

# ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ВАХ МОП-ТРАНЗИСТОРОВ В СХЕМЕ С ОБЩИМ СТОКОМ

Ш.Т.Тошматов

*Умумий сток схемада МДЯ транзисторларнинг вольт-ампер характерис-тикалари шаклланиш қонуниятлари назарий ва экспериментал тадқиқот натижалари келтирилган. Умумий сток ва исток схемаларида кириш ва чиқиш характеристикалари бир-бирларидан тубдан фарқланиши кўрсатилган.*

**Калит сўзлар:** *микросхемотехника, интеграл микросхемалар, операцион кучайтиргич, МДЯ-транзистор, МДЯ-транзистор асосида кучайтиргич схемаси, сток-затвор ва сток характеристикалар оиласи.*

*В статье приводятся результаты теоретических и экспериментальных исследований закономерностей формообразования вольт-амперных характеристик МОП-транзисторов в схеме с общим стоком. Показано принципиальное отличие входных и выходных характеристик в схеме с общим стоком от аналогичных характеристик в схеме общим истоком.*

**Ключевые слова:** *микросхемотехника, интегральные микросхемы, операционный усилитель, МОП-транзистор, схема усилителя на основе МОП-транзисторов, семейства сток-затворных и стоковых характеристик.*

*The results of theoretical and experimental studies of the generalities of I-V characteristics curve formation of MOSFET of the common drain are presented. The principal difference between input and output characteristics of the common drain from the analogical characteristics in the common source is shown.*

**Keywords:** *microelectronic circuitry, integrated circuits, operational amplifier, MOS transistor, amplifier circuit based on MOSFETs, family of drain-gate and drain characteristics.*

## Введение

Целью исследований является установление закономерностей формообразования ВАХ униполярных усилительных элементов – полупроводниковых полевых транзисторов со структурой МОП в схеме с общим стоком (ОС).

На первой стадии этого поиска рассмотрен режим насыщения в МОП-транзисторах, поскольку именно этот режим свойственен усилителям мощности классов А, А<sup>+</sup>, АВ, В и G [1].

На второй стадии исследования ВАХ униполярных усилительных элементов производилась симуляция электронных схем при помощи моделирующих программ Labview, Signal Express, MultiSim 10.1, Ultibroand компании National Instruments.

## Основная часть

На рис.1,а приведены графики зависимости токов истока и стока от напряжения затвор-сток в схеме с ОС при фиксированных значениях напряжения исток-сток. Токи электродов МОП-транзистора  $I_{и}$ ,  $I_{с}$  с ростом входного напряжения  $U_{зс}$  уменьшаются по закону параболы и сдвигаются вправо с увеличением входного напряжения  $U_{зс}$ .

На рис.1,б приведены графики зависимости токов истока и стока от напряжения исток-сток МОП-транзистора IRF9640 в схеме с ОС при фиксированных значениях напряжения затвор-сток. Токи электродов МОП-транзистора  $I_{и}$ ,  $I_{с}$  с ростом выходного напряжения  $U_{ис}$  увеличиваются по закону параболы и сдвигаются вправо с увеличением входного напряжения затвор-сток  $U_{зс}$ .

На рис.2 приведены совмещённые семейства истоко-затворных и истоковых характеристик МОП-транзистора IRF9640 в схеме с ОС.

Совмещённые семейства истоко-затворных и истоковых характеристик МОП-транзистора в схемах с ОИ образуют симметричные функции относительно вертикальной оси с координатами  $U_{ис}=U_{зс}$ . Степень симметричности истоко-затворных и истоковых характеристик определяется величиной статического коэффициента усиления МОП-транзистора  $\mu_{ос}$  в схемах с ОС. Для МОП-транзистора IRF9640 в схеме с ОС симметричность наступает при  $\mu_{ос}=0,9975$  и токе  $I_{с}=0,5$  А.

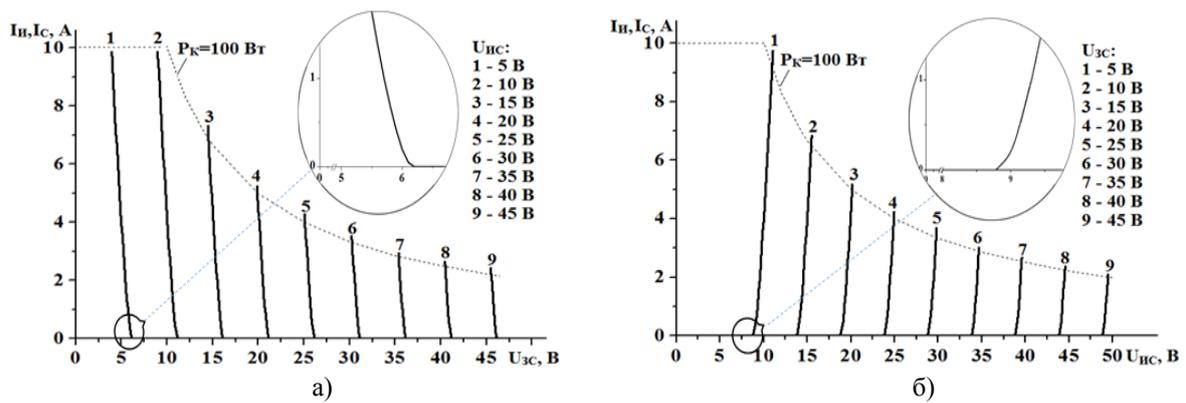


Рис.1. Вольт-амперные характеристики МОП-транзистора с индуцированным р-каналом IRF9640 в схеме с общим стоком: формообразования вольт-амперных характеристик  $I_D=I_C=f(U_{ZC})$  (а) и  $I_D=I_C=f(U_{IS})$  (б) при фиксированных значениях напряжений  $U_{ZC}$  и  $U_{IS}$

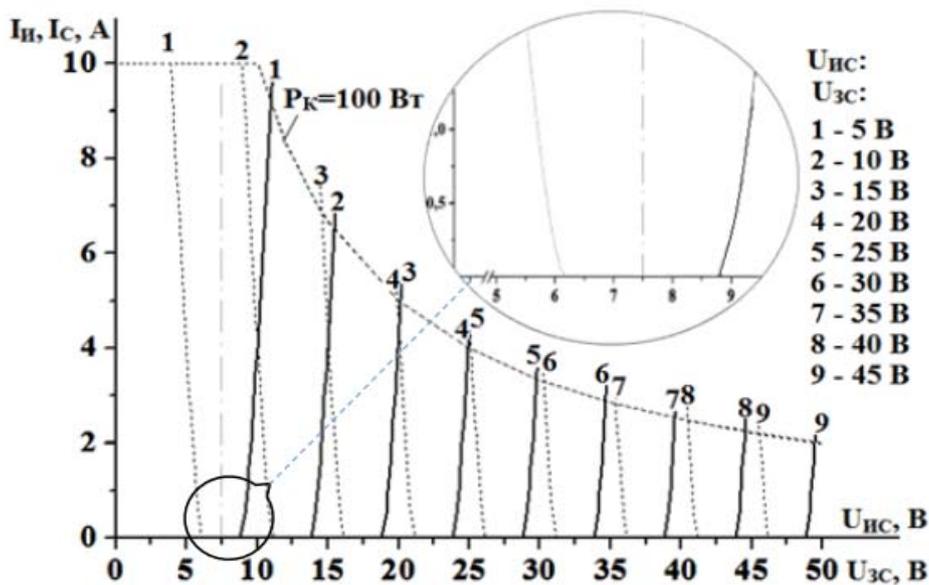


Рис.2. Совмещённые семейства истоко-затворных (пунктирные линии) и истоковых (сплошные линии) характеристик МОП-транзистора с индуцированным р-каналом IRF9640 в схеме с общим стоком

Совмещение ВАХ МОП-транзистора в схемах с ОИ и с ОС позволяет установить общие закономерности формообразования ВАХ усилителей мощности.

На рис.3 приводятся совмещенные семейства стоко-затворных характеристик МОП-транзистора IRF9640 в схемах с ОС (сплошные линии) и ОИ (пунктирные линии). Полагая  $U_{СИ}=\text{const}$ , видим, что зависимости стокового и истокового токов от напряжения затвора  $U_{ЗИ}$  представляются параболой (кривые 1÷5) с малой расходимостью. Несколько изменяется лишь наклон характеристик.

Аналогично, полагая  $U_{ИС}=\text{const}$ , видим, что зависимости стокового и истокового токов от напряжения затвор-сток  $U_{ЗС}$  тоже представляются параболой, смещающимися параллельно самим себе при изменении напряжения  $U_{ИС}$  на величину  $U_{ЗС\text{ пор}}=U_{ИС}-U_{ЗИ\text{ пор}}$ .

Сравнив стоковые в схеме с ОИ и истоковые ВАХ в схеме с ОС в одном масштабе,

получим совмещенные семейства стоковых характеристик МОП-транзистора.

На рис.4 приводятся совмещенные семейства стоковых характеристик МОП-транзистора IRF9640 в схемах с ОИ (пунктирные линии) и с ОС (сплошные линии). Полагая  $U_{ЗИ}=\text{const}$ , видим, что зависимости стокового и истокового токов от напряжения сток-исток  $U_{СИ}$  представляются как “пентодные” характеристики, смещающимися вверх параллельно самим себе при изменении напряжения затвор-исток (рис.4, кривые  $U_{ЗС}$ , В: -3,9, -4,1, -4,3, -4,5, -4,7, -4,9, -5,1, -5,3, -5,5, -5,7) на величину  $\Delta U_{ЗИ}=0,2$  В.

Аналогично, полагая  $U_{ЗС}=\text{const}$ , видим, что зависимости стокового и истокового токов от напряжения исток-сток  $U_{ИС}$  представляются параболой, смещающимися параллельно самим себе при изменении напряжения  $U_{ЗС}$  (рис.6, кривые  $U_{ЗС}$ , В: 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45) на величину  $U_{ИС\text{ пор}}=U_{ЗИ\text{ пор}}-U_{ЗС}$ . Динамическое сопротивление того же МОП-транзистора

IRF9640 в схеме с ОИ резко уменьшается в  $\mu_{он}/\mu_{ос}=190$  раз.

Истоко-затворные характеристики МОП-транзистора в схеме с ОС при фиксированных значениях напряжения исток-сток с увеличением входного напряжения  $U_{зс}$  смещаются

параллельно самим себе на величину  $U_{зс пор} = U_{ис} + U_{зи пор}$ . Ток истока МОП-транзистора уменьшается по закону параболы, т.е. транзистор имеет отрицательное проходное дифференциальное сопротивление.

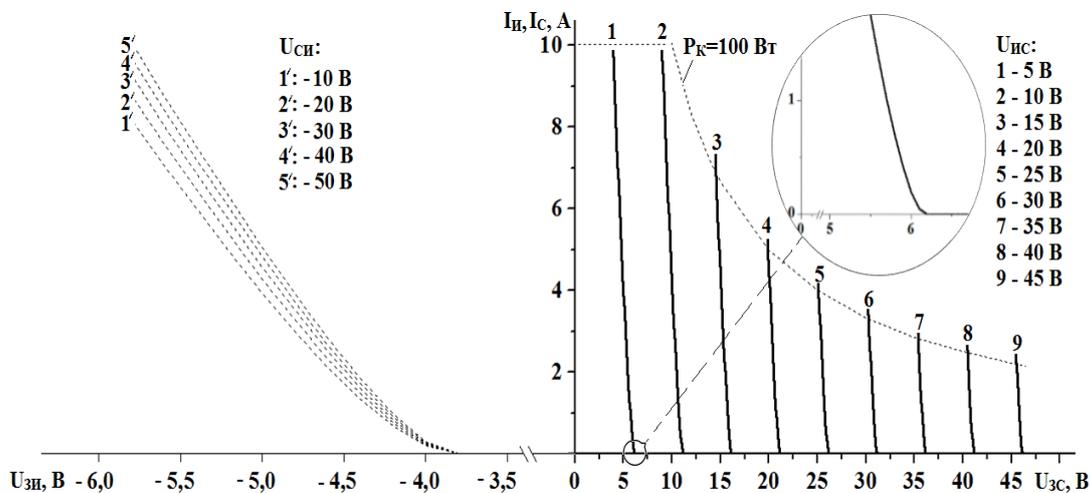


Рис.3. Совмещённые семейства сток-затворных характеристик МОП-транзистора с индуцированным р-каналом IRF9640 в схемах с общим стоком (сплошные линии) и с общим истоком (пунктирные линии)

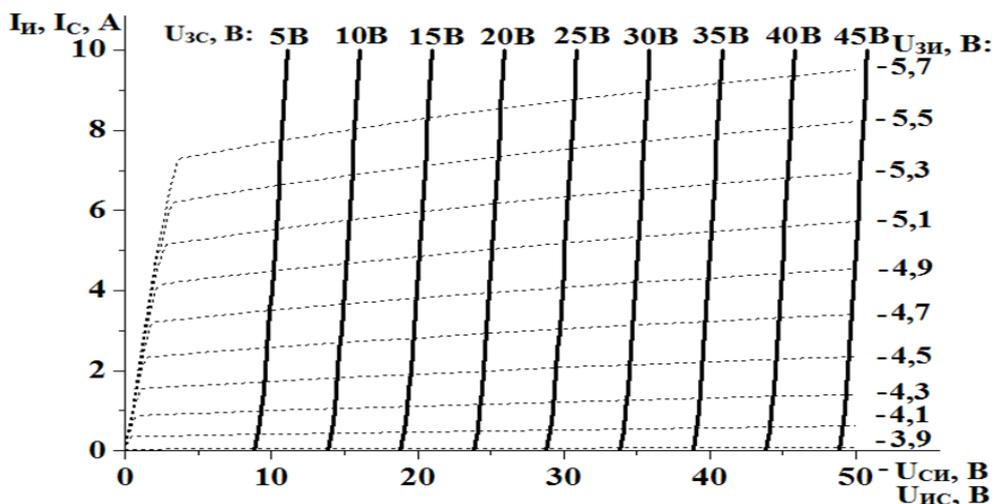


Рис.4. Совмещённые семейства стоковых характеристик МОП-транзистора с индуцированным р-каналом IRF9640 в схемах с общим стоком (сплошные линии) и с общим истоком (пунктирные линии)

Истоковая характеристика МОП-транзистора в схеме с ОС при фиксированных значениях напряжения затвор-сток с увеличением выходного напряжения  $U_{ис}$  смещается параллельно самой себе на величину  $U_{ис пор} = U_{зи пор} - U_{зс}$ . Ток истока увеличивается по закону параболы. Выходное дифференциальное сопротивление уменьшается по гиперболическому закону.

Совмещённые семейства истоко-затворных и истоковых характеристик МОП-транзистора в схемах с ОИ образуют симметричные функции относительно вертикальной оси с координатами  $U_{ис} = U_{зс}$ . Степень симметричности истоко-затворных и истоковых характеристик определяется величиной статического коэффициента

усиления МОП-транзистора в схемах с ОС.

Совмещённые семейства стоковых характеристик МОП-транзистора в схеме с ОИ и истоковых характеристик в схеме с ОС показали, что:

- при  $U_{зи} = \text{const}$  зависимости стокового и истокового токов от напряжения сток-исток  $U_{си}$  являются линейной функцией с очень малым угловым коэффициентом, возрастающим с ростом напряжения затвор-исток;

- при  $U_{зи} = \text{const}$  зависимости стокового и истокового токов от напряжения исток-сток  $U_{ис}$  представляются параболлами, смещающимися параллельно самим себе при изменении напряжения  $U_{зс}$  на величину  $U_{ис пор} = U_{зи пор} + U_{зс}$ ;

- наблюдается эффект уменьшения динамического внутреннего сопротивления МОП-транзистора в схеме с ОС относительно динамического сопротивления того же МОП-транзистора в схеме с ОИ в  $\mu_{\text{он}}/\mu_{\text{ос}}$  раз.

#### **Заключение**

Результаты теоретических и экспериментальных исследований закономерностей формообразования вольт-амперных характеристик усилительных элементов в схеме с общим выходным электродом (стоком, коллектором, анодом) позволило авторам создать усилители, обладающие минимально возможным коэффициентом нелинейных искажений при предельно низком энергопотреблении [2-3].

UO'K 355.23

## **TA'LIM SIFATINI OSHIRISHDA INNOVATSION TEKNOLOGIYALARNING O'RNI**

*Tulyaganov A.A., Fayziev J.N., Roziqov M.M., Mirzamaxmudov M.X.*

*O'quv-tarbiya jarayonida yangi texnologiyalarning to'g'ri joriy etilishi o'qituvchining bu jarayonda asosiy tashkilotchi yoki maslahatchi sifatida faoliyat yuritishiga olib keladi. Bu esa talabdan (kursantdan) ko'proq mustaqillikni, ijodni va irodaviy sifatlarini talab etadi.*

*Правильное применение новых технологий в учебно-воспитательном процессе требует от преподавателя быть главным организатором или советчиком. Это в свою очередь, требует от студентов (курсантов) проявлять самостоятельность, творчество и волевые качества.*

*Correct application of new technologies in teaching and educational process demands from the teacher to be the main organizer or the adviser. It in turn demands from students (cadets) to show independence, creativity and strong-willed qualities.*

**Kalit so'zlar:** *uzluksiz ta'lim, ilg'or texnologiya, elektron dastur, o'qitish texnik vositalari, talabning mustaqil fikrlashi, ijodiy va irodaviy sifatleri, o'quv jarayoni samaradorligi, bilim olishning faollashuvi.*

“Kadrlar tayyorlash milliy dasturi”ni amalga oshirish uzluksiz ta'lim tizimining tuzilmasi va mazmunini zamonaviy fan yutuqlari va ijtimoiy tajribaga tayangan holda tub islohotlarni ko'zda tutadi. Buning uchun, avvalo, ta'lim tizimining barcha shakldagi muassasalarida ta'lim jarayonini ilg'or, ilmiy uslubiy jihatdan asoslangan yangi va zamonaviy uslubiyot bilan amalda ta'minlash lozim. Yosh avlodga ta'lim-tarbiya berishning maqsadi, vazifalari, mazmuni, uslubiy talablariga ko'ra fan, texnika va ilg'or texnologiya yutuqlaridan unumli foydalanish bugungi oliy ta'lim tizimi

Работа выполнена по гранту БВ-Ф004.

#### **Литература**

1. Douglas Self. Self on Audio: Collected Articles of Douglas Self, Newness Publications 2015 3rd Edition, p.548.

2. Патент РУз № IAP 04640 от 29.12.2012. Бюл. №1. 31.01.2013// Усилитель мощности. Арипов Х.К., Алимова Н.Б., Арипова З.Х., Бустанов Х.Х., Мавланов А.Р., Обьедков Е.В., Тошматов Ш.Т.

3. Sh.Toshmatov / Power amplifier with injection-voltaic transistor with quiescent current stabilization // Труды СКФ МТУСИ часть II, 20-25 апреля Ростов-на-Дону 2015, 303-306р.

oldida turgan dolzarb muammolardan biri hisoblanadi. Ushbu vazifani amalga oshirishda oliy ta'limning belgilangan vazifalaridan biri yuqori saviyada o'qitishni ta'minlash va malakali kadrlarni zamonaviy ta'lim kasb-hunar dasturlari asosida tayyorlashdir. Oliy ta'lim muassasasi o'qituvchisining faoliyati shaxsni tarbiyalash jarayonida ta'lim-tarbiya olish sharoitlarini yaratish, uning ehtiyojlarini qondirish va qobiliyatlarini ochish hamda rivojlantirishga yo'naltirilgan bo'lishi lozim.

Fanlarni o'qitishda talabalarining (kursantlarning) laboratoriya ishlarini bajarishga, ma'ruza darslarida o'tilgan mavzular bo'yicha amaliyot darslarida elektr zanjirlarni tahlil qilishda yangi texnologiyalarning to'g'ri joriy etilishi va ulardan foydalanish mashg'ulot davomida o'quv materiallari to'liq o'zlashtirish, hamda mashg'ulotlar sifatini oshirishga olib keladi [2].

Innovatsion yangi texnologiyalar, masalan **National Instruments (NI)** kompaniyasining **Multisim** elektron dasturi talabalarni (kursantlarni) mavzu bo'yicha aniq tasavvurga ega bo'lishga, mavzuni o'zaro bir-biri bilan bog'liq, yaxlit holda tasavvur qilishga yo'naltiradi. Fanni o'qitishda bu uslubdan foydalanish talabalarining biron-bir mavzuni chuqur o'rganishlariga yordam berib, ularni mavzuga taalluqli tushuncha yoki aniq fikrlarni erkin va ochiq uzviy bog'langan ketma-ketlikda tarmoqlashni o'rgatadi.

**NI Multisim** elektron dasturi sxema yaratish va modellashtirish uchun qo'llaniladi, bunda EHM kutubxona komponentlaridan keng foydalaniladi, va standart sanoat simulyatori SPICE yordamida integral mikrosxemalarni elektron tadqiqolari amalga oshiriladi. Shu bilan birga u Assembler SPICE taqlid elekton dastur yordamida MCU Module dasturini Multisim 10.1 versiyasiga kiritib, integral mikrosxemalarni dasturlash va tahlil qilish im-