

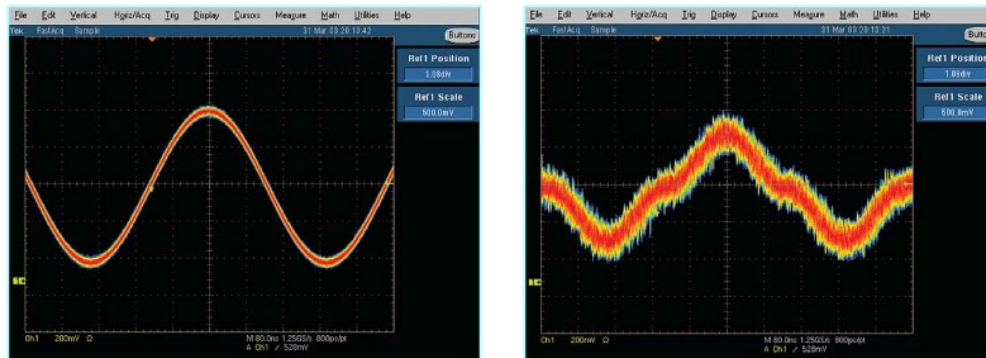


Prilikom planiranja bilo kakvog mjerenja u elektronici, prvi neophodan mjerni instrument je najvjerojatnije osciloskop. Međutim, u najvećem broju slučajeva, signal, kao pobudu kolu, je potrebno eksterno obezbijediti.

Multiplekser, na primjer, ne generiše signale. On vrši usmjeravanje signala koje generiše neko eksterno kolo. Ipak, u fazi razvoja neizbježno je testiranje multipleksera, prije nego se poveže za kolo koje mu upućuje signale. Dakle, potrebno je obezbijediti pobudu kako bi instrumentom za akviziciju, kakav je osciloskop, bila moguća analiza rada kola.

Signal generator je izvor signala koji može obezbijediti analogni talasni oblik, digitalne podatke, modulisane signale, šum, ...

SIGNAL GENERATOR



Signal generator služi za generisanje signala koji se koriste kao pobuda uređaja koji se testira. Mnoga kola zahtijevaju ulaz čija se amplituda mijenja u vremenu. Signali mogu biti *true AC* (osciluju oko mase) ili mogu imati DC komponentu, bilo pozitivnu ili negativnu. Može biti u pitanju prostoperiodičan talasni oblik, digitalni impuls, binarna kombinacija, ili potpuno slučajan talasni oblik.

Signal generator može obezbijediti “idealni” talasni oblik (slika lijevo) ili dodati poznatu, ponovljivu količinu i tip distorzije signalu koji generiše (slika desno). Upravo ova karakteristika je jedna od najvećih prednosti signal generatora, jer je gotovo nemoguće kreirati distorziju tačno kada i gdje je potrebno koristeći samo kolo koje se testira. Odziv kola koje se testira (DUT - *Device Under Test*) na pobudu signala sa distorzijama odražava sposobnost kola da izdrži odgovarajući stres koji je izvan normalnog režima rada.

ANALOGNI ILI DIGITALNI?

- Analoge ili *mixed-signal* aplikacije:
 - Generatori proizvoljnih talasnih oblika (AWG)
 - Generatori funkcija
- Digitalne aplikacije:
 - *Pulse* generatori
 - *Data timing* generatori

Većina signal generatora danas se bazira na digitalnoj tehnologiji.

Generatori proizvoljnih talasnih oblika (*AWG Arbitrary Waveform Generator*) i generatori funkcija su primarno namijenjeni analognim ili *mixed-signal* aplikacijama. Ovi instrumenti koriste odgovarajuće tehnike da konstruišu ili izmijene signal bilo kog oblika koji se može zamisliti. Tipično, imaju jedan do četiri kanala. Neki AWG imaju i sinhrono digitalne izlaze.

Generatori digitalnih talasnih oblika (logički izvori) podrazumijevaju dvije klase instrumenata. *Pulse* generatori generišu povorku pravougaonih impulsa na malom broju izlaza, obično veoma visokih frekvencija. Obično se koriste za testiranje veoma brze digitalne opreme. *Data timing* generatori, poznati i kao *data* generatori, tipično imaju 8, 16 ili čak i više sinhronizovanih digitalnih izlaza. Generišu povorku digitalnih sinhronizovanih impulsa. Koriste se za testiranje digitalnih telekomunikacionih elemenata, *bus*-eva računara itd.

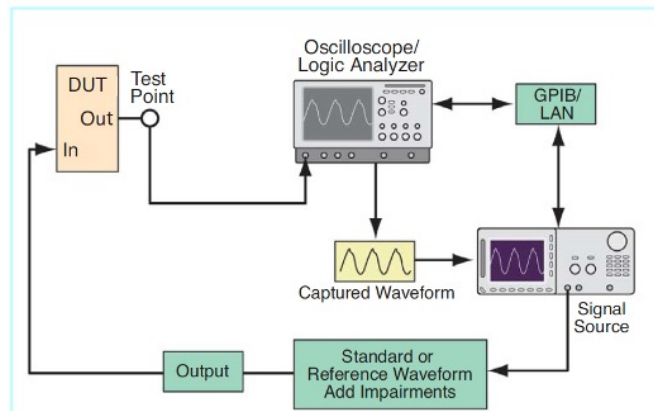
PRIMJENA SIGNAL GENERATORA I TEHNIKE GENERISANJA SIGNALA

- **Primjena:**

- Verifikacija
- Karakterizacija
- Granična testiranja

- **Tehnike generisanja signala:**

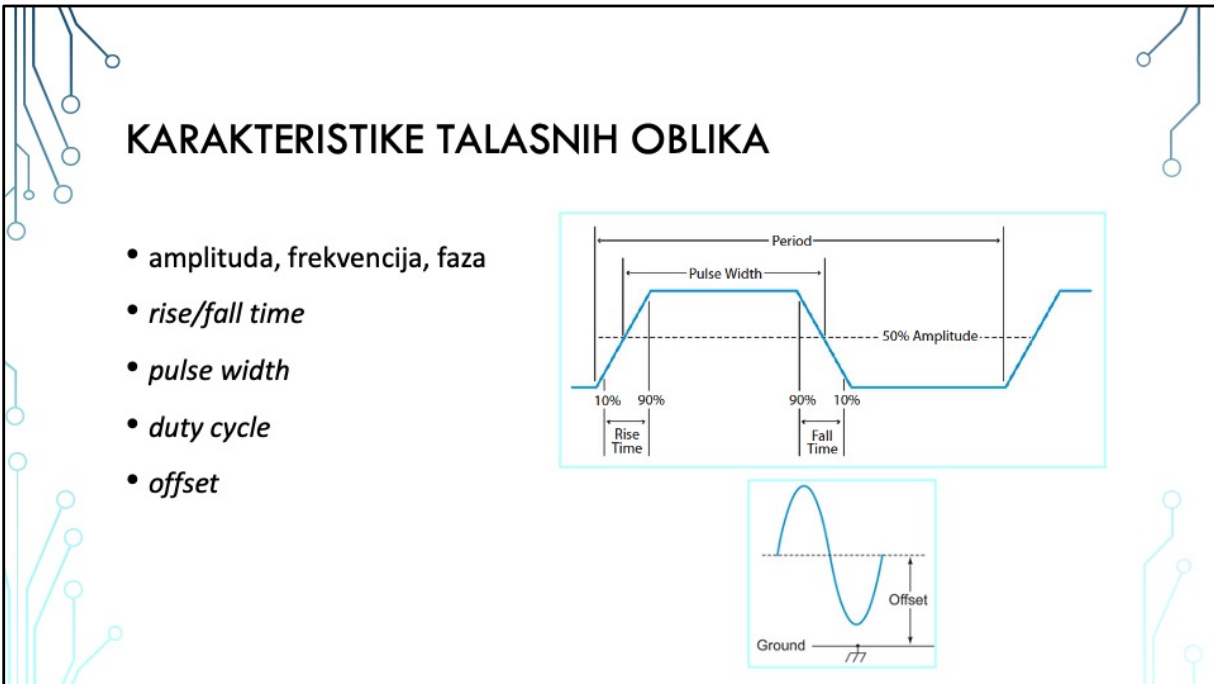
- Kreiranje
- Repliciranje
- Generisanje



U okviru mjerenja u elektronici, primjena signal generatora se može podijeliti u tri osnovne grupe: **verifikacija**, **karakterizacija** i **granično (stress/margin) testiranje**.

Postoji nekoliko načina definisanja talasnih oblika pomoću signal generatora. Izbor metode zavisi od dostupnih informacija o DUT-u i njegovih ulaznih zahtjeva, da li postoji potreba za dodavanjem distorzije ili greške signalu itd. Savremeni signal generatori visokih performansi nude najmanje tri načina zadavanja talasnog oblika:

- **Kreiranje** – potpuno novi signal kao stimulus kola koje se testira.
- **Repliciranje** – sintetizovanje nedostupnog signala iz realnog svijeta (snimljen pomoću osciloskopa, na primjer)
- **Generisanje** – idealni ili "pod stresom" referentni signal za industrijske standarde sa određenom tolerancijom.



Signal generatori obično imaju zadatak da proizvedu električni (naponski) signal koji se ponavlja na kontrolisan način. Svako puno ponavljanje talasa se označava kao ciklus (*cycle*). Talasni oblik je grafička interpretacija aktivnosti signala – varijacija u vremenu.

Osnovne karakteristike talasnog oblika su: amplituda, frekvencija i faza.

Amplituda AC signala se konstantno mijenja u vremenu. Signal generator omogućava zadavanje opsega napona, na primjer, -3 V do 3V. Na ovaj način generisaće se signal koji se nalazi u opsegu od -3 V do 3 V, sa brzinom promjene koja zavisi od zadate frekvencije i oblika signala.

Frekvencija je brzina dešavanja jednog ciklusa talasnog oblika.

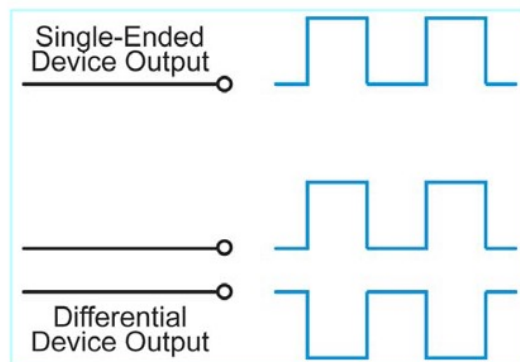
Faza je "vrijeme postavljanja" ciklusa u odnosu na referentni dijagram ili referentnu tačku u vremenu.

Osim amplitude, frekvencije i faze, postoje i mnogi drugi parametri koji su implementirani kao kontrolne varijable mnogih signal generatora:

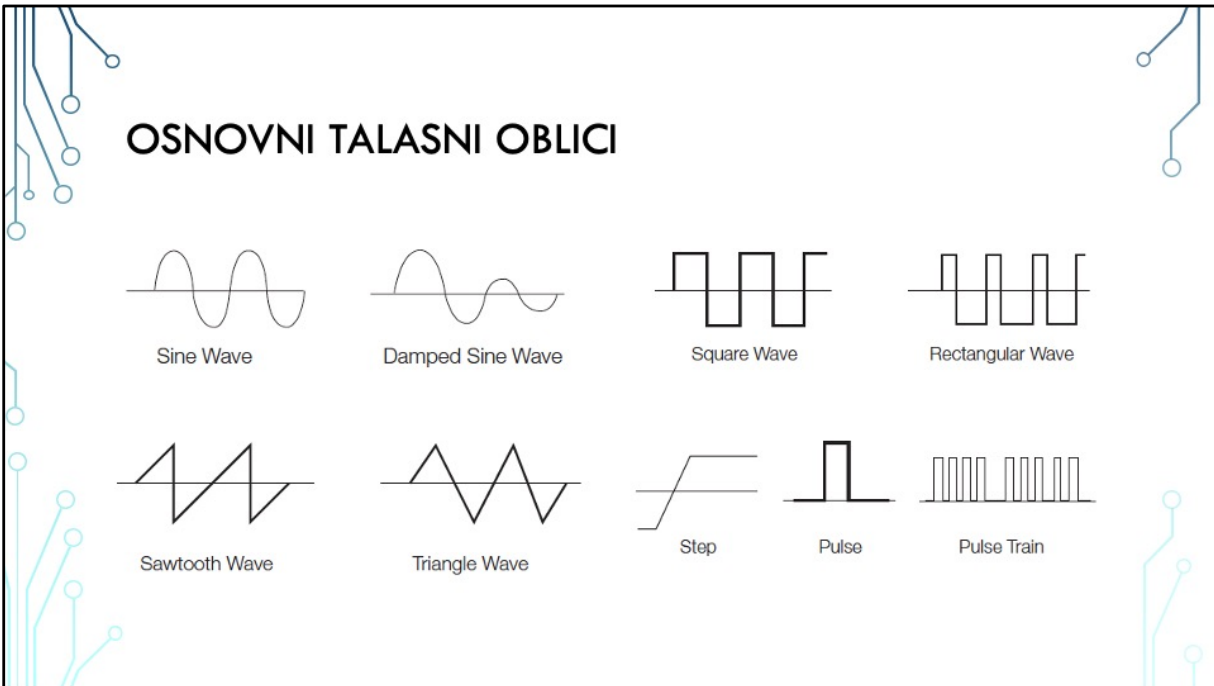
- ***rise-time*** i ***fall-time***
- ***pulse width***
- ***duty cycle*** se koristi da opiše odnos on/off (visokog/niskog) intervala. Na primjer, ukoliko je perioda 100 ns, a trajanje visokog stanja (*on*) 60 ns, onda je *duty cycle* 60

- *offset*

DIFFERENTIAL VS. SINGLE-ENDED SIGNALS



Diferencijalne arhitekture su dobre u smislu redukcije preslušavanja (*crosstalk*) i šuma i propuštanja samo korisnog signala.

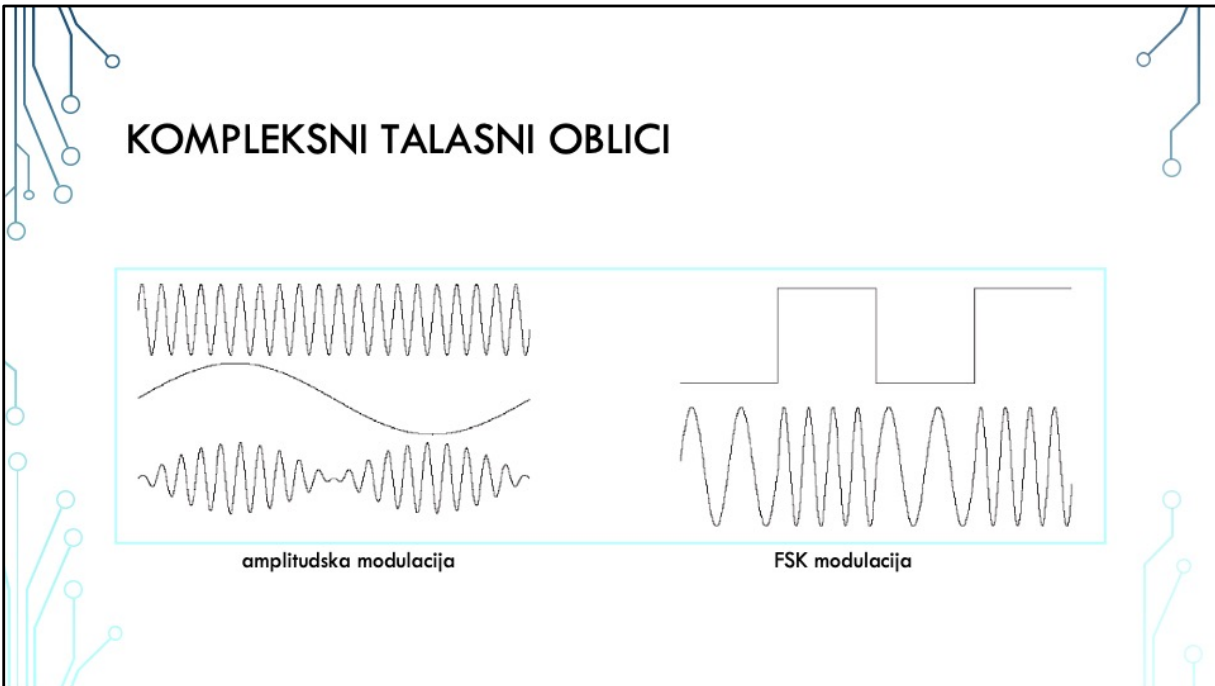


Kvadratni i pravougaoni talasni oblik se koriste za testiranje pojačavača, na primjer. Kvadratni talasni oblik predstavlja takt za digitalne sisteme, računare, bežičnu telekomunikacionu opremu, HDTV sisteme itd.

Testerasti i trougaoni talasni oblik se često koriste za kontrolu drugih napona.

Pulse ima vrijednost 0 ili 1 i nosi informaciju u digitalnim sistemima. *Pulse* predstavlja jedan bit informacije. Više *pulse*-ova obrazuju *pulse train*. Sinhronizovana grupa *pulse train*-ova koji se mogu prenositi redno ili paralelno čini digitalni *pattern*.

Ponekad, anomalije kola proizvode *pulse* spontano. Ovakva pojava nije periodična i označava se kao *glitch*. Neki signal generatori su u stanju da generišu *glitch* bilo gdje u okviru *pulse train*-a.

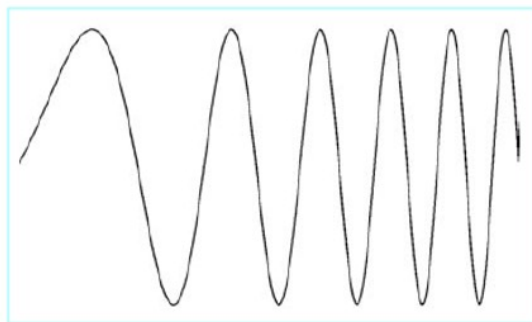


U stvarnosti, takt i nosilac su čisti talasni oblici, dok će većina ostalih talasnih oblika posjedovati neku vrstu izobličenja (kao posljedica parazitnih efekata, preslušavanja,...) ili namjerne modulacije.

Kompleksni talasni oblici su:

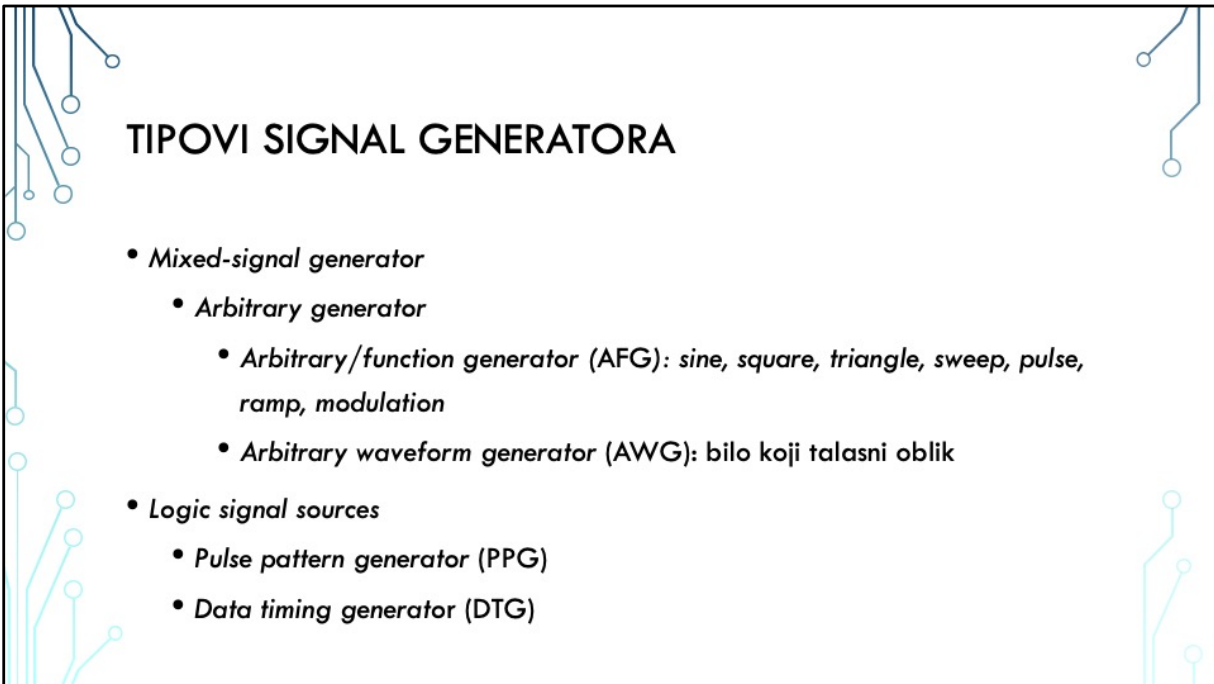
- analogno modulisani, digitalno modulisani, širinski modulisani, kvadraturno modulisani signal
- digitalni šabloni i formati
- *pseudo-random bit stream* i *pseudo-random word stream*
- ...

KOMPLEKSNI TALASNI OBLICI



Promjena frekvencije prostoperiodičnog talasnog oblika u vremenu

Mjerenje frekventnih karakteristika kola zahtijeva promjenu frekvencije sinusoidalnog talasnog oblika u vremenu, slika. Napredniji *sweep* generatori omogućavaju podešavanje početne frekvencije, *hold* frekvencije i krajnje frekvencije sa odgovarajućim vremenskim intervalima. Signal generator takođe obezbjeđuje *trigger* sinhronizovan sa signalom čija frekvencija se mijenja za kontrolu osciloskopa koji se koristi za mjerenje odziva.



Najšira podjela signal generatora:

- ***mixed-signal generators*** (AWG i generatori funkcija)
- ***logic signal sources*** (*pulse* ili *pattern*)

Mixed-signal generatori su dizajnirani da generišu talasni oblik sa analognim karakteristikama. To mogu biti talasni oblici od sinusoidalnih, trougaonih, pa do kvadratnih signala sa nesavršenostima koje karakterišu svaki realni signal. Kod velikog broja *mixed-signal* generatora, moguće je kontrolisati amplitudu, frekvenciju, fazu, kao i *DC offset*, *rise-time*, *fall-time*. Moguće je zadavati *overshoot*, *edge jitter*, vršiti modulacije itd.

Digitalni izvori su namijenjeni za testiranje digitalnih sistema. Njihov izlaz su binarni *pulse stream*-ovi. Digitalni izvor, po pravilu, ne može generisati sinusoidalni ili trougaoni talasni oblik. Karakteristike su im prilagođene potrebama računarskih magistrala i sličnim aplikacijama. U okviru karakteristika su i karakteristike sonde koje moraju biti uparene sa odgovarajućom logičkom familijom koja se testira. Nekada su podržani odgovarajućim softverom kako bi se ubrzao postupak generisanja odgovarajućih testnih signala.

Kako je već rečeno, gotovo svi signal generatori danas su bazirani na digitalnoj arhitekturi, što omogućava fleksibilnu programabilnost i izuzetnu tačnost.

AFG obezbeđuje veoma širok opseg potrebnih talasnih oblika i najčešće su korišćeni generatori signala. AFG tipično nudi manje varijacija talasnih oblika u odnosu na AWG, ali ima izuzetnu stabilnost i brz odziv na promjene frekvencije. Ukoliko DUT zahtijeva neki od standardnih talasnih oblika i brz prelaz sa jedne učestanosti na drugu, onda je AFG dobar izbor. Dodatna prednost je i relativno niska cijena. Savremeni AFG imaju unaprijeđenu kontrolu faze, frekvencije i amplitude izlaznog signala. Mnogi od njih imaju mogućnost da modulišu signal (iz internog ili eksternog izvora). U prošlosti su se bazirali na analognim oscilatorima i kolima za kondicioniranje signala. Sada se baziraju na AD konvertorima visoke rezolucije i brzine, mikroprocesorskom upravljanju i memoriji.

AWG može generisati složenije talasne oblike na osnovu zadatih matematičkih relacija ili jednostavnim skiciranjem posredstvom odgovarajućeg korisničkog interfejsa.

Logic signal sources se koriste za testiranje digitalnih sistema.

PPG generiše povorku kvadratnih impulsa na malom broju izlaza, obično veoma visoke frekvencije. Osim ako je *stream* modulisan, nikakva informacija nije izražena ovom povorkom impulsa. Ipak, koriste se za testiranje digitalne opreme visoke brzine zahvaljujući visokoj frekvenciji i veoma dobrom *rise/fall time*-u.

DTG ima zadatak da generiše binarne podatke. Generiše podatke kojima se vrši testiranje magistrala računara, mikroprocesorskih IC uređaja, i mnogih drugih digitalnih elemenata. Može poslužiti u fazi razvoja sistema kao zamjena za funkcionalne blokove koji još uvijek nisu implementirani. Veoma su pogodni za testiranje FPGA i ASIC uređaja.

Posjeduju mogućnost podešavanja nivoa logičke nule i jedinice. Specijalizovano kolo za kašnjenje obezbeđuje pozicioniranje ivica visoke rezolucije, reda pikosekundi.

OSNOVNI PARAMETRI AWG-A

- *Memory Depth (Record Length)*
- *Sample (Clock) Rate*

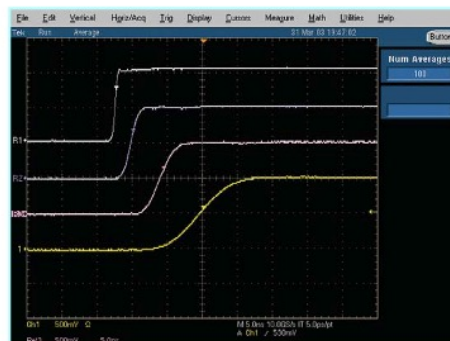
Primjer: Ako je frekvencija takt impulsa 100 MS/s i memory depth 4000 odbiraka, pri čemu je u RAM upisana samo jedna perioda signala, tada je frekvencija generisanog signala 25 kHz. Za datu frekvenciju takt impulsa, vrijeme između dvije tačke iznosi oko 10 ns (1/100 MS/s) što predstavlja horizontalnu rezoluciju. Ukoliko RAM sadrži četiri periode istog talasnog oblika frekvencije 25 kHz, tada će frekvencija takt impulsa biti četiri puta manja - 25 MS/s. Sada je horizontalna rezolucija četiri puta manja, tj. vrijeme između dvije tačke talasnog oblika iznosi 40 ns.

Memory depth određuje maksimalan broj odbiraka koji može biti snimljen, odnosno, broj tačaka kojima se definiše talasni oblik. Svaka tačka talasnog oblika zauzima jednu memorijsku lokaciju. Tačke smještene u memoriji su međusobno „udaljene“ za vremenski interval koji zavisi od frekvencije takta. Na primjer, ukoliko je frekvencija takta 100 MHz, taj vremenski interval iznosi 10 ns. Ova karakteristika je veoma značajna, pogotovo kada su u pitanju kompleksni signali.

Sample (clock) rate se obično izražava u MS/s ili GS/s i označava maksimalnu brzinu takta na kojoj instrument može da obavlja svoju funkciju. Ova učestanost ograničava maksimalnu učestanost signala koji se može generisati instrumentom.

OSNOVNI PARAMETRI AWG-A

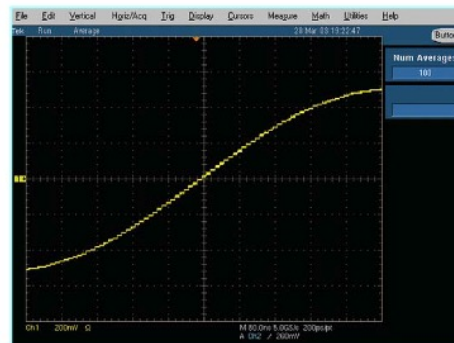
- *Bandwidth*



Frekventni opseg signal generatora mora biti dovoljno širok da “podnese” maksimalnu frekvenciju koju podržava *sample rate*, odnosno, da propusti najveće frekvencije koje se mogu taktovati iz memorije bez degradacije karakteristika signala. Na slici je ilustrovan značaj frekventnog opsega signal generatora.

OSNOVNI PARAMETRI AWG-A

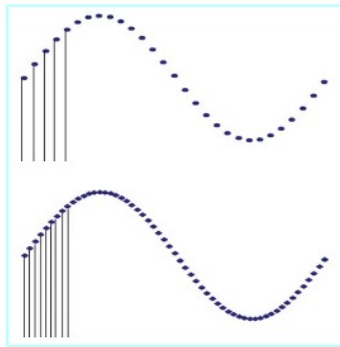
- *Vertical (Amplitude) Resolution*



Vertikalna rezolucija je mjera kvaliteta DA konvertora u sklopu signal generatora. Definiše tačnost amplitude i distorziju reprodukovanog talasnog oblika.

OSNOVNI PARAMETRI AWG-A

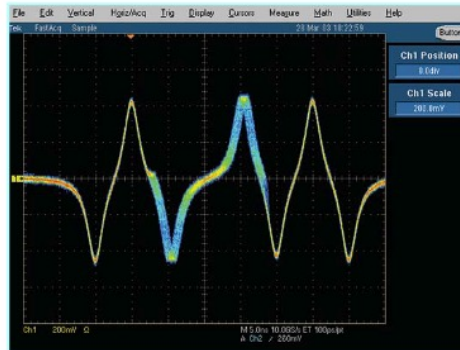
- *Horizontal (Timing) Resolution*



Horizontalna rezolucija predstavlja najmanji vremenski inkrement koji se može koristiti prilikom kreiranja talasnog oblika.

OSNOVNI PARAMETRI AWG-A

- *Region Shift*

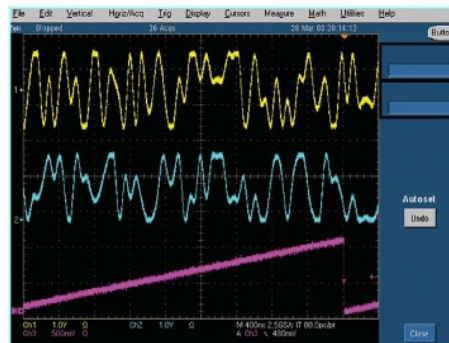


Region shift funkcija pomjera određenu ivicu talasnog oblika u odgovarajućem smjeru, prema ili od programirane centralne vrijednosti. Ukoliko je specificirani interval pomjeranja manji od *sampling* intervala, originalni talasni oblik se ponovo formira.

Region shift funkcija omogućava simulaciju *jitter*-a i sličnih pojava koje prevazilaze horizontalnu rezoluciju uređaja.

OSNOVNI PARAMETRI AWG-A

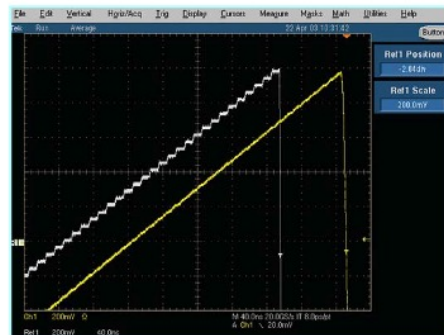
- *Output channels*



Mnogi AWG imaju više izlaznih kanala, do četiri. Neki imaju dva izlazna kanala plus do 16 digitalnih izlaza.

OSNOVNI PARAMETRI AWG-A

- *Filtering*



Kada je osnovni talasni oblik formiran, mogu se primijeniti operacije koje modifikuju (*filtering*) ili proširuju signal (*sequencing*).

Filtriranje omogućava eliminisanje iz signala sadržaja iz određenog frekventnog opsega. Nekada je jednostavnije izvršiti filtriranje generisanog signala, nego kreirati novi. Ranije se filtriranje vršilo eksternim filtarskim kolima, dok savremeni signal generatori sadrže ugrađene kontrolabilne filtre.

Često je potrebno kreirati veoma duge talasne oblike u cilju testiranja uređaja koje dugo traje. Kada se segmenti talasnog oblika potrebnog za testiranje ponavljaju, *sequencing* funkcija može biti korisna. Naime, uz pomoć programabilnog *sequence* kontrolera moguće je zadati talasni oblik gotovo beskonačne dužine. Veoma je važno voditi računa da ne dođe do diskontinuiteta zadate funkcije, kako se ne bi generisao neželjeni *glitch*.

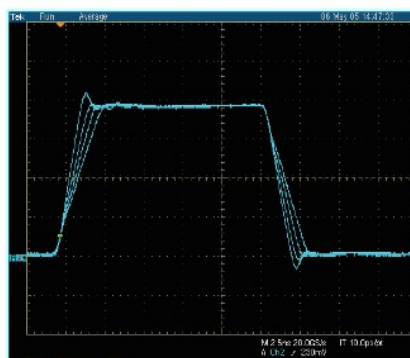
LOGIC SIGNAL SOURCES - SPECIFIČNOSTI



Na slici je prikazana mogućnost zadavanja vrijednosti napona za nivo logičke nule i logičke jedinice na izlazu.

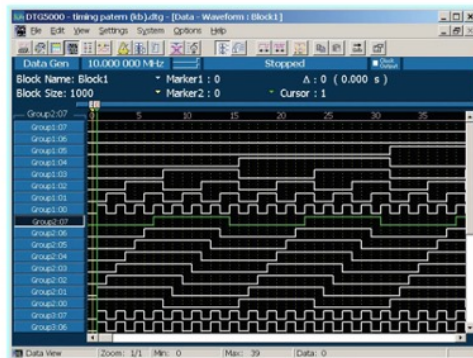
Za testiranje bilo kog digitalnog kola veoma je značajna mogućnost varijacije nivoa napona. Pogotovo su interesantne vrijednosti napona u okolini napona praga. Uređaj koji ima određene nedostatke koje je teško pratiti, vjerovatno će ih ispoljiti pri ovom testu.

LOGIC SIGNAL SOURCES - SPECIFIČNOSTI



Na slici je prikazana mogućnost zadavanja *rise-time*-a. Ova funkcionalnost se ostvaruje pomoću eksternog kola TTC (*Transient Time Converter*). Testiranje kola za različite vrijednosti *rise-time*-a je veoma značajno u okviru graničnih testova uređaja. Postoji mogućnost da impuls spore tranzicije neće pobuditi naredno kolo na vrijeme. Dodatno pogoršanje *rise-time*-a uvodi svako kolo svojim parazitnim efektima. Iz pomenutih razloga, veoma je važno utvrditi ponašanje uređaja za različite vrijednosti ovog parametra.

LOGIC SIGNAL SOURCES - SPECIFIČNOSTI




Logic signal sources posjeduju veoma veliki broj kanala. Kako bi bilo gotovo nemoguće ručno definisati ovoliki broj izlaza i izvršiti sinhronizaciju, ovi uređaji prihvataju podatke snimljene *logic analyzer*-om, osciloskopom, simulatorima,...



ZADATAK

Izlazna otpornost AWG-a je 50Ω . Potrebno je generisati talasni oblik $U_m \sin(2\pi ft)$, pri čemu je $U_m = 3 \text{ V}$, za kolo čija ulazna otpornost iznosi 120Ω . Koje vrijednosti treba zadati kao *amplitude*[Vpp] i *offset* [V]?



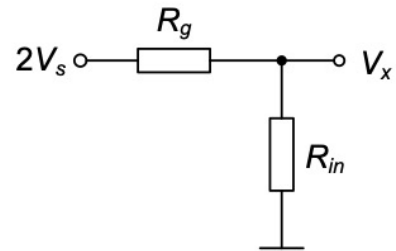
ZADATAK

$$V_x = 2V_S \frac{R_{in}}{R_g + R_{in}}$$

$$V_x = 2V_S \frac{120 \Omega}{50 \Omega + 120 \Omega}$$

$$V_S = \frac{170 \Omega}{240 \Omega} V_x = \frac{170 \Omega}{240 \Omega} 6 \text{ V} = 4.25 \text{ V}$$

amplitude = 4.25 V_{pp}, offset = 0 V





LITERATURA

- G. Webster and H. Eren, *Measurement, Instrumentation, and Sensors Handbook*, CRC Press, Taylor & Francis Group, 2014
- Signal Generators, Fundamentals,
<https://www.tek.com/document/primer/xyzs-signal-generators>