

Mérési jegyzőkönyv 9. mérés

Elosztott rendszerek és szenzorhálózatok 1.

című laboratóriumi gyakorlatról

A mérés helyszíne: Méréstechnika és Információs Rendszerek Tanszék.
IE. 225. BOSCH beágyazott rendszerek laboratórium

A mérés időpontja: 2009. április 14.

A mérést végezték: Madaras Gábor
Turóczy Zoltán

A mérést vezető oktató neve: Molnár Károly

A jegyzőkönyvet tartalmazó fájl neve: BAMBI_Jegyzőkönyv_Madaras_Turoczi_9_es_meres.pdf

Felhasznált eszközök:

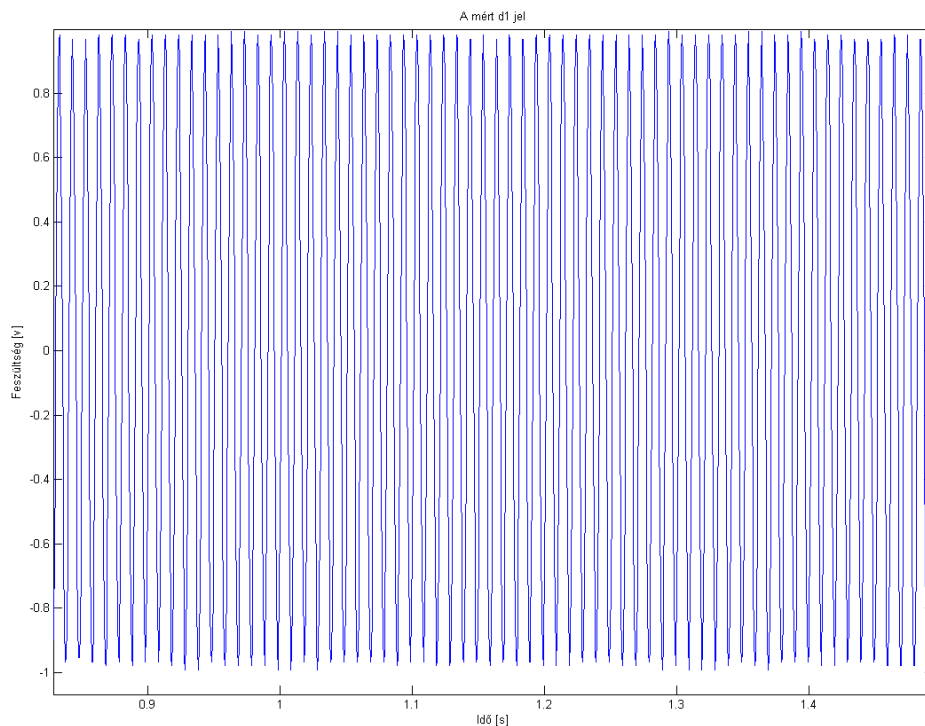
ZigBee kompatibilis rádiós kártya
mitmótokból felépülő vezeték nélküli szenzorhálózat, melynek mótjai (szensorok és bázisállomás) analóg digitális átalakítóval ellátott μ C-eket tartalmaznak
PC-s adatgyűjtőprogram: SerPr
Matlab programrendszer

Mérési feladatok

1. Jelanalízis

1.1. A mérés során használt eszközöket üzembe helyeztük, bekapcsoltuk a szenzor bázisállomást, a soros porton keresztül a bázisállomás a PC-hez volt csatlakozva. A PC-s adatgyűjtőprogram működését ellenőriztük, időnként a bázisállomás alapállapotba állítására volt szükség a reset gomb benyomásával alapállapotba, mivel a d1, Tloc, d2 csatornákról érkező adatok nem ebben a sorrendben kerültek rögzítésre és továbbításra. A szenzormóton a K4 kapcsolót OFF állásba kapcsoltuk, hogy a szenzorkártya Line-In bemenetét mintavételezze. A bázisállomás K1, K2 kapcsolóit On állásba kapcsoltuk, a szenzorral szinkronizált mintavételezés és a jelfeldolgozási frekvenciája pedig a szenzor 1800Hz-es mintavételi frekvenciájával egyezzen meg.

1.2. 1V-os peak-to-peak amplitúdójú, 99.9 Hz-es jelet állítottunk be a jelgenerátoron, a mérés elvégzését követően beolvastuk a SerPr program által létrehozott adatfájlt. A vízszintes tengelyen lévő idő átskálázásakor a mintavételi frekvenciának megfelelően 1800-al osztottuk, az amplitúdók ábrázolásakor pedig a 8 bites (full scale 256 szint) 3.3V referenciafeszültségű jelnek megfelelően a jelből kivontuk a full scale felét, majd 2^8 -al osztottuk, és megszoroztuk a referencia feszültséggel.



1. ábra - Átskálázott felvétel

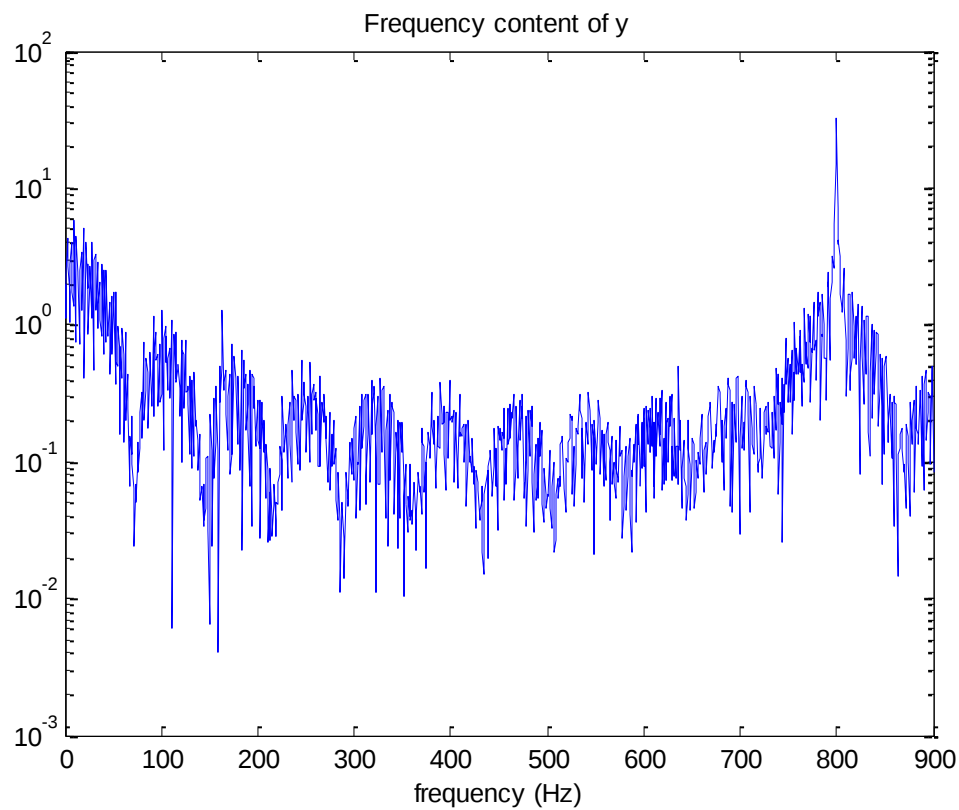
1.3. A spektrum ábrázolásánál a kívánt 0.1Hz-es felbontási finomság elérése érdekében a mintavételi frekvencia tízszeresének megfelelő 18000 pontos (állandó mintaszám) diszkrét Fourier transzformációt hajtottunk végre, emellett a spektrum szimmetriáját figyelembe véve csak a tartomány felét ábrázoljuk logaritmikusan skálázva az y tengelyen lévő amplitúdókat.

“Ha a mintavételező rendszer bemenő szűrője zárósávjában nem megfelelő, akkor egyes jelkomponensek a mintavételi frekvencia egészszerezésével eltolódva a visszaállító szűrő áteresztősávjába lapolódhatnak. A jelenség oka ugyanaz, mint a szivárgásé, de nem a visszaállító, hanem a bemenő szűrő zárósávja felelős érte.”

“A mintasorozat spektrumának átlapolásmentességét biztosítandó a mintavételezésnek kitett jelet eleve szűrik. Ha ennek az ún. aliasing (bemenő) szűrőnek nem elég nagy a zárósávi csillapítása, akkor a visszaállítás során – a szorosan vett átviteli sávon kívül esetleges jelösszetevők következtében – ún. alias (ál) jelek keletkeznek.” //forrás: tmit.bme.hu

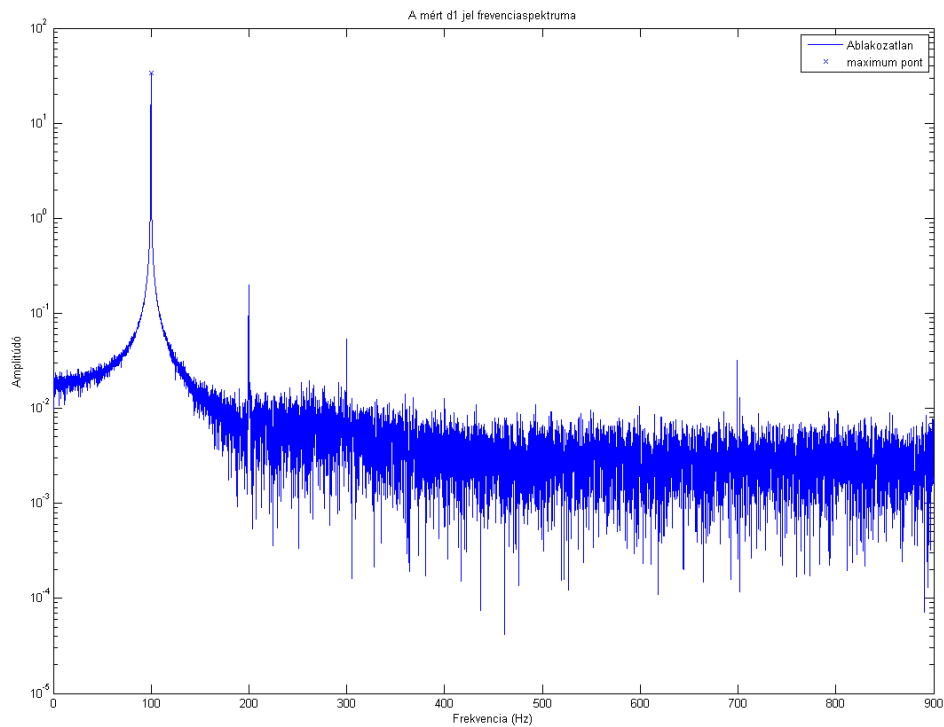
A visszaállító szűrő zárósávi viselkedése lehet felelős a rekonstruált jelemben megjelenő, az eredeti jel sávján kívüli, szivárgó jelösszetevők megjelenéséért.”

Alulmintavételezett jel frekvenciája 1000Hz, a mért jel spektrumában viszont 800Hz környékén jelentkezik csúcs



2. ábra - Alulmintavételezett 1000Hz-es jel spektruma

Alacsonyabb frekvencájú 100 Hz-es, 2 Vpp amplitúdójú jelet beállítva a mintavételi tételt betartva kb. 100Hz-es jelről is készítettünk felvételeket:

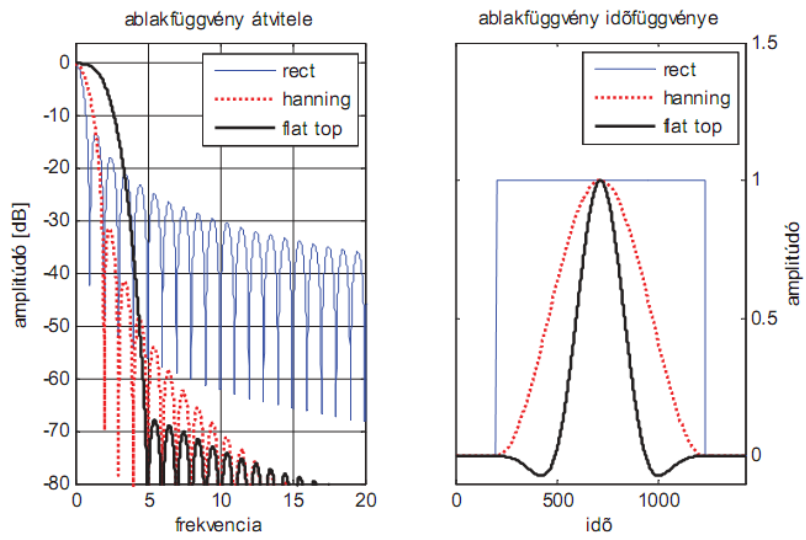


3. ábra - A 100Hz-es jel spektruma

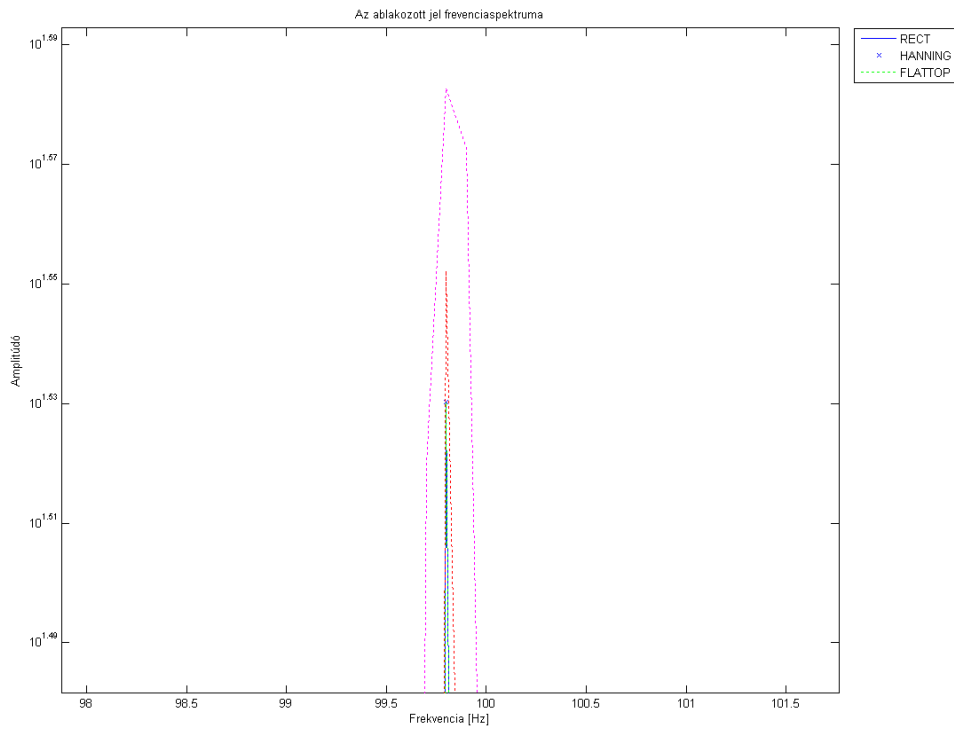
A jel frekvenciája a spektrum alapján 99.9 Hz, vagyis kis hibával, és helyesen mérhető. A jel amplitúdója az ablakozatlan spektrum alapján 1.943 Vpp, ez ablakozással később nagyobb pontossággal vált detektálhatóvá.

1.4.

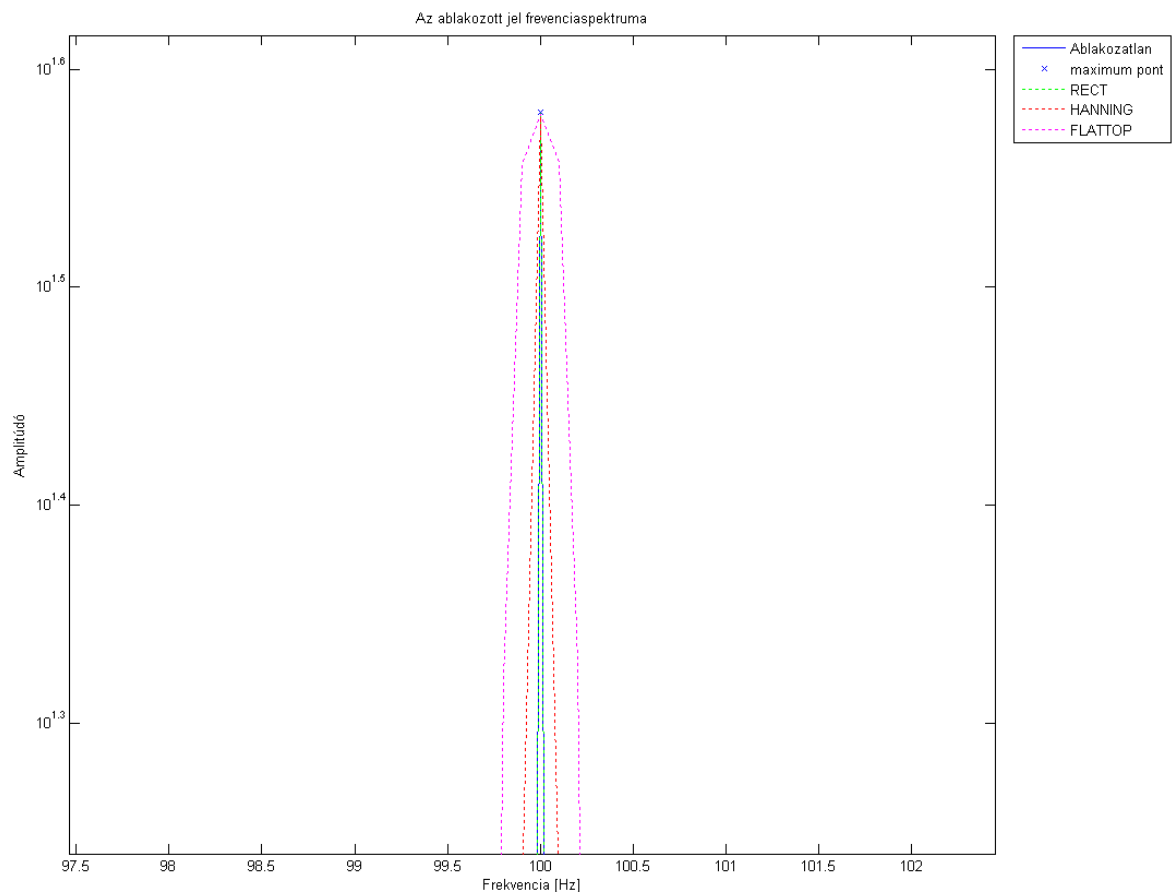
Koherens mintavételnek nevezzük, mikor a jelből egészszámú periódust dolgozunk fel, tehát a regisztrátum T hossza egészszámú többszöröse (m -szerese) a jel T periódusidejének. Ahhoz, hogy koherens és nem koherens mintavételezés között váltsunk, a jel frekvenciáját változtatunk kell, a mintavételezés állandó frekvenciájú. A nem koherens mintavétel (a mintavételi idő nem a jel periódusidejének egész számú többszöröse) esetén a DFT által kiszámított pontok nem egyeznek meg az eredeti jel spektrumában lévő csúcs nagyságával. Ezt a tetőesés jelenségét illusztrálja a következő ábrákon. Ennek a minimalizálására különböző ablakozást végzünk. Az ablakozást a mérési útmutatóban leírtaknak megfelelően a kijelölt Matlab parancsokkal hajtottuk végre: `rectwin(N)`, `hanning(N)` és `flattopwin(N)`, azonos ábrára rajzoltuk ki a spektrumokat az előző pontban ismertetett módon. Az ablakozatlan jel spektruma egybeesik a `rect` módszerrel ablakozottal. Az ábrán jól látni, hogy a `flattop`-nál kapjuk a legmagasabb amplitúdót, vagyis itt a legkisebb a tetőesés mértéke. Hanning ablakozásnál a tetőesés mértéke valamivel nagyobb.



10. ábra. *Rect*, *Hanning* és *flat-top* ablak spektruma és időfüggvénye

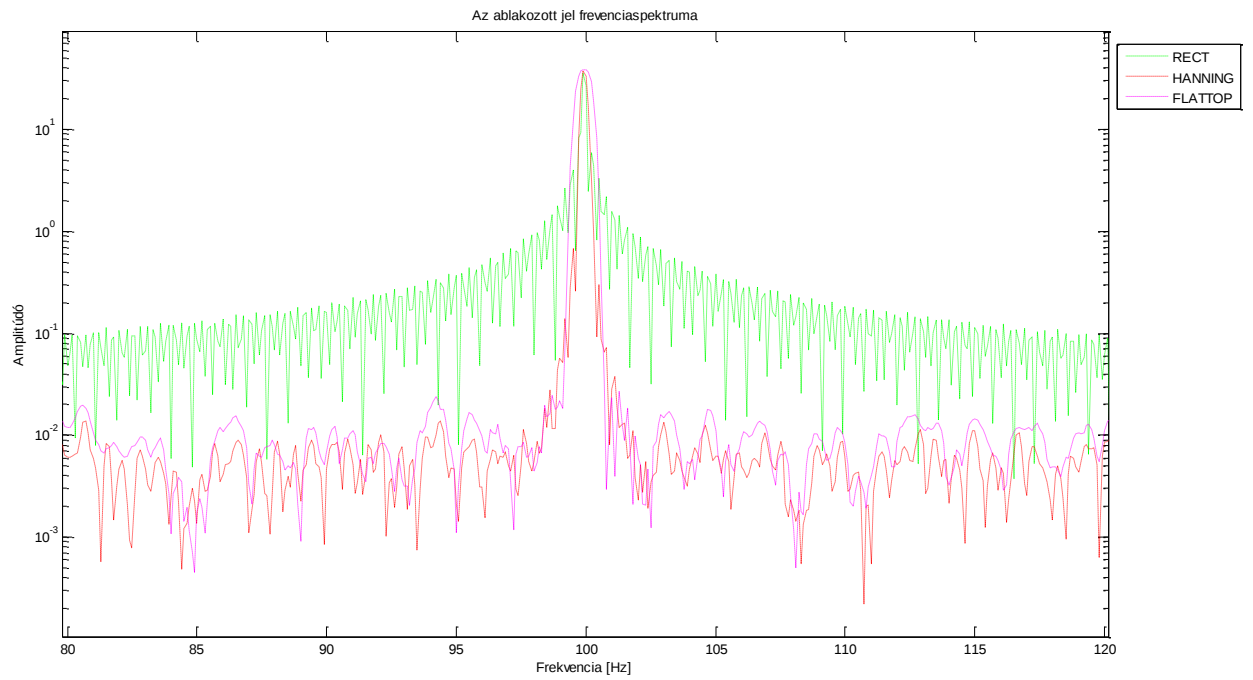


4. ábra - Nem koherens mintavételezés valamivel kevesebb mint 100 Hz-en és az ablakozások hatása a spektrumra

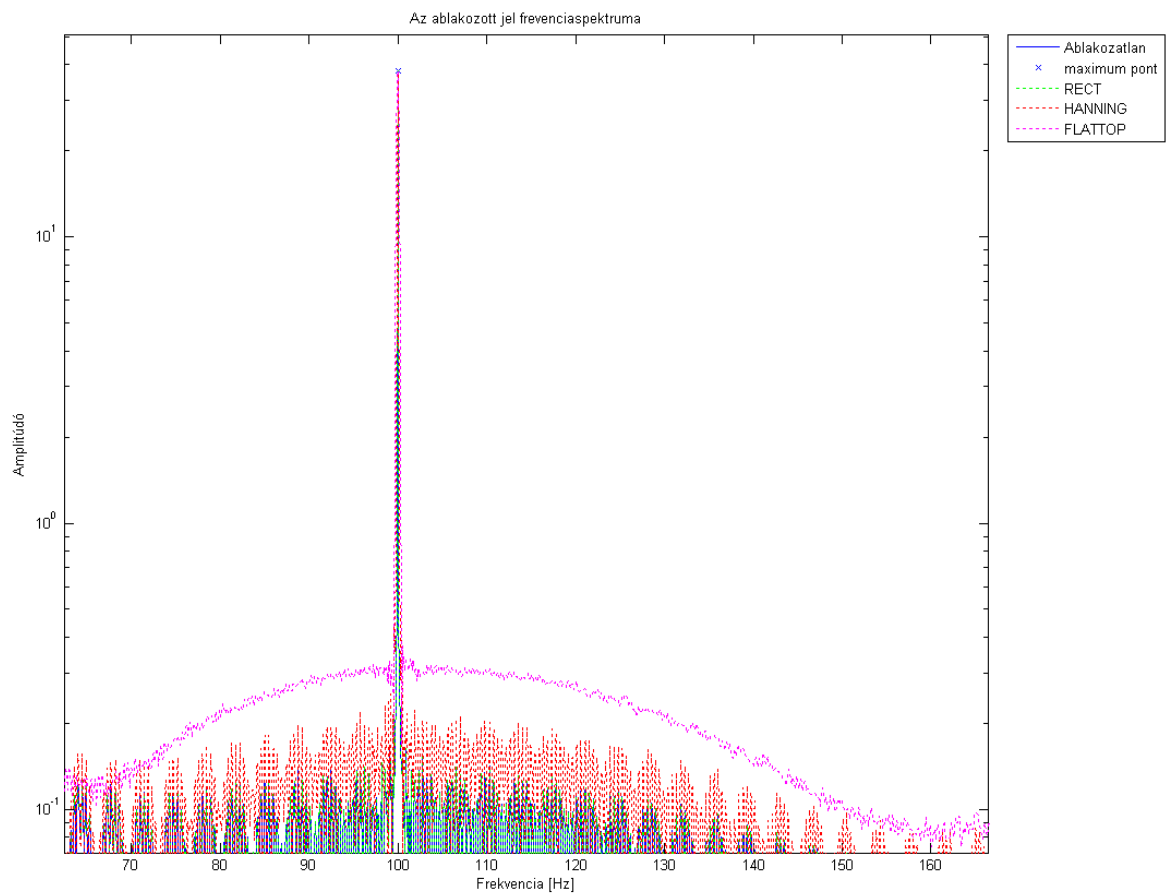


5. ábra - Koherens mintavételezésnél a 100 Hz-es jelnek pont a csúcsára is esik minta, a tetőzés nincs

Nem koherens mintavételezés esetén az ablakfüggvénynek nem a zéruspontjai esnek azokra a helyekre, ahol a DFT a spektrumot számítja, így olyan frekvenciákon is megjelennek komponensek, ahol nem található jel. A visszaállító rendszer szűrője távolítja el a mintasorozat spektrumából mindazokat a spektrális komponenseket, amelyek a bemenő jel spektrális komponenseitől a mintavételi frekvencia egész sokszorosaival térnek el. Ha a visszaállító szűrő zárósávja nem elég nagy csillapítású, e komponensek megjelennek a szűrő kimenetén, ezt szivárgásnak nevezzük. A spektrálisszivárgást (leakage), azaz az ablakfüggvény nem nulla pontjainak beszivárogása a számított pontokra az alábbi ábrák személtetik:



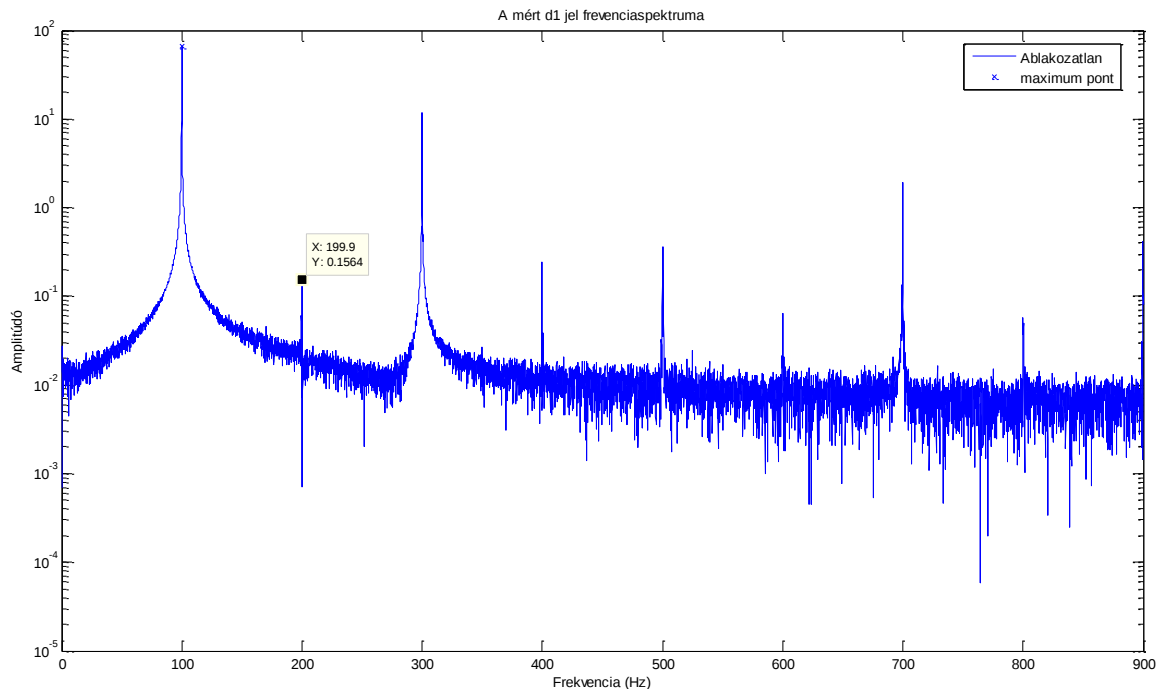
6. ábra - Nem koherens mintavételezés és a leakage jelenség különböző ablakozások esetén



7. ábra - Koherens mintavételezés, az ablakozás a beszivárgást itt is láthatóan csökkén

1.5. Ha telítésbe visszük a mérőeszközt, tehát a jelamplitúdóját a kivezérlési tartomány felé visszük, ennek megfelelően a hasznos alapharmónikus értéke a telítési érték lesz, míg a zajal terhelt felharmónikusok teljesítménye tovább nő. Ezen aránytalan mérés eredménye pedig nagyobb torzítás lesz.

A jel-zaj viszonyt az alapharmónikus zajból való delta kiemelkedésének megméréseivel számítottuk.

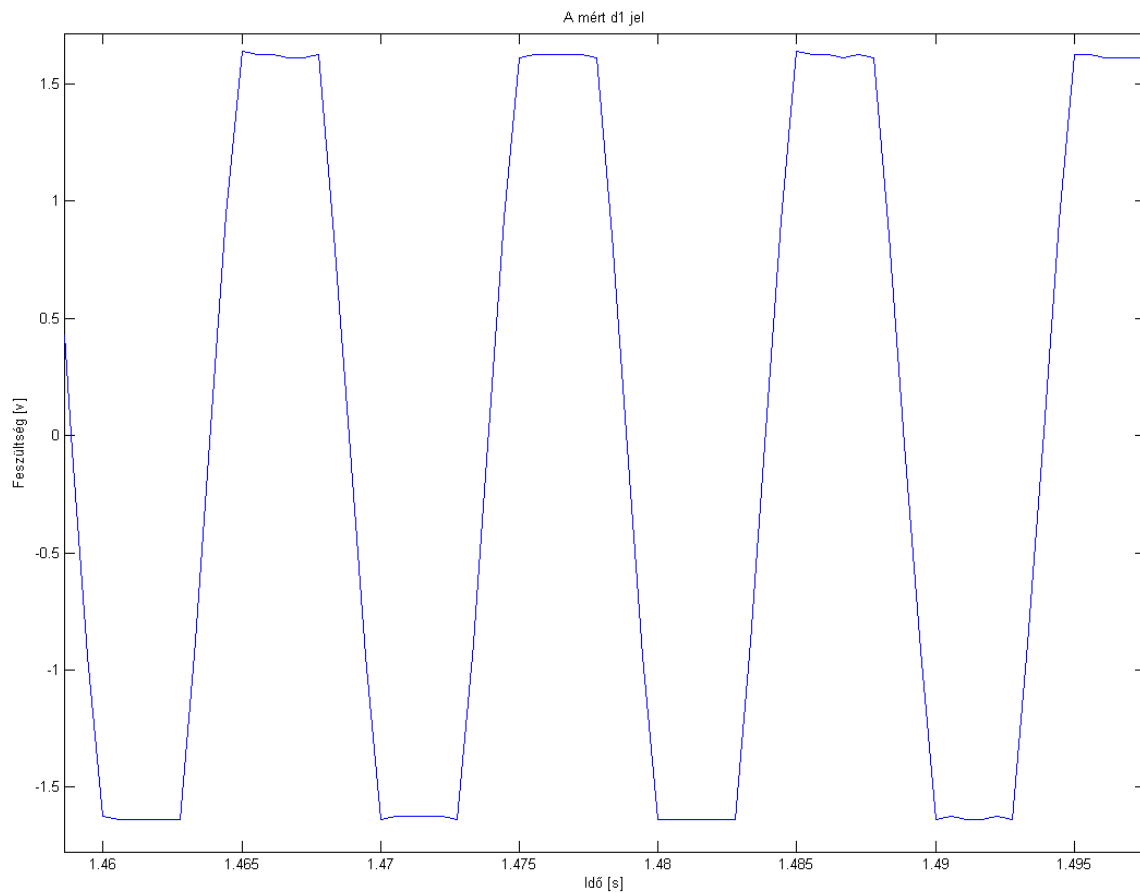


8. ábra - Túlvezérelt jel spektruma

A 100 Hz-es, 3,6 Vpp amplitúdójú jel spektrumáról leolvasott amplitúdóértékek Jól láthatóan a páratlan felharmónikusok jelennek meg erőteljesen.

100Hz	y=67.22
200Hz	y=0.1546
300Hz	y=11.79
400Hz	y=0.2451
500Hz	y=0.3647
600Hz	y=0.06417
700Hz	y=1.921
800Hz	y=0.05797
900Hz (ezt felezzük)	y=0.4171, ennek a felével 0.2087-tel számolunk

$$\begin{aligned}
 \text{SNR} &= 10 \cdot \log_{10}(P_{\text{jel}}/P_{\text{zaj}}) [\text{dB}] = \\
 &= 10 \cdot \log_{10}(67.22 / (0.1546 + 11.79 + 0.2451 + 0.3647 + 0.06417 + 1.921 + 0.05797 + 0.2087)) = \\
 &= 10 \cdot \log_{10}(67.22 / 14.8062) = \underline{\underline{6.57 \text{ dB}}}
 \end{aligned}$$



9. ábra -A torzítás hatása

Az útmutatóban (20)-assal jelölt egyenletet használva, vagyis Total Harmonic distortion + Noise típusú torzítást számolunk, ahol a zajjal terhelt jel komponenseit osztjuk le a jel (alapharmónikus) amplitúdójával, és egy viszonyszámot kapunk eredményül.

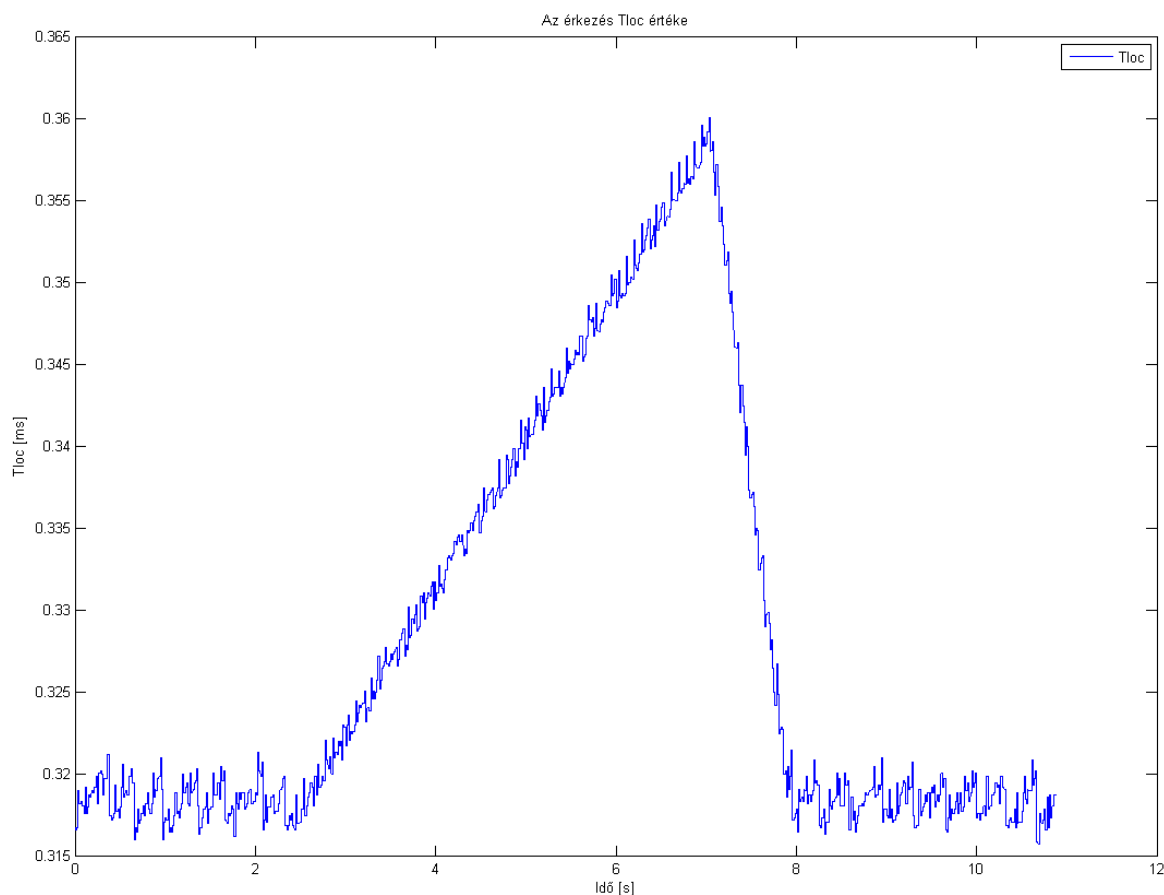
Torzítási tényezőnek 3.5171 értéket kaptunk.

2. Szinkronizációval kapcsolatos jelenségek vizsgálata

2.1. A mérési adatokat megjelenítő PC-s programot elindítottuk. A K1 kapcsolóval a szinkronizációt tudjuk ki- illetve bekapcsolni. Szinkronizáció hiányában, az érkezési idő Tloc, mely a bázisállomás utolsó megszakítási időpontjától számítva értendő.

Körülbelül 2,5 másodpercnél kapcsoltuk ki a szinkronizációt, majd a 7. másodpercnél vissza. Bekapcsolt szinkronizáció mellett a Tloc értéke megközelítőleg nem több mint 20 milisekundos ingadozást mutat. Mivel a szenzormót adatküldési frekvenciája a bázismót felé (T_s) kisebb, mint a bázismót megszakítási frekvenciája (T_b), amikor az adatokat a PC felé küldi, ezért látni, hogy a Tloc idő csökken, amíg a bázismót állít a T_b frekvencián és ekkor ismét megnő a Tloc értéke. Így tartja közel azonos értéken.

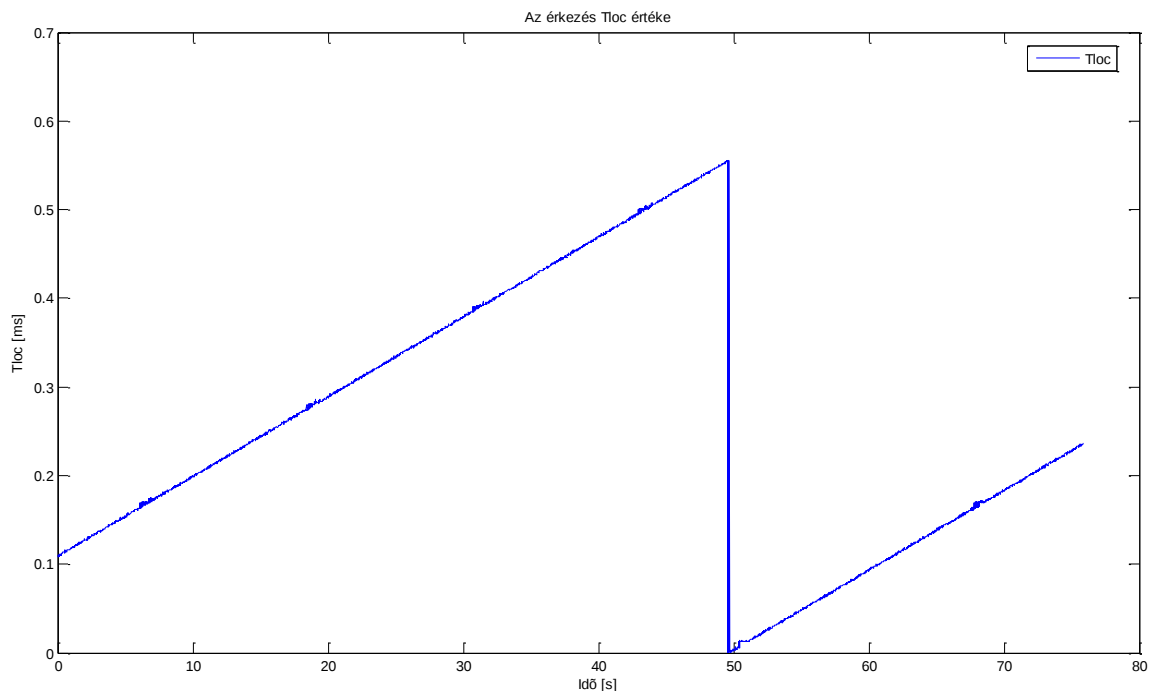
K1 = OFF kikapcsolt szinkronizáció mellett a felvétel ideje alatt folyamatosan nő.



10. ábra - Tloc változása a szinkronizálás ki- és bekapcsolásainak hatására

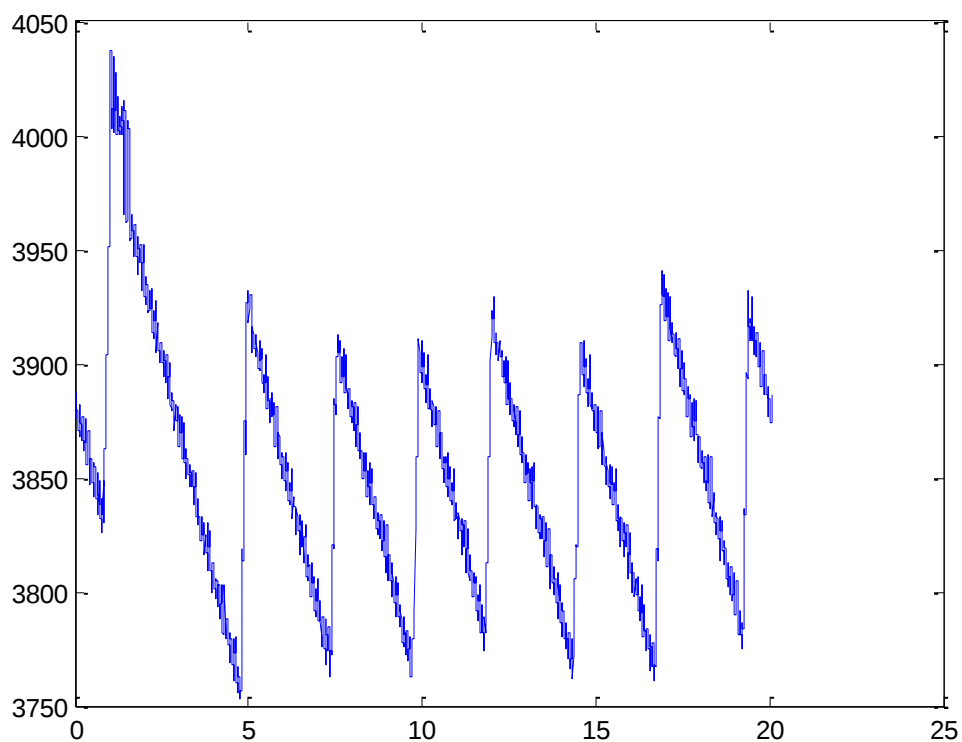
2.2. A fenti ábrán látható módon az y tengelyen a Tloc értékeit ms-ra skálázva ábrázoltuk figyelembe véve, hogy a Tloc a mót órajelének periódusidejében van meg adva, az órajel frekvencia pedig 8MHz, a mintavételi frekvencia 1800Hz.

2.3. Megfelelő hosszúságú mérést végezve az előbbieket szerint Tloc idő folyamatosan nő addig, amíg egy T_b alatt két adat nem érkezik, és ekkor ismét visszaesik (átcsordul) a Tloc értéke. A fűrészel csúcsértéke 4443 vagyis 0.5554ms, ami a maximális $1/1800$ s-nak felel meg. A mintavételi frekvencia elérésénél csordul át. Ha lassabb a mót bázisállomás, annak frekvenciája 1800Hz. A két átfordulás között eltelt időből számítható a sebességkülömbőség. $\Delta f = 1/T_x$, ahol T_x a mérés alapján 71.2 másodperc



11. ábra - Az átfordulás szemléltetése hosszabb felvételen

2.4. A „kézzel”végzett szinkronizáció során az SW1 nyomógombot használva kismértékben sikerült ellenhangolni a a bázisállomás jelfeldolgozási frekvenciáját K3 kapcsoló által jelölt irányba. A mót bázisállomás gyorsabb (1820Hz), Tloc folyamatosan csökken szinkronizáció és ellenhangolás nélkül. A Tloc értékét megpróbáltuk egy intervallumon belül tartani, vagyis 3800-as szint elérésekor nyomtuk meg a kézi állítású szinkronizáció gombot. A kézi szinkronizáció 200-as intervallumon belül változott. A mót saját szinkronizációja 20 ms-os intervallumon belül tartja a Tloc-ot.

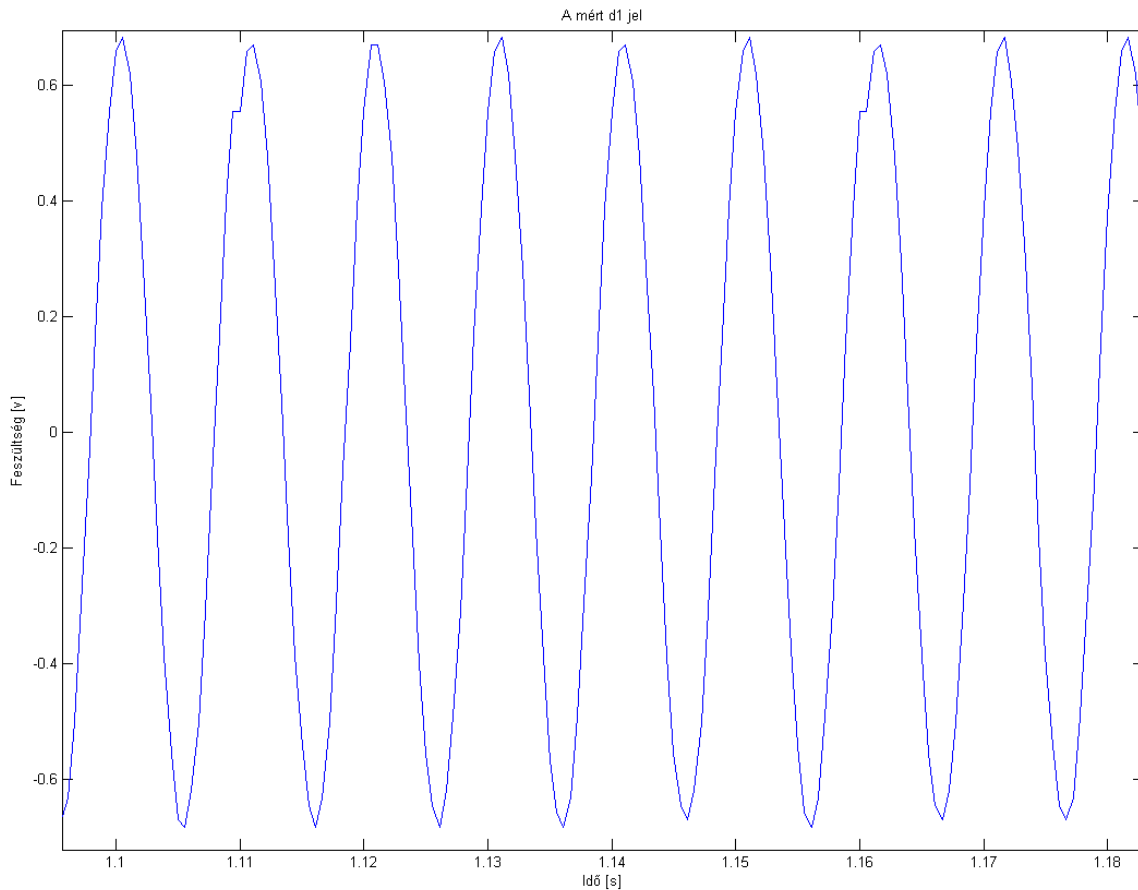


12. ábra - A "kézi" ellenhangolós szinkronizálás

3. Szinkronizáció lineáris interpolációval

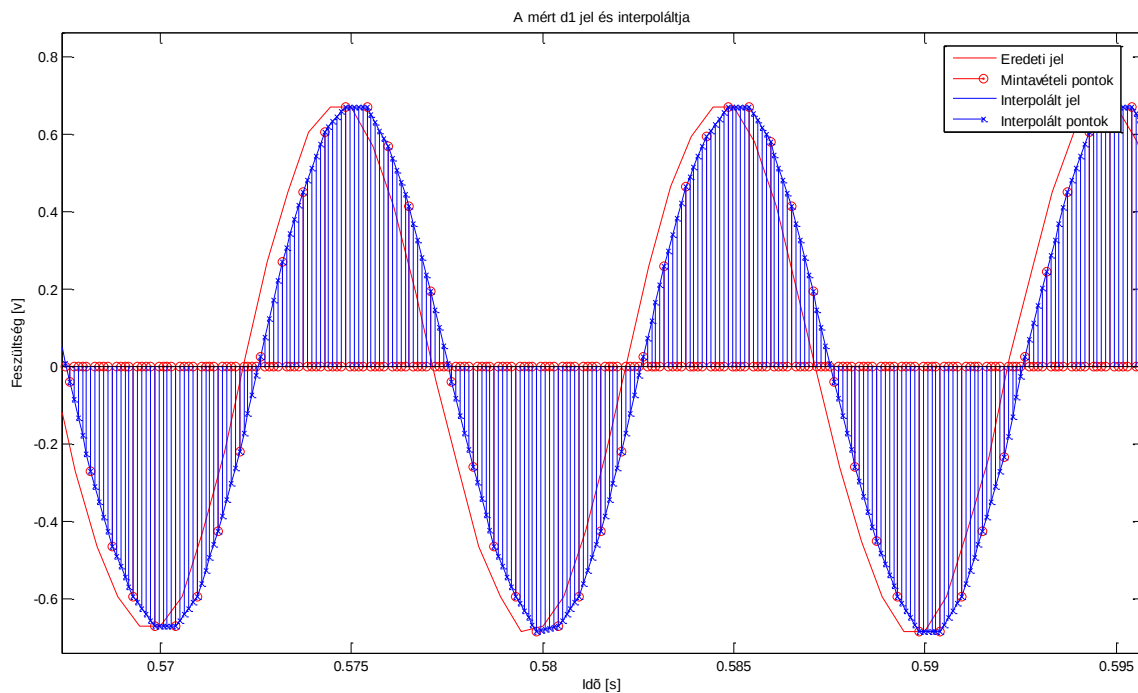
3.1. A bázisállomás jelfeldolgozási frekvenciáját: K2=OFF és K1=OFF állapotba kapcsolásával állítottuk be úgy, hogy ne legyen szinkronizáció, és a bázisállomás jelfeldolgozási frekvenciája 1820 Hz, Td értékét továbbítja a bázisállomás.

3.2. A jelgenerátor frekvenciáját 100Hz-re állítottuk. Mintaismétlést tapasztalunk, mivel túl gyorsan kéri le a mintákat a bázisállomás, egyes mintákat kétszerkap meg. Ennek következtében láthatóak az alábbi felvételen rövidebb konstans szakaszok a periodikusan változó jelben.

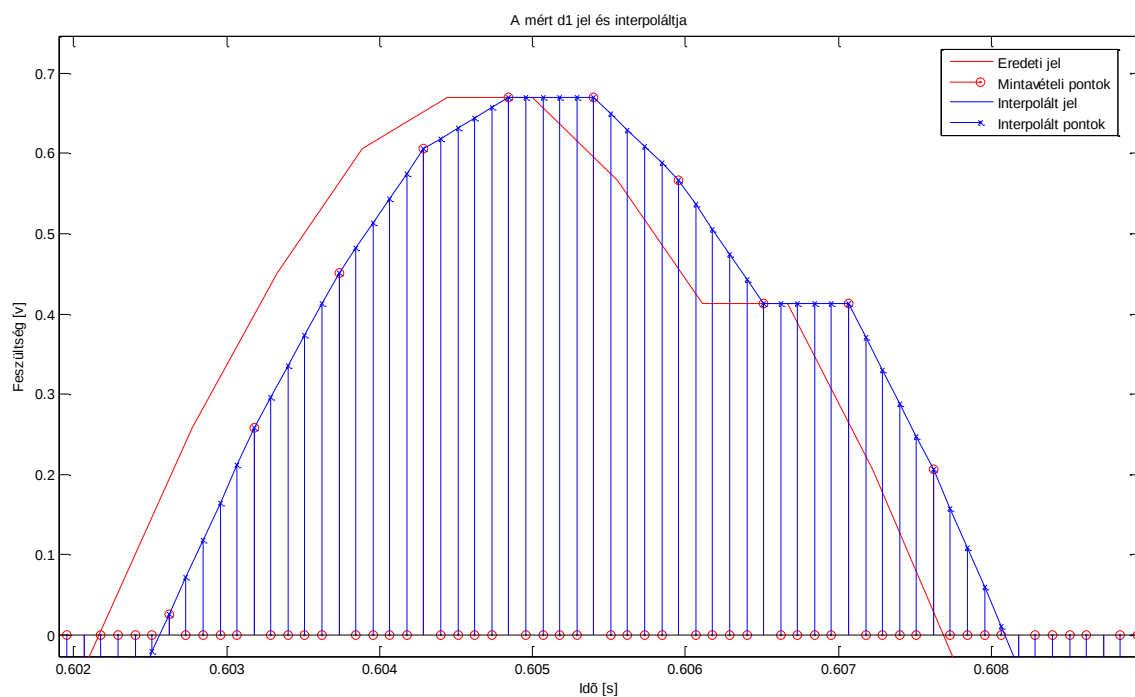


13. ábra - Alacsony frekvenciás jel szinkronizálatlanságból adódó mintaismétlése

3.3. Az adatfájlban rendelkezésre álló a (3) képletben található paramétereknek megfelelően elvégeztük a jel interpolációját, az ezt megvalósító programkód az N_times_interp.m fájlban található. Közös ábrán jelenítjük meg az eredeti és az interpolált jelet. N-szeres interpoláció esetén minden két szomszédos mért pont közé $n-1$ nullát szúrtunk be, ezeket az ábrán a piros körök jelzik. Az interpolált jelet csak $1/n$ -es késleltetéssel tudjuk számítani, mivel ismernünk kell a jel $i+1$ -dik értékét az i -edik pont meghatározásához. Így a késleltetés T_s/n értékkel nő, ez az elcsúszás fázismodulációnak felel meg.



14. ábra - Ötszörös lineáris interpolálás

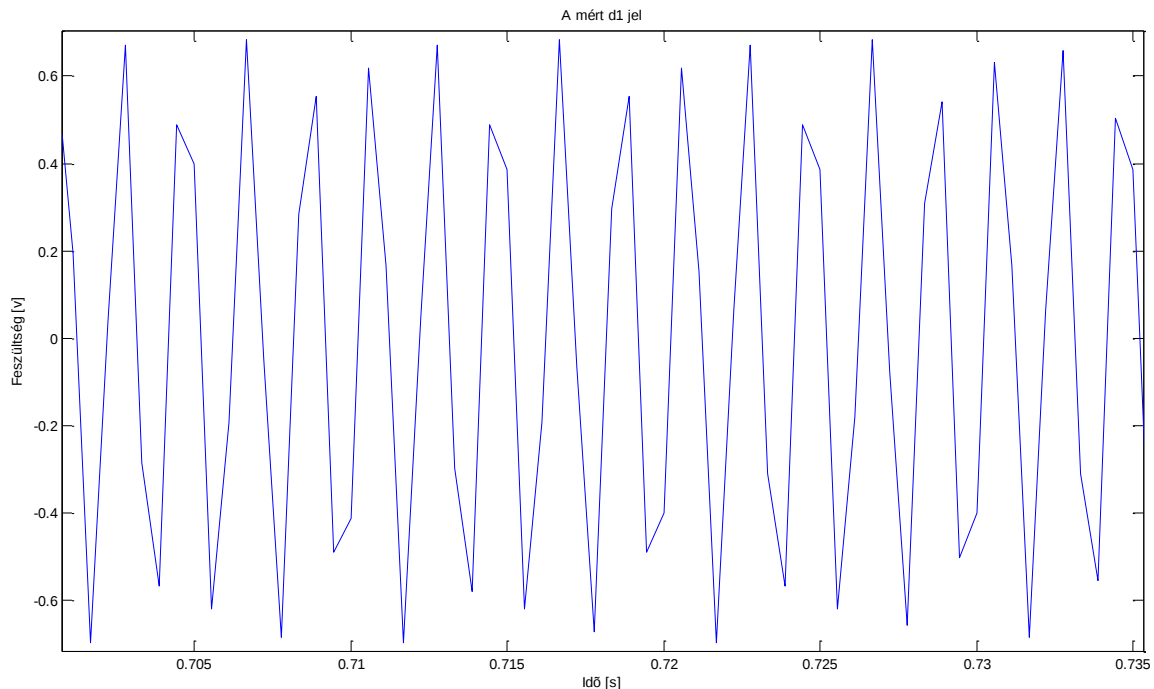


15. ábra -Az ismétlődést a lineáris interpolálás nem korrigálja

A mintaismétlődés helyén a lineáris interpolálásnak köszönhetően az interpolált jel követi az eredeti jelformát.

4. Interpolációvizsgálata

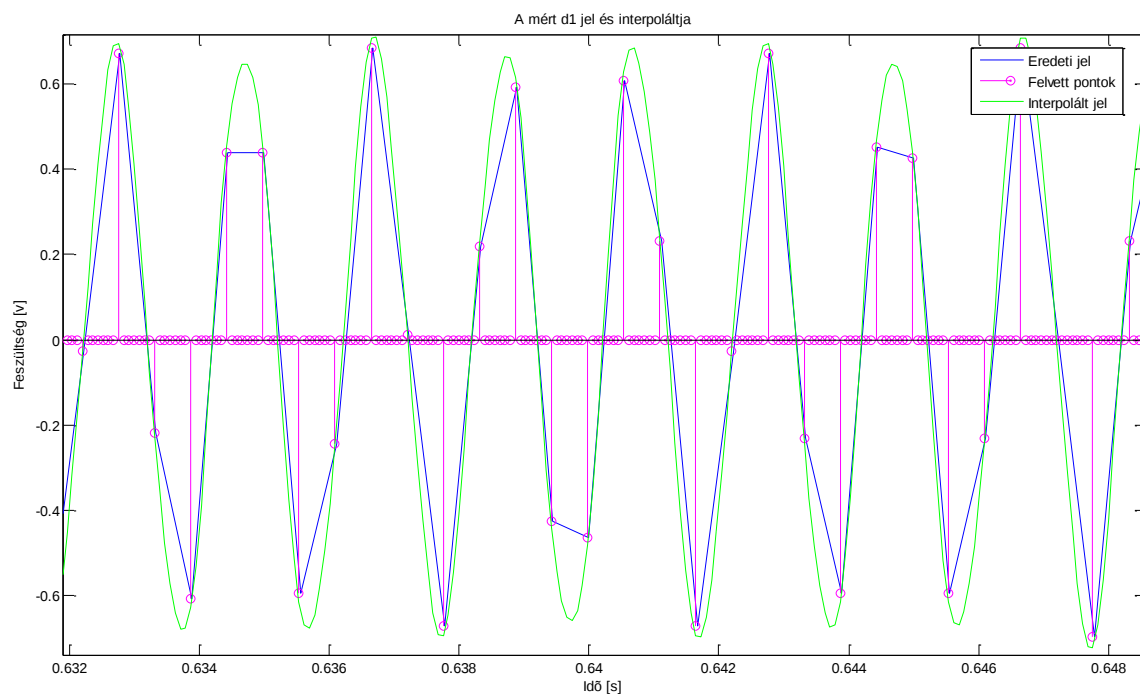
4.1. Elindítottuk a szinkronizációt: K2=ON és K1=ON állapotba kapcsolásával. 500 Hz-es jelet mintavételeztünk, ez a mintavételi frekvencia negyede és fele között található, periódusonként 3.3 mintát jelent.



16. ábra - A vizsgált jelalak 3.3 minta/periódus

4.2. Az elméleti összefoglalóban leírt algoritmussal végezzük el a jel tetszőleges, vagy a mérésvezető által előírt arányú interpolációját! Vizsgáljuk meg a különbséget az eredeti és az interpolált jel között.

Az új mintavételi frekvencia N_i -szerese az eredetinek: $f_s = N_i \cdot f_s$. Olyan jelet állítunk elő, melynek mintavételi frekvenciája f_s , és úgy kapjuk meg, hogy az eredeti f_s mintavételi frekvenciával mintavételezett jel mintái között $(N_i - 1)$ darab nullát szúrunk be. Ezt követően interpoláló szűrőt alkalmazunk a MATLAB-ban rendelkezésre álló IIR szűrők között is megtalálható `butter()` Butterworth típusú negyedfokú szűrő karakterisztikát és az interpolálás fokának megfelelő vágási frekvenciát ($f/2N$) alkalmazva. Bővebben az `LPF_interp.m` fájlban olvasható a programos megvalósításkommentezve.



17. ábra - Szűrővel végzett interpoláció

A feldolgozáshoz használt Matlab fájlok: szinkronizacio.m
N_times_interp.m
LPF_interp.m

% Szinkronizacio.m

close all

clear all

%-----

% 1.2 Feladat

%A kívánt mérési adatsorok beolvasása tallózással

[filename, pathname]=uigetfile({'*.dat', 'DAT Files (*.*)'}, 'Tallózás'); %Párbeszédablak nyitása
disp(['A következő fájl betöltve: ' strcat(pathname,filename)]) %A fájlnev és az elérési út kiírása a képernyőre

adatfile=fopen(strcat(pathname,filename)); %Az adatfájl beolvasása

%adatfile=fopen('D:\student\BeagyAmbLaborBsc2010\m_4\Meres1_kellek\SerPr\motedata\mic.dat');

adat=fscanf(adatfile, '%d, %d, %d\n', [3 inf]); %A beolvaopt adatok lementése egy adat nevű struktúrába

fclose(adatfile); %Az adatfájl bezárása

time=linspace(1,length(adat(1,:)),length(adat(1,:))/1800; %Idő átskálázása fs=1800-nak megfelelően

figure('Name', 'A mért jel ábrázolása léptékhelyesen')

plot(time,(adat(1,:)-128)/256*3.3) %Léptékhelyes ábrázolás

xlabel('Idő [s]')

ylabel('Feszültség [v]')

title('A mért d1 jel')

%-----

% 1.3 Feladat

%Spektrum ábrázolása

N=18000; %N=fs*10 ajánlott, akkor a skálázás elhagyható, így a pontosság is 1/10=0.1Hz :)

Y = fft(adat(1,:)-mean(adat(1,:)),N); %Diszkrét Fourier transzformáció a 0Hz-es komponenst eltávolítva

Pyy = sqrt(Y.* conj(Y))/ N; %A teljesítményspektrum, A teljesítmény nagysága különböző frekvenciákon

f = 1800*(0:N/2)/N; %Az első N/2+1 pont ábrázolása (a többi N/2-1 pont redundás) a megfelelő frekvencia

függvényében

figure('Name','A mért d1 jel frevenciaspektruma')

semilogy(f,Pyy(1:N/2+1)) %Az amplitúdó tengely értékeinek logaritmikus ábrázolása

title('A mért d1 jel frevenciaspektruma')

xlabel('Frekvencia (Hz)')

ylabel ('Amplitúdó')

hold on

semilogy(find(Pyy==max(Pyy),1,'first')*1800/N-0.1,Pyy(find(Pyy==max(Pyy),1,'first')),'x') %A

maximumpont szemléltetése

legend('Ablakozatlan','maximum pont')

%Az alapharmonikus frekvenciájának és amplitúdójának kijelzése a command window-ban

clc

disp(['A jel frekvenciája a spektrum alapján ', num2str(f(find(Pyy==max(Pyy),1,'first'))), ' Hz'])

disp(['A jel amplitúdója a spektrum alapján ', num2str(Pyy(find(Pyy==max(Pyy),1,'first'))/2/sqrt(2)/2/3.3) , ' Volt'])

%-----

% 1.4 Feladat

% Ablakozás és hatása

% MATLAB-ban rendre a rectwin(N), hanning(N) és flattopwin(N) függvényekkel kaphatjuk meg az ablakfüggvények értékeit

adat(1,:)=adat(1,:)-mean(adat(1,:)); %ez nem kell

```
%ablak1_adat=rectwin(length(adat(1,:))).* (adat(1,:)-mean(adat(1,:)));
ablak1=rectwin(length(adat(1,:))); %Ablakozunk RECT
ablak1=ablak1/sum(ablak1); %Leosztjuk a összegével
ablak1_adat = ablak1.* adat(1,:); %Szuperponáljuk a jelre

Y = fft(ablak1_adat,N); % -mean(ablak1_adat)
Pyy=sqrt( Y.* conj(Y) );%/ N;
figure('Name','Az ablakozott jel frekvenciaspektruma')
semilogy(f,Pyy(1:N/2+1),'g')
hold on
disp(['A jel amplitúdója a RECT ablakozással ', num2str(Pyy(find(Pyy==max(Pyy),1,'first'))/2/sqrt(2)/2/3.3)
,' Volt'])
```

```
%ablak2_adat=hanning(length(adat(1,:))).* (adat(1,:)-mean(adat(1,:)));
ablak2=hanning(length(adat(1,:))); %Ablakozunk HENNING
ablak2=ablak2/sum(ablak2); %Leosztju a összegével
ablak2_adat = ablak2.* adat(1,:); %Szuperponáljuk a jelre
```

```
Y = fft(ablak2_adat,N); %-mean(ablak2_adat)
Pyy=sqrt( Y.* conj(Y) );%/ N;
semilogy(f,Pyy(1:N/2+1),'r')
disp(['A jel amplitúdója a HENNING ablakozással ',
num2str(Pyy(find(Pyy==max(Pyy),1,'first'))/2/sqrt(2)/2/3.3) , ' Volt'])
```

```
%ablak3_adat=flattopwin(length(adat(1,:))).* (adat(1,:)-mean(adat(1,:)));
ablak3=flattopwin(length(adat(1,:))); %Ablakozunk FLATTOP
ablak3=ablak3/sum(ablak3); %Leosztju a összegével
ablak3_adat = ablak3.* adat(1,:); %Szuperponáljuk a jelre
```

```
Y = fft(ablak3_adat,N); %-mean(ablak3_adat)
Pyy=sqrt( Y.* conj(Y) );%/ N;
semilogy(f,Pyy(1:N/2+1),'m')
disp(['A jel amplitúdója a FLATTOP ablakozással ',
num2str(Pyy(find(Pyy==max(Pyy),1,'first'))/2/sqrt(2)/2/3.3) , ' Volt'])
legend('RECT','HANNING','FLATTOP', 'Location', 'BestOutside')
title('Az ablakozott jel frekvenciaspektruma')
xlabel('Frekvencia [Hz]')
ylabel('Amplitúdó')
hold off
```

```
% 1.5 Feladat
% Torzításmérés és Jel-zaj viszony
x1_dB=20*log10(Pyy(find(Pyy==max(Pyy),1,'first'))); % f vagy Pyy adja az x1-et?
torzitas=sqrt(sum(10.^((20*log10(Pyy)-x1_dB)/20)));
disp(['A szinuszos jel torzítása: ' num2str(torzitas)])
```

```
% 2.1 Feladat
%T_loc ábrázolása
figure('Name','Az érkezés Tloc értéke')
time=linspace(1,length(adat(2,:)),length(adat(2,:))/1800);
plot(time,adat(2,:)/8e3) %a mót periódusideje 8MHz
title('Az érkezés Tloc értéke')
xlabel('Idő [s]')
ylabel('Tloc [ms]')
legend('Tloc')
```

```

%n-szeres lineáris interpoláció végrehajtása
n=5;
Ts=n;
time_i=linspace(1,length(adat(1,:)),length(adat(1,:))*n)/1800;
adat_i=zeros(1,length(time_i));

for k=n+1:length(time)-1
    adat_i(1,k*n)=(adat(1,k)-128)/256*3.3;
end
hold on
stem(time_i,adat_i, 'r')

indexes=find(adat_i);

for m=1:length(indexes)-1
    d2=adat_i(indexes(m));
    d1=adat_i(indexes(m+1));
    for Td=1:n
        adat_i(indexes(m)+Td-1)=d2+(d1-d2)*(Td-1)/Ts;
    end
end
plot(time_i,adat_i)
hold on
stem(time_i,adat_i,'xb')
legend('Eredeti jel','Mintavételi pontok','Interpolált jel','Interpolált pontok')

```

```

%n-szeres interpoláció végrehajtása szűrő segítségével
n=7;
time_i=linspace(1,length(adat(1,:)),length(adat(1,:))*n)/1800;
adat_i=zeros(1,length(time_i));

```

```

for k=n+1:length(time)-1
    adat_i(1,k*n-(n-1))=(adat(1,k)-128)/256*3.3;
end
hold on
stem(time_i,adat_i, 'm')

```

```

fs=1800;                                %K1=ON mintavételezési frekvencia
order=4;                                %A szűrő fokszáma
fcutoff=fs/2/n;                          % A vágási frekvencia fs/(2*n), n szeresen decimálunk
[A,B] = butter(order,fcutoff/(fs/2),'low');
adat_i=filtfilt(A,B,adat_i)*n;           % Az amplitúdó n-ed részére csökken
plot(time_i,adat_i, 'g')
legend('Eredeti jel','Felvett pontok','Interpolált jel')

```