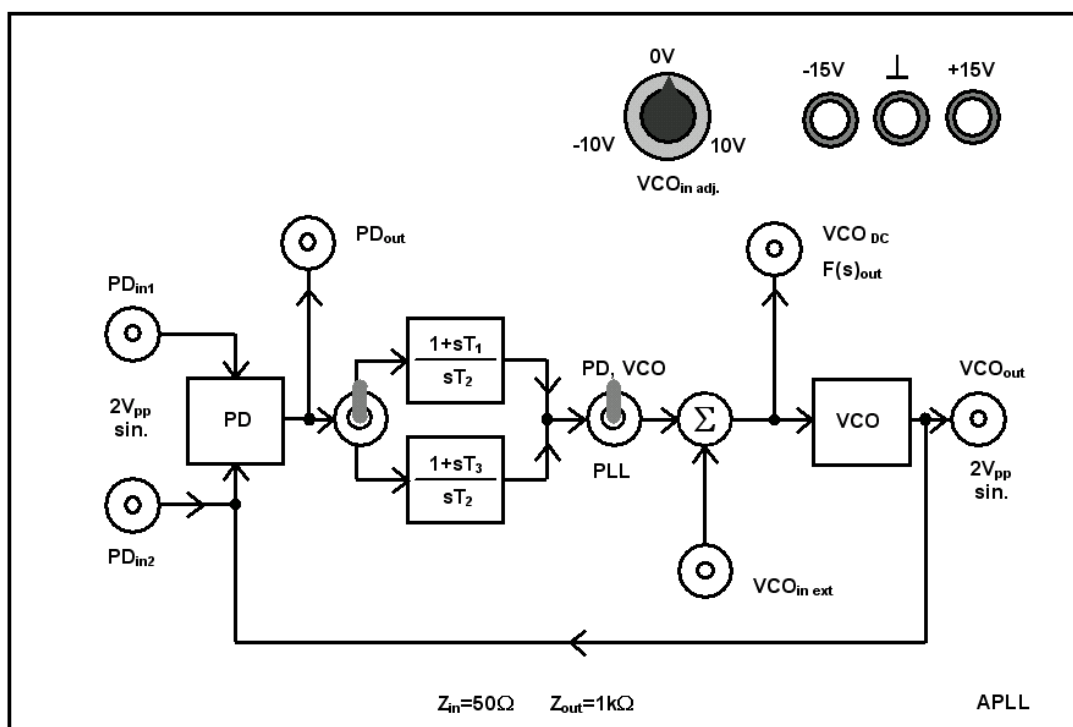


MÉRÉSI JEGYZŐKÖNYV - TÁVOKTATÁS

A mérés tárgya:	Analóg fáziszárt hurok vizsgálata (9. mérés)
A mérést végzik:	Veszelyi Bence Balázs (V3UWB0)
Mérőcsoport:	H12, 42
A mérés időpontja:	2021-02-22

Felhasznált eszközök

Oscilloszkóp	Agilent 54622A
Tápegység	Agilent E3630
Függvénygenerátorok (szinkronizálhatóak)	Agilent 33220A-Option 001
Digitális multiméter (6½ digit)	Agilent 33401A
Digitális multiméter (3½ digit)	Metex ME-22T
Tesztpanel	



9-1. ábra. Tesztpanel

1. Az APLL áramkör hurokelemeinek mérése

1.1. PD karakterisztika felvétele

θ_2 [°]	u_d [V]	θ_e [°]
180	-0.03022	-180
170	-0.17829	-170
160	-0.3209	-160
150	-0.4535	-150
140	-0.5722	-140
130	-0.673	-130
120	-0.7533	-120
110	-0.8103	-110
100	-0.8422	-100
90	-0.8484	-90
80	-0.8286	-80
70	-0.7834	-70
60	-0.7137	-60
50	-0.6227	-50
40	-0.5121	-40
30	-0.3856	-30
20	-0.2471	-20
10	-0.10076	-10
0	0.0491	0

θ_2 [°]	u_d [V]	θ_e [°]
0	0.0491	0
-10	0.1974	10
-20	0.3403	20
-30	0.4726	30
-40	0.5915	40
-50	0.6922	50
-60	0.7724	60
-70	0.8293	70
-80	0.8614	80
-90	0.8674	90
-100	0.8476	100
-110	0.8022	110
-120	0.7327	120
-130	0.641	130
-140	0.5305	140
-150	0.4039	150
-160	0.2655	160
-170	0.11925	170
-180	-0.03037	180

Kis θ_e esetén ($|\theta_e| < 45^\circ$)

$$u_d(t) = K_d \theta_e$$

$$u_{d1} = -0.5121 \text{ V}$$

$$u_{d2} = 0.5915 \text{ V}$$

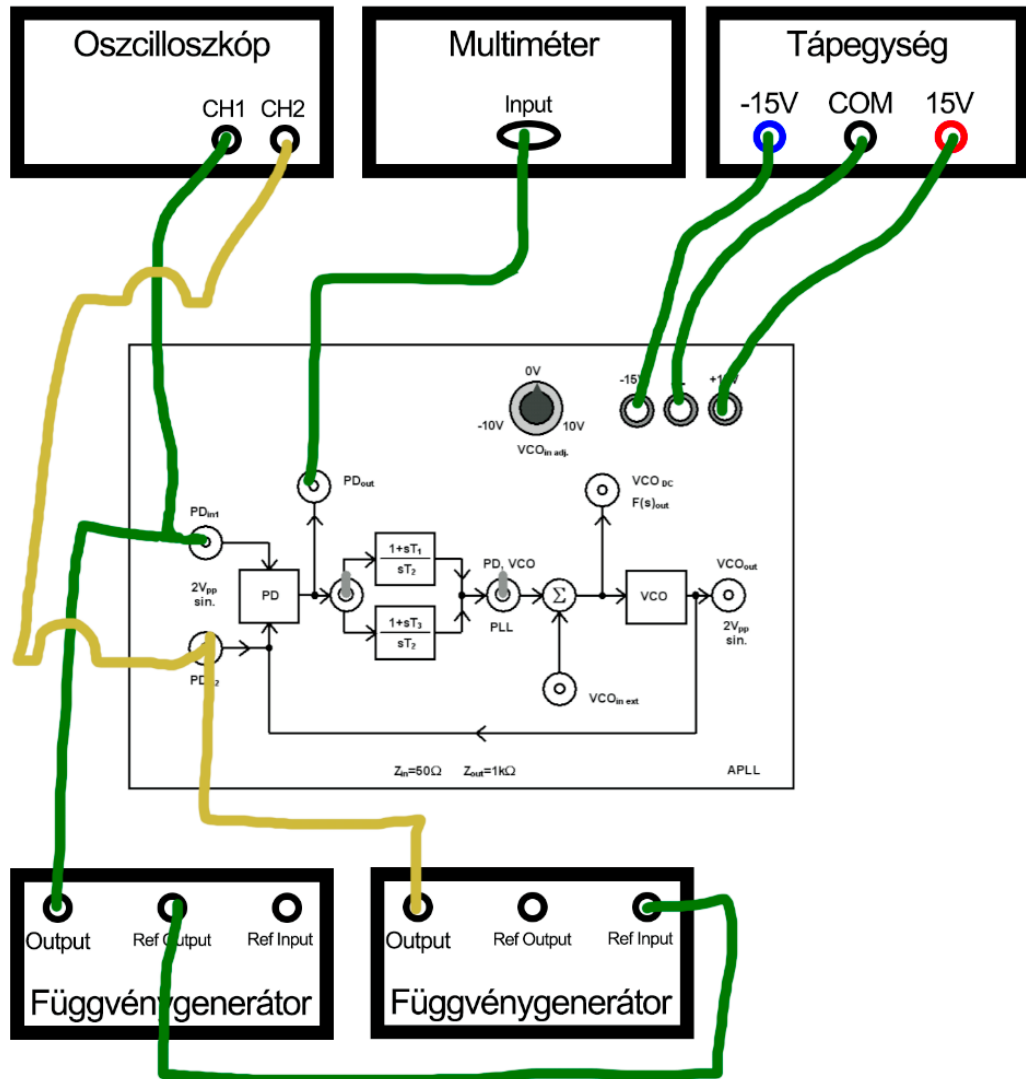
$$\theta_{e1} = -40^\circ$$

$$\theta_{e2} = +40^\circ$$

$$K_d' = \frac{u_{d2} - u_{d1}}{\theta_{e1} - \theta_{e2}} = 0.013795 \text{ [V/°]}$$

$$K_d = 0.7904 \text{ [V/rad]}$$

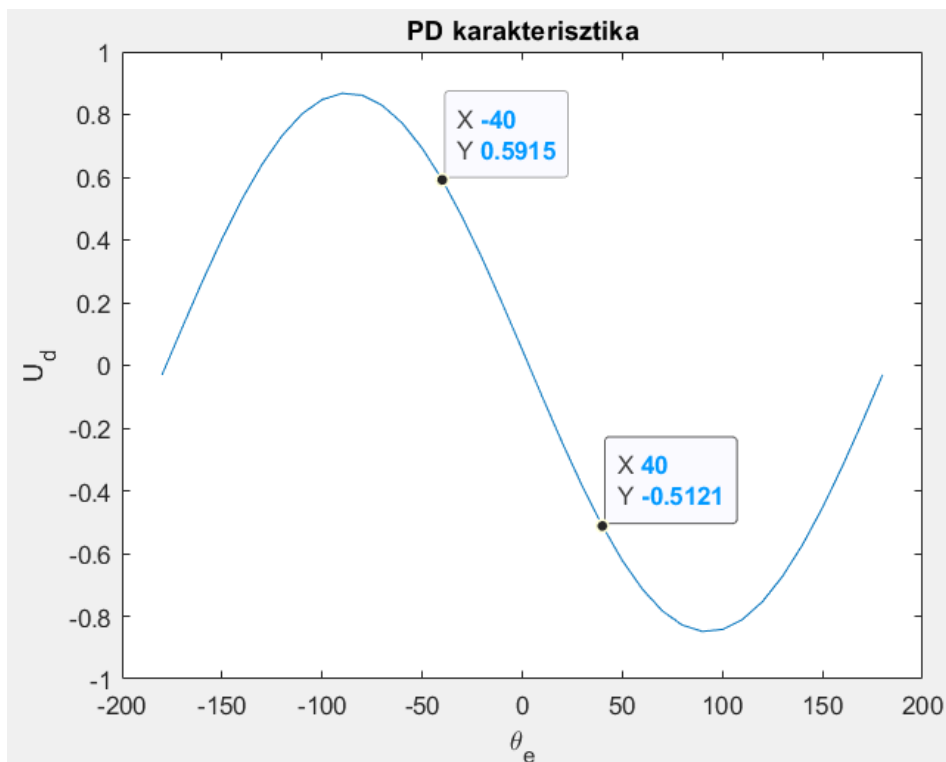
Mérési elrendezés:



Matlab kód:

```
load('C:\Users\vbenc\Google Drive\BME\Labor2\9\pd.txt');
ud_pd=pd(:,1);
theta_pd=pd(:,2);

figure(1);
plot(ud_pd,theta_pd);
title('PD karakterisztika');
xlabel('\theta_e');
ylabel('U_d');
```



Értékelés:

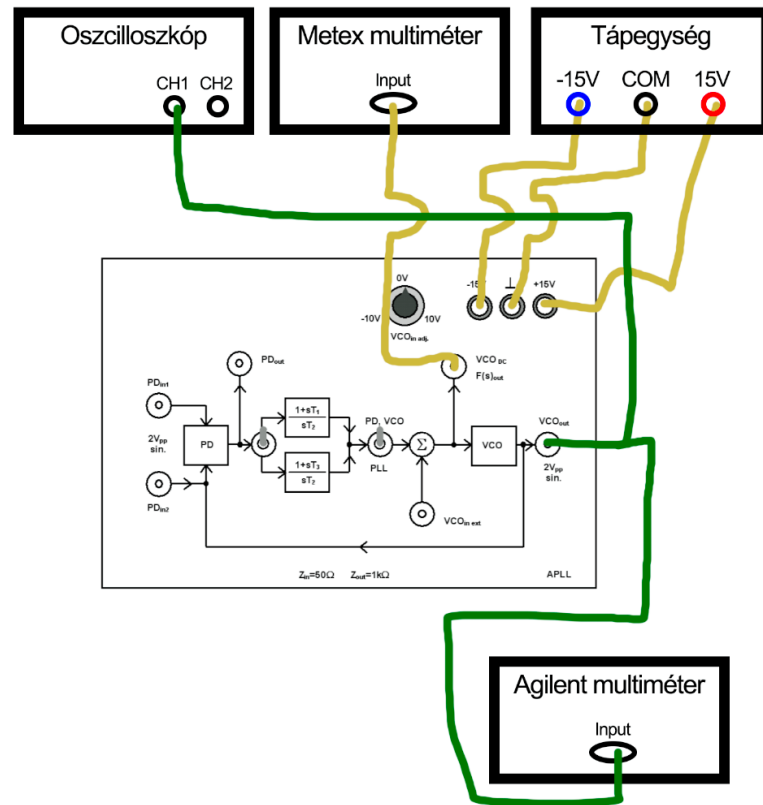
A mért eredményeket tartalmazó táblázatot egy szövegfájlba illesztettem, majd matlab-ban importáltam a megfelelő oszlopokat, a kirajzoltatott fázisdetektor karakterisztika az elméletben is megismert „szinuszos” alakot veszi fel.

A karakterisztikán +/- 40°-s θ_e szöghöz az előzőleg kiszámolt értékek tartoznak, így a számítások helyesek voltak és a meredeksége K_d .

1.2. VCO karakterisztika felvétele

u_f [V]	f_2 [Hz]
-10,14	78700
-8,00	81030
-6,09	83110
-4,09	85290
-2,02	87540
--0,04	89690
2,05	91980
4,05	94160
6,08	96370
8,00	98460
9,58	100180

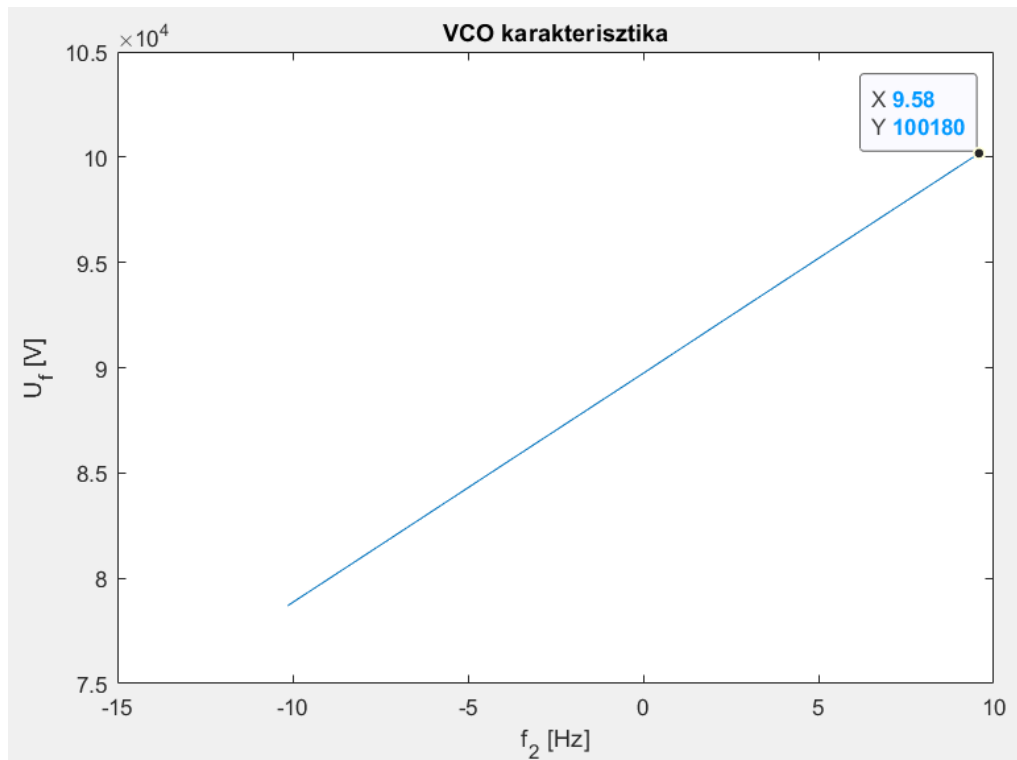
Mérési elrendezés:



Matlab kód:

```
load('C:\Users\vbenc\Google Drive\BME\Labor2\9\vco.txt');
uf_vco=vco(:,1);
f2_vco=vco(:,2);

figure(2);
plot(uf_vco, f2_vco);
title('VCO karakterisztika');
xlabel('f_2 [Hz]');
ylabel('U_f [V]');
```



$$U_{f1} = -10.14 \text{ V}$$

$$U_{f2} = 9.58 \text{ V}$$

$$f_1 = 78.7 \text{ kHz}$$

$$f_2 = 100.18 \text{ kHz}$$

$$K_v' = \frac{f_2 - f_1}{U_{f2} - U_{f1}} = 1.08925 \text{ [kHz/V]}$$

$$K_v = 6.8439 \text{ [k rad/Vs]}$$

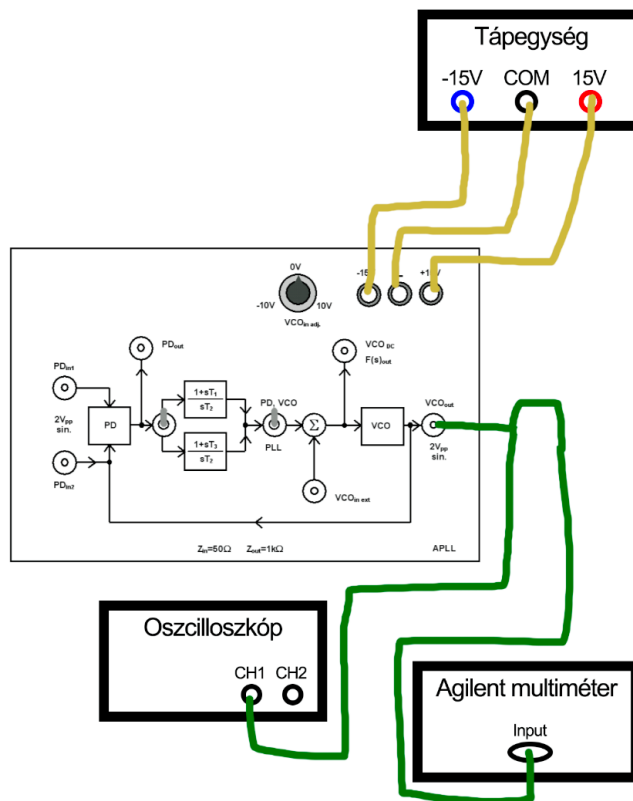
Értékelés:

A mért eredményeket tartalmazó táblázatot egy szövegfájlba illesztettem (és ki kellett cserélnem a tizedesvesszőket tizedespontra a helyes értelmezés érdekében), majd matlab-ban importáltam a megfelelő oszlopokat, a kirajzoltatott feszültség vezérelt oszcillátor (VCO) karakterisztikája az elméletben is megismert lineáris alakot veszi fel.

A karakterisztika meredeksége K_v , értéke mind az ábráról, mind a mérési eredményekből is meghatározhatjuk, én az utóbbit tettem.

1.3. VCO szabadonfutó frekvenciájának meghatározása

Mérési elrendezés:



$$f_0 = 89.7717 \text{ kHz}$$

$$\omega_0 = 2 * \pi * f_0 = 564.0522 \frac{\text{krad}}{\text{s}}$$

Értékelés:

A ω_0 a VCO szabadon futó frekvenciája, ha eltér a fáziszárt hurok bemeneti jelének frekvenciájától, a fázisdetektor nullától eltérő feszültségű hibajelét állít elő a VCO frekvenciájának a bemeneti jel frekvenciájára hangolása érdekében. A ω_0 kismértékben eltér a PLL bemenetén lévő 90 kHz-től, de ez az eltérés elhanyagolhatóan kicsi, a hibajel nullától eltérő.

A VCO egyenlete:

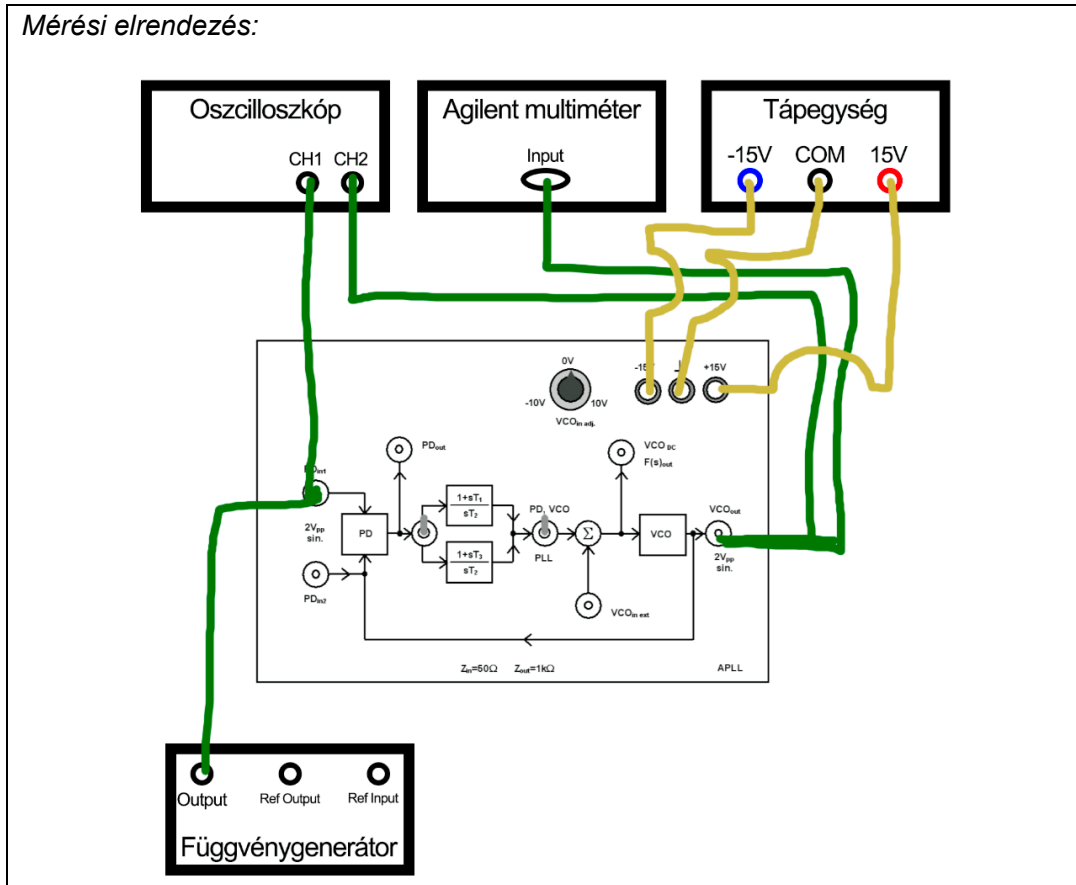
$$u_{f0} = \frac{\omega_1 - \omega_0}{K_v} + \frac{1}{K_v} \frac{d\theta_2}{dt} = \frac{\omega_1 - \omega_0}{K_v}, \text{ aktív hurokszűrő esetén } \omega_2 = \omega_1.$$

$$\omega_2 = \omega_0 - K_v * (u_{f1} - u_{f2}) = 5.6419 * 10^5 \left[\frac{\text{rad}}{\text{s}} \right]$$

2. Az APLL áramkör befogási és követési tartományainak felvétele

2.1. Befogási tartomány felvétele

Mérési elrendezés:



A feladatok megoldásához tekintse meg az alábbi videókat:

<https://web.microsoftstream.com/video/cb984119-5a22-4c83-afd5-43def4a42845>

<https://web.microsoftstream.com/video/1b8a757d-773c-4c8a-8a6e-c7406a53918f>

<https://web.microsoftstream.com/video/30e9bcfe-35b3-4e28-be50-16e61a79b948>


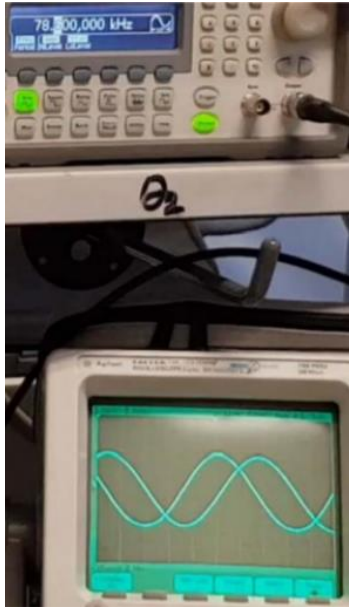
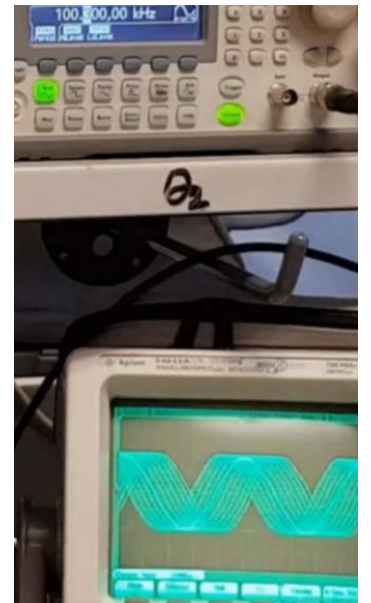
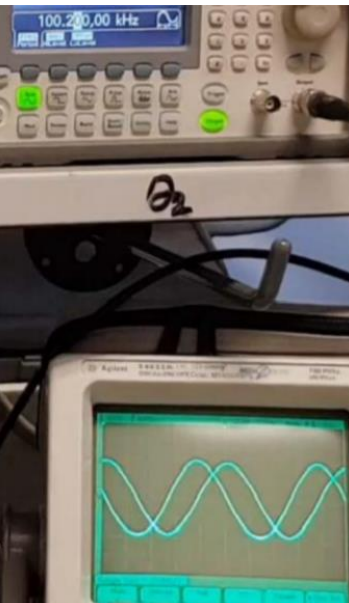
1. módszer

$$f_1 = 78.6 \text{ kHz}$$

$$f_2 = 100.2 \text{ kHz}$$


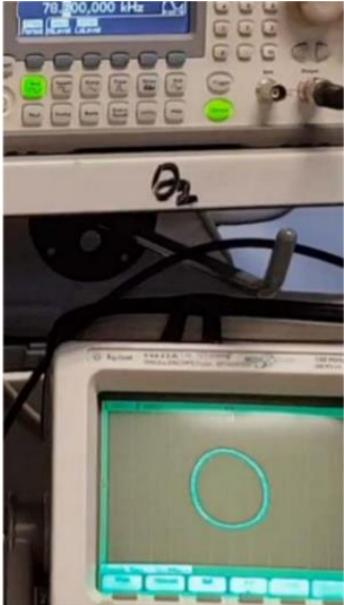
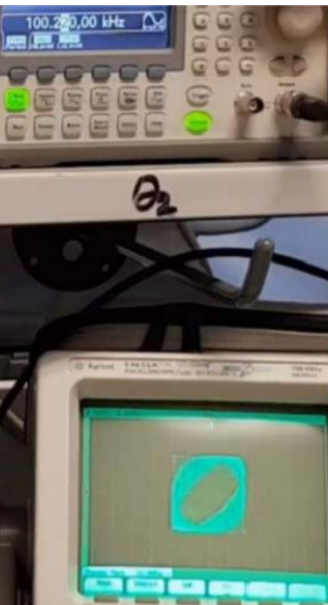

$$\Delta f_p = f_2 - f_1 = 21.6 \text{ kHz}$$

A módszer lényege hogy lassan változtatjuk a függvénygenerátor kimeneti frekvenciáját és közben az oszcilloszkóp kijelzőjén a szinkron állapotot keresve (ez 78.4 kHz-en lesz). A fáziskülönbség pont 90° lesz ekkor. Az alsó befogadási frekvenciához a 78 – 90 kHz -es tartományt vizsgáltuk, a felsőhöz a 102 – 90 kHz-es tartományt, utóbbi esetén a felső befogadási frekvencia 100.2 kHz lett.

Alsó befogadási frekvencia előtt	Alsó befogadási frekvencián
	
Felső befogadási frekvencia előtt	Felső befogadási frekvencián
	

2. Lissajous ábrával

Elvégezhetjük a mérést Lissajous-ábrával is, fáziszárt állapot esetén az oszcilloszkópon kör látható. Ehhez az oszcilloszkópot XY üzemmódba kell állítsuk és a frekvenciát ugyanúgy mint az 1-es módszernél lassan változtatjuk. Mérésünk pontosabb is lesz!

Alsó befogadási frekvencia előtt	Alsó befogadási frekvencián
	
Felső befogadási frekvencia előtt	Felső befogadási frekvencián
	

Értékelés:

A Lissajous-ábrák nagyjából kör alakúak, ez azt igazolja, hogy a frekvenciák jók, a két jel szinkronban van. Viszonylag pontosan meghatároztuk a befogadási tartományt, a mérést pontosabban is el lehetett volna végezni (finomabb frekvenciai állítással).

2.2. Követési tartomány felvétele

$$f_1 = 78.55 \text{ kHz}$$

$$f_2 = 100.2 \text{ kHz}$$

$$\Delta f_H = 21.6 \text{ kHz}$$

Itt is használhatóak a 2.1-es feladat ábrái, a követési tartomány az a frekvenciatartomány, amelyen belül a PLL követni képes a bemeneti jel fázisát, ebben a tartományban már használhatjuk azt.

Az előző méréshez képest annyi a különbség, hogy itt azt a határt keressük amikor a szinkron állapotból kiesünk.

Értékelés:

A követési tartomány és a befogási tartomány megegyezik.

3. Analóg FM demodulátorok megvalósítása, illetve a demodulátor karakterisztikák felvétele

FM demodulátor karakterisztika felvétele

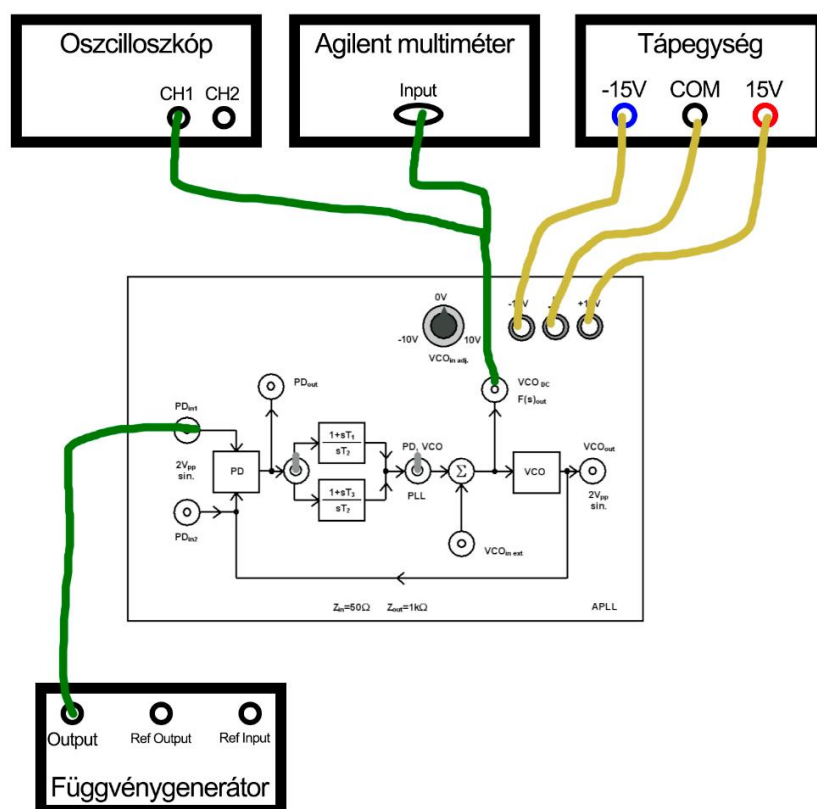
$\zeta=1$

Referencia jel: 100 Hz → 0 dB

f [Hz]	u _f [dB]
100	-0.00064303
300	0.18337
500	0.4616
700	0.74474
900	0.97374
1100	1.13322
1300	1.22228
1500	1.2507
1700	1.22736
1900	1.16161
2100	1.0613
2300	0.93234
2500	0.78107
2700	0.60701
2900	0.41751
3100	0.21505
3300	-0.0010619
3500	-0.2267
3700	-0.46052
3900	-0.70269
4100	-0.95055

4300	-1.20346
4500	-1.47079
4700	-1.72217
4900	-1.9869
5100	-2.2545
5300	-2.5228
5500	-2.794
5700	-3.0672
5900	-3.3391
6100	-3.6124

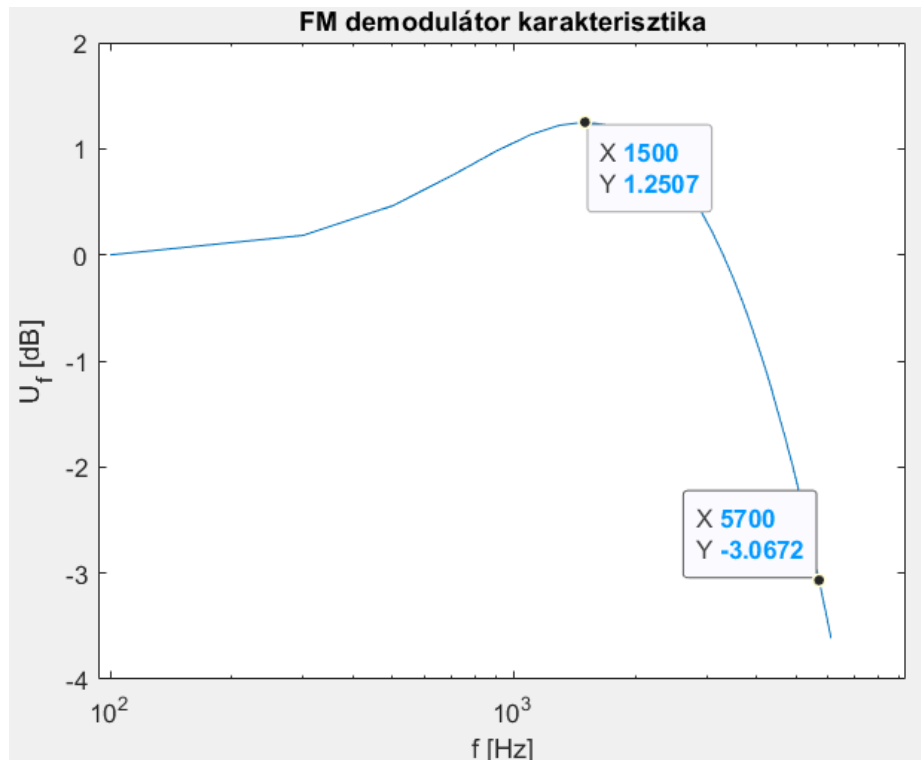
Mérési elrendezés:



Matlab kód:

```
load('C:\Users\vbenc\Google Drive\BME\Labor2\9\fm.txt');
f_fm=fm(:,1);
uf_fm=fm(:,2);

figure(3);
semilogx(f_fm, uf_fm);
title('FM demodulátor karakterisztika');
xlabel('f [Hz]');
ylabel('U_f [dB]');
```



Értékelés:

A mért eredményeket tartalmazó táblázatot egy szövegfájlba illesztettem, majd matlab-ban importáltam a megfelelő oszlopokat, a kirajzoltatott FM demodulátor karakterisztikája 1500Hz környékén veszi fel a maximumát (ábrán bejelölve a hozzá tartozó U_f érték, amely 1.2507 dB), a -3dB-s értékhez 5700 Hz-es frekvencia társul.

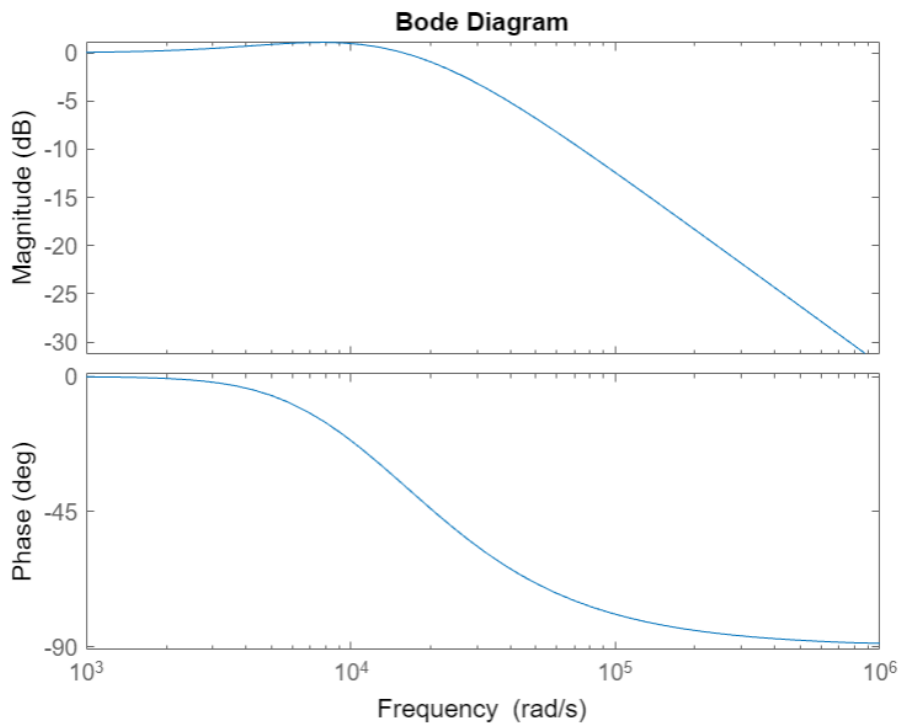
4. Az APLL-t jellemző zárthurkú átviteli függvények meghatározása

4.1. Zárthurkú átviteli függvény [H(s)] meghatározása

Matlab kód:

```
kd = 0.79039;
kv = 6843.9;
t1 = 193*10^(-6);
t2 = 43*10^(-6);
zeta=(t1/2)*(sqrt((kd*kv)/t2));
wn=sqrt((kd*kv)/t2);
wB=2*zeta*wn;

H = tf([2*zeta*wn wn^2], [1 2*zeta*wn wn^2]);
bode(H);
```



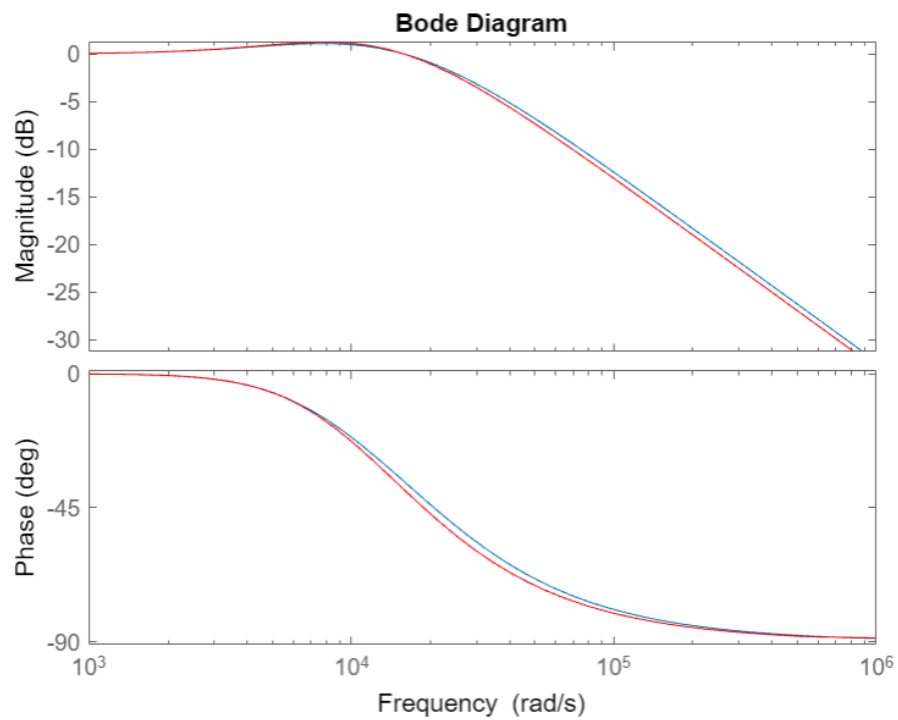
Zárthurkú átviteli függvény $\zeta=1$ -re

Paraméterek:

$K_v = 6843.9$ [rad/Vs];
 $K_d = 0.79039$ [V/rad];
 $\tau_1 = 178.32 \cdot 10^{-6}$ [s/rad];
 $\tau_2 = 43 \cdot 10^{-6}$ [s/rad].
 $\zeta = 1$;
 $\omega_n = 1.1216 \cdot 10^4$ [rad/s];
 $\omega_b = 2.2432 \cdot 10^4$ [rad/s];

Értékelés:

Matlab-ban kifejezve a $\zeta=1$ paraméterrel az eredmények a vártak megfelelőek lettek, a feladat előző részében meghatározott ζ -val és a $\zeta=1$ értékkel számolt átviteli függvény bode diagramjai:



Kékkel: $\zeta = 1.0823$

Pirossal: $\zeta=1$

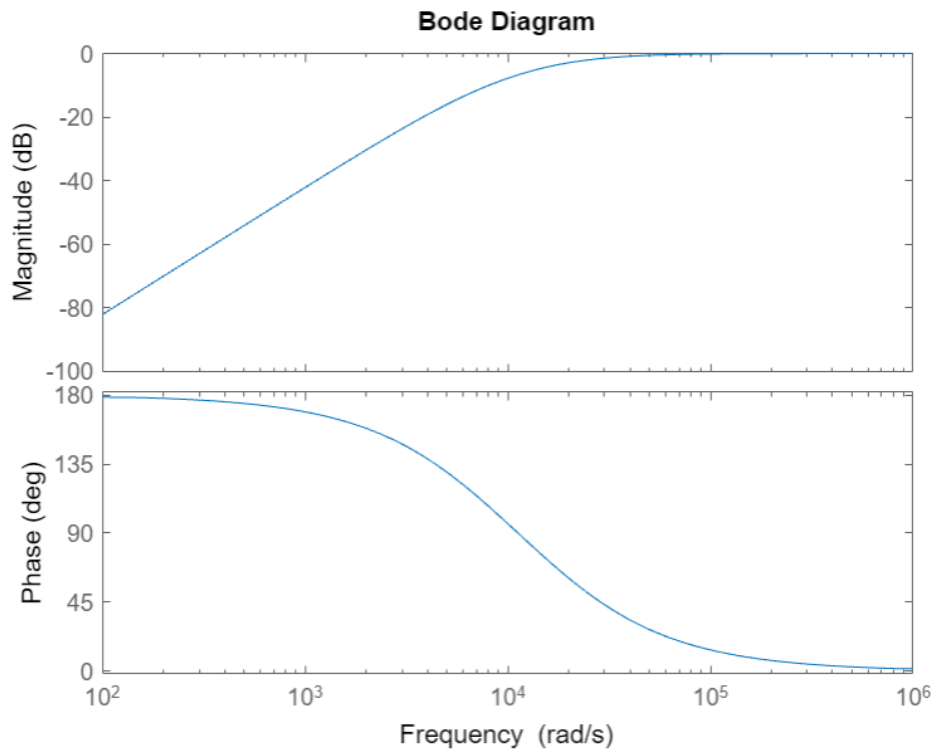
4.2. Hibafüggvény meghatározása [1-H(s)]

Matlab kód:

```
kd = 0.79039;
kv = 6843.9;
t1 = 193*10^(-6);
t2 = 43*10^(-6);

zeta=(t1/2)*(sqrt((kd*kv)/t2));
wn=sqrt((kd*kv)/t2);
wB=2*zeta*wn;

H = tf([2*zeta*wn wn^2], [1 2*zeta*wn wn^2]);
H=1-H;
bode(H);
```



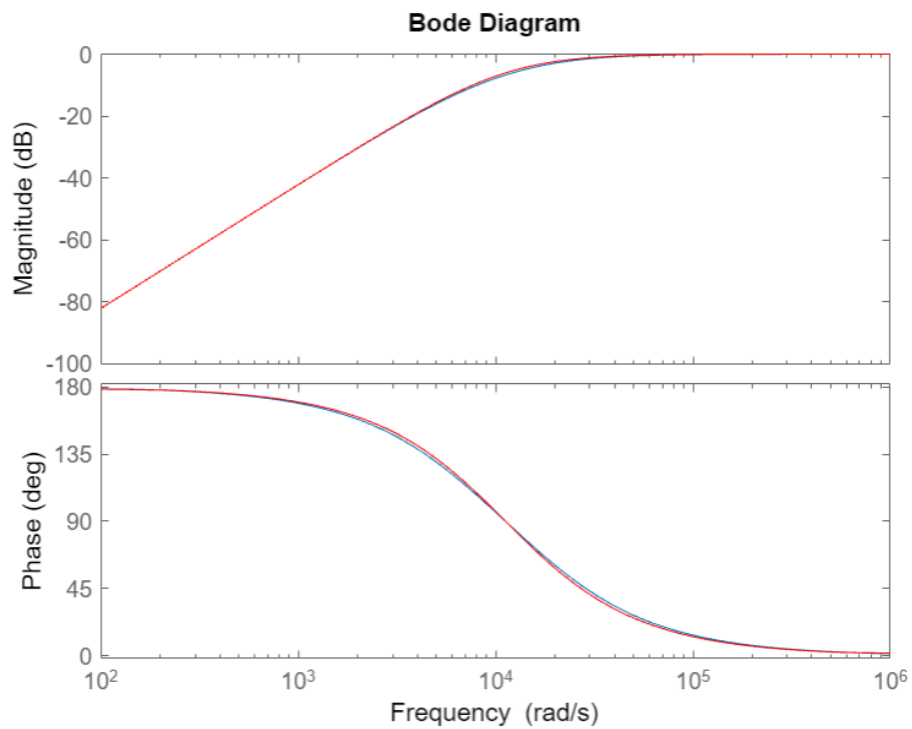
Hibafüggvény $\zeta=1$ -re

Paraméterek:

$K_v = 6843.9$ [rad/Vs];
 $K_d = 0.79039$ [V/rad];
 $\tau_1 = 178.32 \cdot 10^{-6}$ [s/rad];
 $\tau_2 = 43 \cdot 10^{-6}$ [s/rad].
 $\zeta = 1$;
 $\omega_n = 1.1216 \cdot 10^4$ [rad/s];
 $\omega_b = 2.2432 \cdot 10^4$ [rad/s];

Értékelés:

Matlab-ban kifejezve a $\zeta=1$ paraméterrel az eredmények a vártak megfelelőek lettek, a feladat előző részében meghatározott ζ -val és a $\zeta=1$ értékkel számolt átviteli függvény bode diagramjai:



Kékkel: $\zeta = 1.0823$

Pirossal: $\zeta = 1$

5. Digitális FSK demodulátor megvalósítása és mérése

5.1. Mérés kislöketű FSK esetén

Beállítások:

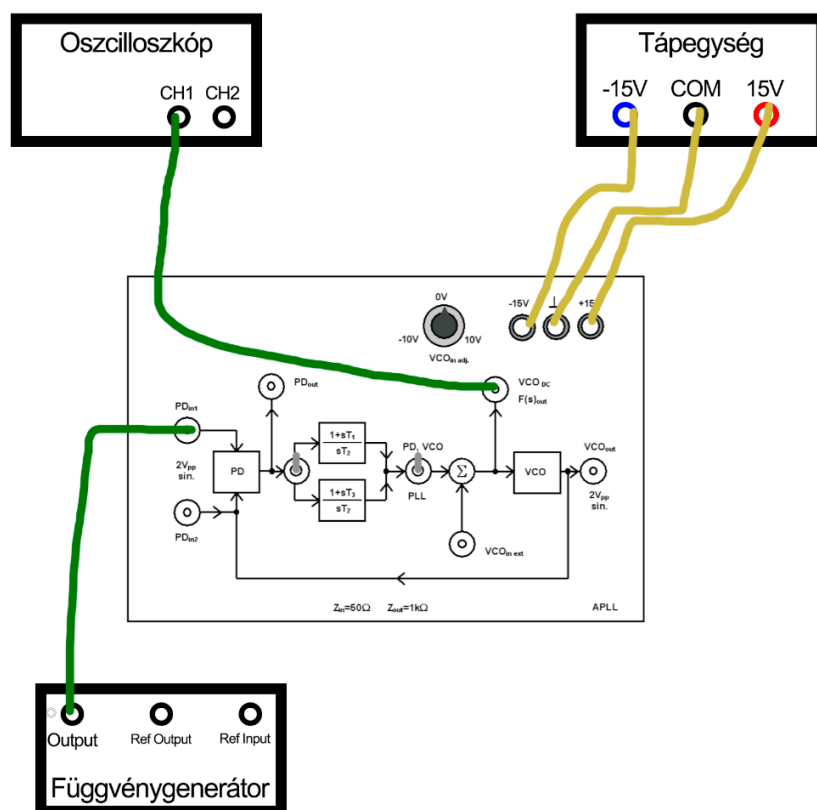
Frekvencia: 90 kHz

Frekvencia ugrás: 92 kHz

Moduláló frekvencia: 200 Hz

$\zeta = 1$

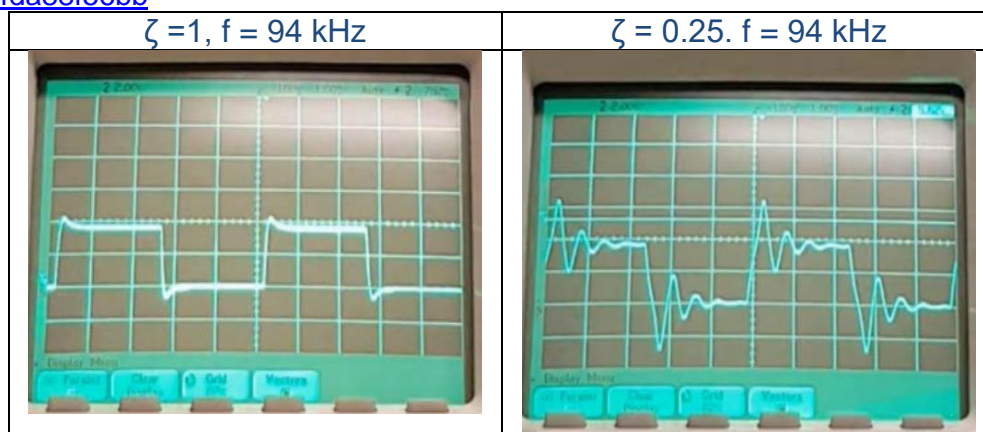
Mérési elrendezés:



A feladatok megoldásához tekintse meg az alábbi videókat:

<https://web.microsoftstream.com/video/1e1fb90a-ce0a-4ba2-be8e-5974a635beea>

<https://web.microsoftstream.com/video/87eff464-c512-476a-9d55-044da88f56bb>



Értékelés:

Az oszcilloszkóp képernyőjén a demodulált jelet látjuk. Az első képen a frekvencia 94,2kHz, $\zeta=1$. A második képen a frekvencia 94,2kHz, $\zeta=0,25$ (ez a PD utáni kapcsoló átkapcsolásával áll elő).

Mindkettő jelnél megfigyelhető a videóban, hogy a frekvencia növelésével az amplitúdójuk is növekszik.

Tervezéskor arra kell törekedni, hogy lehetőleg $\zeta=1$ legyen.

5.2. Mérés nagylökötű FSK esetén (a hurok szétejtése, befogási tranziens generálása)

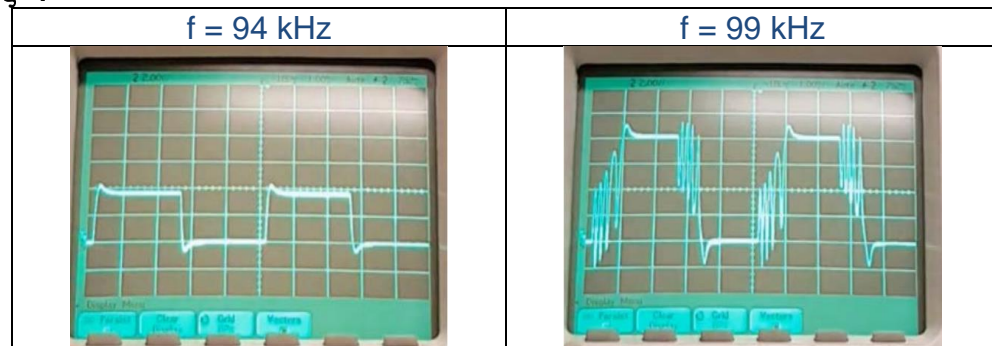
Beállítások:

Frekvencia: 90 kHz

Frekvencia ugrás: 97 kHz

Moduláló frekvencia: 200 Hz

$\zeta=1$



Értékelés:

Az $f = 99 \text{ kHz}$ -es ábrán a modulált jel mellett megjelennek a tűskék. Ennek oka az, hogy a nagy frekvenciaugrás következtében a PLL egy pillanatra kiesik a fáziszárt állapotból, azonban mivel befogási tartományon belül marad idővel visszaáll.

6. Két különböző csillapítási tényezővel ($\zeta = 1$ és $0,25$) jellemzett APLL dinamikájának mérése

6.1. Ugrás a referencia jel frekvenciájában

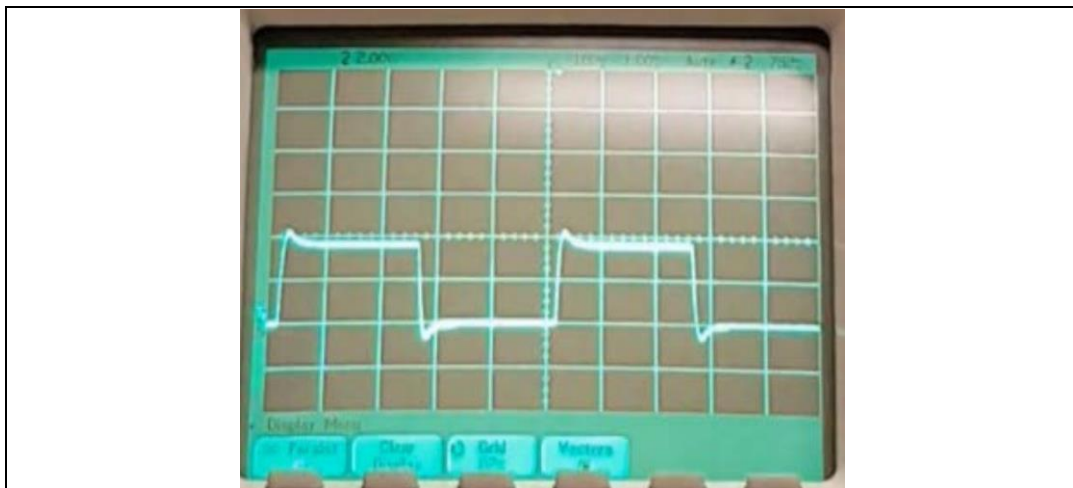
Beállítások:

Frekvencia: 90 kHz

Frekvencia ugrás: 92 kHz

Moduláló frekvencia: 200 Hz

$\zeta=1$



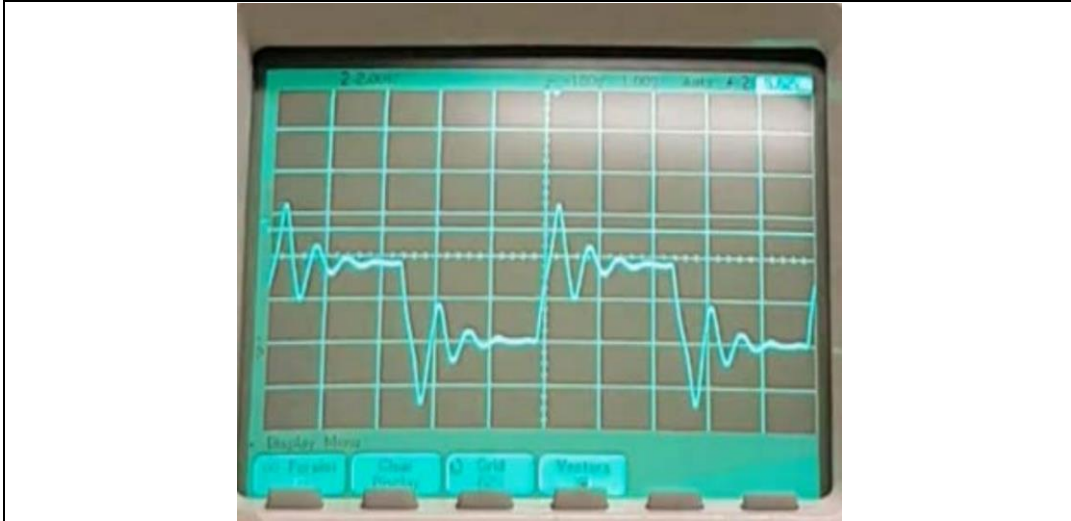
Beállítások:

Frekvencia: 90 kHz

Frekvencia ugrás: 92 kHz

Moduláló frekvencia: 200 Hz

$\zeta=0,25$

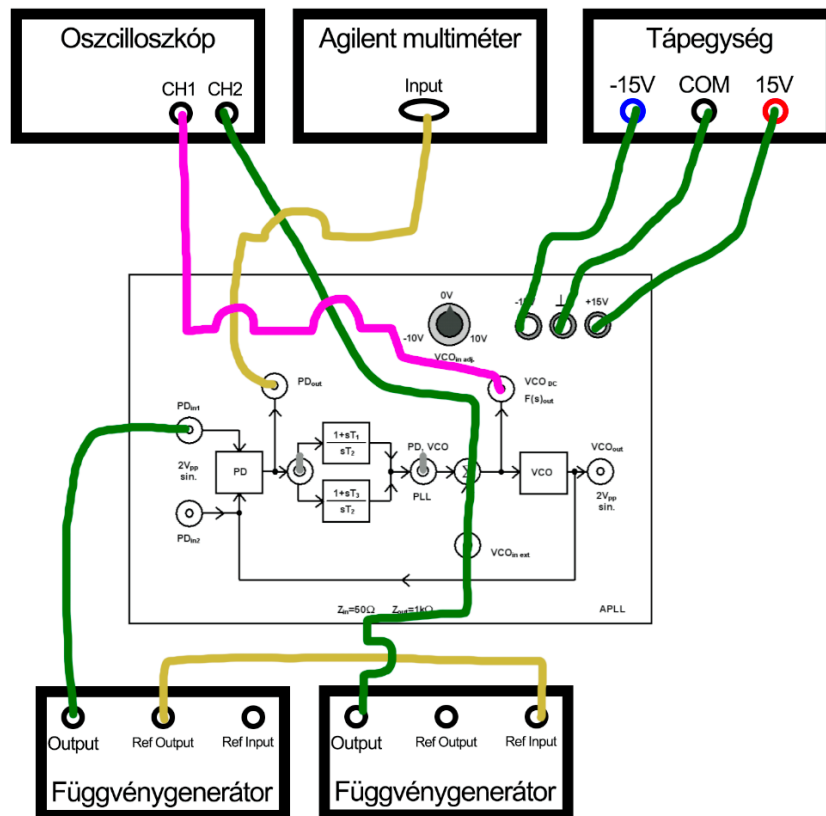


Értékelés:

A feladatban a ζ értékét változtatjuk a PD utáni kapcsoló átkapcsolásával. A $\zeta=0.25$ az alsó állásban érhető el. Ezt az állapotot megjelenítve az oszcilloszkópon a 2.ábrát kapjuk, ami kb. ugyanazon a frekvencián hullámosabb az 1.ábrához képest. Míg $\zeta=1$ esetén a PLL gyorsan követi a változást, addig $\zeta=0.25$ esetén a PLL lassabban követi le a változást.

6.2. A VCO bemenet perturbációja

Mérési elrendezés:



A feladatok megoldásához tekintse meg az alábbi videókat:

<https://web.microsoftstream.com/video/6ef41c5d-bbff-4cfa-a476-507c1014f3cf>

<https://web.microsoftstream.com/video/94dc64aa-720c-4833-a11f-bdd07e14adaf>

<https://web.microsoftstream.com/video/a79b713d-a8fe-4b53-9e5b-ce1a2146859d>

<https://web.microsoftstream.com/video/aac09335-b401-4196-be3d-c83e7318c702>

A perturbáló jel paraméterei:

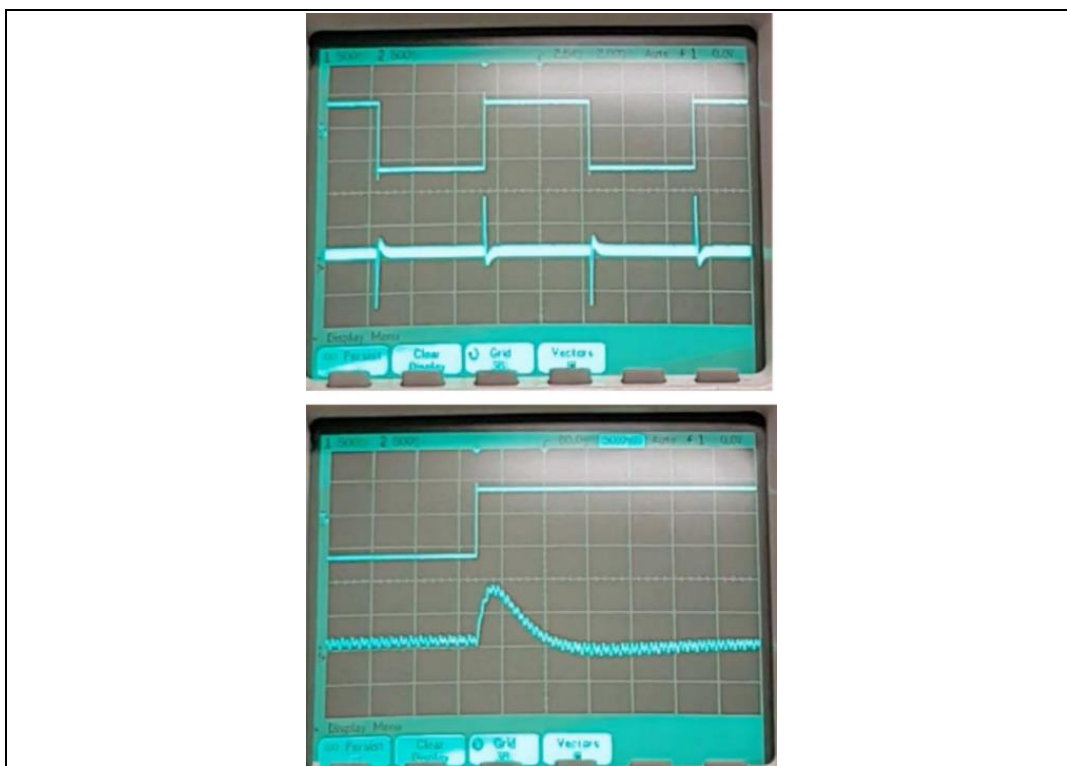
Frekvencia: 100Hz

Amplitúdó: 1Vpp

Jelalak: négyszög

Kitöltési tényező: 50%

$\zeta=1$



A perturbáló jel paraméterei:

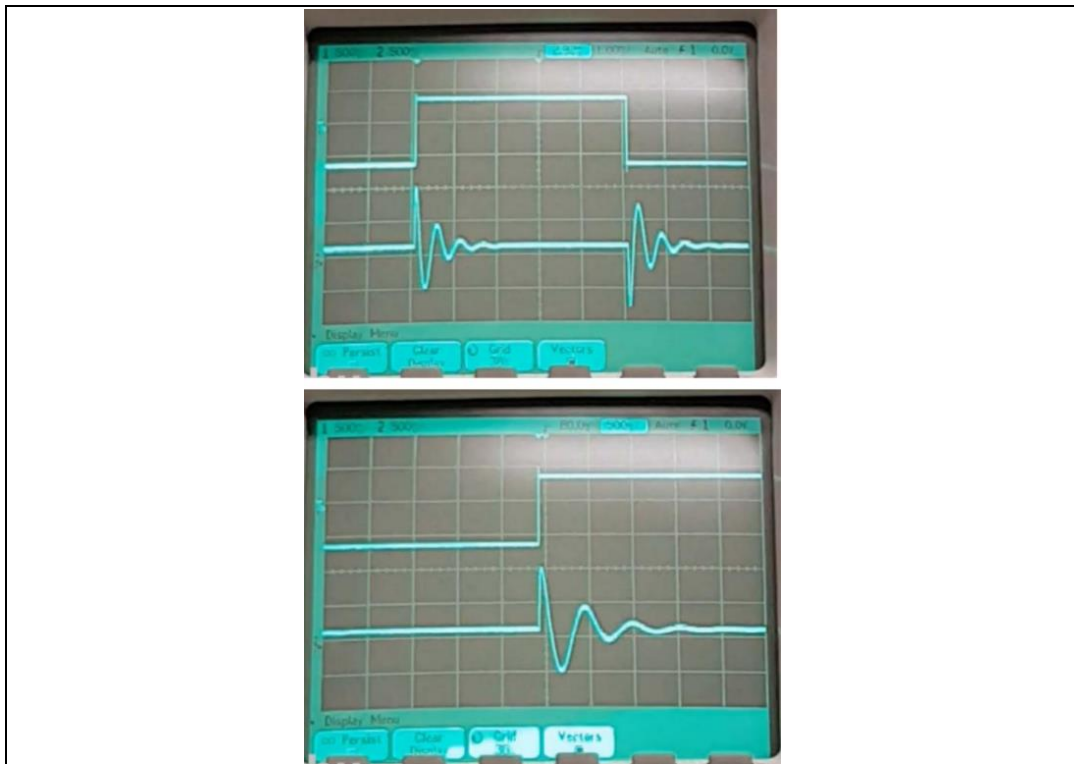
Frekvencia: 100Hz

Amplitúdó: 1Vpp

Jelalak: négyszög

Kitöltési tényező: 50%

$\zeta=0.25$



Értékelés:

A PD utáni kapcsoló először felső állásban van, majd a $\zeta=0.25$ -höz az alsó állásba kell billenteni.



9-16. ábra. Különböző csillapítási tényezőjű rendszer válasza az időtartományban, perturbációra: a) $\zeta=3$, b) $\zeta=0,3$; c) $\zeta=1$

A jelalakok a vártnak megfelelnek, mivel az első esetben a jelalak hasonlít a c ábrára és a $\zeta=0,25$ -hoz tartozó jelalak hasonlít a b-re.

Kisebb csillapítás esetén a VCO-ra adott négyszögjelre a kimeneti jelalak lengése hosszabb lesz és hulámosabb.