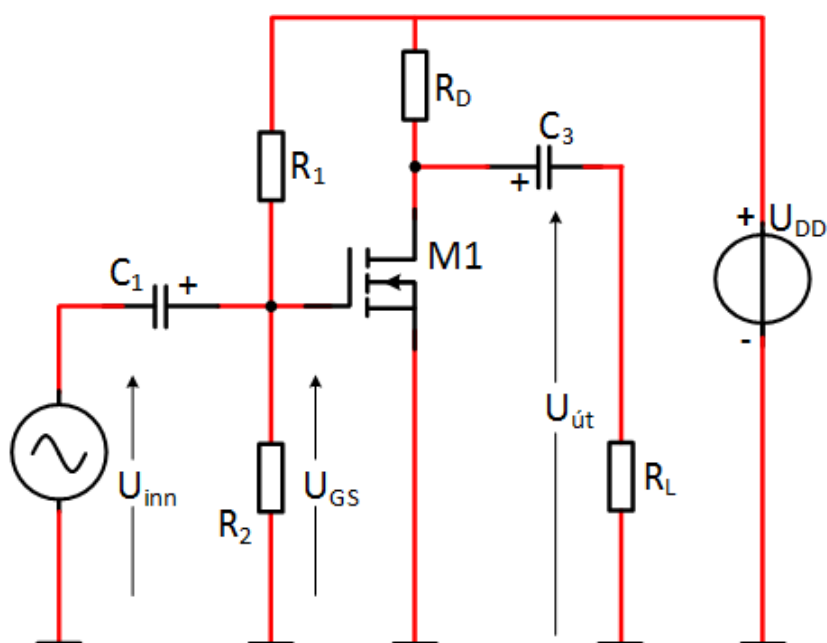


Rafbók



## Rafeindafraeði 14. hefti

FET- og MOSFET magnarar

Sigurður Örn Kristjánsson

Bergsteinn Baldursson

Þetta hefti er án endurgjalds á rafbókinni [www.rafbok.is](http://www.rafbok.is).  
Allir rafiðnaðarmenn og rafiðnaðarnemar geta fengið  
aðgang án endurgjalds að rafbókinni.

Heimilt er að afrita textann til fræðslu í skólum sem reknir eru fyrir opinbert fé án  
leyfis höfundar eða Fræðsluskrifstofu rafiðnaðarins. Hvers konar sala á textanum  
í heild eða að hluta til er óheimil nema að fengnu leyfi höfundar og  
Fræðsluskrifstofu rafiðnaðarins.

Höfundar eru Sigurður Örn Kristjánsson og Bergsteinn Baldursson.  
Umbrot í rafbók Báru Halldórsdóttir.

Vinsamlegast sendið leiðréttingar og athugasemdir til höfundar [sqk@tskoli.is](mailto:sqk@tskoli.is)  
eða til Báru Halldórsdóttur á netfangið [bara@rafnam.is](mailto:bara@rafnam.is)

---

**Rafeindafræði 14. hefti – FET og MOSFET magnarar -**

---

**Efnisyfirlit**

1. FET magnarar .....	3
1.1 Ac - jafngildismynd ( <i>Equivalent Circuit</i> ) .....	4
1.3 Spennumögnun ( <i>Voltage Gain</i> ) .....	4
1.3.1 Dæmi .....	5
1.4 Áhrif $r'_{ds}$ mótstöðunnar á mögnun .....	5
1.5 Áhrif ytri <i>source</i> - mótstöðu $R_S$ á spennumögnun .....	5
1.5.1 Dæmi .....	7
2. Sameiginlegur <i>common - source amplifiers</i> .....	7
2.1 JFET magnarar ( <i>JFET Amplifier</i> ) .....	7
2.2 Jafnspennugreining ( <i>DC Analysis</i> ) .....	9
2.3 Áhrif álagsmótstöðu á spennumögnun .....	11
2.3.1 Dæmi .....	11
2.4 Fasasnúningur ( <i>Phase Inversion</i> ) <i>Common-Source</i> (CS) magnara .....	11
2.5 Inngangsmótstaða <i>Common-Source</i> (CS) magnara ( <i>Input Resistance</i> ) .....	11
2.5.1 Dæmi .....	12
2.6 <i>Common-Source</i> Latfeta magnari .....	12
2.6.1 Dæmi .....	13
2.7 <i>Common – Source</i> hvatfeta magnari .....	13
2.7.1 Dæmi .....	15
3. Mælingar .....	16
4. Jöfnur .....	19
5. Hvernig mæli ég mögnun .....	20
6. Hvernig mæli ég fasvik .....	21
7. Hvernig mæli ég inngangsmótstöðu magnara .....	22
8. Hvernig mæli ég útgangsmótstöðu magnara .....	23
9. Svör .....	24

## 1. FET magnarar

Í síðasta kafla lærðum við hvernig hægt er að forspenna FET transistora og höldum áfram með það fyrir magnara sem nota FETa. Þeir eru vegna hárrar inngangsmótstöðu og annara einkenna frekar notaðir í ýmsum rásum heldur en BJT transistora. Þrjár gerðir FET magnara fyrirfinnast. FET tengdur *Common-source* (með sameiginlega lind), *Common-drain* (sameiginlegan svelg) og *Common-gate* (sameiginlega gátt).

### Markmið

- Skýra mögnunareiginleika FET transistora
- Skýra virkni FET, tengdan í *Common-source* (sameiginlega lindartengingu)
- Skýra virkni FET, tengdan í *Common-drain* (sameiginlega svelgtengingu)
- Skýra virkni FET, tengdan í *Common-gate* (sameiginlega gáttartengingu)

### FET MÖGNUN

Í þessum kafla lærum við um mögnunareiginleika FET transistora og hvernig ýmsir fastar (*Parameters*) og rásahlutir hafa áhrif á hana. Við búum til einfalda ac - jafngildismynd af FET til skýringar á mögnunarferlinum. Eftir lestur þessa kafla átt þú að vera fær um að

- skýra mögnunareiginleika FET transistors
- skýra FET fasta sem eru notaðir í jafngildismynd af FET
- skýra spennumögnun í FET transistorum
- skýra hvaða áhrif innri mótstaðan sem liggur á milli *drain-to-source* (svelgs og lindar) hefur áhrif á spennumögnun
- Skýra áhrif ytri lindarmótstöðu (*external source resistance*) á mögnun

Bratti (*transconductance*) í FET transistorum er skilgreindur sem:

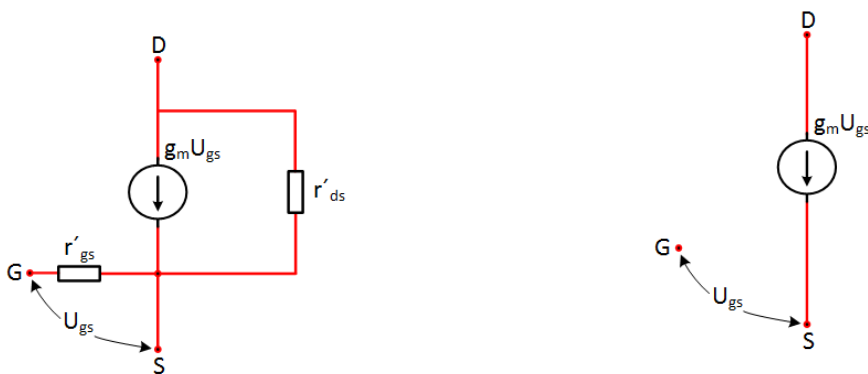
$$g_m = \frac{\Delta I_D}{\Delta U_{GS}}$$

Ef notuð eru meðalgildi spennu og straums fæst:

$$g_m = \frac{I_d}{U_{GS}} \Rightarrow I_d = g_m \cdot U_{GS}$$

### 1.1 Ac - jafngildismynd (*Equivalent Circuit*)

Ac -jafngildismynd fyrir FET er sýnd á mynd 1a og mynd 1b. Á mynd 1a er innri mótstaðan milli *gate* og *source* (gáttar og lindar)  $r'_{gs}$  sýnd. Einnig er innri mótstaðan milli *drain* og *source* (svelgs og lindar)  $r'_{ds}$  sýnd. Á mynd 1b er búið að einfalda líkanið. Þar er gengið út frá því að innri mótstaðan milli *drain* og *source* (svelgs og lindar)  $r'_{ds}$  og innri mótstaðan milli *gate* og *source* (gáttar og lindar)  $r'_{gs}$  stefni á óendanlega stærð.



Mynd 1a. Jafngildismynd.

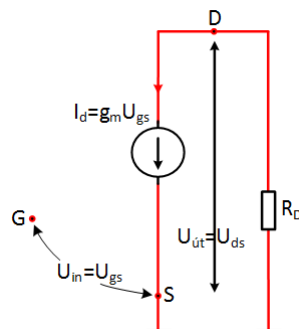
Mynd 1b. Einfölduð jafngildismynd.

Mynd 1. Jafngildismynd FET transistora.

### 1.3 Spennumögnun (*Voltage Gain*)

Einfölduð jafngildismynd með ytri svelgmótstöðu  $R_D$  er sýnd á mynd 2. Spennumögnun  $A_u$  rásarinnar er skilgreind sem

$$A_u = \frac{U_{út}}{U_{in}} = \frac{U_{ds}}{U_{gs}} = \frac{I_d \cdot R_d}{\frac{I_d}{g_m}} \Rightarrow A_u = g_m \cdot R_D$$



Mynd 2. Einfölduð jafngildismynd FET með ytri mótstöðu á drain (svelg).

---

**Rafeindafræði 14. hefti – FET og MOSFET magnarar -**


---

**Sýnidæmi:**

Finnið spennumögnun í JFET transistor sem hefur  $g_m = 4 \text{ mS}$  og er tengdur við *drain*-mótstöðu sem er  $1,5 \text{ k}\Omega$ ?

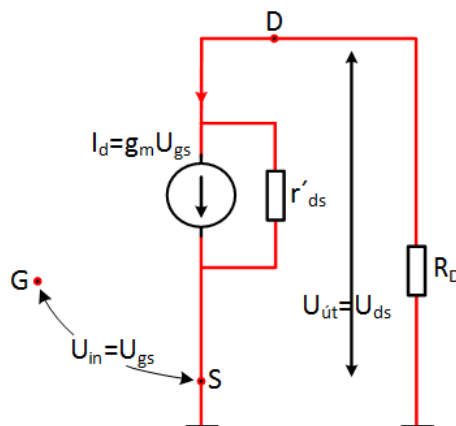
$$A_u = g_m \cdot R_D = 4 \text{ mS} \cdot 1,5 \text{ k}\Omega = 6$$

**1.3.1 Dæmi**

- a) Finnið spennumögnun í JFET transistor sem hefur  $g_m = 6000 \text{ }\mu\text{S}$  og er tengdur við *drain*-mótstöðu sem er  $2,2 \text{ k}\Omega$ ?

**1.4 Áhrif  $r'_{ds}$  mótstöðunnar á mögnun**

Ef tekið er tillit til mótstöðunnar milli *drain* og *source* (svelgs og lindar) í mögnunarútreikningum, þar sem innrimótstaðan  $r'_{ds}$  hliðtengist yfir ytri mótstöðuna  $R_D$ , verður hún samkvæmt mynd 3



Mynd 3. Jafngildismynd FET með ytri mótstöðu á drain (svelg).

$$A_u = \frac{U_{út}}{U_{in}} = g_m \cdot \left[ \frac{R_D \cdot r'_{ds}}{R_D + r'_{ds}} \right]$$

Ef mótstaðan  $r'_{ds}$  er verulega stærri er  $R_D$  ( $r'_{ds} \geq 10R_D$ ) verður mögnunin samkvæmt jöfnu 1 annars þarf að taka tillit til hennar í mögnunar útreikningum.

**1.5 Áhrif ytri *source* - mótstöðu  $R_S$  á spennumögnun**

Ef tengd er ytri *Source*-mótstaða  $R_S$  til jarðar fæst ac jafngildislínurit eins og sýnt er á mynd 4 og spennumögnunin sem er háð *Source*-mótstöðunni (lindarmótstöðunni) verður

---

**Rafeindafræði 14. hefti – FET og MOSFET magnarar -**

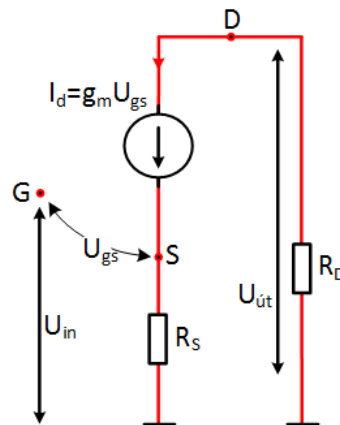

---

$$U_{út} = g_m \cdot U_{gs} \cdot R_D$$

$$U_{in} = U_{gs} + U_{RS} = U_{gs} + g_m \cdot U_{gs} \cdot R_S = U_{gs}(1 + g_m \cdot R_S)$$

$$A_u = \frac{U_{út}}{U_{in}} = \frac{g_m \cdot U_{gs} \cdot R_D}{U_{gs}(1 + g_m \cdot R_S)} \Rightarrow$$

$$A_u = \frac{U_{út}}{U_{in}} = \frac{g_m \cdot R_D}{(1 + g_m \cdot R_S)}$$



Mynd 4. Einföld jafngildismynd með source-mótstöður.

**Sýnidæmi:**

Finnið mögnun FET rásar eins og sýnd er á mynd 4, ef  $g_m = 4 \text{ mS}$ ,  $R_S = 560 \Omega$  og  $R_D = 1,5 \text{ k}\Omega$ .

**Lausn:**

$$A_u = \frac{U_{út}}{U_{in}} = \frac{g_m \cdot R_D}{(1 + g_m \cdot R_S)} = \frac{4 \text{ mS} \cdot 1,5 \text{ k}\Omega}{(1 + 4 \text{ mS} \cdot 560 \Omega)} = 1,85$$

---

## Rafeindafræði 14. hefti – FET og MOSFET magnarar -

---

### 1.5.1 Dæmi

- b) Finnið mögnun FET rásar eins og sýnd er á mynd 4, ef  $g_m = 3,5 \text{ mS}$ ,  $R_S = 330 \Omega$  og  $R_D = 1,8 \text{ k}\Omega$ ?
- c) FET, tengdur samkvæmt mynd 2, hefur bratta sem er  $3000 \mu\text{S}$ . Annar FET hefur bratta sem er  $3,5 \text{ mS}$ . Hvor transistorinn hefur hærri mögnun ef allir aðrir íhlutir eru eins?
- d) Hver er spennumögnun FET transistors, tengdur samkvæmt mynd 2, sem er með bratta sem er  $2500 \mu\text{S}$  og  $R_D$  mótstöðu sem er  $10 \text{ k}\Omega$ ?
- e) Tveir FET transistorar, tengdur samkvæmt mynd 3, hafa sama brattann. Annar er með  $r'_{ds} = 100 \text{ k}\Omega$  en hinn  $r'_{ds} = 50 \text{ k}\Omega$ . Hvor transistorinn hefur meiri spennumögnun ef  $R_D = 10 \text{ k}\Omega$ ?

## 2. Sameiginlegur *common - source amplifiers*

Eftir lestur þessa kafla átt þú að vera fær um að

- skýra út JFET og MOSFET *Common-Source* (lindartengda) magnara
- finna dc - spennugildi í *Common-Source* tengdum mögnurum
- búið til ac - jafngildismynd og reiknað mögnun í CS-tengdum mögnurum
- skýra út hvaða áhrif álag hefur á spennumögnun
- skýra út fasasnúning í CS-mögnurum í CS-tengdum mögnurum
- ákveða inngangsmótstöðu  $R_{in}$  í CS-magnara

### 2.1 JFET magnarar (*JFET Amplifier*)

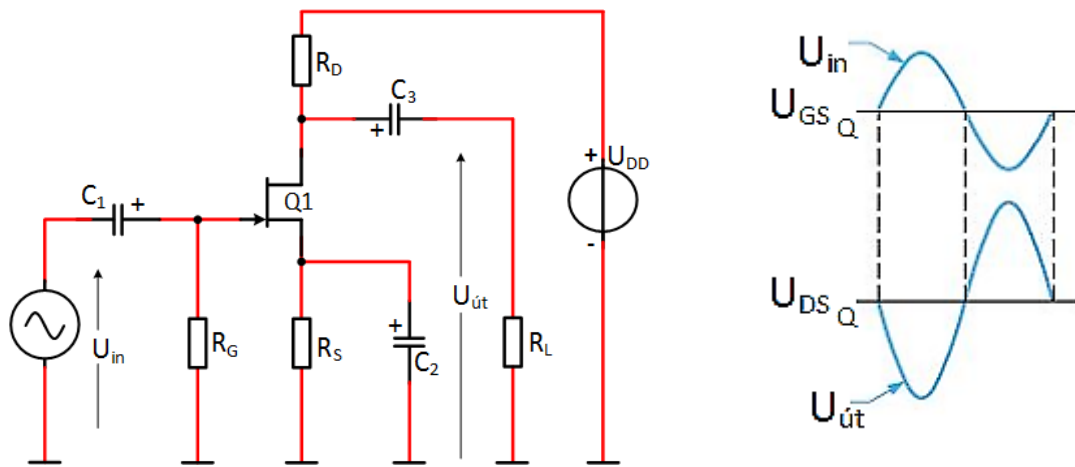
Sjálf-forspenntur (*Self-bias*) *Common-Source* (lindartengdur) n-rása JFET magnari með þétti frá *Source* til jarðar er sýndur á mynd 5a. Mótstaðan  $R_G$  þjónar tvennu:

- I. að halda *Gate* (gáttinni) við 0 Volt dc ( $I_{GSS}$  er mjög lítið)
- II. að vegna stærðargildis mótstöðunnar  $R_G$ , venjulega á bilinu 1 – 10 Mohm, veldur magnarinn ekki álagi á innkomandi ac merki.



## Rafeindafræði 14. hefti – FET og MOSFET magnarar -

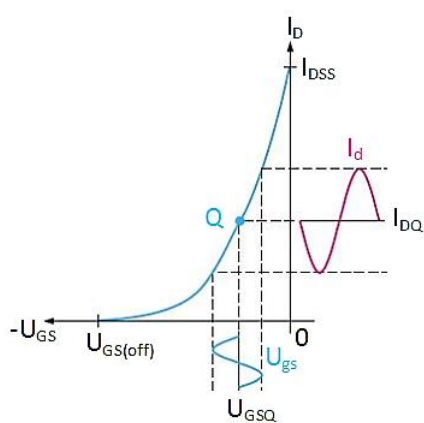
Þéttirinn  $C_2$  tengir *Source* (lindina) riðstraumslega til jarðar.



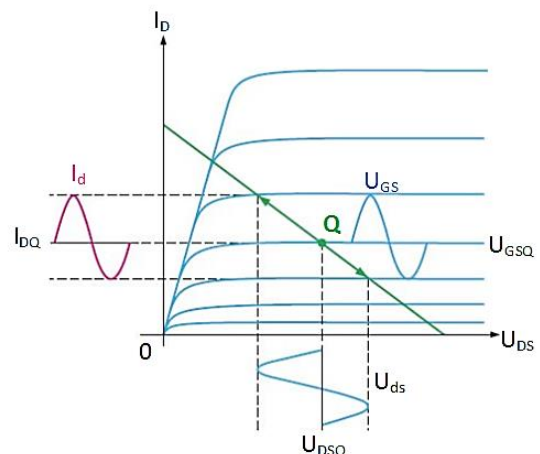
a. *Common-Source (CS) tengdur magnari*      b. *Samhengi inn- og út merkis*  
 Mynd 5, a og b. *JFET CS-magnari.*

Inngangsmerkið  $U_{inn}$  veldur því að  $U_{GS}$  spennan fer að breytast í takt við inngangsmerkið. Þetta veldur straumbreytingu í  $I_D$ . Þessi straumbreyting veldur spennubreytingu yfir mótstöðuna  $R_D$ . Þegar straumurinn eykst, hækkar spennufallið yfir mótstöðuna  $R_D$  og spennan yfir  $U_{DS}$  lækkar þar sem spennan  $U_{DD}$  er stöðug. Þetta þýðir að spennan  $U_{út}$  fellur á meðan  $U_{inn}$  eykst og spennunni  $U_{út}$  er snúið um  $180^\circ$  miðað við innmerkið. Sjá mynd 5b.

Sama ferli er sýnt á útgangs- og yfirfærslulínurit á mynd 6.



Mynd 6a. *JFET (n-channel)*  
*yfirfærslulína.*



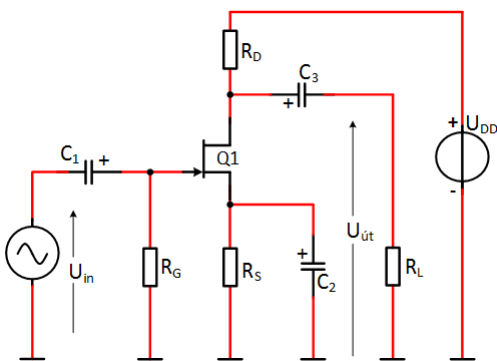
Mynd 6b. *JFET (n-channel)*  
*útgangslínurit.*

Mynd 6. *Einkennisferlar JFET transistors.*

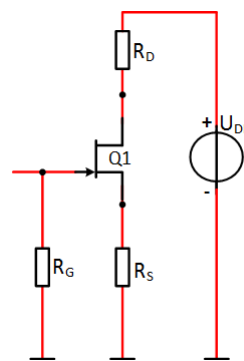
### 2.2 Jafnspennugreining (DC Analysis)

Magnarinn á mynd 7 er skoðaður á tvenna vegu. Önnur aðferðin er sýnd á mynd 7b, dc-jafngildismynd og með hjálp hennar eru dc-gildi í rásinni fundin. Fyrst er fundinn straumurinn  $I_D$ . Ef notuð er reglan um að staðsetja vinnupunktinn á hálfan  $I_{DSS}$  strauminn (Miðpunktsaðferðin) fæst að  $I_D$  og  $U_{GS}$  verður:

$$I_D = \frac{I_{DSS}}{2} \text{ og } U_{GS} = \frac{U_{GS(off)}}{3,4}$$



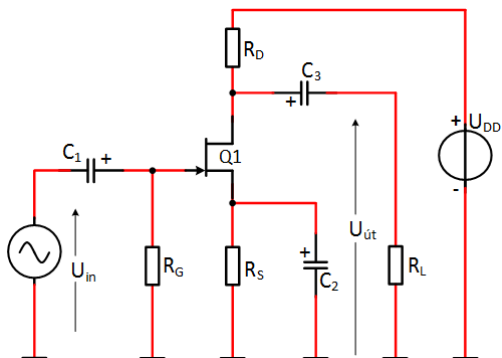
Mynd 7a. JFET CS magnari.



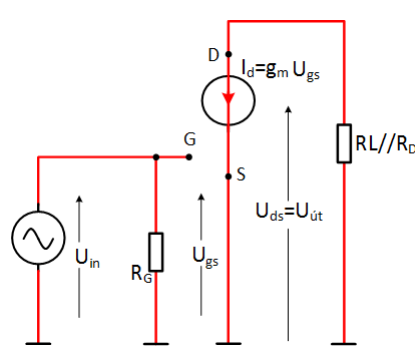
Mynd 7b. DC-jafngildismynd.

Mynd 7. JFET CS magnari.

Hin aðferðin er að finna ac jafngildisrás fyrir JFET linda tengdan magnara (CS) og þarf að hafa eftirfarandi í huga að skammhleypa má alla þetta í rásinni, mynd 8a, þar sem jafngildisrásin er búin til við tíðnir þar sem riðstraumsviðnám þéttanna  $X_C \cong 0$ . Einnig má skammhleypa yfir dc - spennugjafann þar sem litið er á að hann vinni sem þéttir. Jafngildismynd JFET transistors í *common-source* tengingu (lindartengingu) er sýnd á mynd 8b sem er unnin úr mynd 8a.



Mynd 8a. JFET CS magnari. Mynd 8b. Ac – jafngildismynd.



Mynd 8. JFET CS magnari.

---

**Rafeindafræði 14. hefti – FET og MOSFET magnarar -**


---

Ac spenna  $U_{inn}$  er sett á *Gate* (gáttina) eins og sést á mynd 8b. Mótstaðan á *Gate* er mjög há ( $R_{in} \rightarrow \infty$ ) og þess vegna skilast um það bil öll  $U_{inn}$  spennan sér yfir *Gate* (gáttina) sem  $U_{gs}$ . Spennumögnun magnarans verður þá

$$\text{Þar sem } I_d = g_m \cdot U_{gs} \text{ verður}$$

$$U_{út} = I_d \cdot (R_L // R_D) = g_m \cdot (R_L // R_D)$$

Og spennumögnunin verður

$$A_{út} = \frac{U_{út}}{U_{inn}} = \frac{U_{út}}{U_{gs}} = \frac{g_m \cdot \cancel{U_{gs}} \cdot (R_L // R_D)}{\cancel{U_{gs}}} \Rightarrow$$

$$A_U = g_m \cdot (R_L // R_D)$$

**Sýnidæmi:**

Hver verður spennan  $U_{út}$ , fyrir mynd 8, ef  $I_D = 1,96\text{mA}$ ,  $I_{DSS} = 12\text{mA}$ ,  $U_{GS(off)} = -3\text{V}$  og  $R_L$  er frátengd?

$U_{DD} = 12\text{V}$ ,  $R_D = 3,3\text{k}\Omega$ ,  $R_S = 910\Omega$ ,  $R_G = 10\text{M}\Omega$ ,  $C_1 = C_2 = 10\mu\text{F}$  og  $U_{inn} = 100\text{mV}$ .

**Lausn:**

Byrja á að finna  $U_{GS}$

$$U_S = I_D \cdot R_S = 1,96\text{mA} \cdot 910 = 1,78\text{V}$$

$$U_{GS} = -U_S = -1,78\text{V}$$

Síðan er  $g_m$  fundin

$$g_{mo} = \left| \frac{2 \cdot I_{DSS}}{U_{GS(off)}} \right| = \left| \frac{2 \cdot 12\text{mA}}{-3\text{V}} \right| = 8\text{mS}$$

$$g_m = g_{mo} \left( 1 - \frac{U_{GS}}{U_{GS(off)}} \right) = 8\text{mS} \left( 1 - \frac{-1,78\text{V}}{-3\text{V}} \right) = 3,25\text{mS}$$

$U_{út}$  verður

$$U_{út} = A_u \cdot U_{inn} = g_m \cdot (R_D // R_L) \cdot U_{inn} =$$

$$3,25\text{mS} \cdot 3,3\text{k}\Omega \cdot 100\text{mV} = 1,07\text{V}$$

### 2.3 Áhrif álagsmótstöðu á spennumögnun

Þegar álagsmótstaða er sett yfir útgang magnara minnkar mögnun magnarans.

#### Sýnidæmi:

Ef  $4,7\text{ k}\Omega$  álagsmótstaða er sett inn í lið  $d$  í sýnidæmi verður spennan  $U_{\text{út}}$

$$U_{\text{út}} = A_u \cdot U_{\text{inn}} = g_m \cdot (R_D // R_L) \cdot U_{\text{inn}} = \\ 3,25\text{ mS} \cdot (3,3\text{ k}\Omega // 4,7\text{ k}\Omega) \cdot 100\text{ mV} = 631\text{ mV}$$

#### 2.3.1 Dæmi

- f) Hver verður spennan  $U_{\text{út}}$ , fyrir mynd 8, ef  $I_D = 1,96\text{ mA}$ ,  $g_m = 3000\mu\text{S}$ ,  $U_{\text{GS(off)}} = -3\text{ V}$  og  $R_L = 10\text{ k}\Omega$ ?  
 $U_{\text{DD}} = 12\text{ V}$ ,  $R_D = 3,3\text{ k}\Omega$ ,  $R_S = 910\Omega$ ,  $R_G = 10\text{ M}\Omega$ ,  $C_1 = C_2 = 10\mu\text{F}$  og  $U_{\text{inn}} = 100\text{ mV}$ .

### 2.4 Fasasnúningur (*Phase Inversion*) *Common-Source* (CS) magnara

Spennan  $U_{\text{út}}$  er  $180^\circ$  úr fasa miðað við inngangsspennuna  $U_{\text{inn}}$ . Fasasnúninginn má tákna þannig að spennumögnun sé  $-A_u$ . Mínusinn táknar þá  $180^\circ$  fasasnúning.

### 2.5 Inngangsmótstaða *Common-Source* (CS) magnara (*Input Resistance*)

Þar sem *Gate* (gáttin) er inngangur í *Common-source* (CS) (lindartengdan) magnara er inngangsmótstaðan mjög há, eða

$$R_{\text{inn}} = R_G // \left| \frac{U_{\text{GS}}}{I_{\text{GSS}}} \right| \text{ ef } \left| \frac{U_{\text{GS}}}{I_{\text{GSS}}} \right| \gg R_G \Rightarrow R_{\text{inn}} = R_G$$

$U_{\text{GS}}$  og  $I_{\text{GSS}}$  má finna í datablöðum yfir viðkomandi transistor.

#### Sýnidæmi:

Finnið  $R_{\text{inn}}$  fyrir JFET *Common-Source* magnara (lindartengdan magnara) ef gefið er að  $I_{\text{GSS}} = 30\text{ nA}$  við  $U_{\text{GS}} = -10\text{ V}$ ?  $R_G = 10\text{ M}\Omega$ .

---

**Rafeindafræði 14. hefti – FET og MOSFET magnarar -**


---

$$R_{IN(gate)} = \left| \frac{U_{GS}}{I_{GSS}} \right| ef \left| \frac{-10V}{30nA} \right| = 333M\Omega$$

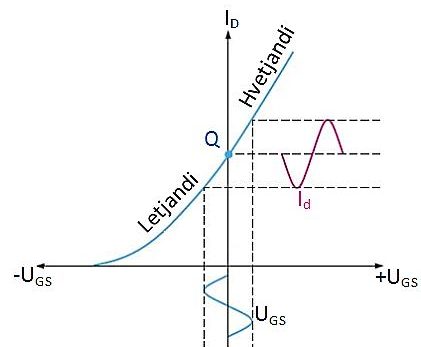
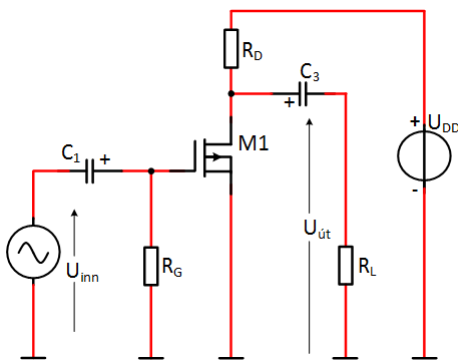
$$R_{inn} = R_G // \left| \frac{U_{GS}}{I_{GSS}} \right| = 10M\Omega // 330M\Omega = 9,7M\Omega$$

### 2.5.1 Dæmi

- g) Finnið  $R_{inn}$  fyrir JFET *Common-Source* magnara (lindartengdan CS magnara) ef gefið er að  $I_{GSS} = 1 \text{ nA}$  við  $U_{GS} = -10V$  og  $R_G = 10 \text{ M}\Omega$ ?

### 2.6 *Common-Source* Latfeta magnari

Núll - forspenntur (*zero - bias*) n-rása *D-MOSFET* (latfeta) *Source* (lindar) tengdur magnari er sýndur á mynd 9a. Spennan  $U_{GS}$  er  $\cong 0$  þar sem *Source* (lindin) tengist jörð.



Mynd 9a. Núll forspenntur CS latfeti.

Mynd 9b. Yfirfærslulínurit.

Mynd 9. Núll forspenntur CS-latfeta magnari.

Inngangsspennan  $U_{inn} = U_g = U_{gs}$  sveiflast í kringum  $U_{GS} = 0$  eins og sést á mynd 9b. Þetta veldur sveiflu í straumnum  $I_d$  í kringum  $I_{DSS} = I_D$ . Ákvörðun á dc gildum í núll forspenntum (*zero - biased*) latfeta magnara er

- $I_D = I_{DSS}$
- $U_{GS} = 0$
- $U_{DS} = U_{DD} - I_D \cdot R_D$

Ac reikningar eru eins og í JFET magnara.

---

## Rafeindafræði 14. hefti – FET og MOSFET magnarar -

---

### Sýnidæmi:

Latfeti (*D-MOSFET*) er sýndur á mynd 9a. Hann hefur  $I_{DSS}$  sem er 200 mA og  $g_m$  sem er 200 mS.  $R_D = 33\Omega$ ,  $R_G = 10M\Omega$ ,  $R_L = 8,2\text{ k}\Omega$ .  $C_1 = C_3 = 10\mu\text{F}$  og  $U_{DD} = 15\text{V}$ .

Reiknið spennuna  $U_D$  og  $U_{út}$  ef  $U_{inn} = 500\text{ mV}$ ?

$$I_D = I_{DSS} = 200\text{mA}$$

$$U_{GS} = 0$$

$$U_D = U_{DS} = U_{DD} - I_D \cdot R_D = 15 - 200\text{mA} \cdot 33\Omega = 8,4\text{V}$$

$$U_{út} = g_m \cdot (R_D // R_L) \cdot U_{inn} =$$

$$200\text{mS} \cdot (33\Omega // 8,2\text{k}\Omega) \cdot 500\text{mV} = 3,29\text{V}$$

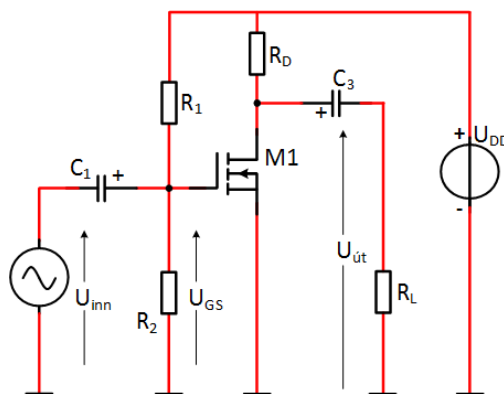
### 2.6.1 Dæmi

- h) Latfeti (*D-MOSFET*) er sýndur á mynd 9a. Hann hefur  $I_{DSS}$  sem er 100 mA og  $g_m$  sem er 100 mS.  $R_D = 33\Omega$ ,  $R_G = 10M\Omega$ ,  $R_L = 8,2\text{ k}\Omega$ .  $C_1 = C_3 = 10\mu\text{F}$  og  $U_{DD} = 15\text{V}$ . Reiknið spennuna  $U_D$  og  $U_{út}$  ef  $U_{inn} = 500\text{ mV}$ ?

### 2.7 Common – Source hvatfeta magnari

N-rása hvatfeti (*E-MOSFET*) í CS-tengingu og með spennudeili í inngang er sýndur á mynd 10. Gate (gáttin) er forspennt þannig að  $U_{GS} > U_{GS(th)}$ .

Eins og fyrir JFET og latfeta (*D-MOSFET*) sveiflar innkomandi spennumerki,  $U_{GS}$  spennunni eins og sést á mynd 11.  $U_{GS}$  spennan er eingöngu í hvetjandi ham (*enhancement mode*).

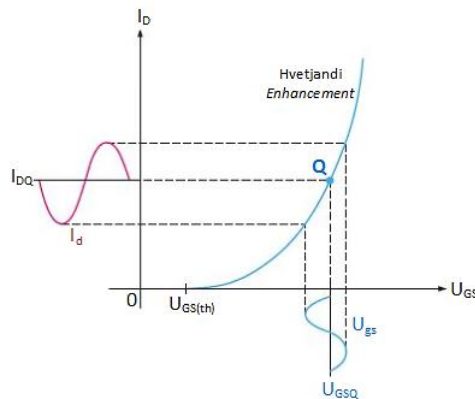


Mynd 10. N-rása hvatfeti í CS-tengingu og með spennudeili í inngang.

---

**Rafeindafræði 14. hefti – FET og MOSFET magnarar -**


---



Mynd 11. Yfirfærslulína latfeta.

Rásin á mynd 10 notar spennudeili til að  $U_{GS}$  spennan sé yfir þröskuldsspennunni  $U_{GS(th)}$ . Dc reikningarnir til að finna  $I_D$  og  $U_{DS}$  eru eftirfarandi

$$U_{GS} = \left( \frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) \cdot U_{DD}$$

$$I_D = K \cdot (U_{GS} - U_{GS(th)})^2$$

$$U_{DS} = U_D = U_{DD} - I_D \cdot R_S$$

Spennumögnunin er fundinn eins og fyrir latfeta- og JFET-magnara.

Inngangsmótstaða  $R_{inn}$  fyrir hvatfeta er fundinn sem

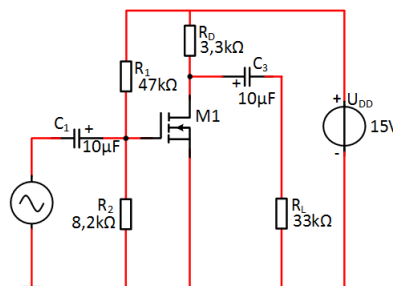
$$R_{inn} = R_1 // R_2 // R_{inn(gate)}$$

$$R_{inn(gate)} = \left| \frac{U_{GS}}{I_{GSS}} \right|$$

### Sýnidæmi:

N-rása hvatfeti (E-MOSFET) í CS-tengingu og með spennudeili í inngang er sýndur á mynd 12.

Finnið  $U_{GS}$ ,  $I_D$ ,  $U_{DS}$  og  $U_{út}$  ef  $I_{D(on)} = 200\text{mA}$  við  $U_{GS} = 4\text{V}$ ,  $U_{GS(th)} = 2\text{V}$ ,  $U_{inn} = 25\text{mV}$  og  $g_m = 23\text{mS}$ ?



Mynd 12.

**Lausn:**

$$U_{GS} = \left( \frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) \cdot U_{DD} = \left( \frac{8,2k\Omega}{47k\Omega + 8,2k\Omega} \right) \cdot 15V = 2,23V$$

$$\text{Fyrir } U_{GS} = 4V$$

$$K = \frac{I_{D(on)}}{(U_{GS} - U_{GS(th)})^2} = \frac{200mA}{(4V - 2V)^2} = 50 \frac{mA}{V}$$

$$I_{D(on)} = K \cdot (U_{GS} - U_{GS(th)})^2 = 50 \frac{mA}{V} \cdot (2,23V - 2V)^2 = 2,65mA$$

$$U_{DS} = U_D = U_{DD} - I_D \cdot R_D = 15V - 2,65mA \cdot 3,3k\Omega = 6,26V$$

$$U_{út} = g_m \cdot (R_D // R_L) \cdot U_{inn} = 23mS \cdot (3,3k\Omega // 33k\Omega) \cdot 25mV = 1,73V$$

### 2.7.1 Dæmi

- i) Í hvaða stöðu er straumurinn  $I_d$  og spennan  $U_d$  þegar spennan  $U_g$  er í hámarki?
- j) Hver er munurinn á  $U_{gs}$  og  $U_{GS}$ ?
- k) Hvaða gerð af FETum getur unnið með dc-vinnupunkt í  $U_{GS} = 0$ ?
- l) Hvaða stuðull ákvarðar mögnun í CS-magnara?
- m) Magnari er með  $R_D = 1K\Omega$ . Hve mikið breytist mögnunin ef jafn stór álagsmótstaða er sett yfir hana?



### 3. Mælingar

**Tilgangur:**

Að skoða magnarastig SS/CS tengingu með það að markmiði að bera saman reiknaðar og mældar lykilstærðir kerfisins. (Spennufæðing Self bias)

**Efni:**

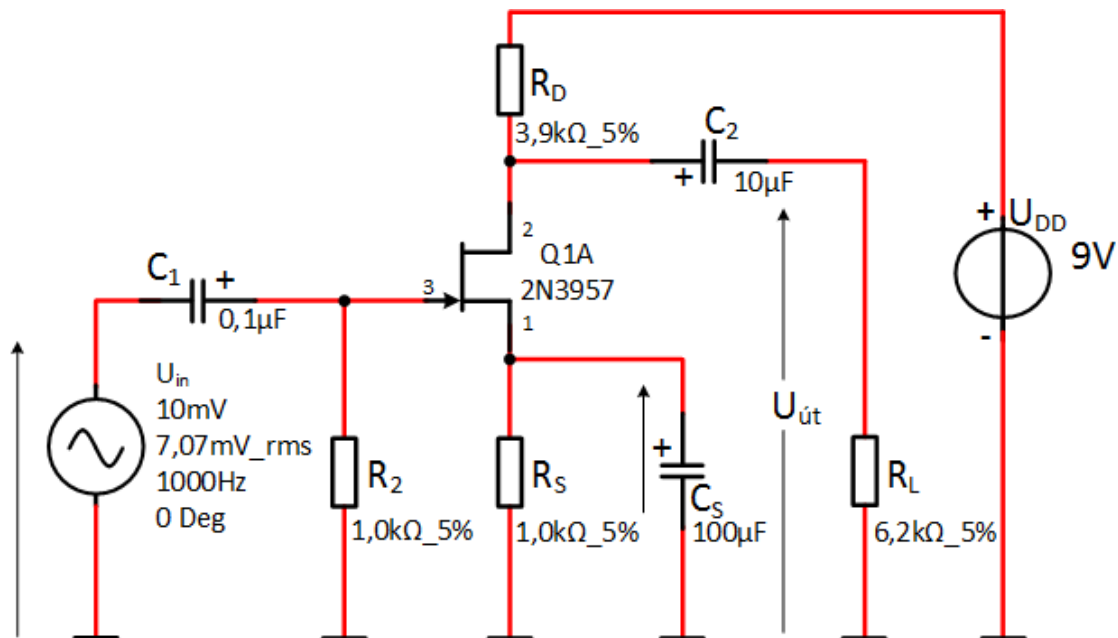
Sveifluvaki, sveiflusjá, spennugjafi, spennumælir og íhlutir samkvæmt mynd 13.

**Búnaður:**

Sveifluvaki, sveiflusjá, spennugjafi, spennumælir og íhlutir samkvæmt mynd 13.

**Tengimynd:**

$g_m = |y_{fs}| = 1,7 \text{ mS}$ ,  $I_d$  í rásinni er um  $1 \text{ mA}$



Mynd 13.

---

**Rafeindafræði 14. hefti – FET og MOSFET magnarar -**

---

**Framkvæmd 1**

Tengið rásina upp í *Multisim* eða öðrum hermi og mælið jafnspennurnar  $U_G$ ,  $U_S$  og  $U_D$

$$U_G =$$

$$U_S =$$

$$U_D =$$

Reiknið til samanburðar jafnspennurnar  $U_G$ ,  $U_S$  og  $U_D$  (sýnið útreikninga og sjá jöfnur á bls. 19).

$$U_G =$$

$$U_S =$$

$$U_D =$$

**Framkvæmd 2**

Mælið jafnspennurnar  $U_{DS}$ ,  $U_{GS}$  og  $U_{DG}$

$$U_{DS} =$$

$$U_{GS} =$$

$$U_{DG} =$$

Reiknið til samanburðar jafnspennurnar  $U_{DS}$ ,  $U_{GS}$  og  $U_{DG}$  (Sýnið útreikninga og sjá jöfnur bls. 19).

$$U_{DS} =$$

$$U_{GS} =$$

$$U_{DG} =$$

**Framkvæmd 3**

Mælið spennumögnunina  $A_u$  við 1 kHz. Sjá bls. 20.

$$A_U =$$

$$A_U(\text{db}) =$$

Reiknið til samanburðar spennumögnunina  $A_U$  (Sýnið útreikninga og sjá jöfnur bls. 19).

$$A_U =$$

$$A_U(\text{db}) =$$

---

**Rafeindafræði 14. hefti – FET og MOSFET magnarar -**

---

**Framkvæmd 4**

Mælið hvert sé fasvik milli inn- og útmerkis magnarans við 1kHz?

(Sjá bls. 21).

$\theta =$

Mælið hvert sé fasvik milli inn- og útmerkis magnarans við 100Hz?

(Sjá bls. 21).

$\theta =$

**Framkvæmd 5**

Mælið inngangsriðstraumsmótstöðu (inngangsimpedans)  $Z_{inn}=R_{inn}$  magnarans?

(Sjá bls. 22).

$Z_{INN} =$

Reiknið til samanburðar inngangsriðstraumsmótstöðu (inngangsimpedans)

$Z_{inn}=R_{inn}$  magnarans? (Sjá bls. 22).

$Z_{INN} =$

**Framkvæmd 6**

Mælið útgangsriðstraumsmótstöðu (útgangsimpedans)  $Z_{út}=R_{út}$  magnarans?

(Sjá bls. 22).

$Z_{ÚT} =$

Reiknið til samanburðar útgangsriðstraumsmótstöðu (útgangsimpedans)  $Z_{út}=R_{út}$  magnarans? (Sjá bls. 19).

$Z_{ÚT} =$

---

**Rafeindafræði 14. hefti – FET og MOSFET magnarar -**


---

## 4. Jöfnur

Jöfnur sem gilda fyrir SS/CS tengdan magnara með *source* þétti( $C_S$ ) tengdur í *self bias*, þar sem  $I_D = \frac{I_{DSS}}{2}$  og  $\frac{U_{GS}=U_{GS(off)}}{3,4}$

**DC jöfnur**
**ac jöfnur**

$$U_G = 0 \Rightarrow U_S = I_D \cdot R_S = -U_{GS}$$

$$A_u = \frac{U_{út}}{U_{út}} \cong g_m \cdot (R_D // R_L)$$

$$U_D = U_{DD} - I_D \cdot R_D$$

$$A_u(dB) = 20 \log(A_u)$$

$$U_{DS} = U_D - U_S$$

$$R_{in} = Z_{in} = (R_G // R_{IN}) \cong R_G \text{ (ef } R_{IN} \gg R_G)$$

$$U_{GS} = U_G - U_S$$

$$R_{út} = Z_{út} \cong R_D$$

$$U_{DG} = U_D - U_G$$

$$R_{IN} = \left| \frac{U_{GS}}{I_{GSS}} \right|$$

Jöfnur sem gilda fyrir SS/CS tengdan magnara án *source* þétti( $C_S$ ) tengdur í *self bias*, þar sem  $I_D = \frac{I_{DSS}}{2}$  og  $\frac{U_{GS}=U_{GS(off)}}{3,4}$

**DC jöfnur**
**ac jöfnur**

$$U_G = 0 \Rightarrow U_S = I_D \cdot R_S = -U_{GS}$$

$$A_u = \frac{U_{út}}{U_{út}} \cong \frac{g_m \cdot (R_D // R_L)}{(1 + g_m \cdot R_S)}$$

$$U_D = U_{DD} - I_D \cdot R_D$$

$$A_u(dB) = 20 \log(A_u)$$

$$U_{DS} = U_D - U_S$$

$$R_{in} = Z_{in} = (R_G // R_{IN}) \cong R_G \text{ (ef } R_{IN} \gg R_G)$$

$$U_{GS} = U_G - U_S$$

$$R_{út} = Z_{út} \cong R_D$$

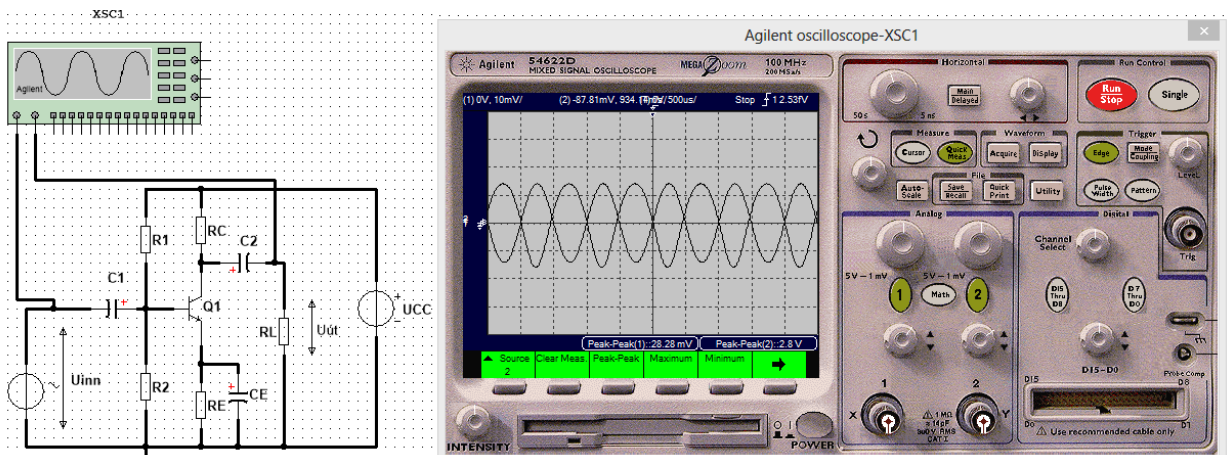
$$U_{DG} = U_D - U_G$$

$$R_{IN} = \left| \frac{U_{GS}}{I_{GSS}} \right|$$

## 5. Hvernig mæli ég mögnun

Tengdu sveiflusjá eins og mynd 14 sýnir. Stilltu síðan  $U_{inn}$  þannig að merkið  $U_{út}$  sé óbjagað. Mældu  $U_{inn}$  og  $U_{út}$  með sveiflusjá t.d. með því að ýta á *Autoscale* og *quick meas* takkana.

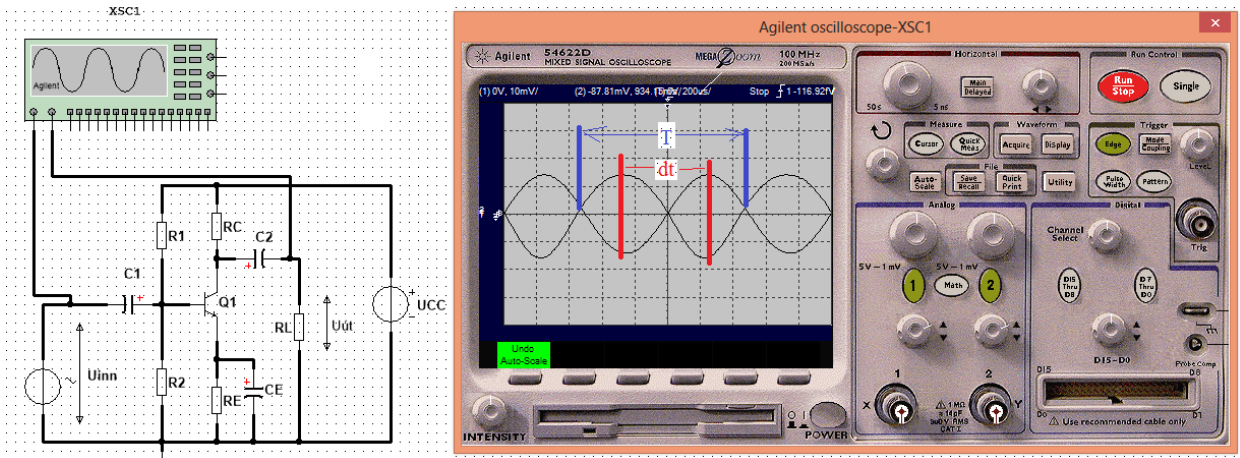
Síðan ýta á takka merktan *Source 1(CH1)* og velja *Peak-Peak* og síðan velja takka merktan *Source 2 (CH2)* og velja *Peak-Peak*.



Mynd 14.

Lesið spennurnar og reikna síðan mögnunina sem  $A_U = \frac{U_{út}}{U_{inn}} =$

## 6. Hvernig mæli ég fasvik

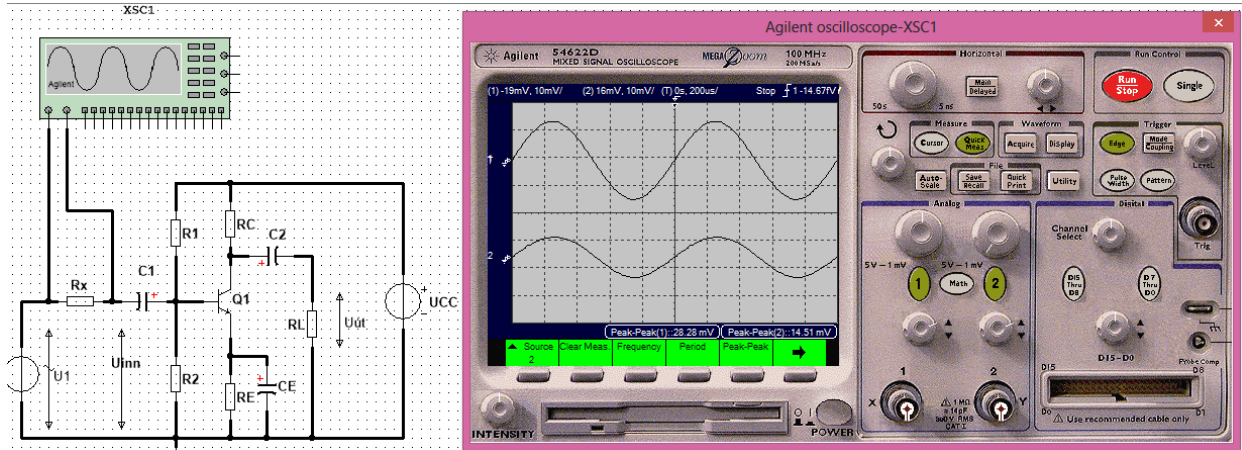


Mynd 15.

Mældu tímamann á milli rauðu mælistanganna og gefum honum heitið  $dt$ .  
 Finndu sveiflutíma bylgjunnar milli bláu stanganna og gefðu honum heitið  $T$ (sec).

Reiknaðu síðan fasvikið sem  $\theta = \frac{dt}{T} \cdot 360^\circ =$

## 7. Hvernig mæli ég inngangsmótstöðu magnara



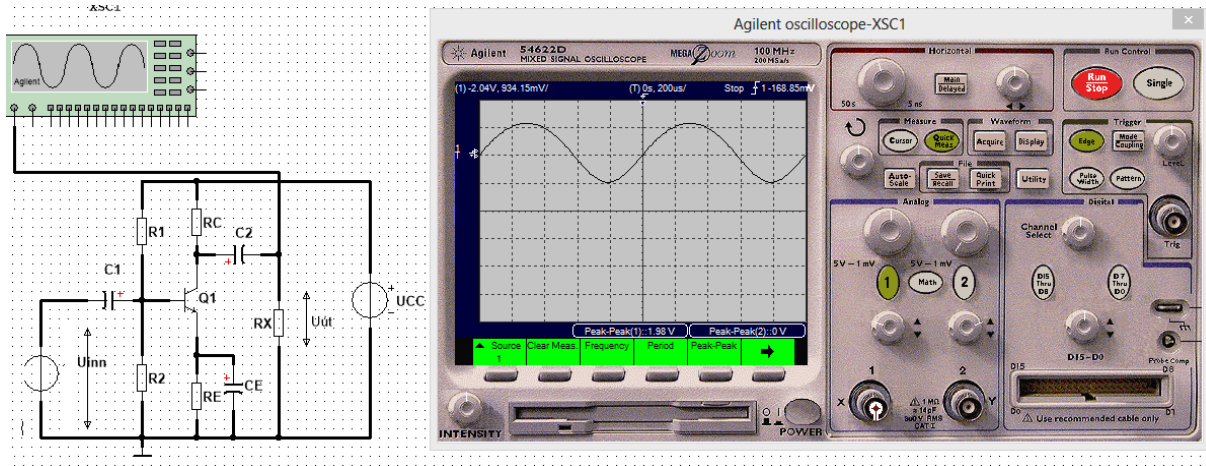
Mynd 16.

Settu þekkta mótstöðu ( $R_x$ ) inn í rásina eins og sýnt er á mynd 16.

Veldu mótstöðuna þannig að það verði örugglega marktækur mismunur á spennunni  $U_1$  og  $U_{inn}$ . Mældu síðan með sveiflusjá t.d. eins og á mynd 16, spennurnar  $U_1$  og  $U_{inn}$  og notaðu meðfylgjandi jöfnu til að finna  $R_{inn} = Z_{inn}$ .

$$Z_{inn} = R_{inn} = \left[ \frac{U_{inn}}{U_1 - U_{inn}} \right] \cdot R_x$$

## 8. Hvernig mæli ég útgangsmótstöðu magnara



Mynd 17.

Settu þekkta mótstöðu ( $R_X$ ) =  $R_L$  inn í rásina eins og sýnt er á mynd 17. Veldu mótstöðuna þannig að það verði örugglega marktækur mismunur á spennunni  $U_{út}$  þegar álagið er tengt eða frátengt og að merkið sé óbjagað. Mældu með sveiflusjá spennuna  $U_{út}$  með álagið tengt. Mældu síðan spennuna  $U_{út}$  þegar mótstaðan  $R_X$  er frátengt og gefðu þeirri spennu nafnið  $U_{út\text{tómangang}}$ . Notaðu meðfylgjandi jöfnu til að finna  $R_{út} = Z_{út}$ .

$$Z_{út} = R_{út} = \left[ \frac{U_{út\text{tómangang}} - U_{út}}{U_{út}} \right] \cdot R_X$$



## 9. Svör

1.3.1

a)  $A_u = 13,2$

1.5.1

b)  $A_u = 2,92$

c) Fetinn með brattan 3,5 mS

d)  $A_u = 25$

e) Fetinn með  $r'_{ds} = 100k\Omega$

2.3.1

f)  $U_{út} = 744,4 \text{ mV}$

g)  $R_{inn} = 9,9 \text{ M}\Omega$

2.6.1

h)  $U_D = 11,7\text{V}$  og  $U_{út} = 1,64\text{V}$

2.7.1

i)  $I_d$  er í hámarki en  $U_d$  í lágmarki

j)  $U_{gs}$  er tákn fyrir ac-gildi en  $U_{GS}$  fyrir DC – gildi

k) E – FET (Latfeti)

l)  $g_m$  (bratti)

m) Mögnun lækkar um helming.