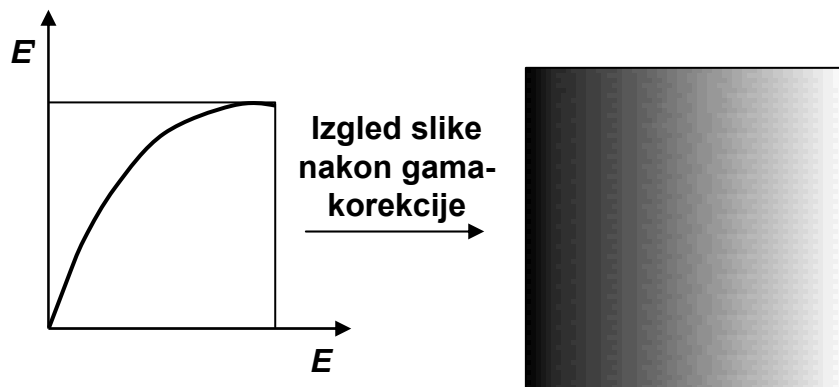
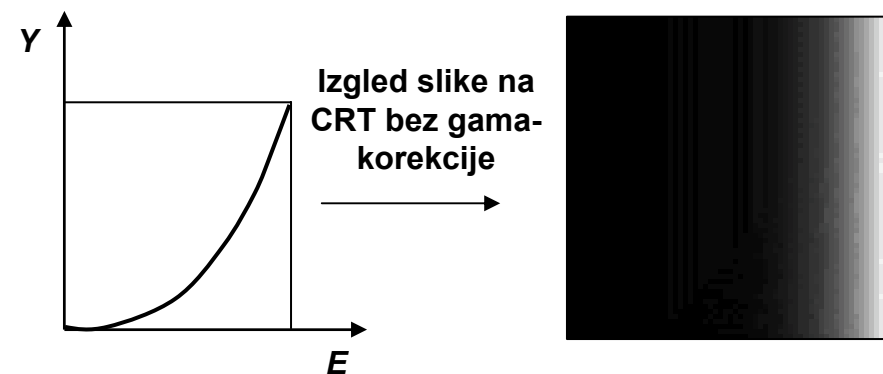
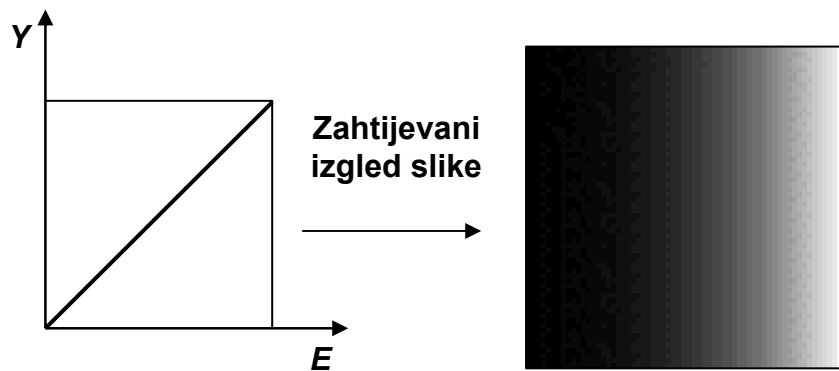
# Gama-korekcija

- provedbom gama-korekcije u kameri poništava se nelinearnost katodne cijevi
- ukupna prijenosna karakteristika je linearna
- u akromatskim kamerama gama-korekcija se provodi na luminantnom signalu
  - $Y \rightarrow E_Y^{1/\gamma} = E'_Y; (E'_Y)^\gamma \rightarrow Y$
- u kamerama u boji gama-korekcija se provodi na signalima primarnih boja
  - $R \rightarrow E_R^{1/\gamma} = E'_R; (E'_R)^\gamma \rightarrow R$
  - $G \rightarrow E_G^{1/\gamma} = E'_G; (E'_G)^\gamma \rightarrow G$
  - $B \rightarrow E_B^{1/\gamma} = E'_B; (E'_B)^\gamma \rightarrow B$



# Gama korekcija

- djelovanje gama-korekcije



# Gama korekcija

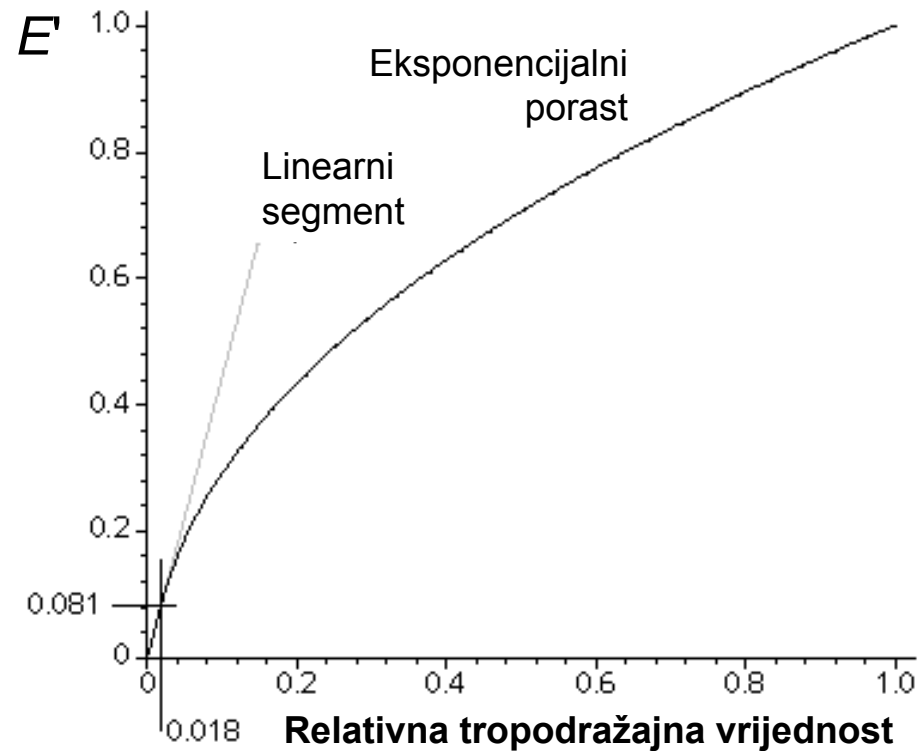
- karakteristika optoelektričke pretvorbe modernih kamera propisana je normama SMPTE-170M\* i ITU-R BT.709

$$E' = 1,099 Y^{1/2,2} - 0,099$$

za  $0,018 \leq Y \leq 1$

$$E' = 4,500 Y$$

za  $Y < 0,018$



\* Society for Motion Pictures  
and Television Engineers

# Gama korekcija

- u multimedijским sustavima, gdje se za reprodukciju slike rabe monitori računala, gama-korekcija postaje složeno pitanje
  - kamere mogu imati fiksni ili promjenjivi gama-faktor ili ga uopće ne moraju imati
  - programska podrška za obradu, kodiranje i pohranjivanje slike može uključivati gama-korekciju s jednim faktorom, a programska podrška za dekodiranje i prikazivanje slike može očekivati drugu vrijednost gama-faktora
  - Macintosh računala provode gama-korekciju gama-faktorom 1,8, SGI računala provode gama-korekciju uz gama-faktorom 1,4, a Sun i PC računala ne normiraju provedbu gama-korekcije
  - LCD monitori imaju linearnu karakteristiku elektrooptičke pretvorbe
- ista slika izgleda različito u različitim sustavima

# Broj linija

- danas su u svijetu u uporabi dvije temeljne norme za televizijske sustave standardne kvalitete (SDTV, *Standard Definition Television*)
  - 525-linijska norma ( $L=485$ , preostalih 40 linija nalazi se u VPI)
  - 625-linijska norma ( $L=575$ , preostalih 50 linija nalazi se u VPI)
- u svijetu je u uporabi veći broj normi za televizijske sustave visoke kvalitete (HDTV, *High Definition Television*)
  - prostorni formati (broj uzoraka u liniji x broj linija u aktivnom dijelu slike)  
1920 x 1152,  $1920 \times 1080$ , 1920 x 1035, 1440 x 1152,  $1280 \times 720$

# Određivanje broja linija

- normizacija broja linija u TV sustavima provedena je na temelju svojstava ljudskog vizualnog sustava
- u projektiranju televizijskih sustava standardne kvalitete pretpostavljeno je da je granični kut oštine vida približno jednak 1,5'
  - vizualna oština je manja jer elementi slike nisu jasno odijeljeni niti su stacionarni (čak ni kada kamera snima mirne slike)
- prilikom određivanja broja linija za analiziranje slike ( $L$ ), broj linija se određuje na temelju dva uvjeta
  - $L$  treba biti dovoljno velik da se ne vidi linijska struktura (tj. da se slika doživljava kao cjelina)
  - $L$  ne treba biti prevelik kako se ne bi prenosili detalji koje ljudsko oko ne vidi

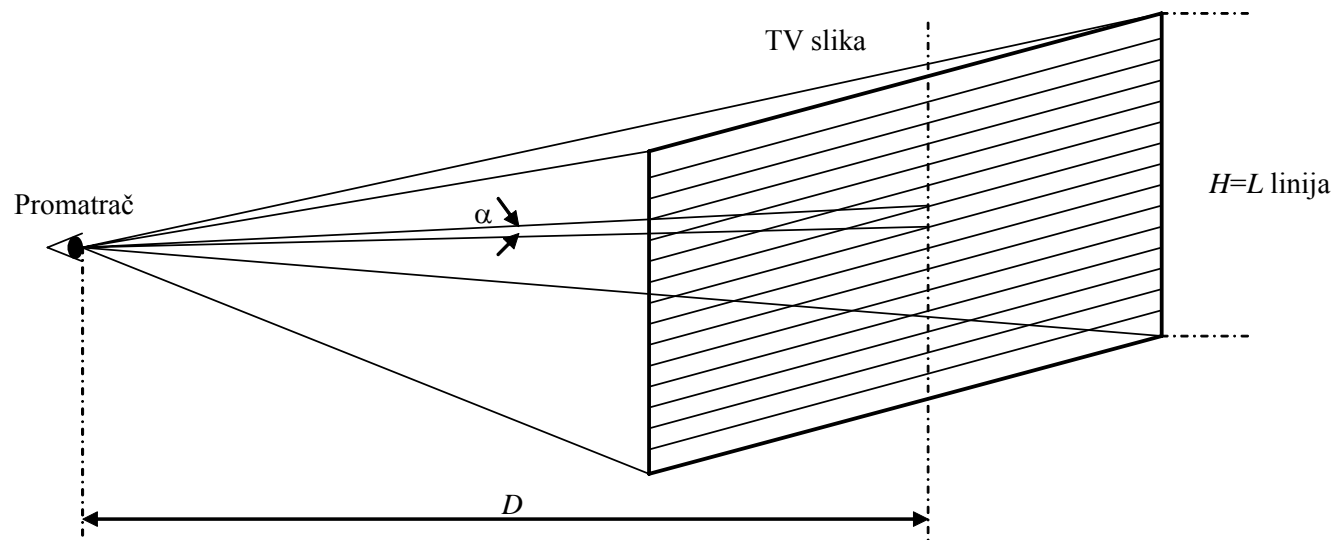


# Određivanje broja linija

- u postupku određivanja potrebnog broja linija u sustavu treba definirati uvjete promatranja kao što su rasvjeta (osvjetljenje) i udaljenost promatrača od slike
  - promjenom udaljenosti mijenja se kut pod kojim oko vidi dva susjedna detalja u slici
  - promjenom rasvjete mijenja se osjetljivost štapića što djeluje na promjenu vidnog kuta
- optimalni broj linija u SDTV sustavima se određuje tako da za određenu udaljenost promatrača od slike ( $D$ ), oko vidi susjedne linije pod kutom koji je približno jednak  $1,5'$
- u SDTV sustavima optimalna udaljenost promatrača od slike iznosi 4-6 visina slike ( $D=4-6H$ )

# Određivanje broja linija

- postupak određivanja potrebnog broja analizirajućih linija u SDTV



$$\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = \frac{H}{2L}$$

$$\alpha = 1,5' \Rightarrow \operatorname{tg} \frac{1,5'}{2} \approx 2 \cdot 10^{-4}$$

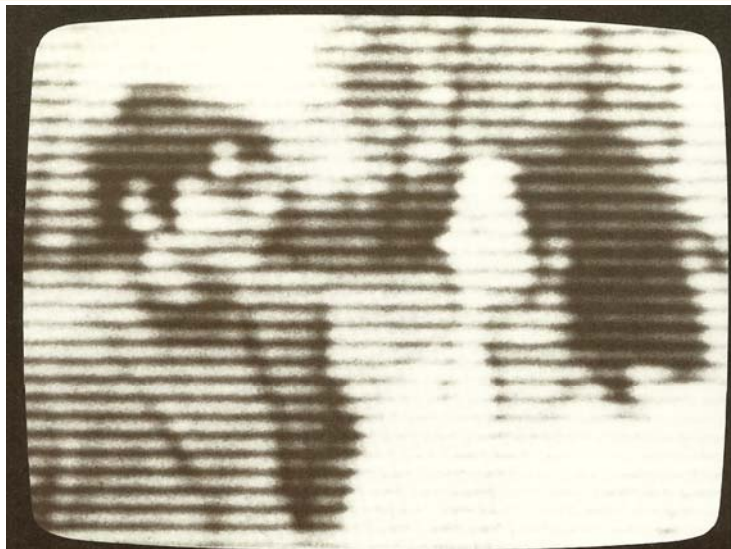
$$L = \frac{H}{2D \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}} = \frac{1}{2 \frac{D}{H} \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}}$$

$$L = \frac{1}{2 \frac{D}{H} 2 \cdot 10^{-4}} \approx \frac{2500}{\frac{D}{H}}$$

$$\frac{D}{H} = 4 - 6 \Rightarrow L = 625 - 417$$

- broj linija u SDTV sustavima treba biti između 417 i 625
- SDTV norme
  - 525-linijska norma ( $L=485$ , preostalih 40 linija nalazi se u VPI)
  - 625-linijska norma ( $L=575$ , preostalih 50 linija nalazi se u VPI)

# Određivanje broja linija



30 Zeilen ▲

▼ 60 Zeilen



180 Zeilen ▲

▼ 600 Zeilen



# Određivanje broja linija

- u projektiranju televizijskih sustava visoke kvalitete pretpostavljen je granični kut oštine vida od 1'
- u HDTV sustavima optimalna udaljenost promatrača od slike iznosi 3 visine slike ( $D=3H$ )
- za HDTV sustave vrijedi

$$\alpha = 1' \Rightarrow \operatorname{tg} \frac{1'}{2} \approx 1,45 \cdot 10^{-4}$$

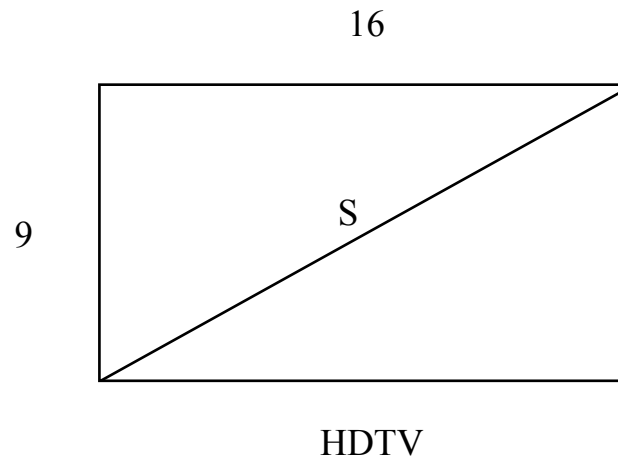
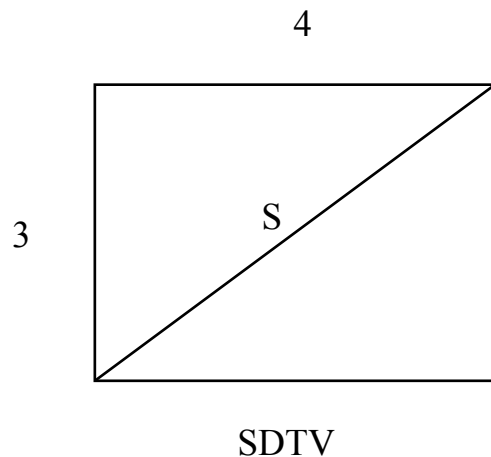
$$L = \frac{1}{2 \frac{D}{H} 1,45 \cdot 10^{-4}} \approx \frac{3448}{\frac{D}{H}}$$

$$\frac{D}{H} = 3 \Rightarrow L = 1149$$

- odabrani broj linija u HDTV sustavu iznosi **L=1080**
- ukupan broj linija u HDTV sustavu je 1125

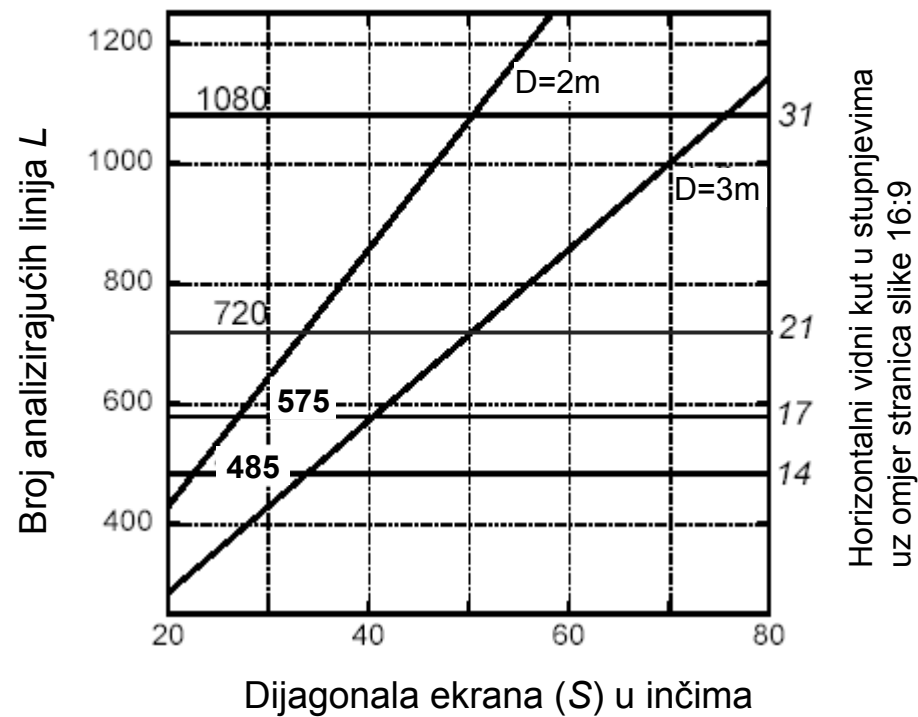
# Omjer stranica slike

- omjer stranica slike (AR, *Aspect Ratio*) je definiran kao omjer širine ( $W$ ) i visine ( $H$ ) slike
- u sustavima standardne televizije (SDTV) omjer stranica je 4:3 (1,33:1)
- u sustavima televizije visoke kvalitete (HDTV) omjer stranica je 16:9 (1,78:1)
- veličine televizijskog ekrana se najčešće izražavaju preko duljine dijagonale ekrana ( $S$ ) iskazane u inčima



# Utjecaj veličine ekrana

- ovisnost udaljenosti promatranja i veličine ekrana



# Frekvencija izmjene slika

- pokreti koje u prirodi vidimo kao kontinuirane, u u videosignalu prikazuju se uz pomoć više slika koje slijede jedna iza druge pri čemu svaka pokazuje određenu fazu kretanja
  - minimalan potreban broj slika za doživljaj kontinuiteta pokreta je **10 slika/s**
  - za brze pokrete javlja se dojam neoštine i 10 slika/s je preniska vrijednost
- dodatka poteškoća: nestanak slike za vrijeme VPI može dovesti do efekta treptanja (*flicker*)
  - pojava da gledatelj vidi zatamnjenje umetnuto između dvije slike
  - efekt treptanja nestaje pri dovoljno visokoj frekvenciji izmjene slika ( $f_s$ )
  - efekt treptanja nestaje za većinu ljudi pri frekvencijama izmjene slika **višim od 50 Hz** (50 slika u sekundi)
- uvodi se pojam vertikalne frekvencije ( $f_v$ )
  - frekvencija s kojom se pojavljuje VPI
  - u SDTV sustavima  $f_v \neq f_s$

# Frekvencija izmjene slika

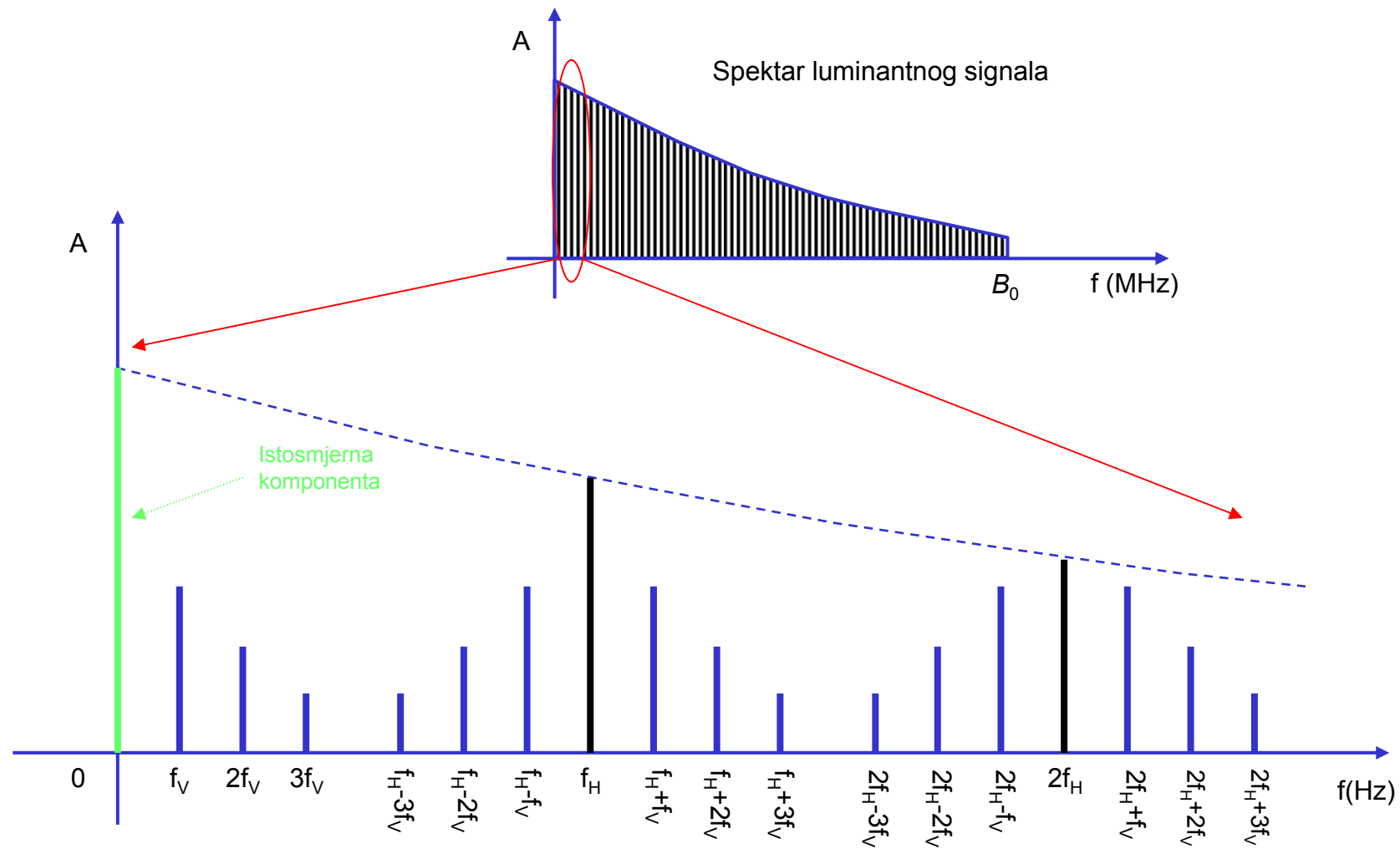
- europska norma za analiziranje slike (625/50)
  - ukupan broj linija u slici:  $L_U=625$
  - broj linija u aktivnom dijelu slike:  $L=575$
  - vertikalna frekvencija:  $f_V=50$  Hz
  - frekvencija izmjene slika:  $f_S=25$  Hz
  - horizontalna frekvencija:  $f_H = L_U \cdot f_S = 625 \cdot 25 = 15\,625$  Hz
  - trajanje jedne linije videosignala:  $T_H = 1/f_H = 64$   $\mu$ s
- američka norma za analiziranje slike u crno-bijeloj TV (525/60)
  - ukupan broj linija u slici:  $L_U=525$
  - broj linija u aktivnom dijelu slike:  $L=485$
  - vertikalna frekvencija:  $f_V=60$  Hz
  - frekvencija izmjene slika:  $f_S=30$  Hz
  - horizontalna frekvencija:  $f_H = L_U \cdot f_S = 525 \cdot 30 = 15\,750$  Hz
  - trajanje jedne linije videosignala:  $T_H = 1/f_H = 63,49$   $\mu$ s
  - u televiziji u boji promijenjena je  $f_H$ , a time je promijenjena i  $f_V$  na 59,94 Hz i  $f_S$  na 29,97 Hz



# Spektar videosignala

- spektralne komponente nastale analiziranjem mirne slike su razmještene na razmacima određenim višekratnicima od  $f_H$  i  $f_V$ 
  - oblikuju ga komponente  $nf_H$  čije amplitude opadaju porastom frekvencije
  - oko svake komponente  $nf_H$  pojavljuju se harmonici od  $f_V$  ( $nf_H \pm mf_V$ )
- spektar videosignala se teorijski širi do beskonačnosti
  - u praksi se spektar ograničava određivanjem širine osnovnog pojasa videosignala ( $B_0$ ), koja se razlikuje u različitim sustavima
    - visokofrekvencijske (VF) komponente za većinu slika imaju male amplitude i njihovo zanemarivanje neće bitno smanjiti kvalitetu slike
    - ljudskom vizualnom sustavu porastom frekvencije opada osjetljivost
    - 625/50  $\rightarrow B_0=5$  MHz
    - 525/60  $\rightarrow B_0=4,2$  MHz
    - 1125/50P, 1125/60P  $\rightarrow B_0=60$  MHz
    - 1125/50I, 1125/60I  $\rightarrow B_0=30$  MHz

# Spektar videosignala



# Spektar videosignala

- koliki broj harmonika od  $f_H$  se prenosi u sustavima 625/50 i 525/60 ukoliko se rabi progresivno analiziranje ( $f_S = f_V$ )?

- 625/50 sustav ( $B_0 = 5$  MHz)

$$f_H = L_U \cdot f_S = 625 \cdot 50 = 31\,250 \text{ Hz}$$

broj harmonika od  $f_H$  je:  $5 \text{ MHz} / 31\,250 = 160$

- 525/60 sustav ( $B_0 = 4,2$  MHz)

$$f_H = L_U \cdot f_S = 525 \cdot 60 = 31\,500 \text{ Hz}$$

broj harmonika od  $f_H$  je:  $4,2 \text{ MHz} / 31\,500 = 133$

Premali broj  
frekvencijskih  
komponenti!

Rješenje:  
smanjenje  $f_H$   
ili  
povećanje  $B_0$

- rješenje: analiziranje s proredom (*interlaced scanning*)
  - slika (*frame*) se dijeli na dvije poluslike (*field*)
  - unutar jedne slike prenose se dva VPI
  - broj linija u poluslici je dvostruko manji od ukupnog broja linija u slici

# Analiziranje s proredom

- analiziranje s proredom
  - vertikalna frekvencija ( $f_V$ ) je frekvencija izmjene poluslika, tj. frekvencija pojavljivanja VPI (zatamnjenja)
    - $f_V$  je dvostruko viša od frekvencije izmjene slika ( $f_V = 2 \cdot f_S$ )
    - $f_H$  je dvostruko niža od  $f_H$  sustava s progresivnim analiziranjem (uz uvjet da sustav s progresivnim analiziranjem ima jednaku frekvenciju pojave VPI)

Slika



1. poluslika



2. poluslika

# Analiziranje s proredom

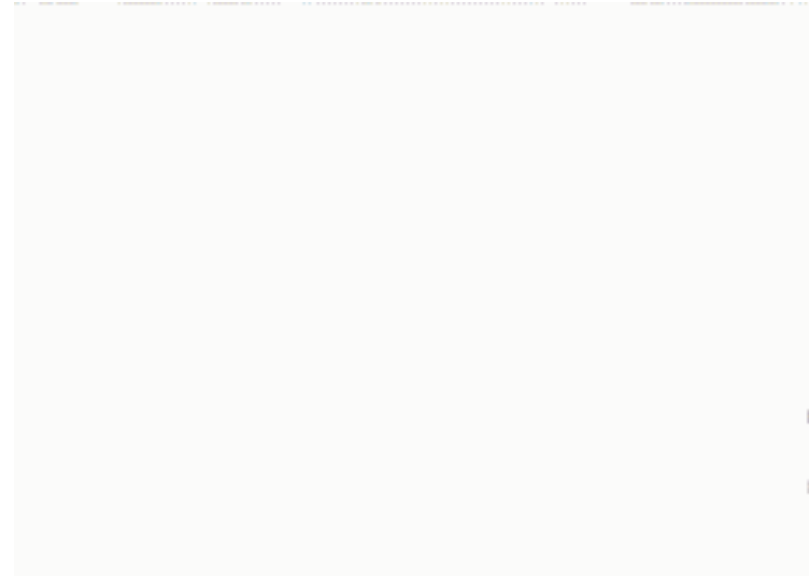
- analiziranje s proredom
  - $f_H = L_U \cdot f_S = (L_U / 2) \cdot f_V$ 
    - 625/50 sustav  $\rightarrow f_H = 625 \cdot 25 \text{ Hz} = 312,5 \cdot 50 = 15\,625 \text{ Hz}$
  - trajanje linije videosignala:  $T_H = 1/f_H$ 
    - 625/50 sustav  $\rightarrow T_H = 1/15\,625 \text{ Hz} = 64 \text{ }\mu\text{s}$
  - trajanje poluslike:  $T_V = 1/f_V$ 
    - 625/50 sustav  $\rightarrow T_V = 1/50 \text{ Hz} = 20 \text{ ms}$
  - trajanje slike:  $T_S = 2 \cdot T_V$ 
    - 625/50 sustav  $\rightarrow T_S = 2 \cdot 20 \text{ ms} = 40 \text{ ms}$
  - frekvencija izmjene slika:  $f_S = 1/T_S$ 
    - 625/50 sustav  $\rightarrow f_S = 1/40 \text{ ms} = 25 \text{ Hz}$

# Analiziranje s proredom

Progresivno analiziranje

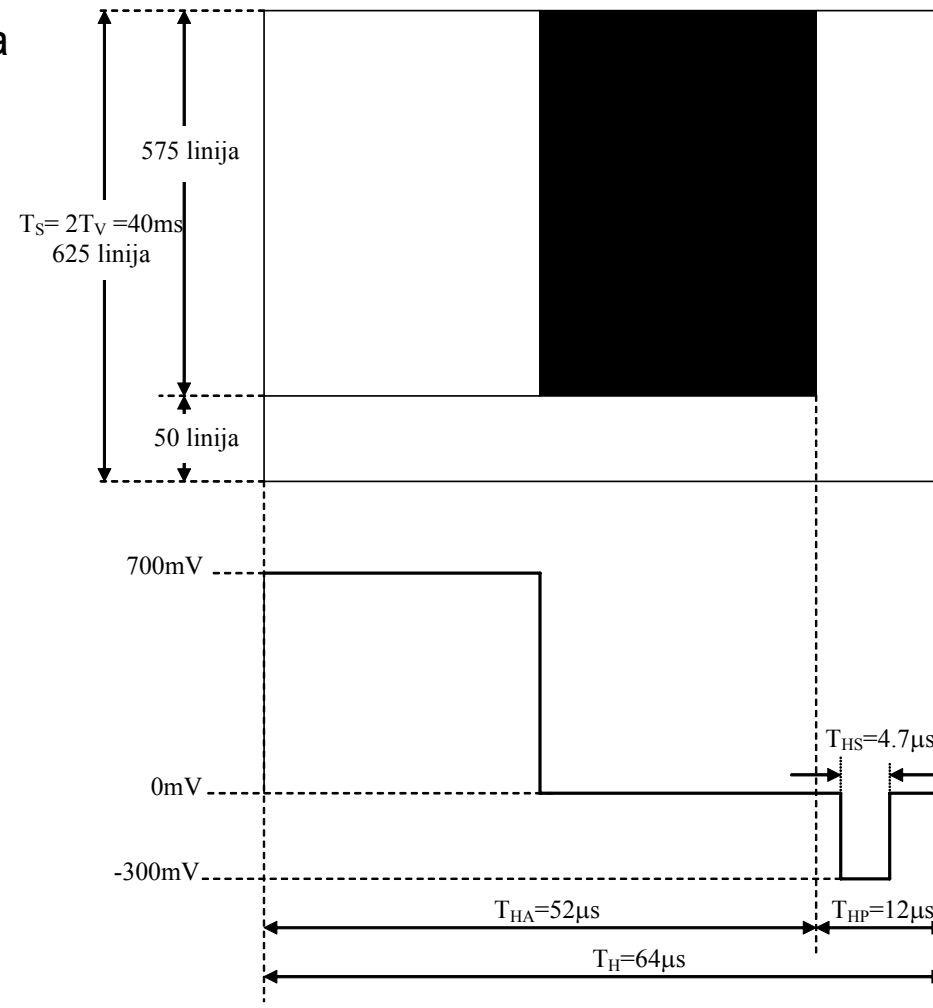


Analiziranje s proredom



# Parametri signala

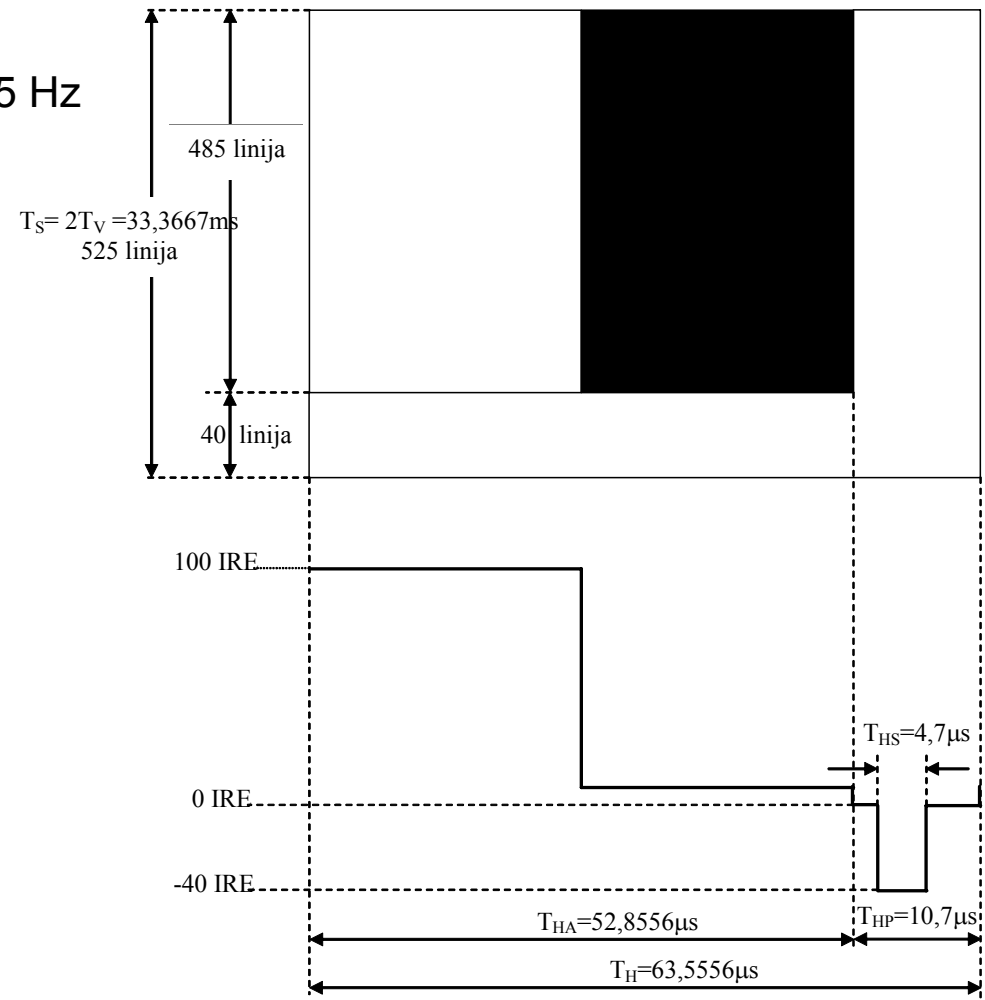
- 625/50 sustav
  - ukupno trajanje linije videosignala  
 $T_H = 64 \mu s$
  - aktivni dio linije videosignala  
 $T_{HA} = 52 \mu s$
  - horizontalni potisni interval (HPI)  
 $T_{HP} = 12 \mu s$
  - ukupno trajanje slike  
 $T_S = 625 \cdot 64 \mu s = 40 \text{ ms}$
  - aktivno vrijeme analiziranja slike  
 $T_{SA} = 575 \cdot 52 \mu s = 29,9 \text{ ms}$



# Parametri signala

- 525/60 sustav

- $f_V = 59,94 \text{ Hz}$  (60/1,001 Hz)
- $f_H = f_V \cdot L_U / 2 = 59,94 \cdot 262,5 = 15734,25 \text{ Hz}$
- ukupno trajanje linije videosignala  
 $T_H = 63,5556 \mu\text{s}$
- aktivni dio linije videosignala  
 $T_{HA} = 52,8556 \mu\text{s}$
- horizontalni potisni interval (HPI)  
 $T_{HP} = 10,7 \mu\text{s}$
- ukupno trajanje poluslike  
 $T_V = 1/f_V = 1/59,94 = 16,68335 \text{ ms}$
- ukupno trajanje slike  
 $T_S = 2 \cdot T_V = 33,3667 \text{ ms}$
- frekvencija izmjene slika  
 $f_S = 1/33,3667 = 29,97 \text{ Hz}$



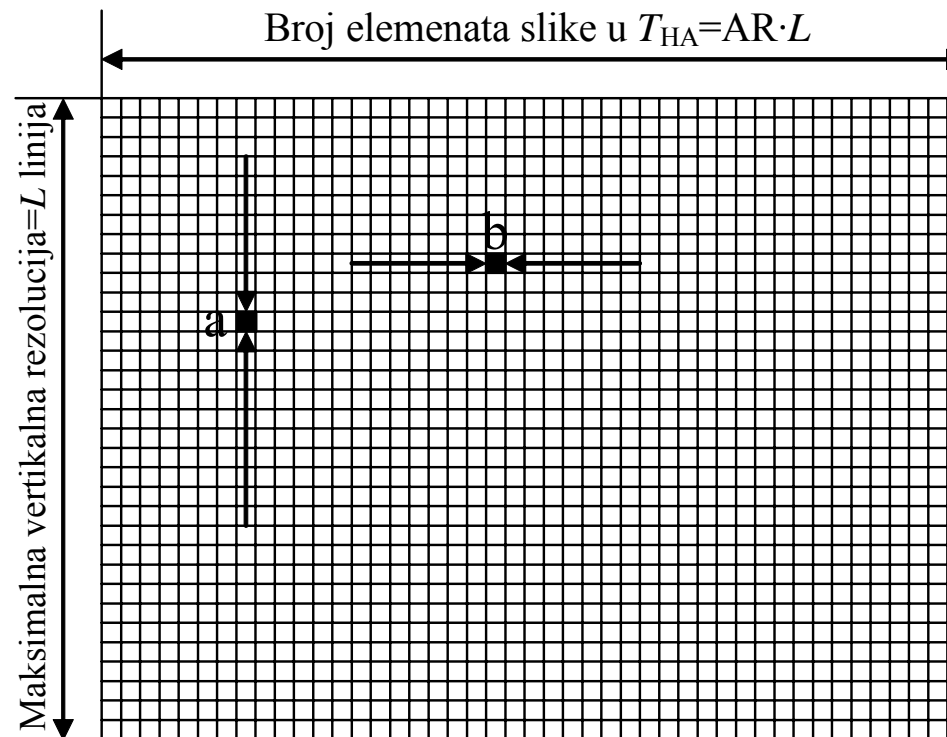


# Rezolucija

- vertikalna rezolucija
  - broj crnih i bijelih horizontalnih linija koje se uzastopno izmjenjuju po visini slike, a mogu biti međusobno razlikovane od strane ljudskog vizualnog sustava
  - ovisi o broju analizirajućih linija ( $L$ ) po visini slike ( $H$ ) za vrijeme analiziranja slike te značajkama optoelektričke i elektrooptičke pretvorbe
- horizontalna rezolucija
  - broj crnih i bijelih vertikalnih linija koje se uzastopno izmjenjuju po širini slike ( $W$ ) pri čemu širina slike na kojoj se mjeri rezolucija mora biti jednaka visini slike
  - u SDTV omjer stranica (AR) slike je 4:3
    - za određivanje rezolucije širinu slike treba pomnožiti s  $3/4$
  - u HDTV omjer stranica (AR) slike je 16:9
    - za određivanje rezolucije širinu slike treba pomnožiti s  $9/16$

# Rezolucija

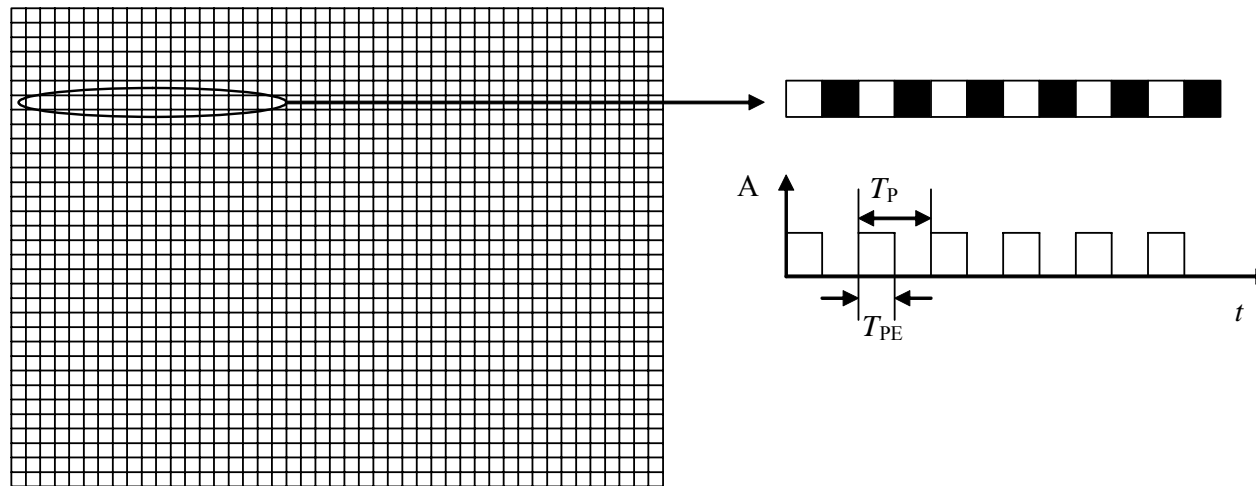
- pretpostavka: rezolucije u horizontalnom i vertikalnom smjeru su jednake
  - razmak između analizirajućih linija ( $a$ ) određuje širinu elementa slike ( $b$ )
  - broj elemenata slike u  $T_{HA}$  iznosi ( $AR \cdot L$ )



$a=b$   
elementi slike  
su kvadratični

# Rezolucija

- za mjerenje rezolucije susjedni elementi slike trebaju imati različitu luminanciju
  - pretpostavka: u slici se izmjenjuju bijeli i crni elementi slike



Ukupan broj elemenata slike u aktivnom dijelu slike  $T_{SA}$ :  $(AR \cdot L) \cdot L$

Trajanje jednog elemenata slike:  $T_{PE} = T_{SA} / (AR \cdot L \cdot L) = (T_{HA} \cdot L) / (AR \cdot L \cdot L) = T_{HA} / (AR \cdot L)$

Perioda signala:  $T_P = 2 \cdot T_{PE}$

Frekvencija signala:  $f_P = 1/T_P = (AR \cdot L) / (2 \cdot T_{HA})$

# Rezolucija

- 625/50 sustav
  - ukupan broj elemenata slike u aktivnom dijelu slike:  
 $4/3 \cdot 575 \cdot 575 \approx 440\,833$
  - trajanje jednog elemenata slike:  
 $T_{PE} = 29,9 \text{ ms} / 440\,833 = 0,0678 \text{ } \mu\text{s}$
  - perioda signala:  
 $T_P = 2 \cdot 0,0678 = 0,1356 \text{ } \mu\text{s}$
  - frekvencija signala:  
 $f_P = 1 / 0,1356 \text{ } \mu\text{s} = 7,37 \text{ MHz}$
  - za prijenos TV signala (pod navedenim pretpostavkama) bila bi potrebna širina frekvencijskog pojasa videosignala od  $B = 7,37 \text{ MHz}$
- vertikalna rezolucija je ograničena
  - sve linije u aktivnom dijelu slike nisu vidljive
  - ograničenje vertikalne rezolucije se iskazuje preko Kellovog faktora ( $K$ )
    - $K$  je omjer broja vidljivih linija u slici i ukupnog broja linija u aktivnom dijelu slike
  - Kellov faktor se za pojedine sustave određuje vizualnim ispitivanjima u strogo kontroliranim uvjetima

# Rezolucija

- u SDTV pretpostavlja se da je Kellov faktor  $K=0,7$  (za HDTV  $K=0,9$ )
  - vertikalna rezolucija nije  $L$  linija, već je  $(L \cdot 0,7)$  linija
- vertikalna rezolucija nakon uključivanja  $K$  iznosi
  - 625/50 norma  $\rightarrow 575 \cdot 0,7 \approx 402$  linije
  - 525/60 norma  $\rightarrow 485 \cdot 0,7 \approx 339$  linija
- zbog uvođenja Kellovog faktora dolazi do smanjenja potrebne širine frekvencijskog pojasa videosignala tako da ona iznosi  $B = 0,7 \cdot f_p$
- opća formula za određivanje širine pojasa videosignala je:

$$B = K \cdot f_p = \frac{K \cdot AR \cdot L}{2 \cdot T_{HA}}$$

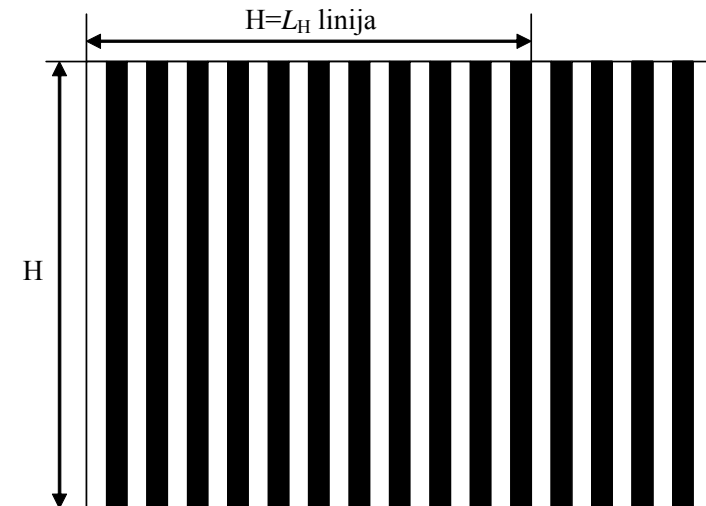
- 625/50 sustav
  - $B = 0,7 \cdot f_p = 0,7 \cdot 7,37 \text{ MHz} = 5,159 \text{ MHz}$
  - Nominalna (standardna) širina pojasa videosignala je  $B_0=5 \text{ MHz}$ !**
- za HDTV vrijedi  $K=0,9$

# Horizontalna rezolucija

- mjera kvalitete TV sustava ili uređaja
  - definira na širini jednakoj visini slike ( $H$ )
  - promatra se aktivni dio linije ( $T_{HA}$ )
- izražava se preko
  - broja crnih i bijelih vertikalnih linija jednake širine ( $HL$ ) koje se još mogu međusobno razlikovati na ekranu
  - videofrekvencije  $B_V$  generirane slikom koja sadrži crno-bijele vertikalne pruge jednake širine, koje se još mogu međusobno razlikovati na ekranu

$$B_V = \frac{1}{2} \frac{AR \cdot L_H}{T_{HA}} \quad L_H = \frac{2B_V T_{HA}}{AR}$$

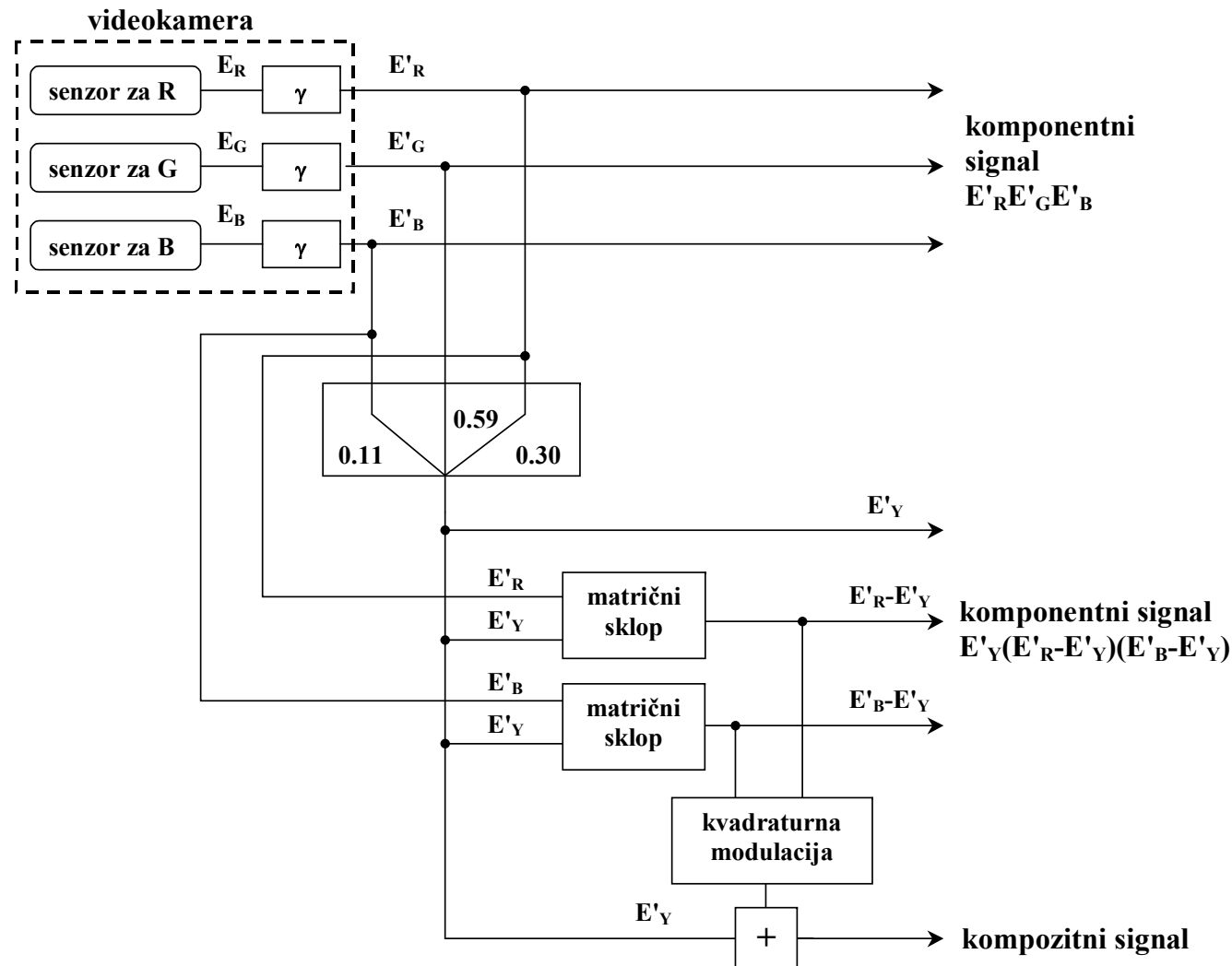
- $625/50 \rightarrow T_{HA} = 52 \mu s \rightarrow L_H = 78 \cdot B_V$   
( $B_V$  je frekvencija izražena u MHz)
- maksimalna horizontalna rezolucija u 625/50 sustavu se dobiva za  $B_V = B_0 = 5 \text{ MHz}$ 
  - $L_{Hmaks} = 78 \cdot B_V = 78 \cdot 5 \text{ MHz} \approx 390$  linija



- približno vrijedi:  
Povećanje širine pojasa za 1 MHz donosi dobitak u horizontalnoj rezoluciji od približno 80 linija.

# Komponente signala u boji

- kompozitni i komponentni videosignal



# Komponente signala u boji

- televizijski signal u boji nastaje u kameri koja sadrži odvojene senzore za svaku boju
  - izlazni signali iz kamere su gama-korigirani signali primarnih boja: crvene ( $E'_R$ ), zelene ( $E'_G$ ) i plave ( $E'_B$ ), koji čine prvi oblik komponentnog videosignala
- preoblikovanjem signala primarnih boja nastaje
  - drugi oblik komponentnog videosignala
    - luminantna komponenta ( $E'_Y$ ) + dvije krominantne komponente (signal razlike za crvenu boju ( $E'_R - E'_Y$ ) i signal razlike za plavu boju ( $E'_B - E'_Y$ ))
  - kompozitni signal u skladu s jednom od triju normi
    - NTSC - *National Television Systems Committee*
    - PAL - *Phase Alternation Line*
    - SECAM - *Séquentiel Couleur avec Mémoire*



# Komponente signala u boji

Razine signala



$E'_R$

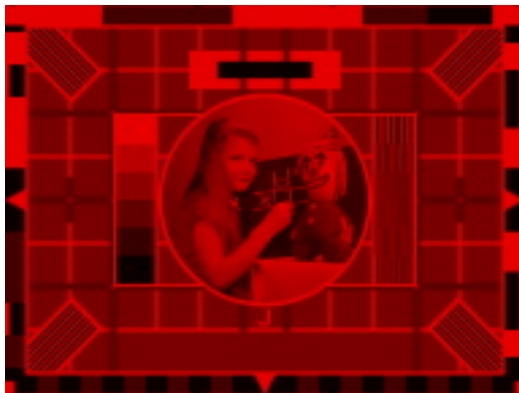


$E'_G$

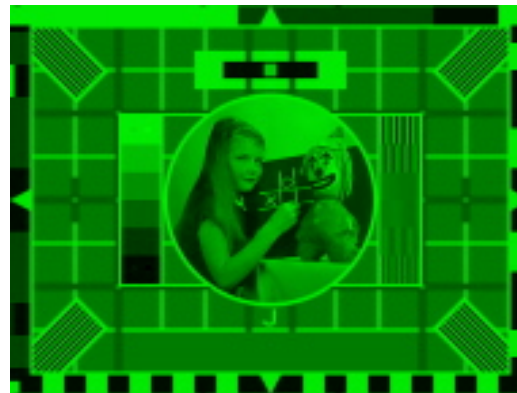


$E'_B$

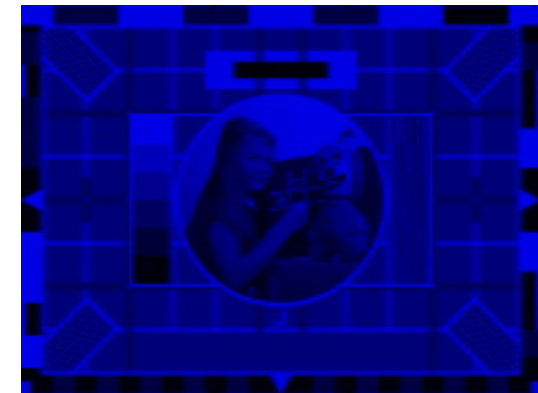
Prikaz na monitoru



$E'_R$



$E'_G$



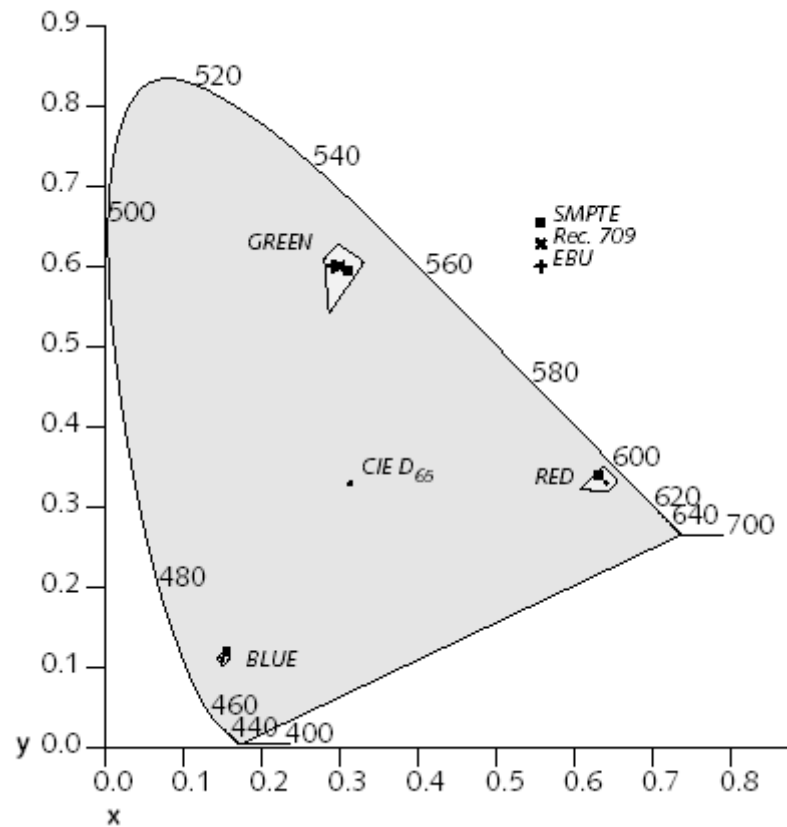
$E'_B$

# Primari u televiziji

- TV primari  $\neq$  CIE primari
  - ovise o fosforima u TV prijamniku (r - *receiver*) koji trebaju dati svjetlost primarnih boja određenih valnom duljinom uz dovoljni intenzitet
    - $\lambda(Rr) = 610 \text{ nm}$
    - $\lambda(Gr) = 540 \text{ nm}$
    - $\lambda(Br) = 465 \text{ nm}$
- EBU (*European Broadcasting Union*) primari
- u akromatskoj televiziji luminantni signal  $E'_Y$  stvara crno-bijelu sliku
  - za bijelu sliku u akromatskoj TV vrijedi:  $E'_Y = 1$
- u kromatskoj televiziji (televiziji u boji) luminantni signal  $E'_Y$  se dobiva zbrajanjem signala primarnih boja:  $E'_R$ ,  $E'_G$ ,  $E'_B$ 
  - za bijelu sliku u kromatskoj TV vrijedi:  $E'_R=1$ ,  $E'_G=1$ ,  $E'_B=1$
  - ako bi u kromatskoj TV vrijedilo :  $E'_Y=E'_R+E'_G+E'_B$ , za bijelu sliku vrijedilo bi da je  $E'_Y=3$
- jakosti signala za crvenu  $E'_R$ , zelenu  $E'_G$  i plavu  $E'_B$  boju u kromatskoj TV odabiru se u skladu sa svojstvima ljudskog vizualnog sustava

# Primari u televiziji

- kromatske koordinate primarnih boja u različitim TV sustavima



## NTSC primari (bijelo-C)

R:	$x_r=0.67$	$y_r=0.33$
G:	$x_g=0.21$	$y_g=0.71$
B:	$x_b=0.14$	$y_b=0.08$

## SMPTE primari (bijelo-D65)

R:	$x_r=0.630$	$y_r=0.340$
G:	$x_g=0.310$	$y_g=0.595$
B:	$x_b=0.155$	$y_b=0.070$

## EBU primari (bijelo-D65)

R:	$x_r=0.64$	$y_r=0.33$
G:	$x_g=0.29$	$y_g=0.60$
B:	$x_b=0.15$	$y_b=0.06$

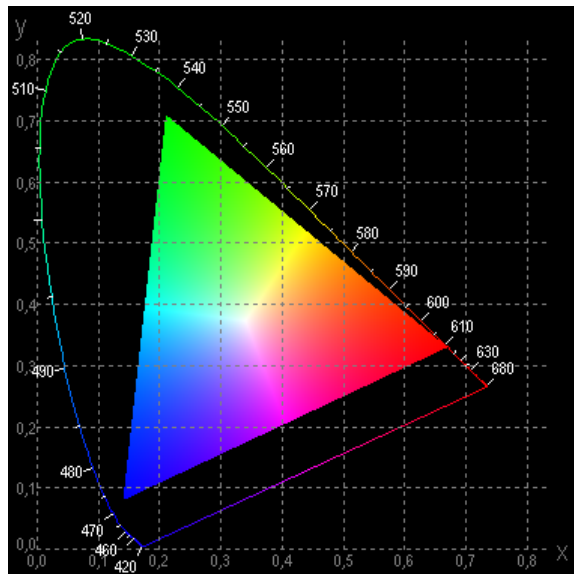
## ITU-R BT.709 primari (bijelo-D65)

R:	$x_r=0.64$	$y_r=0.33$
G:	$x_g=0.30$	$y_g=0.60$
B:	$x_b=0.15$	$y_b=0.06$

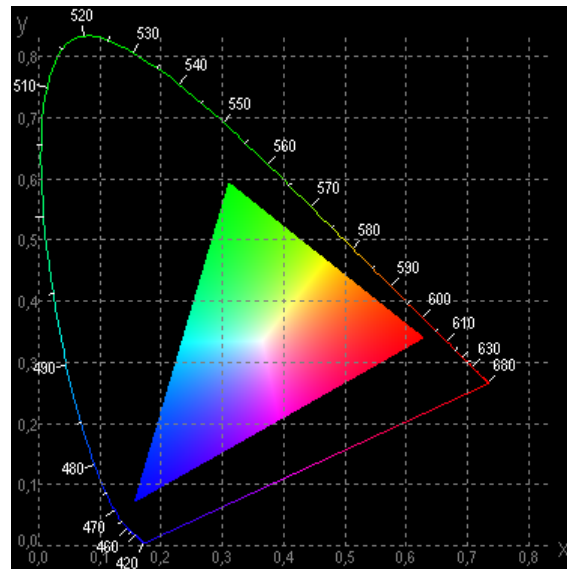
# Primari u televiziji

- opseg boja za različite vrste TV primara u dijagramu kromatičnosti

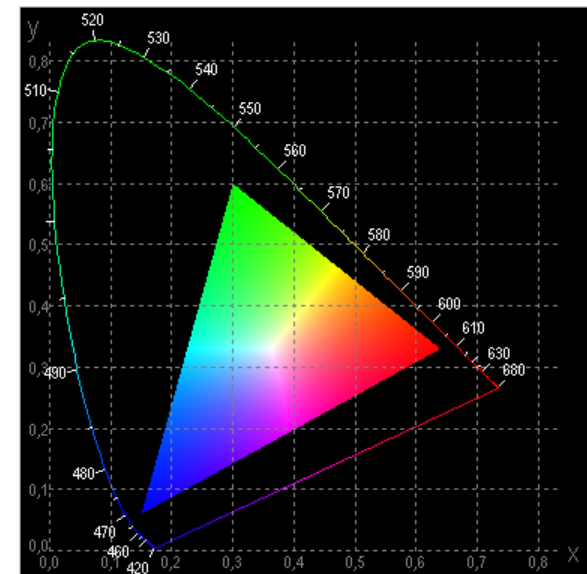
NTSC primari



SMPTE primari

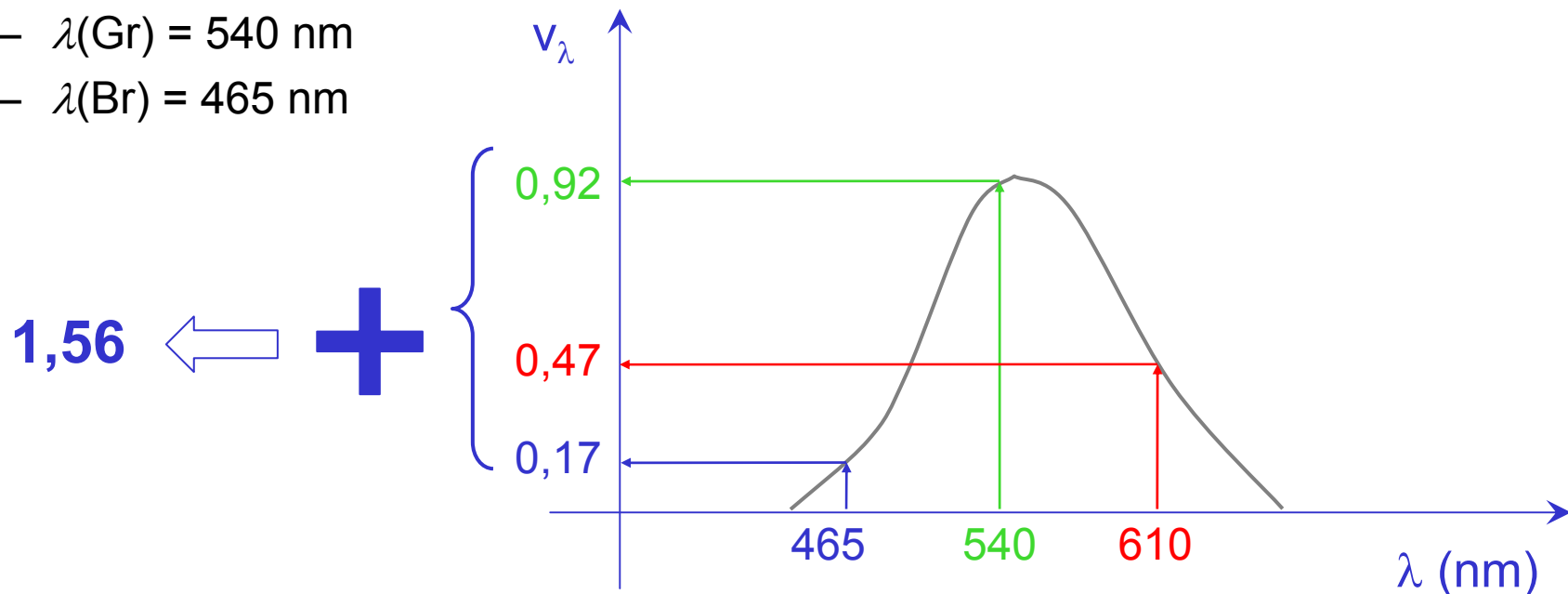


EBU primari



# Dobivanje signala $E_Y$

- krivulja luminoznosti
  - omogućava dobivanje luminantnog signala iz signala za primarne boje (u jednoj fazi razvoja televizije omogućila je kompatibilnost akromatske i kromatske televizije)
- EBU primari (europski TV sustavi)
  - $\lambda(Rr) = 610 \text{ nm}$
  - $\lambda(Gr) = 540 \text{ nm}$
  - $\lambda(Br) = 465 \text{ nm}$



# Dobivanje signala $E_Y$

$$v_\lambda(\text{Rr}) = 0,47$$

$$v_\lambda(\text{Gr}) = 0,92$$

$$+ \quad v_\lambda(\text{Br}) = 0,17$$

---


$$1,56$$

- relativni koeficijenti luminoznosti:

$$\overline{v}_\lambda(\text{Rr}) = \frac{0.47}{1.56} = 0.30$$

$$\overline{v}_\lambda(\text{Gr}) = \frac{0.92}{1.56} = 0.59$$

$$\overline{v}_\lambda(\text{Br}) = \frac{0.17}{1.56} = 0.11$$

$$E'_Y = 0,3 \cdot E'_R + 0,59 \cdot E'_G + 0,11 \cdot E'_B$$

# Dobivanje signala $E_Y$

- bijela slika
  - $E'_R = E'_G = E'_B = 1$
  - $E'_Y = 0,3 \cdot 1 + 0,59 \cdot 1 + 0,11 \cdot 1 = 1$
- crna slika
  - $E'_R = E'_G = E'_B = 0$
  - $E'_Y = 0$
- crvena slika
  - $E'_R = 1, E'_G = E'_B = 0$
  - $E'_Y = 0,3$
- žuta slika
  - $E'_R = 1, E'_G = 1, E'_B = 0$
  - $E'_Y = 0,3 + 0,59 = 0,89$

# YUV model komponentog videosignala

- signali  $E'_R$ ,  $E'_G$  i  $E'_B$  sadržani su u  $E'_Y$

$$E'_Y = 0,30 \cdot E'_R + 0,59 \cdot E'_G + 0,11 \cdot E'_B$$

- dovoljno bi bilo prenositi dva signala za primarne boje od kojih je oduzet  $E'_Y$  i signal  $E'_Y$
- signali razlike za boju (signali za primarne boje od kojih je oduzet  $E'_Y$ )

$$(E'_R - E'_Y) = E'_R - 0,30 \cdot E'_R - 0,59 \cdot E'_G - 0,11 \cdot E'_B = 0,70 \cdot E'_R - 0,59 \cdot E'_G - 0,11 \cdot E'_B$$

$$(E'_B - E'_Y) = E'_B - 0,30 \cdot E'_R - 0,59 \cdot E'_G - 0,11 \cdot E'_B = -0,30 \cdot E'_R - 0,59 \cdot E'_G + 0,89 \cdot E'_B$$

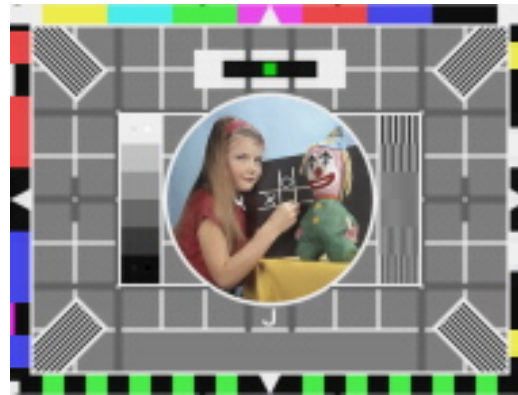
$$(E'_G - E'_Y) = E'_G - 0,30 \cdot E'_R - 0,59 \cdot E'_G - 0,11 \cdot E'_B = -0,30 \cdot E'_R + 0,41 \cdot E'_G - 0,11 \cdot E'_B$$

- signali razlike za boju su niskofrekvencijski signali kojima se frekvencijska širina pojasa može ograničiti na 1,3 MHz

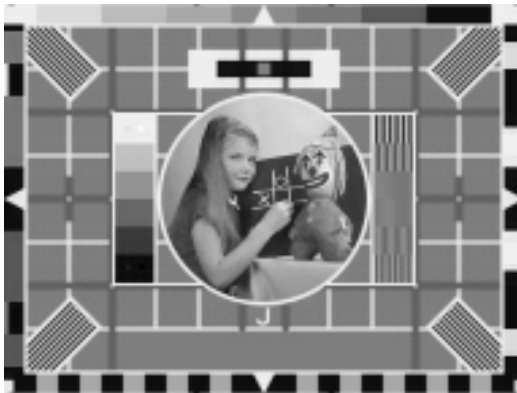


# YUV model komponentnog videosignala

Izvorna slika



$E'_Y$



Izvorna slika -  $E'_Y$



# YUV model komponentnog videosignala

Razine signala



$$E'_R - E'_Y$$



$$E'_G - E'_Y$$

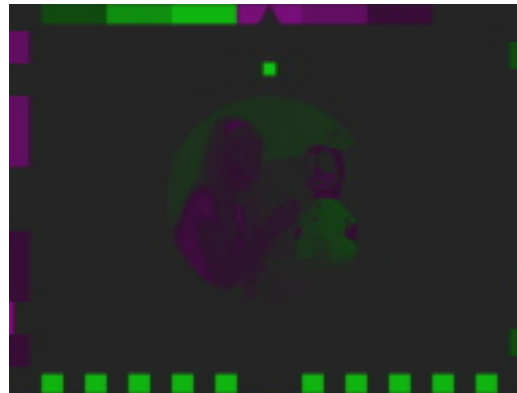


$$E'_B - E'_Y$$

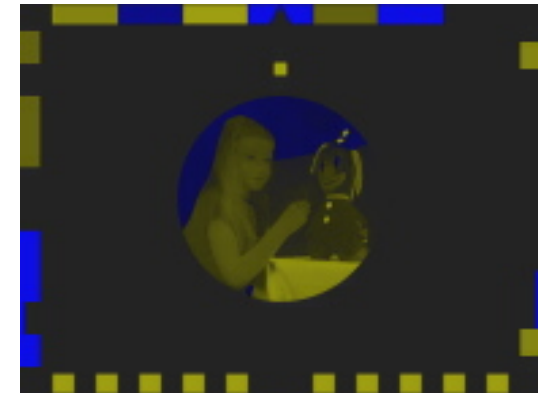
Prikaz na monitoru



$$E'_R - E'_Y$$



$$E'_G - E'_Y$$



$$E'_B - E'_Y$$

# YUV model komponentnog videosignala

	Boja	$E_R$	$E_G$	$E_B$	$E_Y$	$E_R - E_Y$	$E_B - E_Y$	$E_G - E_Y$
	bijela	1	1	1	1	0	0	0
	žuta	1	1	0	0,89	0,11	-0,89	0,11
	cijan	0	1	1	0,70	-0,70	0,30	0,30
	zelena	0	1	0	0,59	-0,59	-0,59	0,41
	purpurna	1	0	1	0,41	0,59	0,59	-0,41
	crvena	1	0	0	0,30	0,70	-0,30	-0,30
	plava	0	0	1	0,11	-0,11	0,89	-0,11
	crna	0	0	0	0	0	0	0

Color-bar (maksimalno zasićene primarne i komplementarne boje + bijela + crna)

$[-0,70 \text{ do } 0,70]$

$[-0,89 \text{ do } 0,89]$

$[-0,41 \text{ do } 0,41]$

# YUV model komponentnog videosignala

- za prijenos su odabrani signali  $(E'_R - E'_Y)$  i  $(E'_B - E'_Y)$  jer signal  $(E'_G - E'_Y)$  ima najmanji amplitudni raspon (od -0,41 do 0,41)

$$E'_Y = 0,30 \cdot E'_R + 0,59 \cdot E'_G + 0,11 \cdot E'_B$$

$$(E'_B - E'_Y) = -0,30 \cdot E'_R - 0,59 \cdot E'_G + 0,89 \cdot E'_B$$

$$(E'_R - E'_Y) = 0,70 \cdot E'_R - 0,59 \cdot E'_G - 0,11 \cdot E'_B$$

- u stvarnim sustavima amplitude signala  $(E'_R - E'_Y)$  i  $(E'_B - E'_Y)$  su **reducirane** (način redukcije ovisi o vrsti sustava)
- u sustavu PAL reducirane komponente krominantnog signala označavaju se kao  $E'_U$  i  $E'_V$

$$E'_U = 0,493(E'_B - E'_Y)$$

$$E'_V = 0,877(E'_R - E'_Y)$$

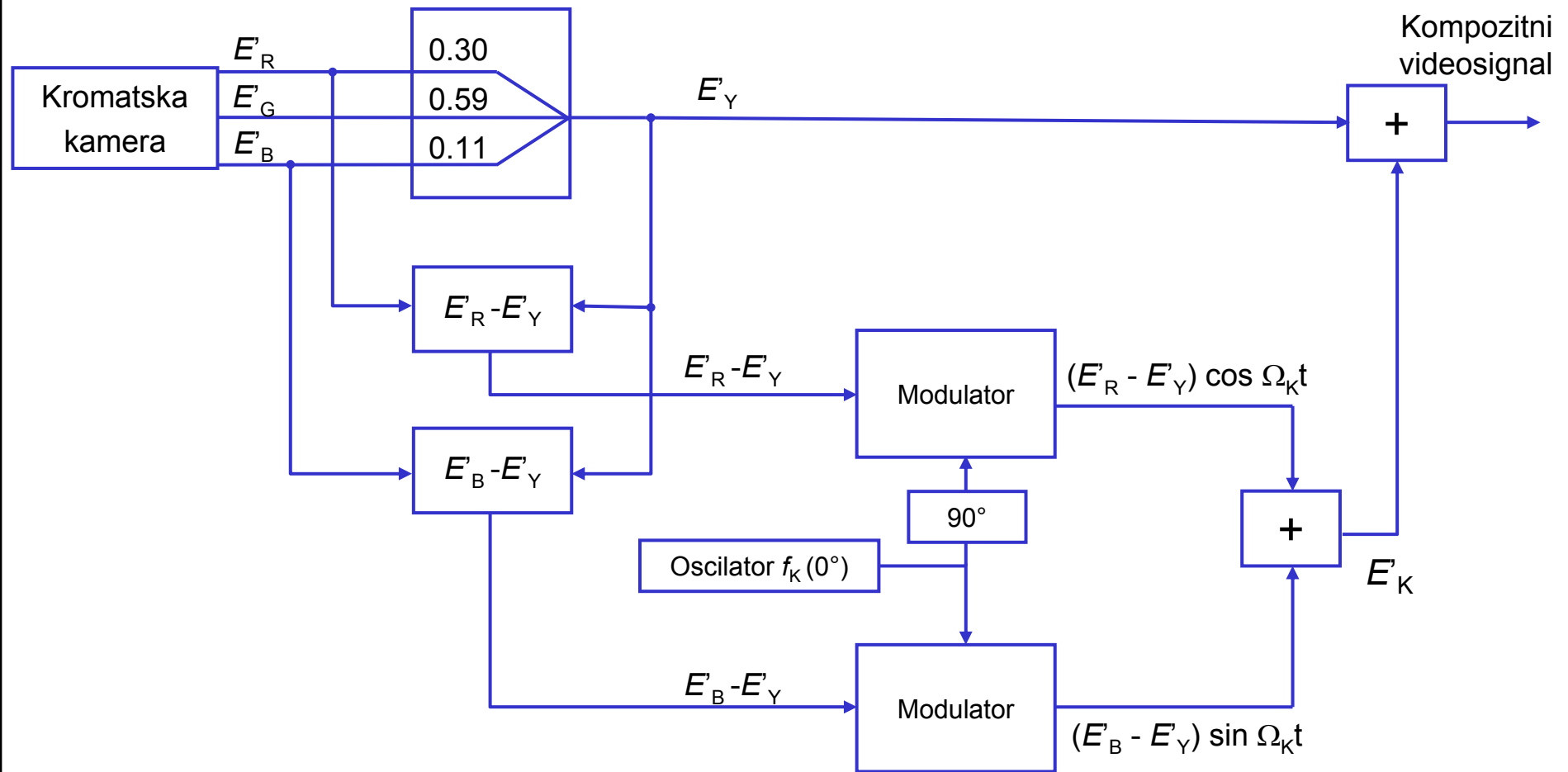
- model prijenosa signala u boji u kome se prenosi luminantni signal i dva signala razlike za boju  $E'_U$  i  $E'_V$  naziva se **YUV model**

# Kompozitni videosignal

- prijenos signala ( $E'_R - E'_Y$ ) i ( $E'_B - E'_Y$ ):
  - NTSC i PAL sustav → kvadratura amplitudna modulacija (QAM)
  - SECAM sustav → frekvencijska modulacija
- QAM
  - signali ( $E'_R - E'_Y$ ) i ( $E'_B - E'_Y$ ) moduliraju dva nositelja boje frekvencije  $f_K$  između kojih postoji fazni pomak od  $90^\circ$
  - zbrajanjem moduliranih nositelja nastaje krominantni signal
- kompozitni (složeni) videosignal u boji
  - nastaje zbrajanjem luminantnog i krominantnog signala
- u sustavu PAL nositelj boje frekvencije  $f_K = 4,43$  MHz moduliran je signalima  $E'_U$  i  $E'_V$
- u sustavu NTSC nositelj boje frekvencije  $f_K = 3,58$  MHz moduliran je signalima  $E'_I$  i  $E'_Q$

# Kompozitni videosignal

- oblikovanje kompozitnog videosignala



# Kompozitni videosignal

$E_K$  - krominantni signal (QAM modulirani nositelj boje)

$$E_K = (E'_B - E'_Y) \sin \Omega_K t + (E'_R - E'_Y) \cos \Omega_K t$$

$$E_K = E'_{KA} \sin (\Omega_K t + \varphi) = E'_{KA} \cos \varphi \sin \Omega_K t + E'_{KA} \sin \varphi \cos \Omega_K t$$



FAZA ODGOVARA  
VRSTI BOJE:

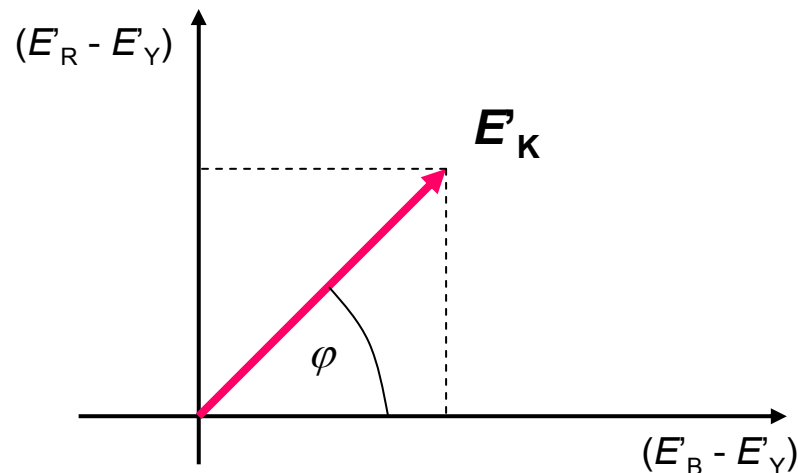
$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{(E'_R - E'_Y)}{(E'_B - E'_Y)}$$

AMPLITUDA ODGOVARA ZASIĆENJU BOJE:

$$E'_{KA} = \sqrt{(E'_R - E'_Y)^2 + (E'_B - E'_Y)^2}$$

Vektorski prikaz boje

KROMINANTNE OSI:  $(E'_B - E'_Y)$ ,  $(E'_R - E'_Y)$



# Kompozitni videosignal

- razine kompozitnog videosignala za "color-bar" (kromatske pruge)

Boja	$E'_Y$	$E'_{KA}$	$E'_Y + E'_{KA}$	$E'_Y - E'_{KA}$
bijela	1	0	1	1
žuta	0.89	0.89	1.78	0
cijan	0.70	0.76	1.46	-0.06
zelen	0.59	0.83	1.42	-0.24
purpurna	0.41	0.83	1.24	-0.42
crvena	0.30	0.76	1.06	-0.46
plava	0.11	0.89	1	-0.78
crna	0	0	0	0

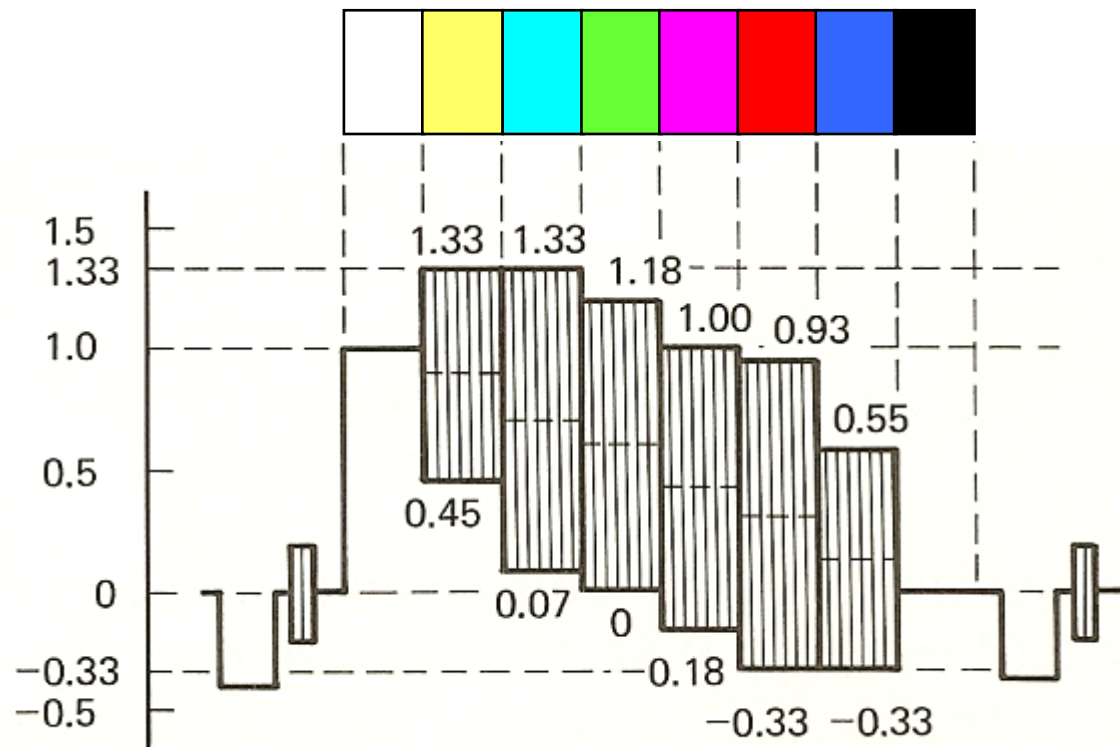
razine kompozitnog  
videosignala premašuju  
razine bijelog i crnog

- razlog za redukciju signala ( $E'_R - E'_Y$ ) i ( $E'_B - E'_Y$ )
- razina bijelog i crnog u kompozitnom videosignalu smije biti prekoračena za 33%



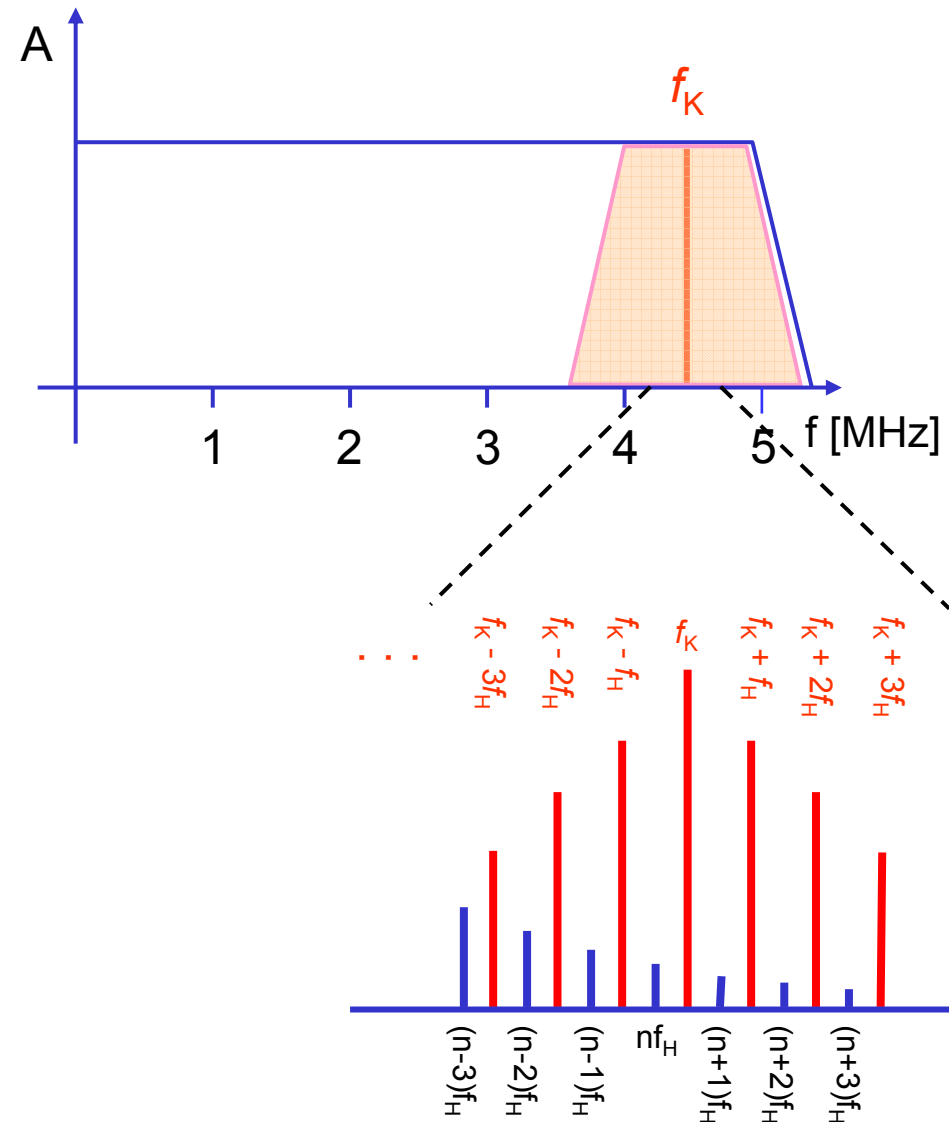
# Kompozitni videosignal

- kompozitni videosignal nakon redukcije amplituda krominantnog signala za ispitni signal "color-bar"



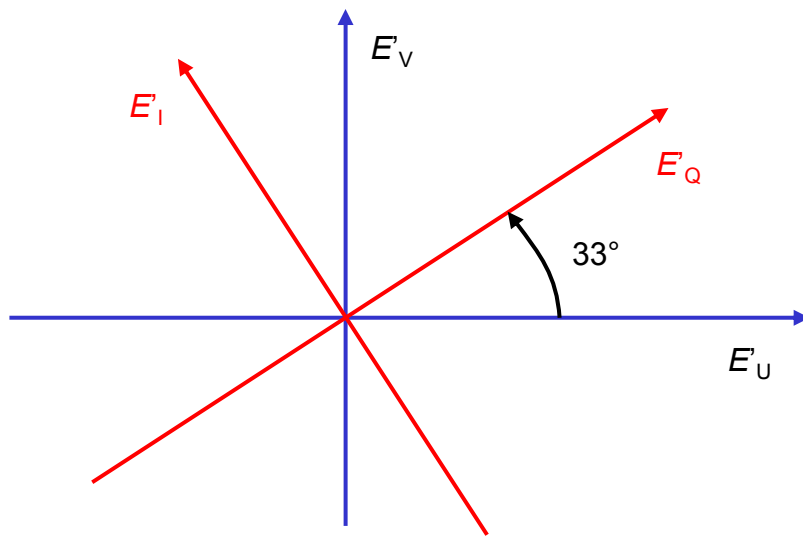
# Kompozitni videosignal

- luminantni i krominantni signal se zajedno prenose u istom frekvencijskom području
- spektar krominantnog signala se “učešljava” tako da ne smeta spektru luminantnog signala
  - frekvencija nositelja boje  $f_K$  odabrana je tako da spektralne komponente koje se pojavljuju oko  $f_K$  (označene crvenom bojom na slici desno) leže između dviju susjednih komponenti luminantnog signala (označene plavom bojom na slici desno)



# YIQ model komponentnog videosignala

- rabi se u NTSC sustavu
  - krominantne komponente koje moduliraju  $f_K$  su:  $E'_I$  i  $E'_Q$
  - nastaju zakretanjem osi  $(E'_U, E'_V)$  za  $33^\circ$ 
    - I je os najveće razlučivosti boja u dijagramu kromatičnosti
    - Q je os najmanje razlučivosti boja u dijagramu kromatičnosti



$$E'_I = E'_U \cdot \cos 33^\circ - E'_V \cdot \sin 33^\circ$$

$$E'_Q = E'_U \cdot \sin 33^\circ + E'_V \cdot \cos 33^\circ$$

$$E'_Y = 0,30E'_R + 0,59E'_G + 0,11E'_B$$

$$E'_I = 0,60E'_R - 0,27E'_G - 0,32E'_B$$

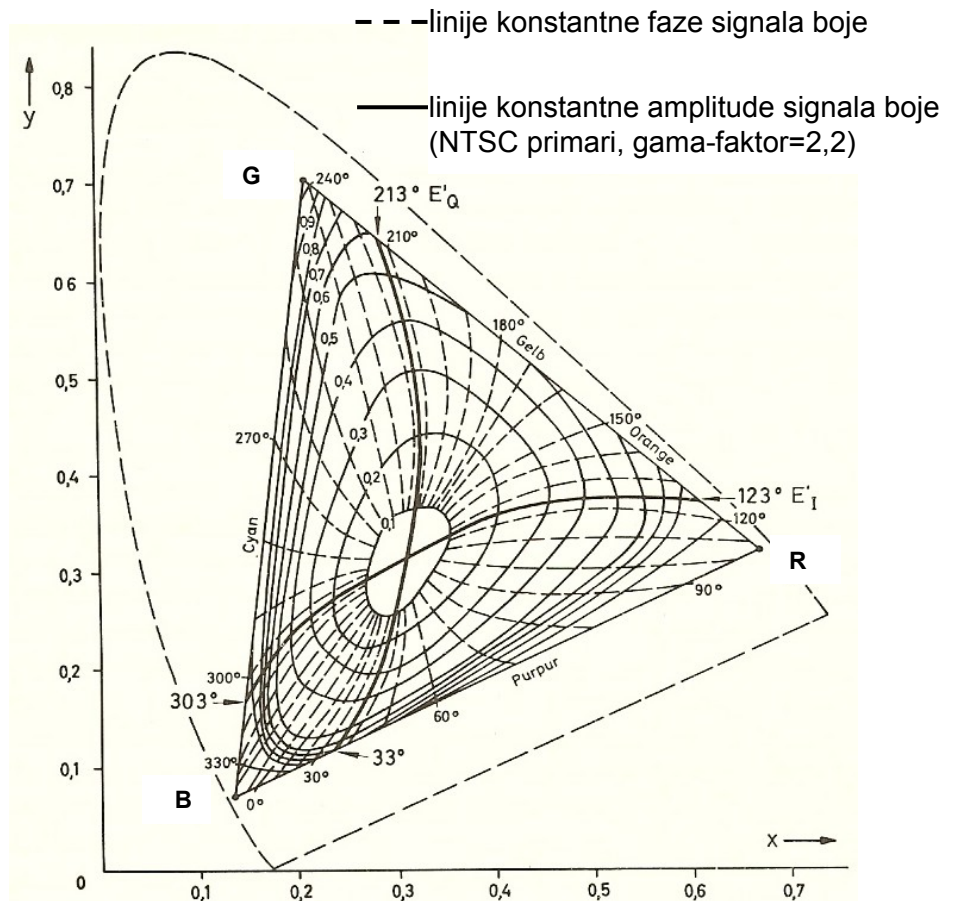
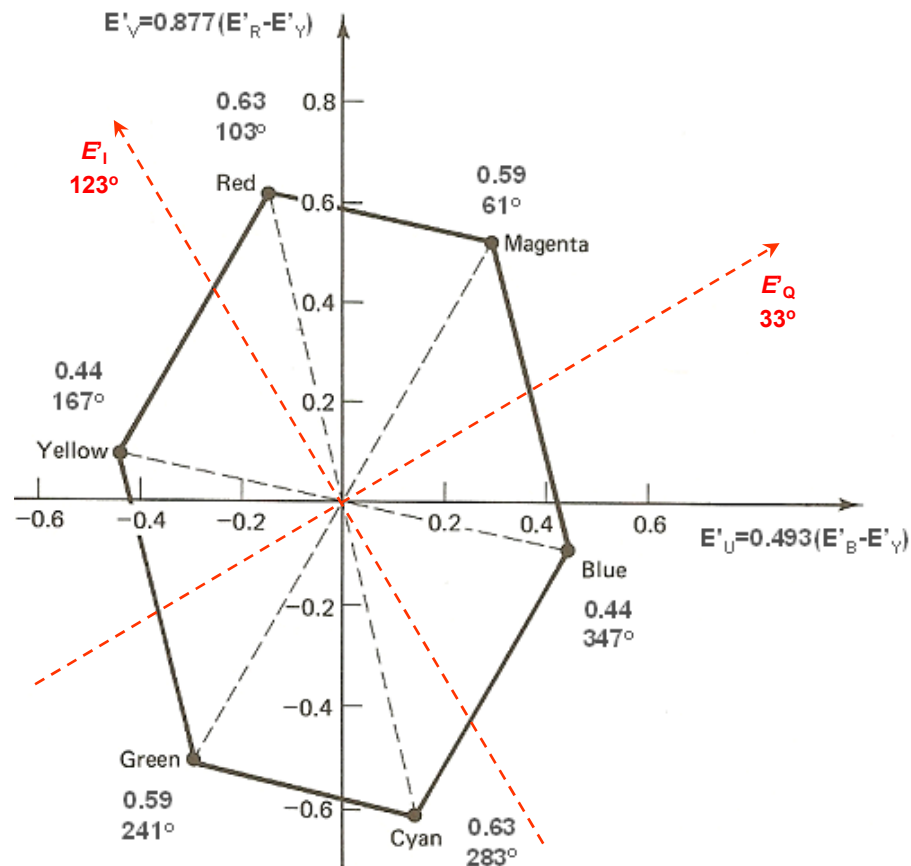
$$E'_Q = 0,21E'_R - 0,52E'_G + 0,31E'_B$$



YIQ model

# YIQ model komponentnog videosignala

- prijenos signala  $E'_I$  i  $E'_Q$  omogućava bolju reprodukciju boja
  - položaj osi I i Q u CIE dijagramu kromatičnosti određen je vizualnim ispitivanjima osjetljivosti ljudskog vizualnog sustava na promjenu parametara koji određuju doživljaj boje



# Formati digitalne slike

- digitalni formati videosignala izvedeni su iz analognog videosignala
  - frekvencija uzorkovanja određuje se u odnosu na horizontalnu frekvenciju ili frekvenciju nositelja boje analognih sustava
- preporuka ITU-R BT.601 (1986.)
  - Parametri kodiranja digitalnog televizijskog signala za studijske primjene uz omjere stranica slike 4:3 i 16:9 (*Studio encoding parameters of digital television for standard 4:3 and wide-screen 16:9 aspect ratios*)
  - definira parametre za analogno-digitalnu pretvorbu videosignala u 525/60 i 625/50 sustavima (4:3 i 16:9 sustavi)
  - frekvencija uzorkovanja za luminantnu komponentu iznosi 13,5 MHz
  - formati slike su 720x576 za 625/50, te 720x486 za 525/59,94
- industrijske norme s kvadratičnim elementima slike (pikseli)
  - 625/50 sustavi -  $f_s = 14,75 \text{ MHz} = 944 \times 15625 \text{ Hz}$
  - 525/59,94 sustavi -  $f_s = 12 + 3/11 \text{ MHz} = 780 \times [(60/1,001) \times 262,5]$

# Formati digitalne slike

Formati izvedeni iz 625/50 norme za analiziranje

Broj uzoraka		Frekvencija uzorkovanja (MHz)	Oblik piksela	Aktivno trajanje linije u $\mu$ s	Stvarni broj uzoraka u aktivnom dijelu slike		Podrška za analizu s preredom	Napomena
W	H				W	H		
768	576	14,75	768/767	52,06780	767	576	Y	"Industrijska norma" za 625/50 kvadratične piksele
768	576	14 + 10/13	1/1	52,00000	768	576	Y	Rezolucija u računalima s kvadratičnim pikselima
768	560	14,75	768/767	52,06780	767	576	Y	CD (mirne slike)
720	576	13,5	128/117	53,33333	702	576	Y	D1, DV, DVB, DVD (ITU-R BT.601)
720	540	neodređena	1/1	neodređena	720	540	N	Kompromisni format koji je bolje izbjegavati
704	576	13,5	128/117	52,14815	702	576	Y	DVD, H.263 (4CIF)
702	576	13,5	128/117	52,00000	702	576	Y	Aktivni dio slike za 625/50 sustave u skladu s ITU-R BT.601
544	576	10,125	512/351	53,72840	526+1/2	576	Y	3/4 BT.601 frekvencije uzorkovanja
480	576	9	128/78	53,33333	468	576	Y	2/3 BT.601 frekvencije uzorkovanja
384	288	7,375	768/767	52,06780	383+1/2	288	N	1/4 od "industrijske norme" 768×576
384	280	7,375	768/767	52,06780	383+1/2	288	N	CD (mirne slike)
352	576	6,75	256/117	52,14815	351	576	Y	DVD
352	288	6,75	128/117	52,14815	351	288	N	VCD, DVD, H.261 + H.263 (CIF)
176	144	3,375	128/117	52,14815	175+1/2	144	N	H.261 + H.263 (QCIF)

# Formati digitalne slike

Formati izvedeni iz 525/59,94 norme za analiziranje								
Broj uzoraka		Frekvencija uzorkovanja (MHz)	Oblik piksela	Aktivno trajanje linije u $\mu$ s	Stvarni broj uzoraka u aktivnom dijelu slike		Podrška za analizu s proredom	Napomena
W	H				width	height		
720	540	neodređeno	1/1	neodređeno	720	540	N	Kompromisni format koji je bolje izbjegavati
720	486	13,5	4320/4739	53,33333	710,85	486	Y	D1 (ITU-R BT.601)
720	480	13,5	4320/4739	53,33333	710,85	486	Y	DV, DVB, DVD
711	486	13,5	4320/4739	52,66667	710,85	486	Y	Aktivni dio slike za 525/59,94 sustave u skladu s ITU-R BT.601
704	480	13,5	4320/4739	52,14815	710,85	486	Y	ATSC, DVD, VCD
648	486	12 + 1452/4739	1/1	52,65556	648	486	Y	Rezolucija u računalima s kvadratičnim pikselima
640	480	12 + 3/11	4752/4739	52,14815	646+5/22	486	Y	D2: "industrijska norma" 525/59,94 s kvadratičnim pikselima
640	480	12 + 1452/4739	1/1	52,00549	648	486	Y	Rezolucija u računalima s kvadratičnim pikselima (cropped)
480	480	9	6480/4739	53,33333	473,9	486	Y	2/3 BT.601 frekvencije uzorkovanja
352	480	6,75	8640/4739	52,14815	355,425	486	Y	DVD
352	240	6,75	4320/4739	52,14815	355,425	243	N	VCD, DVD
320	240	6 + 3/22	4572/4739	52,14815	324	243	N	1/4 u odnosu na 640×480

# Formati digitalne slike

- formati slike koji se rabe u ITU-T preporukama
  - temeljni format je CIF (*Common Interchange Format*)
    - izvodi se iz formata slike koji nastaje analogno-digitalnom pretvorbom u skladu s ITU-R BT.601

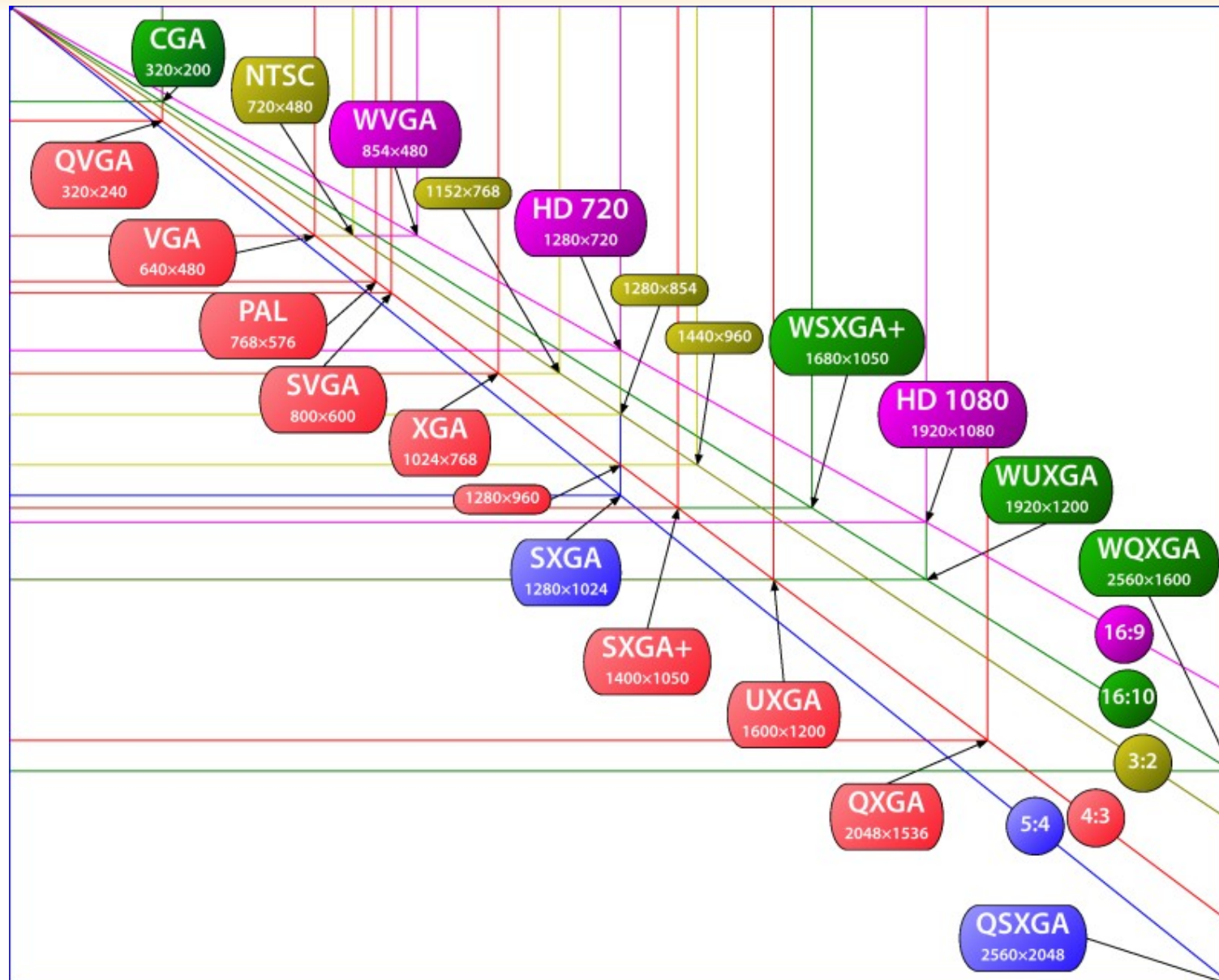
Format	16CIF	4CIF	CIF	QCIF	SQCIF
Rezolucija	1408 × 1152	704 × 576	352 × 288	176 × 144	128 × 96
Broj piksela	1 622 016	405 504	101 376	25 344	12 288

- formati slike za prikazivanje na računalu
  - temeljni format je VGA (*Video Graphics Array*) - 640x480 piksela
  - omjer stranica slike je 4:3 (osim za SXGA)
  - prikazivanje boja: od 16 boja uz 4 bpp (*bits per pixel*) do 16,7 milijuna boja uz 24 bpp (po 8 bita za crvenu, zelenu i plavu boju)

Format	VGA	SVGA	XGA	XGA+	SXGA	SXGA+	UXGA	QXGA
Rezolucija	640x480	800x600	1024x768	1152x864	1280x1024	1400x1050	1600x1200	2048x1536
Broj piksela	0,31 mil.	0,48 mil.	0,79 mil.	1 mil.	1,31 mil.	1,47 mil.	1,92 mil.	3,15 mil.



# Formati digitalne slike



# ITU-R preporuka BT.601

- ITU-R preporuka BT.601
  - uključuje dvije temeljne skupine normi
    - 13,5 MHz skupina normi za omjer stranica 4:3 i 16:9
    - 18 MHz skupina normi za omjer stranica 16:9
  - svaka skupina sadrži dvije strukture uzorkovanja
    - 4:4:4
      - komponente signala mogu biti  $[E'_Y, (E'_R - E'_Y), (E'_B - E'_Y)]$  ili  $[E'_R, E'_G, E'_B]$
      - frekvencija uzorkovanja iznosi 13,5 MHz ili 18 MHz za svaku komponentu
    - 4:2:2
      - komponente signala su  $[E'_Y, (E'_R - E'_Y), (E'_B - E'_Y)]$
      - frekvencija uzorkovanja za  $E'_Y$  je 13,5 MHz ili 18 MHz, a za  $(E'_R - E'_Y), (E'_B - E'_Y)$  6,75 MHz ili 9 MHz (poduzorkovanje s faktorom 2)

# ITU-R preporuka BT.601

- 13,5 MHz, 4:2:2 struktura uzorkovanja

Parametri	525 linija / 60 Hz	625 linija / 50 Hz
Kodirani signali: $Y$ , $C_R$ , $C_B$	Ovi su signali dobiveni iz signala: $E'_Y$ , $(E'_R - E'_Y)$ i $(E'_B - E'_Y)$	
Frekvencija uzorkovanja: • luminantni signal • svaki od signala razlike	13,5 MHz 6,75 MHz	
Broj uzoraka po liniji: • luminantni signal • svaki od signala razlike	858 429	864 432
Broj uzoraka po aktivnom dijelu linije: • luminantni signal • svaki od signala razlike	720 360	
Struktura uzorkovanja:	<i>Ortogonalna, ponavlja se u svakoj liniji, poluslici i slici; uzorci za svaki od krominantnih signala se uzimaju na mjestu koje odgovara neparnim uzorcima luminantnog signala u svakoj liniji</i>	
Način kodiranja:	<i>Ravnomjerna impulsno kodna modulacija (PCM) s osam (ili 10) bita po uzorku za luminantni signal i svaki od krominantnih signala</i>	

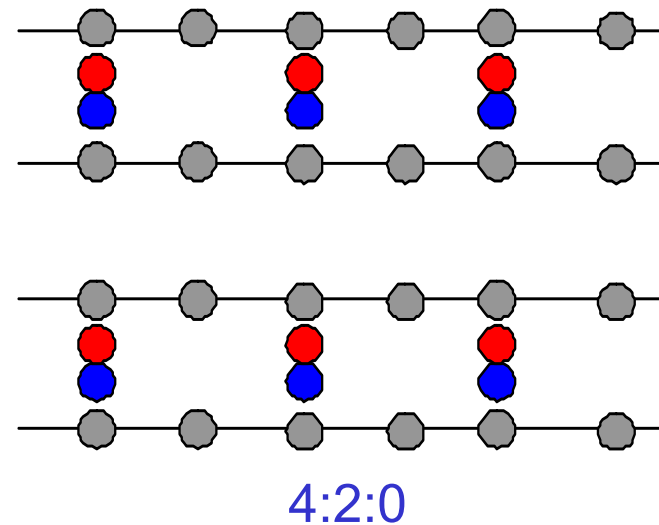
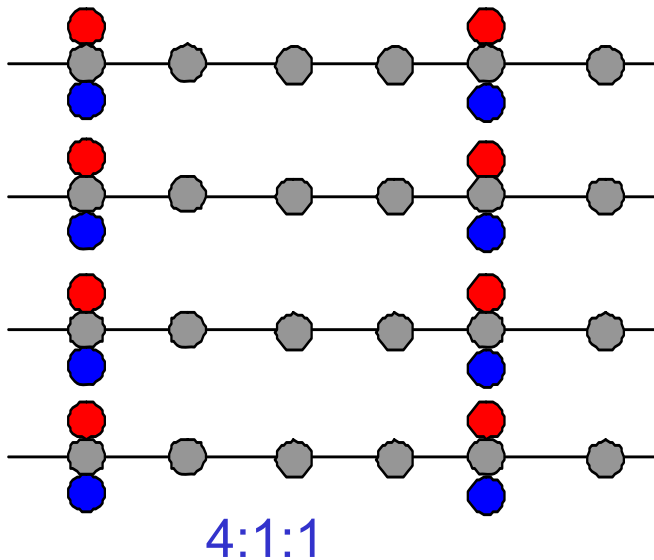
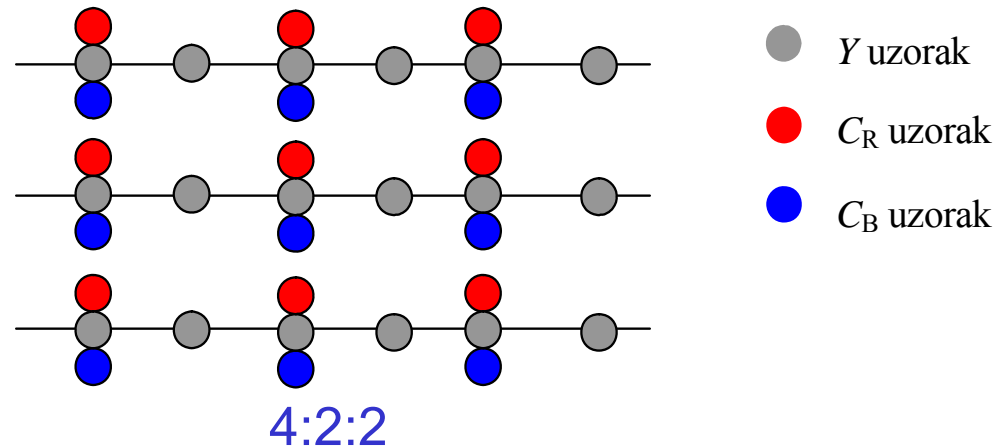
# ITU-R preporuka BT.601

- 18 MHz, 4:2:2 struktura uzorkovanja

Parametri	525 linija / 60 Hz	625 linija / 50 Hz
Kodirani signali: $Y, C_R, C_B$	Ovi su signali dobiveni iz signala: $E'_Y, (E'_R - E'_Y)$ i $(E'_B - E'_Y)$	
<b>Frekvencija uzorkovanja:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• luminantni signal</li> <li>• svaki od signala razlike</li> </ul>	18 MHz 9 MHz	
<b>Broj uzoraka po liniji:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• luminantni signal</li> <li>• svaki od signala razlike</li> </ul>	1144 572	1152 576
<b>Broj uzoraka po aktivnom dijelu linije:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• luminantni signal</li> <li>• svaki od signala razlike</li> </ul>	960 480	
<b>Struktura uzorkovanja:</b>	<i>Ortogonalna, ponavlja se u svakoj liniji, poluslici i slici; uzorci za svaki od krominantnih signala se uzimaju na mjestu koje odgovara neparnim uzorcima luminantnog signala u svakoj liniji</i>	
<b>Način kodiranja:</b>	<i>Ravnomjerna impulsno kodna modulacija (PCM) s osam (ili 10) bita po uzorku za luminantni signal i svaki od krominantnih signala</i>	

# ITU-R preporuka BT.601

- strukture uzorkovanja



# ITU-R preporuka BT.601

- rezolucija za komponente krominantnog signala iskazana relativno u odnosu na rezoluciju luminantnog signala

Struktura uzorkovanja	Horizontalna [%]	Vertikalna [%]
4:4:4	100	100
4:2:2	50	100
4:2:0	50	50
4:1:1	25	100

# Brzina prijenosa

- ukupna brzine prijenosa kod analogno-digitalne pretvorbe komponentnog videosignala  $R=(f_s n)_Y+(f_s n)_{CR}+(f_s n)_{CB}$

Format	$f_s$ , MHz	$n$	$R$ , Mbit/s
4:4:4	13,5	8	324
4:4:4	13,5	10	405
4:4:4	18	8	432
4:4:4	18	10	540
4:2:2	13,5/6,75	8	216
4:2:2	13,5/6,75	10	270
4:2:2	18/9	8	288
4:2:2	18/9	10	360
4:1:1	13,5/3,375	8	162

- ako se promatra samo aktivni dio slike brzine prijenosa se smanjuju (tzv. neto brzina prijenosa):
  - npr. za 13,5 MHz, 625/50, 4:2:2 vrijedi
    - $R=720 \times 576 \times 25 \times 8 + 360 \times 576 \times 25 \times (8 + 8) = 166 \text{ Mbit/s}$
  - npr. za 13,5 MHz, 625/50, 4:1:1 vrijedi
    - $R=720 \times 576 \times 25 \times 8 + 180 \times 576 \times 25 \times (8 + 8) = 124 \text{ Mbit/s}$

# Brzina prijenosa

- primjer: videosignal u digitalnom obliku nastao primjenom preporuke ITU-R BT.601 uz kodiranje s 8 bita/uzorku za svaku komponentu u 4:2:2 formatu i uz frekvenciju izmjene slika 25 Hz
  - potreban broj bita za kodiranje aktivnog dijela jedne slike:  
 $(720 \times 576) \times 8 \text{ bita} + (360 \times 288) \times 8 + (360 \times 288) \times 8 = 6\,635\,520 \text{ bita}$
  - brzina prijenosa za aktivni dio slike:  
 $6\,635\,520 \text{ bita} \times 25 = 165,88 \text{ Mbit/s} = 20,736 \text{ MB/s}$
  - na tvrdi disk kapaciteta 5 GB moguće je pohraniti 4 minute nekomprimiranog digitalnog videosignala

**Potrebna je kompresija videosignala!**



# HDTV

- značajke HDTV sustava normira preporuka **ITU-R BT.709**: Vrijednosti parametara HDTV normi za produkciju i međunarodnu razmjenu programa - 2. dio: HDTV sustavi s zajedničkim formatom slike u kome su elementi slike kvadratični (*Parameter Values for the HDTV Standards for Production and International Programme Exchange - PART 2: HDTV SYSTEMS WITH SQUARE PIXEL COMMON IMAGE FORMAT*)
- pored preporuke ITU-R BT.709, značajke HDTV sustava su propisane i sljedećim SMPTE (*Society for Motion Pictures and Television Engineers*) normama :
  - **SMPTE 296M**: *1280 x 720 Progressive Image Sample Structure – Analogue and Digital Representation and Analogue Interface* (2001.)
  - **SMPTE 274M**: *1920 x 1080 Image Sample Structure, Digital Representation and Digital Timing Reference Sequences for Multiple Picture Rates* (2003.)
- parametri analiziranja HDTV signala koji su pojavljuju u normi SMPTE 274M su jednaki parametrima iz drugog dijela preporuke ITU-R BT.709 (*Part 2*)

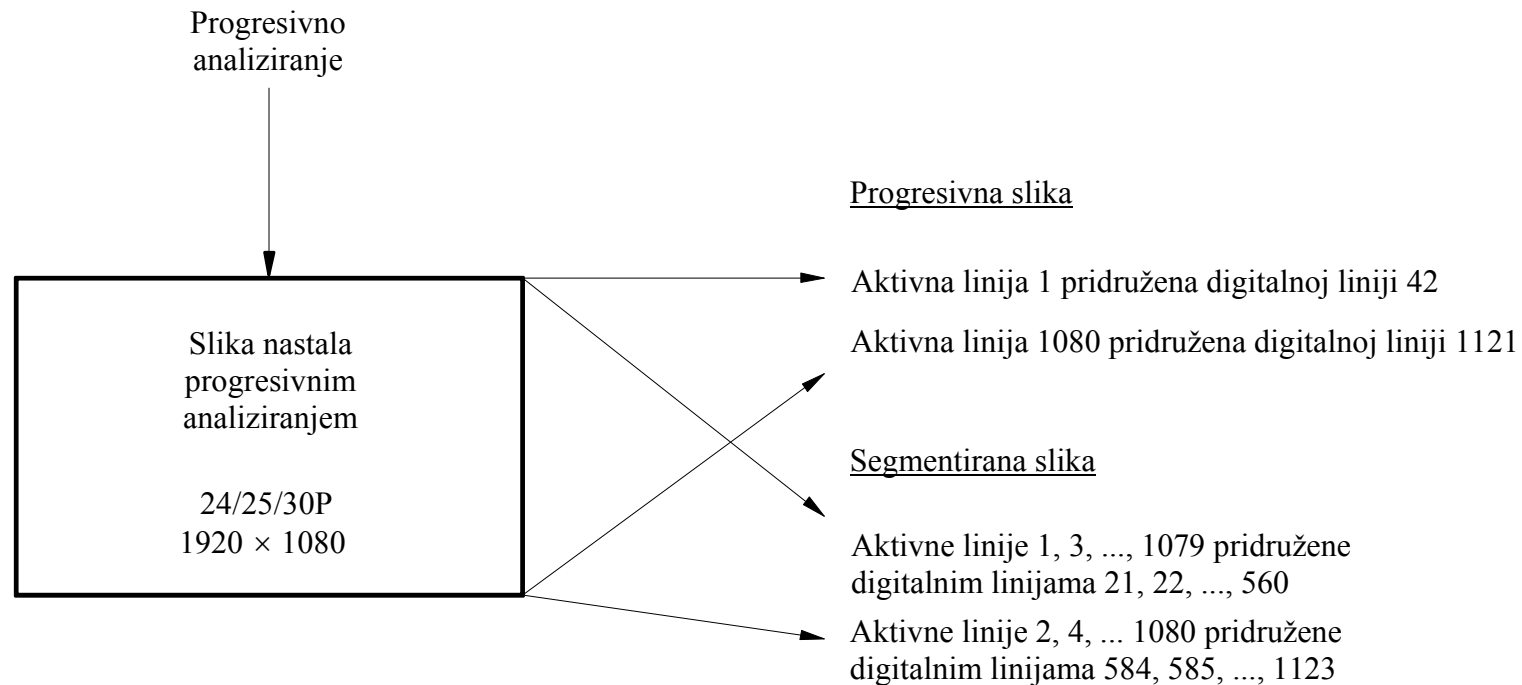
# HDTV

- značajke HDTV sustava u skladu s preporukom ITU-R BT.709 (*Part 2*) i SMPTE 274M

Parametar	Vertikalna frekvencija/način analiziranja									
	60/P	30/P	30/PsF	60/I	50/P	25/P	25/PsF	50/I	24/P	24/PsF
Omjer stranica	16:9									
Broj uzoraka u aktivnom dijelu linije	1 920									
Struktura uzorkovanja	Ortogonalna									
Broj linija u aktivnom dijelu slike	1080									
Oblik elemenata slike	1:1 (kvadratični elementi slike)									

# HDTV

- segmentacija progresivno analizirane slike (PsF, *Progressive Segmented Frame*)



# HDTV

- parametri analiziranja slike u HDTV sustavu prema ITU-R BT.709 (*Part 2*)

Parametar	Vrijednosti sustava									
	60/P	30/P	30/PsF	60/I	50/P	25/P	25/PsF	50/I	24/P	24/PsF
Ukupan broj linija	1125									
Vertikalna frekvencija (Hz)	60 (60/1,001)	30 (30/1,001)	60 (60/1,001)		50	25	50		24 (24/1,001)	48 (48/1,001)
Način analiziranja	1:1			2:1	1:1			2:1	1:1	
Frekvencija izmjene slika (Hz)	60 (60/1,001)	30 (30/1,001)			50	25			24 (24/1,001)	
Horizontalna frekvencija (Hz)	67 500 (67 500/1,001)	33 750 (33 750/1,001)			56 250	28 125			27 000 (27 000/1,001)	
Ukupan broj uzoraka u liniji – <i>R, G, B, Y</i> – <i>CB, CR</i>	2 200 1 100				2 640 1 320				2 750 1 375	
Nominalna širina pojasa analognog signala (MHz)	60	30			60	30				
Frekvencija uzorkovanja – <i>R, G, B, Y</i> (MHz)	148,5 (148,5/1,001)	74,25 (74,25/1,001)			148,5	74,25			74,25 (74,25/1,001)	
Frekvencija uzorkovanja – <i>CB, CR</i> (MHz)	74,25 (74,25/1,001)	37,125 (37,125/1,001)			74,25	37,125			37,125 (37,125/1,001)	

# HDTV

- mogući formati HDTV signala za proizvodnju TV programa u europskim zemljama određeni su dokumentom EBU Tech 3299: *High Definition (HD) Image Formats for Television Production*
  - Sustav 1 (S1)
    - 1280 horizontalnih uzoraka i 720 linija u aktivnom dijelu slike, progresivno analiziranje s frekvencijom izmjene slika 50Hz
  - Sustav 2 (S2)
    - 1920 horizontalnih uzoraka i 1080 linija u aktivnom dijelu slike, analiziranje s proredom s frekvencijom izmjene slika 25 Hz
  - Sustav 3 (S3)
    - 1920 horizontalnih uzoraka i 1080 linija u aktivnom dijelu slike, progresivno analiziranje s frekvencijom izmjene slika 25 Hz
  - Sustav 4 (S4)
    - 1920 horizontalnih uzoraka i 1080 linija u aktivnom dijelu slike, progresivno analiziranje s frekvencijom izmjene slika 50 Hz

# HDTV

- frekvencije uzorkovanja i širine pojasa za komponente HDTV signala

Parametar sustava	Komponente signala	Sustavi 1, 2 i 3	Sustav 4
Širina pojasa	$R, G, B$	30 MHz	60 MHz
	$Y$	30 MHz	60 MHz
	$C_R, C_B$	15 MHz	35 MHz
Frekvencija uzorkovanja	$R, G, B$	74,25 MHz	148,5 MHz
	$Y$	74,25 MHz	148,5 MHz
	$C_R, C_B$	37,125 MHz	74,25 MHz

# HDTV

- brzine prijenosa digitalnog komponentnog HDTV signala

Sustav	Parametri	Ukupan broj Y uzoraka u liniji	Ukupan broj linija u slici	Ukupna brzina prijenosa (4:2:2, n=10)	Neto brzina prijenosa (4:2:2, n=10)
1	1280x720/P/50	1980	750	1,485 Gbit/s	921,6 Mbit/s
2	1920x1080/I/25	2640	1125	1,485 Gbit/s	1036,8Mbit/s
3	1920x1080/P/25	2640	1125	1,485 Gbit/s	1036,8Mbit/s
4	1920x1080/P/50	2640	1125	2,970 Gbit/s	2073,6Mbit/s

- brzine prijenosa su previsoke za djelotvoran prijenos bilo kojom vrstom komunikacijskog medija

Potrebna je kompresija videosignala!