جمهورية العراق
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة المثنى
كلية العلوم/ قسم الفيزياء

مقارنة دراسة خواص واستخدامات ترانزستور MOSFET و JFET

بحث مقدم
الى قسم الفيزياء في كلية العلوم
كجزء من متطلبات نيل شهادة البكالوريوس في علوم الفيزياء

إعداد الطلبة
كرار عطيوي جحيل
مها عادل كامل
فاطمة أحمد فرج

بإشراف
م . ماجد كامل غثيث

1443 هـ
2022 م

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَٰنِ الرَّحِيمِ

[وَمِنَ النَّاسِ مَن يُعْجِبُكَ قَوْلُهُ فِي الْحَيَاةِ الدُّنْيَا وَيُشْهِدُ اللَّهَ عَلَىٰ مَا فِي قَلْبِهِ وَهُوَ أَلَدُّ الْخِصَامِ (204) وَإِذَا تَوَلَّىٰ سَعَىٰ فِي الْأَرْضِ لِيُفْسِدَ فِيهَا وَيُهْلِكَ الْحَرْثَ وَالنَّسْلَ ۗ وَاللَّهُ لَا يُحِبُّ الْفَسَادَ(205)]

صدق الله العظيم

(سورة: البقرة، الآية: 204، 205)

إهداء

إلى من أُفضِّلها على نفسي، ولِمَ لا؛ فلقد ضحَّت من أجلي

ولم تدَّخر جُهدًا في سبيل إسعادي على الدَّوام

(أُمِّي الحبيبة).

نسير في دروب الحياة، ويبقى من يُسيطر على أذهاننا في كل مسلك نسلكه

صاحب الوجه الطيب، والأفعال الحسنة.

فلم يبخل عليَّ طيلة حياته

(والدي العزيز).

إلى أصدقائي، وجميع من وقفوا بجواري وساعدوني بكل ما يملكون، وفي أصعدة كثيرة

أُقدِّم لكم هذا البحث، وأتمنَّى أن يحوز على رضاكم.

الشكر والعرفان

أول مشكور هو الله عز وجل، ثم والدَيَّ على كل ما بذلاه منذ ولادتي إلى هذه اللحظات، أنتم كل شيء أحبكم في الله أشد الحب.

يسرني أن أوجه شكري لكل من نصحني أو أرشدني أو وجهني أو ساهم معي في إعداد هذا البحث بإيصالي للمراجع والمصادر المطلوبة في أي مرحلة من مراحله، وأشكر على وجه الخصوص استاذي الفاضل (م. ماجد كامل غثيث) على مساندتي وإرشادي بالنصح والتصحيح وعلى اختيار العنوان والموضوع، كما أن شكري موجه لقسم الفيزياء/ كلية العلوم / جامعة المثنى والشكر الموصول لجميع الاساتذة الكرام واخواني وأخواتي زملائي الكرام طوال فترة الدراسة الجامعية في جامعة المثنى فلكم مني خالص المودة والعرفان .

قائمة المحتويات

ت	الموضوع	الصفحة
1	الآية القرأنية	أ
2	الإهداء	ب
3	الشكر والعرفان	ج
4	قائمة المحتويات	د
5	الخلاصة	1
6	الهدف من البحث	1
7	أهمية البحث	1
8	المقدمة	2
9	الفصل الاول ترانزستورJEFT	3-14
10	الفصل الثاني ترانزستور MOSFT	15-19
11	مقارنة بين JEFT و MOSFT	20-21
12	المصادر	22-23

الخلاصة :

تناولنا في بحثنا هذا الذي هو بعنوان " دراسةخواص واستخدامات ترانزستور MOSFET و JEFT" الخصائص الرئيسية للترانزستور وماهي انواع الترانزستور بصورة عامة حيث تم تقسيم البحث الى مبحثين في الاول تناولنا ترانزستور MOSFET وخصائصه وطريقة عمله . أما المبحث الثاني فقد تناول ترانزستور تأثير المجال JEFT . فقد تم شرح طريقة عمل كل منهم بصورة وافية .

الهدف من البحث :

بيان كيفية عمل كل من ترانزستور MOSFET و JEFT والتعرف على خواص كل منهم .

اهمية البحث :

لهذا الموضوع اهمية كبيرة من خلال معرفة خواص MOSFET و JEFT وتطبيقها في الدوائر الالكترونية واستعمالاتها في دوائر الاجهزة الالكترونية .

المقدمة :-

الترانزستور هو جهاز شبه موصل يستخدم لتضخيم أو تبديل الإشارات الإلكترونية والطاقة الكهربائية. وتتكون من مادة أشباه الموصلات عادة بثلاثة أطراف على الأقل للتوصيل بدائرة خارجية. يتحكم الجهد أو التيار المطبق على زوج واحد من أطراف الترانزستور في التيار من خلال زوج آخر من الأطراف. نظرًا لأن الطاقة الخاضعة للتحكم (الإخراج) يمكن أن تكون أعلى من طاقة التحكم (الإدخال) ، يمكن للترانزستور تضخيم الإشارة. اليوم ، يتم تجميع بعض الترانزستورات بشكل فردي ، ولكن تم العثور على المزيد منها في الدوائر المتكاملة[1].

عام 1926، اقترح الفيزيائي النمساوي-المجري يوليوس إدگار ليلينفلد مفهوم ترانزستور تأثير المجال، لكن لم يكن من الممكن بالفعل إنشاء جهاز يعمل في ذلك الوقت. كان أول جهاز عمل يتم بناؤه عبارة عن ترانزستور ملامس نقطة اخترعه عام 1947 الفيزيائيان الأمريكيان جون باردين ووالتر براتين أثناء العمل تحت ويليام شوكلي في مختبرات بيل. تقاسموا جائزة نوبل في الفيزياء 1956 لإنجازهم. موسفت هو الترانزستور الأكثر استخدامًا (ترانزستور تأثير المجال المعدني وأكسيد أشباه الموصلات) ، والمعروف أيضًا باسم ترانزستور MOS ، والذي اخترعه المهندس المصري محمد عطا الله مع المهندس الكوري داون كانج في مختبرات بيل في عام 1959. كان موسفت هو أول ترانزستور مضغوط حقًا يمكن تصغيره وإنتاجه على نطاق واسع لمجموعة واسعة من الاستخدامات.

يوجد اول الترانزستور و موسفت على قائمة معالم IEEE في الإلكترونيات. موسفت هي اللبنة الأساسية للأجهزة الإلكترونية الحديثة ، وهي منتشرة في كل مكان في الأنظمة الإلكترونية الحديثة[2].

أحدثت الترانزستورات ثورة في مجال الإلكترونيات ، ومهدت الطريق لأجهزة الراديو والآلات الحاسبة والحواسيب الأصغر والأرخص ، من بين أمور أخرى. يوجد اول الترانزستور و موسفت على قائمة معالم IEEE في الإلكترونيات.موسفت هي اللبنة الأساسية للأجهزة الإلكترونية الحديثة ، وهي منتشرة في كل مكان في الأنظمة الإلكترونية الحديثة. تم تصنيع اجمالي 13 سكستليون موسفت بين عامي 1960 و 2018 (على الأقل 99.9 ٪ من جميع الترانزستورات) ، مما يجعل موسفت الجهاز الأكثر تصنيعًا على نطاق واسع في التاريخ.

الفصل الاول

ترانزستور JEFT

1.1 مقدمة :

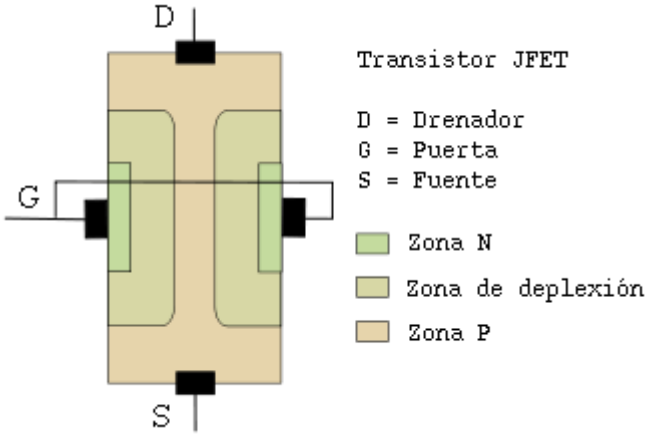
الترانزستور الحقلي الوصلي (junction gate field-effect transist)،(اختصارًا JFET) وهو من أبسط أنواع الترانزستور الحقليّ، يوصل أحياناً بجهد كهربائي على (البوابة) Gate، وبواسطة ذلك الجهد يمكن التحكم في التيار الكهربي بين المنبع (مصدر)Source والمصب (المخرج) Drain.

ويوجد نوعان من هذا الترانزستور:

1- مقحل "قناة إن" n-Kanal ، وهو مادة مشوبة "بنوع إن" من التشويب،

2- مقحل " قناة بي" p-Kanal ، وهو مكون من مادة مشوبة "بنوع بي" من التشويب.

ونظرا لأن التيار الكهربائي سوف يسير فيه من المصب إلى المصدر فهو يعتبر أحادي القطب .بالإضافة إلى هذا الجسم تترسب عليه طبقة من نوع التشويب الآخر، وعن طريق تغيير جهدها الكهربائي يمكن التحكم في التيار المار في القناة[3].



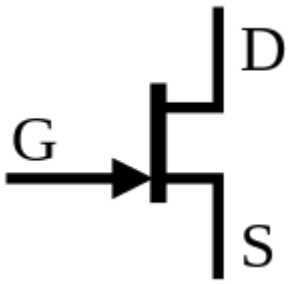
شكل رقم (1) : تركيب الترانزيستور نوع P: المصدر S ،// والمصب D ،// والبوابة G.

1.2 تكوين الترانزستور JFET

رمز الترانزيستور نوع n-type JFET

يتكون الترانزستور من طبقتين من مادتين مختلفتين . أولهم مادة شبه موصلة مطعمة بمادة تحمل شحنات كهربية موجبة وتسمى نوع p-type ، كما في الشكل وتمثل غالبية جسم الترانزستور، يمكن أن يمر فيها التيار من "المصب " إلى "المنبع" . ومرسب على تلك الطبقة طبقة أخرى مطعمة بمادة غنية بالإلكترونات (شحنات سالبة) ويسمى هذا النوع n-type.

ويوصل طرفي الوصلة بمصدر للجهد حيث يوصل المصب D بالقطب الموجب لبطارية (نحو 12 فولط) ، ويوصل من الناحية الأخرى)وتسمى المنبع أو المصدر) S بالقطب السالب للبطارية . بذلك يقوم الترانزستور بعمل مقاومة كهربائية ويمر فيه تيار . ولكن عمل الترانزستور يكتمل بوضع جهد على السلك الموصول بالبوابة G . حينئذ يمكن التحكم في شدة التيار المار عبر "القناة" بين المصب والمصدر. وبذلك فيكون عمل المقحل الحقلي الموصول مشابها لعمل وصلة بي إن ، وتكون التوصيلات الخارجية مقاومات أومية[4].



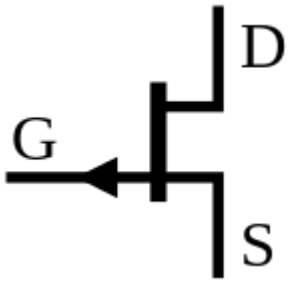
شكل رقم (2) : رمز الترانزيستور نوع n-type JFET .

1.3 رمزي الوصلة:

رمز الترانزيستور نوع p-type JFET

هكذا يرمز لنوع المقحل قناة إن : يشير السهم إلى قطبية الوصلة بي-إن بين القناة والبوابة . وهو هنا يشير من "بي" إلى "إن " وهو نفس الاتجاه المتعارف عليه تقنيا للتيار (وليس اتجاه سير الإلكترونات)[5].

وبالنسبة إلn رمز نوع المقحل قناة بي: فإن السهم يشير أيضا إلى الاتجاه التقني للتيار.



شكل رقم (3) : رمز الترانزيستور نوع p-type JFET.

1.4 بنيته

الوصف التالي يتعلق بنوع "المقحل قناة إن" (بالنسبة إلى "مقحل القناة بي" فتتبادل منطقتي "بي" و"إن" فيما بينهما وبالتالي تنعكس إشارات الجهد الكهربائي والتيار الملحقة بهما) [6]:

يتكون مقحل n-Kanal-JFET من مادة مشوبة "نوع إن " تغطيها طبقة مشوبة "بنوع بي" التي تعمل كعازل (قارن وصلة بي إن). تمثل أحد طرفي المنطقة إن "المصب" D ، والطرف الآخر " المصدر" S . وتسمى المنطقة بين المصدر والمصب "القناة إن".

n-ChannelJFET: وفيها UGS جهد الانحياز

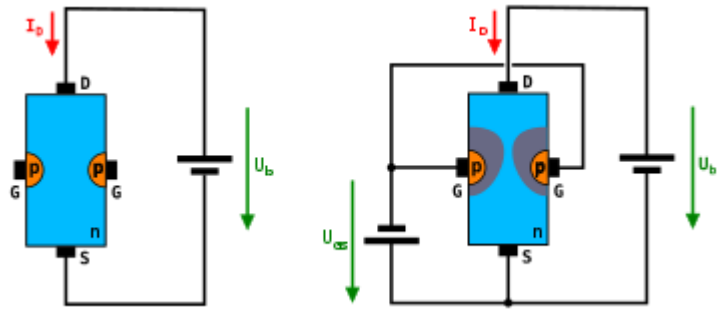
المنطقة بي هي وصلة "البوابة" G وهي مشتبكة بالمنطقة إن من الوسط، وتستخدم لضبط عمل المقحل . وهي تكون مع "القناة إن " ثلاثي بي-إن " . يشبه عمل المقحل JFET عمل الموسفت ، ولا تختلف طريقة عملهما .

التوصيلة في الشكل إلى اليسار ليست هي المعتادة عمليا، ولكنها توضح أنه إذا كان لا يوجد على البوابة جهد (سالب) يمنع مرور الإلكترونات في "القناة إن " ، فإن التيار الكهربائي يمر من المصب إلى المصدر، كما لو كان المقحل مقاومة صغيرة.

التوصيلة العملية هي الشكل إلى اليمين حيث وصلت البوابة بجهد سالب . عندئذ يجعل الحقل الكهربائي الناشيء عن جهد البوابة على "تقليل" التيار المار من المصب إلى المصدر . أي عن طريق إحداث تغيير في جهد البوابة يمكن تغيير شدة التيار المارة في "القناة" بين المصب والمصدر، بالتالي يمكن التحكم فيه . يسمى الجهد المطبق من الخارج على البوابة جهد انحياز[7] .

في حالة وضع جهد سالب (مثل -4 فولط) على البوابة ينقطع مرور التيار في القناة . لكل مقحل "جهد حرج" للبوابة، فإذا كان جهد البوابة أعلى من الجهد الحرج مر التيار من المصب إلى المصدر . وإذا كان جهد البوابة أقل من جهدها الحرج فإن التيار ينقطع .

ملحوظة :نلاحظ أن التيار (أحمر) هو التيار بالاصطلاح التكنولوجي (يمر التيار من القطب الموجب إلى القطب السالب) ، وهذ عكس "التعريف الفيزيائي " للتيار، إذا اكتشف العلماء بعد ذلك ان الإلكترونات هي ناقلة التيار، وهي تتحرك من القطب السالب (المصدر أو المنبع) إلى القطب الموجب (المصب أو الأنود) .



شكل رقم (3) : n-ChannelJFET: وفيها UGS جهد الانحياز

1.5 طريقة عمله

شكل 4 :تغير تيار المصب بتغير جهد المصب عندما يكون جهد البوابة 0 أو -5و2 فولط أو غيرها.

شكل 5:تغير تيار المصب بتغير جهد البوابة.(جهد المصب ثابت VD).

كما وصفنا أعلاه يتحكم جهد البوابة Vgs في مقدار التيار المار بين المصب والمصدر ID. الشكلان 1 و2 يبينان مواصفات المقحل[8].

الشكل 4:

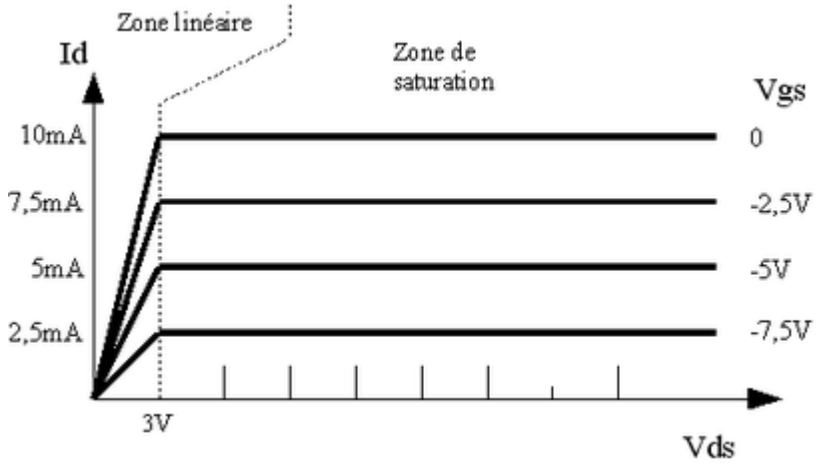
عندما يكون جهد البوابة صفرا يتزايد تيار المصب بتزايد جهد المصب خطيا في البدء، ثم يصل إلى حالة " تشبع" بعد ذلك ويبقى ثابتا رغم تزايد جهد المصب (يصل إلى 10 مللي أمبير) .

وعندما نضع جهد البوابة -5و2 فولط (ويسمى هذا جهد انحياز) ، ونبدأ بزيادة جهد المصب نجد أن تيار المصب يزداد أيضا خطيا بتزايد جهد المصب، إلا أنه يكون أقل من حالة وجود جهد مقداره 0 على البوابة .

وبعد فترة يصل إلى التشبع حيث يبقى تيار المصب ثابتا على الرغم من تزايد جهد المصب (يصل تيار المصب إلى 5و7 مللي أمبير).

لدينا في الرسم حالتين أخرتين عندما يكون جهد البوابة Vgs(جهد الانحياز) -5 فولط و-5و7 فولط . وهما يتسمان بمرور تيار منخفض للمصب[9] .

الرسم البياني لا يوضح المقدار النهائي للجهد الموجب (جهد بطارية) الموصول بالمصب، ولكنه يكون في حدود 30 فولط .

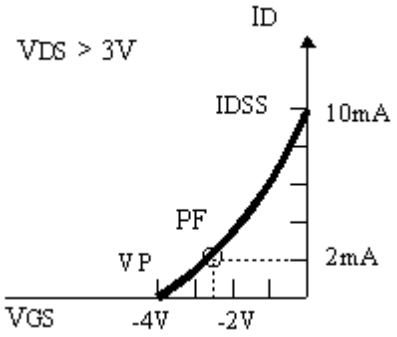


شكل رقم (4) : :تغير تيار المصب بتغير جهد المصب عندما يكون جهد البوابة 0 أو -5و2 فولط أو غيرها.

في الشكل 5:

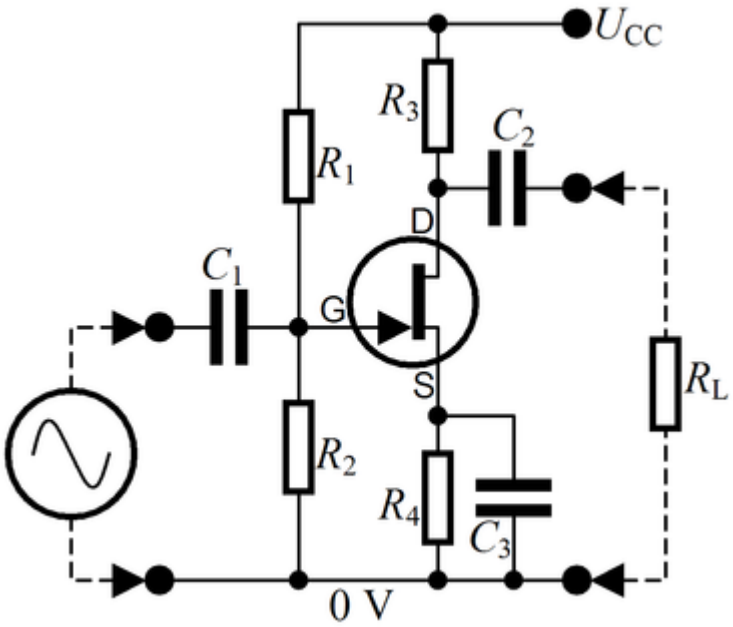
يبين الشكل 5 مواصفات ترانزستور آخر:

يوضح تغير تيار المصب بتغير جهد البوابة عندما يكون جهد المصب ثابتا (جهد المصب VD يكون دائما موجبا). عندما يكون جهد البوابة -7 فولط مثلا فهو لا يسمح بمرور تيار بين المصب والمصدر. وعندما يصل جهد البوابة -4 فولط، فهنا يبدأ سير تيار ضعيف بين المصب والمصدر . هذا الجهد هو الجهد الحرج للترانزستور، فعندما يكون جهد البوابة أعلى من الجهد الحرج فيمكن للتزانزستور توصيل تيار بين المصب والمصدر ويقوم بوظيفته في التحكم[10].



شكل رقم (5) : تغير تيار المصب بتغير جهد البوابة.(جهد المصب ثابت VD).

1.6حساب مضخم إشارات



في هذه الدائرة الإلكترونية التي تستخدم لتكبير إشارات متذبذبة ندخلها عند C1 ، نجد جهد انحياز على "البوابة" G للترانزستور JFET. يحدد هذا الجهد عن طريق مجزيء الجهد R1-R2 ، حيث أن المصب موصول بجهد موجب Ucc مقداره نحو 20 فولط [11]:

$$V_{GM} = U_{CC} \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

حيث V_{GM} هو فرق الجهد بين البوابة والأرضية ، (الأرضية هنا هي التوصيلة السفلى 0 V ، واستخدمنا للأرضية الرمز M اختصارا لكلمة Mass).

يبلغ فرق الجهد عند المصدر S (طبقا لقانون أوم) = Id.R4

وهو يكون أعلى من جهد البوابة حيث أن جهدها Vgs لا بد وأن يكون سالبا .

ويبلغ جهد المصب = $U_{CC} - Id.\,R_3$

حيث Id هو التيار المار بين المصب والمصدر .

ويمكننا الآن اختيار بيانات الدائرة:

فلنختار مثلا نقطة تشغيل الترانزستور المبينة اعلاه في الشكل 2 حيث Id = 2mA و Vgs = -2,5V.

أي أن جهد انحياز البوابة -5و2 فولط.

ونريد تثبيت الجهد عند Vgm = 1V.

فإذا كان الجهد الموجب للمصدر الخارجي الموصول بالمصب Ucc = 12 V، فيمكن اختيار على سبيل المثال المقاومتان R2 = 10kΩ و R1 = 110kΩ.

ونظرا لأن Vgs لا بد وان تساوي -V2,5، فلا بد أيضا من ان تكون Vs = 1+2,5 =3,5V.

كما أننا اخترنا Id2 = mA (وهو يساوي أيضا Is) ، إذن فتبلغ المقاومة R4 = 3,5/2.10−3 وهذا يساوي kΩ1,75 .

بهذا نكون قد حددنا المقاومات R1 وR2 وR4 ، وباقي اختيار المقاومة R3 التي تحدد جهد المخرج عند D .

يختار جهد المصب عند D بصفة عامة في الوسط بين جهد المصدر والجهد الخارجي Ucc، بحيث يسمح بتغير جهد المصب حتى أقصي جهد من جهة، ومن جهة أخرى لضبط جهد المخرج في حالة الاستقرار، عند ادخال إشارة متذبذبة من ناحية G ونريد تضخيمها وتخرج من C2.

وليكن اختيارنا أن نثبت Vdm عند 8 فولط (جهد المخرج عند C2). ونصل إلى ذلك باختيار المقاومة R3 = 2kΩ.

1.7 حساب التضخيم

عندما ندخل جهدا متذبذبا صغيرا ve إلى البوابة عن طريق مكثف لأن الإشارات متذبذبة (قد تكون إشارات من مولد إشارات، أو من ميكروفون، أو من هوائي أو من مرحلة تضخيم سابقة) ولا نريد تغيير ذبذباتها ولكن نريدها مضخمة [12].

نجد أن:

$$i_d = S.v_e$$

و $v_s = i_d.R3$

والكسب $G = v_s / v_e = S.R3$

حيث:

S: هو الميل (إلكترونيات) ، أي معدل تغير تيار المصب بتغير في جهد البوابة (انظر موصلية منقولة)

و ve هو جهد الإشارة المتذبذبة (ونستحدم هنا حروف كتابة صغيرة لتمثيل الجهد والتيار المتذبذبين)،

و id التيار المتذبذب عند المصب،

و vs جهد المخرج عند المصب،

وG التضخيم لجهد الإشارات ،

و S الموصلية المنقولة ويسمى أحيانا الميل وهو يقاس أمبير/فولط. وهو يعين عن طريق التيار المستمر للمصب[13] .

و عند تعيين Id من المعادلة، نجد أن:

$$S = So.(1 - Vgs/Vp)$$

حيث: $So = - 2.Idss/Vp$

وبحساب تلك القيم نحصل على:

So = 8mA/V

S = 3mA/V

وبالتالي نجد التضخيم G = 6.

أي أن جهد مطال الإشارة عند المخرج أصبحت 6 أضعاف جهد مطال الإشارة الداخلة من جهة البوابة.

هذا التضخيم يعتبر صغيرا بالمقارنة بالتضخيم الذي نحصل عليه باستخدام مقحل ثنائي الأقطاب في دائرة مضخم إلكتروني[14].

المواصفات التقنية لترانزستور

الشكل 6:

إلى اليسار يعطي مواصفات الترانزستور في شكل بياني التي يعطيها المصنع للمستهلك لاختيار نقطة التشغيل المناسبة للدائرة التي يرغبها . الرسم البياني إلى اليمين يوضح تغير التيار بين المصب والمصدر (الرأسي) بتغير جهد المصب (المحور الأفقي) وذلك عند قيم مختلفة لجهد الانحياز (جهد البوابة) .

عندما يكون جهد البوابة Vgs صفرا نجد أن تيار المصب يزداد أولا بزيادة جهد المصب Vd ويكون هذا التزايد تزايدا خطيا تقريبا . ثم يصل تيار المصب إلى مستوى التشبع، حيث لا يتزايد تيار المصب رغم تزايد جهد المصب (المنطقة الأفقية للتيار) . نقطة التقاء منطقة الزيادة الخطية مع منطقة التشبع عندما يكون جهد البوابة صفرا تسمى نقطة انحصار Pinch-off Vp .

الآن وصلنا جهدا سالبا إلى البوابة Vgs1 . ونبدأ بتغيير جهد المصب Vd بالتدريج ابتداء من الصفر . عندئذ يتزايد تيار المصب تزايدا يكاد يكون خطيا بتزايد جهد المصب، ويصل إلى منطقة التشبع، إلى أن منطقة التشبع تبقى أسفل من منطقة التشبع السابقة عندما كان جهد البوابة مساويا للصفر.

ثم عدنا واوصلنا البوابة بجهد سالب Vgs2 حيث Vgs2 <Vgs1 . نجد أن تيار المصب يتزايد أولا بتزايد جهد المصب Vd في منطقة تزايد خطي . ثم يصل تيار المصب إلى التشبع، ولا يزداد في تلك المنطقة رغم زيادة جهد المصب[15] .

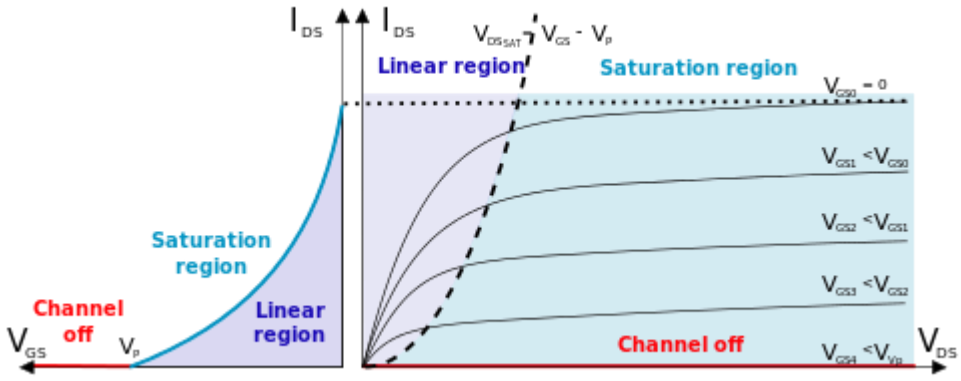
وكررنا الخطوات بزيادة جهد البوابة Vgs4 السالب، حتى وصلنا إلى منطقة لا يمر فيها تيار المصب ويتوقف (الخط الأحمر Channel off). يحدث هذا التوقف لتيار المصب لأن Vgs4 <Vp .

تلك هي مواصفات الترانزستور الكهربائية وعلى أساسها يتم استغلاله في الاستخدام السليم .

الرسم البياني إلى اليسار: هو ترجمة للخطوات التي قمنا بها لتعيين خواص الترانزستور، فهو يعطي تغير تيار المصب Id بتغير جهد البوابة Vgs . أيضا هنا لا يمر تيار بين المصب والمصدر Id طالما كان جهد البوابة لأن Vgs4 <Vp أقل من "جهد الانحصار" Vp.

يمكن الآن اختيار نقطة التشغيل على من كلا الرسمين البيانيين . وللوهلة الأولى يمكن اختيار النقطة الوسطية بوضع جهد البوابة عند Vgs2. فعند السماح بادخال إشارات مترددة من البوابة (متراكبة على جهد البوابة Vgs2) ، فهي تعمل على تغير تيار المصب Id بين Vgs1 وVgs3 ، وتخرج تلك الإشارة مضخمة ومتناظرة عند C2 (أنظر دائرة المضخم أعلاه) ، ويكون مطالها قد أصبح مساويا لـ Id.R3 .

نعتمد عند اختيار نقطة التشغيل عادة على الرسم البياني اليساري، ذلك لأن في وسعه أيضا بيان اعتماد خواص الترانزستور على درجة الحرارة[16].



شكل رقم (6) : I–V characteristics of n-channel JFET

1.8الميل (إلكترونيات)

الشكل 7:

يعطي هذا الرسم البياني نفس مواصفات الترانزستور الموصوفة في الشكل 3 .

عندما يكون جهد البوابة صفرا تعمل "القناة إن " مثل عمل المقاومة، ويكون المقحل JFET موصلا للتيار . فإذا أوصلنا البوابة بالمصدر وقمنا بزيادة جهد المصب UDS يزداد تيار المصب حتى يصل إلى جهد الانحصار pinch-off voltage Up وهو يعادل "الجهد الحرج " في الموسفت " .

ومع استمرار زيادة جهد المصب UDS يبقى تيار المصب ID ثابتا . وتلك هي منطقة عمل الترانزستور (منطقة التشبع) ويكون جهد المصب فيها أعلى من جهد الانحصار . ويعتمد جهد الانحصار على تركيز التشويب وعلى نصف عرض القناة a . ويحتسب جهد الانحصار في نوع "القناة إن: في اتجاه البوابة-المصدر موجبا، كما يحتسب في حالة "القناة بي" في اتجاه المصدر-بوابة موجبا .

وعند وضع جهد سالب بين البوابة والمصدر يزداد اتساع منطقة الشحنات في البوابة-المصدر في "مقحل حقلي موصول ذو قناة إن" . في منطقة التشبع يبقى تيار المصب ثابتا تقريبا على الرغم من زيادة جهد المصب [17].

شكل 5:اختيار نقطة التشغيل RS لمعادلة تأثير درجة الحرارة.

يتم اختيار نقطة التشغيل مثلما يحدث في حالة صمام ثلاثي: إما عن طريق مقاومة توصل بالمصدر أو عن طريق وضع جهد سالب بين البوابة والمصدر . ونجد لترانزستور JFET أيضا "الميل " مثلما في حالة الصمام الثلاثي، ويعرف "الميل الإلكتروني " هنا بالمعادلة:

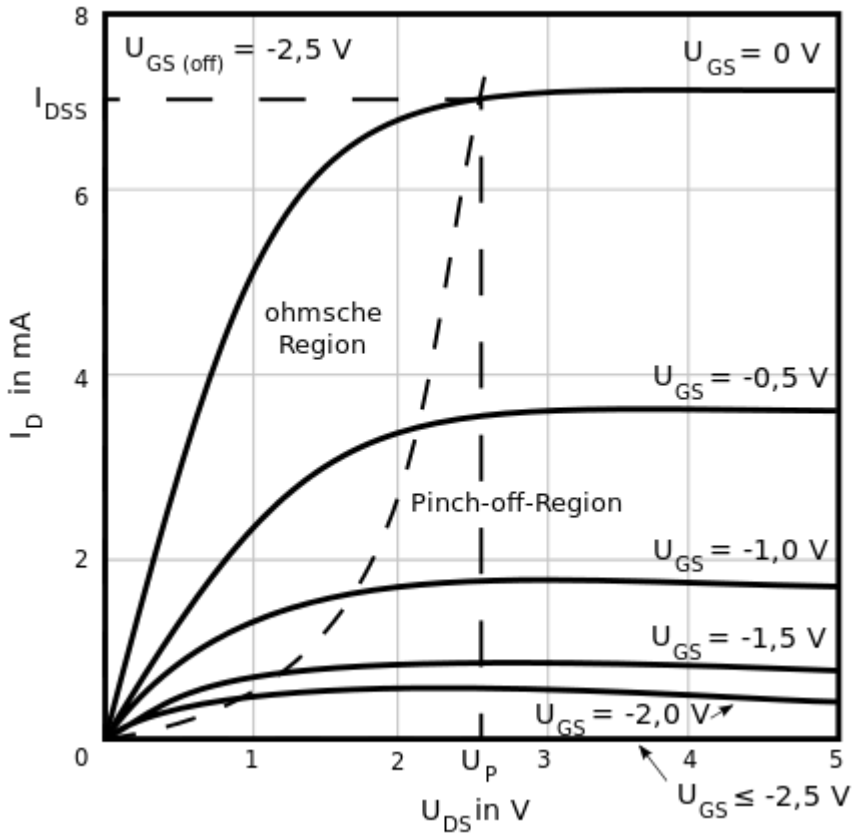
$$S = \frac{\mathrm{d}I_\mathrm{D}}{\mathrm{d}U_\mathrm{GS}}$$

تعريف الميل هنا هو معدل تغير تيار المصب لتغير يحدث في جهد البوابة . وهو يكون صغيرا ولهذا يلزم استخدام مقاومة كبيرة عند المخرج . هذا مهم عندما ندخل من البوابة إشارة مترددة نريد تكبيرها . الميل هو خاصية للترنزستور، فعن طريقه نعرف مقدار الكسب الكهربائي الذي نحصل عليه من الترانزستور، فهو يتعلق بمقدار تضخيم الإشارة الداخلة، وهو يسمى أيضا موصلية منقولة.

طبقا لمعطيات مصنع الترانزستور كما في الشكل 4 يمكن اختيار "نقطة التشغيل" عن طريق اختيار جهد الانحياز Vgs ، بغرض استخدام هذا الترانزستور في دائر مضخم إشارات . وليكن جهد الانحياز -8و0 فولط. (انظر إلى هذه النقطة على المنحنى المتقطع)[18].

تجد أنه عند ادخال اشارات متذبذبة متراكبة على جهد النحياز ويكون مطال الإشارات 2و0 فولط، فيتغير جهد البوابة بين -8و0 + 2و0 = -6و0 فولط، وبين -8و0 -2و0 = - 0و1 فولط .

تلك المنطقة على منحنى الخط المتقطع تضمن تساوي جزئي الإشارة الموجب والسالب عند المخرج (تناظر جزئي الإشارة) ، فتكون الإشارة المكبرة غير مشوهة.



Typisches Ausgangskennlinienfeld eines n-Kanal-JFET

شكل رقم (7) : تغير تيار المصب بتغير جهد المصب لـ n-channel JFET عند قيم مختلفة لجهد البوابة.

الفصل الثاني

ترانزستور MOSFT

2.1 مقدمة :

ترانزستور الأثر الحقلي للأكاسيد المعدنية لأشباه الموصلات (metal–oxide–semiconductor field-effect transistor)(اختصاراً MOSFET) وتُقرَأ موسفت، هو ترانزستور حقلي ذو قناة نقل تعتمد في بنائها على المواد شبه موصلة. يتكون من مصدر، ومصب، وبوابة، والجسم ويفصل بين الجسم والبوابة طبقة عازلة. يتحكم الجهد الكهربائي المطبق على البوابة في التيار الكهربي المار من المصدر إلى المصب - مثلما في الصمام الثلاثي حيث يتحكم جهد الشبكة في التيار المار من المهبط(كاثود) إلى المصعد(آنود). وظيفة الموسفت هو فتح وأغلاق دائرة كهربائية . ويوجد من الموسفت ثلاثة أنواع[19]:

1- Nmos

2- Pmos

3- Cmos

والأنواع الثلاث مقسمة حسب أنواع الأكثرية في المقاحل: نوع n ، ونوع p ، والـ Cmos هو عبارة عن خليط من المقحلين الباقيين.

وحدتان من الموسفت . تعمل الواحدة منهما كمفتاح لقطع التيار حى جهد قدره 120 فولط. كما يستطيع تحمل تيار 30 أمبير عندما يفتح التيار . مقارنة بين حجمه وحجم عود كبريت.

كلمة موسفت MOSFET هي اختصار للاسم بالكامل : metal–oxide–semiconductor field-effect transistor

كما تتداول له عدة أسماء نوع بي : موصّل-بي، قناة-بي، و "موس-بي" ، كذلك بالنسبة للنوع إن: موصل-إن، قناة-إن، و "موس-إن ". ،إذا استخدم كلا المقحلين في دائرة رقمية مثلا فيستخدم لهما تعبير "موس متكامل " Complementary Metal Oxide Semiconductor (CMOS) .

2.2 طريقة عمله

n-Kanal-MOSFET كمقاومة يتحكم فيها جهد كهربائي لتنوير وإطفاء مصباح .(sperrt =غير موصل ، leitet = موصّل ، RDS sehr groß = المقاومة كبيرة جدا[20].

للموسفت ثلاثة أطراف : G البوابة (وهي المتحكمة) ، و D المصب، و S المنبع . (وأحيانا في بعض الأنظمة يكون طرف رابع موصول بالجسم B . ولكن في معظم الأحوال يكون الجسم موصولا داخليا بالمنبع . يعمل الموسفت (كما هو الحال للشبه الموصل الحقلي) كمقاومة يتحكم فيها بواسطة جهد البوابة، أي أن الجهد البوابة-المنبع UGS يمكن أن يغير "المقاومة" بين المنبع والمصب RDS ، وبالتالي يمكنه تغيير التيار IDS (أو باختصار ID) المار في المقاومة RDS تغيررا كبيرا.

في الشكل تبين S المنبع وD المصب و G البوابة . البوابة لها حد أدنى للجهد (عادة بين 1 فولط - 3 فولط) لكي تعمل، يسمى "جهد العمل " . فعندما يكون الجهد المطبق على البوابة أقل من "جهد العمل" فلا تسمح البوابة بمرور تيار في الموسفت، ويبقى المصباح مطفأ (الشكل العلوي) .

وعندما يعلو جهد البوابة ليصبح أعلى من "جهد العمل " ، عندئذ تسمح البوابة بمرور الإلكترونات من المنبع إلى المصب (بالتالي يسير التيار المصطلح عليه تقنيا من الموجب إلى السالب) ويضيء المصباح .

من الملاحظ أن جهد تشغيل المصباح UDS دائما موجبا [21] .

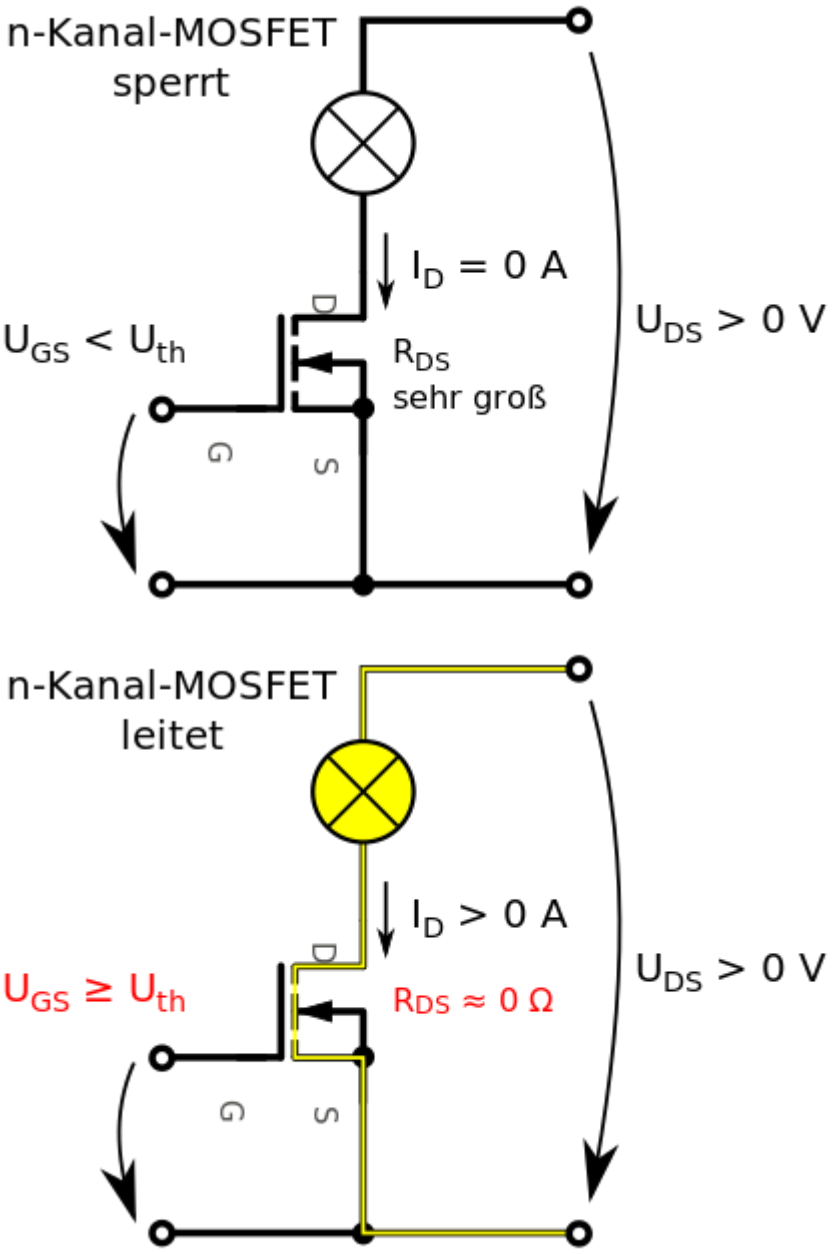
في الموسفت نوع إن تكون الإلكترونات الغالبية العظمى لحاملات الشحنة (تشويب نوع إن) . وتسير الإلكترونات في عكس اتجاه التيار المصطلح عليه تقنيا (من الموجب إلى السالب) أي تسير الإلكترونات من السالب إلى الموجب، وهو أتجاه "السهم " في الموسفت.

2.3 أنواع الموسفت

مثلما في شبه الموصل ثنائي الأقطاب يوجد من الموسفت نوعين :"نوع بي" أو "بي-قناة" و "نوع إن " أو "إن-قناة" . وعندما يستخدم الاثنان في دائرة كهربائية فيقال عنهما أنه "موسفت متكامل " complementary MOS .

وعلاوة على ذلك فيوجد من النوعين صنفان آخرين، يختلفان في البنية الداخلية وفي الخواص الكهربائية :

1- منخفض التشويب depletion – موصل للتيار في حالته الطبيعية،
2- عالي التشويب enhancement – حاجز للتيار في حالته الطبيعية .
3- يغلب استخدام الموسفت عالي التشويب عمليا.



شكل رقم (8) : MOSFET كمقاومة يتحكم فيها جهد كهربائي لتنوير وإطفاء مصباح .

2.4 طريقة استخدام الموسفت

يمكن استخدام الموسفت بثلاثة طرق تعتمد على مقادير الجهود الكهربائية المتصلة بأطرافه. هذا النمط ابتكره "شيشمان" و "هودجز" ويسمى باسميهما "نموذج شيشمان-هودجز".

سنطرح هنا الثلاثة طرق لاستخدم موسفت-إن، مركز التشويب :

قطع التيار - العمل تحت حد جهد البوابة .

عندما تكون $V_{GS} < V_{th}$:

حيث :

V_{GS} هو جهد انحياز البوابة بالنسبة إلى المصدر، و V_{th} هي جهد الحافة (أقل جهد للبوابة يسمح بتشغيل الموسفت)Threshold Voltage.

بسبب أن جهد الحافة أعلى من جهد البوابة يكون الموسفت ليس موصلا للتيار، ولا يوجد تيار من المصب إلى المنبع [22].

طريقة الصمام الثلاثي أو منطقة التناسب الخطي

عندما تكون VGS > Vth

و VDS < (VGS – Vth)

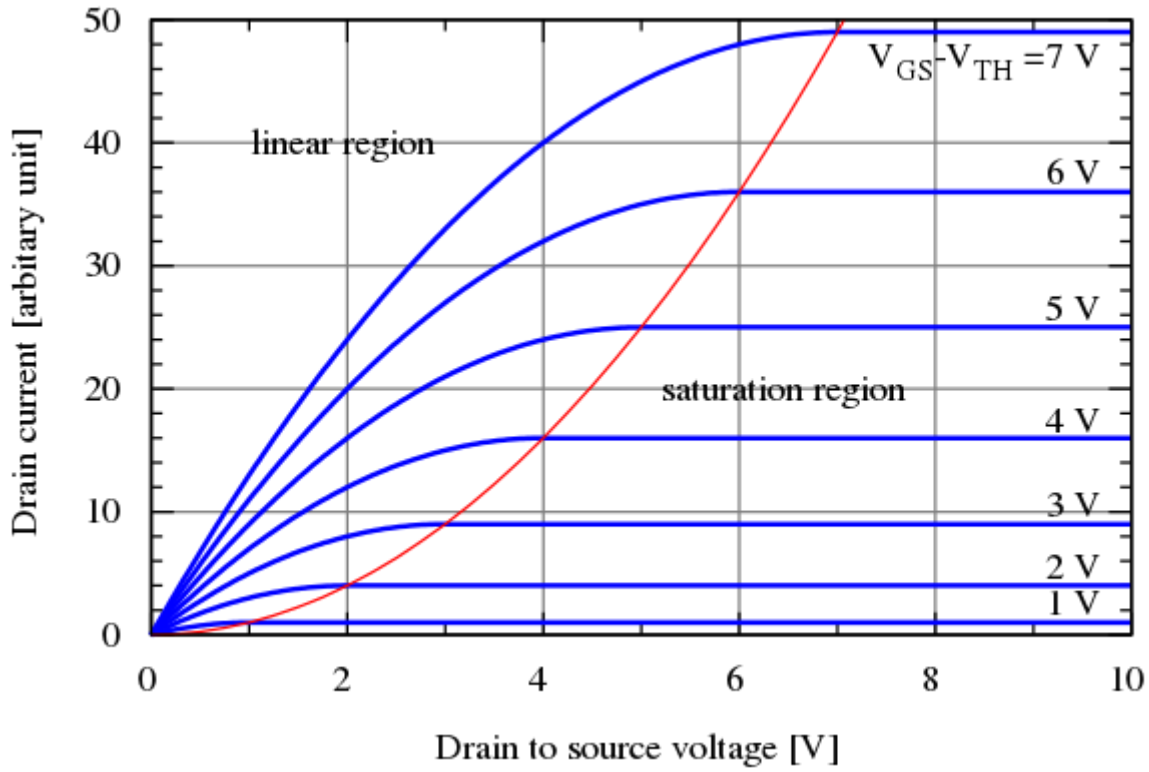
يبدأ التيار يسير من المصب إلى المنبع (طبقا لتعريف التيار في التقنية الكهربائية) . ويعمل الموسفت كما لو كان مقاومة بين المصب والمنبع ويضبطها جهد البوابة .

الرسم البياني المجاور يبين تزايد التيار بزيادة جهد المصب، وذلك لعدد من قيم فرق الجهد ؛ (VGS – Vth) بين 1 فولط، و 2 فولط و 3 فولط .... إلى 7 فولط.

نجد أن التيار يتاسب تناسبا خطيا مع جهد المصب أولا، ثم يصل إلى تشبع حيث يثبت التيار عند مستوى معين ولا يزيد رغم تزايد الجهد.

المعادلة التي تصف سلوك التيار من المصب إلى المنبع هي [23]:

$$I_D = \mu_n C_{ox} \frac{W}{L} \left((V_{GS} - V_{th}) V_{DS} - \frac{V_{DS}^2}{2} \right)$$



شكل رقم (9) : تغير تيار المصب بتغير جهد المصب عند قيم مختلفة لفرق الجهد . العلاقة تكون خطية (أومية) عندما يكون جهد المصب لازال صغيرا ؛ وبزيادته يصل التيار إلى منطقة التشبع أو "المنطقة النشطة". المنحنى الأحمر يحدد المنطقة الإنتقالية بينهما[24].

مقارنة بين JFET و MOSFET

ت	الموضوع	المقارنة
1	أساسيات	كل من JFET و MOSFET عبارة عن ترانزستورات يتم التحكم فيها بالجهد تستخدم لتضخيم الإشارات الضعيفة التناظرية والرقمية. كلاهما أجهزة أحادية القطبية ولكن بتكوين مختلف. بينما ترمز JFET إلى ترانزستور تأثير المجال المتقاطع ، فإن MOSFET هي اختصار لترانزستور تأثير حقل أشباه الموصلات المعدنية. الأول هو جهاز أشباه الموصلات ثلاثي الأطراف ، في حين أن الأخير عبارة عن جهاز أشباه الموصلات رباعي الأطراف.
2	وضع تشغيل	يحتوي كلاهما على قيم أقل من الموصلية مقارنة بقيم الترانزستورات ثنائية الوصلات (BJTs). لا يمكن تشغيل JFETs إلا في وضع الاستنفاد ، بينما يمكن أن تعمل MOSFET في كل من وضع الاستنفاد ووضع التحسين.
3	مقاومة الإدخال	تتمتع JFET بمقاومة عالية للمدخلات بترتيب 1010 أوم مما يجعلها حساسة لإشارات جهد الدخل.تقدم MOSFET مقاومة أعلى من المدخلات من JFETs مما يجعلها أكثر مقاومة عند طرف البوابة ، وذلك بفضل عازل أكسيد المعدن.

4	بوابة تسرب التيار	يشير إلى الفقد التدريجي للطاقة الكهربائية التي تسببها الأجهزة الإلكترونية حتى عند إيقاف تشغيلها. في حين أن JFETs تسمح بتيار تسرب البوابة عند ترتيب 10 ^ -9 A ، فإن تيار تسرب البوابة ل MOSFETs سيكون من 10 ^ -12 A.
5	مقاومة الضرر	MOSFETs أكثر عرضة للتلف من التفريغ الكهروستاتيكي بسبب عازل أكسيد المعدن الإضافي الذي يقلل من سعة البوابة مما يجعل الترانزستور عرضة لأضرار الجهد العالي. من ناحية أخرى ، تكون JFETs أقل عرضة لأضرار ESD لأنها توفر سعة إدخال أعلى من MOSFET.
6	تكلفة	تتبع JFETs عملية تصنيع بسيطة وأقل تعقيدًا مما يجعلها أرخص نسبيًا من MOSFETs ، وهي مكلفة بسبب عملية التصنيع الأكثر تعقيدًا. تضيف طبقة أكسيد المعدن الإضافية قليلاً إلى التكلفة الإجمالية.
7	تطبيق	تعتبر JFET مثالية للتطبيقات منخفضة الضوضاء مثل المفاتيح الإلكترونية ومكبرات الصوت العازلة ، إلخ. تستخدم أجهزة MOSFET ، من ناحية أخرى ، بشكل أساسي في التطبيقات عالية الضوضاء مثل التبديل والتضخيم الإشارات التناظرية أو الرقمية ، بالإضافة إلى أنها تستخدم أيضًا في تطبيقات التحكم في المحرك والأنظمة المدمجة.

المصادر :-

1- *"1926 – Field Effect Semiconductor Device Concepts Patented". Computer History Museum. Archived from the original on March 22, 2016. Retrieved March 25, 2016.*
2- *"The Nobel Prize in Physics 1956". Nobelprize.org. Nobel Media AB. Archived from the original on December 16, 2014. Retrieved December 7, 2014.*
3- *"1960 - Metal Oxide Semiconductor (MOS) Transistor Demonstrated". The Silicon Engine. Computer History Museum.*
4- *Lojek, Bo (2007). History of Semiconductor Engineering. Springer Science & Business Media. pp. 321–3. ISBN 9783540342588.*
5- *"Who Invented the Transistor?". Computer History Museum. 4 December 2013. Retrieved 20 July 2019.*
6- *Moskowitz, Sanford L. (2016). Advanced Materials Innovation: Managing Global Technology in the 21st century. John Wiley & Sons. p. 168. ISBN 9780470508923.*
7- *"Triumph of the MOS Transistor". YouTube. Computer History Museum. 6 August 2010. Retrieved 21 July 2019.*
8- *"13 Sextillion & Counting: The Long & Winding Road to the Most Frequently Manufactured Human Artifact in History". Computer History Museum. April 2, 2018. Retrieved 28 July 2019.*
9- *Moavenzadeh, Fred (1990). Concise Encyclopedia of Building and Construction Materials. ISBN 9780262132480.*
10- Vardalas, John (May 2003) Twists and Turns in the Development of the Transistor Archived January 8, 2015, at the Wayback Machine. *IEEE-USA Today's Engineer.*
11- Lilienfeld, Julius Edgar, "Method and apparatus for controlling electric current" U.S. Patent 1،745،175 January 28, 1930 (filed in Canada 1925-10-22, in US October 8, 1926).
12- *"Amplifier For Electric Currents". United States Patent and Trademark Office.*
13- *"Device For Controlling Electric Current". United States Patent and Trademark Office.*
14- *"Twists and Turns in the Development of the Transistor". Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. Archived from the original on January 8, 2015.*
15- Heil, Oskar, "Improvements in or relating to electrical amplifiers and other control arrangements and devices", Patent No. GB439457, European Patent Office, filed in Great Britain 1934-03-02, published December 6, 1935 (originally filed in Germany March 2, 1934).
16- ^ *"November 17 – December 23, 1947: Invention of the First Transistor". American Physical Society. Archived from the original on January 20, 2013.*
17- *Millman, S., ed. (1983). A History of Engineering and Science in the Bell System, Physical Science (1925–1980). AT&T Bell Laboratories. p. 102.*
18- *Bodanis, David (2005). Electric Universe. Crown Publishers, New York. ISBN 978-0-7394-5670-5.*
19- *"transistor". American Heritage Dictionary (3rd ed.). Boston: Houghton Mifflin. 1992.* More than one of |encyclopedia= and |encyclopedia= specified (help)
20- *"The Nobel Prize in Physics 1956". nobelprize.org. Archived from the original on March 12, 2007.*
21- *Guarnieri, M. (2017). "Seventy Years of Getting Transistorized". IEEE Industrial Electronics Magazine. **11** (4): 33–37. doi:10.1109/MIE.2017.2757775.*
22- *Lee, Thomas H. (2003). The Design of CMOS Radio-Frequency Integrated Circuits (PDF). Cambridge University Press. ISBN 9781139643771.*

23- *Puers, Robert; Baldi, Livio; Voorde, Marcel Van de; Nooten, Sebastiaan E. van (2017). Nanoelectronics: Materials, Devices, Applications, 2 Volumes. John Wiley & Sons. p. 14. ISBN 9783527340538.*
24- FR patent 1010427 H. F. Mataré / H. Welker / Westinghouse: "Nouveau sytème cristallin à plusieurs électrodes réalisant des relais de effects électroniques" filed on August 13, 1948