

THEME :

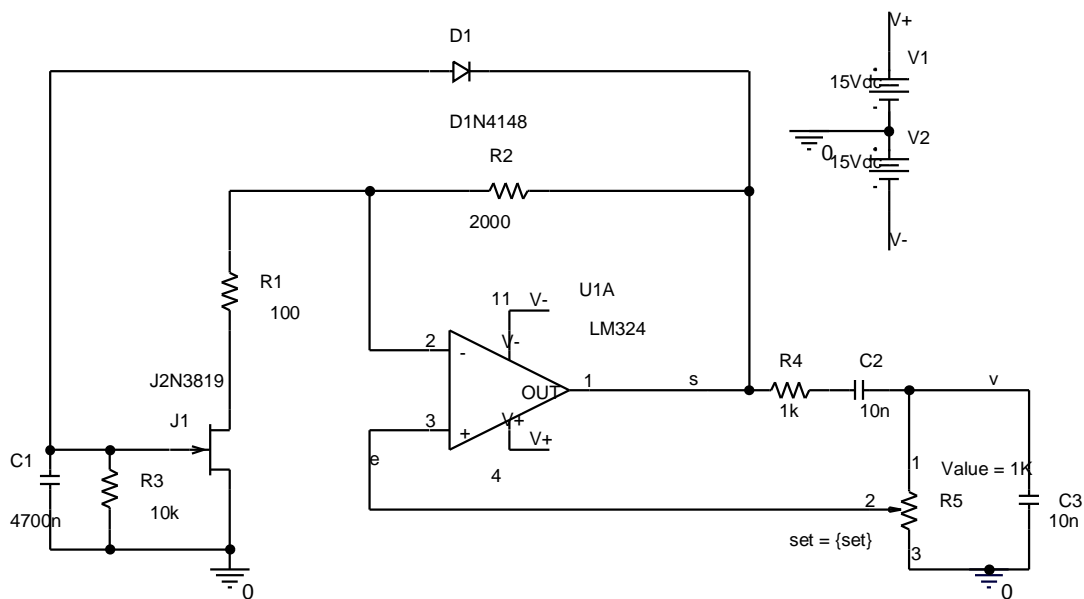
OSCILLATEUR SINUSOIDAL A AMPLIFICATEUR OPERATIONNEL

Oscillateur sinusoïdal à amplificateur opérationnel

Vérification des conditions de Barkausen

Dispositif de contrôle de gain

Le montage proposé pour cette étude est le suivant :



Il comporte de manière classique :

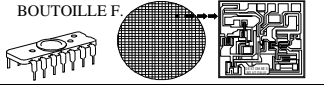
- Un montage non inverseur à amplificateur opérationnel
- Un filtre de Wien (filtre sélectif)
- Un dispositif de contrôle de gain réalisé autour d'un transistor *TEC*
- Un réglage de l'amplitude au moyen du potentiomètre R_5 (*set*)

L'étude de l'oscillateur complet implique une parfaite connaissance du Transistor à effet de champ (TEC : J2N3819) utilisé dans sa zone de fonctionnement ohmique.

Il convient donc de procéder aux relevés préliminaires suivants :

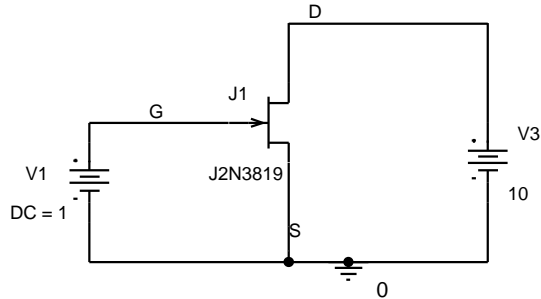
Relevé de la caractéristique $I_D = f(V_{GS})$ à $V_{DS} = const = 10V$ et

Relevé de la caractéristique $R_{DS} = f(V_{GS})$ à $V_{DS} = const < V_P$ (tension de pincement).



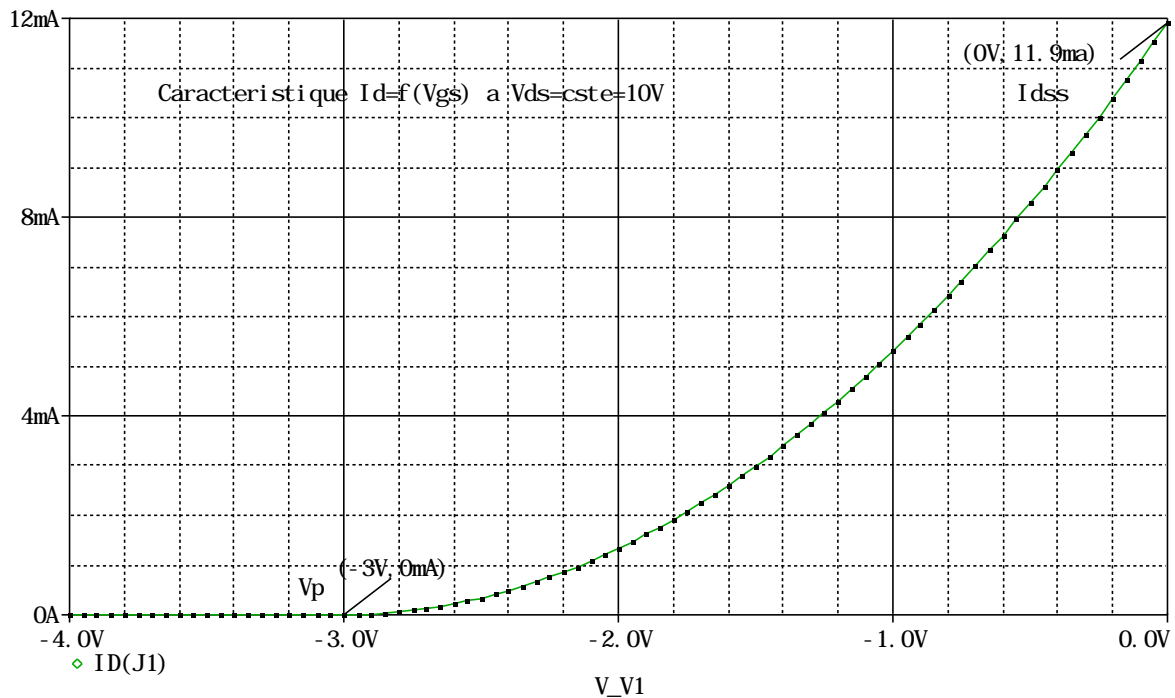
1°) ESSAIS PRELIMINAIRES

Montage

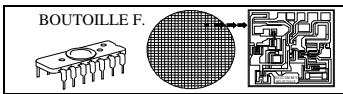


Relevé de la caractéristique $I_D = f(V_{GS})$ à $V_{DS} = const = 10V$

Simulation settings	Mode DC sweep pour V1 (de 0 à -4V par pas de -0,05V)
Probe	ID(J1)



On peut ainsi mesurer $V_p = -3V$ et $I_{DSS} = 11,9mA$

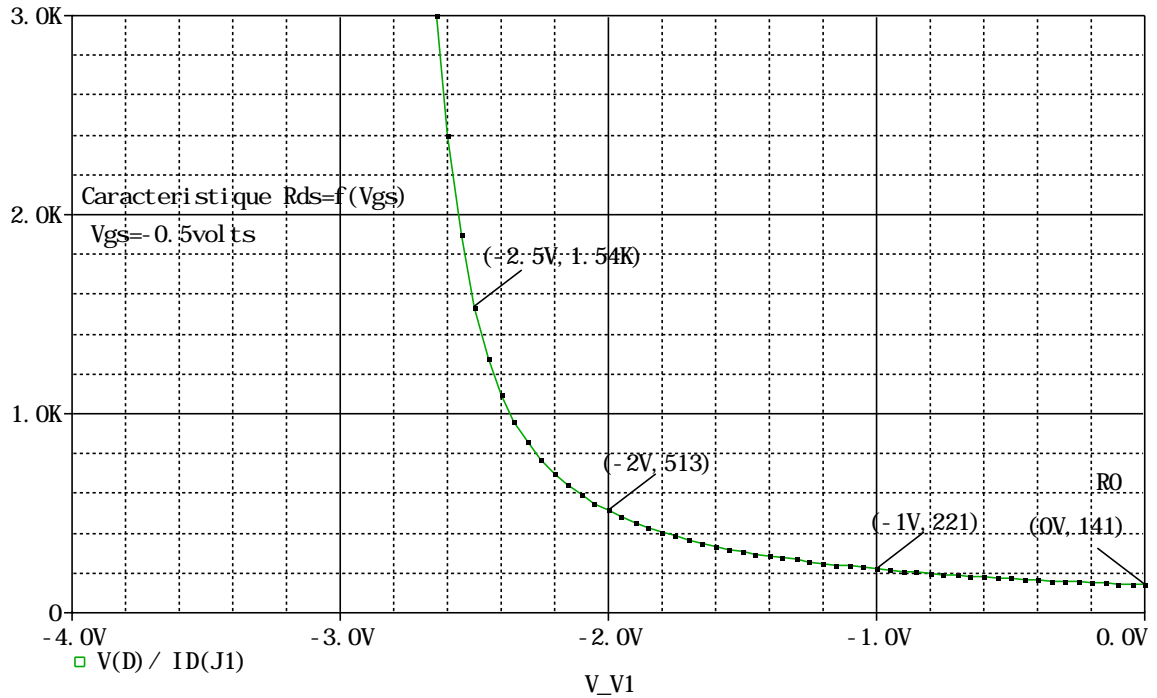


THEME :

OSCILLATEUR SINUSOIDAL A AMPLIFICATEUR OPERATIONNEL

Relevé de la caractéristique $R_{DS} = f(V_{GS})$ à $V_{DS} = const < V_P$:

Simulation settings	Mode DC sweep pour V1 (de 0 à -4V par pas de -0,05V)
Probe	Produire le rapport V(D)/ID(J1)



La forme obtenue est conforme à l'équation mathématique suivante : $R_{DS} = R_0 \cdot \frac{1}{1 - \frac{V_{GS}}{V_P}}$

On peut ainsi mesurer $R_0 = 141 \Omega$



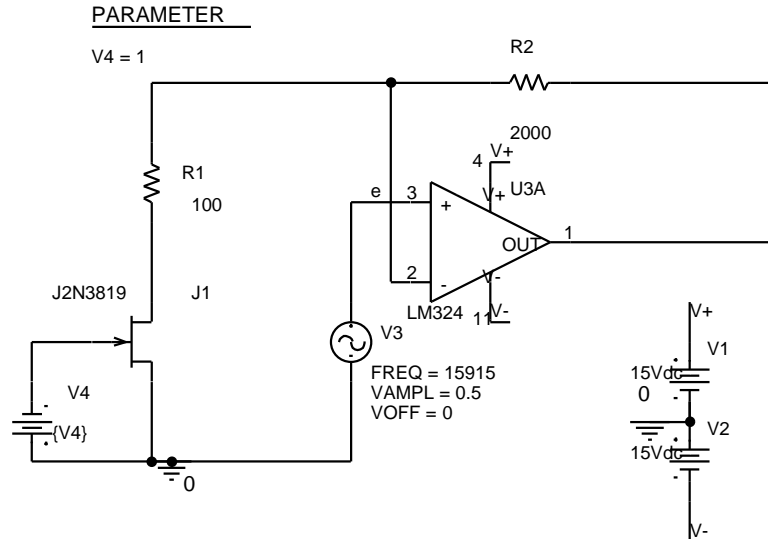
2°) OSCILLATEUR SINUSOIDAL SANS CONTROLE D'AMPLITUDE

L'étude porte maintenant sur l'oscillateur sinusoïdal sans contrôle d'amplitude.

Afin de bien comprendre le fonctionnement de cet oscillateur on propose les diverses manipulations suivantes :

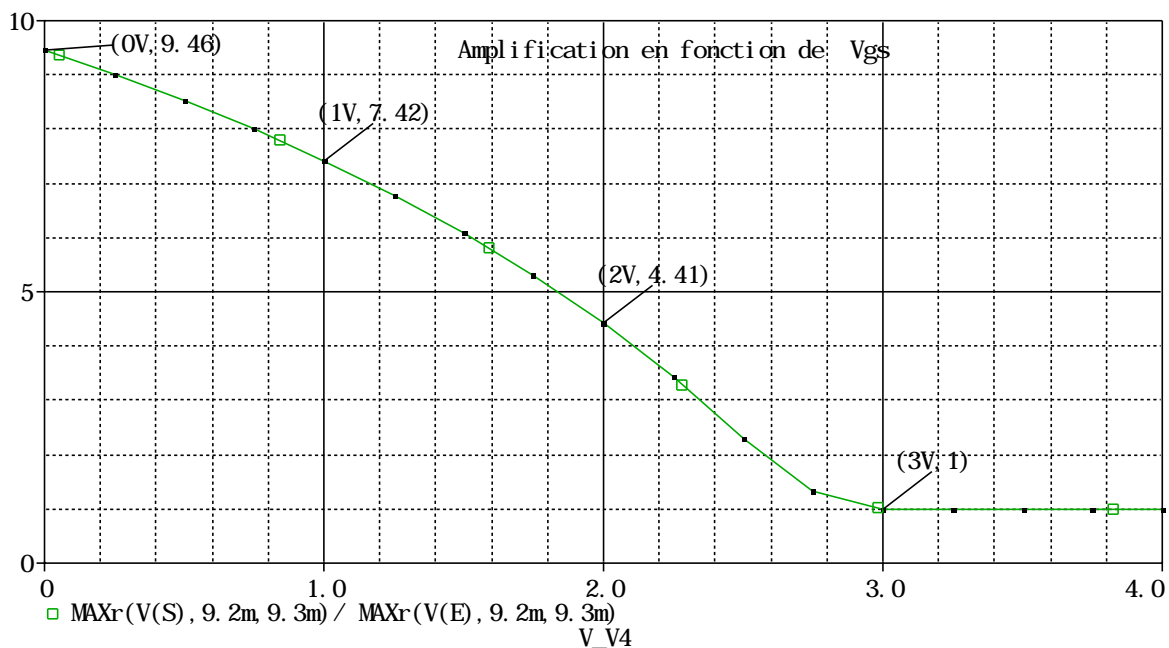
2-1 Relevé de l'amplification du montage non inverseur en fonction de $|V_{GS}|$:

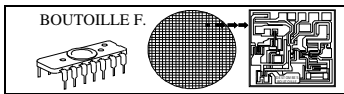
Montage:



Amplification du montage non-inverseur en fonction de V_{GS} :

Simulation settings	Mode Time domain ; de 9ms à 10ms par pas de 0.001ms Parametric sweep : voltage V4 de 0 à 4V par pas de 0.05V
Probe	Performance analysis : utiliser la fonction (MAXr,1,,)





THEME :

OSCILLATEUR SINUSOIDAL A AMPLIFICATEUR OPERATIONNEL

Ce résultat est conforme à la théorie : l'amplification théorique du montage proposé valant :

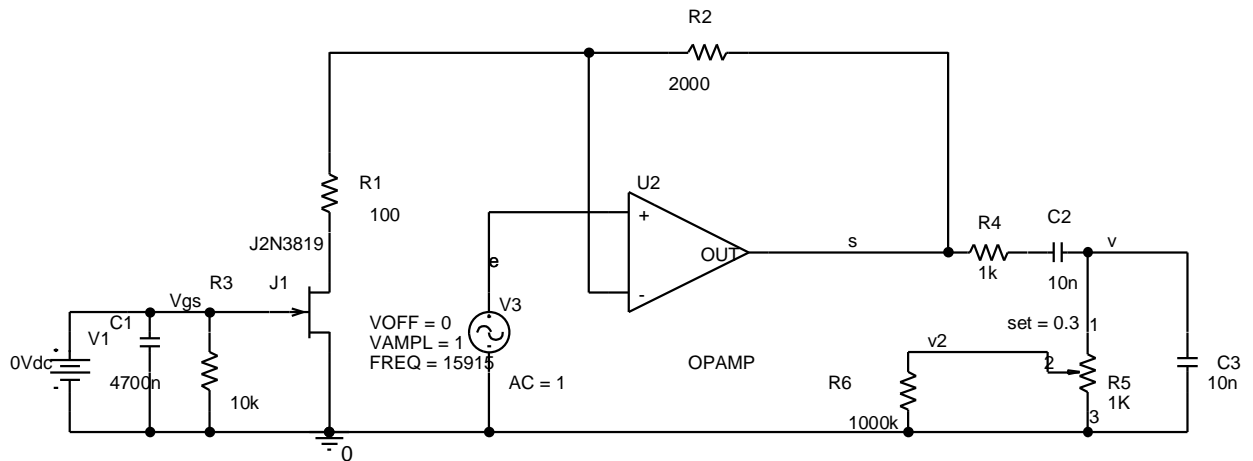
$$A = 1 + \frac{R_2}{R_1 + R_{DS}} = 1 + \frac{R_2}{R_1 + R_0 \cdot \frac{1}{1 - \frac{V_{GS}}{V_p}}}$$

Pour $V_{GS} = 0$ on a $A = 1 + \frac{2000}{100 + 141} = 9,29$

Pour $V_{GS} = 3V$ on a $A = 1 + \frac{2000}{100 + \infty} = 1$

2-2 Etude du système en boucle ouverte

Montage avec un Amplificateur Opérationnel idéal :



Critère de Barkausen :

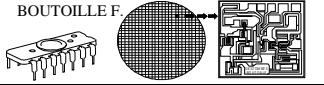
L'application du critère de Barkausen conduit aux résultats suivants :

L'amplification du montage complet en boucle ouverte vaut :

$$A_{v0} = \left(1 + \frac{R_2}{R_1 + R_0 \cdot \frac{1}{1 - \frac{V_{GS}}{V_p}}} \right) \cdot \left(\frac{1}{3 + j \left(RCw - \frac{1}{RCw} \right)} \right)$$

La fréquence des oscillations est obtenue pour l'annulation de la partie imaginaire de A_{v0}

c'est à dire pour $w_{osc} = \frac{1}{RC}$ ou $f_{osc} = \frac{1}{2pRC}$



Dans ces conditions le démarrage et l'entretien des oscillation n'est possible que si $A_{v0} = 1$ ce

qui permet d'obtenir la condition suivante : $R_2 = 2 \cdot \left(R_1 + R_0 \cdot \frac{1}{1 - \frac{V_{GS}}{V_P}} \right)$

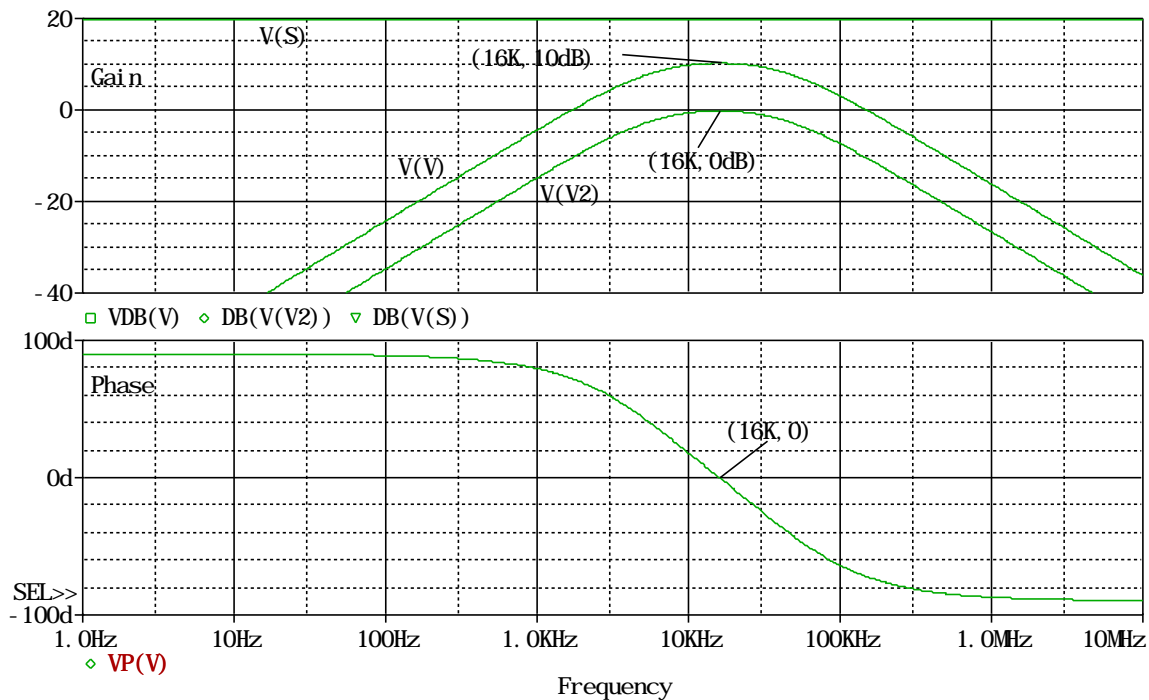
Application numérique :

$$f_{osc} = \frac{1}{2pRC} = 15,91 \text{ KHz}$$

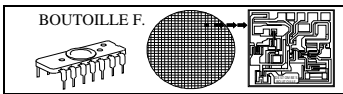
$$R_1 + R_0 \cdot \frac{1}{1 - \frac{V_{GS}}{V_P}} = \frac{R_2}{2} \quad \text{c'est à dire} \quad V_{GS} = V_P \cdot \left(1 - \frac{R_0}{\frac{R_2}{2} - R_1} \right) = 2,53 \text{ V}$$

Diagramme de BODE : Gain et Phase

Simulation settings	Mode AC sweep log de 1 à 1000KHz (100points/dec)
Probe	Tracer module (DB) et Phase (P)



On remarque que la fréquence d'accord du pont de Wien correspond bien à la valeur théorique prévue : 15,95KHz

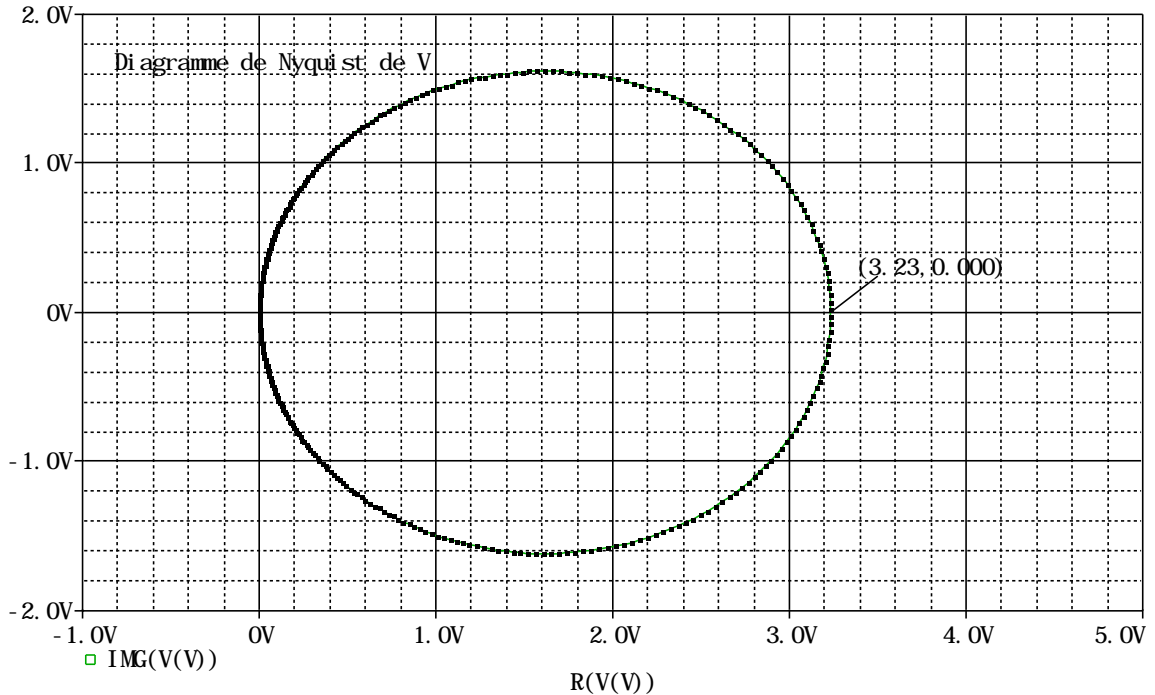


THEME :

OSCILLATEUR SINUSOIDAL A AMPLIFICATEUR OPERATIONNEL

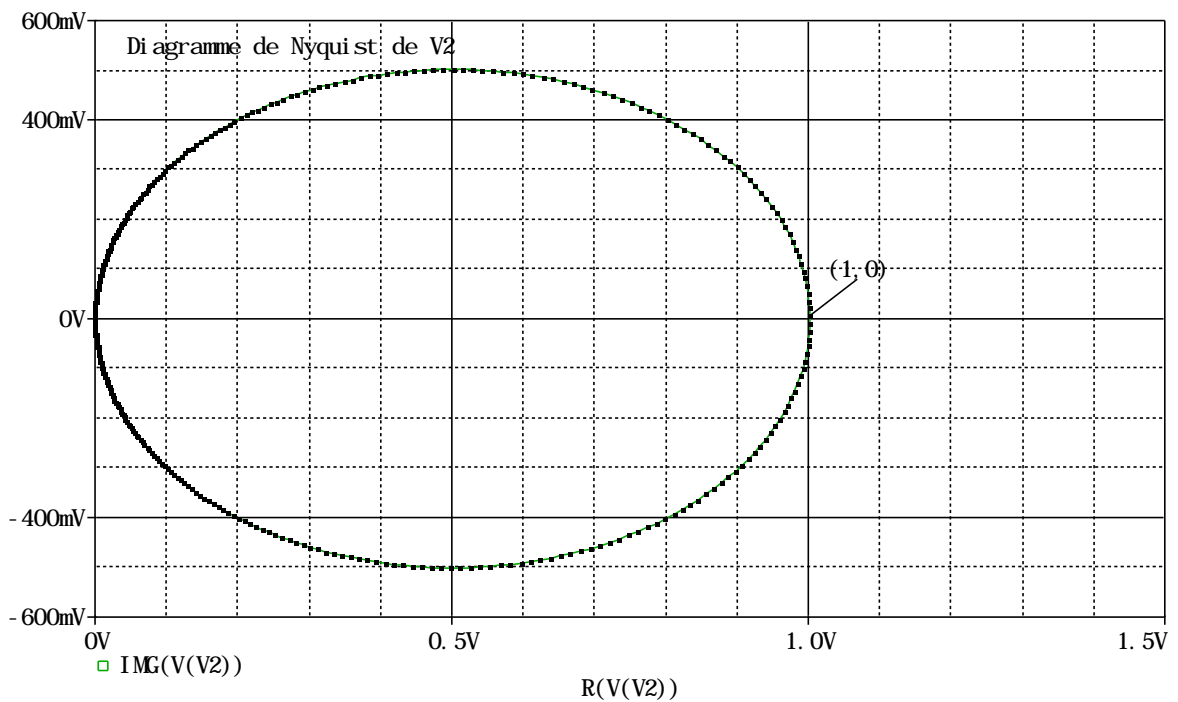
Diagrammes de Nyquist :

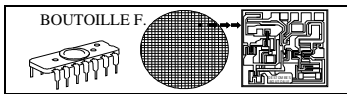
Probe Changer les axes X et Y pour une représentation cartésienne



Pour que le système oscille la condition $V_2 = E$ doit être respectée, il faut donc que V soit atténuée de manière à ce que la condition de Barkausen soit réalisée : il faut donc respecter la condition suivante $(1/3, 23) \text{ set} > 0.3$ permettant d'obtenir le passage du lieu de Nyquist par le point 1.

Après le réglage adéquat de set :





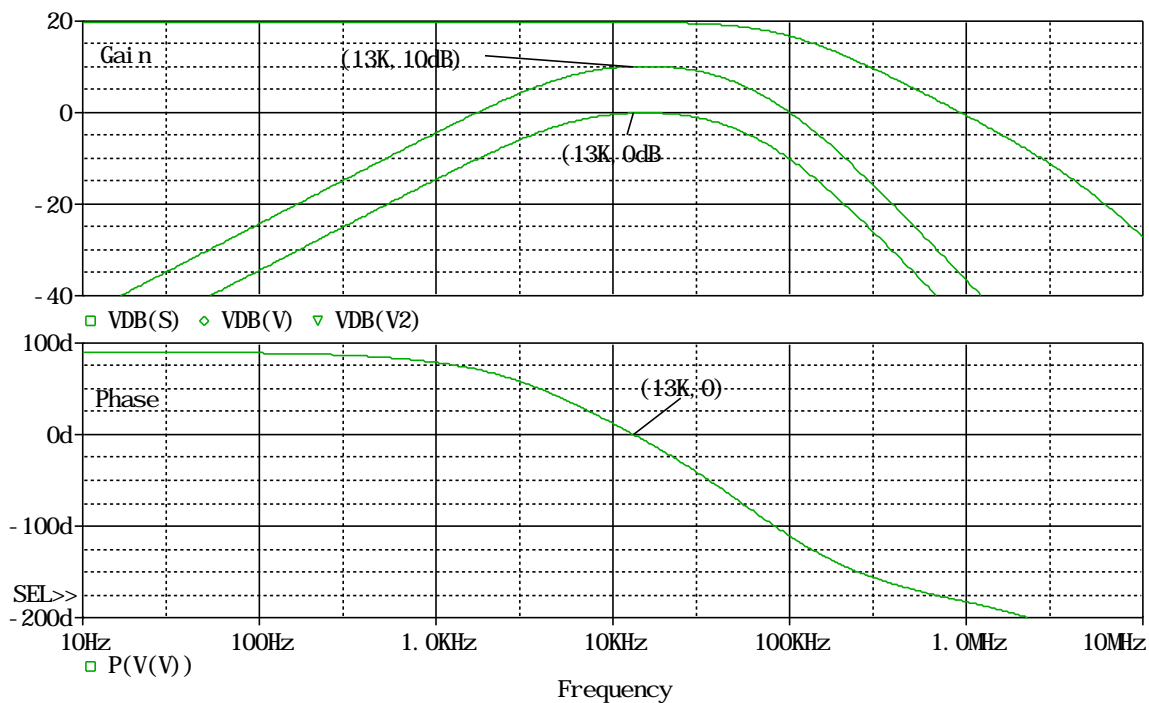
THEME :

OSCILLATEUR SINUSOIDAL A AMPLIFICATEUR OPERATIONNEL

Montage avec un Amplificateur Opérationnel réel (LM324):

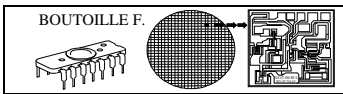
Diagramme de BODE : Gain et Phase

Simulation settings	Mode AC sweep log de 1 à 1000KHz (100points/dec)
Probe	Tracer module (DB) et Phase (P)



Cette fois-ci la fréquence d'accord diffère légèrement de la fréquence théorique, la limitation en fréquence de l'amplificateur opérationnel jouant son effet.

Pour que le système oscille la condition $V_2 = E$ doit être respectée, il faut donc que V soit atténuée de manière à ce que la condition de Barkhausen soit réalisée : il faut donc respecter la condition suivante $set > 0.3$ permettant d'obtenir le passage du lieu de Nyquist par le point 1



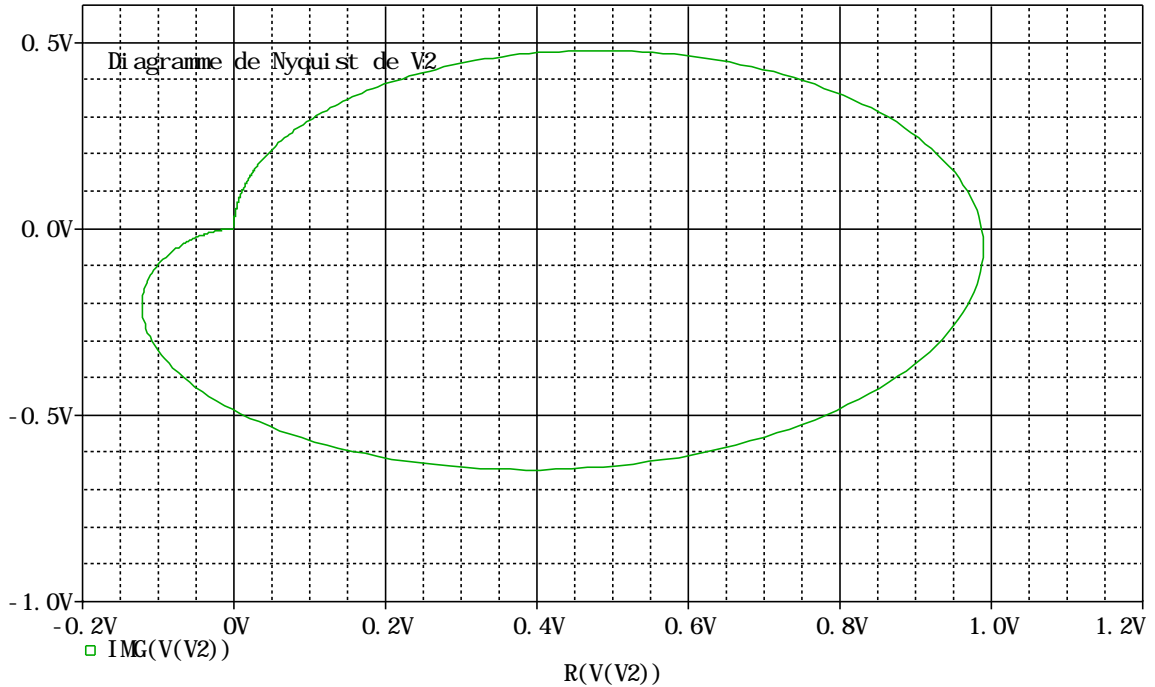
THEME :

OSCILLATEUR SINUSOIDAL A AMPLIFICATEUR OPERATIONNEL

Après le réglage adéquat de *set* :

Diagramme de Nyquist :

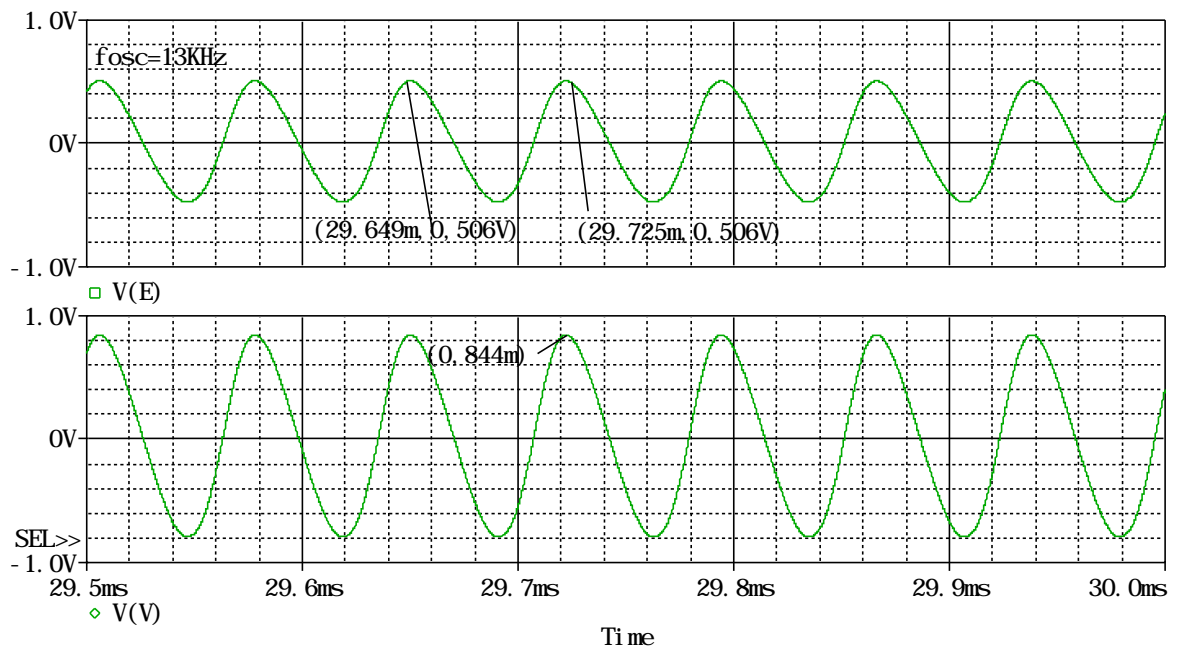
Probe	Changer les axes X et Y pour une représentation cartésienne
-------	---

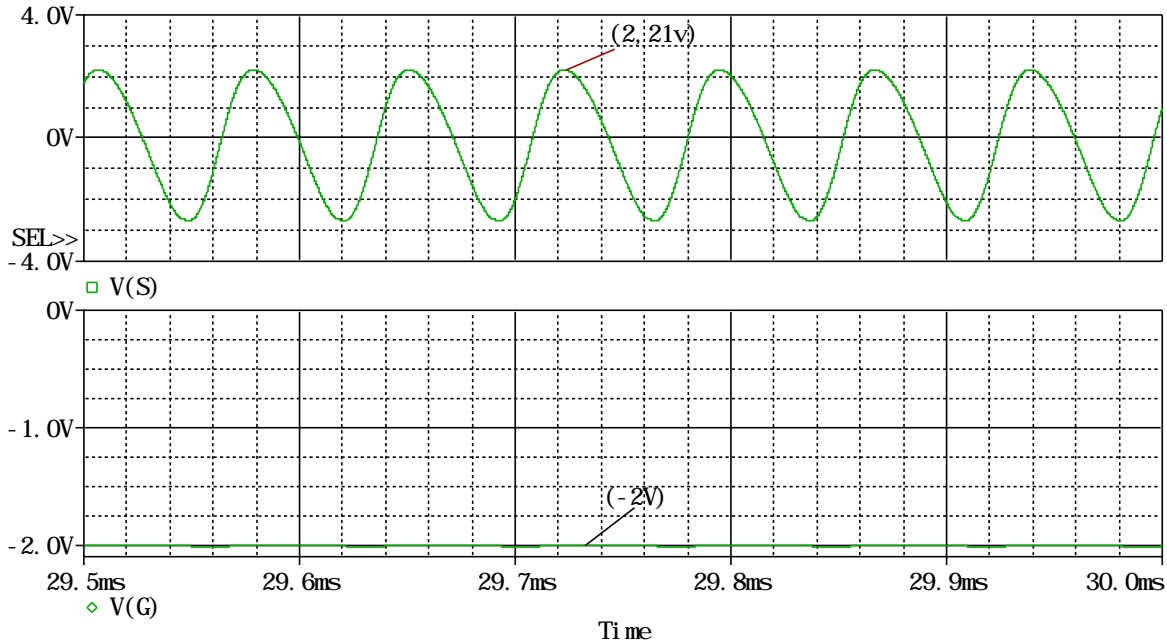
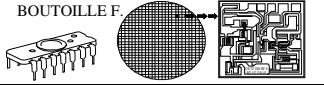


2-3 Vérification de conditions de Barkausen :

Relevé de l'oscillation (système en boucle fermée) *set*= 0,6

Simulation settings	Mode Time domain de 29.5ms à 30ms par pas de 0.01ms
---------------------	---





La fréquence d'oscillation est de 13KHz et elle correspond à la fréquence obtenue sur le relevé de Bode .(Ampli. Op. réel.)

Comme prévu, elle diffère donc de la valeur théorique du fait de la limitation en fréquence de l'amplificateur opérationnel .

On relève $V_{GS} = -2V$

Le rapport des amplitudes entre V et E est bien de $0,6$ (valeur de set)

Le rapport entre S et V vaut $V/S = 0,844 / 2,21 = 0,38$ (presque $1/3$)

L'amplification s'est stabilisée à $S/E = 2,21 / 0,506 = 4,36$

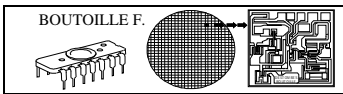
L'amplification théorique valant :

$$A = \left(1 + \frac{R_2}{R_1 + R_0 \cdot \frac{1}{1 - \frac{V_{GS}}{V_P}}} \right) = \left(1 + \frac{2000}{100 + 141 \cdot \frac{1}{1 - \frac{2}{3}}} \right) = 4,82$$

Si on augmente la valeur de set (>0.8) on observe une distorsion sur la tension de sortie puis la disparition des oscillations, cela s'explique très bien par le fait que l'amplitude de la tension de sortie augmentant (du fait de l'augmentation de E) la tension V_{GS} augmente à son tour et se rapproche des $2,5V$ entraînant le non respect de la condition d'oscillation (la valeur $R_1 + R_{DS}$ devenant trop importante : $R_2 < 2(R_1 + R_{DS})$)

Pour que le système oscille la condition $V_2 = E$ doit être respectée, il faut donc que V soit atténuée de manière à ce que la condition de Barkhausen soit réalisée : il faut donc respecter la condition suivante $set > 0.3$ permettant d'obtenir le passage du lieu de Nyquist par 1

En conclusion on pourra utiliser ce montage et régler son amplitude pour des valeurs de set comprise entre $0,3$ et $0,8$

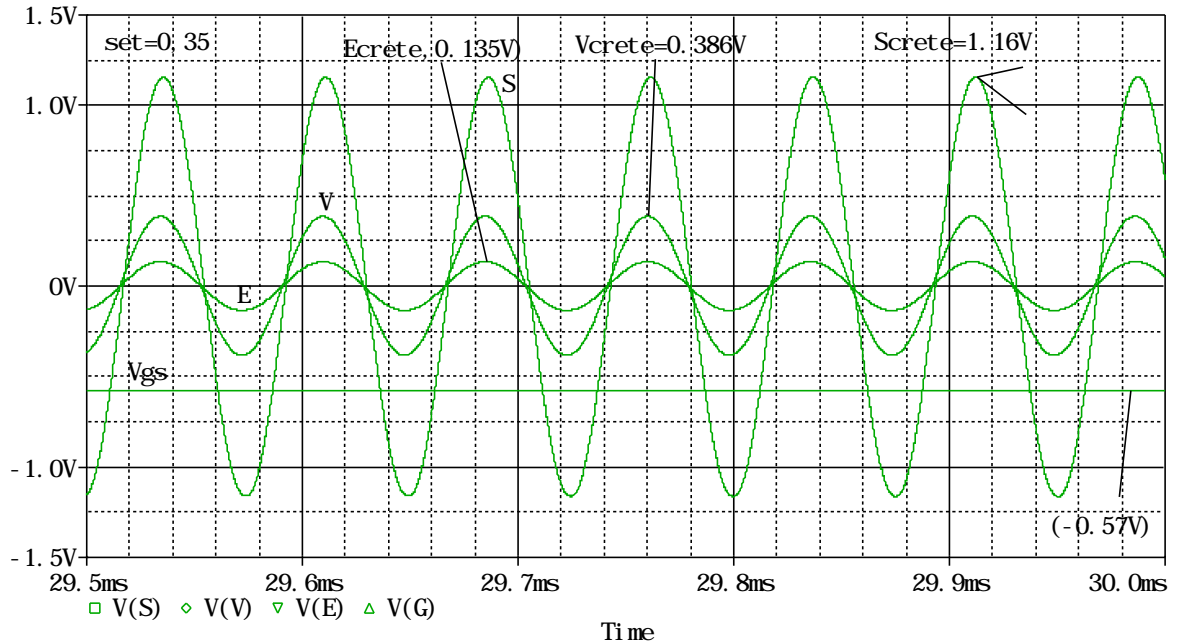


THEME :

OSCILLATEUR SINUSOIDAL A AMPLIFICATEUR OPERATIONNEL

Exemple : relevé des signaux E,S,V et V_{GS} pour $set=0,35$

Simulation settings | Mode Time domain de 29.5ms à 30ms par pas de 0.01ms



On peut ainsi relever les résultats suivants :

$$V_{GS} = -0,57$$

$$S/E = 1,16/0,135 = 8,6 \text{ (amplification théorique : avec } V_{GS} = -0,57V \text{)}$$

$$A = \left(1 + \frac{R_2}{R_1 + R_0 \cdot \frac{1}{1 - \frac{V_{GS}}{V_P}}} \right) = \left(1 + \frac{2000}{100 + 141 \cdot \frac{1}{1 - \frac{0,57}{3}}} \right) = 8,29$$

$$E/V = 0,135/0,386 = 0,35 \text{ (valeur de } set \text{)}$$

$$V/S = 0,386/1,16 = 0,333 \text{ (1/3) (atténuation à la fréquence } f_{osc} \text{)}$$



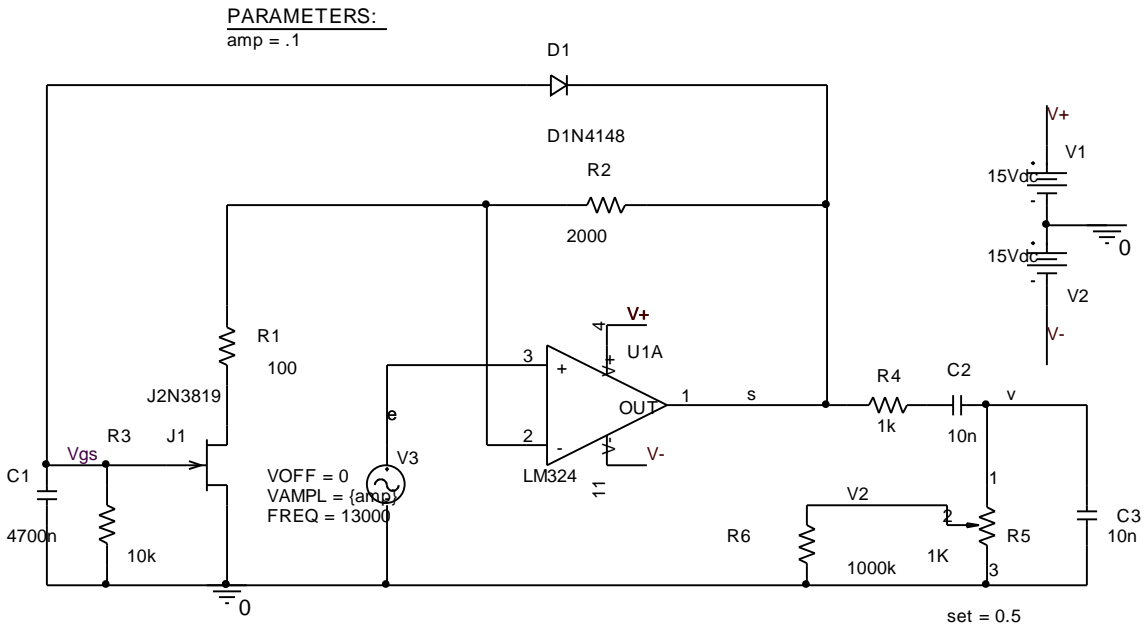
3°)Prédétermination de l'amplitude des oscillations (CAG)

Remarque préliminaire :

Normalement (dans le cas de l'Ampli. Op. idéal) Il faudrait faire les relevés suivants pour la fréquence théorique de $15,91 \text{ Hz}$ mais compte-tenu de l'amplificateur opérationnel réel il convient de réaliser cette manipulation pour $f = f_{osc}$ réelle c'est à dire 13KHz environ.

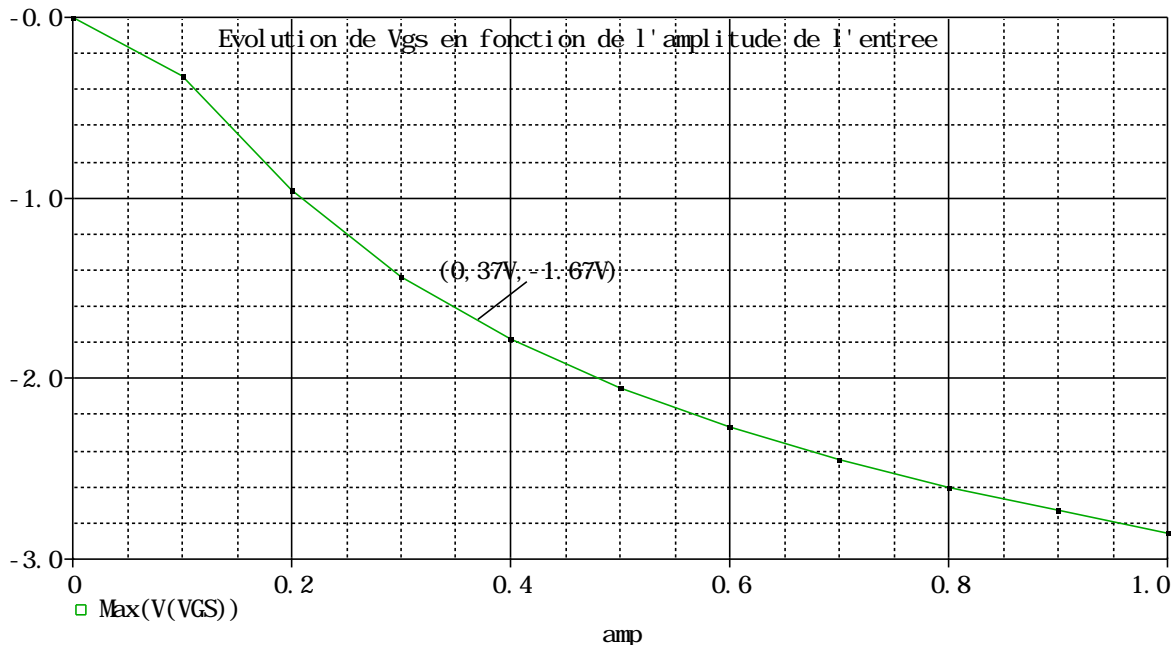
3-1 Etude du montage en boucle ouverte pour $set = 0,5$

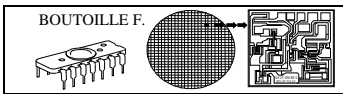
Montage



Relevé en boucle ouverte de la caractéristique : Amplitude de la tension V_{GS} en fonction de l'amplitude de la tension d'entrée E :

Simulation settings	Mode Time domain ; de 5ms à 30ms par pas de 0.005ms (+skip) Parametric sweep : global amp 0 à 1V par pas de 0.1V
Probe	Performance analysis : utiliser la fonction (MAX)



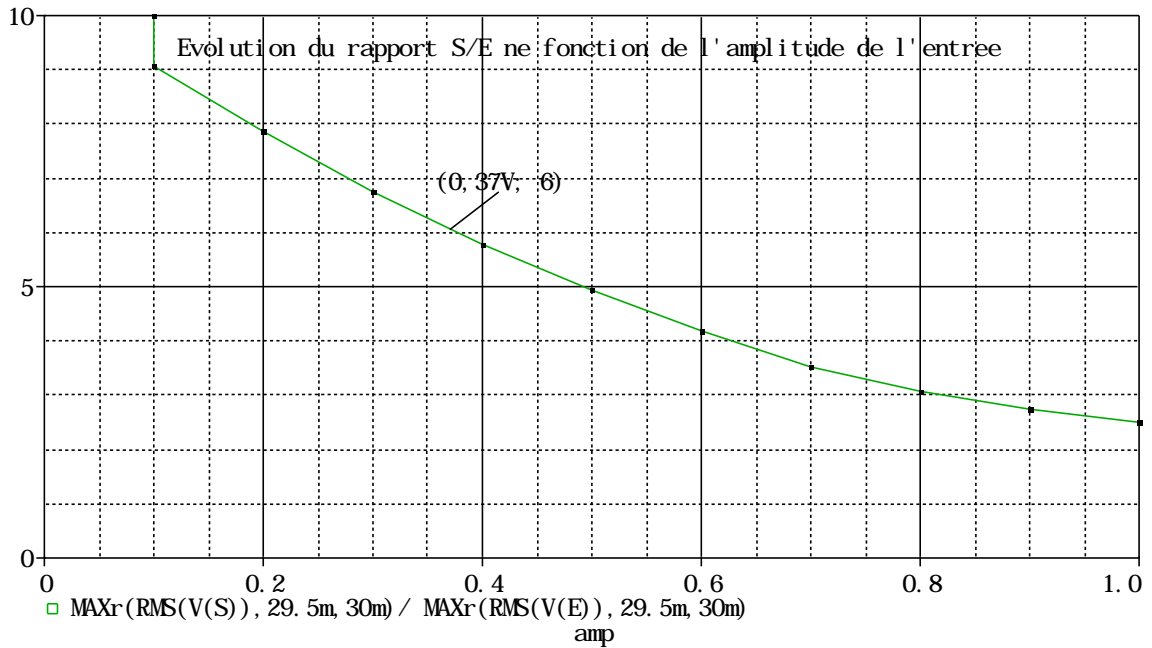


THEME :

OSCILLATEUR SINUSOIDAL A AMPLIFICATEUR OPERATIONNEL

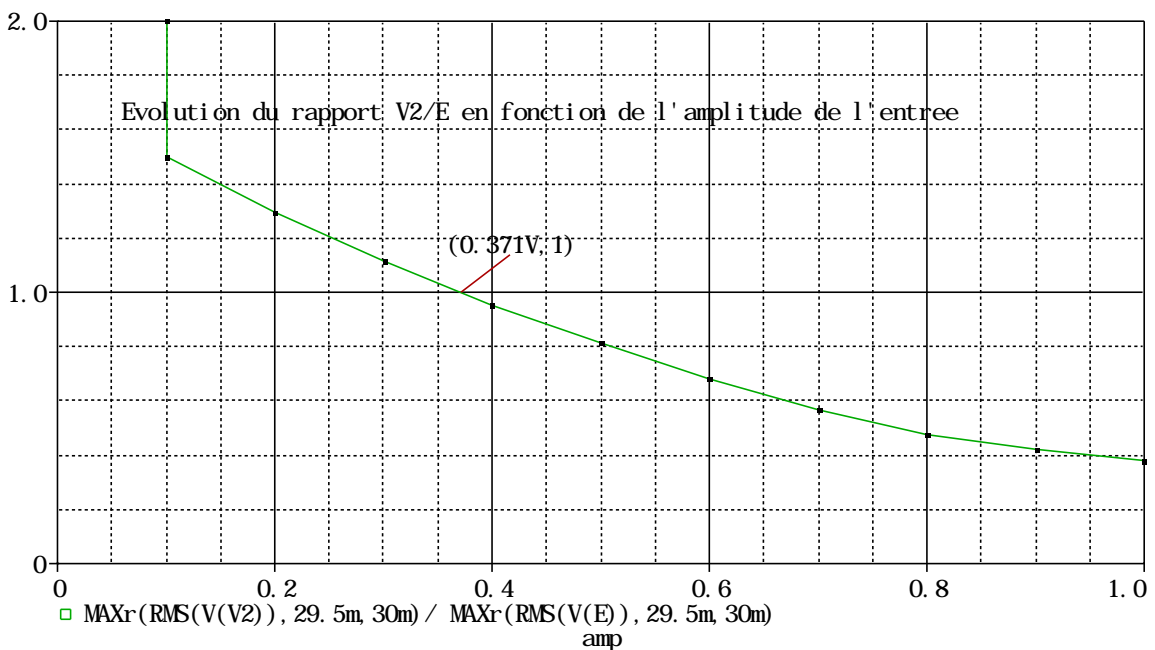
Relevé en boucle ouverte de la caractéristique : Amplification du système en fonction de l'amplitude de la tension d'entrée E

Probe	Ajouter les courbes RMS () Performance analysis : utiliser la fonction (MAXr,1,,)
-------	---

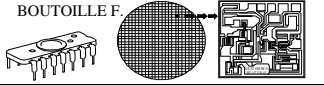


Relevé en boucle ouverte de la caractéristique : Rapport V_2/E en fonction de l'amplitude de la tension d'entrée E

Probe	Performance analysis : utiliser la fonction (MAXr,1,,)
-------	--

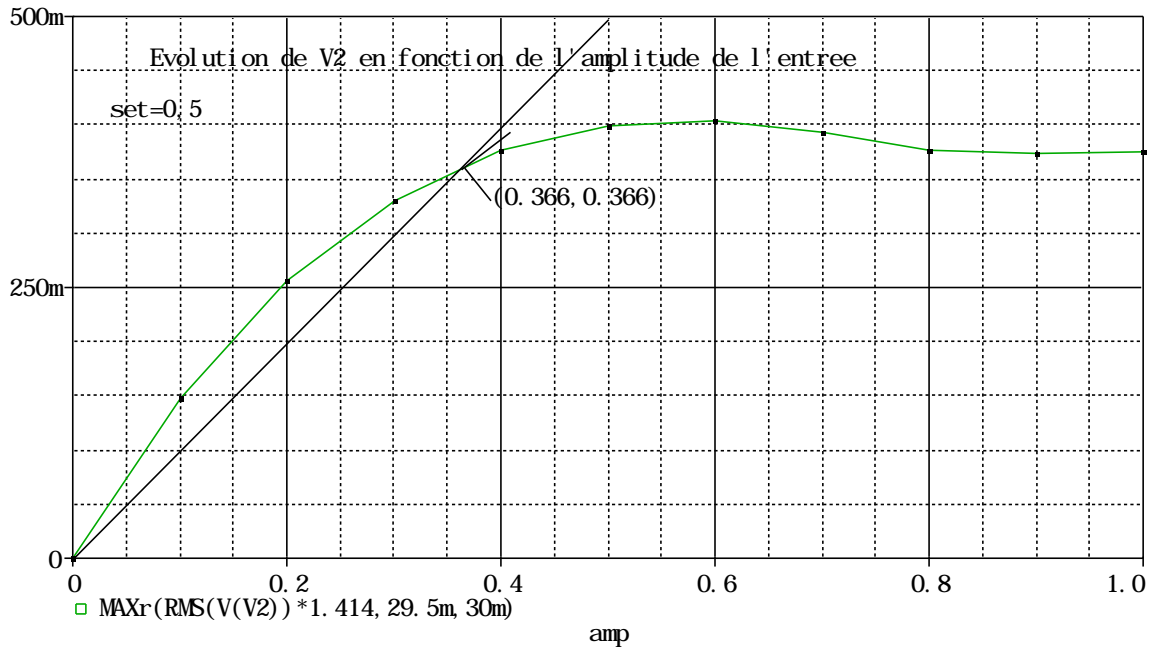


On note que l'amplification de valeur 1 est obtenue pour une amplitude d'entrée valant 0,37V
Ce qui est confirmé sur le relevé suivant :



Relevé en boucle ouverte de la caractéristique : Amplitude de la tension V_2 en fonction de l'amplitude de la tension d'entrée E

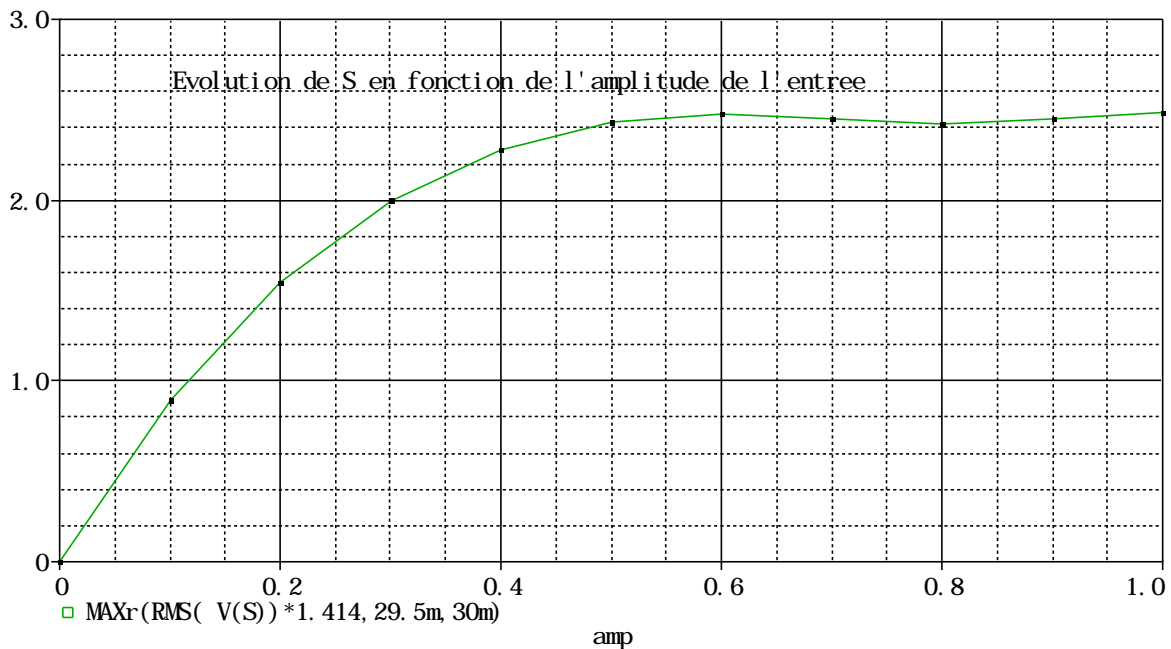
Probe	Performance analysis : utiliser la fonction (MAXr,1,,)
-------	--

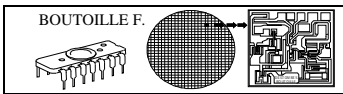


L'amplitude du signal V_2 (et de E) est donc de $0,37V$ et correspond à la valeur de l'amplitude que prendront ces signaux lorsque le système sera bouclé (voir relevé en boucle fermée pour $set=0,5$)

Relevé en boucle ouverte de la caractéristique : Amplitude de la tension S en fonction de l'amplitude de la tension d'entrée E

Probe	Performance analysis : utiliser la fonction (MAXr,1,,)
-------	--





THEME :

OSCILLATEUR SINUSOIDAL A AMPLIFICATEUR OPERATIONNEL

Pour une amplitude de l'entrée E égale à $0,37V$ on a une amplitude de sortie $S = 2,25V$; ce qui correspond à une amplification de $2,25/0,37 = 6$ comme prévu sur le relevé: Amplification du système en fonction de l'amplitude de la tension d'entrée E .

$$V_{GS} = -1,67V$$

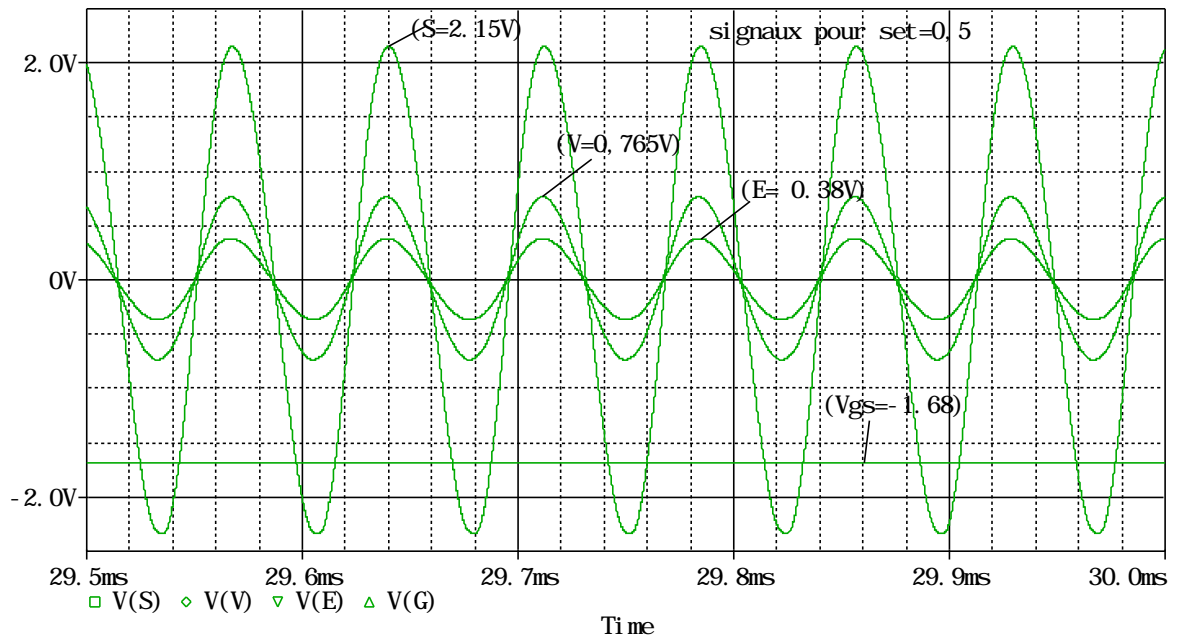
$$S/E = 2,25/0,37 = 6 \text{ (amplification théorique : avec } V_{GS} = -1,67V \text{)}$$

$$A = \left(1 + \frac{R_2}{R_1 + R_0 \cdot \frac{1}{1 - \frac{V_{GS}}{V_P}}} \right) = \left(1 + \frac{2000}{100 + 141 \cdot \frac{1}{1 - \frac{1,67}{3}}} \right) = 5,8$$

Vérification des résultats précédents :

Relevé des différents signaux V_{GS} ; E , V , V_2 et S pour $set = 0,5$ en boucle fermée :

Simulation settings | Mode Time domain de 29.5ms à 30ms par pas de 0.01ms

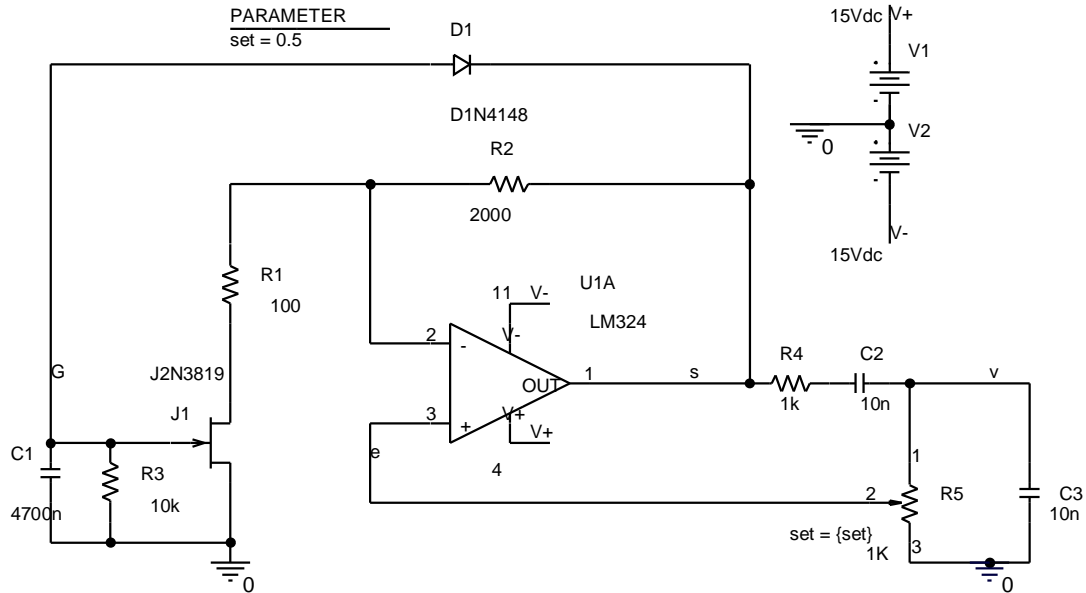


Les différents amplitudes relevées correspondent aux résultat attendus dans les relevés de la prédétermination .



3-2 Etude du montage en boucle fermée en fonction de *set*

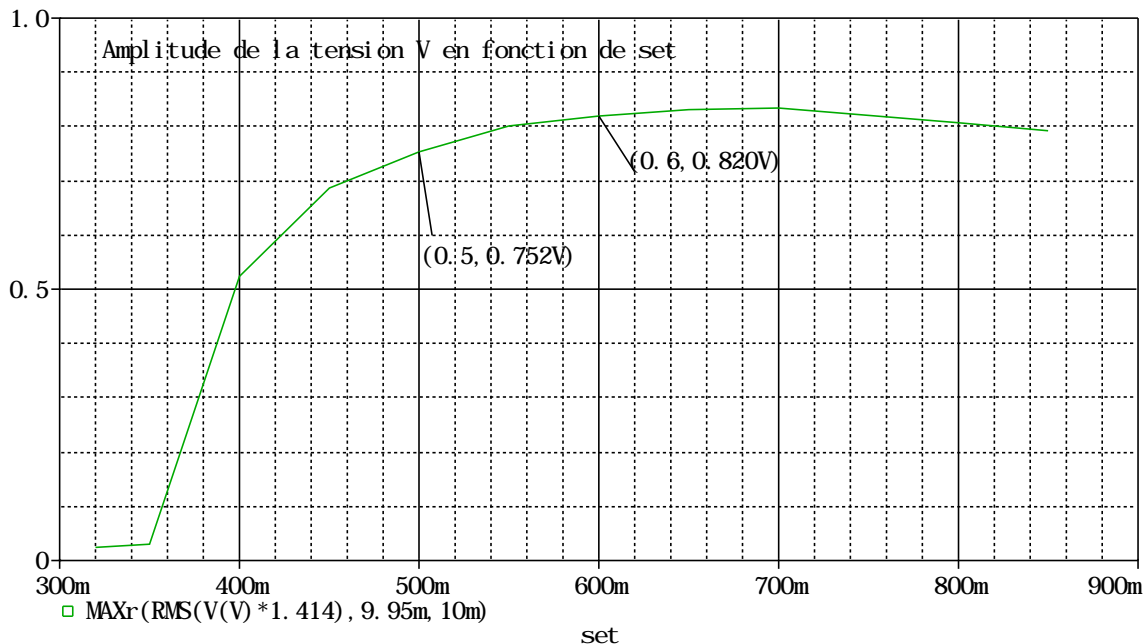
Montage :

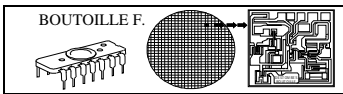


On peut enfin relever la caractéristique de contrôle d'amplitude de l'oscillateur :

Amplitude du signal de sortie (en boucle fermée) en fonction de la valeur de *set* pour *set* compris entre 0,3 et 0,8 . Pour cette dernière simulation (compter 2 Heures de travail pour un ordinateur pentium II 233MHz)

Simulation settings	Mode Time domain ; de 9.5ms à 10ms par pas de 0.0001ms (+skip) Parametric sweep : global set list 0.32 0.35 0.4 0.45 0.5 0.55 0.6 0.65 0.7 0.8 0.85
Probe	Performance analysis : utiliser la fonction (MAXr,1,,)



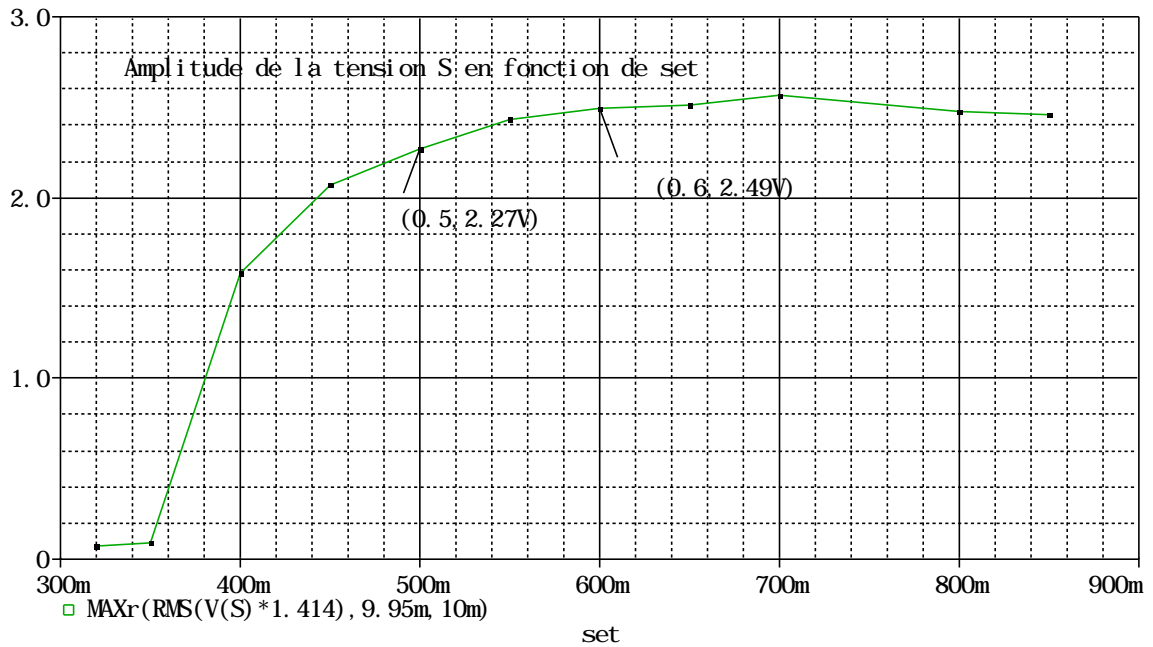


THEME :

OSCILLATEUR SINUSOIDAL A AMPLIFICATEUR OPERATIONNEL

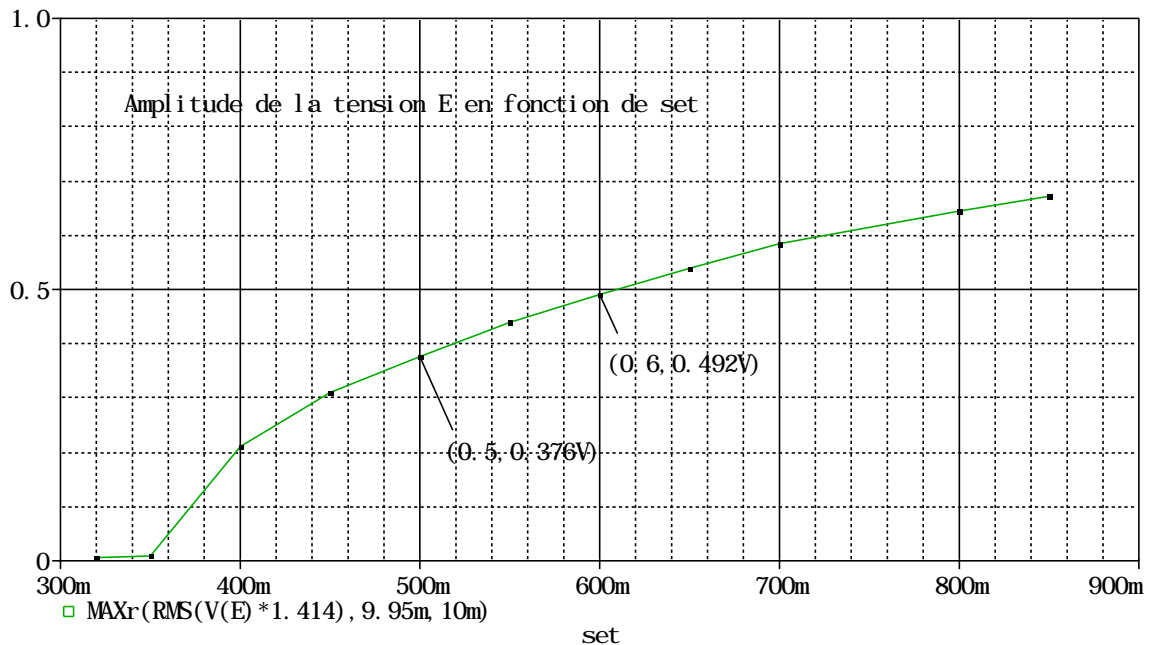
Amplitude du signal de sortie de l'amplificateur opérationnel (en boucle fermée) en fonction de la valeur de *set* pour *set* compris entre 0,3 et 0,8 .

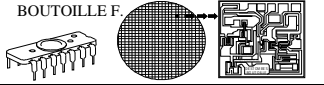
Probe	Performance analysis : utiliser la fonction (MAXr,1,,)
-------	--



Amplitude du signal d'entrée E (en boucle fermée) en fonction de la valeur de *set* pour *set* compris entre 0,3 et 0,8 .

Probe	Performance analysis : utiliser la fonction (MAXr,1,,)
-------	--

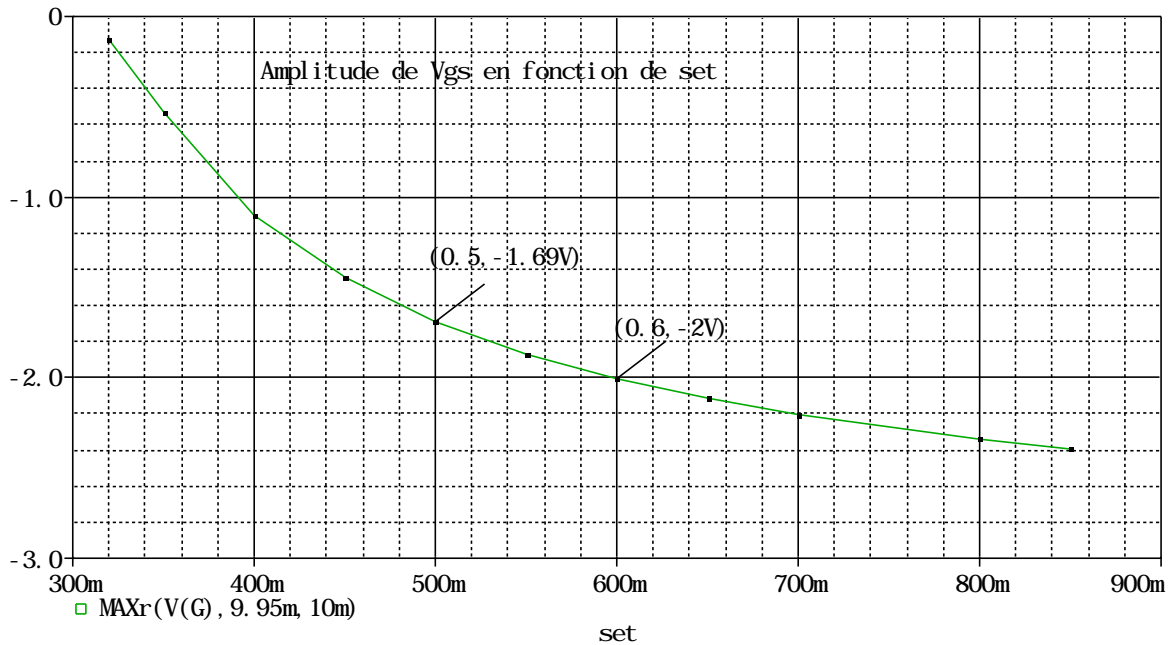




Amplitude du signal V_{GS} (en boucle fermée) en fonction de la valeur de set pour set compris entre 0,3 et 0,8 .

Probe

Performance analysis : utiliser la fonction (MAXr,1,,)



Amplification S/E (en boucle fermée) en fonction de la valeur de set pour set compris entre 0,3 et 0,8 .

Probe

Performance analysis : utiliser la fonction (MAXr,1,,)

