

Sistemet Elektronike

LAB. 1: ÇIFTI DIFERENCIAL

Piro Gjikhima

Inxhinieri Informatike - II B

Tiranë më: 26/03/2024

FAKULTETI I TEKNOLOGJISË SË INFORMACIONIT | UNIVERSITETI POLITEKNIK I TIRANËS

1. Amplifikatori diferencial me transistor MOSFET

Ndërtoni në Multisim qarkun e paraqitur në figurën 1.

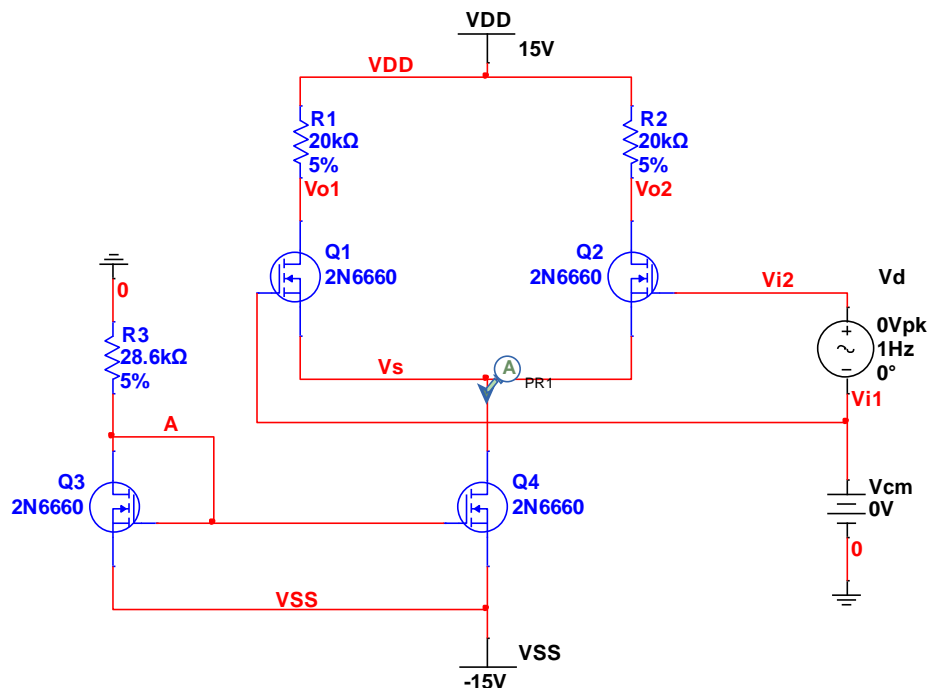


Fig. 1: Skema elektrike e amplifikatorit diferencial me transistor MOSFET me kanal n .

Vendosni një *probe* (ampermetër) në derdhjen e transistorit Q4 për të matur rrymën.

2. Analiza e pikës së punës në DC

Simulate -> Analyses and Simulation -> DC operating Point -> Output -> Selected variables for analysis: -> Run

a) Zgjidhni për analizë parametrat e paraqitur në tabelën 1.

Tab. 1 DC operating Point

Nr.	Parametër	Parametër	Vlera e matur
1	Tensioni në hyrje në portën 1	V_{i1}	0 V
2	Tensioni në hyrje në portën 2	V_{i2}	0 V
3	Tensioni në derdhjen 1	V_{o1}	10.36606 V
4	Tensioni në derdhjen 2	V_{o2}	10.36606 V
5	Rryma në rezistencën 1 (Derdhja e Q1)	I_{R1}	231.69684 μ A
6	Rryma në rezistencën 2 (Derdhja e Q2)	I_{R2}	231.69684 μ A
7	Rryma në derdhjen e Q4	I_{PR1}	461.96320 μ A
8	Rryma në rezistencën 3 (Derdhja e Q3)	I_{R3}	461.96320 μ A
9	Tensioni në portën e Q3 dhe Q4	V_a	-13.2122 V
10	Tensioni në burimin e Q1 dhe Q2	V_s	-1.76948 V

b) Për sa më sipër, përcaktoni tensionin VGS për të katërt transistorët.

$V_{GS1} = 1.76948$ V; $V_{GS2} = 1.76948$ V; $V_{GS3} = 1.78785$ V; $V_{GS4} = 1.78785$ V;

- c) Sipas analizës teorike, në çfarë relacioni janë rrymat e derdhjeve të transistorëve mes tyre (nëse ka një të tillë)? Jepni një shpjegim të shkurtër.

Nga tabela Nr.1 që na jep të dhëna për parametrat DC të tranzitoreve, vihet re menjëherë, se rrymat në derdhjet e transistorëve Q1 dhe Q2, është e barabartë. Vëmë re, se rryma I_{PR1} që del nga burimi i rrymës (çifti i transistorëve Q3 dhe Q4 përdoret si burim rryme për skemën e çiftit diferencial) ndahet në dy pjesë të barabarta, $I_{R1} = I_{R2}$. Pra, provohet se gjatë funksionimit me tension Common Mode (i mënyrës së përbashkët, CM), në qoftë se tensioni CM i aplikuar, është i tillë që qëndron brenda kufijve të lejuar, domethënë sigurohet një V_{CMmin} e nevojshme për funksionimin e burimit të rrymës dhe V_{CMmax} e nevojshme që Q1 e Q2 të mos dalin nga zona e ngopjes, rryma e derdhjes është sa gjysma e asaj të burimit të rrymës.

- d) Sipas analizës teorike, tensionet në derdhje të Q1 dhe Q2 në këtë analizë si janë mes tyre dhe në lidhje me tensionet në portat përkatëse? Jepni një shpjegim të shkurtër.

Shihet se, tensionet në derdhjet e Q1 dhe Q2 janë të barabarta. Ky rezultat rrjedh nga fakti se tensioni në derdhje varet nga rryma e derdhjes I_{R1} (apo I_{R2} tek Q2) $V_D = V_{O1} = V_{DD} - I_{R1} * R1$, meqenëse parametri i rrymës është i barabartë në dy derdhjet dhe rezistencat polarizuese janë të barabarta, atëherë tensionet në derdhje janë të barabarta (termi $I_{R1} * R1 = I_{R2} * R2$). Tensioni në të dyja portat është 0.

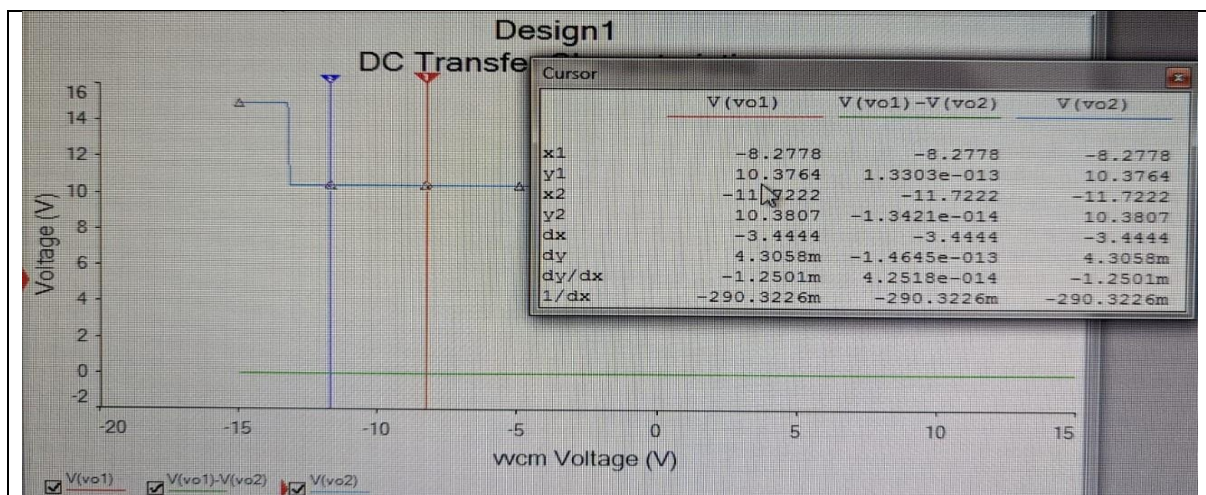
3. Analiza për sinjale

- a) Bëni analizën për ndryshime të sinjalit Vcm nga -15V deri në 15V dhe shpjegoni rezultatin.

Simulate -> Analyses and Simulation -> DC Sweep -> "Zgjedhja e parametrave si më poshtë" -> Run

- Analysis parameters -> Source 1: VCM; Start: -15V; Stop: 15V; Increment 0.01V
- Output -> Selected variables for analysis: -> Vo1; Vo2; Vo1-Vo2;

Paraqisni një imazh të grafikut tension-tension që shfaqet në simulator.



Interpretoni grafikun sidomos për tension në hyrje më të vogël se -13V. Në çfarë gjendje janë transistorët për këtë vlerë të tensionit në hyrje?

Me ndryshimin e këtij tensioni në hyrje, a kemi ndryshim në tensionin në dalje? Pse? Argumentoni shkurtimisht përgjigjet.

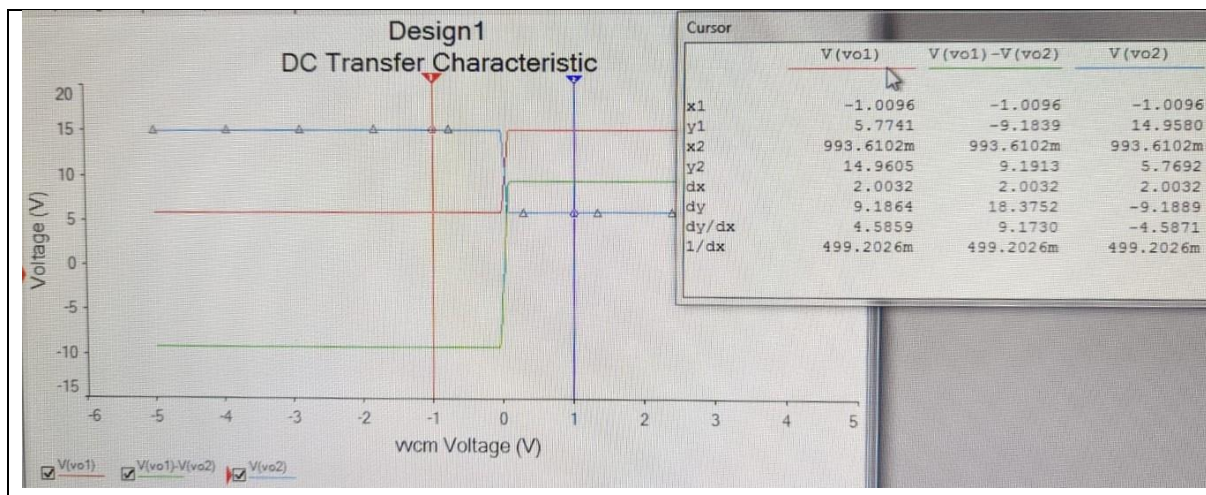
Vlerësojmë, së pari situatën për vlera tensioni të mënyrës së përbashkët V_{CM} , mbi -13 V. Vihet re lehtësisht, se për ndryshime të këtij tensioni mbi këtë vlerë, nuk vihen re ndryshime në tensionin e matur në derdhjet e Q1 dhe Q2 (V_{o1} e V_{o2}), pra provojmë konkluzionin teorik se qarku nuk i përgjigjet tensionit të mënyrës së përbashkët, për sa kohë V_{CM} nuk tejkalon kufijtë e lejuar. Nga ana tjetër shohim se qarku ndryshon sjellje për tensione V_{CM} nën vlerën -13 V. Po të analizojmë me kujdes skemën do të kuptojmë, se kjo vlerë është nën kufirin e lejuar V_{CMmin} i cili përmbledh në vetvete edhe tensionin e nevojshëm që siguron mirëfunksionimin e skemës gjeneruese të rrymës. Vlerat nën -13 V, i çojnë Q3 e Q4 në zonën e prerjes, duke reduktuar thuajse në 0 A, rrymën I, e për rrjedhojë, meqenëse tensionet në derdhjet e Q1 e Q2, janë funksion i kësaj rryme ($V_o = V_D = V_{DD} - I_D * R_D$), siç vihet re nga formula, me zvogëlimin e I_D , tensioni në dalje bëhet thuajse sa V_{DD} gjë që konfirmohet edhe nga grafiku më lart. Arrijmë, kështu konkluzionin se, vlera (afërsisht) -13 V është kufiri minimal i lejuar, që skema e çiftit diferencial të funksionojë siç duhet.

b) Bëni analizën për ndryshime të sinjalit V_d nga -15V deri në 15V dhe shpjegoni rezultatin.

Simulate -> Analyses and Simulation -> DC Sweep -> "Zgjedhja e parametrave si më poshtë" -> Run

- Analysis parameters -> Source 1: V_D ; Start: -5V; Stop: 5V; Increment 0.01V
- Output -> Selected variables for analysis: V_{o1} ; V_{o2} ; $V_{o1}-V_{o2}$;

Paraqisni një imazh të grafikut tension-tension që shfaqet në simulator.

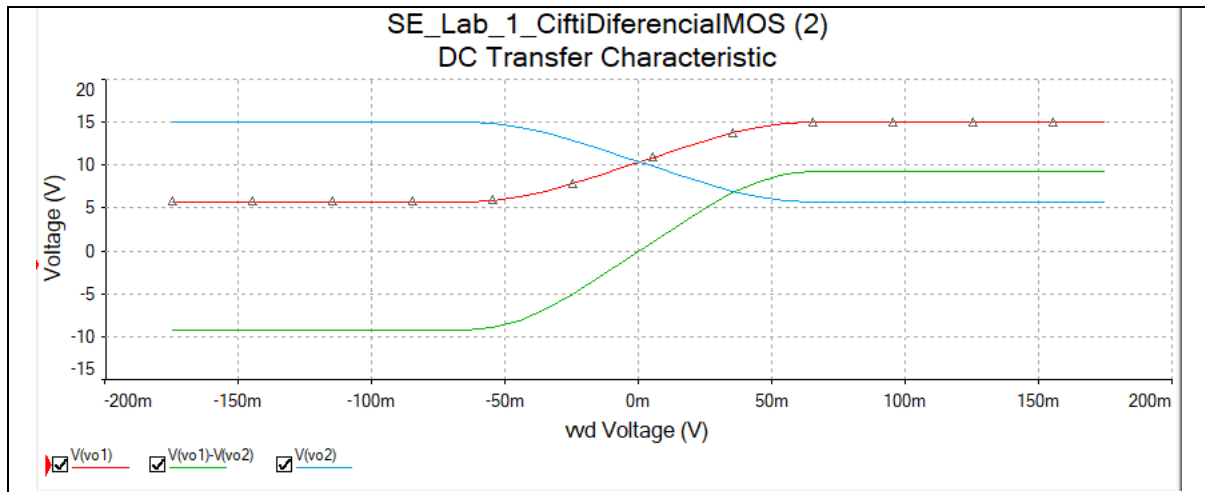


Interpretoni grafikun sidomos për tension në hyrje në diapazonin -150mV : +150mV. Në çfarë gjendje janë transistorët për këtë vlerë të tensionit në hyrje?

Me ndryshimin e këtij tensioni në hyrje, a kemi ndryshim në tensionin në dalje? Pse? Argumentoni shkurtimisht përgjigjet.

Vëmë re, se në ndryshim nga pika a, sinjali i tensionit V_d ndikon në qarkun e amplifikatorit. Ajo që është me rëndësi të theksohet, së pari, polariteti i tensionit diferencial në dalje ($V_{o1} - V_{o2}$), ruan polaritetin e sinjalit në hyrje. Së dyti, amplifikatori punon në zonën lineare në diapazonin e vlerave -150 mV : 150 mV (më poshtë do të tregojmë se është një interval akoma më i vogël), jashtë këtij intervali, sinjali në hyrje pëson deformime, transistorët dalin nga zona e ngopjes. Së treti, tensioni diferencial në dalje amplifikohet (amplifikatori kryen funksionin e tij normal).

Paraqisni grafikun e mësipërm të zmadhuar për tension në hyrje në diapazonin -150mV : +150mV. Gjeni diapazonin e tensionit në hyrje për të cilin ky amplifikator është linear.



Shpjegoni shkurtimisht funksionimin e amplifikatorit sipas këtij grafiku dhe zonën e tij lineare.

Zona lineare e amplifikatorit është mbi vlerën -50 mV, për tensione negative në hyrje, dhe nën vlerën 50 mV për tensione pozitive në hyrje. Në këtë diapazon vlerash, i cili kënaq shprehjen $-\sqrt{2}V_{OV} \leq v_{id} \leq \sqrt{2}V_{OV}$ tensioni në dalje amplifikohet, por nuk deformohet. Për vlera tensioni në hyrje që nuk janë pjesë e këtij diapazoni do të vëmë re që rrymat në derdhjet e transistorëve do të mbeteshin konstante e si rrjedhojë dhe tensionet në derdhje po ashtu.

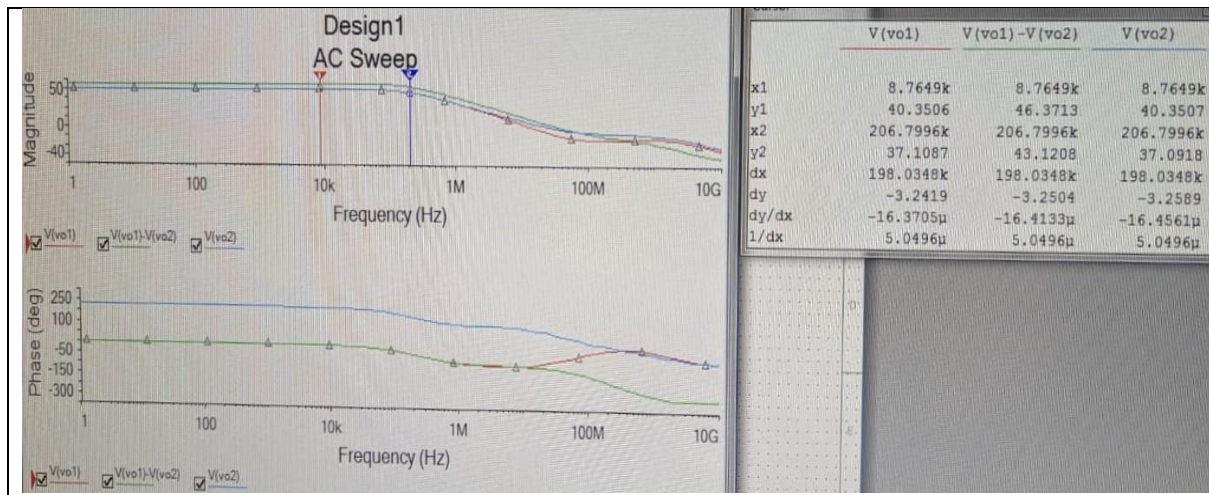
4. Analiza në frekuencë dhe funksioni i transferimit

Për qarkun e ndërtuar bëni analizën në frekuencë dhe në veçanti vlerësoni amplifikimin diferencial A_d të daljes diferenciale dhe asaj me dalje të vetme (*single ended*) në shkallë logaritmike (dB), krahasimi midis tyre dhe pritshmërisë teorike;

Simulate -> Analyses and Simulation -> AC Sweep -> "Zgjedhja e parametrave si më poshtë" -> Run

- Frequency parameters: Vertical scale: Decibel
- Output -> Selected variables for analysis: -> Vo1; Vo2; Vo1-Vo2;

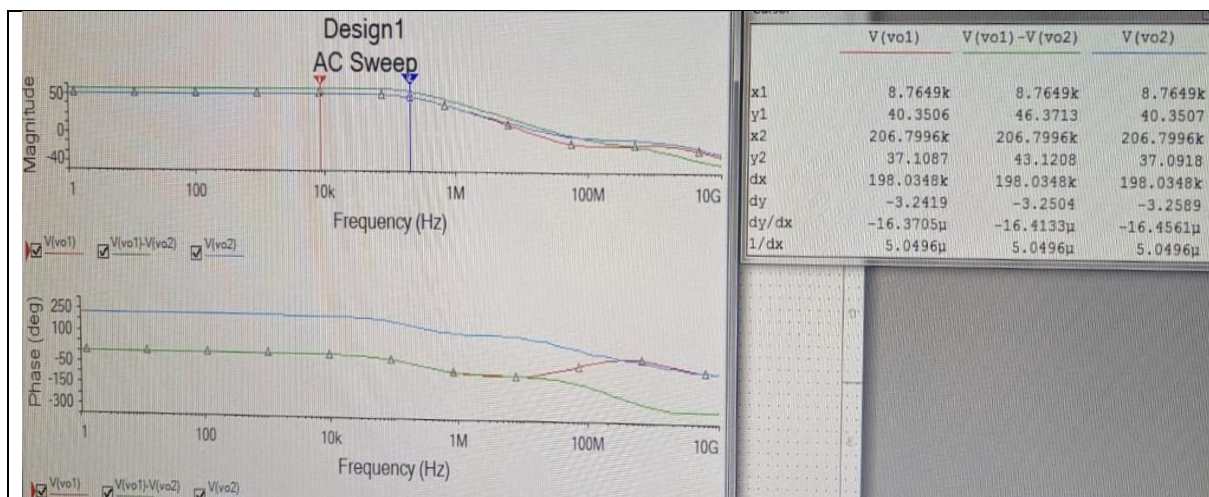
Paraqisni një imazh të grafikut *frekuencë – amplifikim* të diagramës Bode përkatëse



Krahasoni amplitudat e tre grafikëve si dhe interpretoni diferencën në rastin e daljes diferenciale kundrejt asaj të vetme. Gjeni frekuencën e prerjes së lartë. Shpjegoni shkurtimisht grafikët.

Nga grafiku frekuencë-amplifikim, vihet re se dalja diferenciale ka nivel më të lartë amplifikimi në vlerën 46 dB, ndërsa daljet e vetme, janë rreth 6 dB më pak, në vlerën 40 dB. Frekuenca e prerjes së lartë është aty ku amplituda bie me 3 dB, e cila përputhet për të dy rastet, si në daljen diferenciale po ashtu edhe në atë të vetme, kjo frekuence është në vlerën 145 kHz. Arsyeja e një amplifikimi më të lartë në daljen diferenciale lidhet me faktin se, sinjalet e mënyrës së përbashkët eliminohen dhe nuk ndikojnë. Kur sinjalet në hyrje në çiftin diferencial janë identikë, ato krijojnë një sinjal të mënyrës së përbashkët që shfaqet në të dy derdhjet me të njëjtin intensitet. Ky sinjal i mënyrës së përbashkët anulohet nga dalja diferenciale sepse është diferenca midis dy derdhjeve.

Paraqisni një imazh të grafikut *frekuencë – fazë* të diagramës Bode përkatëse.



Shpjegoni shkurtimisht grafikun e fazës dhe në veçanti fazën e grafikut Vo1, Vo2 dhe Vo1-Vo2.

Nga grafiku frekuenca-fazë shohim se shfazimi i sinjalit diferencial në dalje është 0, deri sa arrihet frekuenca e prerjes së lartë, 145 kHz, përtej kësaj frekuencë sinjali pëson një shfazim prej -45 gradë/dekadë. Për sa i përket sinjaleve për dalje të vetme, shohim se sinjali në daljen V_{o2} është i shfazuar me 180 gradë kundrejt V_{o1} . Sjellja e shfazimit të sinjaleve, përtej frekuencës së prerjes së lartë, ruan të njëjtën logjikë si në atë me dalje diferenciale.

5. Analiza për sinjal diferencial në kohë

Për qarkun e ndërtuar, përdorni oshiloskopin për të parë sinjalin në hyrje V_d dhe atë në dy derdhjet (V_{o1} dhe V_{o2}). Për këtë vendosni $V_{cm} = 5V$ dhe $V_d = 10mV_{pk}$ ($V_{pk} = \text{Volt} - \text{pik} = \text{“Amplituda e sinjalit”}$) për rastin a) dhe $V_d = 100mV_{pk}$ për rastin b) si më poshtë:

Simulate -> Analyses and Simulation -> Interactive -> Run

Konfiguroni oshiloskopin si:

- Timebase: 1ms/Div
- Channel_A: 2V/Div; Channel_B: 2V/Div; Channel_C: 50mV/Div;

Për konfigurimin e oshiloskopit kujtoni njohuritë e marra në lëndën “Matjet Elektronike”. Për sa më sipër është supozuar që në kanal A të jetë lidhur V_{o1} , në kanal B: V_{o2} dhe në kanal C të jetë lidhur V_d si në figurën 2.

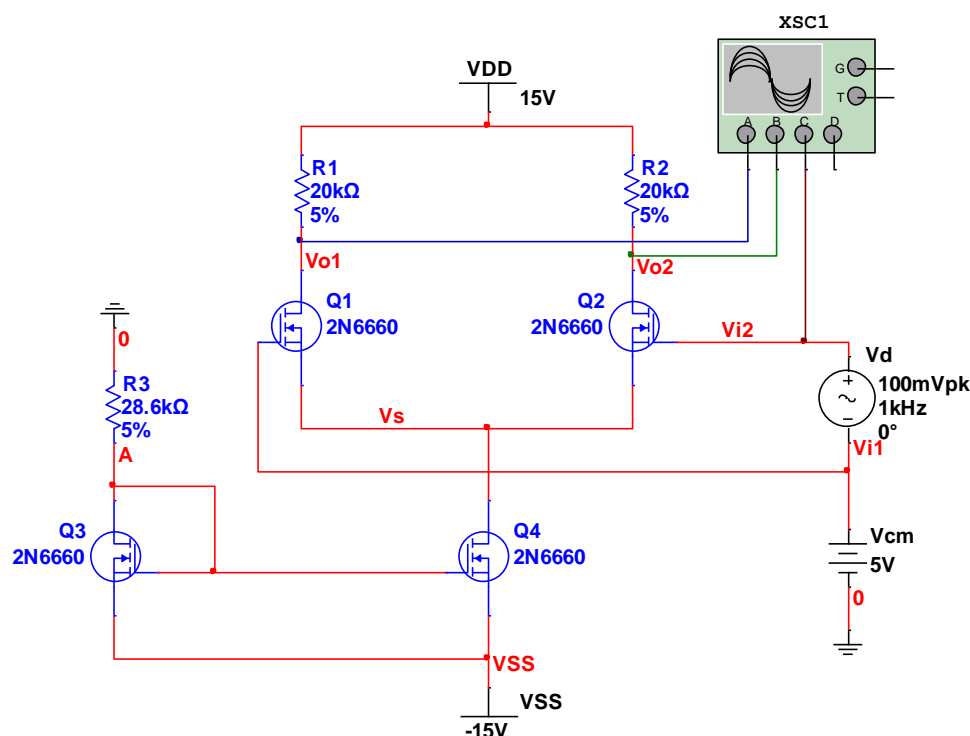
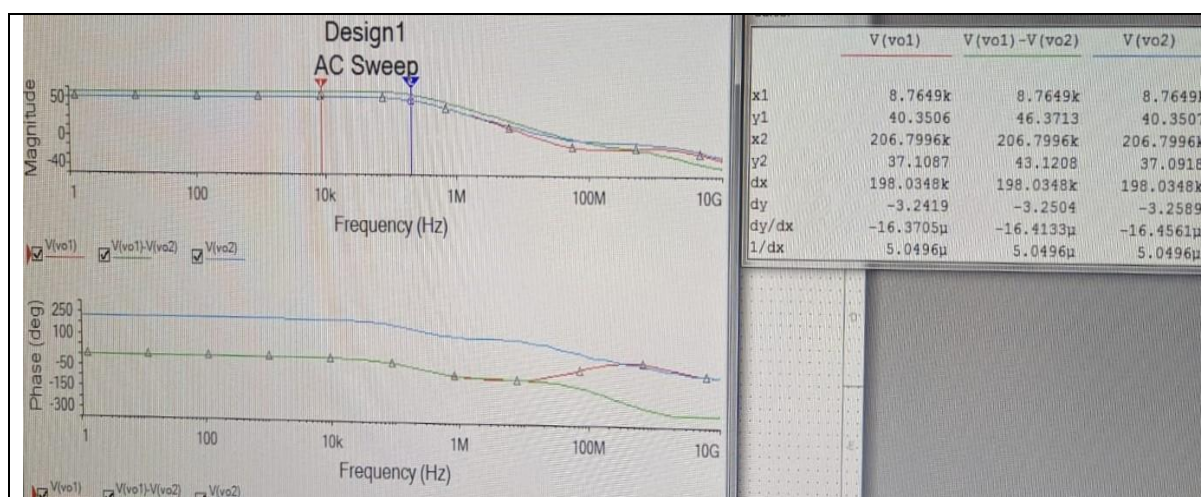


Fig. 2: Përdorimi i oshiloskopit për të analizuar sinjalin në hyrje dhe dalje.

a) Për sinjal $V_d = 10mV_{pp}$ dhe frekuencë 1kHz, shikoni dhe mateni sinjalin në dalje.

Jepni një figurë të plotë të oshiloskopit me sinjalet, ku të dallohen të paktën 4 perioda të tyre.

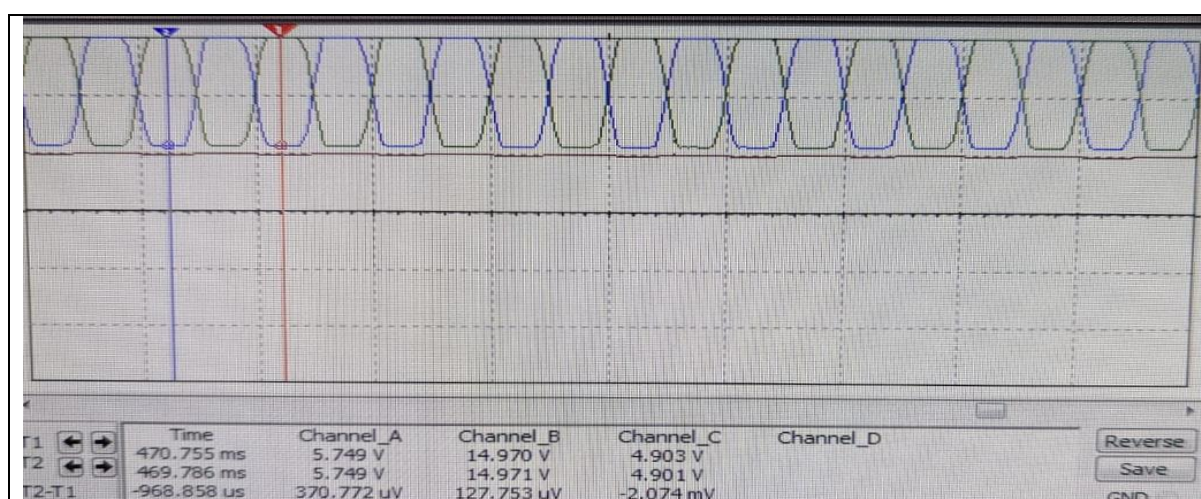


Përshkruani sinjalet që vështrojnë si dhe jepni raportin e (sinjal në dalje)/(sinjal në hyrje) për të përcaktuar faktorin e përforcimit dhe krahasojeni me atë të marrë nga diagrama Bode.

Nga paraqitja e sinjaleve në oshiloskop, shohim se sinjali në dalje, ruan të njëjtën formë dhe shenjë, si sinjali në hyrje (nuk shfaqen shformime). Sinjali i njëres nga derdhjet është i shfazuar me 180 gradë kundrejt hyrjes dhe derdhjes tjetër. Vëmë re, po ashtu se sinjali është i amplifikuar, po të marrim vlerat peak-to-peak, raporti (sinjal në dalje)/(sinjal në hyrje) është : $1.036 / 0.00998 \text{ (V/V)} = 103.8076 \text{ (V/V)}$, në shkallë lineare, po të kalojmë në shkallë logaritmike (në dB): $20 \log(103.8076) = 20 \times 2.0162 = 40.16 \text{ dB}$. Po të kthehemi dhe të shohim grafikun frekuencë-amplitudë të diagramës BODE, do të shohim se niveli i amplifikimit për frekuencën 1 kHz, përputhet me rezultatin e marrë

- b) Risni amplitudën e sinjalit diferencial në hyrje në vlerën $V_d = 100 \text{ mVpp}$ dhe analizoni sinjalin në hyrje dhe dalje me anë të oshiloskopit.

Jepni një figurë të plotë të oshiloskopit me sinjalet ku të dallohen të paktën 4 perioda të tyre.



Shpjegoni ndryshimin që vini re kundrejt rastit të parë. Sa është faktori i përforcimit në këtë rast? Si është forma e sinjalit në dalje krahasuar me rastin e parë dhe a është ajo një version i amplifikuar i sinjalit në hyrje? Çfarë ka ndodhur?

Vihet re, menjëherë deformimi i sinjalit në dalje krahasuar me atë në hyrje. Në këtë situatë, nuk flasim dot për faktor amplifikimi, meqenëse tensioni i aplikuar është jashtë diapazonit të vlerave që çifti diferencial punon në zonën lineare. Për shkak të daljes nga kjo zonë, transistorët kalojnë nga zona e ngopjes në atë të triodës, çka sjell prerjen e sinjalit duke i dhënë atij ndryshime të padëshirueshme.

6. Përfundime

Përshkruani shkurtimisht pikat kyçe të këtij laboratorit dhe të rezultateve të marra.

1. Çifti diferencial nuk është i ndjeshëm ndaj mënyrës së përbashkët. Në qoftë se në hyrje të çiftit diferencial aplikojmë një tension CM, brenda kufijve të lejuar, duke supozuar që rezistencat në derdhje janë të barabarta dhe transistorët janë identikë midis tyre, vërehet se rrymat në derdhje do të ndahen në mënyrë të barabartë.
2. Provuam se në vlera tensioni V_{CM} nën -13 V, skema dilte nga regjimi normal i punës. Kur në hyrje të çiftit diferencial, u aplikua tension diferencial, ai reagoi ndaj tij duke nxjerrë një sinjal diferencial në dalje, me të njëjtin polaritet dhe të amplifikuar. Ky sinjal duhej të ishte në diapazonin -50 mV : 50 mV.
3. Analiza në frekuencë dhe fazë, e amplifikatorit, na tregoi se brezi i frekuencave për të cilat amplifikimi është konstant dhe nuk ka shfazime (shtesë) është nga 1 Hz në 145 kHz. Në këto frekuenca amplifikimi është në nivelin 46 dB për daljen diferenciale dhe 40 dB, për daljen e vetme.
4. Nga analiza në kohë për sinjalet diferenciale, pamë se si ishte forma e sinjalit në dalje kur ai ne hyrje ishte brenda intervalit 50 mV : 50 mV, si dhe rastin kur ishte jashtë tij. Për rastin e parë, pamë qartësisht se sinjali amplifikohet dhe dalja ishte kopje identike e hyrjes. Ndërsa në rastin tjetër, u vunë re deformimet që pësonte sinjali si pasojë kalimit të transitoreve në zonën e triodës.

7. Referenca:

1. A. S. Sedra, K. C. Smith, Microelectronic Circuits, 7th Edition, Oxford University Press, 2014
2. A. Rakipi, E. Agastra, "Sistemet Elektronike – Konspekte Leksionesh", FTI-UPT, 2020
3. E. Agastra, A. Rakipi, "Sistemet Elektronike – Ushtrime të zgjidhura", FTI-UPT, 2020