

# KORIŠTENJE BRZE FOURIEROVE TRANSFORMACIJE ( FFT ) SA HP 54600 OSCILOSKOPIMA

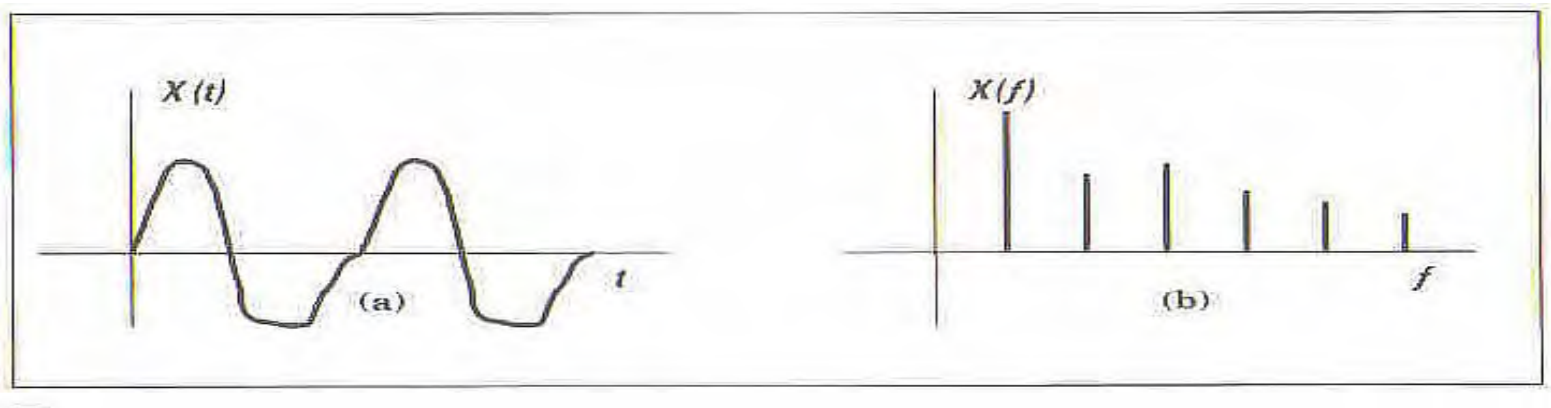
HP 54600 serija osciloskopa sa HP 54657A ili HP 54658A instaliranim measurement storage modulom, imaju sposobnost izvršenja analize u frekventnom domenu na valnom obliku iz vremenskog domena, korištenjem brze FFT transformacije ( Fast Fourier transformation). Ovaj tekst daje kratak pregled Fourierove teorije, i jedinstveno ponašanje FFT.

## **Fourierova teorija**

Normalno, kada se signal mjeri sa osciloskomom ili VI, on se vizualizira u vremenskom domenu ( slika 1 a). Ali kada je frekventni sadržaj signala od interesa, ima smisla posmatrati signal u frekventnom domenu. U frekventnom domenu, vertikalna osa je napon kao i u vremenskom domenu, ali horizontalna osa je frekvencija ( vidjeti sliku 1b ).

# KORIŠTENJE BRZE FOURIEROVE TRANSFORMACIJE (FFT) SA HP 54600 OSCILOSKOPIMA

Displej u frekventnom domenu pokazuje koliko mnogo energije signala je prisutno na svakoj frekvenciji. Za jednostavni signal kao što je to sinusni, displej u frekventnom domenu ne daje mnogo više dopunske informacije. Međutim, za kompleksnije signale, frekventni sadržaj je teško otkriti u vremenskom domenu i frekventni domen daje mnogo korisniji pogled na signal.



# KORIŠTENJE BRZE FOURIEROVE TRANSFORMACIJE ( FFT ) SA HP 54600 OSCILOSKOPIMA

Fourierova teorija ( uključujući i Fourierovu seriju i Fourierovu transformaciju ) uspostavlja matematsku relaciju između vremenskog domena i frekventnog domena. Fourierova transformacija je data sa :

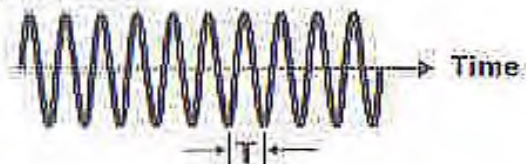
$$V(f) = \int_{-\infty}^{\infty} v(t) e^{-j2\pi ft} dt$$

Neki tipični signali predstavljeni u vremenskom i frekventnom domenu su pokazani na narednoj slici:

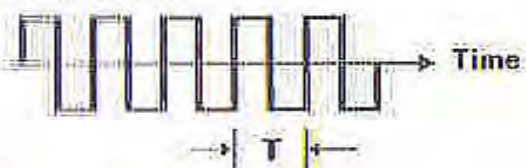
# KORIŠTENJE BRZE FOURIEROVE TRANSFORMACIJE (FFT) SA HP 54600 OSCILOSKOPIMA

## Time Domain

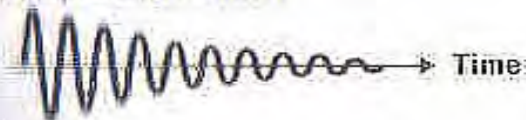
(a) Sine Wave:



(b) Square Wave:



(c) Damped Sine Wave:



(d) Impulse:



(e) Pulse Train:

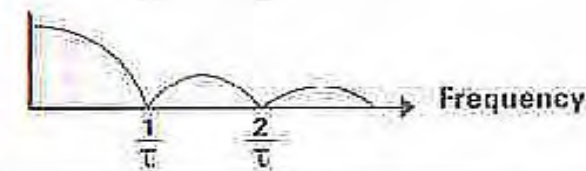
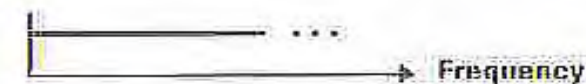
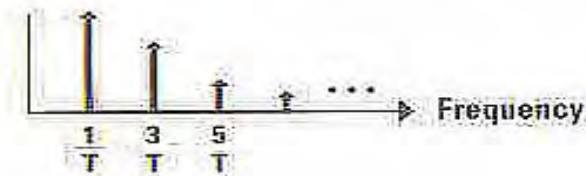


(f) Single Pulse:



## Frequency Domain

Amplitude



# KORIŠTENJE BRZE FOURIEROVE TRANSFORMACIJE ( FFT ) SA HP 54600 OSCILOSKOPIMA

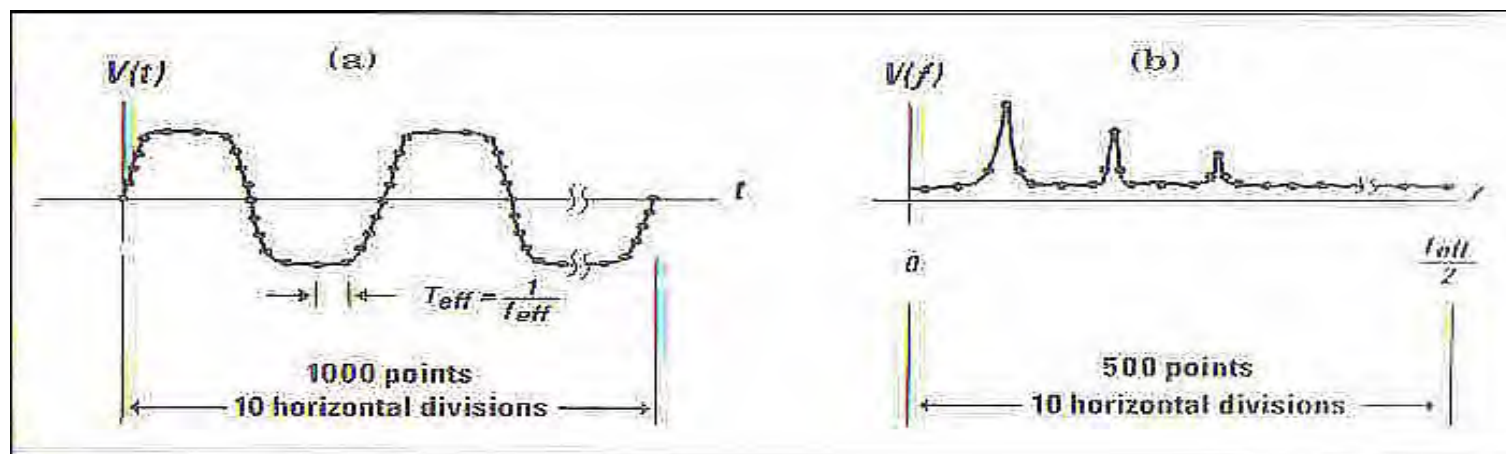
## Brza Fourierova transformacija

Diskretna ( ili digitizirana) verzija Fourierove transformacije se naziva diskretna Fourierova transformacija ( DFT – discrete Fourier transform). Ova transformacija uzima digitizirane podatke iz vremenskog domena, i računa njihovu predstavu u frekventnom domenu. DFT nam omogućava da izračunamo predstavu u frekventnom domenu signala iz realnog vremenskog domena.

HP 54600 osciloskope sa modulom za mjerenje i pohranjivanje ( measurement/ storage module) kao i VI, koristi algoritam FFT ( fast Fourier transform), da izračuna DFT. FFT i DFT proizvode isti rezultat pa se najčešće obadva nazivaju istim imenom FFT.

# KORIŠTENJE BRZE FOURIEROVE TRANSFORMACIJE ( FFT ) SA HP 54600 OSCILOSKOPIMA

HP 54600 serija osciloskopa normalno digitizira valni oblik u vremenskom domenu i pohranjuje ga kao zapis od 4000 tačaka. FFT funkcija koristi 1000 od ovih tačaka ( tj. svaku četvrtu tačku) da proizvede 500 tačaka prikaza u frekventnom domenu. Ovaj displej u frekventnom domenu se prostire od frekvencije 0 do  $f_{eff}/2$  gdje  $f_{eff}$  je efektivna brzina uzorkovanja vremenskog rekorda ( vidjeti slijedeću sliku ).



# KORIŠTENJE BRZE FOURIEROVE TRANSFORMACIJE ( FFT ) SA HP 54600 OSCILOSKOPIMA

Efektivna brzina uzorkovanja je recipročna vrijednost vremena između uzoraka i zavisi od vrijeme/podjela ( time/div) podešenja na osciloskopu. Za HP 54600 seriju osciloskopa, efektivna brzina uzorkovanja je data sa :

$$f_{eff} = \frac{\text{record length}}{10 * \text{time/div}} = \frac{1000}{10 * \text{time/div}} = \frac{100}{\text{time/div}}$$

Primjetimo da efektivna brzina uzorkovanja za FFT može biti mnogo veća nego što je maksimalna brzina uzorkovanja za osciloskop. Tako naprimjer, maksimalna brzina uzorkovanja za ovaj tip osciloskopa je 20 MHz , ali tehnika poznata kao random repetitive sampling technique, postavlja uzorke tako precizno u vremenu tako da brzina uzorkovanja koju vidi FFT može biti i do 20 GHz.

# KORIŠTENJE BRZE FOURIEROVE TRANSFORMACIJE ( FFT ) SA HP 54600 OSCILOSKOPIMA

Default displej frekventnog domena pokriva normalni frekventni opseg od 0 do  $f_{eff}/2$ .

## Aliasing ( udvajanje)

Frekvencija  $f = f_{eff}/2$  se takodjer naziva i frekvencija previjanja ( folding frequency). Frekvencije koje bi se normalno pojavile iznad  $f_{eff}/2$  ( i dakle van korisnog opsega FFT ), se previjaju natrag u prikaz frekventnog domena. Ove nepoželjne komponente se zovu aliases ( udvajajuće), pošto se one greškom pojavljuju kao aliasi od druge frekvencije.

Aliasing će se izbjeći ako je efektivna brzina sampliranja veća od dvostrukog opsega signala koji se mjeri.

Primjetimo da efektivna brzina uzorkovanja za FFT može biti mnogo veća nego što je maksimalna brzina uzorkovanja za osciloskop.



# KORIŠTENJE BRZE FOURIEROVE TRANSFORMACIJE ( FFT ) SA HP 54600 OSCILOSKOPIMA

Tako naprimjer, maksimalna brzina uzorkovanja za ovaj tip osciloskopa je 20 MHz , ali tehnika poznata kao random repetitive sampling technique, postavlja uzorke tako precizno u vremenu tako da brzina uzorkovanja koju vidi FFT može biti i do 20 GHz.

Default displej frekventnog domena pokriva normalni frekventni opseg od 0 do  $f_{eff}/2$ .

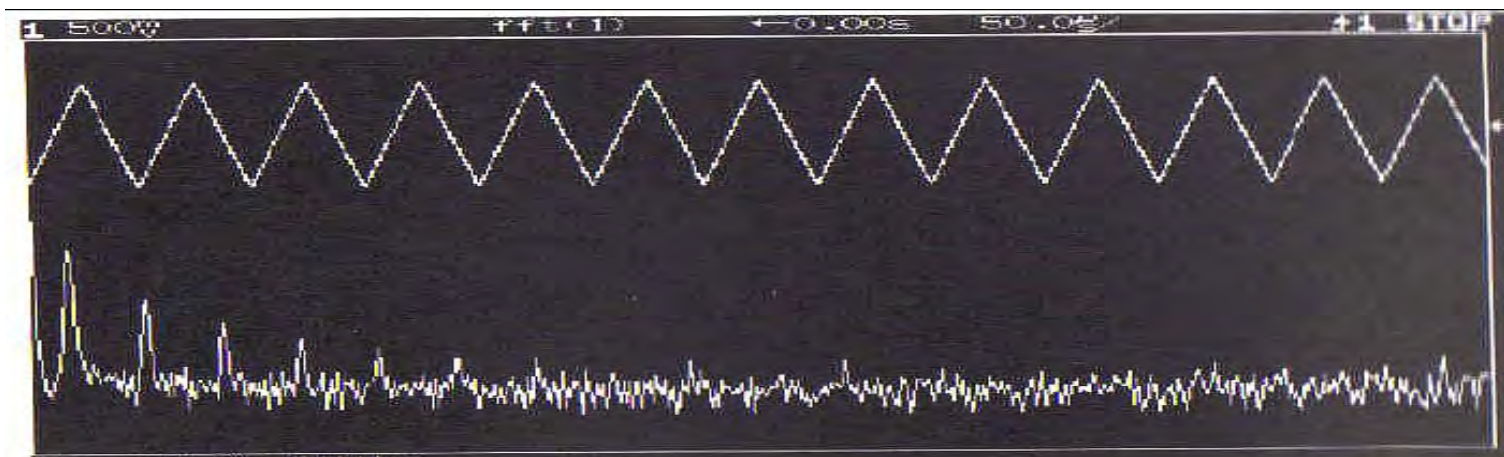
## **Aliasing ( udvajanje)**

Frekvencija  $f = f_{eff}/2$  se takodjer naziva i frekvencija previjanja ( folding frequency). Frekvencije koje bi se normalno pojavile iznad  $f_{eff}/2$  ( i dakle van korisnog opsega FFT ), se previjaju natrag u prikaz frekventnog domena. Ove nepoželjne komponente se zovu aliases ( udvajajuće), pošto se one greškom pojavljuju kao aliasi od druge frekvencije.

# KORIŠTENJE BRZE FOURIEROVE TRANSFORMACIJE (FFT) SA HP 54600 OSCILOSKOPIMA

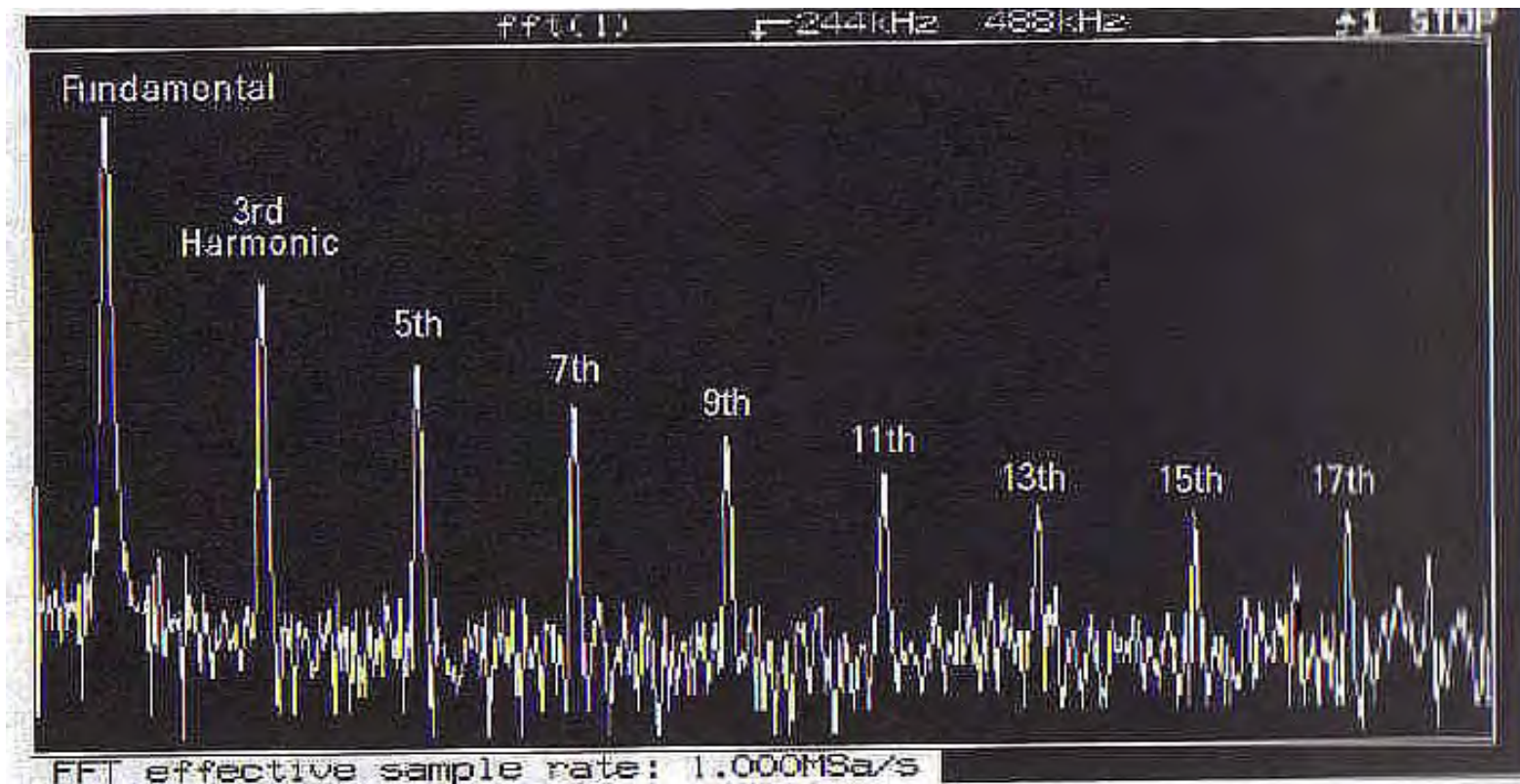
Aliasing će se izbjeći ako je efektivna brzina sampliranja veća od dvostrukog opsega signala koji se mjeri.

Frekventni sadržaj trouglastog valnog oblika uključuje osnovnu frekvenciju i veliki broj neparnih harmonika sa svakim novim harmonikom manjim u amplitudi od prethodnog. Na slici, 26 kHz trouglasti valni oblik je prikazan u vremenskom domenu i u frekventnom domenu. Krajnja lijeva linija je osnovna frekvencija. Slijedeća značajna spektralna linija je treći harmonik. Nakon toga je peti harmonik, itd.



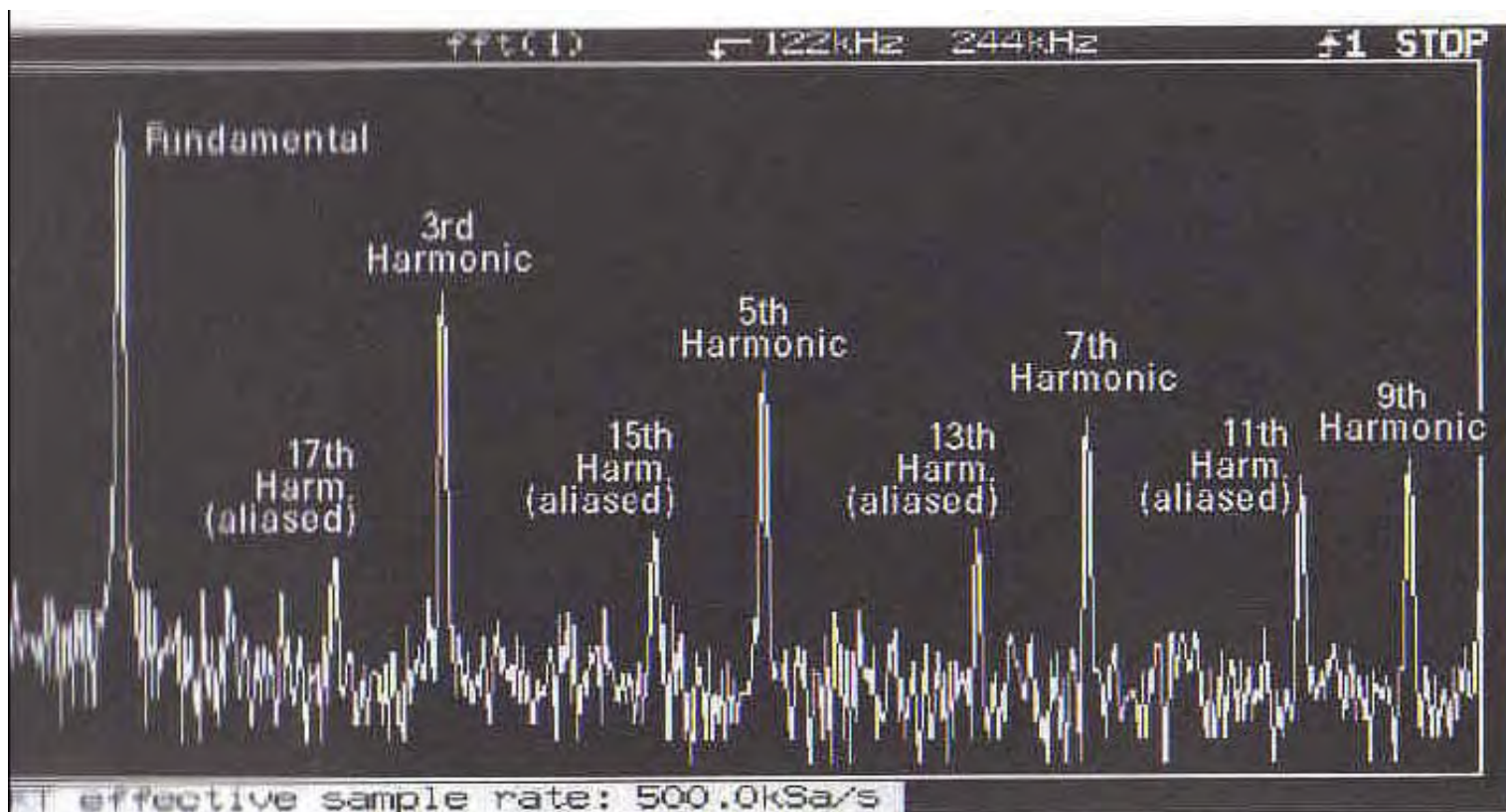
# KORIŠTENJE BRZE FOURIEROVE TRANSFORMACIJE (FFT) SA HP 54600 OSCIOSKOPIMA

Promjetimo da su veći harmonici sa manjom amplitudom i 17-i harmonik se tek nazire iznad FFT nivoa šuma. Frekvencija 17-og harmonika je  $17 \times 26 \text{ kHz} = 442 \text{ kHz}$ , što je unutar previjajuće frekvencije od  $f_{\text{eff}}/2$  (  $500 \text{ kSa/s}$  ) na slici 4b. Zbog toga nikakav aliasing se neće javiti.



# KORIŠTENJE BRZE FOURIEROVE TRANSFORMACIJE ( FFT ) SA HP 54600 OSCILOSKOPIMA

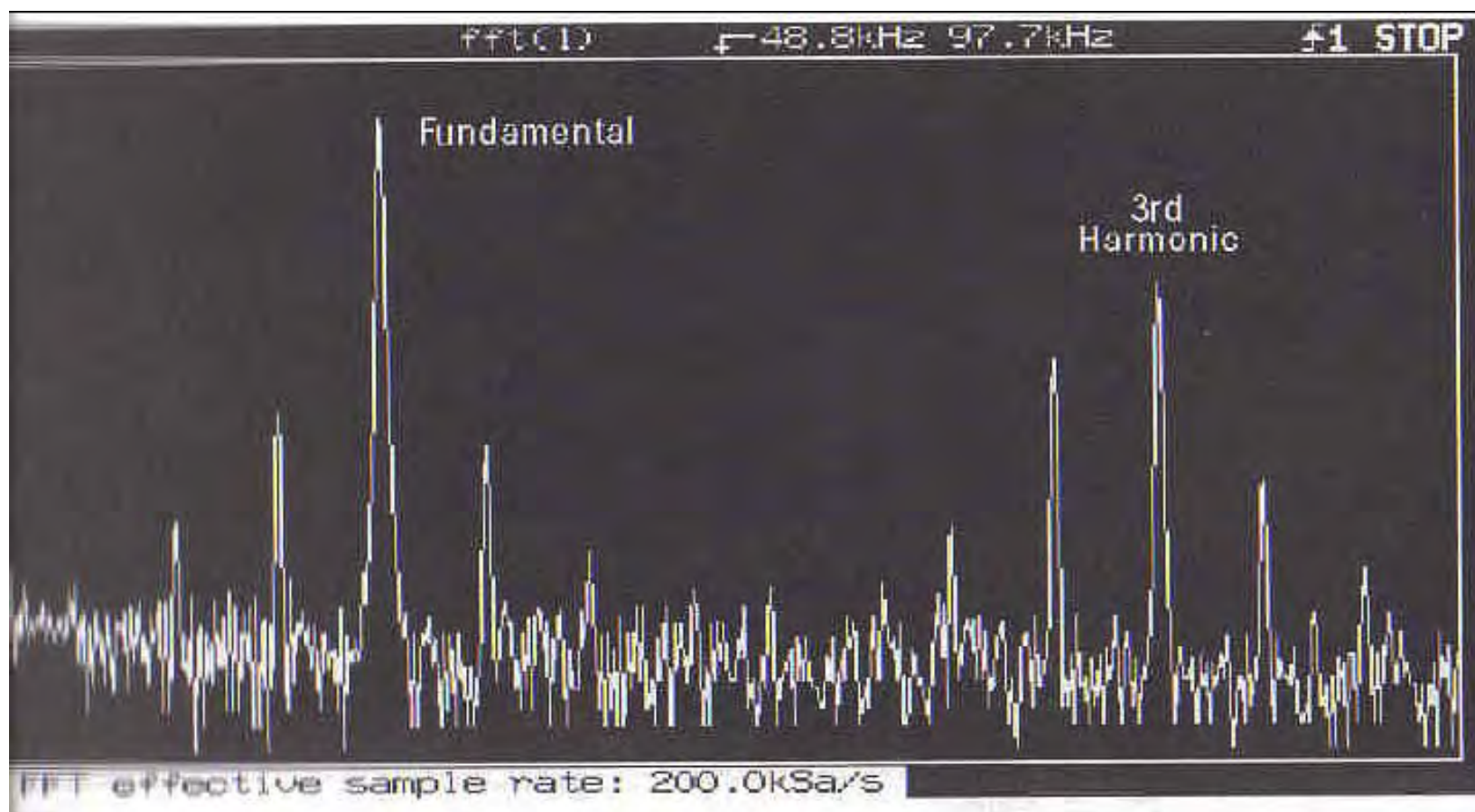
Naredna slika pokazuje FFT od istog valnog oblika sa time/div podešenim na 500 kSa/sec i frekvencijom previjanja od 250 kSa/sec. Sada će gornji harmonici trouglastog valnog oblika prevazići frekvenciju previjanja i pojaviti se kao aliasi na displeju.





# KORIŠTENJE BRZE FOURIEROVE TRANSFORMACIJE (FFT) SA HP 54600 OSCILOSKOPIMA

Naredna slika pokazuje FFT od istog valnog signala, ali sa još nižom efektivnom brzinom sampliranja od samo 200 kSa/sec., i frekvencijom previjanja od 100 kSa/sec. Ovaj frekventni plot će biti značajno aliasiran.



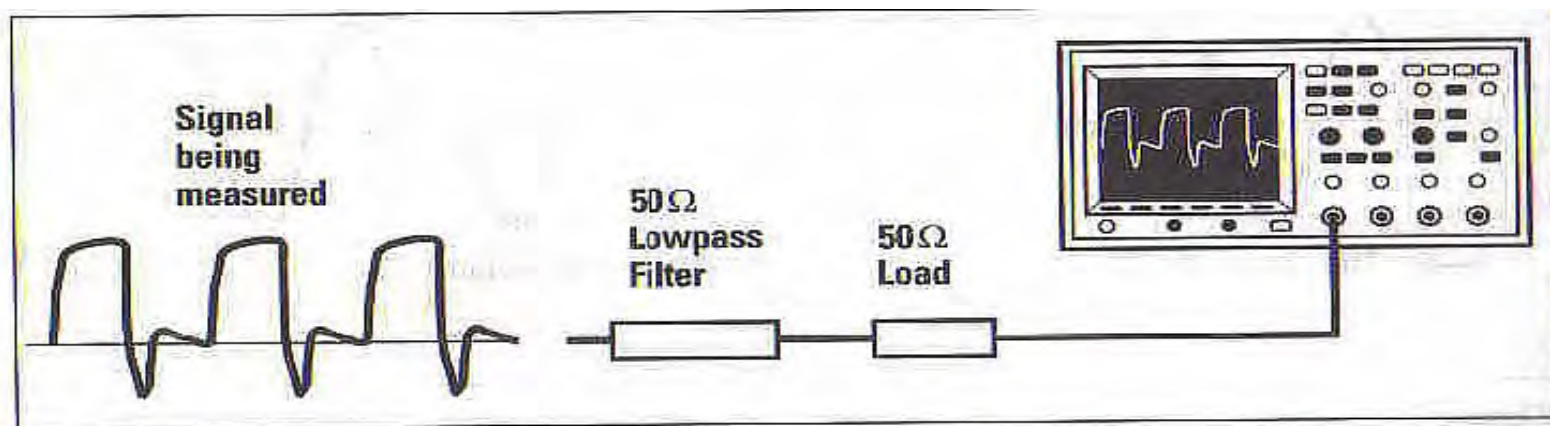
# KORIŠTENJE BRZE FOURIEROVE TRANSFORMACIJE ( FFT ) SA HP 54600 OSCILOSKOPIMA

Često su efekti aliasiranja očigledni, naročito ako korisnik ima neku predstavu o frekventnom sadržaju signala kojeg analizira. Tako se spektralne linije mogu pojaviti i na mjestima gdje ne egzistiraju frekventne komponente.

Aliasirane frekventne komponente često mogu zavarati i nisu poželjne u mjerenjima. Signali koji su ograničenog frekventnog sadržaja, mogu se posmatrati bez aliasinga ukoliko osiguramo da je efektivna brzina uzorkovanja dovoljno velika.

Ako signal nije inherentno ograničenog frekventnog domena, niskopropusni filter se može koristiti da ograniči frekventni sadržaj signala koji se mjeri.

# KORIŠTENJE BRZE FOURIEROVE TRANSFORMACIJE (FFT) SA HP 54600 OSCILOSKOPIMA



**Figure 5**

A lowpass filter can be used to band limit the signal, avoiding aliasing.

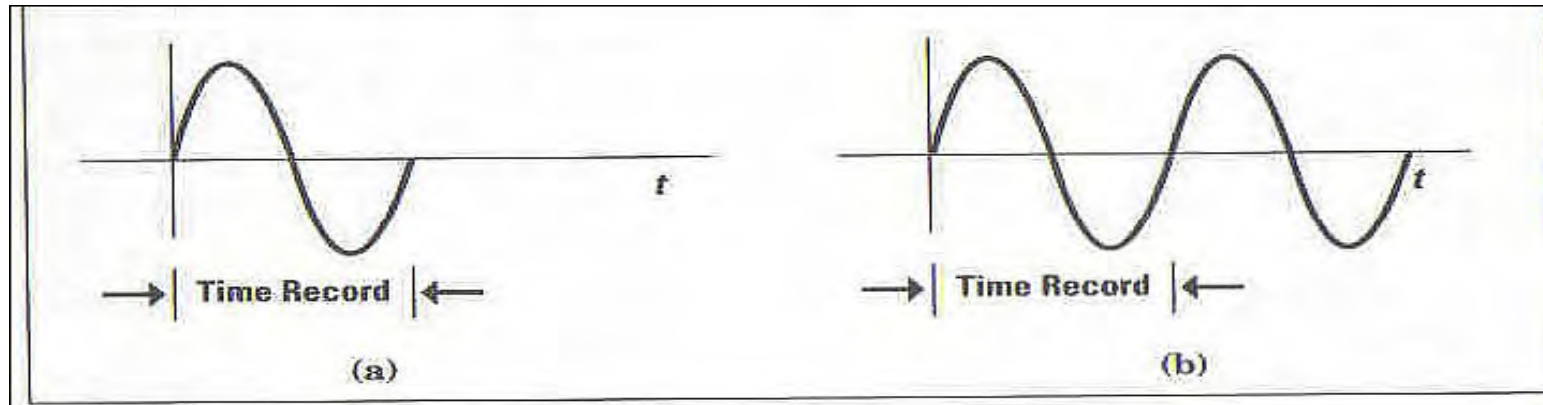
# KORIŠTENJE BRZE FOURIEROVE TRANSFORMACIJE ( FFT ) SA HP 54600 OSCILOSKOPIMA

## Curenje ( leakage )

FFT radi na konačnoj dužini vremenskog intervala sa ciljem da se procjeni Fourierova transformacija, koja uzima vremenski interval nad beskonačnim intervalom. FFT radi nad zapisom podataka sa konačnim vremenom, ali ima efekat ponavljanja ovog konačnog zapisa , nad cijelim beskonačnim intervalom vremena ( vidjeti narednu sliku ). Sa valnim oblikom kao na slici a, zapis podataka u konačnom vremenu predstavlja stvarni valni oblik vrlo dobro, tako da će FFT rezultat aproksimirati vrlo dobro Fourierov integral.



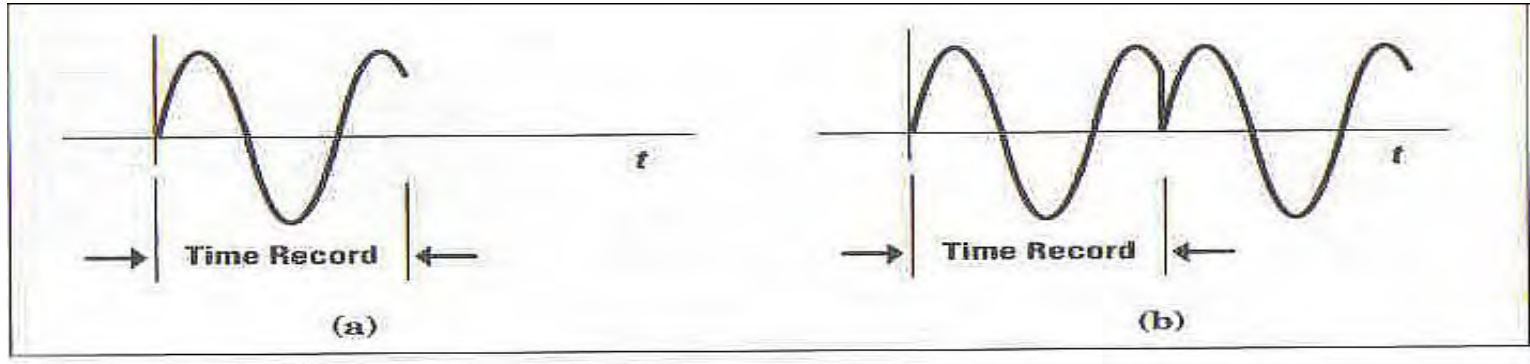
# KORIŠTENJE BRZE FOURIEROVE TRANSFORMACIJE (FFT) SA HP 54600 OSCILOSKOPIMA



- a) valni oblik koji tačno fituje jedan vremenski zapis
- b) kada se replicira , tranzijenti neće biti uvedeni

Medjutim , oblik i faza valnog oblika mogu biti takvi da se unese tranzijent kada se valni oblik replicira za sva ostala vremena izvan osnovnog intervala FFT transformacije, kao što je to pokazano na narednoj slici. U ovom slučaju FFT spektar nije dobra aproksimacija za Fourierovu transformaciju.

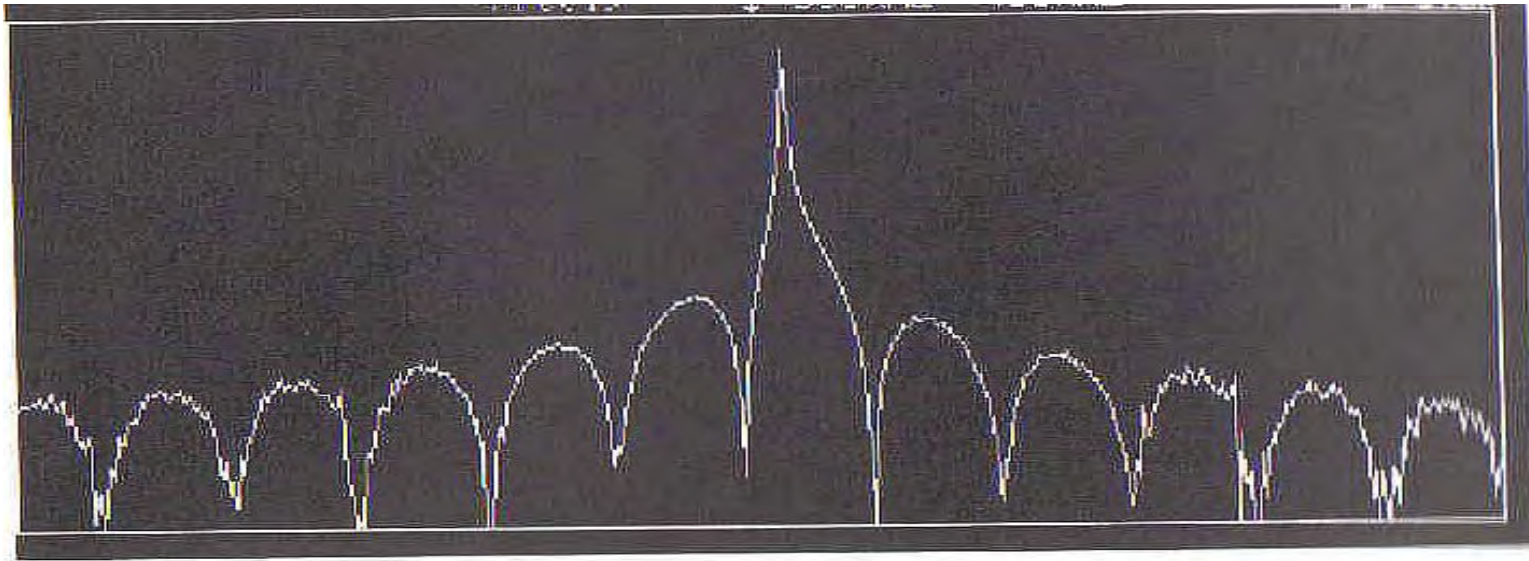
# KORIŠTENJE BRZE FOURIEROVE TRANSFORMACIJE ( FFT ) SA HP 54600 OSCILOSKOPIMA



- a) Valni oblik koji ne fituje tačno u vremenski zapis
- b) kada se replicira, uvode se vrlo oštri tranzijenti, prouzrokujući curenje ( leakage) u frekventnom domenu.

Ovaj efekat poznat kao curenje ( LEAKAGE) , je vrlo uočljiv u frekventnom domenu. Tranzijent uzrokuje da spektralna linija ( koja bi trebala biti tanka i male debljine) se raširuje kako se to vidi na slijedećoj slici

# KORIŠTENJE BRZE FOURIEROVE TRANSFORMACIJE ( FFT ) SA HP 54600 OSCILOSKOPIMA



Riješenje za problem curenja je da prisilimo valni oblik da ide na nulu na krajevima intervala vremenskog zapisa ( recorda ), tako da neće postojati tranzijenti kada se replicira vremenski rekord. Ovo se postiže množeći vremenski zapis sa WINDOW funkcijom ( funkcijom prozora). Naravno, prozor modificira vremenski zapis i proizvešće i svoj vlastiti efekat u frekventnom domenu. Za korektno dizajniran prozor, efekat u frekventnom domenu je značajno poboljšanje u odnosu na to kada se prozor uopšte ne koristi

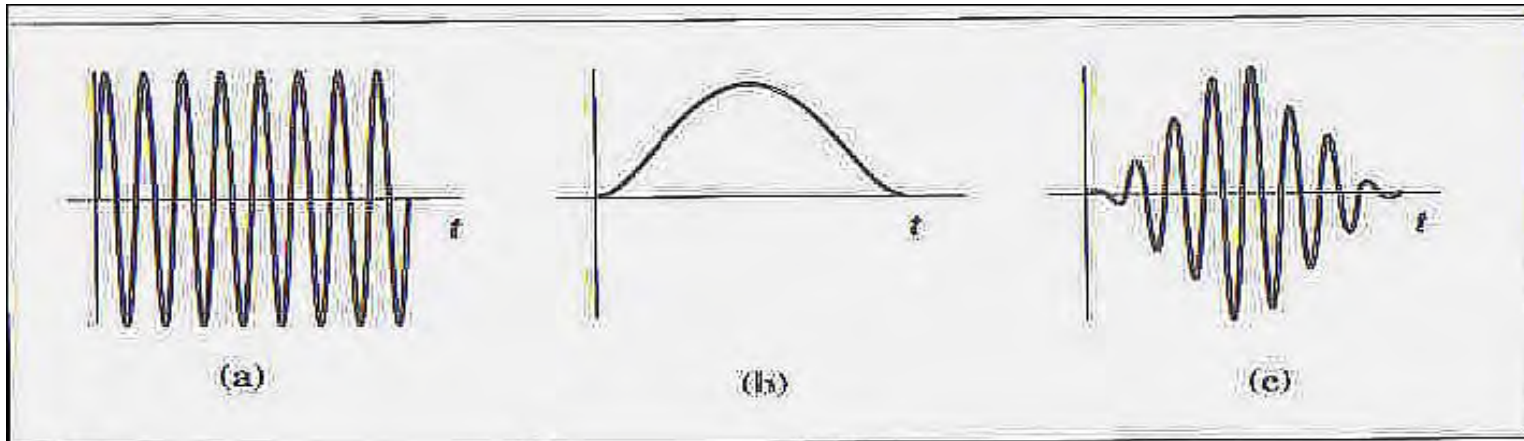
# KORIŠTENJE BRZE FOURIEROVE TRANSFORMACIJE ( FFT ) SA HP 54600 OSCILOSKOPIMA

Četiri funkcije prozora su na raspolaganju u HP 54600 seriji osciloskopa:

Hanning , Flattop, Rectangular ( četvrtasti) i eksponencijalni.

Hanningov prozor daje glatki prelaz do nule kako se približuju krajevi zapisa signala. Slika a pokazuje sinusoidu u vremenskom domenu, dok Slika b pokazuje Hanningov prozor koji će biti primjenjen na podatke vremenskog domena. Uprozoreni zapis u vremenskom domenu je pokazan na slici c. Mada se ukupni izgled signala u vremenskom domenu promjenio, frekventni sadržaj ostaje u suštini nepromjenjen.

# KORIŠTENJE BRZE FOURIEROVE TRANSFORMACIJE (FFT) SA HP 54600 OSCILOSKOPIMA



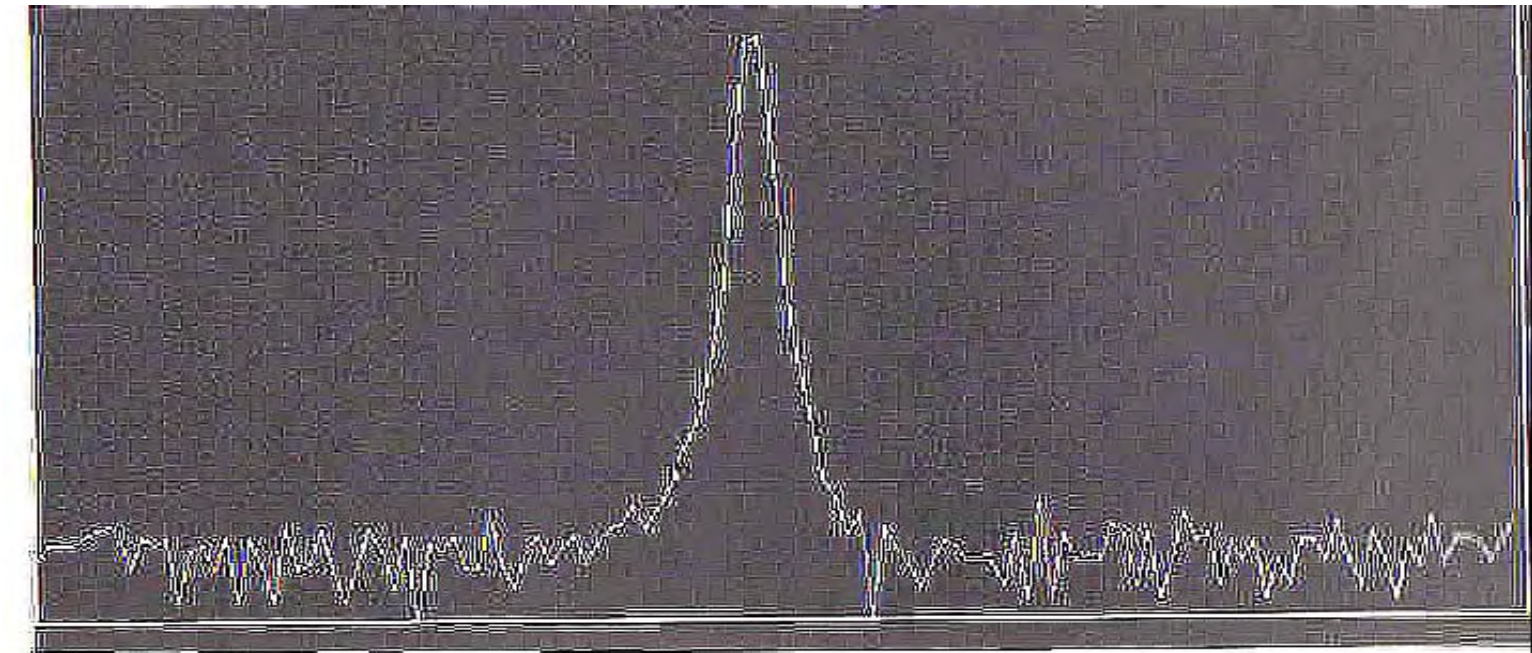
- a) originalni vremenski zapis
- b) Hanningov prozor
- c) Uprozoren vremenski zapis



# KORIŠTENJE BRZE FOURIEROVE TRANSFORMACIJE (FFT) SA HP 54600 OSCILOSKOPIMA

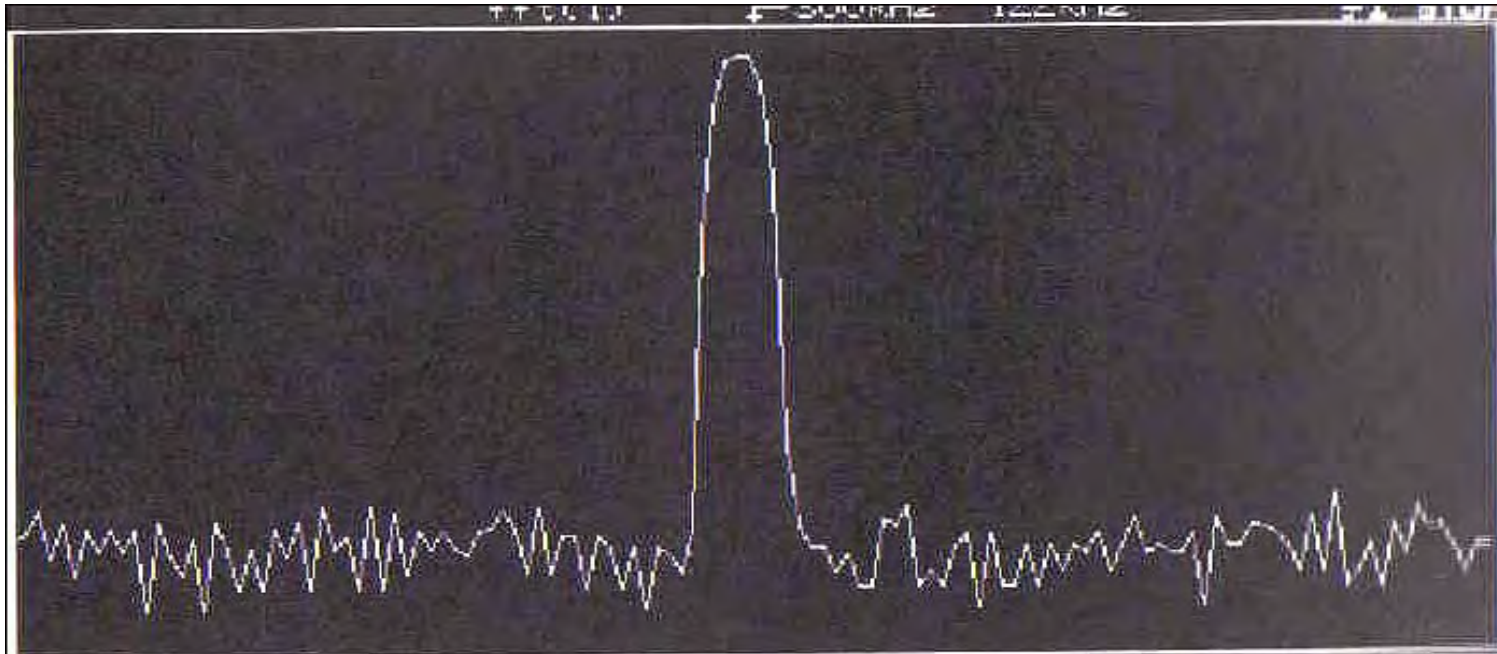
Spektralna linija pridružena sa sinusoidom se malo raspršuje u frekventnom domenu kao što je to pokazano na slici : Slika je raširena po frekventnoj osi da jasno pokaže oblik prozora u frekventnom domenu.

Oblik prozora je kompromis između amplitudne tačnosti i frekventne rezolucije. Hanningov prozor, u poredjenju sa drugim tipovima prozora, obezbjeđuje dobru frekventnu rezoluciju po cijenu nešto manje tačnosti amplitude.



# KORIŠTENJE BRZE FOURIEROVE TRANSFORMACIJE ( FFT ) SA HP 54600 OSCILOSKOPIMA

FLATTOP ( ravni vrh) prozor, ima deblju ( i ravniju ) karakteristiku u frekventnom domenu, kao što je to pokazano na slici 11. ( ovdje ponovo slika je ekspanzirana po frekventnoj osi da jasno pokaže efekat prozora). Ravniji vrh na spektralnoj liniji u frekventnom domenu proizvodi poboljšanu amplitudnu tačnost, ali po cijenu lošije frekventne razlučivosti ( kada se poredi sa Hanningovim prozorom).



# KORIŠTENJE BRZE FOURIEROVE TRANSFORMACIJE ( FFT ) SA HP 54600 OSCILOSKOPIMA

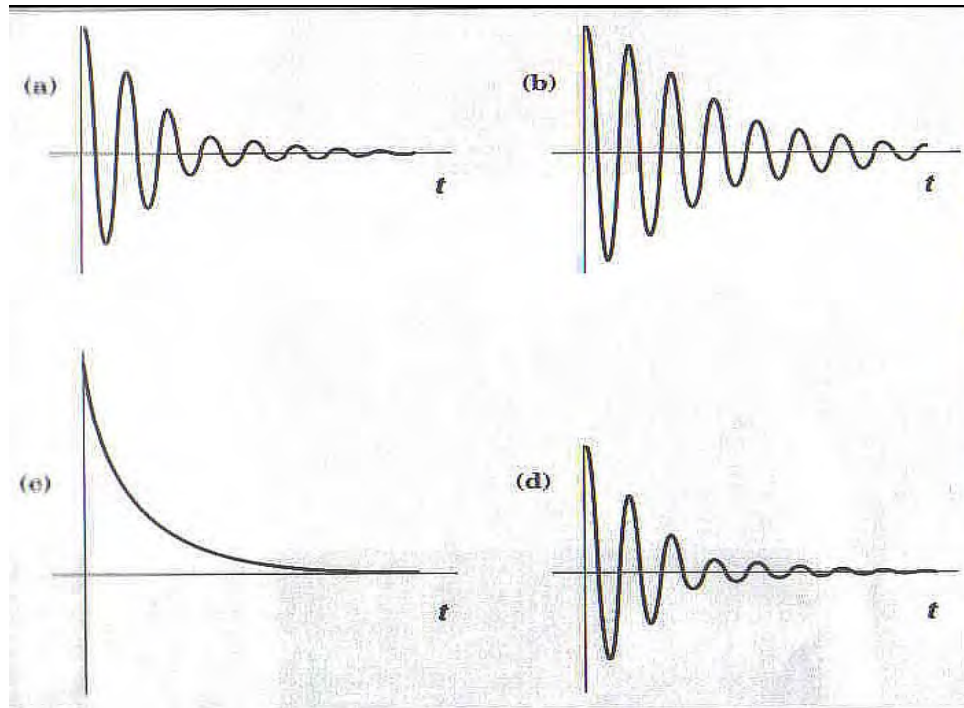
Četvrtasti prozor ( također pogrešno nazivan i uniformni prozor), je teško reći da je uopšte neki prozor, svi samplovi ostaju nepromjenjeni nakon propuštanja. Mada uniformni prozor ima potencijala za ozbiljne probleme curenja, u nekim slučajevima valni oblik ima u vremenskom zapisu istu vrijednost na oba kraja zapisa, i na taj način eliminira tranzijente koje FFT uvodi.

Takvi valni oblici se nazivaju samo upozoravajući ( SELF WINDOWING). Valni oblici kao sinusni prolom ( burst ), impulsi, i opadajuće sinusoide mogu biti samoupozoravajući. ( self-windowing).

Tipični tranzijentni odziv je pokazan na narednoj slici. Kako je prikazano, valni oblik je samo-upozorujući, pošto iščezava unutar dužine vremena zapisa, smanjujući probleme curenja.



# KORIŠTENJE BRZE FOURIEROVE TRANSFORMACIJE (FFT) SA HP 54600 OSCILOSKOPIMA



- a) Tranzijentni odziv koji je samouprozoravajući
- b) tranzijentni odziv koji zahtjeva uprozorenje
- c) Eksponencijalni prozor
- d) Uprozoren tranzijentni odziv

# KORIŠTENJE BRŽE FOURIEROVE TRANSFORMACIJE ( FFT ) SA HP 54600 OSCILOSKOPIMA

Prozor sa opadajućim ekponencijalnim odzivom je koristan u ovakvoj situaciji. Početni dio valnog oblika nije poremećen, ali zadnji dio je prisiljen da ide na nulu. Još uvijek može postojati tranzijent na početku vremenskog zapisa, ali ovaj tranzijent nije uveden od strane FFT. To je ustvari tranzijent koji je rezultat mjerenja. Slika c pokazuje ekspanencijalni prozor a slika d pokazuje rezultirajuću funkciju u vremenskom domenu kada se ekspanencijalni prozor primjeni na sliku b. Ekspanencijalni prozor je neodgovarajući za mjerenje bilo čega drugog osim tranzijentnih valnih oblika.

## **Selekcija prozora.**

Većina mjerenja će zahtijevati korištenje prozora kao što je Hanningov ili prozor sa ravnim vrhom ( flattop). Ovo su adekvatni prozori za tipična mjerenja u svrhu spektralne analize. Izabirući između ova dva prozora je kompromis između rezolucije frekvencije i tačnosti amplitude.

# KORIŠTENJE BRZE FOURIEROVE TRANSFORMACIJE ( FFT ) SA HP 54600 OSCILOSKOPIMA

Koristeći vremenski domen da objasnimo zašto se curenje javlja, treba se sada prebaciti u razmišljanje u frekventnom domenu. Što je uži propusni opseg domenskog filtera prozora frekvencija, to analizator može bolje da razluči između dvije spektralne linije na bliskom odstojanju.

Istovremeno, amplituda spektralne linije biće manje izvjesna. Suprotno, ukoliko je frekventni domen filtera širi i ravniji, mjerenje amplitude će biti tačnije i naravno, frekventna razlučivost će biti smanjena.

Izabirući između takve dvije funkcije prozora je ustvari izbor između oblika filtera u frekventnom domenu.

Pravougli i eksponencijalni prozori trebaju biti posmatrani kao prozori za specijalne situacije.

# **KORIŠTENJE BRZE FOURIEROVE TRANSFORMACIJE ( FFT ) SA HP 54600 OSCILOSKOPIMA**

Pravougaoni prozor se koristi tamo gdje može biti garantirano da neće biti efekata curenja. Eksponencijalni prozor treba koristiti tamo gdje je ulazni signal tranzijentni signal.

## **Rad sa HP54600 serijom osciloskopa ( HP 54645A ) i modulom za mjerenje i pohranjivanje ( HP 54657A )**

Dodajući modul za mjerenje i pohranjivanje ( measurement + storage) na osciloskop HP 54645A dodaje osciloskopu dodatne matematske mogućnosti obrade signala uključujući i FFT. Ova se funkcija pojavljuje se na softkey meniju sa +/- tasterom ( matematski taster).

Postoje dvije matematske funkcije F1 i F2. FFT funkcija je raspoloživa u F2. Funkcija F2 može koristiti funkciju F1 kao operand, dozvoljavajući da FFT bude izvršena na rezultatu F1. Ako postavimo funkciju F1 na Ch1-Ch2, a postavimo F2 na FFT od F1, dobiće se FFT od difrencijalnog mjerenja Ch1-Ch2.

# KORIŠTENJE BRZE FOURIEROVE TRANSFORMACIJE ( FFT ) SA HP 54600 OSCILOSKOPIMA

Osciloskop može pokazati valni oblik u vremenskom domenu i spektar u frekventnom domenu istovremeno ili individualno. Normalno, tačke sampliranja nisu medjusobno spojene. Za najbolji displej u frekventnom domenu, tačke sampliranja trebaju biti spojene sa linijama ( vektorima).

Ovo može biti postignuto sa isključenjem svih kanala u vremenskom domenu, i uključenjem samo FFT funkcije. Alternativno, vektorski ON/OFF soft tasteri ( na display meniju), mogu se uključiti na ON i pritisnuti STOP taster.

Bilo koja od ovih akcija dozvoljava uzorcima u frekventnom domenu da se spoje sa vektorima što uzrokuje da se displej pojavi da više liči na displej analizatora spektra.

Vertikalna osa FFT displeja je logaritamska , prikazana u dBV ( decibeli relativni u odnosu na 1 V RMS).

# KORIŠTENJE BRZE FOURIEROVE TRANSFORMACIJE ( FFT ) SA HP 54600 OSCILOSKOPIMA

$$\text{dBV} = 20 \log (V_{\text{RMS}})$$

Dakle, 1 V RMS sinusoide ( 2.8 Vpp ) , će biti 0 dBV na FFT displeju.

Kada FFT je uključena, kurzori mogu čitati amplitudu u dBV frekvenciju u Hz. ( izvor kurzora mora biti postavljen na F2).

Pritiščući na taster FIND PEAKS , dobijemo lagano automatsko postavljanje kurzora na dvije najveće spektralne linije.

Frekventni opseg FFT je inherentno vezan na dugme time/div. Pod FFT menijem ( selektiran sa +/- tasterom), postoje još dodatni soft tasteri za centralnu frekvenciju i frekventni opseg. Podešenjem dugmeta time/div. modificira se frekventni opseg, ali startna frekvencija ostaje ista. Centralna frekvencija i taster za frekventni opseg se koriste za zumiranje, na specifične frekvencije od interesa.

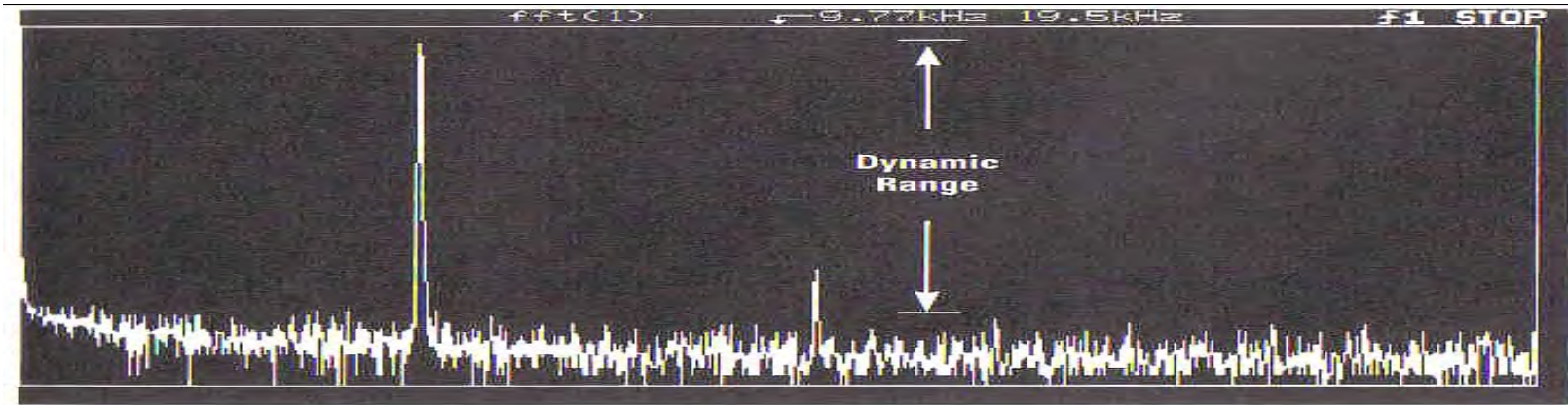
# KORIŠTENJE BRZE FOURIEROVE TRANSFORMACIJE ( FFT ) SA HP 54600 OSCILOSKOPIMA

Ako je valni oblik odsječen ( clipped) na ekranu), FFT se računa na valnom obliku koji je deformiran što će proizvesti distorziju i u frekventnom domenu ( u obliku pogrešnih frekventnih komponenti). Da bi se izbjegla ova vrsta problema volt/div. dugme na osciloskopu mora biti tako postavljeno da je čitav valni oblik postavljen i vidljiv na ekranu.

## **Dinamički opseg**

Dinamički opseg mjerenja u frekventnom domenu je razlika ( u decibelima) između najvećeg signala i najmanjeg signala koji može biti pouzdano izmjeren u isto vrijeme ( vidjeti narednu sliku ). Najveći mjerljivi signal je puna skala ( 8 podjela skale) valnog oblika u vremenskom domenu.

# KORIŠTENJE BRZE FOURIEROVE TRANSFORMACIJE ( FFT ) SA HP 54600 OSCILOSKOPIMA



Prag šuma mjerenja određuje najmanji signal koji može biti pouzdano izmjeren. Svaki signal ispod šuma ne može biti izdvojen. Distorzije i artefakti ( izobličenja) samplovanja mogu takodjer ograničiti dinamički opseg.

Tipični dinamički opseg FFT mjerenja je 50 dB. Korištenje usrednjavanja općenito povećava dinamički opseg mjerenja time što snižava prag šuma i reducira odzive usljed sampliranja.



# KORIŠTENJE BRZE FOURIEROVE TRANSFORMACIJE ( FFT ) SA HP 54600 OSCILOSKOPIMA

## Sampliranje

HP 54600 serija osciloskopa ima maksimalnu brzinu sampliranja od 200 Msa/sec. Jedno okidni opseg ( singleshot bandwidth) u vremenskom domenu je specificiran na 1/10 brzine sampliranja, obezbjedjujući time najmanje 10 sampl tačaka po periodu kod najviše frekvencije. Pouzdani jednookidni mod rada sa aktivnom FFT funkcijom, će se javiti kod tim/div podešenim na 20  $\mu$ sec/div ili sporije. ( na bržim podešenjima od ovoga tj. manjim time/div podešenjima puni zapis u vremenu, dovoljan broj tačaka ne bi mogao biti ostvaren po jednom trigerskom događaju , što ima za rezultat loše FFT mjerenje i računanje).

FFT rad na 20  $\mu$ sec/div rezultiraće u maksimalnom displeju frekvencije od 5 MHz, što definira korisnu jednookidnu mogućnost FFT.

# KORIŠTENJE BRZE FOURIEROVE TRANSFORMACIJE ( FFT ) SA HP 54600 OSCILOSKOPIMA

Repetitivna (ponavljajuća) tehnika sampliranja dozvoljava osciloskopu da digitizira valne oblike sa mnogo većom frekvencijom od 5 MHz, ukoliko su valni oblici ponavljajući. FFT funkcija tačno računa frekventni sadržaj ponavljajućih valnih oblika sve do propusnog opsega osciloskopa.

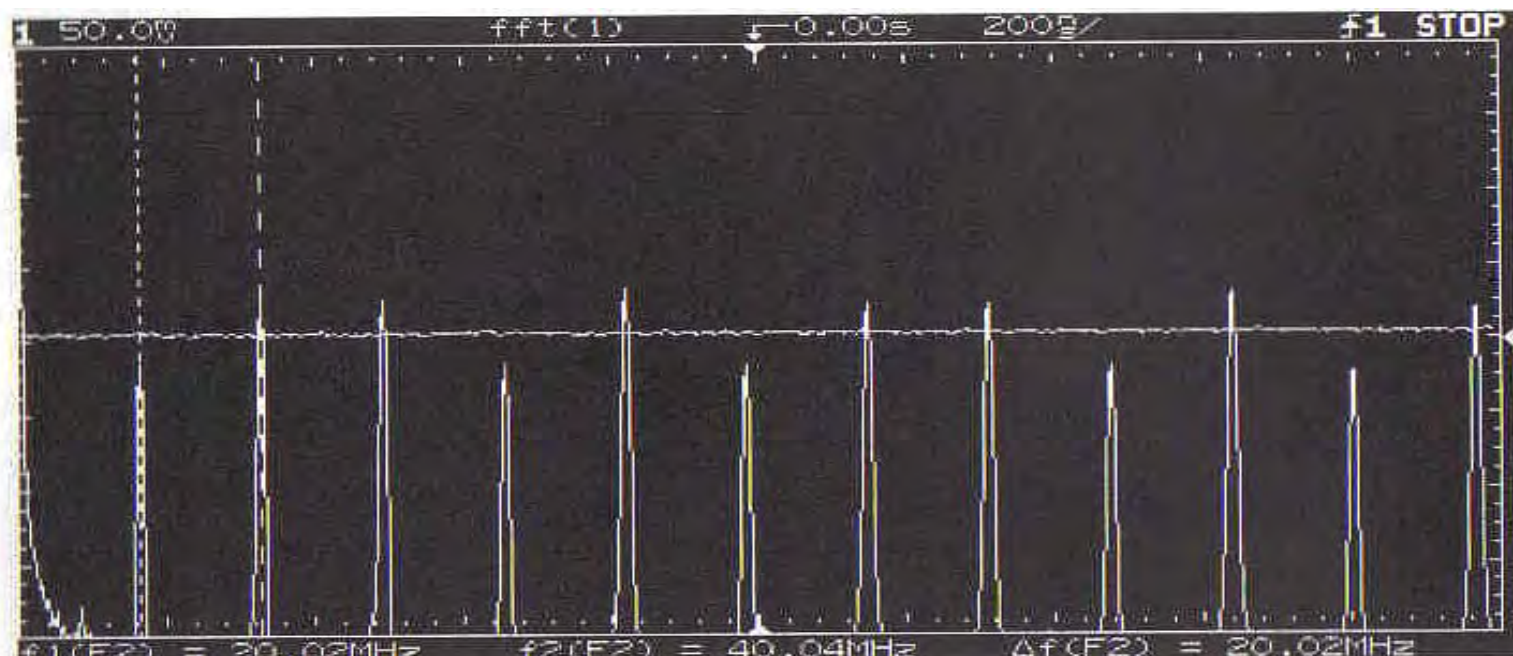
Na podešenjima time/div bržim od 20  $\mu\text{sec/div}$ , artefakti procesa sampliranja koji nisu vidljivi u vremenskom domenu, mogu se pokazati u frekventnom domenu. Ovi artefakti se mogu pojaviti kao spektralne linije na cjelobrojnim harmonicima brzine sampliranja ili kao intermodulacija između sata sampliranja i ulazne frekvencije definirano kao:

$$| f = n f_s \pm f_{in} |$$

# KORIŠTENJE BRZE FOURIEROVE TRANSFORMACIJE ( FFT ) SA HP 54600 OSCILOSKOPIMA

Nadalje, harmonici od 20 MHz sata sampliranja se mogu pojaviti blizu kraja skale za vrijeme kada su valni oblici u vremenskom domenu samo parcijalno prikupljeni- uzorkovani ( vidjeti na narednoj slici ). Ovo je zbog toga što valni oblik ima nedostajuće tačke sampliranja koje se pojavljuju na intervalima koji su u relaciji sa brzinom sampliranja. Nakon što je valni oblik u potpunosti prikupljen, iskrzani ( spurious) odzivi zbog sata saplovanja će biti mnogo manji i obično će iščeznuti. Intermodulacija izmedju sata samplovanja i ulazne frekvencije će tipično biti veća od 50 dB ispod pune skale. Korištenje usrednjavanja smanjuje nivo ovih odziva.

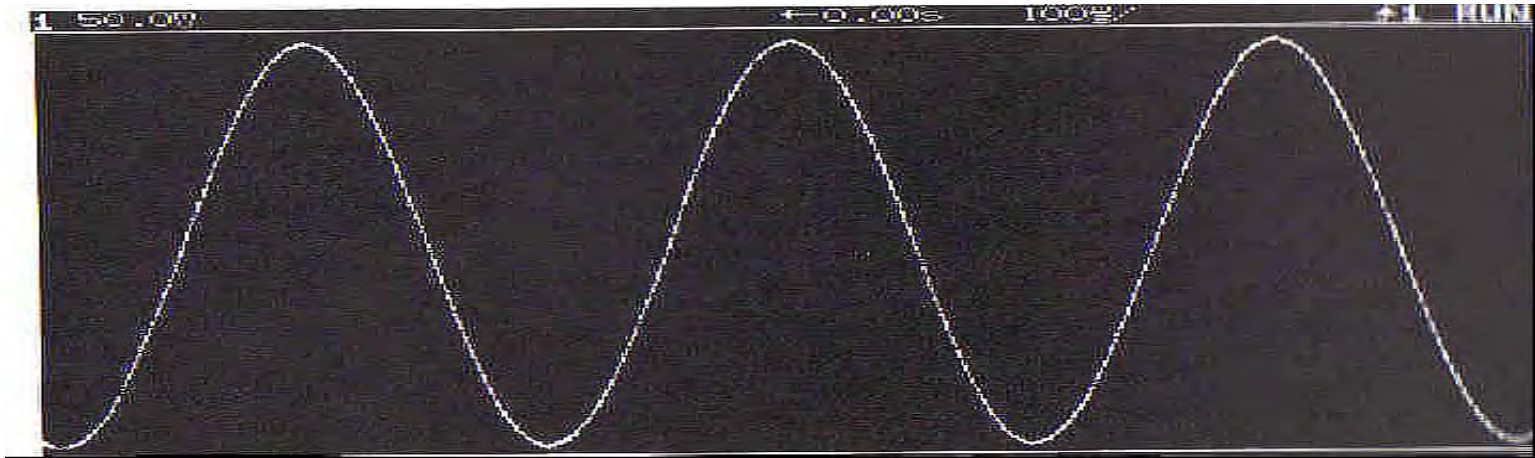
# KORIŠTENJE BRZE FOURIEROVE TRANSFORMACIJE (FFT) SA HP 54600 OSCILOSKOPIMA



## Harmonijska distorzija u sinusnom signalu

Sinusni valni oblici koji nisu idealno oblikovani u vremenskom domenu generiraju harmonike u frekventnom domenu. Ova harmonijska distorzija se pojavljuje na cjelobrojnim multiplima osnovne frekvencije sinusoidalnog signala. Posmatranje ove distorzije u vremenskom domenu je obično vrlo teško, ukoliko se ne radi o zaista velikoj distorziji. Međutim, u frekventnom domenu, ovi harmonici su vrlo vidljivi.

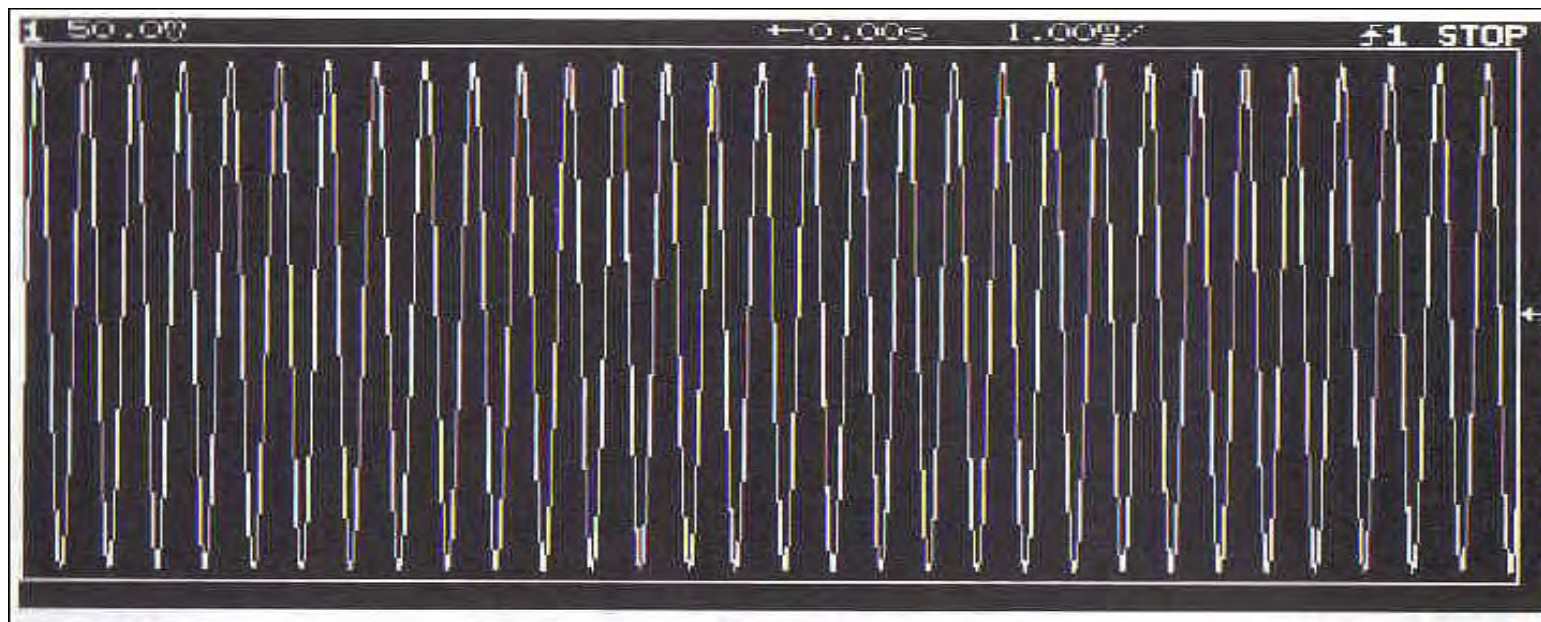
# KORIŠTENJE BRZE FOURIEROVE TRANSFORMACIJE (FFT) SA HP 54600 OSCILOSKOPIMA



Slika pokazuje sinusni valni oblik koji ima harmonijsku distorziju koja nije vidljiva u vremenskom domenu. Međutim, FFT funkcija može vrlo lako odrediti količinu harmonijske distorzije. Slika pokazuje dobru time/div selekciju za posmatranje signala u vremenskom domenu. Ako se primjeni FFT koristeći ovo time/div podešenje, spektralna linija bi se pojavila na krajnjem lijevom dijelu displeja frekventnog domena. Na narednoj slici je pokazana sporija time/div skala, koja će sniziti efektivnu FFT brzinu samplovanja, rezultirajući u boljoj frekventnoj rezoluciji i boljoj separaciji osnovnog i viših harmonika valnog oblika sinusoide.



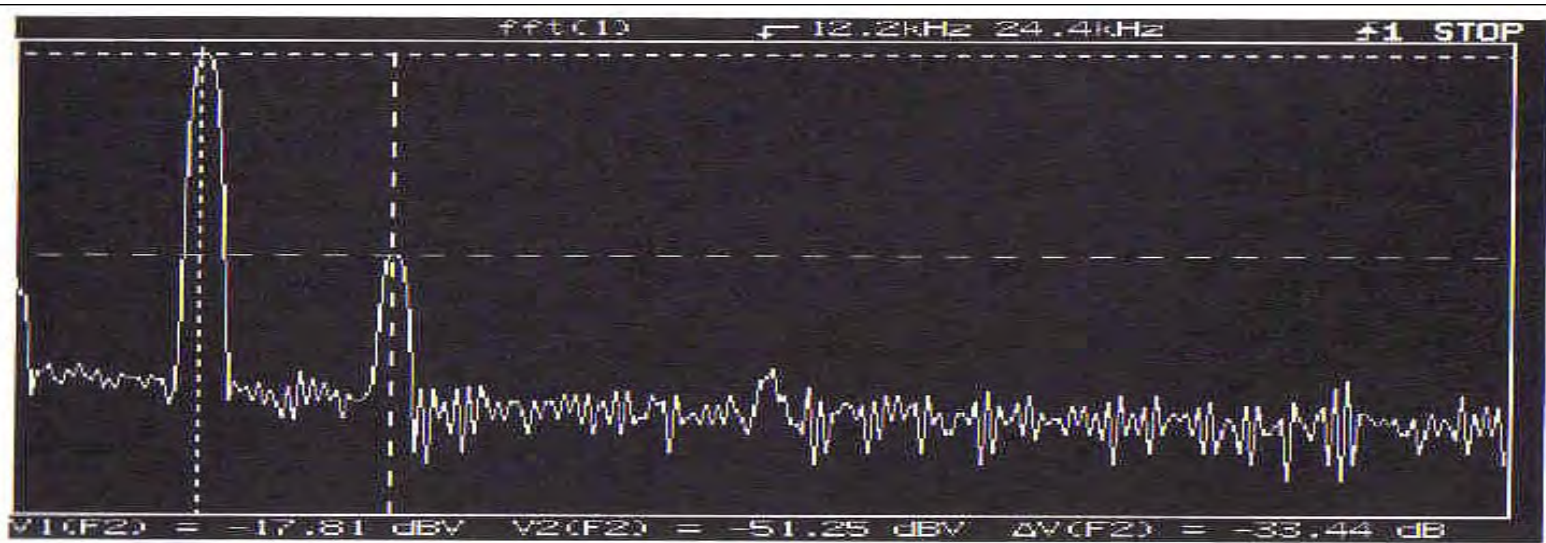
# KORIŠTENJE BRZE FOURIEROVE TRANSFORMACIJE ( FFT ) SA HP 54600 OSCILOSKOPIMA



Smanjujući time/div setting na vremenskom dugmetu osciloskopa, komprimiramo vremenski domen sinusoide i poboljšavamo frekventnu razlučivost

Nadalje , možemo koristiti dugmad na HP 54600 osciloskopu da centriramo frekvenciju i izaberemo frekventni opseg da bi zumirali u željeni dio spektra kao što je pokazano na narednoj slici.

# KORIŠTENJE BRZE FOURIEROVE TRANSFORMACIJE ( FFT ) SA HP 54600 OSCIOSKOPIMA



Primjetimo da je flattop prozor korišten u ovom mjerenju, rezultirajući u širim spektralnim linijama, ali korektnijim mjerenjima amplitude.

Softverski taster "nadi vrhove" ( Find Peaks) je korišten da postavi kurzore na dvije najveće spektralne linije, dajući absolutna mjerenja osnovne i drugog harmonika. Kurzor takodjer očitava i u relativnim jedinicama, indicirajući da je drugi harmonik 33 dB ispod osnovnog.