

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE
D'ORAN MOHAMED BOUDIAF



وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

جامعة العلوم والتكنولوجيا بهران محمد بوضياف

FACULTÉ DE GÉNIE ELECTRIQUE

DÉPARTEMENT D'ELECTRONIQUE

كلية الهندسة الكهربائية

قسم الإلكترونيك

Manuel de Cours

Electronique Fondamentale 2

2^{ème} année ELECTRONIQUE Licence

Chapitre 1 : Transistors à effet de champ Semaine3

2019-2020

1.3 Amplificateurs à source commune, à drain commun et à grille commune [3]

Dans cette section nous étudierons les propriétés d'amplification d'un JFET et comment le gain est affecté par certains paramètres et composants du circuit. Nous simplifierons le JFET pour comprendre l'essentiel de son fonctionnement.

Les propriétés d'Amplification du JFET

La transconductance se définit par l'équation 1.12. Pour les quantités c.a., $g_m = I_d / V_{gs}$. En réarrangeant les termes,

$$I_d = g_m V_{gs} \quad (1.18)$$

Cette équation stipule que le courant de sortie est égal à la tension d'entrée multipliée par la transconductance.

Circuit équivalent

Un circuit équivalent de JFET est représenté à la figure 1.15. à la partie (a) la résistance interne, r'_{gs} , se présente entre la grille et la source, tandis qu'une source de courant égale à $g_m V_{gs}$, apparaît entre le drain et la source. La résistance interne, r'_{ds} , entre le

drain et la source est également incluse. La partie (b) représente un modèle idéal simplifié. On présume que la résistance r'_{gs} est infiniment grande et qu'il existe un circuit ouvert entre la grille et la source. On présume également que r'_{ds} est suffisamment élevée pour être négligée.

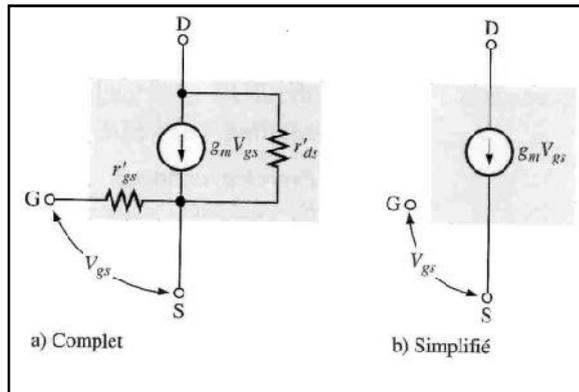


Figure1.15: circuit équivalent interne d'un JFETa. Complet. b. simplifié.

Gain en tension

Un circuit équivalent idéal du JFET avec une résistance c.a. au drain externe est illustré à la figure 1.16. la tension alternative est égale à V_{sor}/V_{en} Où $V_{en} = V_{gs}$ et $V_{sor} = V_{ds}$,

$$A_V = \frac{V_{ds}}{V_{gs}} \quad (1.19)$$

A partir du circuit équivalent ;

$$V_{ds} = I_d R_d \quad (1.20)$$

$$V_{gs} = \frac{I_d}{g_m} \quad (1.21)$$

En substituant les deux expressions précédentes avec les termes de la formule 1.19

$$A_V = \frac{I_d R_d}{I_d / g_m} = \frac{g_m I_d R_d}{I_d} \quad (1.22)$$

$$A_V = g_m R_d \quad (1.23)$$

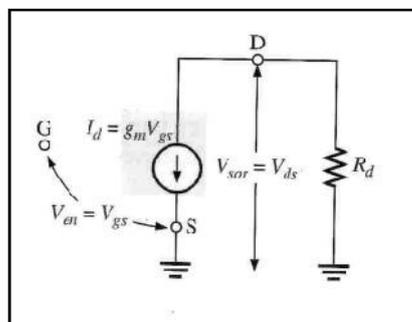


Figure1.16: circuit équivalent simplifié du JFET avec résistance au drain externe

Effet de la résistance r'_{ds} sur le gain

Si la résistance interne r'_{ds} est prise en considération, elle apparait en parallèle avec R_d (figure 1.17). si la valeur de r'_{ds} n'est pas suffisamment supérieure à celle de R_d (au moins dix fois plus grande), le gain est réduit et l'équation 1.23 du gain idéal est modifié pour donner la formule suivante :

$$A_V = g_m \frac{R_d r'_{ds}}{R_d + r'_{ds}} \tag{1.24}$$

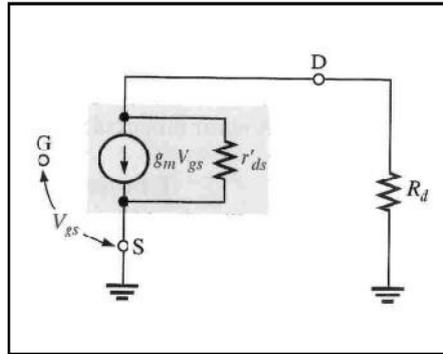


Figure1.17: circuit équivalent du JFET incluant la résistance interne r'_{ds}

Effet de la résistance externe à la source sur le gain

Lorsqu'on inclut une résistance externe entre la borne de la source du JFET et la masse, on obtient le circuit équivalent illustré à la figure 1.18. L'examen de ce circuit démontre que la tension d'entrée totale entre la grille et la masse est égale à

$$V_{en} = V_{gs} + I_d R_s \tag{1.25}$$

La tension de sortie prise aux bornes de R_d est

$$V_{sor} = I_d R_d \tag{1.26}$$

Par conséquent, la formule pour calculer le gain en tension se développe de la façon suivante :

$$A_V = \frac{I_d R_d}{V_{gs} + I_d R_s} = \frac{g_m R_d}{1 + g_m R_s} \tag{1.27}$$

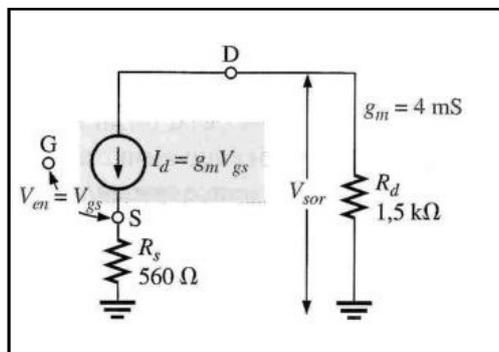


Figure1.18: circuit équivalent du JFET incluant la résistance externe à la source

Amplificateurs à source commune

Maintenant que nous avons une idée du fonctionnement du JFET comme composant d'amplification, nous allons examiner un circuit complet d'amplificateur.

La figure 1.19 illustre un amplificateur à source commune utilisant un JFET à canal N sous polarisation automatique. En plus du condensateur de dérivation autour de la source. Des condensateurs de couplage sont utilisés à l'entrée et à la sortie. Le circuit combine un fonctionnement c.c. et un fonctionnement c.a.

Analyse c.c.

Pour analyser cet amplificateur, on doit d'abord déterminer les valeurs de polarisation c.c. il faut développer un circuit équivalent c.c. en remplaçant tous les condensateurs par des circuits ouverts 1.19.b. avant toute analyse, on doit d'abord déterminer I_D . si le circuit est polarisé avec un point Q centré sur la droite de charge, on peut calculer I_D en utilisant I_{DSS} à partir de la fiche technique de la façon suivante :

$$I_D = \frac{I_{DSS}}{2} \tag{1.28}$$

Sinon, on doit déterminer la valeur de I_D à partir de valeurs de paramètres du circuit ; opération fastidieuse puisqu'on doit résoudre l'équation (1.29) en fonction de I_D .

Cette équation est dérivée par la substitution de V_{GS} dans l'équation (1.18). La solution de l'équation afin d'isoler I_D implique le développement de celle-ci sous forme quadratique pour ensuite en extraire la racine carrée.

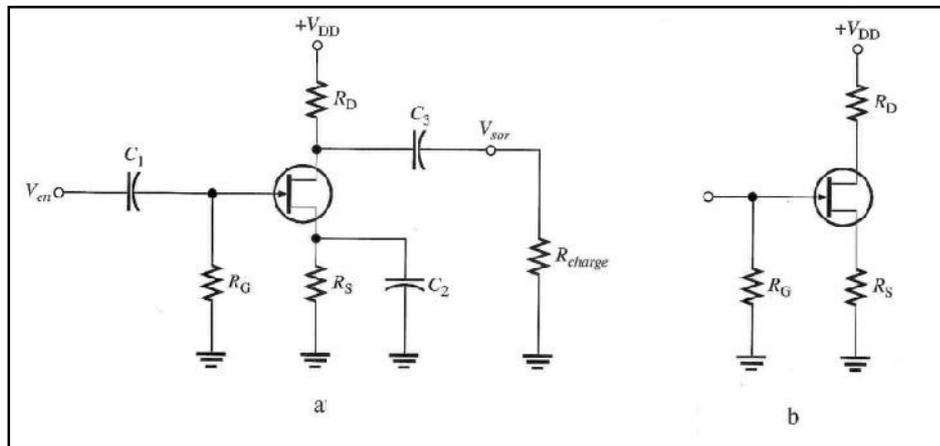


Figure1.19: a. Amplificateur JFET à source commune b. circuit équivalent c.c.

$$I_D = I_{DSS} \left(1 - \frac{I_D R_S}{V_{GS(off)}} \right)^2 \tag{1.29}$$

On peut utiliser le programme suivant écrit en langage **BASIC** ou une calculatrice programmable afin de résoudre I_D pour une configuration à JFET sous polarisation automatique, à partir de l'équation (1.29).

```

10 CLS
20 PRINT "CE PROGRAMME DETERMINE LE COURANT DE DRAIN D'UN JFET"
30 PRINT
40 PRINT "LES VALEURS D'ENTREE SONT LES SUIVANTES:"
50 PRINT "(1) IDSS D'APRES LA FICHE TECHNIQUE"
60 PRINT "(2) VGS(OFF) D'APRES LA FICHE TECHNIQUE"
70 PRINT "(3) VALEUR DE RS D' APRES LE SCHEMA DU CIRCUIT"
80 PRINT:PRINT:PRINT
90 INPUT "POUR CONTINUER, PRESSEZ LA TOUCHE 'ENTER'":X
100 CLS
110 INPUT "VALEUR DE IDSS EN AMPERES":IDSS
120 INPUT "VALEUR DE VGS(OFF) EN VOLTS":VGSOFF
130 INPUT "VALEUR DE RS EN OHMS":RS
140 CLS
150 A=RS [2*IDSS/VGSOFF]2
160 B=- (1+2*RS*IDSS/ABS(VGSOFF))
170 C=IDSS
180 DI=(-B-SQR(B[2]-4*A*C))/(2*A)
190 PRINT "ID=":ABS(DI):"A"

```

Une fois la valeur de I_D déterminée, on peut procéder à l'analyse c.c. à partir des formules suivantes :

$$V_S = V_{GS} = I_D R_S \quad (1.30)$$

$$V_D = V_{DD} - I_D R_D \quad (1.31)$$

$$V_{DS} = V_D - V_S \quad (1.32)$$

Circuit équivalent c.a.

Pour analyser l'opération du signal de l'amplificateur de la figure 1.19, on doit développer un circuit équivalent c.a. de la façon suivante : remplacer tous les condensateurs par des courts-circuits, puisqu'on suppose que $X_C \cong 0$ à la fréquence du signal, remplacer la source c.c. par une mise à la masse, en supposant que la source de tension possède une résistance interne de zéro ; la borne de V_{DD} est à un niveau de potentiel c.a. de zéro volt et représente la masse au point de vue c.a.

Le circuit équivalent c.a. est illustré à la figure 1.20. Notez que l'extrémité $+V_{DD}$ de R_d et la borne de la source sont toutes deux connectées à la masse, au point de vue c.a. pour l'analyse c.a., on sait que la masse virtuelle c.a. et la masse réelle c.c. sont considérées comme étant un seul et même point.

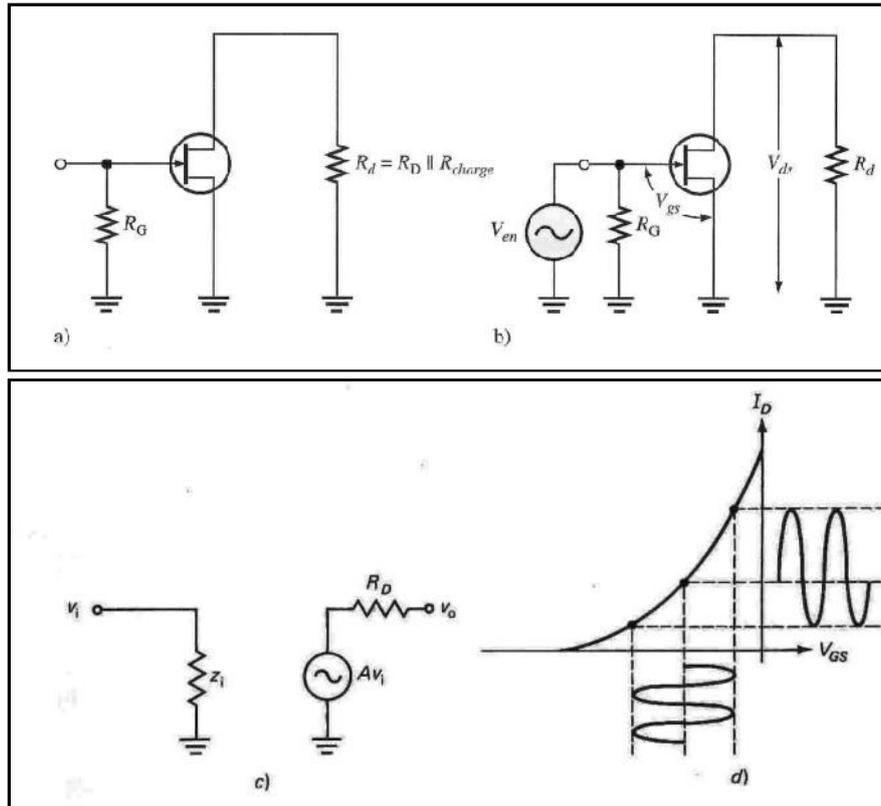


Figure 1.20: a. Amplificateur JFET à source commune b. circuit équivalent c.c. c. circuit équivalent. d. distorsion [2]

Puisque la résistance d'entrée est extrêmement élevée, presque toute la tension d'entrée de la source du signal apparaît à la grille, avec une très faible chute de tension aux bornes de la résistance interne de la source.

$$V_{GS} = V_{en} \tag{1.33}$$

Gain en tension

L'expression du gain en tension formule (1.23) s'applique également pour l'amplificateur à source commune.

$$V_{sor} = V_{ds} = A_v V_{gs} \tag{1.34}$$

Ou

$$V_{sor} = g_m R_d V_{en} \tag{1.35}$$

Où $R_d = R_D || R_{charge}$

Effet d'une charge c.a. sur le gain en tension

Lorsqu'une charge est connectée à la sortie de l'amplificateur à travers un condensateur de couplage figure (1.21.a), la résistance c.a. au drain est en réalité R_D en parallèle avec R_{charge} puisque l'extrémité supérieure de R_D est à la masse au point de vue c.a. le circuit équivalent c.a est illustré à la figure (1.21.b). la résistance c.a. au drain totale est

$$R_d = \frac{R_D R_{charge}}{R_D + R_{charge}} \quad (1.36)$$

L'effet de R_{charge} est de réduire le gain en tension sans charge.

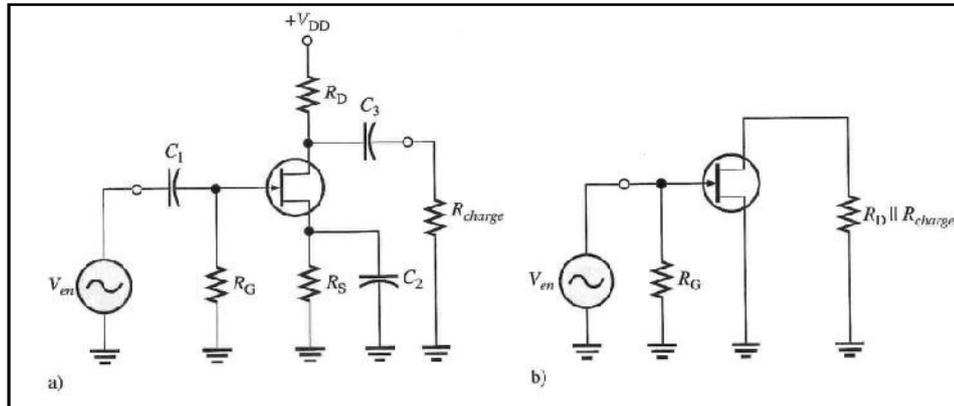


Figure1.21: a. Amplificateur JFET à source commune b. circuit équivalent c.c.

Inversion de phase

La tension de sortie (au drain) est déphasée de 180° par rapport à la tension d'entrée (à la grille). L'inversion de phase peut être désignée par un gain de tension négatif, $-A$.

Impédance d'entrée

Puisque l'entrée d'un amplificateur à source commune est connectée à la grille, la résistance d'entrée est extrêmement élevée. Idéalement sa valeur s'approche de l'infini et on peut la négliger, elle est produite par la jonction PN en polarisation inverse.

$$R_{en} = R_G \parallel \frac{V_{GS}}{I_{GSS}} \quad (1.37)$$

Le courant inverse de fuite I_{GSS} est donné sur la fiche technique pour une valeur de V_{GS} de manière à ce que l'on puisse calculer la résistance d'entrée de la composante.

Amplificateurs à drain commun

Amplificateurs à drain commun est appelé amplificateur à source suiveuse puisque la tension à la source est approximativement de même amplitude et en phase avec la tension de l'entrée (grille), en d'autres termes, la tension de la source suit la tension de l'entrée à la grille.

Amplificateurs à drain commun est illustré a la figure 1.22. La polarisation automatique est utilisée pour ce circuit particulier. Le signal d'entrée est appliqué à la grille à travers un condensateur de couplage, C_1 , tandis que le signal de sortie est couplé vers la résistance de charge à travers C_2 . Il n'y a pas de résistance de drain.

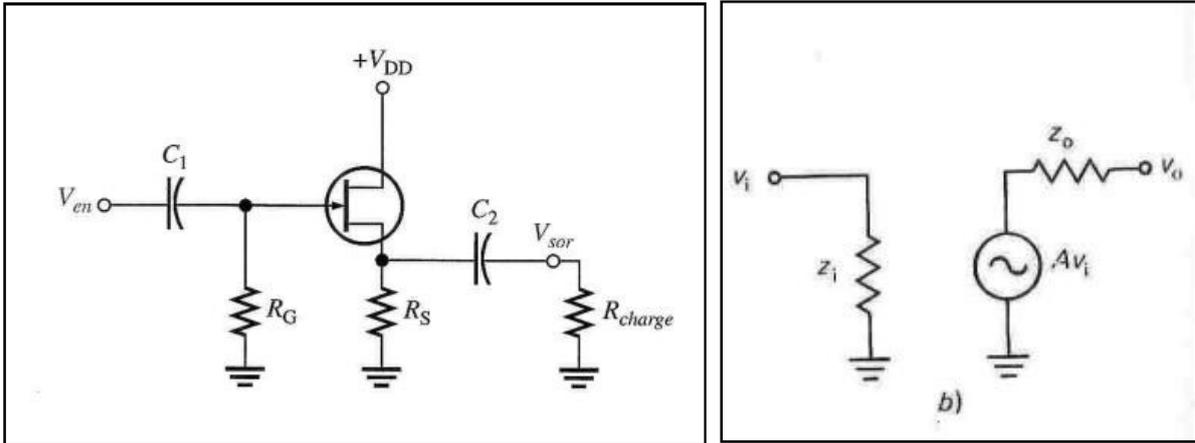


Figure1.22: a. Amplificateur JFET à drain commun b. circuit équivalent [2] [3]

Gain en tension

L'expression du gain en tension de la formule (1.23) s'applique également pour l'amplificateur à source commune. Figure 1.23

$$V_{en} = V_{gs} + I_d R_s \tag{1.38}$$

Ou

$$V_{sor} = I_d R_s \tag{1.39}$$

Par conséquent, la formule pour calculer le gain en tension se développe de la façon suivante :

$$A_V = \frac{g_m V_{gs} R_s}{V_{gs} + g_m V_{gs} R_s} = \frac{g_m R_s}{1 + g_m R_s} \tag{1.40}$$

Notez que le gain est toujours légèrement inférieur à 1. Si $g_m R_s \gg 1$, on peut alors affirmer que $A_V \approx 1$.

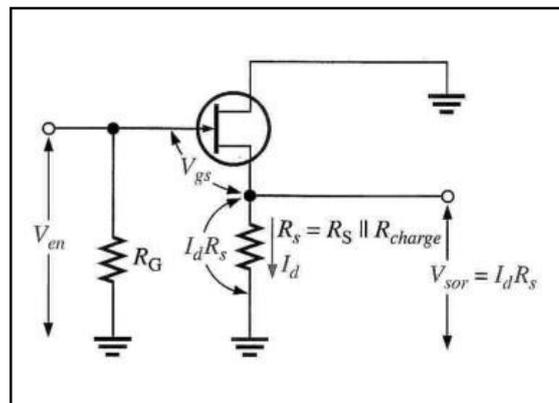


Figure1.23: a. tensions à l'intérieur d'un amplificateur à drain commun avec une résistance de charge combinée avec R_s

Impédance d'entrée

Puisque l'entrée de l'amplificateur à drain commun est connectée à la grille, la résistance d'entrée est extrêmement élevée. Tout comme l'amplification à source commune.

$$R_{en} = R_G \parallel R_{EN(grille)} = R_G \parallel \frac{V_{GS}}{I_{GSS}} \tag{1.41}$$

Amplificateur à grille commune

L'Amplificateur à grille commune possède une faible impédance d'entrée. Cette caractéristique diffère des autres configurations, à source commune et à drain commun qui possèdent des impédances d'entrées très élevées.

L'Amplificateur à grille commune sous polarisation automatique illustré à la figure 1.24. La grille est directement connectée à la masse. Le signal d'entrée est appliqué à la borne de la source à travers C_1 . La sortie est couplée à travers C_2 à partir de la borne du drain.

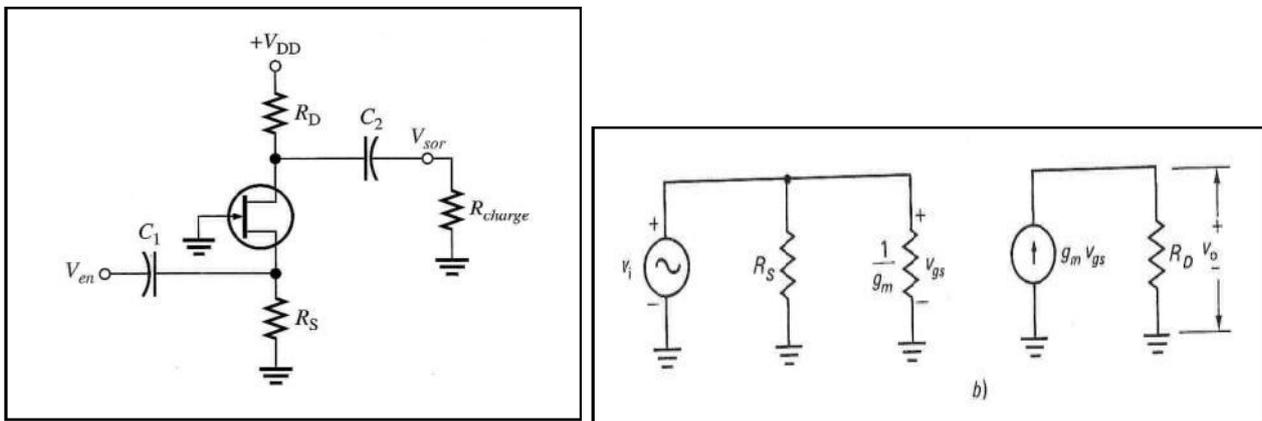


Figure1.24: a. Amplificateur JFET à grille commune b. circuit équivalent [2] [3]

Gain en tension

Le gain en tension entre la source et le drain est développé de la façon suivante :

$$A_V = \frac{V_{sor}}{V_{en}} = \frac{V_d}{V_{gs}} = \frac{I_d}{V_{gs}} = \frac{g_m V_{gs} R_d}{V_{gs}} = g_m R_d \tag{1.42}$$

Où $R_d = R_D \parallel R_{charge}$

Impédance d'entrée

Nous avons vu que les configurations à source commune et à drain commun possèdent des résistances d'entrées extrêmes puisque la grille est la borne de l'entrée. Par contre, la configuration à grille commune utilise la source comme entrée et possède une faible résistance d'entrée.

$$V_{en} = V_{gs} \text{ et } I_{en} = I_s = I_d = g_m V_{gs}$$

Par conséquent, la résistance d'entrée à la borne de la source devient :

$$R_{EN(source)} = \frac{v_{en}}{i_{en}} = \frac{V_{gs}}{g_m V_{gs}} = \frac{1}{g_m} \quad (1.43)$$

Un FET est appelé un composant à la loi des carrés, I_D étant en relation avec un terme au carré contenant V_{GS} . Pour un JFET, la polarisation avec point Q centré ($I_D = I_{DSS}/2$) est obtenue en réglant $V_{GS} \cong V_{GS(off)}/3.4$. Le point Q est plus stable pour un JFET polarisé par diviseur de tension qu'en polarisation automatique.