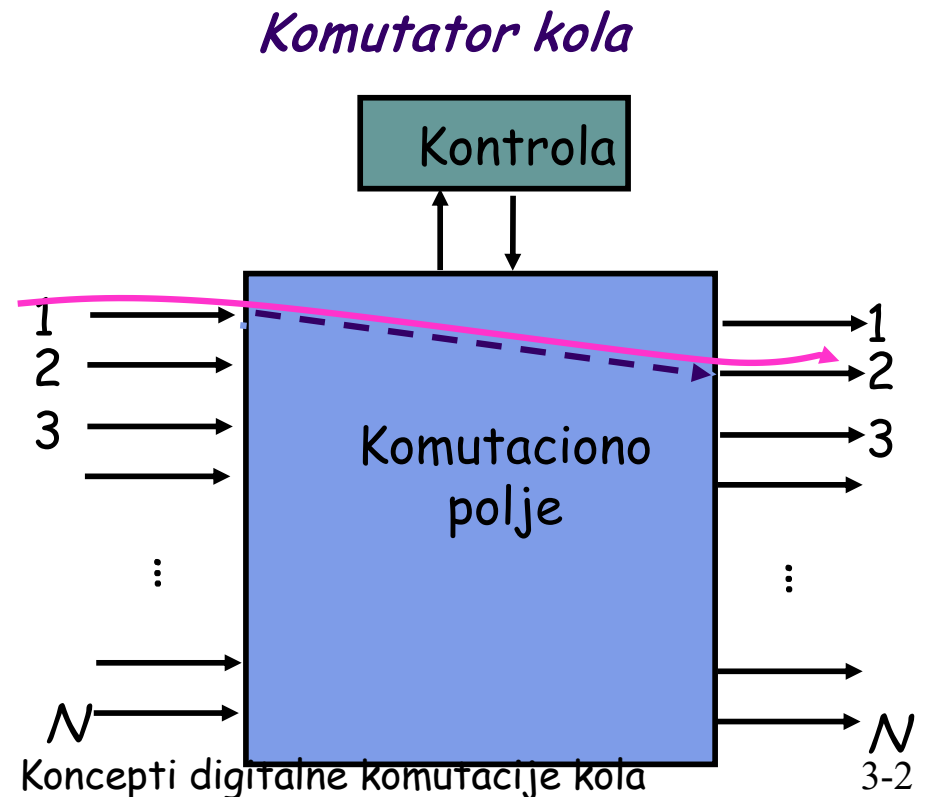
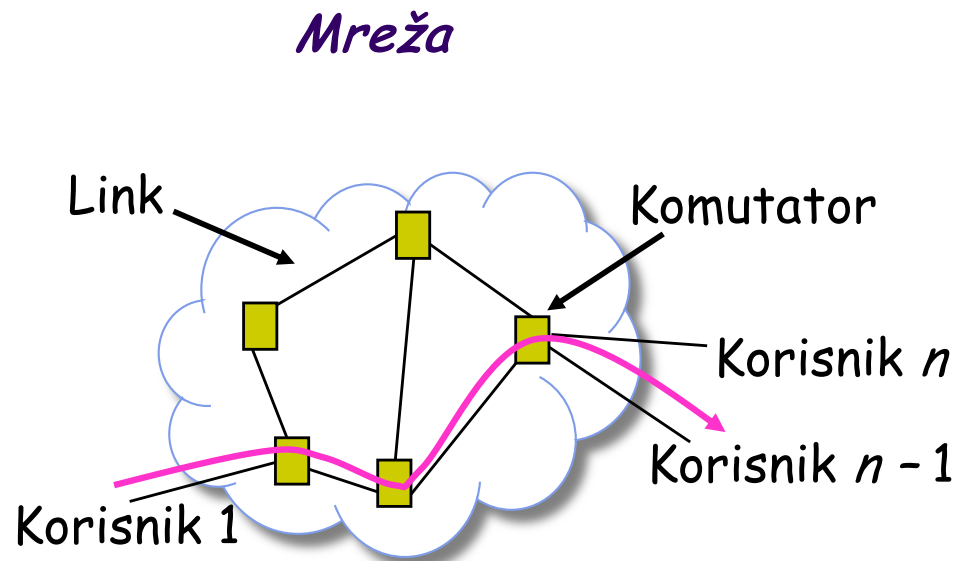


Koncepti digitalne komutacije kola

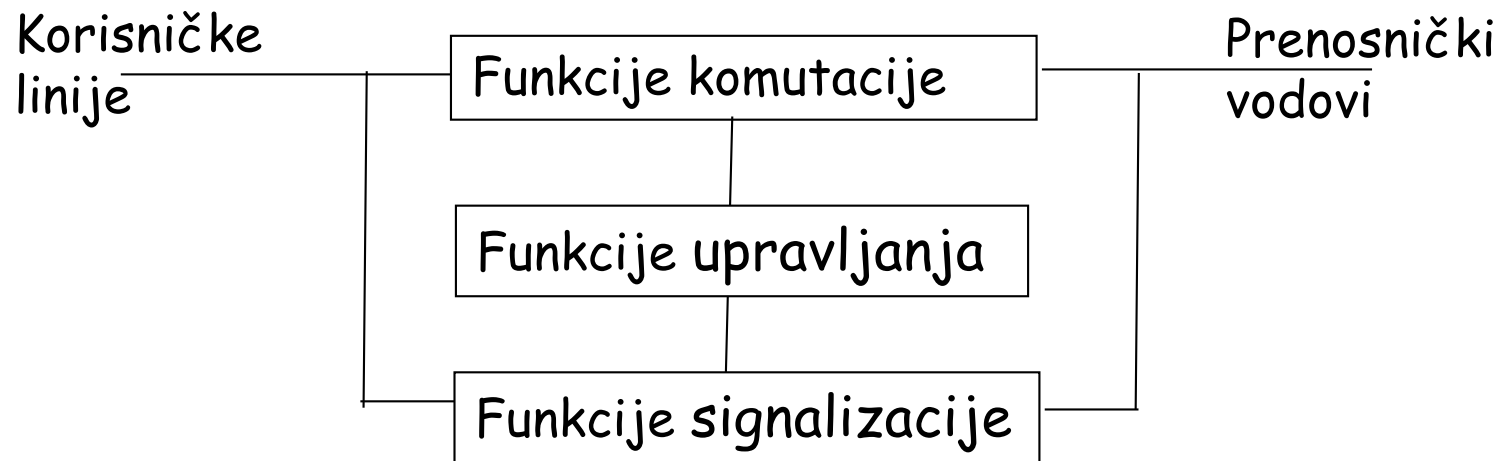
Mreža sa komutacijom kola

- Kola sadrže dodijeljene resurse u vidu sekvence linkova i komutatora mreže
- *Komutatori kola* povezuju ulazne i izlazne linkove



Osnovne funkcije komutacionog sistema

- Komutacija (komutacioni proces - uspostavljanje i raskidanje puteva kroz komutaciono polje)
- Signalizacija (prijem i slanje signala koji nose podatke potrebne pri posluživanju poziva)
- Upravljanje (obrada primljenih podataka i upravljanje aktivnostima pri posluživanju poziva)

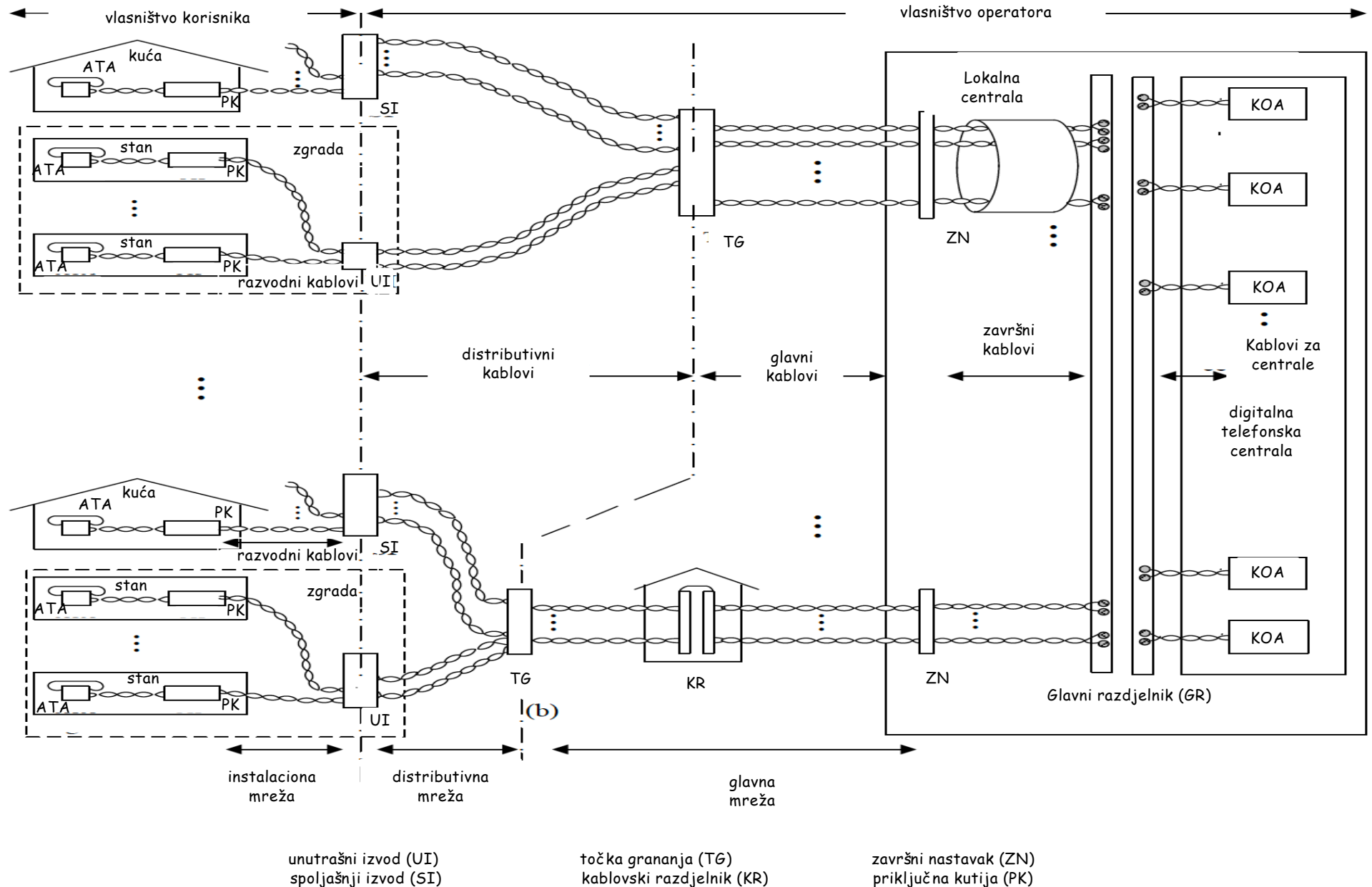


Poziv: Iniciranje veze od strane korisnika.

Posluživanje poziva: Funkcije koje se obavljaju pri uspostavljanju i raskidanju odgovarajuće veze.

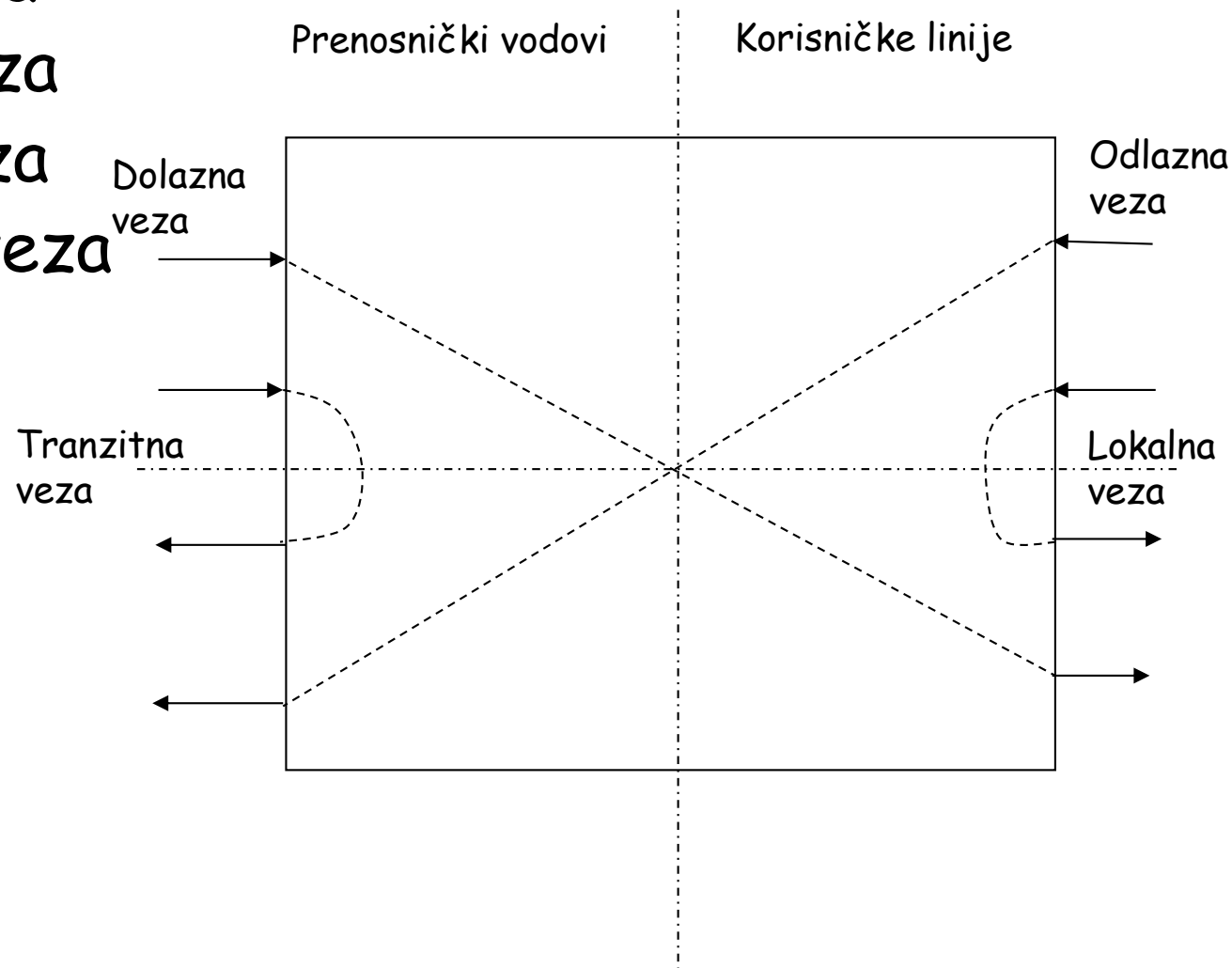
Telefonska mreža

Telefonska pristupna mreža



Tipovi veza kroz telefonsku centralu

- Lokalna veza
- Odlazna veza
- Dolazna veza
- Tranzitna veza

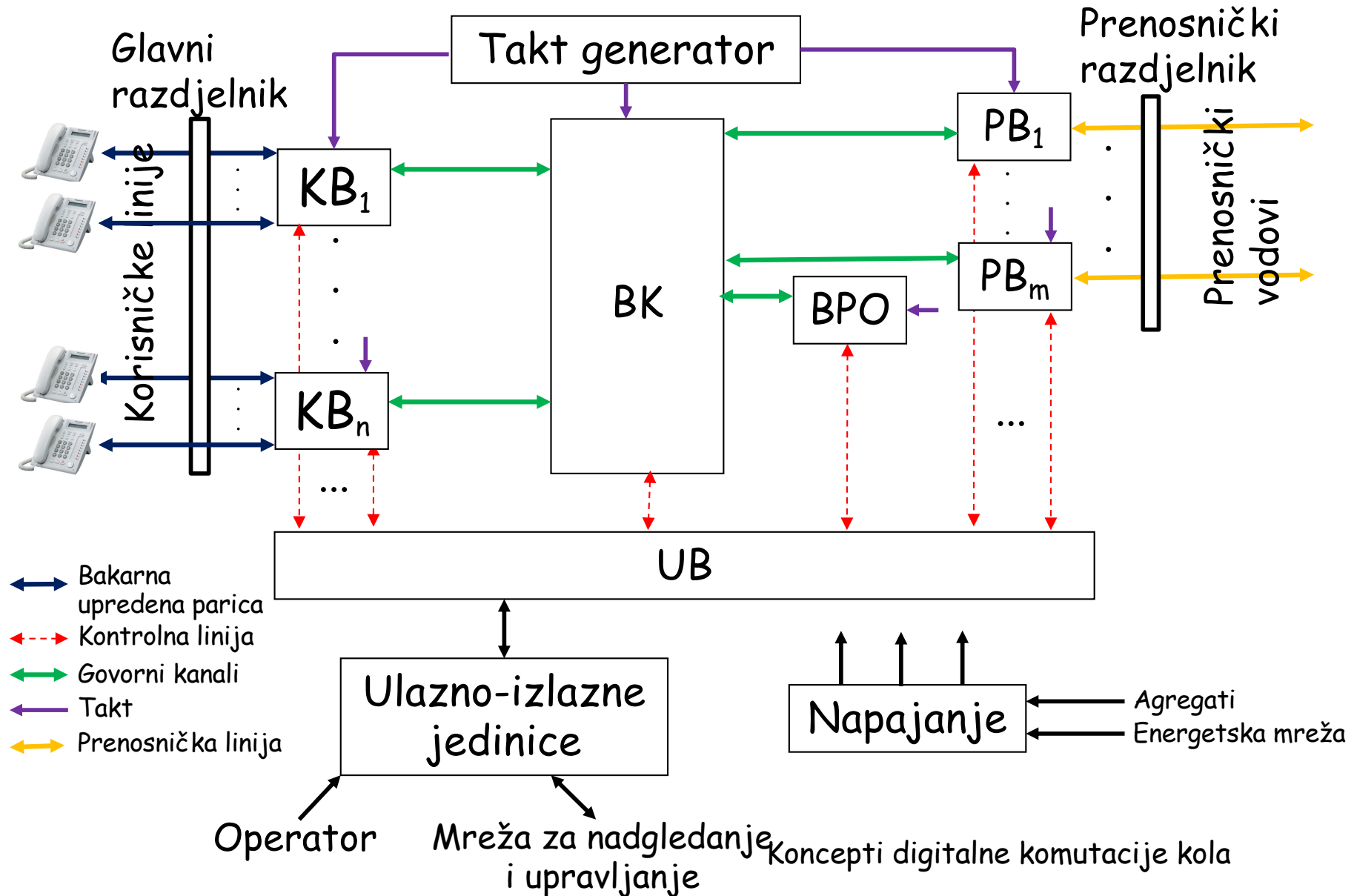


Tipovi veza kroz telefonsku centralu

- ❑ Put lokalne veze kroz komutaciono polje između dvije korisničke linije, odnosno odgovarajućih korisničkih organa
- ❑ Put odlazne veze kroz komutaciono polje od odgovarajućeg korisničkog organa do odlaznog prenosničkog organa
- ❑ Put dolazne veze kroz komutaciono polje od odgovarajućeg dolaznog prenosničkog organa do korisničkog organa
- ❑ Put tranzitne veze kroz komutaciono polje od dolaznog do odlaznog prenosničkog organa

Telefonski komutacioni sistem

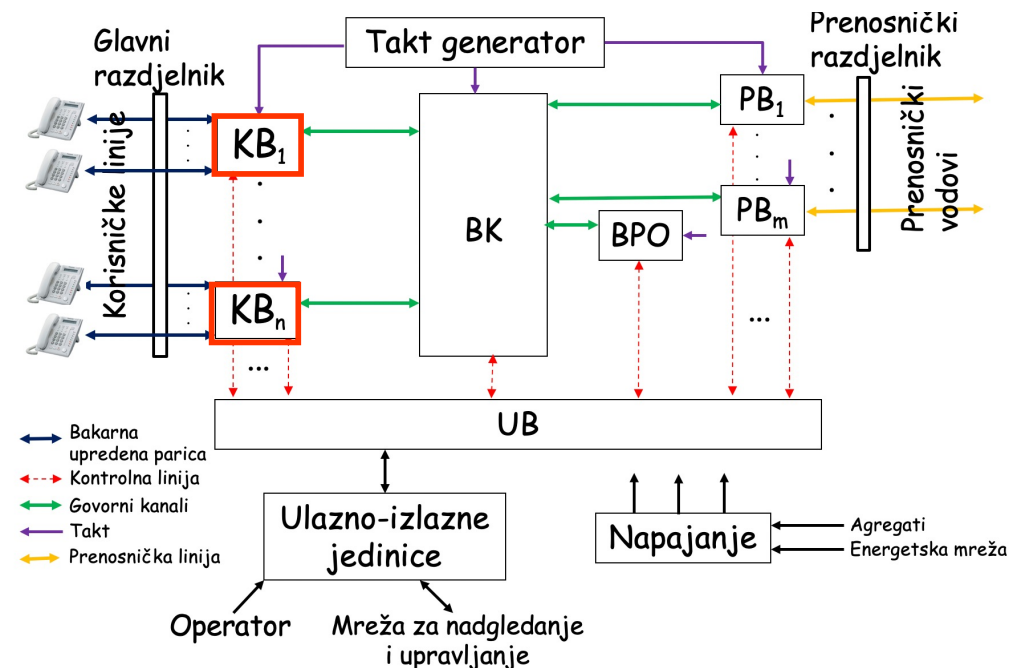
Struktura telefonskog komutacionog sistema



Struktura telefonskog komutacionog sistema

Korisnički blok (KB)

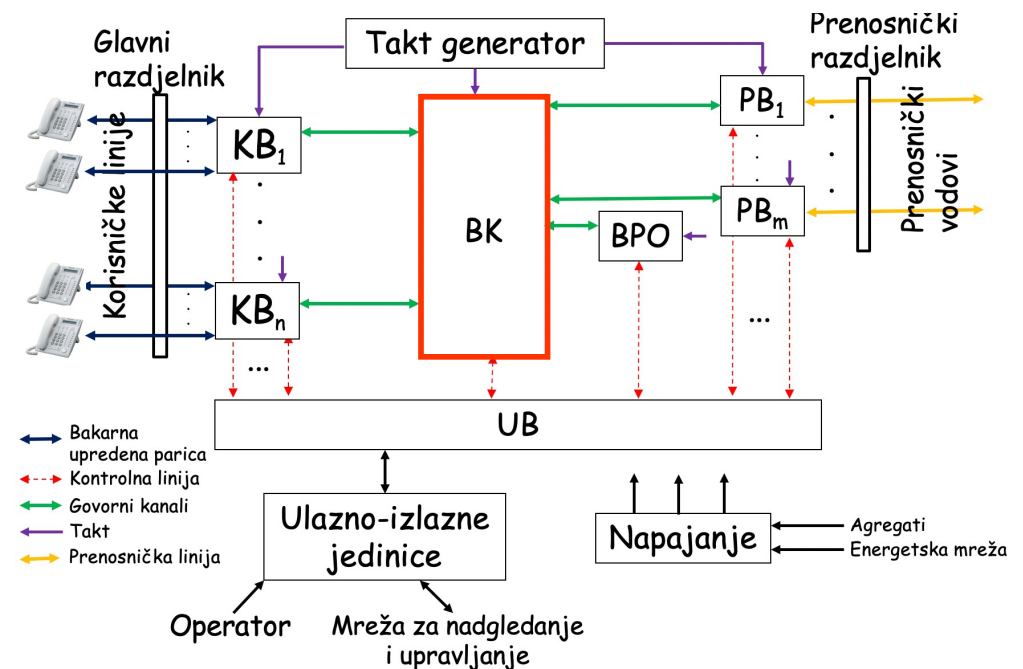
- Na njega se preko glavnog razdjelnika povezuju bakarne upredene parice od korisnika
- Svakom korisniku se dodjeljuje odgovarajući korisnički organ (npr. korisnički organ analogni)
- Savremene centrale u njemu imaju prijemnike (DTMF signalizacija) i predajnike tonskih signala (tonovi slobodnog biranja i zauzeća)
- Govornim kanalima je povezan na blok komutacije
- Preko kontrolnih linija obavještava upravljački blok o akcijama korisnika ali i prima komande od upravljačkog bloka
- Obavlja funkciju koncentracije (od 4:1 do 7:1) radi boljeg iskorišćenja resursa centrale pri čemu se stepen koncentracije bira tako da vjerovatnoća blokiranja bude manja od propisane vrijednosti (1% ili 0.1%)



Struktura telefonskog komutacionog sistema

Blok komutacije (BK)

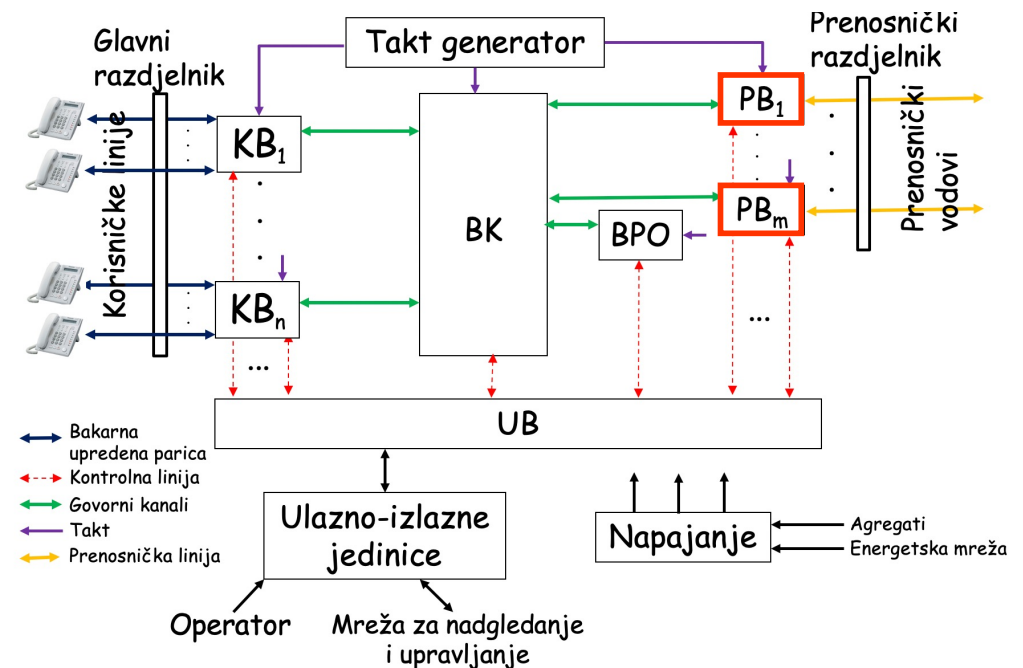
- Obavlja funkciju komutacije za korisničke linije i prenosničke vodove (koji to zahtijevaju)
- Povezan je govornim putevima sa korisničkim i prenosničkim blokovima
- Preko kontrolnih linija upravljački blok kontroliše komutaciju i zauzetost resursa, odnosno preko njih se u fazi inicijalizacije sisteme spušta softver koji se izvršava u bloku komutacije.



Struktura telefonskog komutacionog sistema

Prenosnički blok (PB)

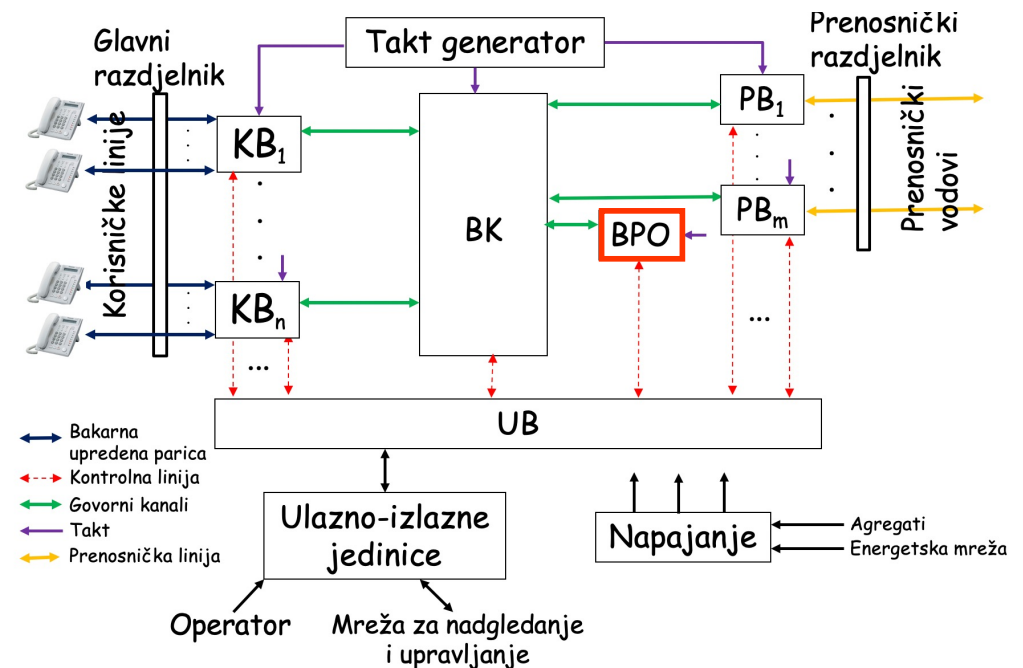
- Preko prenosničkog razdjelnika povezuje komutacioni sistem sa drugim telefonskim komutacioni sistemom
 - Govorne veze
 - Signalizacione veze
 - Sinhronizacione veze
 - Veze za upravljanje i nadgledanje telefonskom mrežom
- Preko prenosničkog razdjelnika povezuje komutacioni sistem sa korisnicima koji imaju veće protoke (ISDN primarni korisnici, PBX,...).
- Preko ovog bloka se komutacioni sistem uključuje u telefonsku mrežu.
- Ovaj blok je vezan govornim kanalima sa blokom komutacije, a kontrolnim linijama sa upravljačkim blokom radi kontrole komunikacije sa drugim komutacionim sistemima (upravljački blokovi međusobno komuniciraju preko signalizacije).
- Preko kontrolnih linija se u toku inicijalizacije sistema spušta softver koji se izvršava na prenosničkom bloku.



Struktura telefonskog komutacionog sistema

Blok pomoćnih organa (BPO)

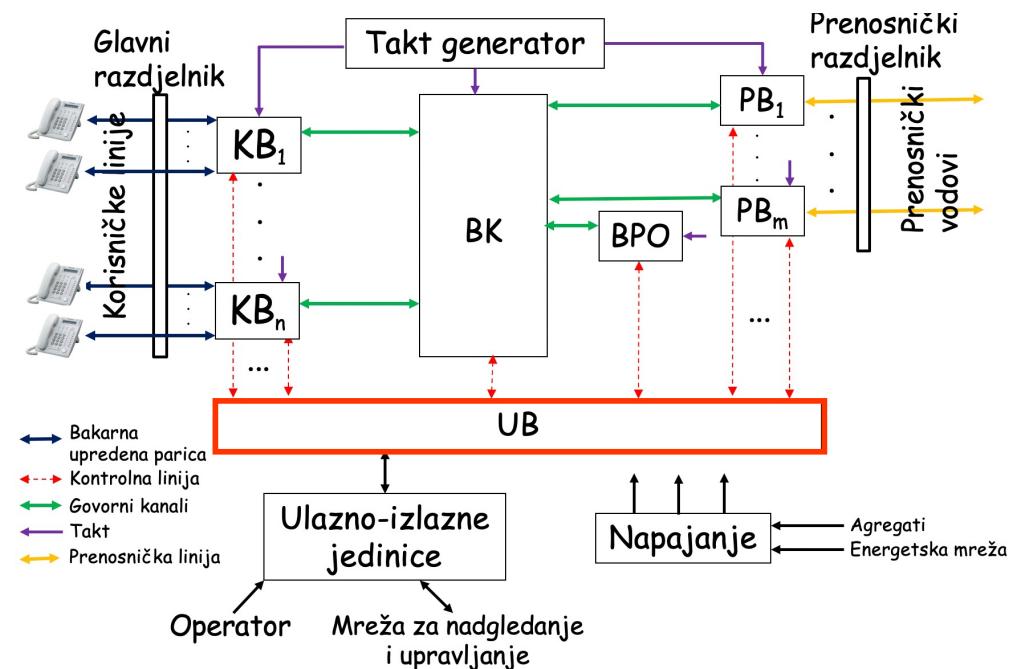
- Koristi se za neke pomoćne funkcije u komutacionom sistemu poput generisanja govornih signala (npr. obaveštenje da je biran nepostojeći pretplatnik).
- U starijim komutacionim sistemima je posjedovao prijemnike i generatore tonskih signala
- U slučaju korišćenja analogne signalizacija (R2) sadrže generatore i prijemnike tonskih signala.



Struktura telefonskog komutacionog sistema

Upravljački blok (UB)

- Upravljačka funkcija
 - kontrola svih ostalih blokova u centrali i prikupljanje informacija od njih koje se potom obrađuju i pohranjuju
 - periodično ispituje ispravnost svih blokova u sistemu i ako se detektuje neki неисправan blok prvo se pokušava njegov oporavak ponovnom inicijalizacijom (resetom) tog bloka, a ako to ne da rezultate onda se obavještava operater o problemu
 - prilikom inicijalizacije sistema vrši spuštanje softvera na sve ostale blokove u sistemu radi njihovog ispravnog funkcionisanja
 - kontrolnim linijama vezan za sve ostale blokove u sistemu.

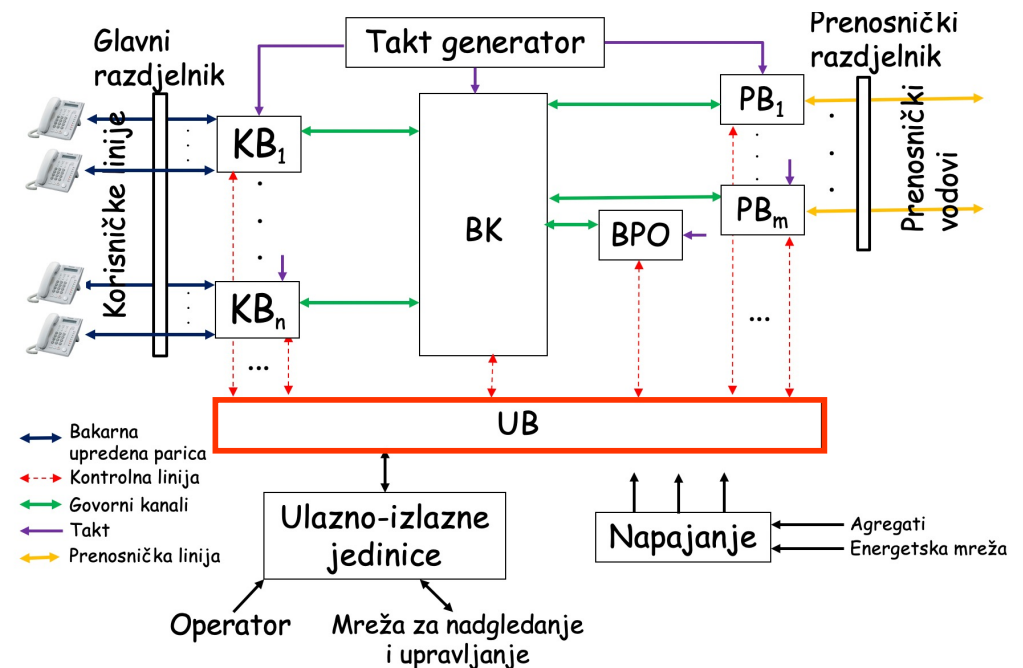


Struktura telefonskog komutacionog sistema

Upravljački blok (UB)

• Administrativna funkcija

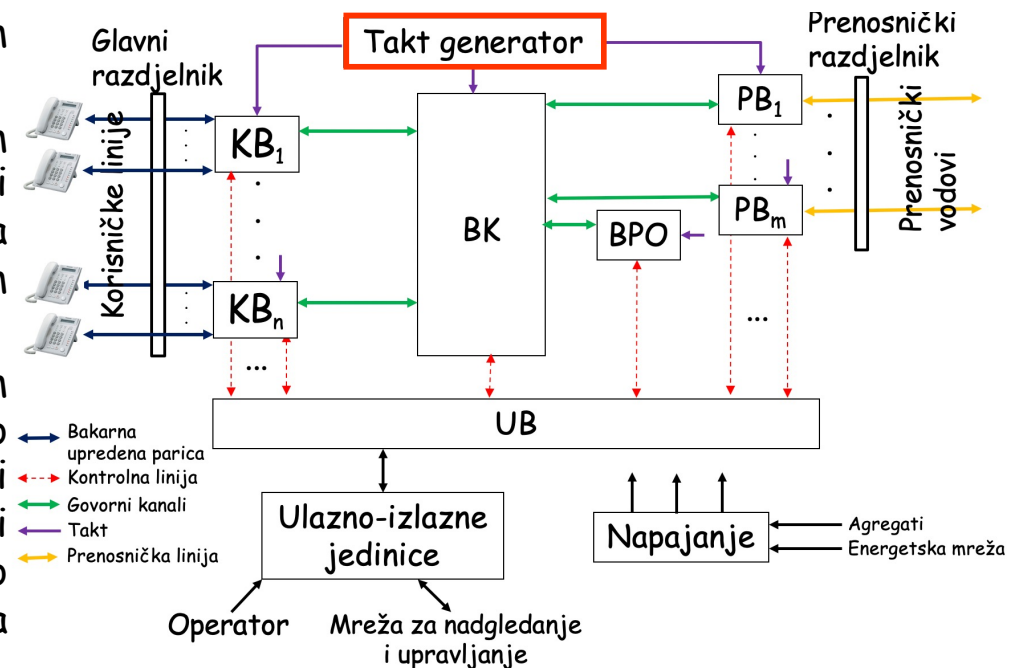
- podrazumijeva čuvanje podataka o svim korisnicima (tarifni podaci o ostvarenim vezama, servisi koje korisnik može da koristi,...)
- operater koji kontroliše rad centrale i vrši sve neophodne izmjene i analize o korisnicima je povezan na ovaj blok svojim računarom.
 - ova veza može da bude ostvarena i preko npr. modema tako da nije neophodno neposredno prisustvo operatera kod centrale
- u slučaju komutacionih sistema na višem hijerarhijskom nivou telefonske mreže, koje su bitne za ispravno funkcionisanje telefonske mreže, operater se uvek nalazi uz centralu radi pravovremenog i brzog reagovanja usled pojave nekih nepravilnosti u radu centrale
- operater sve podatke o korisnicima, centrali i svim njenim dijelovima dobija iz upravljačkog bloka



Struktura telefonskog komutacionog sistema

Takt generator

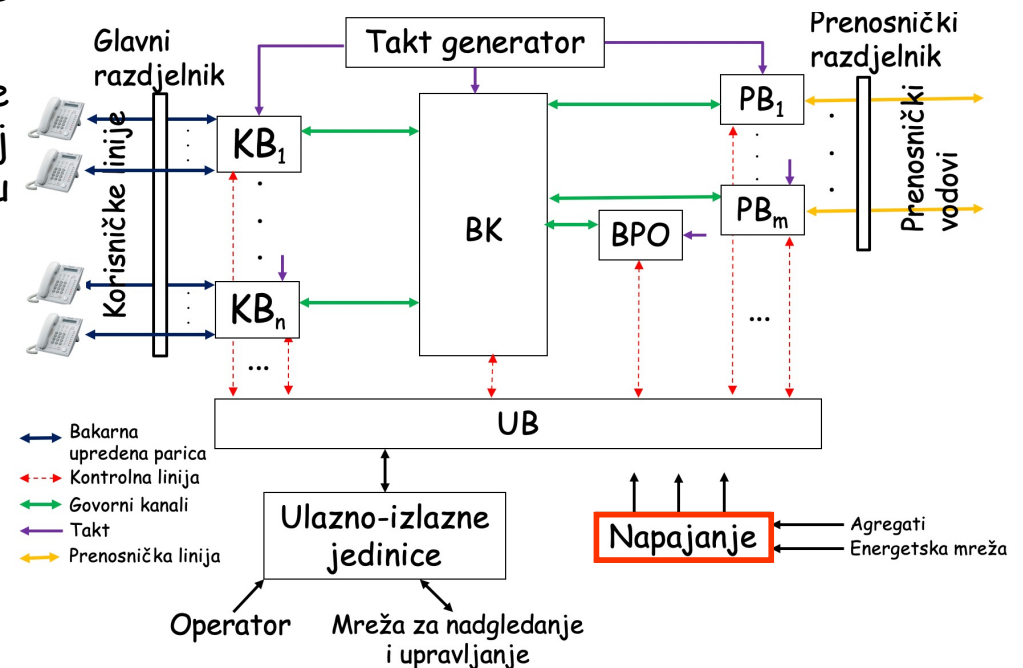
- Generiše sve taktova koji se koriste u komutacionom sistemu.
- Sinhronizacija na takt koji se dobija iz komutacionog sistema sa višeg hijerarhijskog nivoa, da bi se mogla ostvariti sinhronizacija pri prenosu sa drugim komutacionim sistemima.
- Komutacioni sistem na najvišem hijerarhijskom nivou dobija takt iz oscilatora na bazi cezijuma ili rubidijuma i dalje ga distribuira komutacionim sistemima na nižem hijerarhijskom nivou.
- U slučaju prekida veze sa komutacionim sistemima iz kojih se dobija informacija o taktu onda ovaj blok počinje da koristi sopstveni oscilator znatno manje preciznosti i tada proizvođači garantuju podnošljiv rad do nekoliko dana što se smatra dovoljnim za otklanjanje kvara
- Postoji mogućnost i da se informacija o taktu dobija preko GPS sistema (rijetko se koristi u nacionalnim telefonskim mrežama jer GPS sistem nije pod kontrolom nacionalnih operatora što je bezbjedonosni problem)



Struktura telefonskog komutacionog sistema

Napajanje

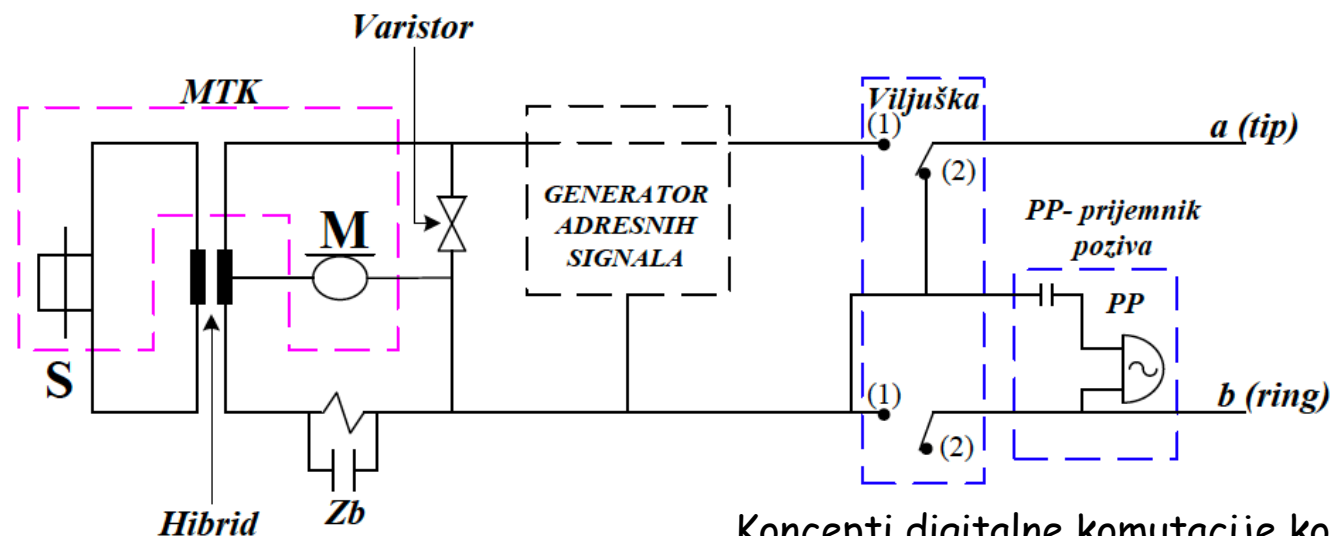
- Napaja sve blokove komutacionog sistema radi njihovog ispravnog funkcionisanja,
- Napajanje telefonskih aparata koji su u slučaju nestanka struje u domaćinstvu i dalje operativni.
- Napajanje se dobija iz javne električne mreže, ali u slučaju kvara na javnoj električnoj mreži u pogon se stavljaju agregati koji služe kao rezerva.



Analogna korisnička linija

Analogni telefonski aparat (ATA)

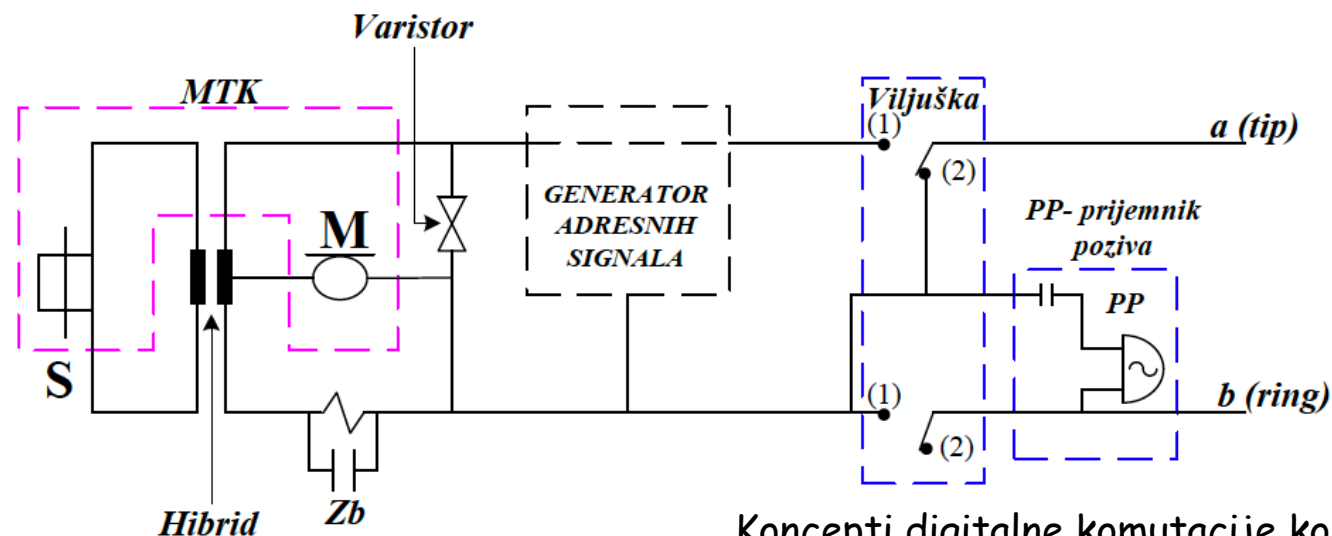
- Stari mehanički telefonski aparati (koji imaju brojčanik i mehaničke i pasivne električne elemente) koji omogućavaju samo dekadno biranje.
- Elektronski telefonski aparati (redukovana je broj mehaničkih dijelova tako što je većina mehaničkih dijelova zamijenjena elektronskim delovima) koji omogućavaju i dekadno i tonsko (DTMF) biranje.
- ATA na svom kraju ima upredenu paricu (linije a i b (oznaka u Evropi), koje se još označavaju sa tip i ring (oznaka u Americi)).
- Preko upredene parice, ATA je povezan na glavni razdjelnik na strani telefonske centrale.
- ITU-T organizacija je definisala Z-interfejs koji propisuje standarde za vezu između analognih telefonskih aparata (ATA) i telefonske centrale.
- Ulazna impedansa Z-interfejsa je 600Ω , frekvencijski opseg je 300Hz-3400Hz, a potreban odnos signal/šum 30dB.



Analogni telefonski aparat (ATA)

MTK (mikrotelefonska kombinacija)

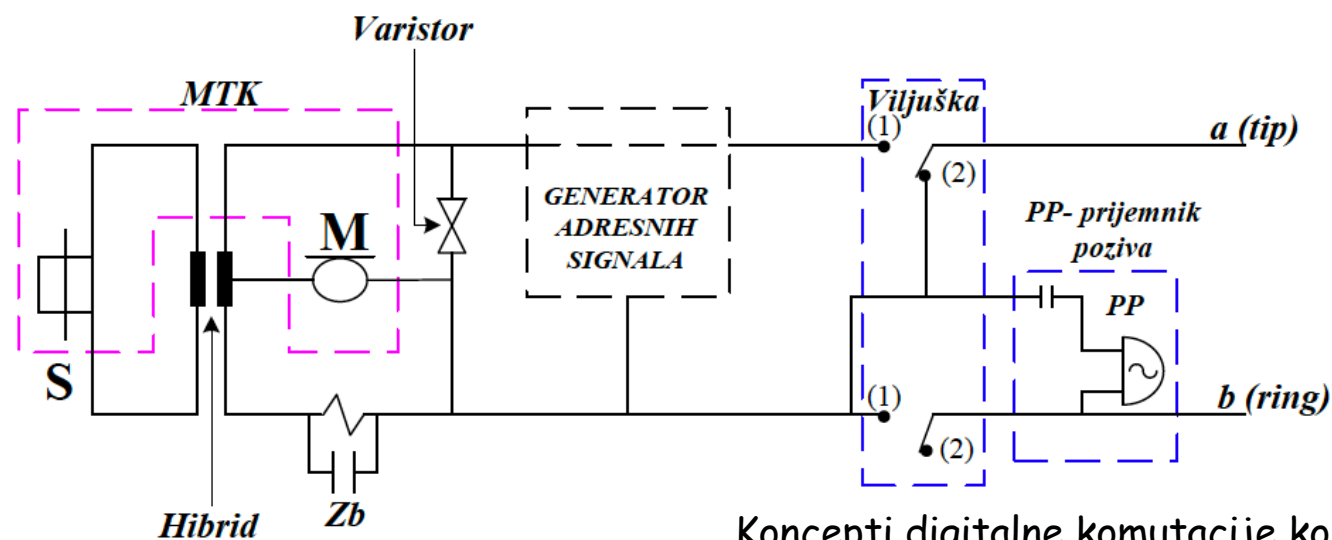
- Telefonska slušalica koju čine mikrofoni (M) i slušalica (S)
- Mikrofoni se ponašaju kao otpornik čija je otpornost manja što je jači zvučni signal, tako da pošto se telefon napaja jednosmjernim naponom promjena otpornosti mikrofona mijenja intenzitet struje (20-80mA) u parici koja je analogno modulirana govornim signalom.
- Na sličan način se dolaznim govornim signalom u KOA moduliše intenzitet struje čije varijacije izazivaju treperenje opne u slušalici.
- MTK se na telefonsku paricu povezuje preko transformatora koji se naziva hibrid.



Analogni telefonski aparat (ATA)

Hibrid

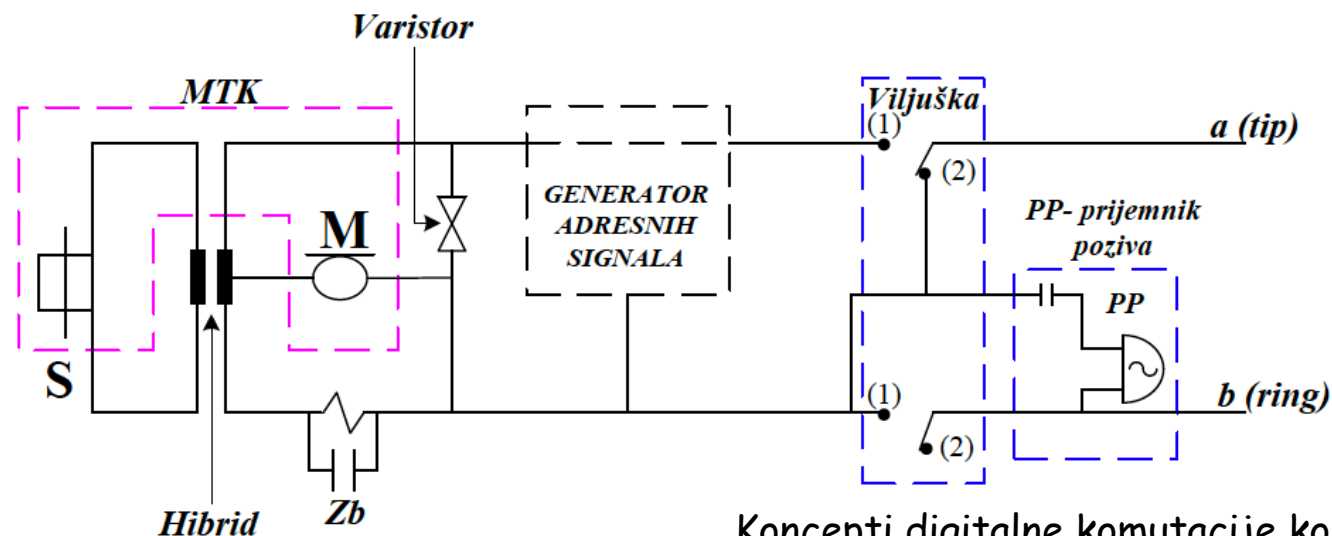
- Vraća dio signala sa mikrofona na slušalicu radi boljeg subjektivnog osjećaja telefonskog razgovora
- U MTK se prenos signala obavlja se 4 žice (po dvije za M i S) a hibrid omogućava prelaz na dvije žice kojima je ATA povezan na telefonsku centralu
- Ranije se implementirao transformatorima dok se danas koriste elektronska kola



Analogni telefonski aparat (ATA)

Varistor

- Otpornik čija otpornost zavisi od napona (veći napon znači da je otpornost varistora manja).
- Kompenzuje nivo signala koji generiše govornik preko mikrofona.
- Ako govornik govori glasnije, na mikrofону će se generisati jači signal tj. mikrofون će imati manju otpornost, pa će napon na varistoru biti veći, čime će se smanjiti njegova otpornost.
- Pošto se smanjuje otpornost varistora, veći intenzitet struje će teći kroz varistor.
- Vrš se podešavanje modulisanе jačine struje kroz paricu, odnosno jačine govornog signala koji će da čuje slušalac.
- Time je postiže da slušalac uvek čuje sličan nivo jačine govornog signala, bez obzira da li govornik govori normalnim ili povišenim intenzitetom glasa.



Analogni telefonski aparat (ATA)

Generator adresnih signala

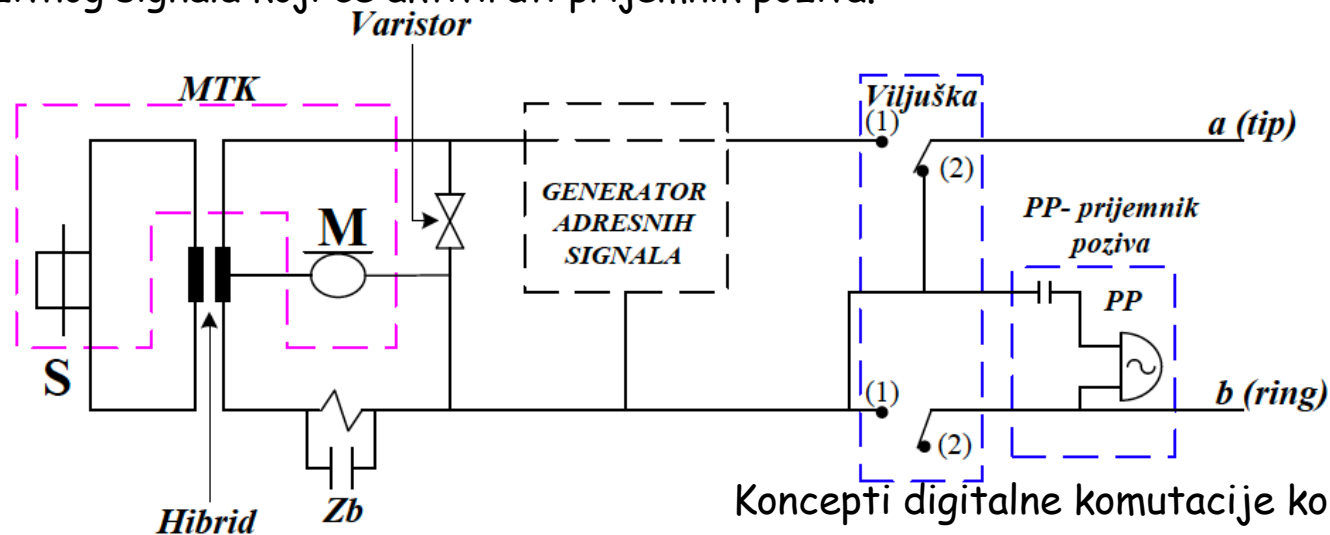
- Šalje cifre (adresu) pozvanog korisnika.
 - Dekadno biranje (prekidanje strujne petlje)
 - Tonsko biranje (slanje kombinacije tonova)

Viljuška

- Prekidač koji uključuje/isključuje govorni dio telefona i prijemnik poziva.
- Kada je MTK spuštена, ATA se nalazi u stanju hook-on i tada je uključen prijemnik poziva. Viljuška se nalazi u položaju (2) kada je MTK spuštена.
- Kada je MTK podignuta, ATA se nalazi u stanju hook-off i tada je uključen govorni deo telefona, a isključen je prijemnik poziva. Viljuška se nalazi u položaju (1) kada je MTK podignuta.

Prijemnik poziva (zvono)

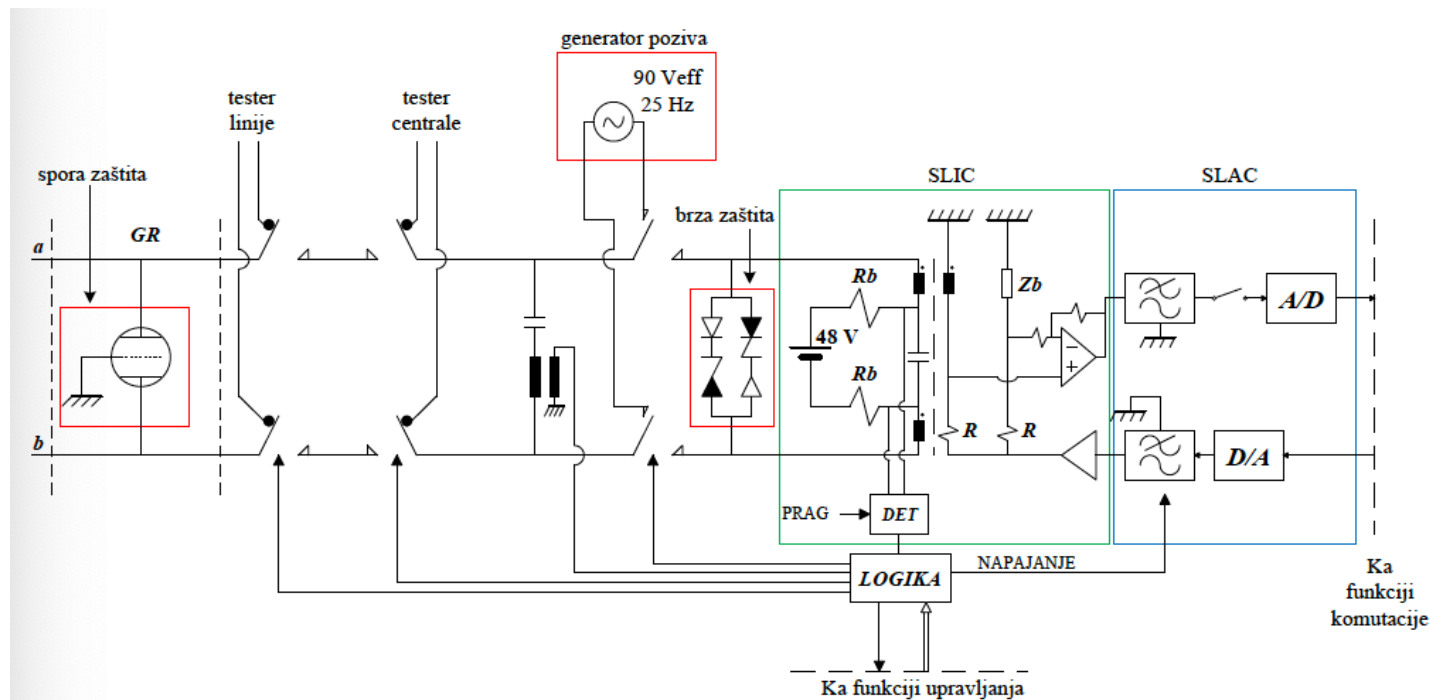
- Uključen kada je MTK spuštена
- U slučaju poziva centrala će na paricu umjesto izvora jednosmjernog napona (-48V) povezati generator pozivnog signala koji će aktivirati prijemnik poziva.



Korisnički organ analogni (KOA)

Korisnički organ analogni (KOA)

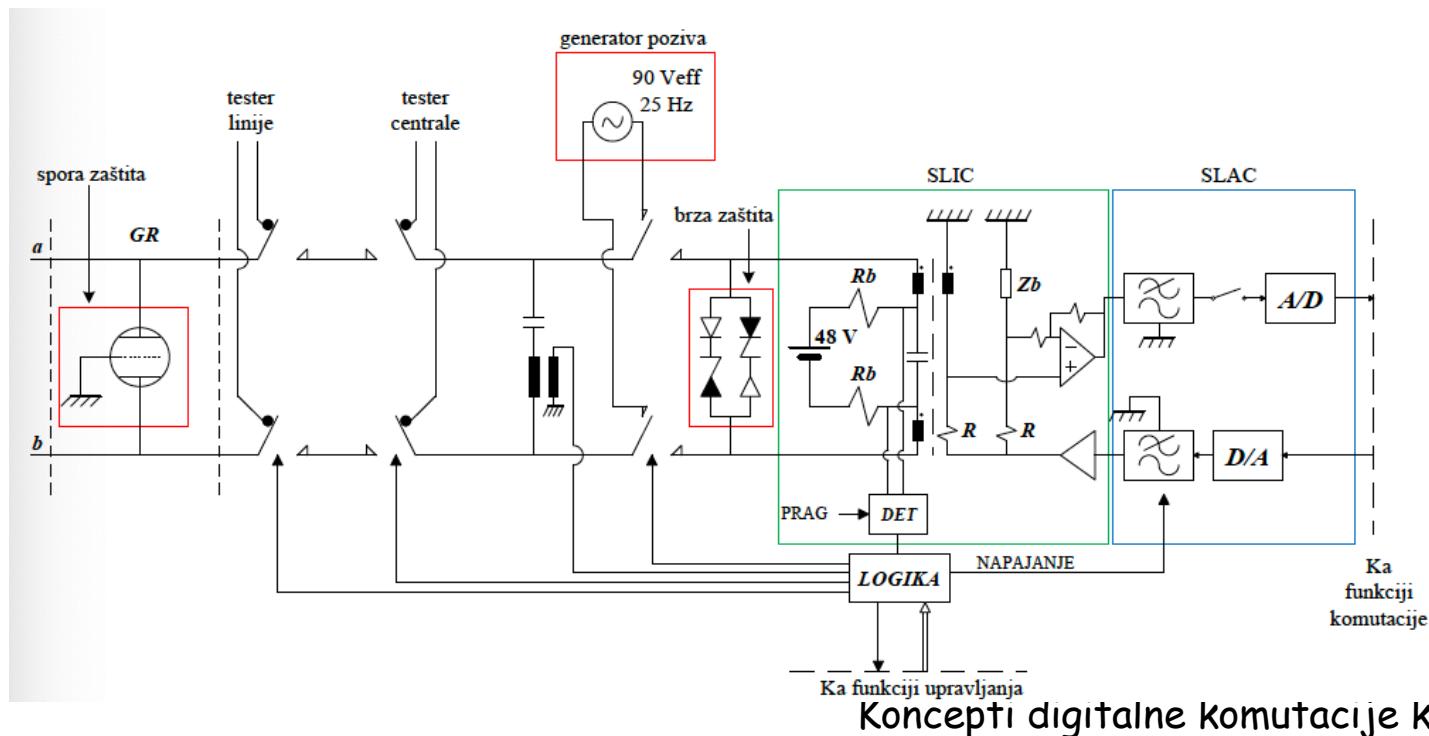
- Izvršava skup funkcija (BORSCHT) koje su neophodne za opsluživanje telefonskog pretplatnika
 - B (*Battery feed*)
 - O (*Overvoltage*)
 - R (*Ringing*)
 - S (*Signaling*)
 - C (*Coding*)
 - H (*Hybrid*)
 - T (*Testing*)



Korisnički organ analogni (KOA)

B (*Battery feed*) funkcija

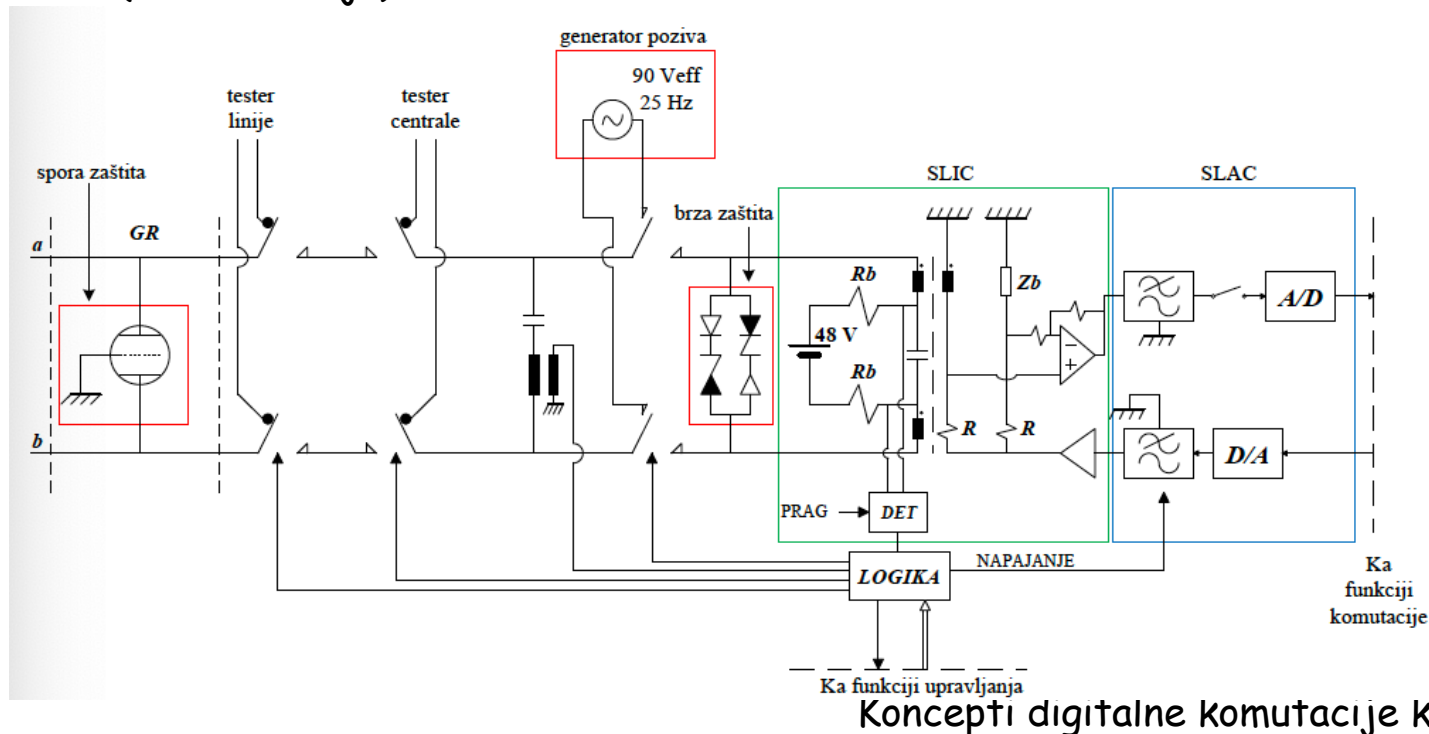
- Napajanje telefonskih pretplatnika jednosmernim naponom -48V što omogućava:
 - Protok jednosmjerne struje (kada je MTK podignuta) koja je analogno modulirana govornim signalom
 - Prenos adresnih signala prekidanjem strujnog kola (dekadno biranje)
- Napon ima negativnu vrijednost kako bi se izbjegao galvanski efekat svojstven bakru
- Kondenzator čija se kapacitivnost bira tako da za govorni signal (opsega 300/3400Hz) bude praktično kratak spoj, sprečava kratak spoj generatora jednosmjernog napona odnosno potrošnju energije kada je MTK spušta



Korisnički organ analogni (KOA)

O (*Overvoltage*) funkcija

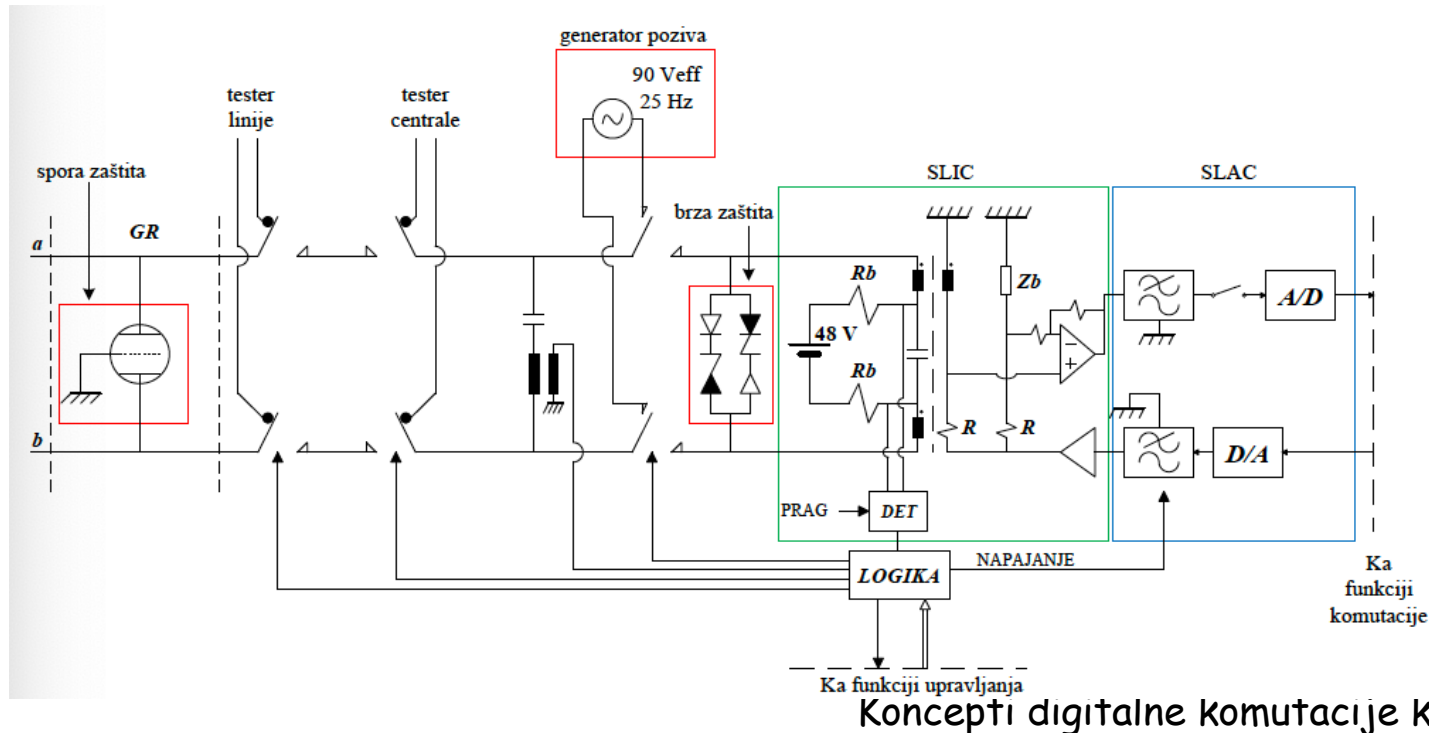
- Prekostrujna zaštita štiti djelove centrale i sprečava njihova oštećenja od smetnji koje mogu doći sa korisničke strane.
- Na samom glavnom razdjelniku se ostvaruje primarna (spora) zaštita koja se realizuje kao gasna dioda koja probije ukoliko dođe neka visokoenergetska naponska ili strujna smetnja.
- Naponske smetnje imaju vrijednost do nekoliko kV, a strujne do nekoliko desetina A.
- Ova zaštita je neophodna, ali nije i dovoljna jer je za njenu aktivaciju potrebna velika smetnja.
- Zato postoji i sekundarna (brza) zaštita koja se formira upotrebom dioda i zener dioda. Ona se aktivira u slučaju smetnji manjih intenziteta, koje se tipično dešavaju u kraćim vremenskim intervalima (brže smetnje).



Korisnički organ analogni (KOA)

R (*Ring*) funkcija

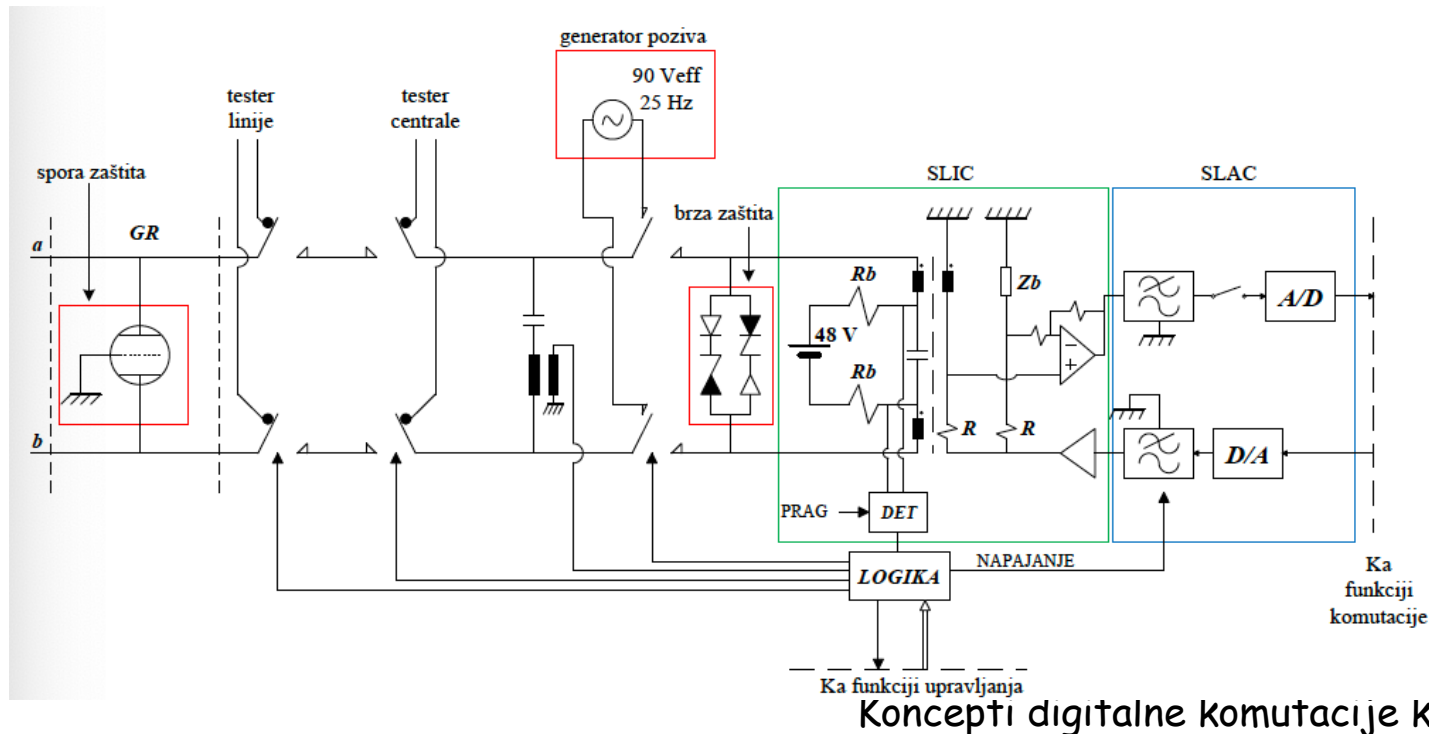
- Funkcija signala poziva obezbeđuje da telefon zvonj u slučaju poziva tako što se generator naizmeničnog napona (generator poziva) periodično priključuje na liniju.
- U CG je trajanje periode 5s, pri čemu je 4s pauze (generator isključen), a 1s je zvonjenje (generator uključen). Pauza je neophodna jer bi u slučaju stalne uključenosti generatora bilo nemoguće detektovati podizanje slušalice od strane traženog pretplatnika. Pri tome je pauza duža da bi se izbeglo da korisnik koji se javlja čuje generator poziva.
- Napon generatora poziva je $90V_{eff}$, a frekvencija je 25Hz.
- Zbog visokog napona generatora poziva, može se pojaviti smetnja u susjednim paricama (problem kod DSL-a)



Korisnički organ analogni (KOA)

S (Signaling) funkcija

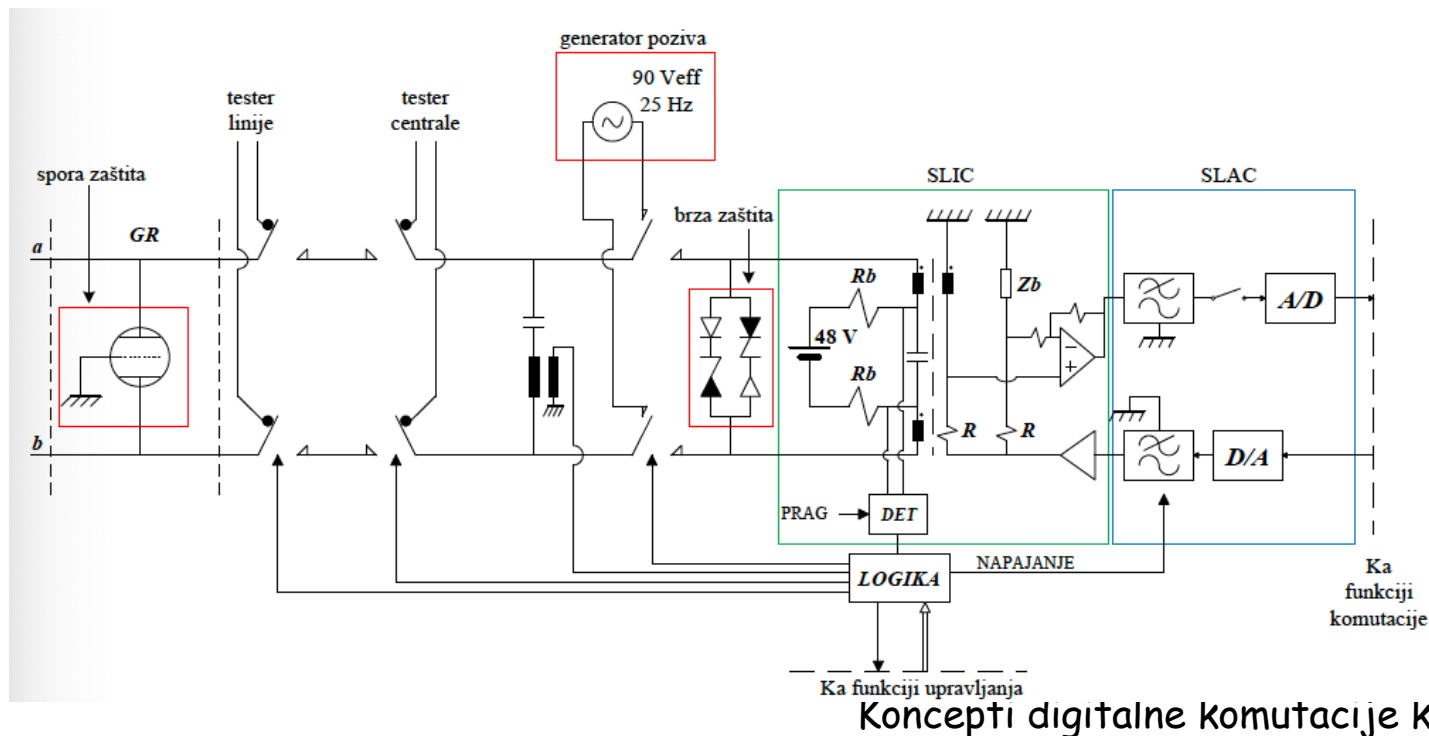
- Funkcija signalizacije između pretplatnika i centrale kojom se centrala obavještava da li je MTK podignuta ili ne.
- Kada je MTK spuštена tada je viljuška u ATA u položaju da je strujno kolo prekinuto i priključen je prijemnik poziva (hook-on stanje). U slučaju kada je MTK podignuta onda je strujno kolo zatvoreno i usled toga se napon na detektoru mijenja (hook-off stanje).
- U zavisnosti od napona na detektoru i praga, detektor zaključuje da li je MTK spuštена ili podignuta i tu informaciju šalje ka logici, a ova dalje funkciji upravljanja.
- Pod ovom funkcijom se podrazumijeva i slanje adresnih signala centrali, kao i slanje tarifnih signala (impulsa) koje generiše logika ka upravljačkom dijelu.



Korisnički organ analogni (KOA)

C (Coding) funkcija

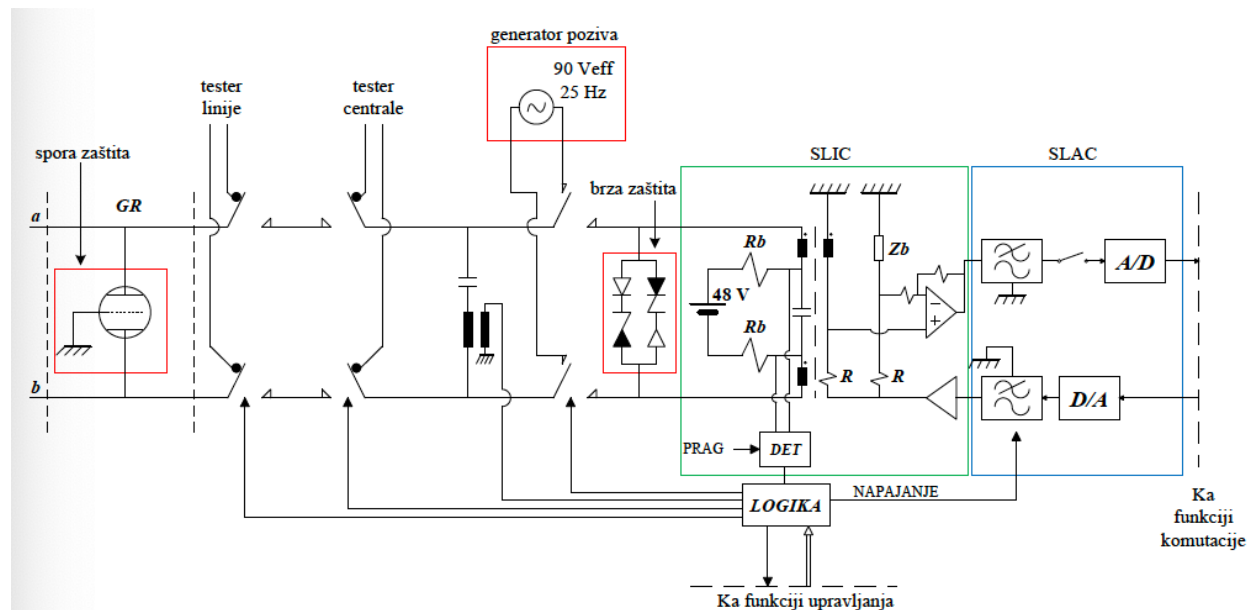
- Funkcija kodiranja služi za dobijanje digitalnog signala.
- Prvo se govorni signal koji dolazi od pretplatnika filtrira kroz NF filter, zatim se filtriran signal odabira učestanošću 8kHz i na izlazu odabirača se dobija IAM signal koji se vodi u blok za A/D konverziju.
- U A/D konvertoru se vrši konverzija analognog signala u digitalni signal pri čemu se svaki odbirak kodira sa 8 bita po A zakonu kompresije u Evropi (μ zakon u Americi).
- U prijemnom smjeru se vrši dekompresija i D/A konverzija, a potom i pojačanje dobijenog analognog signala.



Korisnički organ analogni (KOA)

H (Hybrid) funkcija

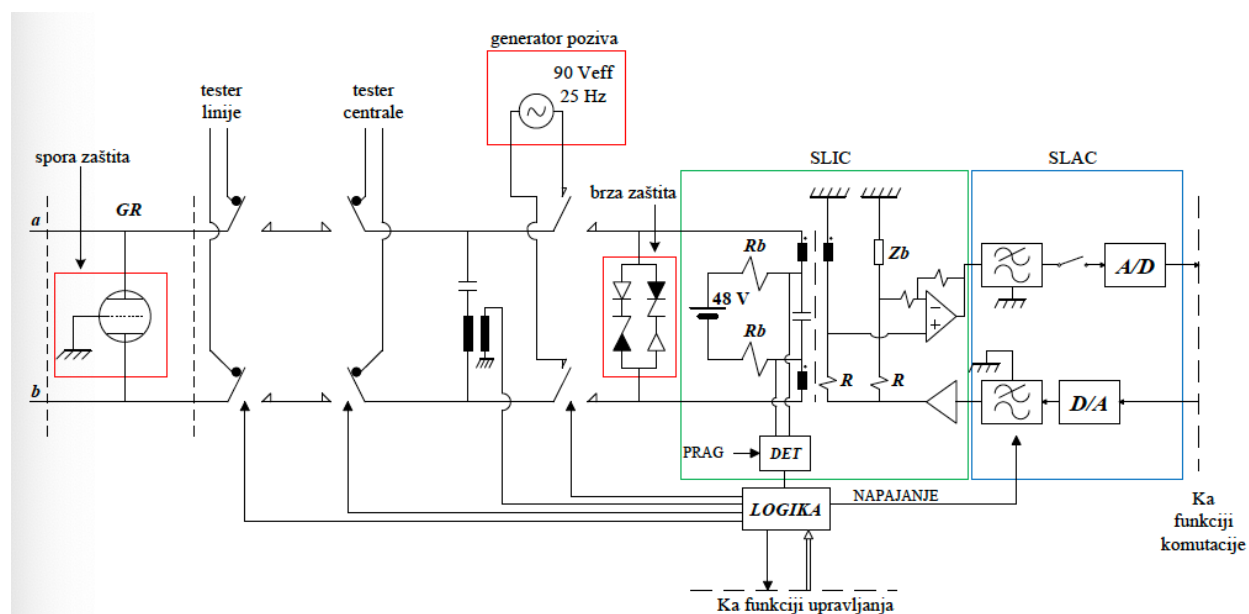
- Obezbeđuje prelaz sa dvožičnog prenosa na četvorožični i obrnuto.
- Sastoji se od transformatora i balansne impedanse Z_B .
- Prenos do centrale je dvožični (upredena parica) koji je simetričan (obje žice su ravnopravne), a u centrali je četvorožičan (po dve žice za svaki smjer i pri tome u svakom paru je jedna referentna žica, a druga aktivna žica se još naziva i 'vrući kraj', u praksi su u suštini tri žice u pitanju jer je referentna žica zajednička)
- Hibrid teži da bude idealan odnosno da onemogućava da se primljeni govorni signal od pretplatnika vrati ka njemu samom tako što će se reflektovati od transformatora.
- Ova pojava se naziva eho.
- Da bi se eho što više potisnuo (oslabio) koristi se balansna impedansa Z_b .



Korisnički organ analogni (KOA)

T (Testing) funkcija

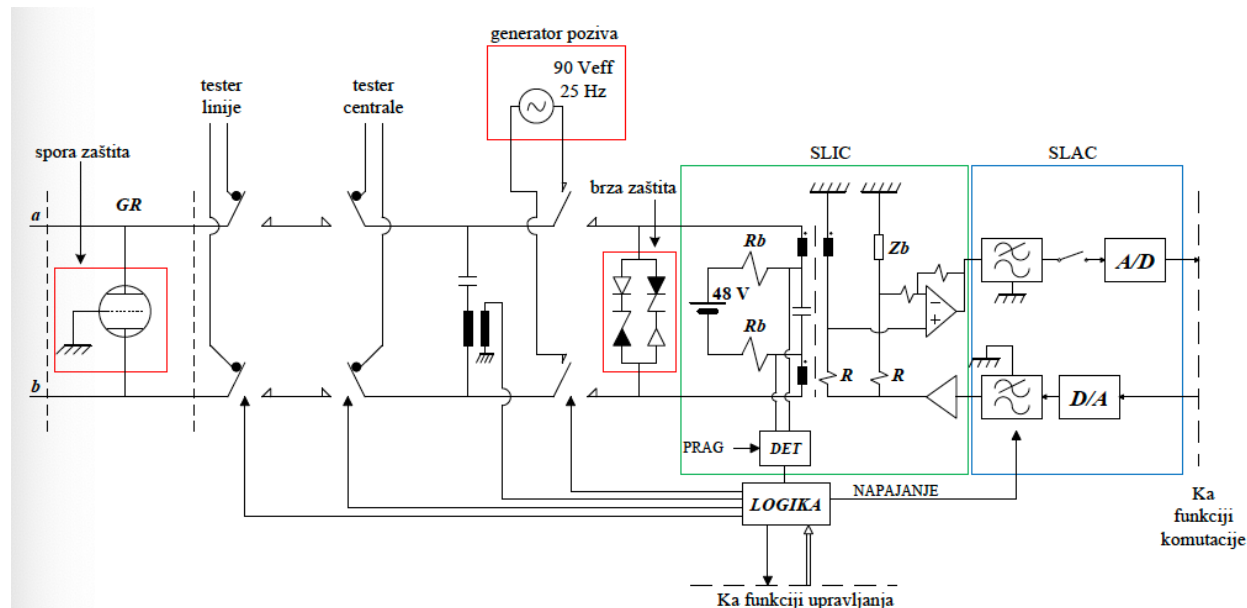
- Preko releja se uređaji za testiranje uključuju na liniju.
- Postoje testeri korisničke linije, ali i testeri centrale.
- Neke centrale pri svakoj uspostavi veze testiraju liniju.



Korisnički organ analogni (KOA)

SLIC (*Subscriber Line Interface Circuit*)

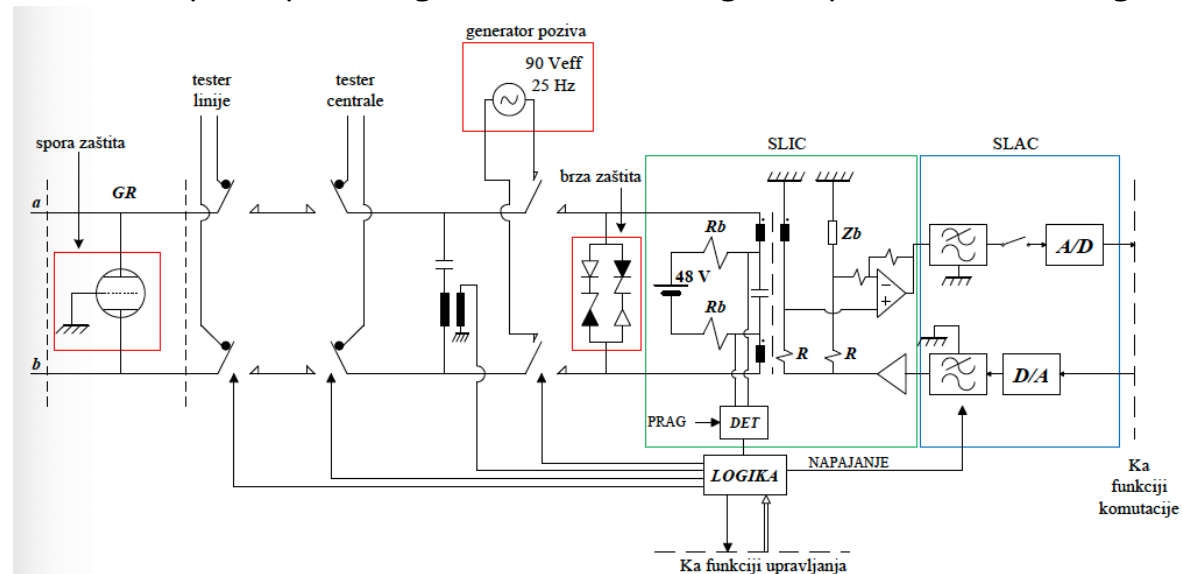
- Uloga SLIC-a je povezivanje pretplatničke linije na centralu.
- SLIC predstavlja interfejs centrale prema pretplatničkoj liniji.
- SLIC sadrži jednosmerni naponski generator, detektor i hibrid.
- Prva rješenja SLIC-a su sadržavala hibrid koji je realizovan pomoću klasičnog transformatora. Nisu korišćena integrisana kola. Mana takvih rešenja je bila cijena i dimenzije, a prednost je galvansko razdvajanje koje je postignuto i time praktično postignuta dodatna zaštita od visokoenergetskih smetnji.
- Kasnije su korišćena rješenja koja su kombinovala integrisana kola i jednostavan transformator.
- Današnja rešenja kompletno realizuju upotrebom integrisanih kola, a funkcija hibrida se ostvaruje preko operacionog pojačavača.



Korisnički organ analogni (KOA)

SLAC (*Subscriber Line Access Circuit*)

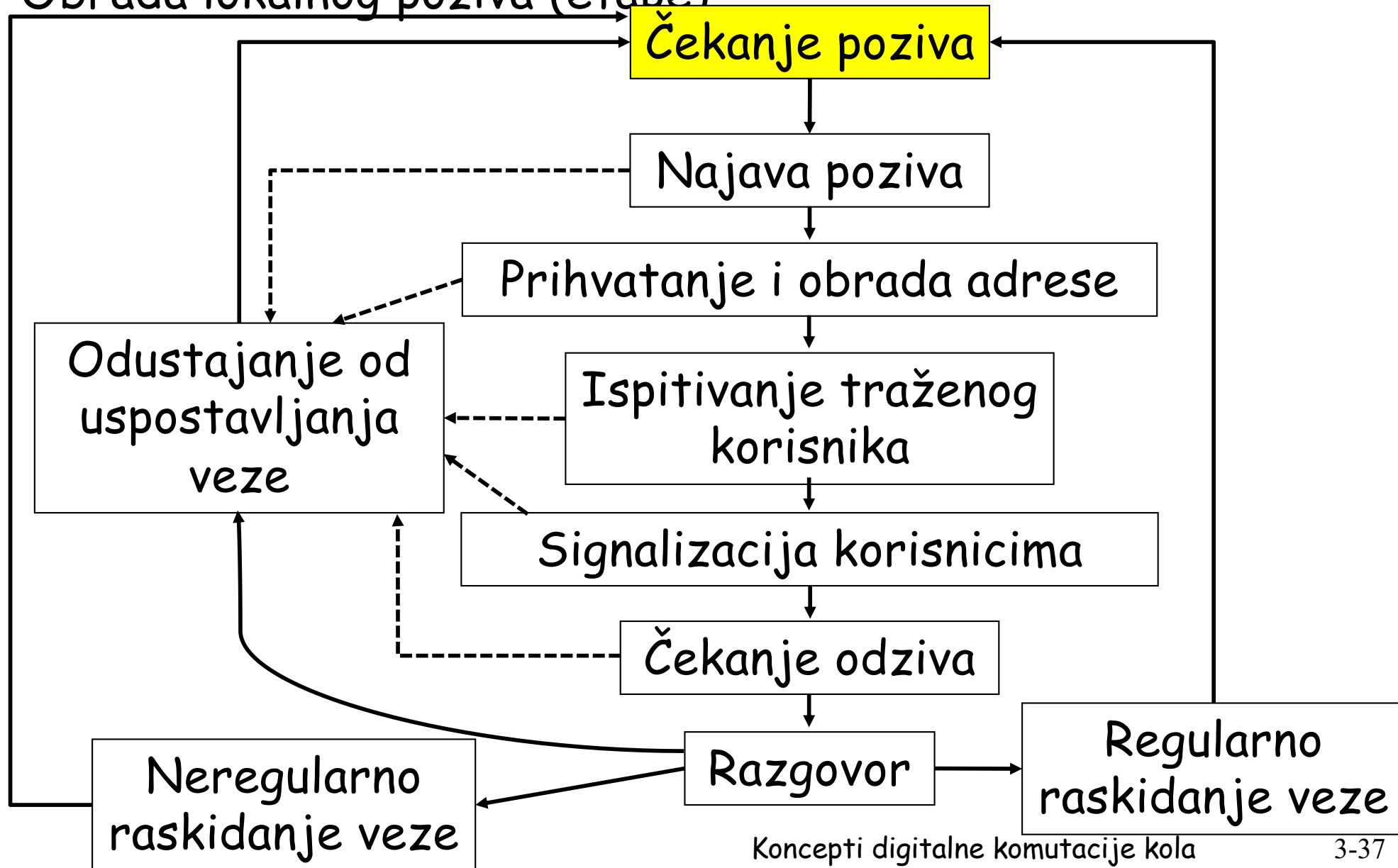
- Obavlja konverziju govornog signala iz analognog u digitalni oblik i prilagođavanje signala daljem prenosu kroz telefonsku mrežu
- Obrnuti postupak se vrši za suprotni smjer.
- Prva rješenja SLAC-a su se zasnivala na A/D konverziji koja se izvršavala pomoću klasičnih diskretnih elemenata. Filtri su morali da imaju oštar prelaz i posebno podešavanje ulazne/izlazne impedanse. Pošto su korišćene diskretne komponente takva rješenja su imala velike gabarite.
- Zatim se prešlo na filtre sa aktivnim komponentama koji su jeftiniji i lakši za proizvodnju. Međutim, problem koji se javlja kod njih je ofset na izlazu kad je na ulazu operacionog pojačavača nula (nema signala), što dovodi do degradacije kvaliteta kompresije A/D konvertora, pa se zato uvode posebne povratne sprege radi izvršavanja neophodnih korekcija.
- U poslednjim rješenjima se izbacuju aktivni filtri i klasična realizacija A/D konverzije. U ovim rešenjima, konverzija je zasnovana na principima digitalne obrade signala pomoću DSP (*Digital Signal Processing*) procesora.



Posluživanje lokalne veze

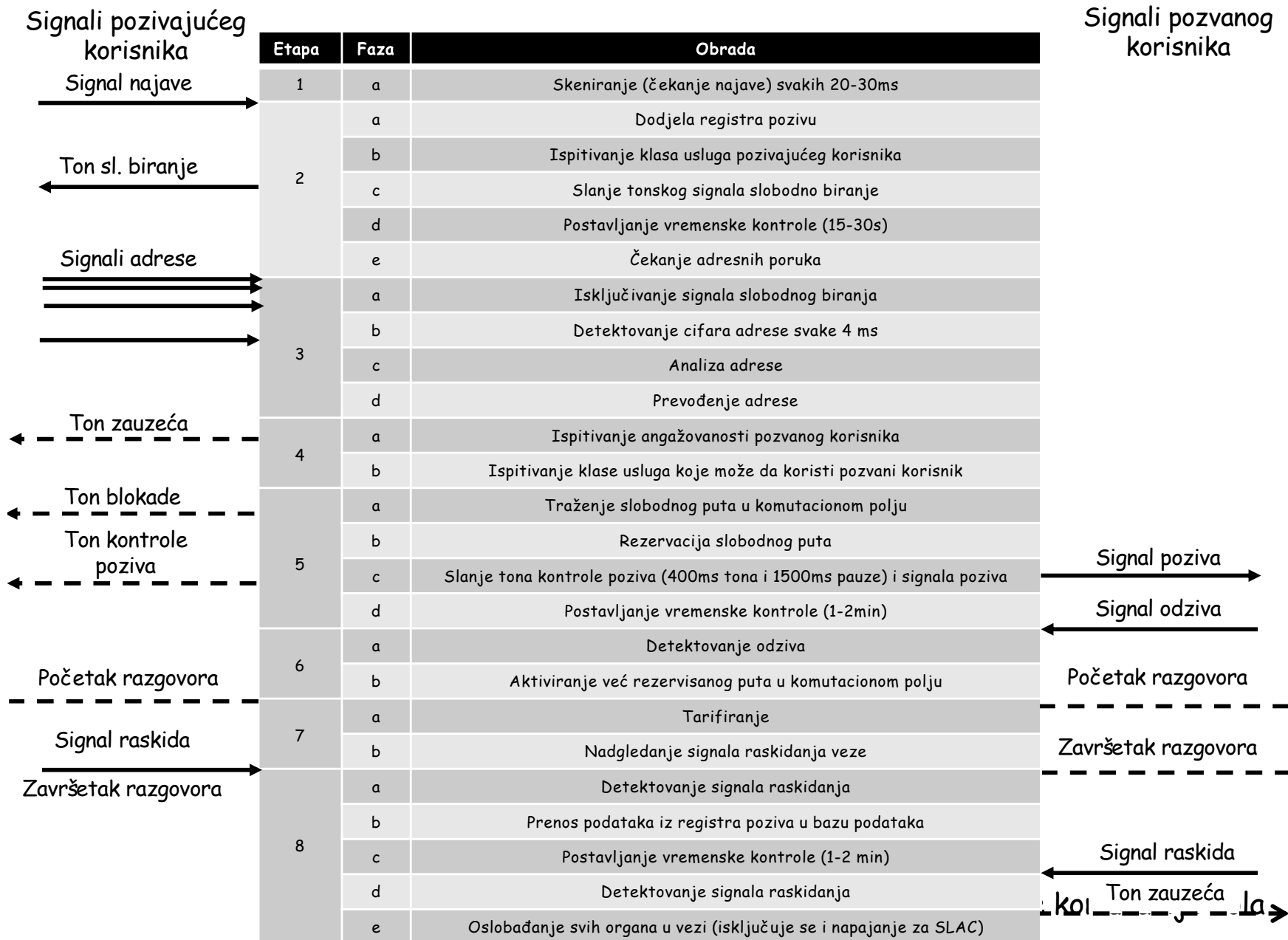
Posluživanje lokalne veze

Obrada lokalnog poziva (etape)



Posluživanje lokalne veze

Signalizacija prilikom posluživanja lokalne veze



Posluživanje lokalne veze

Signalizacija prilikom posluživanja ostalih tipova veza

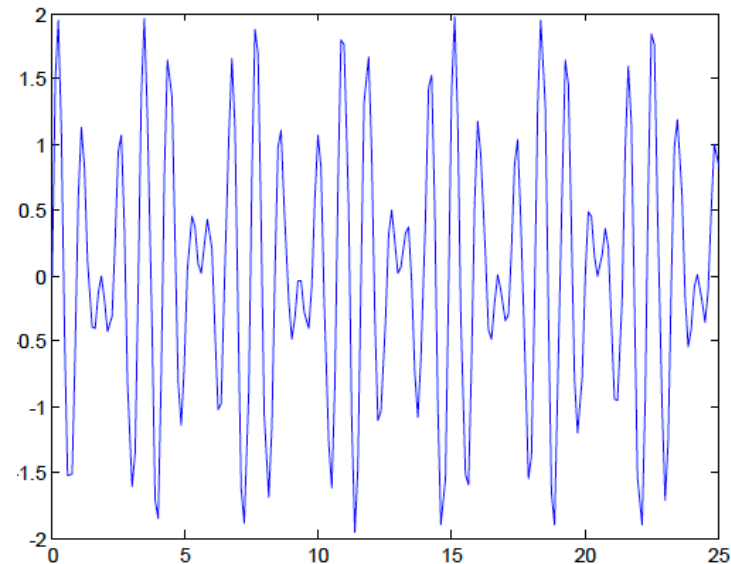
- Za odlazne pozive, gdje je traženi korisnik priključen na drugu centralu, prikazane etape i faze se djelimično razlikuju jer je proces uspostavljanja veze komplikovaniji pošto obuhvata i proces signalizacije između centrala kao i zauzimanje resursa na prenosničkim vodovima između centrala.
- Za razliku od lokalne veze, prethodno se mora izvršiti zauzimanje resursa na prenosničkim vodovima između centrala i započeti signalizacija između centrala prije nego što se može ispitati status traženog korisnika.
- Ponašanje centrale se mora definisati na sličan način i za dolazne pozive, kao i za tranzitne pozive.

Posluživanje lokalne veze

Tabela tonova

f_v f_n [Hz]	1209	1336	1477	1633
697	1	2	3	A
770	4	5	6	B
852	7	8	9	C
941	*	0	#	D

Signal za taster *

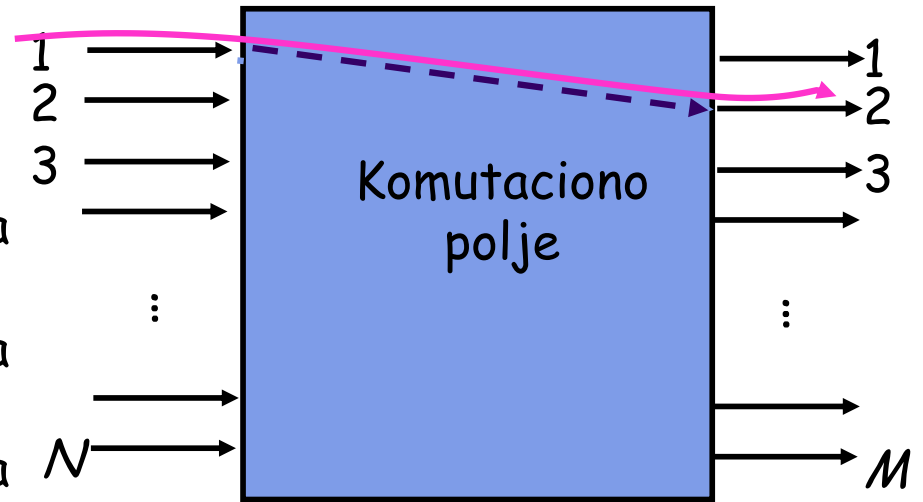


Ton kontrole poziva 400ms tona i 1500ms pauze, 425Hz, 100mVeff

Komutaciono polje

Komutaciono polje

- ❑ $M=N$ komutaciono polje obavlja distribuciju
- ❑ $M<N$ komutaciono polje obavlja koncentraciju
- ❑ $M>N$ komutaciono polje obavlja ekspanziju



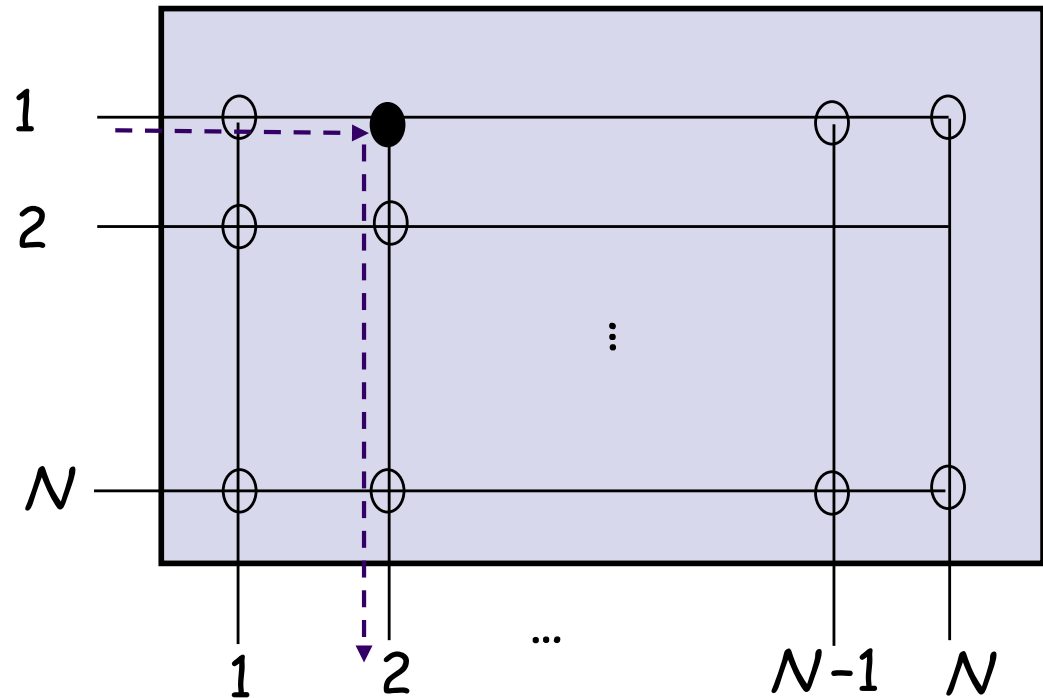
- ❑ Potpuna dostupnost ulaza znači da se sa svakog ulaza može doseći svaki izlaz
- ❑ Skalabilnost predstavlja mogućnost proširivanja kapaciteta komutacionog polja
- ❑ Neblokirajuće komutaciono polje uvijek omogućava povezivanja bilo kojeg slobodnog ulaza i bilo kojeg slobodnog izlaza
- ❑ Cijena
- ❑ Kompleksnost
- ❑ Tip multipleksa na ulazu (prostorni, vremenski, frekvencijski, kodni)

Tipovi komutacionih polja

- Prostorno
 - Komutator na bazi prostorne raspodjele
 - Uspostavljanje fizičke veze između ulaza i izlaza
 - Primjeri: Krosbar komutatori, Višekaskadni komutatori
- Vremensko
 - Komutator na bazi vremenske raspodjele
 - Tehnika prosleđivanja vremenskih kanala iz multipleksa na ulazima u odgovarajuće multiplekse na izlazu.
 - Vremensko-prostorni-vremenski komutatori
- Frekvencijsko
 - Veza se ostvaruje posredstvom frekvencijskih kanala.
 - Neekonomični tako da nijesu našli primjenu.
 - Optički komutatori
- Kodno
- Hibridni kombinuju vremensku & prostornu komutaciju

Krosbar prostorno komutaciono polje

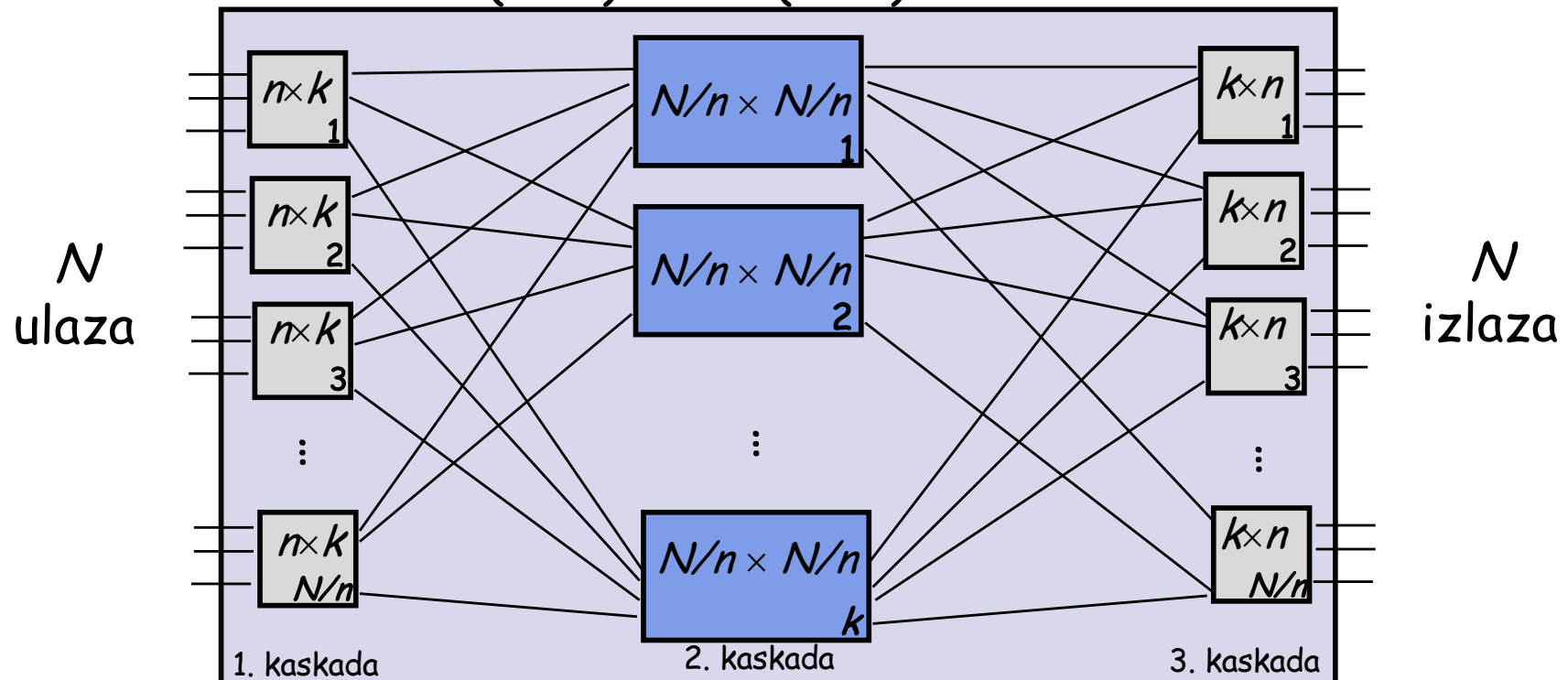
- $N \times N$ matrica ukrasnih tačaka
- Povezuje ulaz sa izlazom zatvaranjem ukrasnih tačaka
- Neblokirajuće: Svaki ulaz se može povezati na slobodni izlaz
- Kompleksnost: N^2 ukrasnih tačaka



Višekaskadno prostorno komutaciono polje

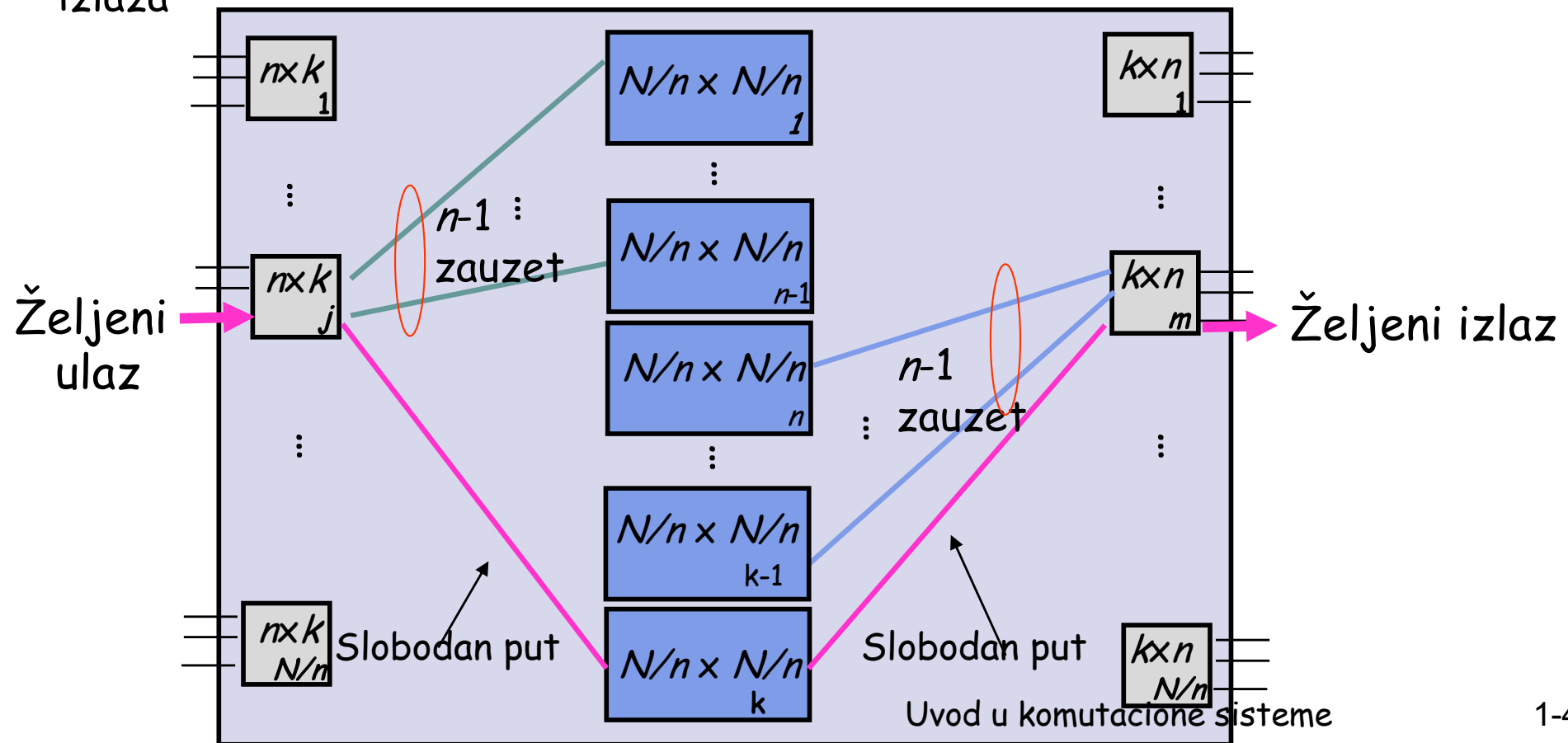
- Veliki komutator se pravi od više kaskada malih komutatora
- n ulaza komutatora prve kaskade zajednički koriste k puteva kroz krosbar međukomutatore
- Veliko k (više krosbar međukomutatora) znači više puteva do izlaza
- 1950-tih, Clos je dao odgovor na pitanje, “Koliko krosbar međukomutatora je potrebno da bi komutator bio neblokirajući?”

$$2(N/n)nk + k(N/n)^2 \text{ ukrasnih tačaka}$$



Closov uslov

- Zahtijeva vezu između posljednjeg ulaza proizvoljnog komutatora j do posljednjeg izlaza proizvoljnog izlaznog komutatora m
- Najgori slučaj: Svi drugi ulazi ulaznog komutatora j su zauzeli prvih $n-1$ međukomutatora i svi drugi izlazi izlaznog komutatora m su zauzeli sledećih $n-1$ međukomutatora
- Ako je $k=2n-1$, postoji još jedan slobodan put od željenog ulaza do željenog izlaza



Closov uslov

Broj ukrasnih tačaka u Klosovom komutatoru

$$C(n) = 2Nk + k \left(\frac{N}{n}\right)^2 = 2N(2n - 1) + (2n - 1) \left(\frac{N}{n}\right)^2 = N(2n - 1) \left(2 + \frac{N}{n^2}\right)$$

Izvod po n :

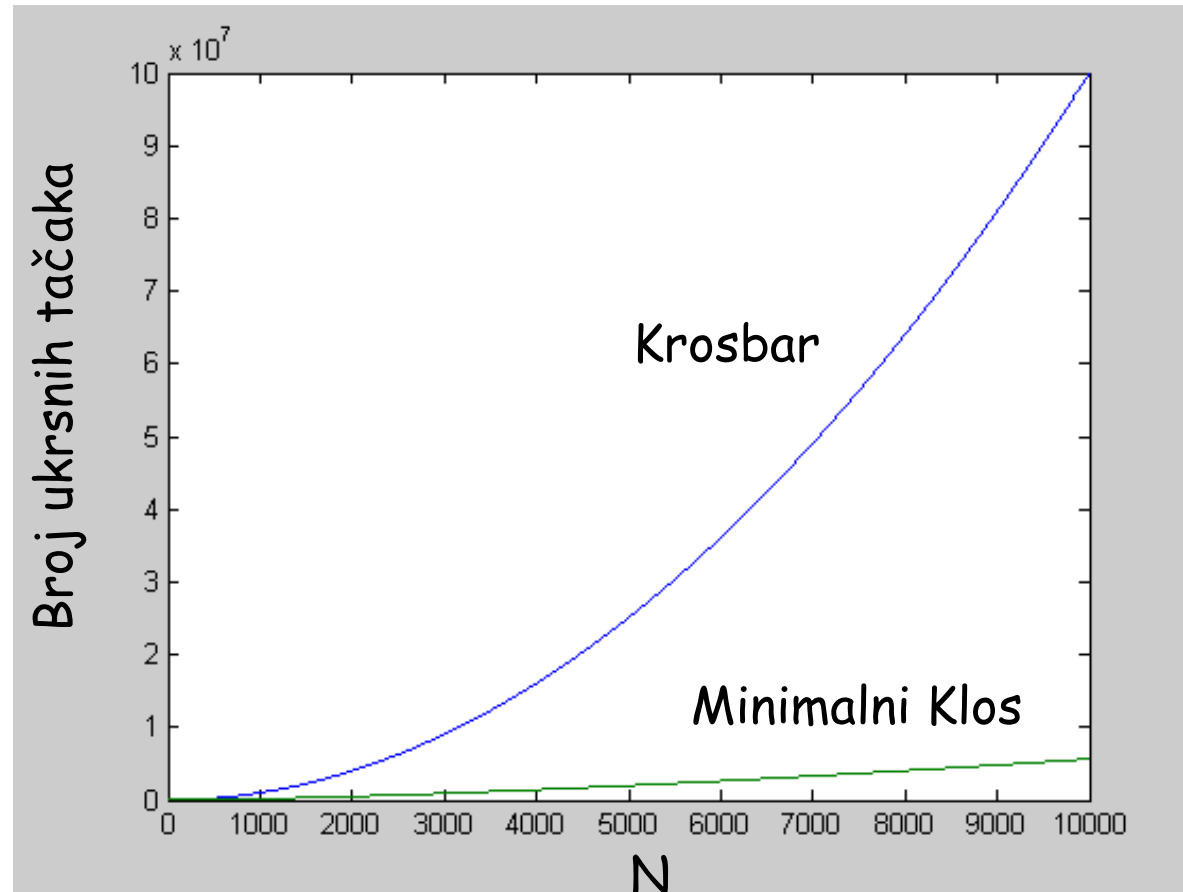
$$0 = \frac{dC(n)}{dn} = 4N + 2 \left(\frac{N}{n}\right)^2 - 2N(2n - 1) \frac{N}{n^3} = 4N - 2 \left(\frac{N}{n}\right)^2 + 2 \frac{N^2}{n^3} \xrightarrow{0}$$
$$n = \sqrt{\frac{N}{2}}$$

Minimalni broj ukrasnih tačaka:

$$C^* = N \left(2 \sqrt{\frac{N}{2}} - 1\right) \left(2 + \frac{2N}{N}\right) = 4N(\sqrt{2N} - 1) \approx 4N\sqrt{2N}$$

Za veliko N ovo je manje od N^2

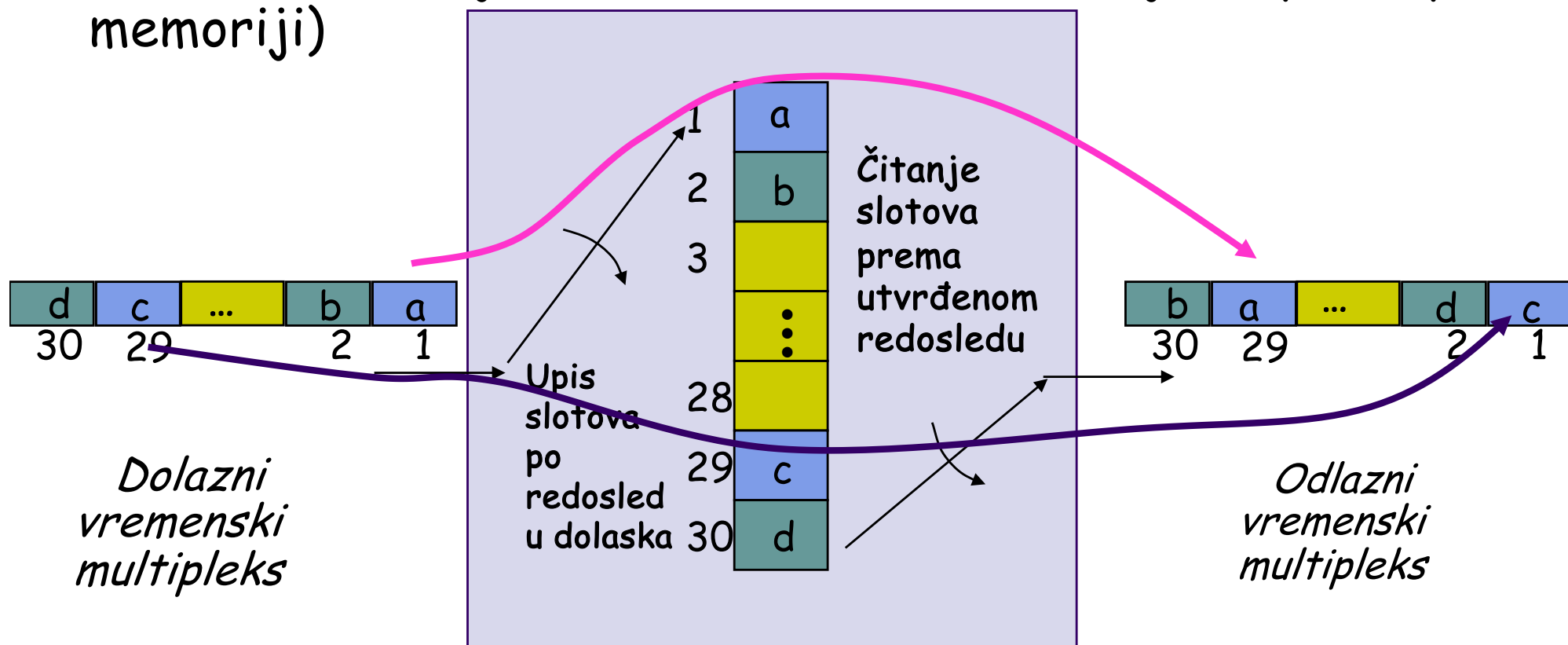
Closov uslov



Neblokirajući dizajn nije optimalan, te sa strane operatora nije poželjan!

Vremensko komutaciono polje

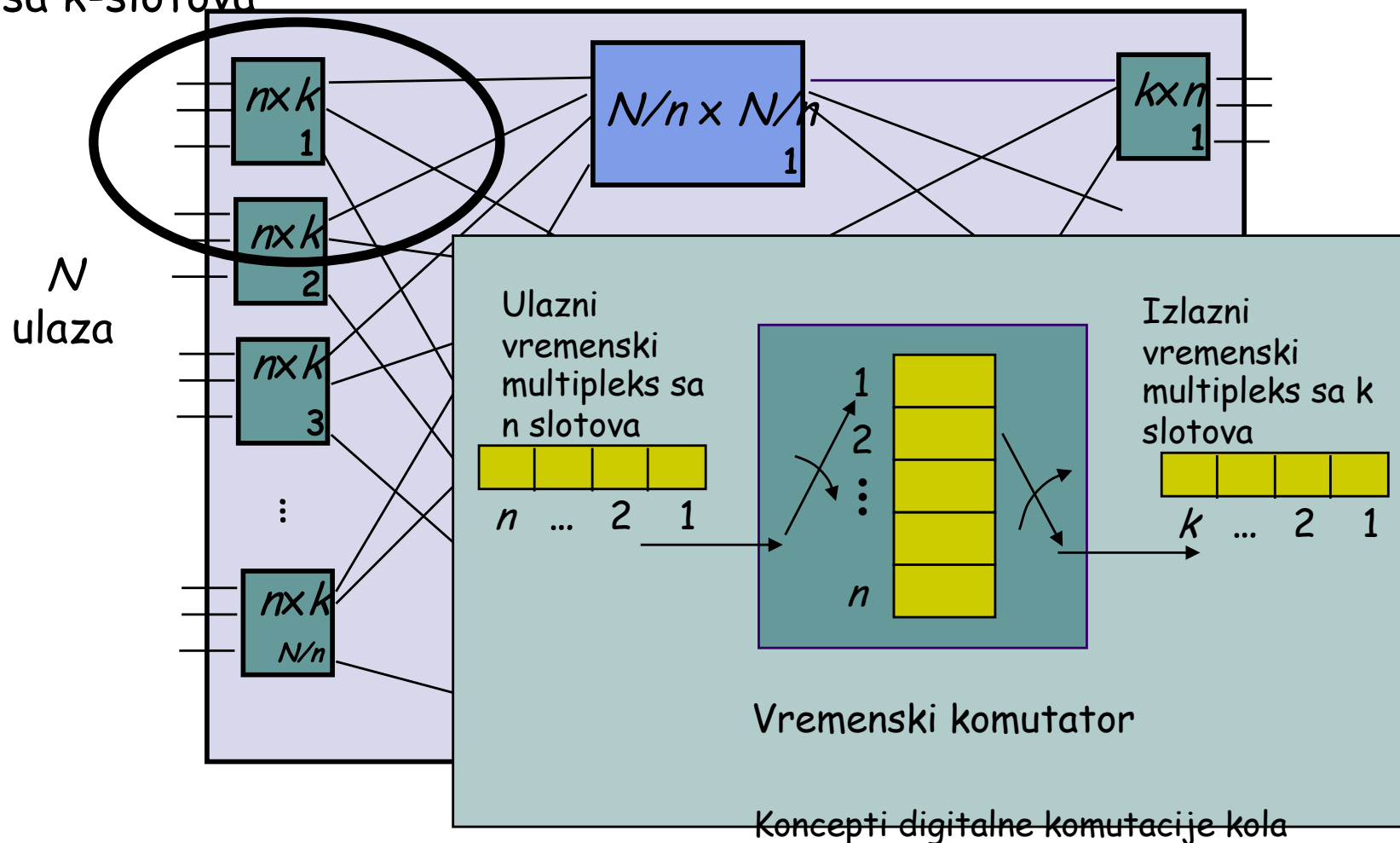
- Upis bajta dolaznog vremenskog multipleksa u memoriju
- Čitanje bajta po permutovanom redosledu u odlazni vremenski multipleks
- Maksimalan broj slotova = $125 \mu s / (2 * \text{vrijeme pristupa memoriji})$



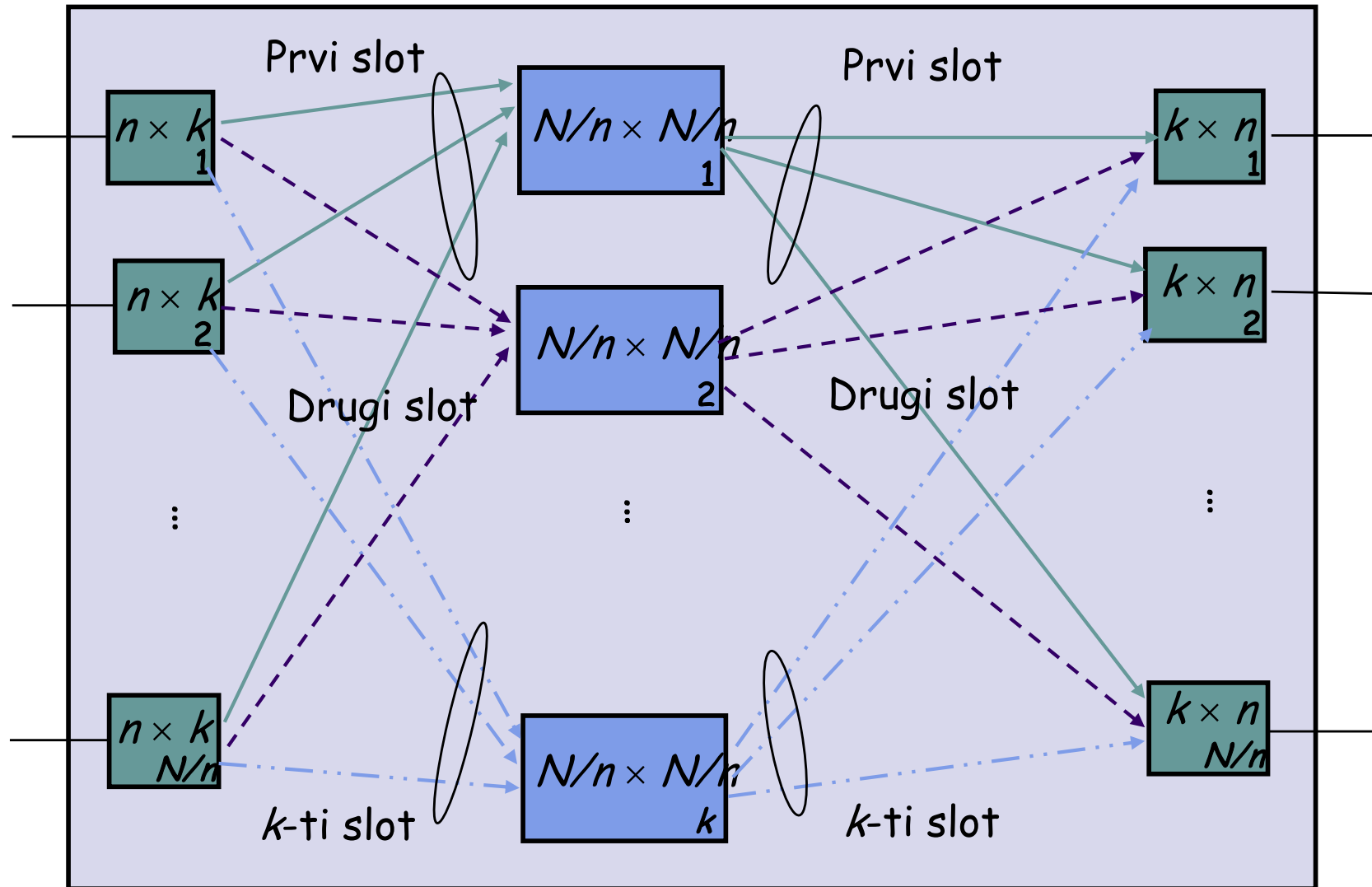
Vremenski komutator

Vrijeme-Prostor-Vrijeme hibridno komutaciono polje

- Koristi vremenski komutator u prvoj & trećoj kaskadi, a krosbar u sredini
- Mijenja ulazne i izlazne $n \times k$ prostorne komutatore sa vremenskim komutatorima koji ulazni frejms sa n -slotova komutira u izlazni frejms sa k -slotova

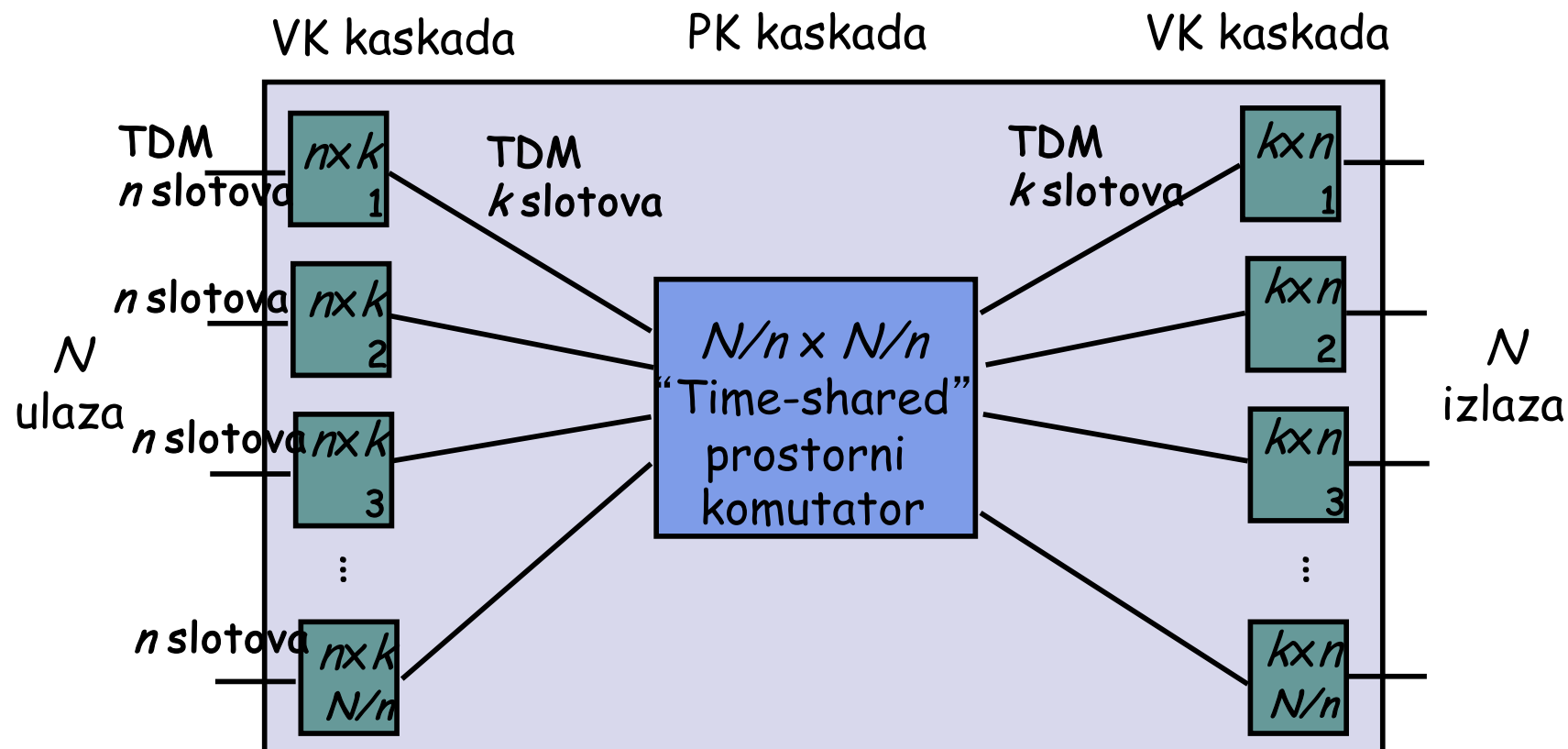


Prosleđivanje vremenskih slotova između komutatora



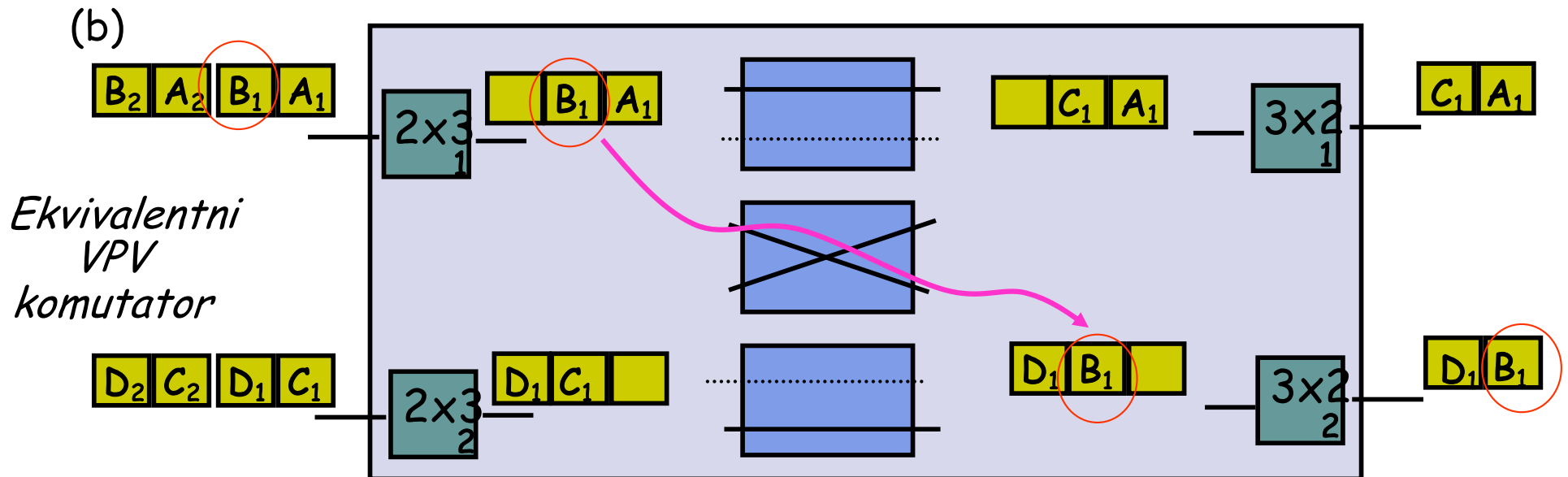
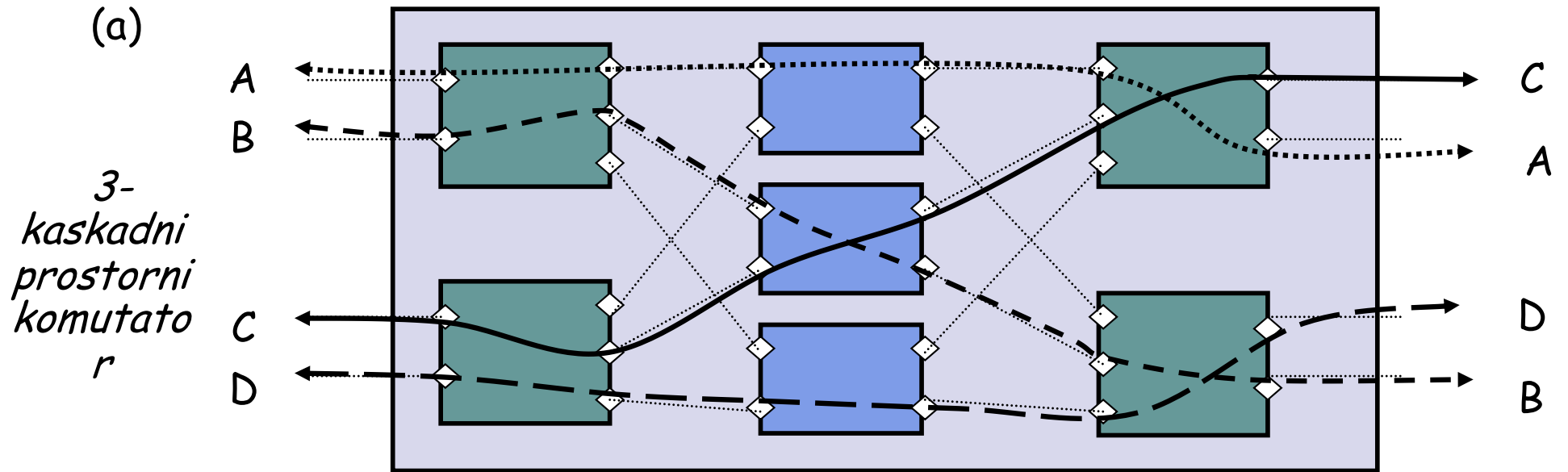
- Samo je jedan prostorni komutator aktivan tokom vremenskog slota!

"Time-Share" krosbar komutaciono polje



- Način međupovezivanja prostornog komutatora se rekonfiguriše u svakom vremenskom slotu
- Vrlo kompaktan dizajn: manje linija zbog TDM & manje prostora zbog "time-shared" krosbara

Primjer: $A \rightarrow 2, B \rightarrow 4, C \rightarrow 1, D \rightarrow 3$



Primjer: V-P-V dizajn komutacionog polja

Za $N = 960$

- Jednokaskadni prostorni komutator ~ 1 milion ukrasnih tačaka
- V-P-V
 - Neka je $n = 120$ $N/n = 8$ vremenskih komutatora
 - $k = 2n - 1 = 239$ za neblokirajući dizajn
 - Neka je $k = 240$ vremenskih slotova
 - Potreban je 8×8 vremenski-multipleksiran prostorni komutator

Za $N = 96,000$

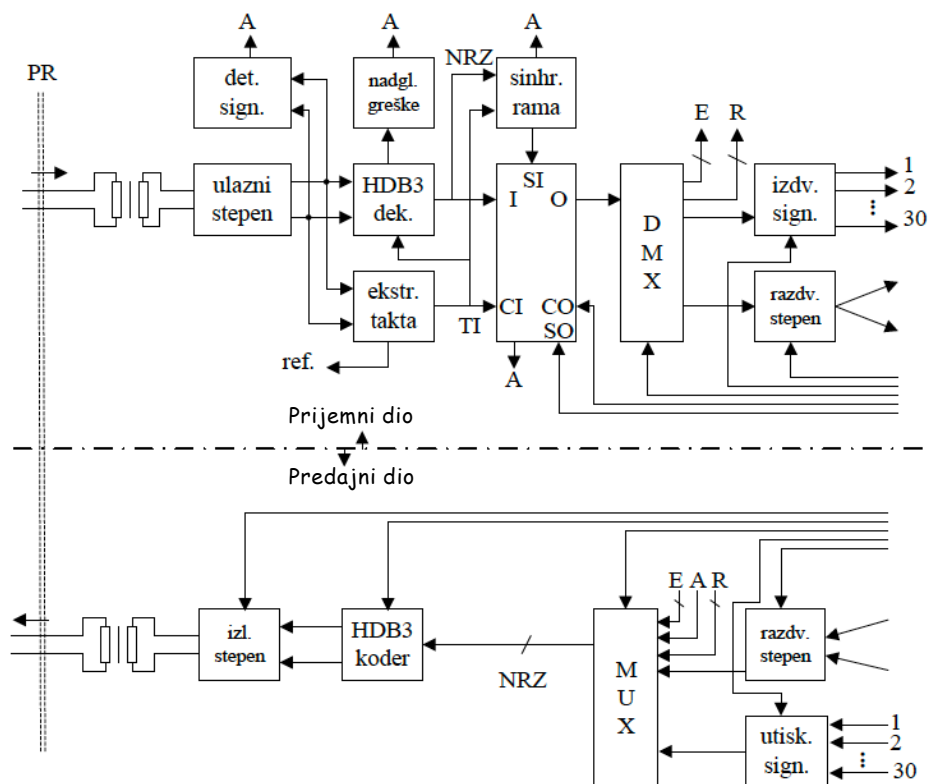
- V-P-V
 - Neka $n = 120$ $k = 239$
 - $N/n = 800$
 - Potreban 800×800 prostorni komutator

Za realizaciju VPV komutatora je potrebna i memorija za realizaciju vremenskog komutatora!

Prenosnički blok

Prenosnički blok

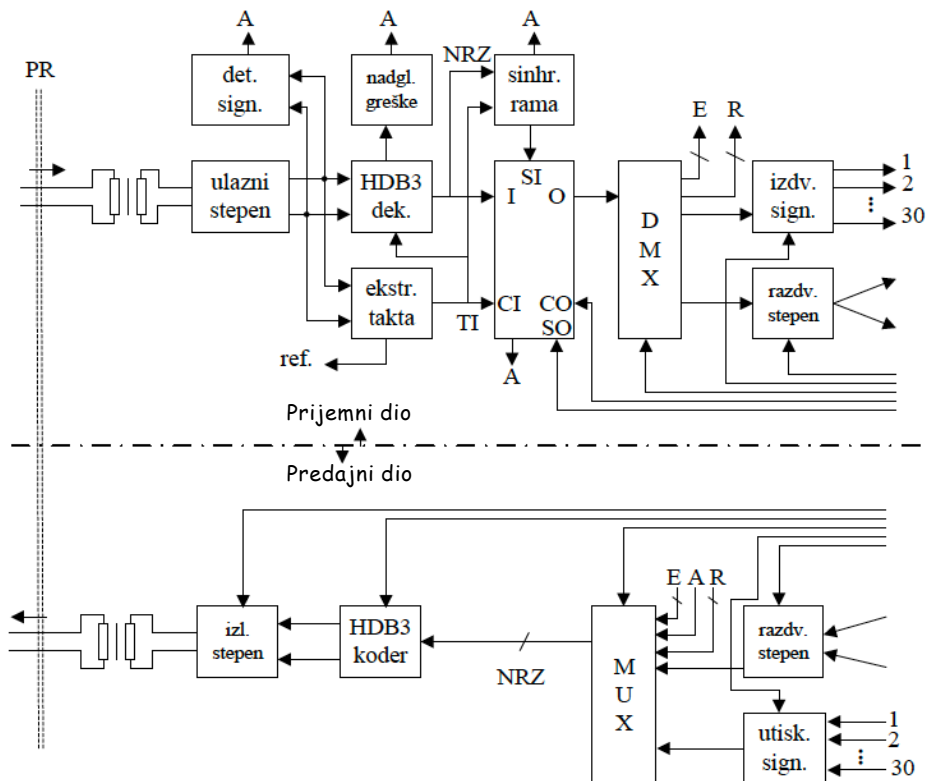
- Između centrala se definišu prenosnički interfejsi koji definišu sisteme za prenos i povezivanje centrala.
 - Ukoliko se koriste stari analogni FDM (frekvencijski multipleks) sistemi definiše se C-interfejs.
 - Ukoliko se za povezivanje centrala koristi E1- PCM multipleks sa 30 govornih kanala + 2 kanala definiše se A-interfejs.
 - Za povezivanje centrala se mogu koristiti i SDH sistemi, radio-relejne veze, itd.
- Funkcije prenosničkog bloka
 - Prilagođenje govornih signala sistemu koji se koristi za prenos signala između komutacionih sistema
 - Priprijetanje i prevođenje signalizacije
 - Sinhronizacija prenosničkih interfejsa



Prenosnički blok

Prijemni dio

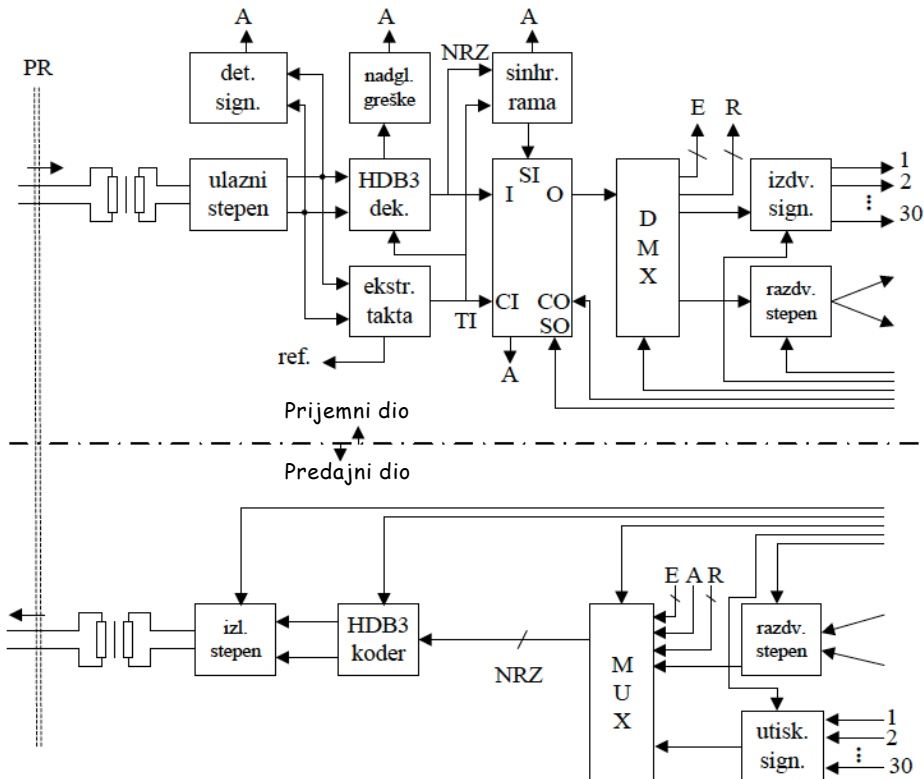
- Ulazni stepen prima i pojačava signal od prenosničkog razdjelnika i transformatora. Šalje pozitivne i negativne impulse HDB3 koda na odgovarajuće izlaze.
- HDB3 dekoder generiše originalni NRZ signal
- Blok za ekstrakciju takta izvlači takt iz HDB3 signala i regeneriše takt centrale sa kojom je povezana centrala. Ovaj takt se koristi za upis podataka u elastičnu memoriju i kao referenca takta centrale
- Blok za detekciju signala utvrđuje postoji li signal. Ako se ne detektuje signal generiše se alarm A.
- Blok za nadgledanje grešaka nadgleda ima li grešaka (narušavanje HDB3 koda) pri prenosu i generiše alarm A.



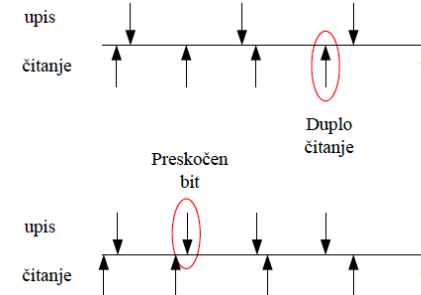
Prenosnički blok

Prijemni dio

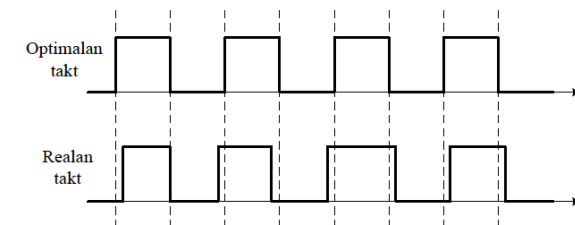
- Blok za sinhronizaciju rama služi za detekciju početka rama i sinhronizovanje sa primljenim ramom, kako bi se znala tačna pozicija svakog bita. Gubitak sinhronizacije izaziva alarm A.
- Elastična memorija na ulazu prima signal koji se učitava u ritmu takta bloka za ekstrakciju takta. Na izlazu O je izlazni signal u ritmu takta druge centrale. CI i CO diktiraju taktove upisa i čitanja. Alarm se šalje u slučaju slučaja pojave preskoka.
- Demultiplekser demultipleksira primljeni signal izdvajajući rezervisane bite R, bite za identifikaciju greške E od strane druge centrale, govorne kanale i signalizaciju.
- Blok za izdvajanje signalizacije izdvaja signalizaciju za govorne kanale ako se koristi signalizacija po pridruženom kanalu.



Tipovi preskoka



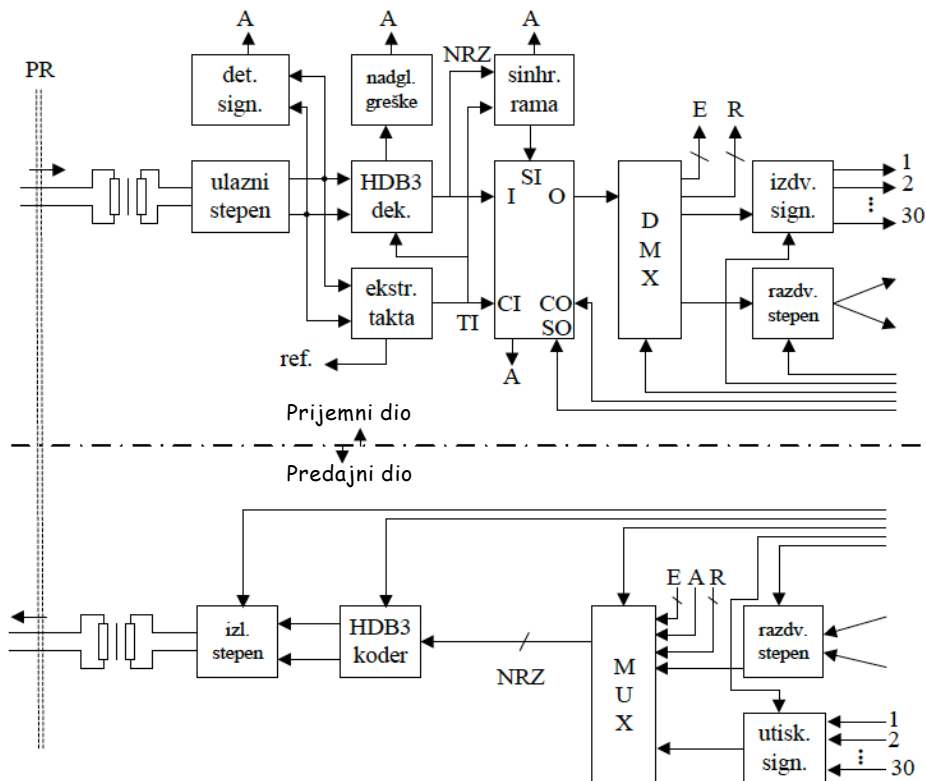
Podrhtavanje ivica takta



Prenosnički blok

Predajni dio

- Blok utiskivanja signalizacije utiskuje signalizaciju za govorne kanale ako se koristi signalizacija po pridruženom kanalu
- Razdvojni stepen grupiše govorne signale sa komutacionog polja ka multiplekseru. U slučaju digitalnih komutacionih polja na njegov ulaz dolazi interni PCM signal (govorni signali i signalizacija po zajedničkom kanalu)
- Multiplekser multipleksira signale A (alarm druge centrale), R (rezervni bit), E (obavještenje o greškama u prenosu), govorne signale i signalizaciju.
- HDB3 koder kodira NRZ signal u HDB3 kodirani signal
- Izlazni stepen vrši prilagođenje signala na liniju



Sinhronizacija

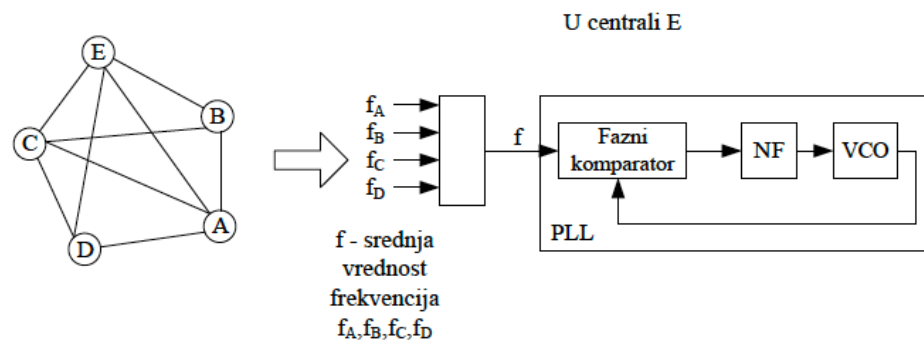
Tačnost oscilatora

$$A = \frac{|\Delta f|}{f}$$

- f je frekvencija oscilatora
- Δf je maksimalno odstupanje od deklarirane vrijednosti frekvencije f
- Taktovi centrala nijesu identični a nisu ni fazno usaglašeni
- Koriste se veoma precizni oscilatori tačnosti oscilatora 10^{-11} tako da se preskok na nivou bita javlja svakih 6,78h, odnosno u slučaju E1 frejma svakih 70 dana
- Pleziosinhrona sinhronizacija (u međunarodnom saobraćaju)
- Sinhrona sinhronizacija
 - Metode demokratnog karaktera
 - Metode despotskog karktera
 - Hibridne metode
 - Metode sa zajedničkom spoljašnom referencom

Metode sinhronizacije demokratskog karaktera

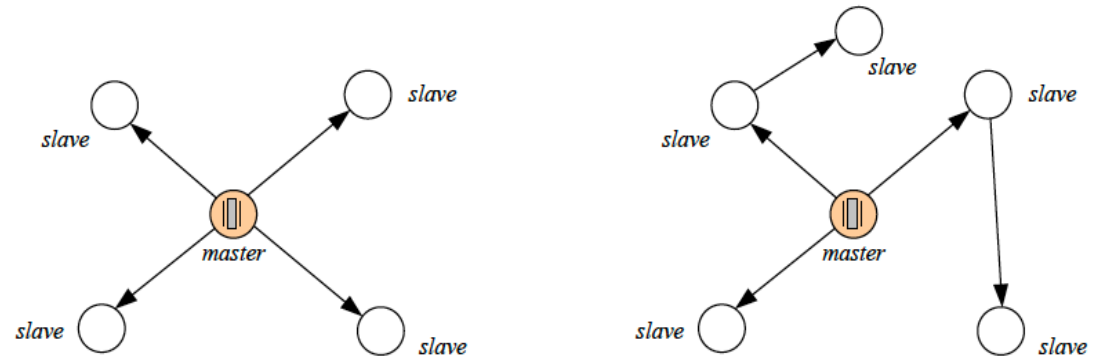
- Metoda uzajamne sinhronizacije sa jednostrukim vezama podrazumijeva da svaka centrala kreira sopstveni takt na osnovu referentnih taktova ostalih centrala u mreži pomoću PLL-a (Phase Locked Loop). Metoda je robusna i pouzdana, ali je skupa zbog nadgledanja sinhronizovanosti mreže i nije skalabilna za velike mreže. Koristi se u vojnim mrežama.
- Metoda uzajamne sinhronizacije sa dvostrukim vezama od kojih se jedna koristi za prijem takta kao u prethodnom slučaju a druga za distribuciju takta čime se smanjuju varijacije frekvencije. Rješenje je skuplje od prethodnog sa svim njegovim manama.
- Metoda težinske uzajamne sinhronizacije je bazirana na tome da svaka centrala ima svoj težinski faktor kojim se određuje značaj centrale u mreži čime se može postići da je značaj taktova nekih centrala dominantniji od drugih.



Metode sinhronizacije despotskog karaktera

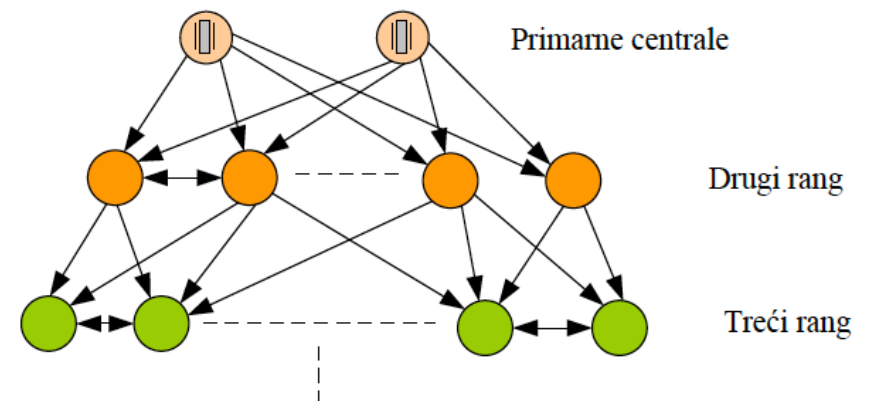
Master-slave

- Takt master centrale diktira rad PLL-ova slave centrala
- Master centrala koristi oscilator visoke preciznosti
- Topologije zvijezda i stablo
- U slučaju prekida veze sa master centralom *slave* centrala može privremeno koristiti svoj takt
- Efikasno sinhronizuje mreže i ekonomičnija je od demokratskih metoda



Hijerarhijska master-slave

- Proširena *master-slave* metoda koje rješava problem pouzdanosti obične *master-slave* metode
- Definiše više rangova po hijerarhiji
- Na najvišem nivou su dvije primarne centrale koje koriste oscilatore visoke preciznosti i diktiraju taktove centralama drugog ranga koje su masteri centralama trećeg ranga
- Koristi se u današnjim telefonskim mrežama



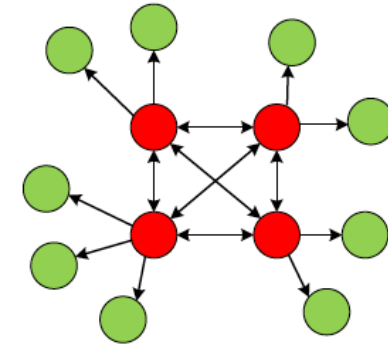
Hibridne metode sinhronizacije

Oligarhijska metoda

- Demokratska metoda u jezgru mreže ima master centrale
- Master centrale *master-slave* metodom sinhronizuju slave centrale na periferiji mreže
- Visoka pouzdanost i ekonomičnost
- Jednostavni kontrolni i zaštitni mehanizmi

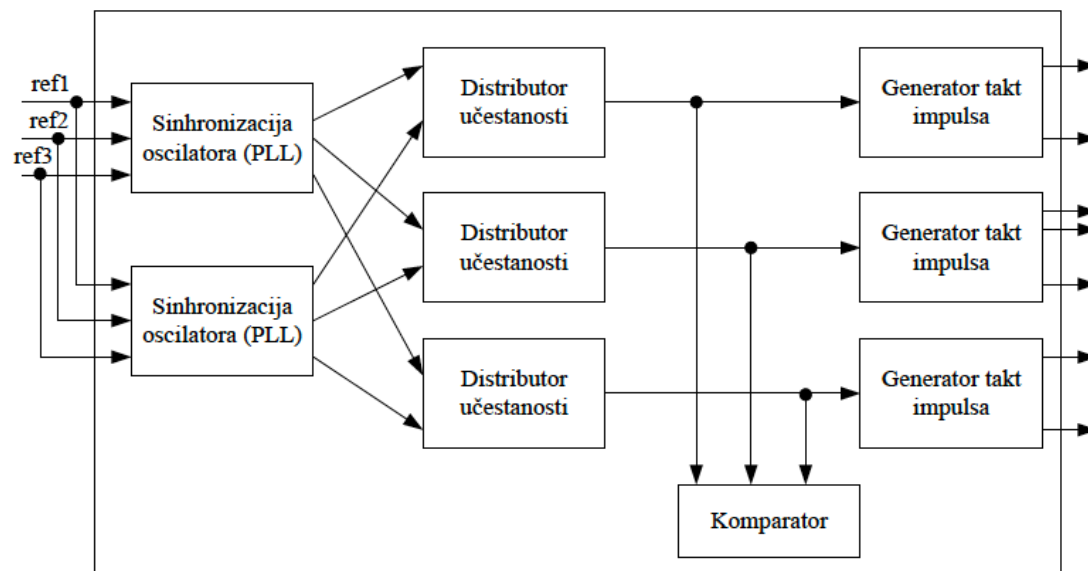
Metoda sa zajedničkom spoljašnjom referencom

- Sve centrale su nezavisne i informaciju o taktu dobijaju od istog izvora (npr. preko GPS sistema)
- Koristi se samo kao podrška odnosno dodatna referenca
- GPS nije praktičan kao jedina referenca zbog mogućeg zlonamjernog slanja pogrešnih informacija preko GPS sistema
- Slična master-slave metodi sa razlikom što izvor takta ne pripada samoj mreži



Generator takta telefonske centrale

- Referentni taktovi se vode na PLL koji se sinhronizuje na njih i zatim dobijeni takt prosleđuje distributoru učestanosti
- Distributor učestanosti ima svoj PLL i dalje prosleđuje takt generatoru takta impulsa koji distribuira takt po centrali.
- Komparator upoređuje izlaze iz distributora učestanosti i bira najbolji koji će se koristiti dalje u centrali.
- Radi pouzdanosti se svi delovi multipliciraju



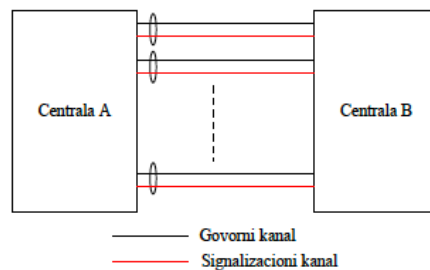
Signalizacija telefonskih komutacionih sistema

Signalizacija telefonskih komutacionih sistema

- Razmjena signalizacionih poruka koje se koriste prilikom posluživanja poziva i realizacije dodatnih servisa
- Tipovi signalizacije
 - Korisnička signalizacija (korisnik - centrala)
 - Interna signalizacija (između blokova centrale)
 - Signalizacija između telefonskih komutacionih sistema
 - Sistem D signalizacije
 - Sistem R signalizacije
 - Sistem signalizacije broj 7 (SS No. 7)
 - Signalizacija sistema za nadgledanje i upravljanje koja se koristi za menadžment mrežom
- Podjela signalizacije
 - Signalizacija po pridruženom kanalu
 - Signalizacija po zajedničkom kanalu

Signalizacija po pridruženom kanalu

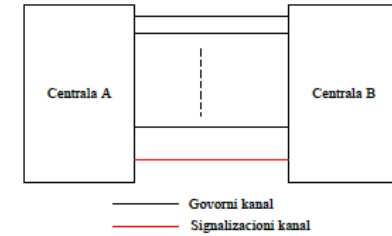
- Svakom govornom kanalu se pridružuje poseban signalizacioni kanal
- Ako se primjenjuje E1 multipleks tačno se zna pozicija signalizacije u 16. kanalu za svaki govorni kanal
 - U svakom ramu su po četiti bita namijenjena za signalizaciju jednog kanala
 - Protok signalizacionog kanala je 2kb/s
- D i R sistemi signalizacije



Kanal 16 (signalizacioni kanal)					
0	1	----	Sinhronizacija nadrama	----	31
0	1	----	Govorni kanal 1	Govorni kanal 17	31
0	1	----	Govorni kanal 2	Govorni kanal 18	31
0	1	----	Govorni kanal 3	Govorni kanal 19	31
0	1	----	Govorni kanal 4	Govorni kanal 20	31
0	1	----	Govorni kanal 5	Govorni kanal 21	31
0	1	----	Govorni kanal 6	Govorni kanal 22	31
0	1	----	Govorni kanal 7	Govorni kanal 23	31
0	1	----	Govorni kanal 8	Govorni kanal 24	31
0	1	----	Govorni kanal 9	Govorni kanal 25	31
0	1	----	Govorni kanal 10	Govorni kanal 26	31
0	1	----	Govorni kanal 11	Govorni kanal 27	31
0	1	----	Govorni kanal 12	Govorni kanal 28	31
0	1	----	Govorni kanal 13	Govorni kanal 29	31
0	1	----	Govorni kanal 14	Govorni kanal 30	31
0	1	----	Govorni kanal 15	Govorni kanal 31	31

Nadram

Signalizacija po zajedničkom kanalu



- *Common Channel Signalling (CCS)*
- Velikom broju govornih kanala (do 4000) se pridružuje jedan signalizacioni kanal
- Za signalizacioni kanal se može izabrati bilo koji kanal osim prvog koji se koristi za sinhronizaciju
- Signalizacioni kanal od 64kb/s pokriva govorne signale i iz drugih E1 multipleksa koji ga ravnopravno koriste
- Signalizacione poruke se ne moraju odnositi samo na govorni kanal (npr. automatski ponovni poziv)
- Problem je pouzdanost jer padom signalizacionog kanala prestaje da funkcioniše veliki broj govornih kanala
- Implementiraju se rezervni signalizacioni kanali koji nikada nijesu u istom E1 multipleksu
- Sistem signalizacije No.7

Poređenje signalizacija

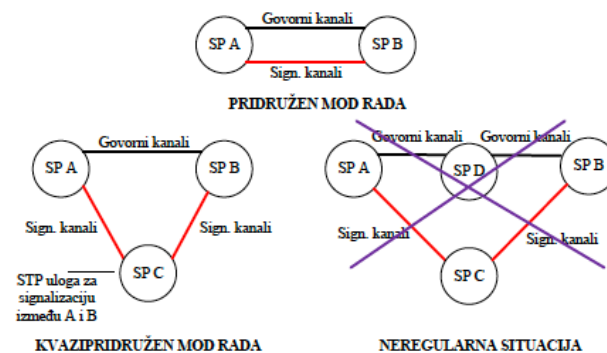
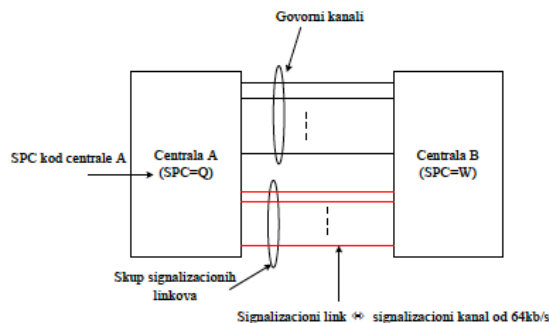
Signalizacija po pridruženom kanalu	Signalizacija po zajedničkom kanalu
Analogna telefonija	Savremene mreže telekomunikacionih usluga
Relativno mala brzina prenošenja signala	Velika brzina prenošenja signala
Mali repertoar signala	Veliki repertoar signala
Uske tolerancije signala (vrijeme, frekvencija)	Mogućnost naknadnog proširenja
Neefikasno korišćenje signalizacionog kapaciteta	Detektovanje i otklanjanje grešaka u prenosu
Teško izvodljiva proširenja	Efikasno korišćenje signalizacionog kola
Otežana primjena u savremenim telekomun.	Jednostavni signalizacioni organi

Sistem signalizacije No. 7

- *Signalling System No. 7*
- ITU-T Q.700 potpoglavlje 6.3
- Signalizacionu mrežu čine telefonske centrale u kojoj postoje dva tipa čvorova
 - Signalizaciona tačka (SP - *Signalling Point*) predstavlja izvorište ili odredište signalizacione poruke
 - Signalizaciona tranzitna tačka (STP - *Signalling Transfer Point*) tranzitira ali ne obrađuje signalne poruke
- Telefonska centrala može biti istovremeno SP i STP
- Signalizacione tačke se identifikuju preko SPC (*Signalling Point Code*)
- Svaki čvor je povezan na bar druga dva čvora kako bi se povećala pouzdanost signalizacije
- Signalizacione poruke se nazivaju signalizacionim jedinicama (*SU - Signalling Unit*)
- Komutacija paketa

Sistem signalizacije No. 7

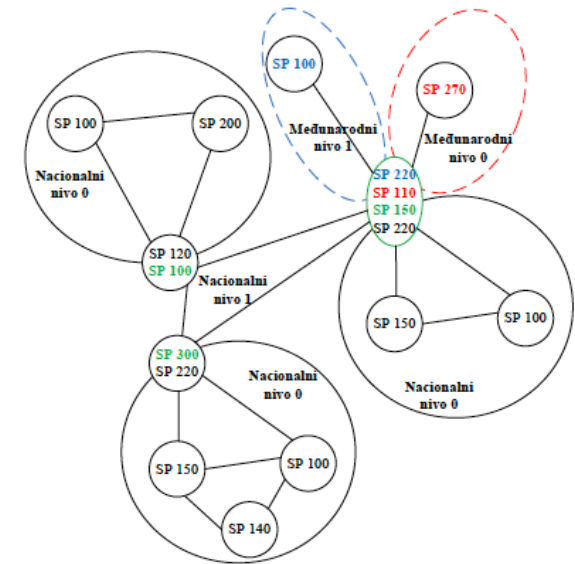
- Signalizacione tačke se povezuju signalizacionim linkovima
- Signalizacioni link je jedan 64kb/s signalizacioni kanal
- Više signalizacionih linkova između dvije centrale čine skup signalizacionih linkova
- Pored digitalnih linkova moguća je i primjena analognih linkova minimalnog protoka 4,8kb/s (rijedak slučaj danas u praksi)
- Pored rezervnih signalizacionih kanala implementiranih u E1 multipleksima koji se razlikuju od onog u kome je implementiran radni signalizacioni kanal koriste se i alternativne putanje u signalizacionoj mreži jer je svaki čvor povezan sa bar dva čvora
- Signalizacija i govorni kanal ne moraju imati isti fizički put (kvazipridruženi mod)



Koncepti digitalne komutacije kola

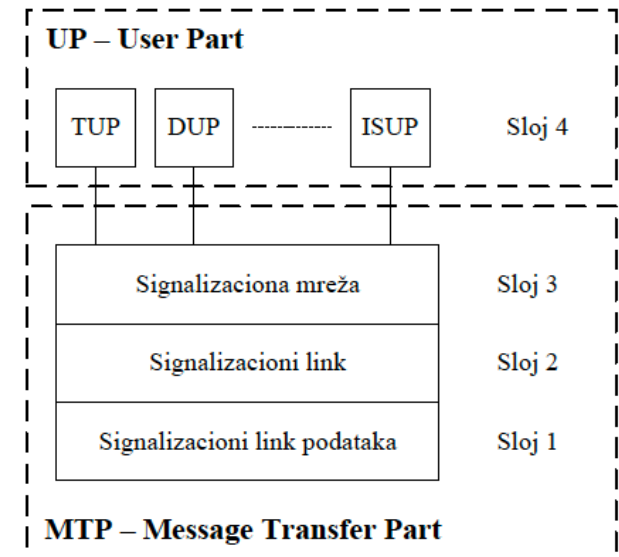
Sistem signalizacije No. 7

- Signalizaciona mreža se dijeli na
 - Nacionalni nivo
 - Međunarodni nivo
- Nacionalni nivo se dijeli na:
 - Nivo 0 omogućava povezivanje čvorova mreže operatora
 - Nivo 1 služi sa povezivanje operatora na nacionalnim nivou
- Međunarodni nivo omogućava povezivanje centrala različitih država (nivo 0 i nivo 1)
- Unutar jedne mreže svi SPC kodovi moraju biti različiti dok se jedan kod može koristiti u različitim mrežama
- Mreže se međusobno povezuju preko centrala koje imaju funkciju signalizacionih gateway-eva
- Gateway mora imati SPC za svaku mrežu u kojoj učestvuje a maksimalno 4



Sistem signalizacije No. 7

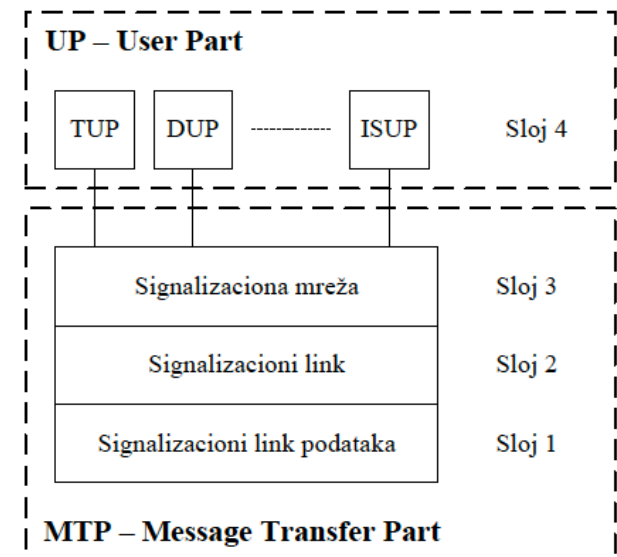
- Prva tri sloja arhitekture SS No. 7 su odgovorna za pravilan i pouzdan prenos signalizacionih poruka i analogni su fizičkom nivou, nivou linka (GBN) i nivou mreže OSI referentnog modela
- Četvrti sloj je aplikativni koji predstavlja različite servise
 - TUP (*Telephone User Part*) implementira skup funkcionalnosti vezanih za telefonski servis (zauzimanje govornog kanala, prosleđivanje cifara,...)
 - ISUP se koristi za posluživanje ISDN korisnika



Sistem signalizacije No. 7

Tri tipa signalizacionih poruka

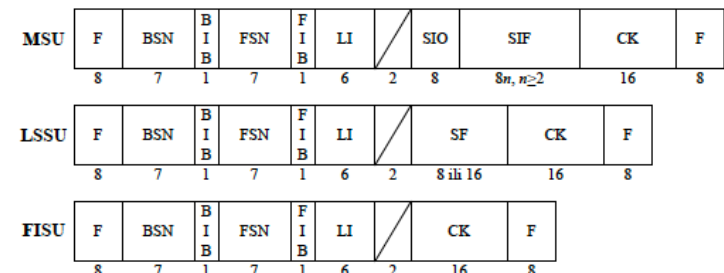
- MSU (*Message Signalling Unit*) jedinice se koristi za prenos korisničkih signalizacionih poruka (sloj 4) ili signalizacionih poruka vezanih za nadgledanje i menadžment koje generiše (sloj 3)
- LSSU (*Link State Signalling SU*) jedinice se koriste u vanrednim situacijama za aktivaciju/deaktivaciju signalizacionog linka i signaliziranje ispada signalizacionog linka
- FISU (*Fill-in SU*) jedinice se koriste kada nema MSU jedinica radi praćenja BER



Sistem signalizacije No. 7

Polja signalizacionih jedinica

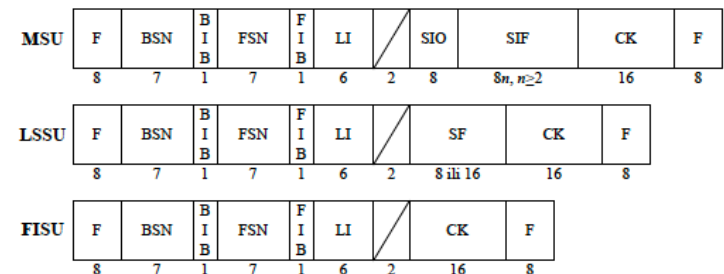
- Flag ima strukturu 0111110 i koristi se za označavanje početka i kraja signalizacione jedinice
- *Backward Sequence Number* - redni broj poslednje uspješno primljene signalizacione jedinice (kumulativna potvrda)
- *Backward Indicator Bit* - bit indikacije greške koji pokazuje da treba odraditi retransmisiju svih jedinica koje slijede iza one potvrđene sa BSN
- *Forward Sequence Number* - broj signalizacione jedinice koja se šalje
- *Forward Indicator Bit* - ukazuje da li je signalizaciona jedinica originalna ili se radi o retransmisiji
- *Length Indicator* - veličina korisnog dijela u bajtima



Sistem signalizacije No. 7

Polja signalizacionih jedinica

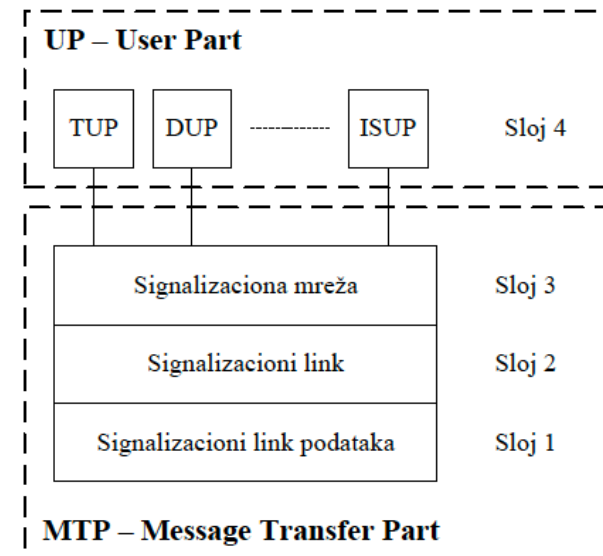
- *Service Information Octet* se sastoji od dva četvorobitna dijela:
 - *Service indicator* - pokazuje ko je generisao poruku (korisnički dio na sloju 4 ili blok za menadžment na sloju 3)
 - *Subservice field* - nivo signalizacione mreže (0 ili 1)
- *Signalling Information Field* - signalizaciona poruka (od 2 do 272B) koja između ostalog nosi četvrobajtnu *Routing* labelu za rutiranje signalizacione poruke do odredišta
- *Status Field* - tip LSSU
- *Check Bits* - 16-bitna CRC provjera ispravnosti signalizacione jedinice ($x^{16}+x^{12}+x^5+1$)



Sistem signalizacije No. 7

Signalizacioni link podataka

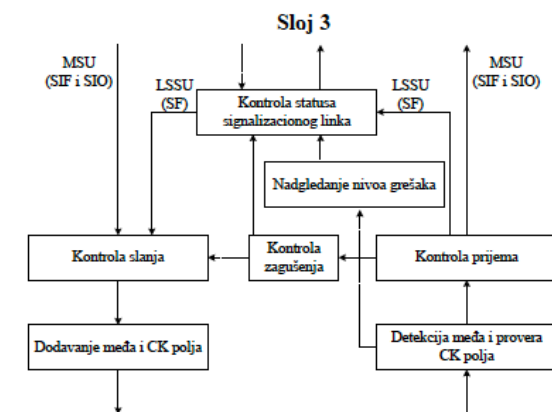
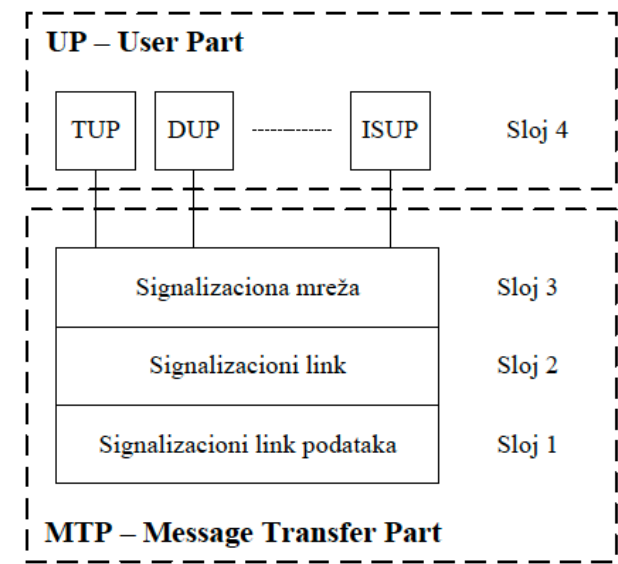
- Ekvivalent fizičkom sloju
- Prijem signalizacionih jedinica i slanje na signalizacioni kanal
- Digitalni (64kb/s) i analogni (4,8kb/s) signalizacioni link
- ITU-T preporuka Q.702 u slučaju E1 linka preporučuje upotrebu kanala 16 ako je na raspolagaju



Sistem signalizacije No. 7

Signalizacioni link

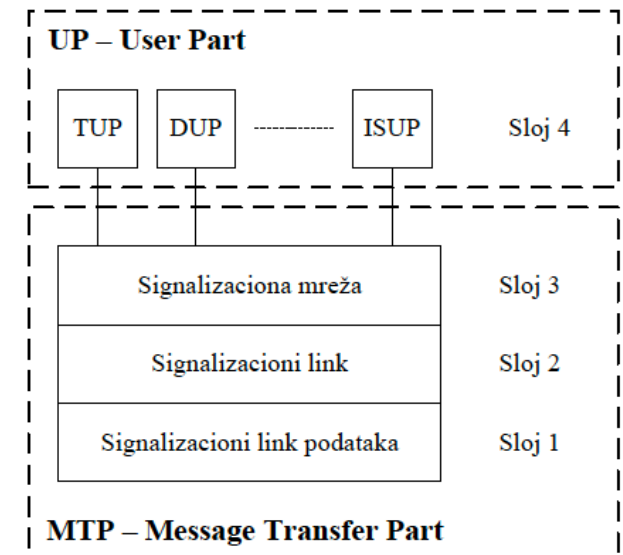
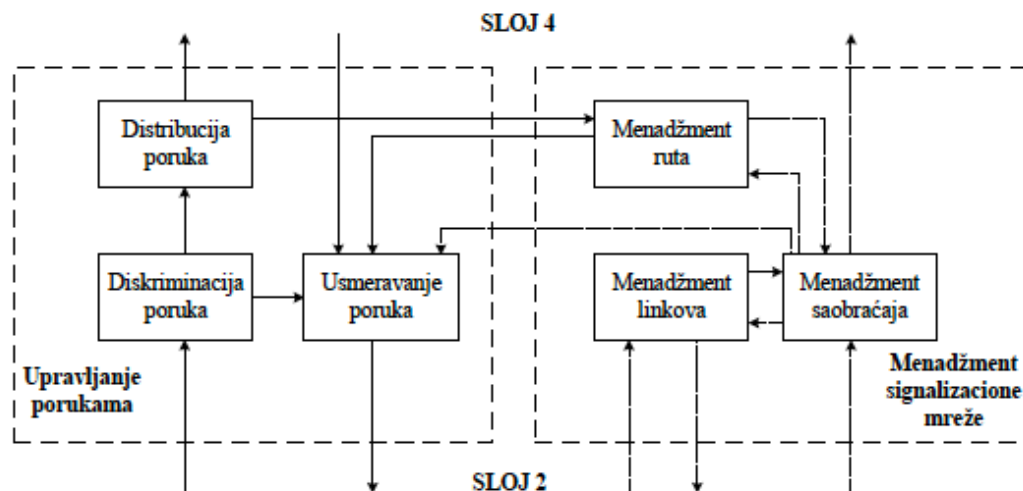
- Ekvivalent nivou linka OSI referentnog modela
- Detekcija i korekcija grešaka
- Nadgledanje ispravnosti signalizacionog linka
- Razgraničavanje signalizacionih jedinica
- Poravnanje signalizacionih jedinica
- Kontrola toka



Sistem signalizacije No. 7

Signalizaciona mreža

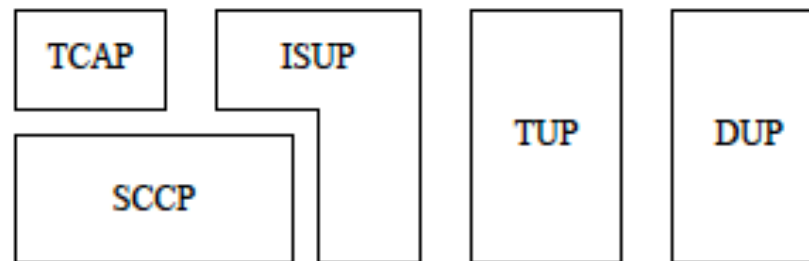
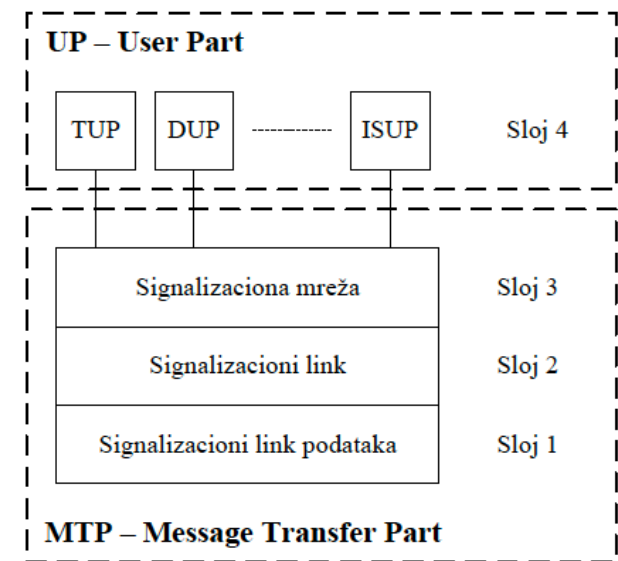
- Ekvivalent nivou mreže
- Upravljanje porukama (diskriminacija ili utvrđivanje dolaska na odredište, potvrda prijema, distribucija i usmjeravanje poruka)
- Menadžment signalizacione mreže (nadgledanje signalizacionih ruta, signalizacionih linkova i signalizacionog saobraćaja)



Sistem signalizacije No. 7

Korisnički dio

- Ekvivalent nivou aplikacije
- TUP (telefonski poziv)
- ISUP (ISDN korisnici - telefon, faks,....)
- DUP (*Data User Part*)
- TCAP (*Transaction Capabilities Application Part*)
- SCCP (*Signalling Connection Control Part*) omogućava podršku ostalim djelovima kroz ostvarivanje virtuelne signalizacione veze za razmjenu signalizacije od kraja do kraja
 - Dva tipa prenosa (konektivni i nekonektivni)
 - Četiri klase usluga



Funkcije upravljanja komutacionim sistemom

Funkcije upravljanja komutacionim sistemom

Osnovne funkcije upravljanja su:

- Funkcije obrade poziva
- Funkcije održavanja i administracije

Funkcije upravljanja obuhvataju:

- Prijem signala
- Skladištenje podataka
- Obradu primljenih podataka
- Predaju signala, koji sadrže podatke o rezultatima obrade.

Funkcije obrade poziva

- Funkcije skanovanja (prikupljanje podataka o svim značajnim događajima na korisničkim linijama i prenosničkim vodovima u tačkama skanovanja)
- Funkcije distribucije (upravljanje slanjem signala po korisničkim linijama i prenosničkim vodovima preko tačaka distribucije)
- Interne funkcije upravljanja (npr. analiza primljenih signala ili odlučivanje pri uspostavljanju veze)
- Funkcije traženja, aktiviranja i oslobađanja puteva kroz komutaciona polja

Sve ove funkcije moraju biti izvršene u realnom vremenu!

Upravljački organ komutacionog sistema ima mogućnost obrade i nekoliko stotina poziva istovremeno.

Uslijed toga se kapacitet upravljačkog organa (procesora) i mjeri brojem poziva koji se mogu poslužiti u jedinici vremena.

Funkcije održavanja i administracije

- Detektovanje i lociranje grešaka u komutacionom sistemu
- Vođenje administracije o HW i SW komutacionog sistema
- Nadgledanje rada i mjerenje saobraćaja

Sve ove funkcije ne moraju biti izvršene u realnom vremenu i nije potrebna paralelna obrada!

Potrebna je značajno kompleksnija logika nego za obradu poziva. Potreban je interfejs čovjek-mašina sa osobljem za održavanje.

Funkcije posluživanja poziva

Naziv funkcije		Funkcija		
		K	S	U
1.	Detekcija signala			x
2	Najava		x	
3	Interpretacija			x
3	Distribucija komandi/signala		x	x
5	Prijem adresnih signala		x	
6	Analiza cifara adrese			x
7	Ispitivanje zauzetosti			x
8	Traženje puta u komut. polju	(x)		x
9	Traženje puta u mreži			x
10	Uspostavljanje puta u komut. polju	x		x
11	Upućivanje poziva		x	
12	Slanje adresnih signala		x	
13	Odazivanje		x	
14	Nadgledanje		x	(x)
15	Raskidanje veze		x	x
16	Oslobađanje puta u komut. polju	x		x

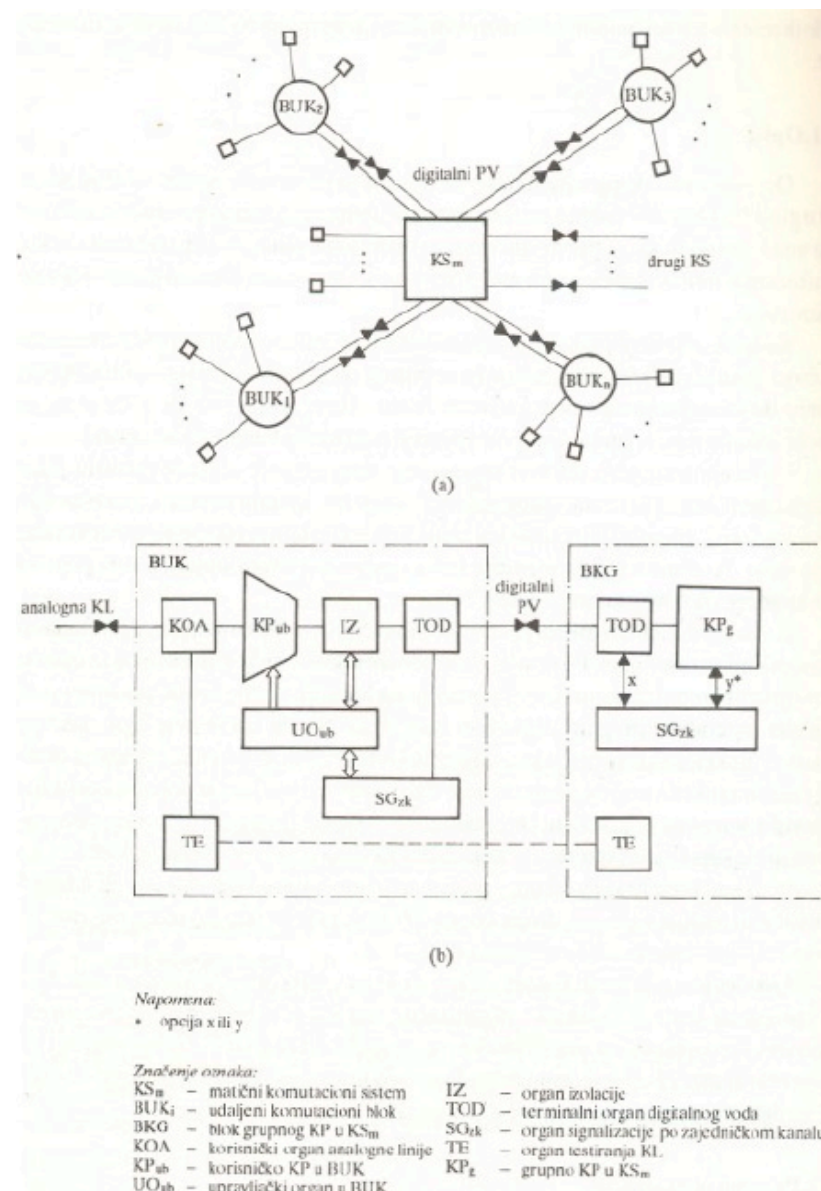
Izdvojeni stepen

Izdvojeni stepen

- osnovni zadatak lokalnih administracija je planiranje mreže
- digitalna komutacija i digitalan prenos nude fleksibilne mogućnosti, od kojih je najvažnija udaljeni komutacioni blok
- Da li do udaljene lokacije voditi korisničke linije ili definisati manji komutacioni čvor?
- To se postiže postavljanjem korisničkog bloka na lokaciji novog čvora, pri čemu je on sa matičnim sistemom spregnut digitalnim vodovima
- koncentracija/ekspanzija (udaljeni linijski koncentrator)
- lokalna komutacija (udaljeni komutacioni blok)

Izdvojeni stepen

- problemi prekida digitalnih vodova
- organ izolacije
- upravljanje na daljinu (signalizacija po zajedničkom kanalu) sa izuzetkom dodatnih specifičnih funkcija
- izuzimaju se funkcije tarifiranja i administracije
- lokalno testiranje ispravnosti korisničkih linija čiji se rezultati šalju signalizacijom matičnoj centrali
- kapaciteti zavise od ekonomske analize i obično se kreću od nekoliko stotina do nekoliko hiljada
- rastojanje od lokalne centrale je obično ograničeno na 30km



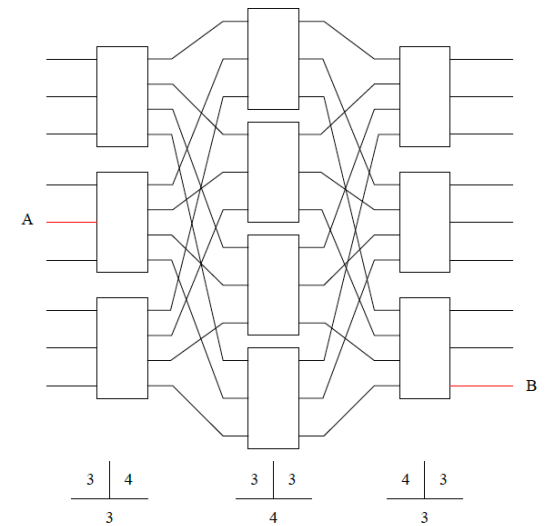
Modelovanje komutatora kola

- Lee-ova metoda
- Proračun korisničkog komutacionog polja
- Izračunavanje raspoloživosti komutacionog sistema
- Određivanje kapaciteta signalizacionog kanala

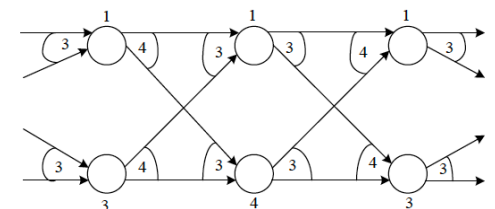
Modelovanje komutatora kola

Lee-ova metoda

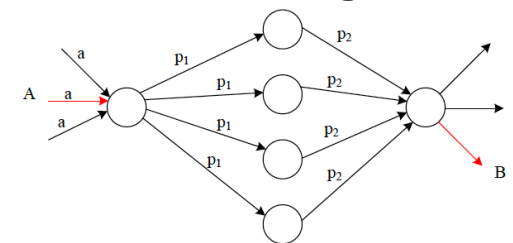
- Određivanje vjerovatnoće unutrašnjeg blokiranja
- Fiksiraju se po jedan ulaz (A) i jedan izlaz (B)
- a , p_1 i p_2 su vjerovatnoće zauzetosti odgovarajućih linkova
- Do blokade dolazi ako nijedna od putanja nije slobodna.
- Ono što važi za A i B važi za cijelo komutaciono polje
- Lee-ova metoda daje približne rezultate jer se smatra da su vjerovatnoće zauzetosti nezavisne i jednake što nije realno
- C_{AB} je funkcija konekcije između čvorova A i B
 - 0 ako nema slobodne putanje
 - 1 ako postoji bar jedna slobodna putanja



Trokaskadno komutaciono polje



Ekvivalentni graf

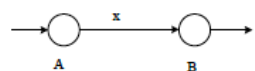


Redukovani graf

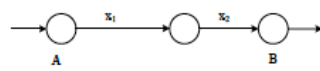
Modelovanje komutatora kola

Lee-ova metoda

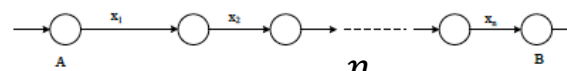
- Veličina x_i je jednaka 1 ako je grana i slobodna, odnosno 0 ako je grana i zauzeta
- Funkcija konekcije za različite primjere



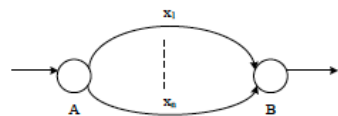
$$C_{AB} = x$$



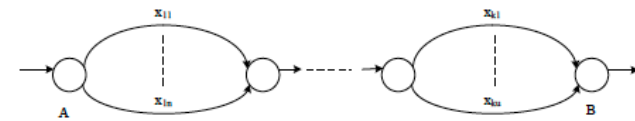
$$C_{AB} = x_1 x_2$$



$$C_{AB} = \prod_{i=1}^n x_i \quad C_{AB} = 1 - (1 - x_1)(1 - x_2)$$



$$C_{AB} = x_1 x_4 (1 - (1 - x_2)(1 - x_3))$$



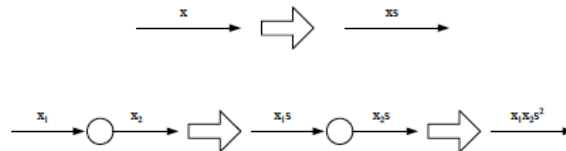
$$C_{AB} = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - x_i)$$

$$C_{AB} = \left[1 - \prod_{i=1}^n (1 - x_{1i}) \right] \dots \left[1 - \prod_{i=1}^n (1 - x_{ki}) \right]$$

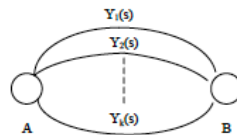
Modelovanje komutatora kola

Lee-ova metoda

- Da bi se odredila verovatnoća da je veza od A do B blokirana uvodi se karakteristična funkcija $F_{AB}(s)$



- Ako se sa $Y_i(s)$ predstavi karakteristična funkcija i -te potencijalne putanje



$$F_{AB}(s) = 1 - \prod_{i=1}^k (1 - Y_i(s))$$

$$C_{AB} = F_{AB}(s) \Big|_{s=1}$$

Modelovanje komutatora kola

Lee-ova metoda

- Neka je vjerovatnoća da je grana i slobodna

$$P\{x_i = 1\} = q_i$$

- Dok je vjerovatnoća da je grana i zauzeta

$$P\{x_i = 0\} = p_i$$

- Ako se pretpostavi (što nije realno) da su ove dvije vjerovatnoće nezavisne onda je

$$q_i + p_i = 1$$

- Ako su sve grane nezavisne, združena vjerovatnoća je

$$P\{x_1, x_2, \dots, x_n\} = \prod_{i=1}^n P\{x_i\}$$

- Srednja vrijednost x_i je

$$\bar{x}_i = 0p_i + 1q_i = q_i$$

- Srednja vrijednost x_i^n je

$$\overline{x_i^n} = 0^n p_i + 1^n q_i = q_i$$

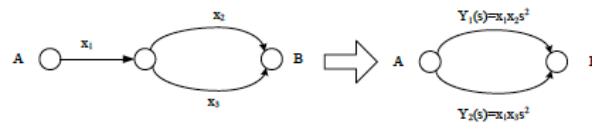
Modelovanje komutatora kola

Lee-ova metoda

- Vjerovatnoća unutrašnjeg blokiranja je

$$B = P\{C_{AB} = 0\} = 1 - P\{C_{AB} = 1\} = 1 - \overline{C_{AB}} = 1 - \overline{F_{AB}(s)} \Big|_{s=1}$$

- Primjer



$$F_{AB}(s) = 1 - \prod_{i=1}^2 (1 - Y_i(s)) = Y_1(s) + Y_2(s) - Y_1(s)Y_2(s)$$

$$= x_1 x_2 s^2 + x_1 x_3 s^2 - x_1^2 x_2 x_3 s^4 = q_1 q_2 s^2 + q_1 q_3 s^2 - q_1^2 q_2 q_3 s^4$$

$$B = 1 - \overline{F_{AB}(s)} \Big|_{s=1} = 1 - (q_1 q_2 + q_1 q_3 - q_1^2 q_2 q_3)$$

Modelovanje komutatora kola

Proračun korisničkog komutacionog polja

- Korisnički blok je povezan na grupno komutaciono polje sa k kanala.
- Na korisnički blok je povezano n korisnika.
- Prilikom proračuna korisničkog komutacionog polja uzima se u obzir ponuđeni saobraćaj A i vjerovatnoća blokiranja P_B
- Za proračun korisničkog komutacionog polja se koristi
 - Engsetov model ako n nije mnogo veće od k

$$P_B = \frac{\binom{n}{k} r^k}{\sum_{i=0}^k \binom{n}{i} r^i}, \quad r = \frac{\lambda}{\mu}, \quad A = \frac{\sum_{i=0}^k \binom{n-1}{i} r^i \lambda}{\sum_{j=0}^k \binom{n}{j} r^j \mu}$$

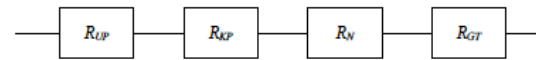
- Erlangov model ako je n mnogo veće od k

$$P_B = \frac{\frac{A^k}{k!}}{\sum_{i=0}^k \frac{A^i}{i!}}, \quad A = \frac{\lambda}{\mu}$$

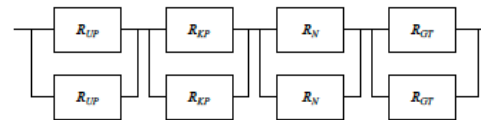
Modelovanje komutatora kola

Proračun raspoloživosti centrale

- Raspoloživost centrale je vjerovatnoća da ona ispravno radi odnosno da su ispravni upravljački blok, blok za napajanje, komutaciono polje, i generator takta



$$R = R_{UP}R_{KP}R_N R_{GT}$$



- $R = (1 - (1 - R_{UP})^2)(1 - (1 - R_{KP})^2)(1 - (1 - R_N)^2)(1 - (1 - R_{GT})^2)$
- Raspoloživost lokalne veze

$$R = R_{UP}R_{KP}R_N R_{GT}R_{KB}$$

Modelovanje komutatora kola

Proračun kapaciteta signalizacionog linka

- Kapacitet signalizacionog kanala v (64kb/s kod E1)
- P_S vjerovatnoća zauzetosti signalizacionog kanala
- P_G vjerovatnoća zauzetosti govornog kanala
- N_S prosječan broj bita signalizacije koji se razmijeni za posluživanje jedne veze
- T_G je prosječno trajanje jedne veze
- N_{Suk} ukupan broj bita signalizacije koji se može poslati preko zajedničkog signalizacionog kanala za vreme časa najvećeg opterećenja
- Posmatra se čas najvećeg opterećenja T
- N_G prosječan broj veza koji se mogu ostvariti preko jednog govornog kanala tokom časa najvećeg opterećenja
- N_{SG} je broj bita signalizacije u jednom smjeru koji se razmijeni za jedan govorni kanal tokom časa najvećeg opterećenja
- N_{ops} kapacitet opsluživanja zajedničkog signalizacionog kanala (broj govornih kanala koji opslužuje zajednički signalizacioni link)

$$N_{Suk} = P_S v T$$

$$N_G = P_G \frac{T}{T_G}$$

$$N_{SG} = N_G N_S$$

$$N_{ops} = \frac{N_{Suk}}{N_{SG}} = \frac{P_S v T_G}{N_S P_G}$$