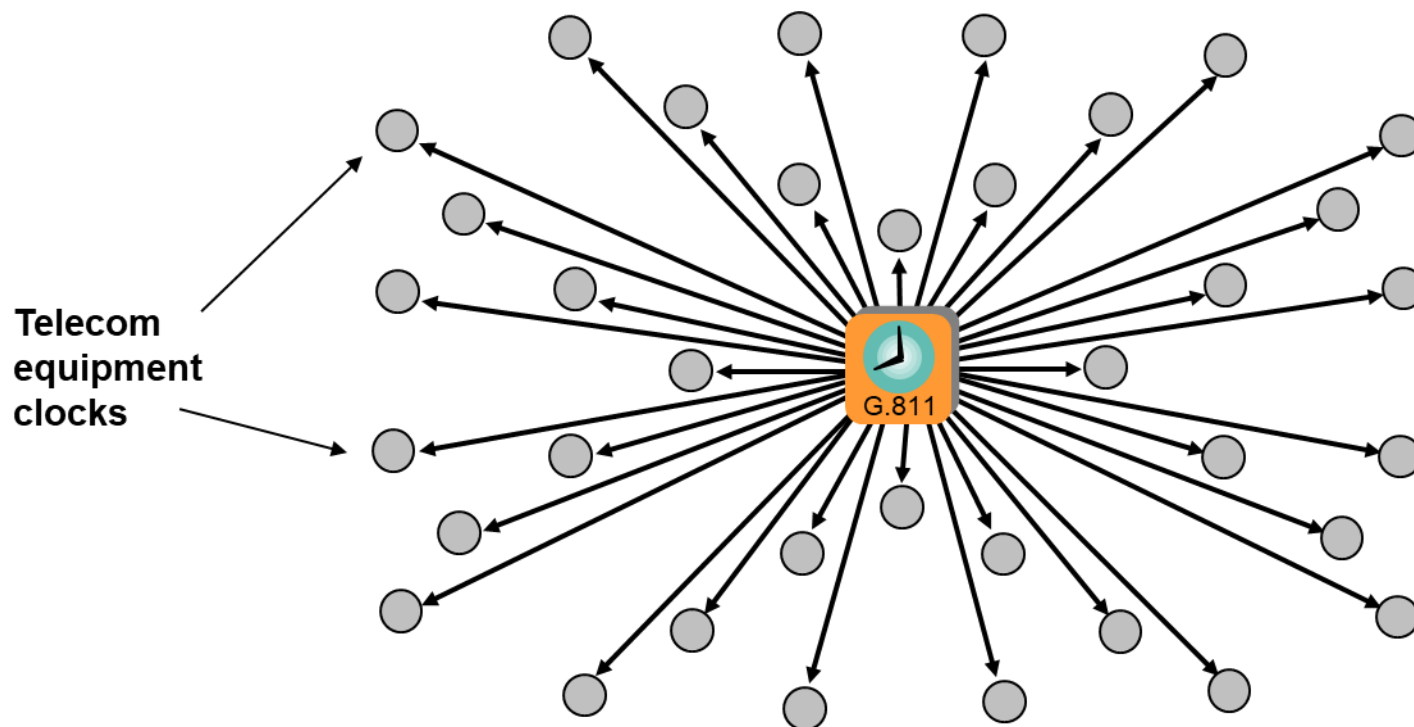


SINHRONIZACIJA – ZAHTEVI U TELEKOMUNIKACIONIM MREŽAMA

Mirjana Pantić, dipl.inž,
Knić, maj, 2019.

- Sinhronizacija je neophodna za kvalitetno funkcionisanje mreže.
- Omogućava efikasnu komunikaciju između različitih mreža, različitih telekomunikacionih sistema i različitih operatera.
- Omogućava rad mobilnih mreža tako što obezbeđuje precizno sinhronisanje nosilaca na određenu frekvencu čime se sprečava preslušavanje.
- Obezbeđuje kvalitet servisa smanjujući gubitke u signalima.
- Cilj svakog telekomunikacionog operatera je da ima nezavisni izvor takta, kako bi izbegao neželjene uticaje.
- Izvor takta čine oscilatori (obično ih ima dva ili tri), veoma stabilne frekvencije i faze čiji su parametri definisane *ITU-T* propisima.
- Oscilatori veoma stabilne frekvencije i faze, uz uređaj koji služi za njegovu distribiciju kroz mrežu, a nalazi se u neposrednoj blizini oscilatora, čine primarni referentni izvor – *PRC (Primary Reference Clock)*



Cilj sistema za sinhronizaciju je da se postigne da se do svih uređaja u mreži prosledi primarni referentni takt i da njihovi interni oscilatori rade u skladu sa ovom taktom.

Tehnologije sinhronizacije:

TDM – samo frekvencija – tradicionalna sinhronizacija

GNSS – frekvencija, faza i vreme (*Global Navigation Satellite System*)

ITU-T G.8261 SyncE – samo frekvencija

IEEE 1588v2 PTP – frekvencija, faza i vreme (*Precision Time Protocol*) korišćenjem *ethernet* signala

Frekvencijska sinhronizacija pretpostavlja da vremenski oblik signala ima istu periodu kao referenca, a ne mora da ima istu fazu.

Fazna sinhronizacija pretpostavlja da vremenski oblik signala ima istu fazu kao referenca ali ne mora da ima istu frekvenciju tj. frekvencija može da bude ceo umnožak frekvencije referentnog signala.

IEEE 1588v2 PTP prenosi informaciju o frekvenciji i fazi i uz GNSS – Global Navigation Satellite System (*GNSS– GPS, GLONASS, Galileo ili BeiDou*) koja dodaje TOD (*Time of Day*) informaciju o tačnom vremenu.

- **Osobine sinhronizacionog signala**

- ▶ Stabilnost znači da se frekvencija takta, faza ili vreme ne menja u vremenu
- ▶ Tačnost znači da izvor takta ima istu frekvenciju kao i referentni izvor.

- **Izvori takta mogu biti**

- ▶ Cesiumski signal $< 1 \times 10^{-12}$ – PRC primarni referentni
 - ▶ GPS/GNSS (Global Navigation Satellite Systems) $< 1 \times 10^{-11}$
 - ▶ Rubidiumski $< 16 \times 10^{-9}$
 - ▶ Kvarcni $< 4,6 \times 10^{-6}$
- U mreži Telekoma Srbija primarni izvor čine dva cezijumska izvora i distributor SSU2000e koji su instalirani u TKC Beograd.
 - ▶ Sinhronizacionu mrežu čine uređaji tipa SSU2000e i TP5000.
 - ▶ U mreži se koristi TDM frekvencijska sinhronizacija i PTP.
 - ▶ Uređaji za sinhronizaciju povezani su preko SDH mreže.

Zahtevi za stabilnost frekvencije u mreži

E1 2,048 Mbps	< 50×10^{-6} (50 pps)
Ethernet	< 100×10^{-6} (50 pps)
WiFi	< 10×10^{-6} (50 pps)

GSM, UMTS	< 16×10^{-9} (16 ppb)
LTE	< 16×10^{-9} (16 ppb)

Video bidirectional	< 50×10^{-9} (50 ppb)
Video unidirectional	< 500×10^{-9} (500 ppb)
HDTV, IPTV	< 100×10^{-9} (100 ppb)

info

ppm = parts per million = 1×10^{-6}

ppb = parts per billion = 1×10^{-9}

Uzroci pada kvaliteta sinhronizacionog signala

Wander – spora periodična varijacija faze oko idealne pozicije impulsa sa periodom manjom od 10 Hz, niskofrekvencijski šum (period 24h, 7 dana)

Wander ima veliku amplitudu u odnosu na *jitter*.

Wander je teško detektovati i zbog toga ga je teško ukloniti ili umanjiti njegov uticaj.

Wander se potiskuje korišćenjem fukcije usrednjavanja.

Rubidiumski izvor takta potiskuje wander usrednjavanjem frekvencije u ciklusu od 9000 sekundi

Kvarcni izvor takta potiskuje wander usrednjavanjem frekvencije u ciklusu od 1200 sekundi *wander (noise)* se akumulira, ne može se u potpunosti ukloniti.

Uzrok wander-a :

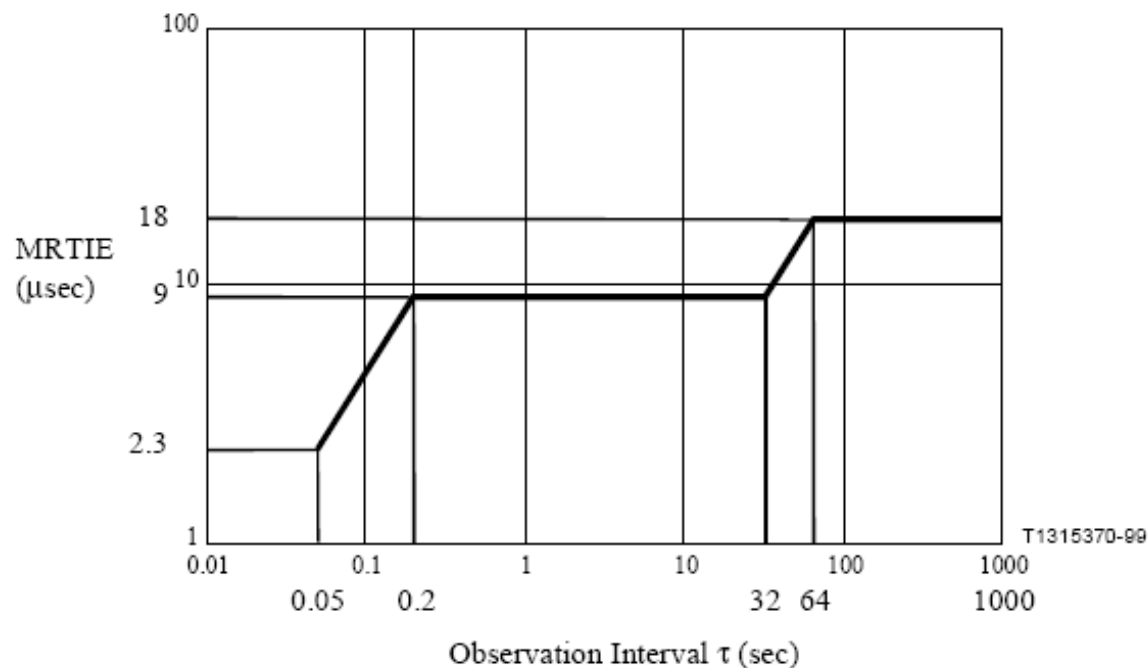
- Dugačka optička vlakna – promena temperature unosi wander šum u 24h ciklusu
- Promena protoka saobraćaja na linkovima

Jedna od posledica wandera su česta pointerska izravnjanja što uzrokuje prekide telefonskih veza.

Jitter – brza periodična varijacija faze oko idealne pozicije impulsa sa periodom većom do 10Hz, visokofrekventni šum, može se lako ukloniti primenom NF filtera.

Merenje kvaliteta sinhronizacionog signala – MTIE

MTIE prikazuje maksimalnu vrednost džitera i vondera. Svako merenje mora da traje 24h da bi mogli uočiti vonder koji obično ima periodu od 24h.



MTIE karakteristika

TDEV – Time Deviation (ns)

Meri očekivanu vremensku varijaciju signala kao funkciju integrala vremena.

TDEV daje informaciju o spektralnom sadržaju faznog šuma signala.

Referentni signali

Referentni signali za uređaje za sinhronizaciju obezbeđuju se kroz SDH mrežu, ali tako da postoji vidljivost primarnog izvora takta – signal takta prolazi transparentno kroz uređaje, linija se prosleđuje na izlaz, bez uticaja lokalnog oscilatora.

Za referentni signal za SSU jedinicu bira se najbliži PRC kvalitet.

Svakoj SSU jedinici treba obezbediti najmanje 3 referentna ulaza kako bi se donosila pravilna odluka o prioritetima, tj. koji će se ulazni signal koristiti kao referenca.

SSM poruka nosi informaciju o izvoru sinhronizacionog takta, ali ne i o kvalitetu signala.

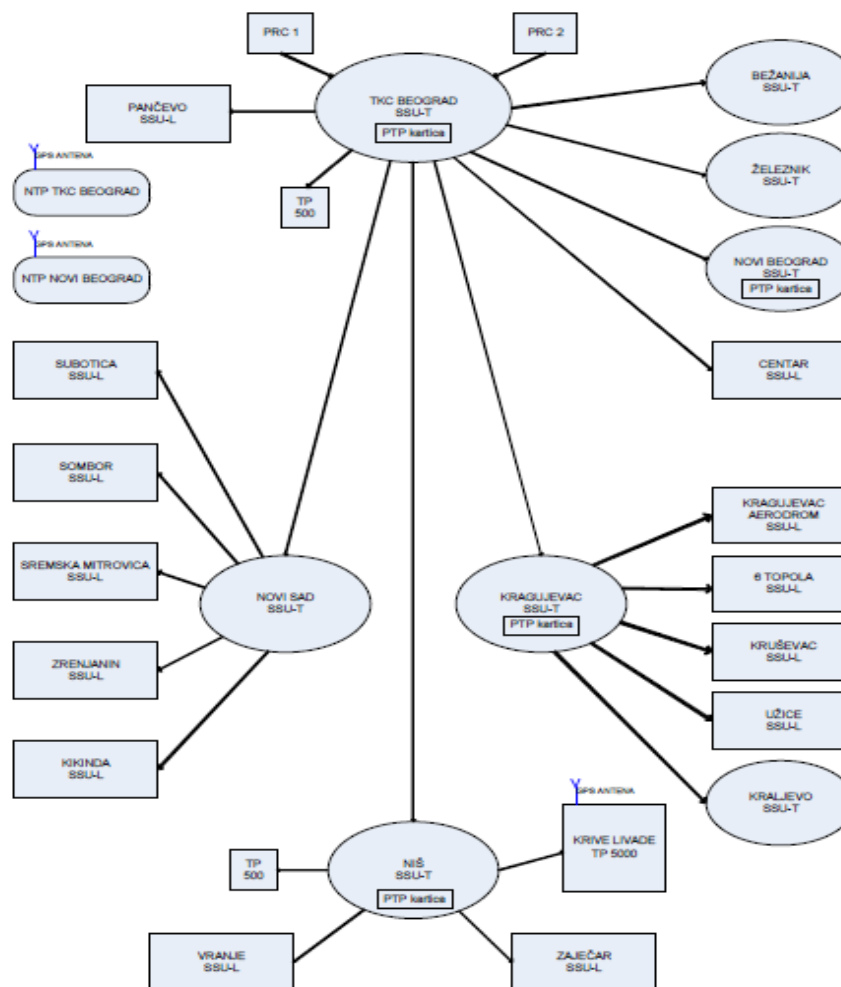
Kada SSU uđe u holdover, SSM poruka će se promeniti i nosiće informaciju da je izvor takta SSU, a ne PRC.

U koliko SDH uređaj uđe u holdover, SSM poruka će nositi informaciju da je izvor takta SEC–korišćenje sopstvenog takta.

- *Holdover* znači da uređaj koji je u tom stanju nema nijedan referentni ulazni sinhronizacioni signal, ali je i dalje u regularnom radnom režimu. Tek kad se stanje promeni u *free running* režim rada ne utiče na saobraćaj. Vreme između holdovera i fri raninga je vreme u kome treba da se obezbedi povratak ulaznih referentnih signala
- Izlaz iz SSU jedinice je najbolji izvor takta na lokaciji.
- T4 2MHz signal ne podržava SSM protokol i kvalifikovan je automatski kao PRC u SSU uređaju.
- T4 (2Mbps) može, ali ne mora da podržava SSM protokol.
- Kada SSU nema dovoljno tačnih informacija, interna logika pravi greške u izboru ulazne reference.
- SSU u Holdover stanju može da održi stabilnost i tačnost frekvencije oko 30 dana u slučaju kada je ekipiran rubidijumskim oscilatorom, odnosno 7 dana u slučaju kvarcnog oscilatora.

- SSU se može posmatrati kako sinhronizacioni *firewall*, što znači da deo mreže posle SSU jedinice može da se posmatra odvojeno od ostatka mreže.
- Važno je znati da ni jedan uređaj tipa SSU, SDH ili BTS ne može da izmeri frekvenciju sinhronizacionog signala.
- Procena kvaliteta sinhronizacionog signala meri se u odnosu na referentni signal, specijalizovanim instrumentima u trajanju od najmanje 24 sata.

Sinhronizaciona mreža Telekoma Srbija



PTP sinhronizacija

U PTP standardu je definisan specijalni profil za sinhronizaciju samo za Telekom operatere G.8265.1, koja se prenosi *ethernet* signalom. Ovim standardom je definisan prenos informacije o frekvenciji, fazi i vremenu.

Pored PTP standarda, za prenos informacije o vremenu definisan je i NTP (*Network time protocol*).

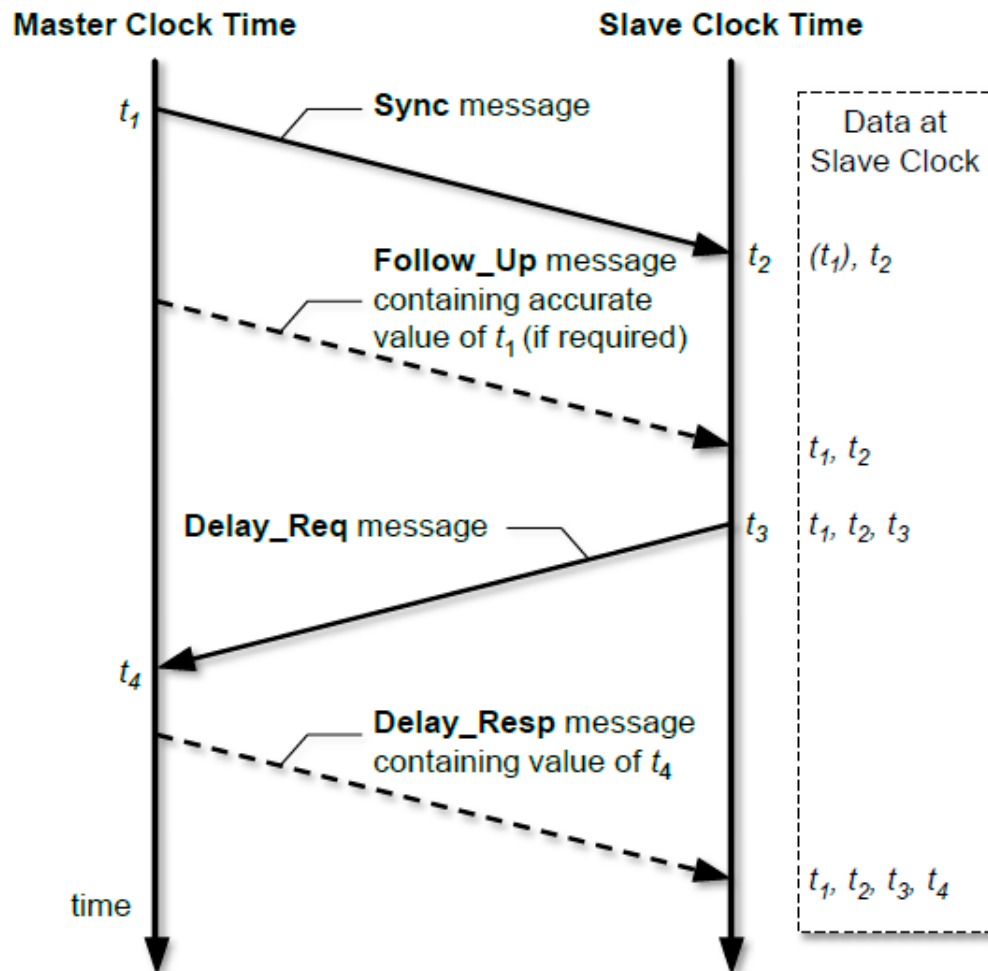
PTP i NTP ne koriste istu tehniku za prenos informacije o vremenu.

PTP – koristi HW implementaciju i ima preciznost 1 do 2 ns

NTP – koristi SW implementaciju i ima preciznost od 500 μ s

Generisanje sinhronizacionog signala se vrši na osnovu četiri zapisa vremena: t_1, t_2, t_3, t_4 između *master* i *slave clock*-a

PTP – razmena poruka



- Each “event message” flow (**sync**, **delay_req**) is a packet timing signal
- Master **frequency** determined by comparison of timestamps in the event message flows
 - e.g. comparison of t_1 to t_2 over multiple **sync** messages, or t_3 to t_4 in **delay_req** messages
- **Time offset** calculation requires all four timestamps:
 - Slave time offset = $\frac{(t_1 - t_2) + (t_4 - t_3)}{2}$
 - assumes symmetrical delays (i.e. the forward path delay is equal to the reverse path delay)
- Time offset error = $\frac{\text{fwd. delay} - \text{rev. delay}}{2}$

PTP sinhronizacija

Asimetrično opterećenje linkova uzrokuje poremećaj PDV (*Packet delay variation*), pa se preporučuje simetrično opterećenje linkova, ali to najčešće nije slučaj.

Asimetričan prenos podataka utiče na fazu (vreme), a ne utiče na frekvenciju, što nema posledice još uvek. Kada se bude prešlo na 5G mrežu, PDV će biti značajna komponenta.

Na PDV takođe utiče veličina protoka na linku.

Napredni LTE koristi frekvencijsku i vremensku sinhronizaciju.

U PTP protokolu prenosi se Announce poruka koja sadrži informaciju o tačnosti izvora takta, tj. o klasi izvora.

Konstantno kašnjenje paketa, gubici paketa i greške ne utiču na rad PTP-a.

PTP sinhronizacija

QoS algoritam utiče nepovoljno na rad PTP protokola, pogotovo stariji QoS algoritmi.

Kako se u pružanju servisa ide ka višim frekvencama i užim opsezima, povećavaju se zahtevi za stabilnost izvora takta i smanjuje se budžet vremena za kašnjenje.

Tako je za LTE dozvoljeno da sinhronizacioni signal od izvora do kranjeg prijemnika kasni $1.5 \mu\text{s}$ u odnosu na UTC.

Ovakvi zahtevi znatno skraćuju i vreme *holdover*-a.

PTP sinhronizacija

LTE-TDD se koristi na lokacijama gde postoji veliki broj korisnika i veliki zahtevi za protok podataka. Mora da se koristi i vremenska sinhronizacija.

LTE-FDD se koristi na lokacija gde je relativno mali broj korisnika i mali zahtevi za prenos podataka. Ne zahteva vremensku sinhronizaciju, potrebna je samo frekvencijska sinhronizacija.

Primary Reference Time Clock PRTC ima tačnost u odnosu na UTC bolju od 40×10^{-9} sekundi.

PTP sinhronizacija

Rezultat PDV (*Packet Delay Variation*) merenja ne može direktno da ukaže na dobru ili lošu karakteristiku.

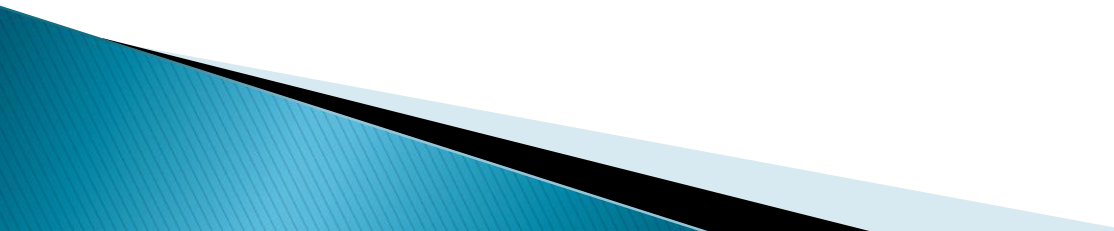
Najbolje je da se meri izlaz iz *PTP* klijenta klasičnom *MTIE* metodom.

PTP klijenti mogu da zadrže kvalitet takta u holdover-u:

- nekoliko sati sa rubidijum oscilatorom,
- 1 do 2h sa kvarcnim oscilatorom.

Tačnost PTP frekvencije može da se održi ukoliko je PTP klijent udaljen od master kloka od 30 do 40 km.

Tačnost PTP vremena može da se održi ukoliko je PTP klijent udaljen od master kloka od 3 do 5 km.



PTP sinhronizacija

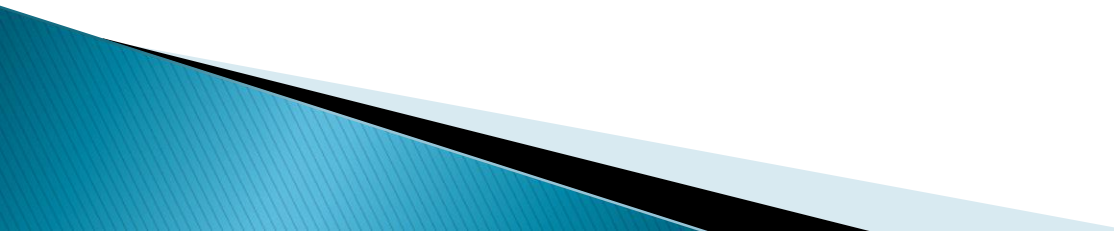
Faza i vreme su u direktnoj vezi

Poravnavanje faze se obično izvodi na rastućoj ivici 1 PPS impulsa

1 PPS impuls je sinhronisan sa *UTC* sekundom.

Vreme je labela odnosno tekstualni zapis vremena koji se prenosi do klijenta i primenjuje na lokalni oscilator sinhrono sa rastućom ivicom 1 *PPS* impulsa.

U našoj mreži svaka *PTP* master kartica u uređaju SSU2000e ima 400 sesija, dok *TP5000* ima 1000 sesija.



Preporuke za planiranje PTP sinhronizacije

PTP saobraćaj se izdvaja u poseban *VLAN*.

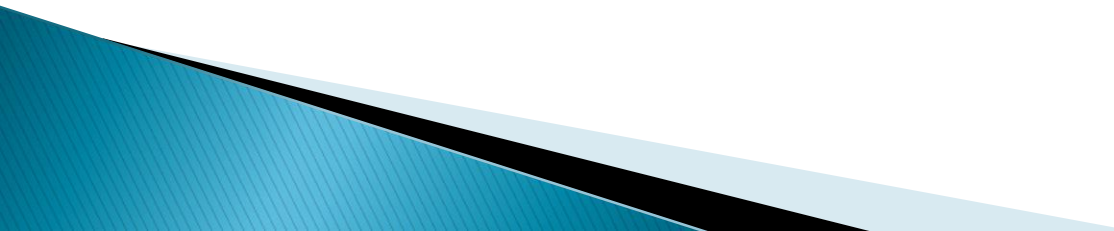
VLAN-u u kojem se prenose *PTP* poruke ima najveći *QoS* prioritet, veći od prenosa govora i upravljačkih signala.

Teorijski, ruteri sporo obrađuju pakete (veoma veliki paketi usporavaju ili blokiraju male *PTP* pakete, nepredvidiv je uticaj na sinhronizaciju *PTP* pakete) što usrokuje povećano kašnjenje, pa ih treba izbegavati. Ipak, u našoj mreži *PTP* poruke se distribuiraju ka baznim stanicama preko tranzitnih rutera.

Kada iskorišćenost linka dostigne 75% *PTP* neće raditi kako treba.

Testovi u mreži su jedini način da se proverí rad *PTP*-a. Laboratorijski eksperimenti nisu merodavni.

Jednostavni NTP se danas koristi na korisničkoj opremi.



Zaključak

Zahtevi za sinhronizaciju u modernim telekomunikacionim mrežama su sve strožiji, te bez sistematičnog i detaljnog planiranja sinhronizacije, u kome učestvuju stručnjaci koji pokrivaju oblasti izvora, distribucije i eksploatacije sinhronizacionog signala ne možemo očekivati pouzdan rad telekomunikacionih mreža i pružanje usluga visokog kvaliteta.

