

ОСОБЕННОСТИ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ВАХ МОП-ТРАНЗИСТОРОВ
В СХЕМЕ С ОБЩИМ СТОКОМ

Х.К.Арипов[□], А.М.Абдуллаев, Ш.Т.Тошматов

Ташкентский университет информационных технологий, Ташкент, Узбекистан

[□]e-mail: Khayrulla-Aripov@yandex.ru

Аннотация. Приводятся результаты теоретических и экспериментальных исследований закономерностей формообразования вольт-амперных характеристик металл-окисел-полупроводник транзисторов в схеме с общим стоком. Показано принципиальное отличие входных и выходных характеристик в схеме с общим стоком от аналогичных характеристик в схеме с общим истоком. Приводятся истоко-затворные и истоковые характеристики металл-окисел-полупроводник транзистора в схеме с общим стоком. Получены совмещенные семейства истоко-затворных и истоковых характеристик металл-окисел-полупроводник транзистора в схемах с общим истоком и стоком.

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

FEATURES THE GENERALITIES OF I-V CURVE FORMATION
IN MOSFET WITH A COMMON DRAIN

Kh.K.Aripov[□], A.M.Abdullayev, Sh.T.Toshmatov

Tashkent University of Information Technologies, Tashkent, Uzbekistan.

[□]e-mail: Khayrulla-Aripov@yandex.ru

Abstract. The results of theoretical and experimental studies of the generalities of current-voltage characteristics curve formation of metal-oxide-semiconductor transistors 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. The source-gate and source characteristics of a metal-oxide-semiconductor transistor in the common drain are given. Combined families of source-gate and source characteristics of a metal-oxide-semiconductor transistor in the common source and drain are obtained.

Key words: microelectronic circuitry, integrated circuits, operational amplifier, MOS transistor, amplifier circuit used on MOSFETs, family of drain-gate and drain characteristics.

Повторители напряжения являются усилителями тока с единичным коэффициентом передачи по напряжению и широко используются в выходных каскадах усилителей мощности. Выходные каскады применяются, в основном, для более полного использования напряжения питания. В связи с чем, усилительные

элементы в них включены по схеме с общим выходным электродом (стоком, коллектором, анодом) [1,2].

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⁺, АВ, В и G [1,2].

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.

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 $U_{ис}$ уменьшаются по закону параболы и сдвигаются вправо с увеличением входного напряжения $U_{зс}$.

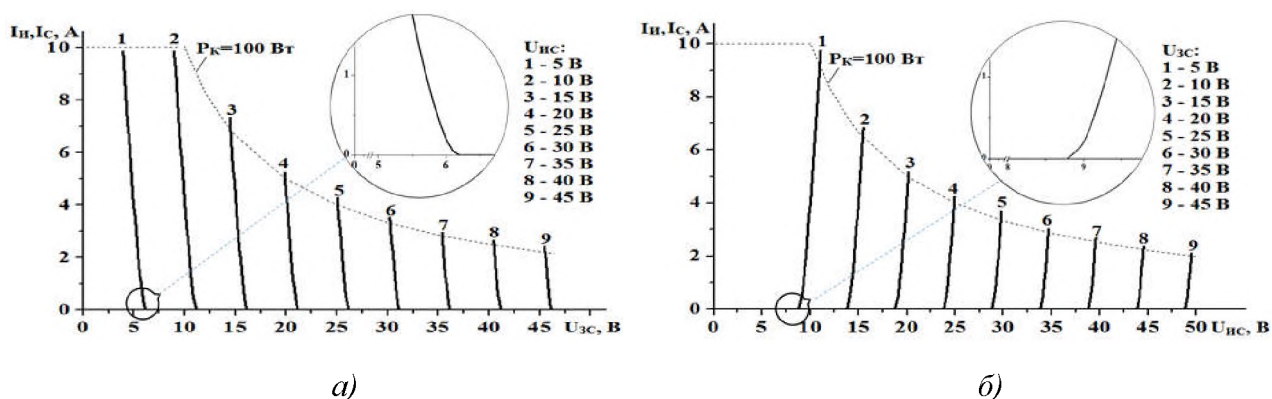


Рис.1. Вольт-амперные характеристики МОП-транзистора с индуцированным р-каналом IRF9640 в схеме с общим стоком: формообразования вольт-амперных характеристик $I_{и}=I_{с}=f(U_{зс})$ (а) и $I_{и}=I_{с}=f(U_{ис})$ (б) при фиксированных значениях напряжений $U_{зс}$ и $U_{ис}$.

На рис.1, б приведены также 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.

Совмещенные 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.

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

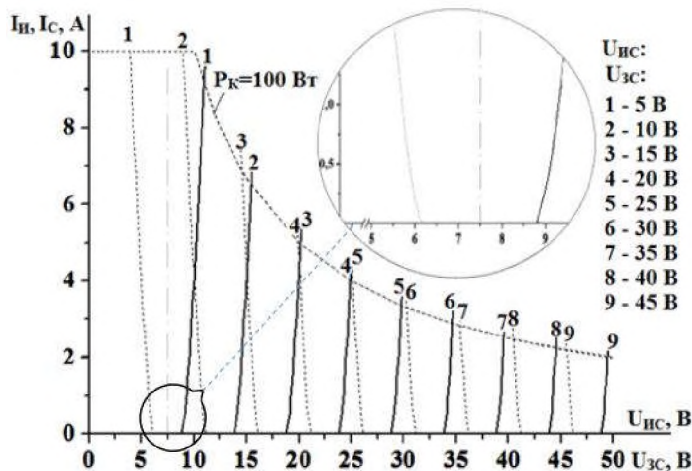


Рис.2. Совмещённые семейства истоко-затворных (пунктирные линии) и истоковых (сплошные линии) характеристик МОП-транзистора с индуцированным р-каналом IRF9640 в схеме с общим стоком.

На рис.3 приводятся совмещённые 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 (рис.3, кривые 1'÷5') с малой расходимостью. Несколько изменяется лишь наклон характеристик.

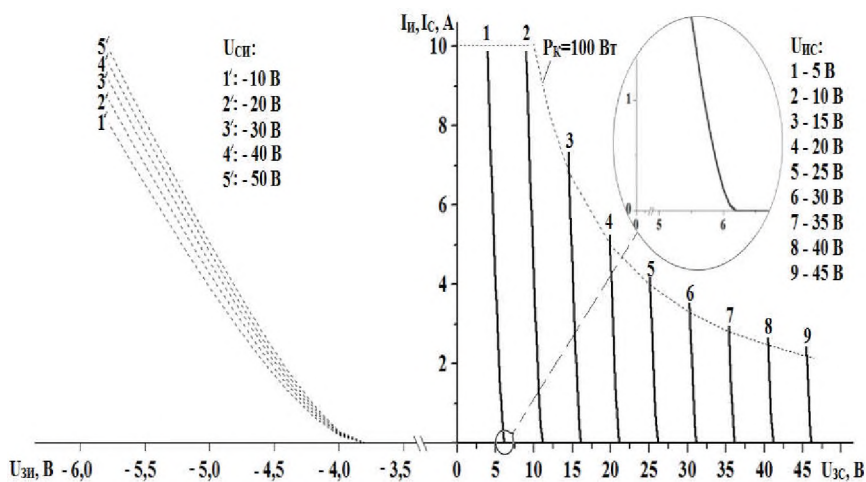


Рис.3. Совмещённые семейства стоко-затворных характеристик МОП-транзистора с индуцированным р-каналом IRF9640 в схемах с общим стоком (сплошные линии) и с общим истоком (пунктирные линии).

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.

Совмещенные 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.

Совмещенные 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 стока $U_{СИ}$ 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 параболой, смещающимися параллельно самим себе при изменении напряжения $U_{ЗС}$ на величину $U_{ИС\text{ пор}}=U_{ЗИ\text{ пор}}+U_{ЗС}$;

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

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 [3-5].

Литература

1. Douglas Self. Audio Power Amplifiers Design Handbook, 6th (Newnes Publications, 2013).
2. U. Tietze Ch. Schenk. Halbleiter Schaltungstechnik (Berlin, Springer-Verlag, 2002).
3. Paul Horowitz, Winfield Hill. The Art of Electronics (New York, Cambridge University Press, 2015).
4. № IAP 04640 от 29.12.2012. Aripov Kh.K., Alimova N.B., Aripova Z.Kh., Bustanov Kh.Kh., Mavlanov A.R., Obedkov Ye.V., Toshmatov Sh.T.
5. Sh.Toshmatov. In: Proceedings of North Caucasus branch of MTUCI Conference Part II (Rostov-on-Don, Russia, 20-25 April 2015), P. 303.

The text of the article is translated by Editorial of journal of “Semiconductor Physics and Microelectronics”. For more information contact: ispm_uz@mail.ru

Voltage followers are current amplifiers with a unit voltage transfer coefficient and are widely used in the output stages of power amplifiers. The output stages are used mainly for a more complete use of the supply voltage. In this connection, the amplifying elements in them are included according to the scheme with a common output electrode (drain, collector, anode) [1, 2].

The aim of the research is to establish the laws of the formation of the I – V characteristics of unipolar amplifying elements - semiconductor field effect transistors with a MOS structure in a circuit with a common drain (CD).

At the first stage of this search, the saturation mode in MOS transistors was considered, since this mode is typical for power amplifiers of classes A, A⁺, AB, B, and G [1,2].

At the second stage of the study of the I – V characteristics of unipolar amplifying elements, electronic circuits were simulated using simulation programs Labview, Signal Express, MultiSim 10.1, and Ultibroand from National Instruments.

Figure 1a shows the graphs of the dependence of the source and drain currents on the gate-drain voltage in the circuit with the operating system for fixed source-drain voltage values. The currents of the electrodes of the MOSFET I_S , I_D with an increase in the input voltage U_{SD} decrease according to the parabola law and shift to the right with an increase in the input voltage U_{GD} .

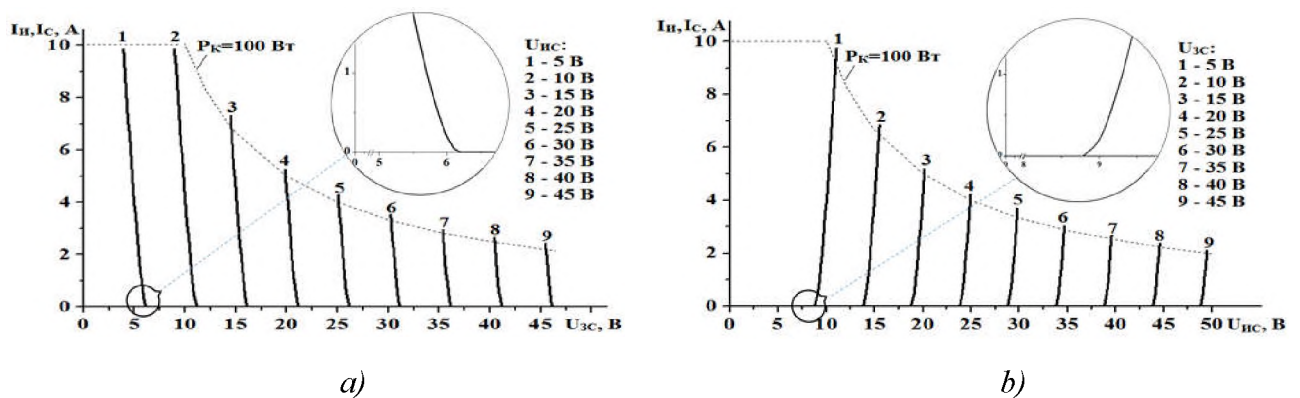


Fig. 1. Current-voltage characteristics of a MOSFET with an induced p-channel IRF9640 in a circuit with a common drain: shaping of the current-voltage characteristics $I_S = I_D = f(U_{GD})$ (a) and $I_S = I_D = f(U_{SD})$ (b) at fixed values voltage U_{GD} and U_{SD} .

Figure 1, b also shows the plots of the dependence of the source and drain currents on the source-drain voltage of the IRF9640 MOS transistor in a circuit with an operating system for fixed gate-drain voltage values. The currents of the electrodes of the MOS transistor I_S , I_D with an increase in the output voltage U_{IS} increase according to the parabola law and shift to the right with an increase in the input gate-drain voltage U_{GD} .

Figure 2 shows the combined families of source-gate and source characteristics of the IRF9640 MOS transistor in the circuit with the CD.

Combined families of source-gate and source characteristics of the MOS transistor in circuits with OI form symmetric functions with respect to the vertical axis with coordinates $U_{SD} = U_{GD}$. The degree of symmetry of the source-gate and source characteristics is determined by the value of the static gain of the MOS transistor μ_{os} in circuits with CD. For the IRF9640 MOS transistor in the circuit with CD, symmetry occurs at $\mu_{CD} = 0.9975$ and current $I_D = 0.5$ A.

The combination of the I – V characteristics of a MOS transistor in circuits with an CS and with an CD makes it possible to establish the general laws of the formation of the I – V characteristics of a power amplifier.

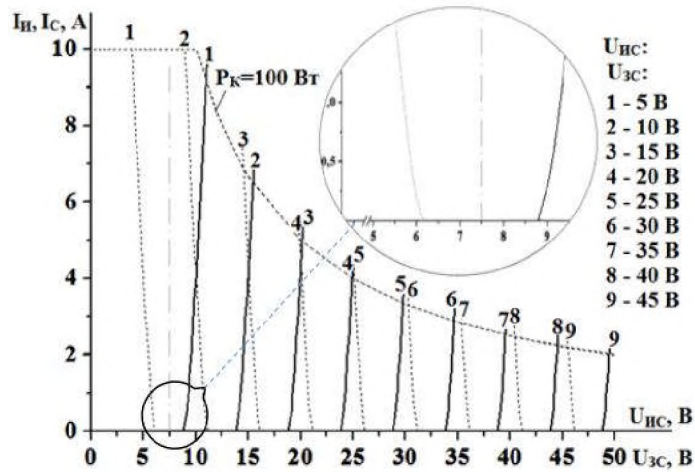


Fig. 2. Combined families of source-gate (dashed lines) and source (solid lines) characteristics of a MOS transistor with an induced p-channel IRF9640 in a common drain circuit.

Figure 3 shows the combined families of the gate-gate characteristics of the IRF9640 MOS transistor in circuits with CD (solid lines) and CS (dashed lines). Assuming $U_{DS} = \text{const}$, we see that the dependences of the drain and source currents on the gate voltage of the U_{DS} are represented by parabolas (Fig. 3, curves 1' ÷ 5') with a small divergence. Only the slope of the characteristics changes somewhat.

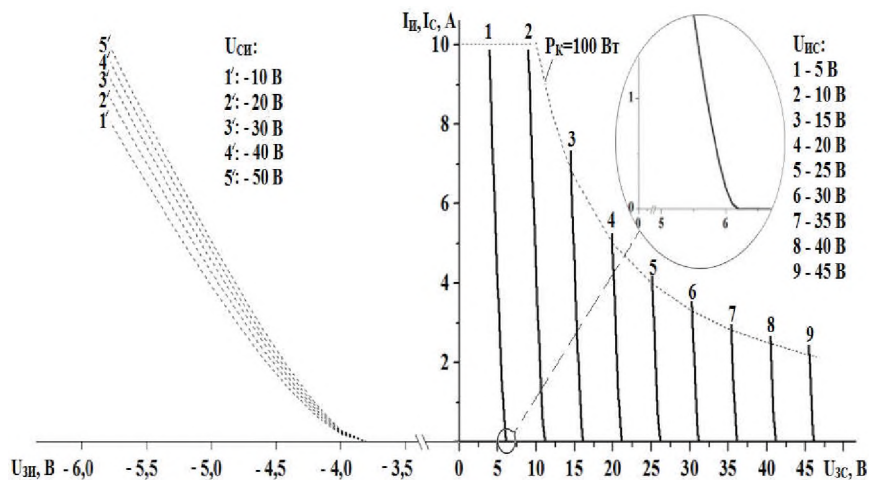


Fig. 3. Combined Drain-Gate Characteristic Families

MOSFET with induced p-channel IRF9640 in circuits with a common drain (solid lines) and with a common source (dashed lines).

Similarly, assuming that $U_{SD} = \text{const}$, we see that the dependences of the drain and source currents on the gate-drain voltage U_{GD} are also represented by parabolas that shift parallel to themselves when the voltage U_{SD} is changed by the value of $U_{GD\text{threshold}} = U_{SD} - U_{GD\text{threshold}}$.

Comparing the stock in the circuit with the CS and the source I – V characteristics in the circuit with the CD on the same scale, we get the combined family of the drain characteristics of the MOS transistor.

Combined families of source-gate and source characteristics of the MOS transistor in circuits with CS form symmetric functions with respect to the vertical axis with coordinates $U_{SD} = U_{GD}$. The degree of symmetry of the source-gate and source characteristics is determined by the value of the static gain of the MOS transistor in circuits with CD.

Combined families of drain characteristics of a MOS transistor in a circuit with an CS and source characteristics in a circuit with an CD showed that:

- with $U_{GS} = \text{const}$, the dependences of the drain and source currents on the drain-source voltage, U_{SD} are a linear function with a very small angular coefficient that increases with increasing gate-source voltage;

- with $U_{GS} = \text{const}$, the dependences of the drain and source currents on the source-drain voltage U_{SD} are represented by parabolas that shift parallel to themselves when the voltage U_{GD} changes by the value of $U_{SD\text{threshold}} = U_{GS\text{threshold}} + U_{GD}$;

- the effect of decreasing the dynamic internal resistance of the MOS transistor in the circuit with the CD relative to the dynamic resistance of the same MOS transistor in the circuit with the CS is observed in μ_{cs} / μ_{cd} times.

The results of theoretical and experimental studies of the formation patterns of the current-voltage characteristics of amplifier elements in a circuit with a common output electrode (drain, collector, anode) allowed the authors to create amplifiers that have the lowest possible non-linear distortion coefficient at extremely low power consumption [3-5].