

Уравнение для тока стока органического полевого транзистора с корректным учётом ненулевой дифференциальной проводимости в режиме насыщения

¹Б. А. Рахматов, ¹В. О. Турин, ²Ч. Ким, ³Б. Инигез

¹ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева»

²Институт науки и технологии Кванджу, Республика Корея

³Университет Ровира и Вирджинии, г. Тарагона, Испания

Используемые обозначения

- W – ширина затвора;
- L - длина затвора;
- d_{ox} - толщина оксидного слоя затвора;
- ϵ_{ox} – диэлектрическая проницаемость оксид затвора;
- ϵ_0 – диэлектрическая постоянная;
- α_S - параметр модуляции насыщения;
- V_{GS} - напряжение затвор – исток;
- V_{DS} - напряжение сток – исток;
- V_{T} - пороговое напряжения;
- μ_0 – размерный коэффициент подвижности $1 \text{ cm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$;
- V_{aa} – mobility enhancement voltage;
- γ - характеристический показатель подвижности;
- R_{C} - сопротивление контактов;
- λ - коэффициент насыщения.

$$C_i = \frac{\varepsilon_{ox} \varepsilon_0}{d_{ox}} - \text{Емкость изолятора на единицу площади}$$

$$K = \frac{W}{L} C_i - \text{Параметр геометрии МОП конденсатора и характеристик материала}$$

$$\mu_{FET} = \frac{\mu_0}{V_{aa}^\gamma} |V_{GS} - V_T|^\gamma - \text{Дрейфовая подвижность}$$

$$g_{ch} = \frac{K \mu_{FET} |V_{GS} - V_T|}{[1 + R_c K \mu_{FET} |V_{GS} - V_T|]} - \text{Проводимость канала в линейном режиме}$$

$$I_{lin} = g_{ch} V_{DS} - \text{Линейный ток стока}$$

$$V_{sat} = \alpha_S |V_{GS} - V_T| - \text{Напряжение насыщения}$$

$$I_{sat} = g_{ch} V_{sat} - \text{Ток насыщения}$$

Асимптотика для тока стока и уравнение для тока стока [1]

$g_{asy} = \lambda I_{sat}$ – Асимптотика для проводимости канала

Это асимптотическое уравнение было предложено для тока стока ОПТ в [1]

$$I_{asy} = I_{sat} [1 + \lambda (|V_{DS}| - \alpha_s |V_{GS} - V_T|)]$$

$$I = \frac{I_{lin} I_{asy}}{[|I_{lin}|^m + I_{sat}^m]^{\frac{1}{m}}} \quad \text{– уравнение для тока стока, используемое в [1]}$$

Улучшенная модель

Асимптотика для проводимости канала и тока стока остаются как в [1]

Предлагаем использовать улучшенное уравнение для тока стока

$$g_{ch}^* = \frac{g_{ch}}{\left[g_{ch}^m - g_{asy}^m \right]^{\frac{1}{m}}} \quad I_{asy}^* = g_{ch}^* I_{asy}$$

$$I = \frac{I_{lin} I_{asy}^*}{\left[|I_{lin}|^m + I_{asy}^{*m} \right]^{\frac{1}{m}}}$$

Анализ модели [1]

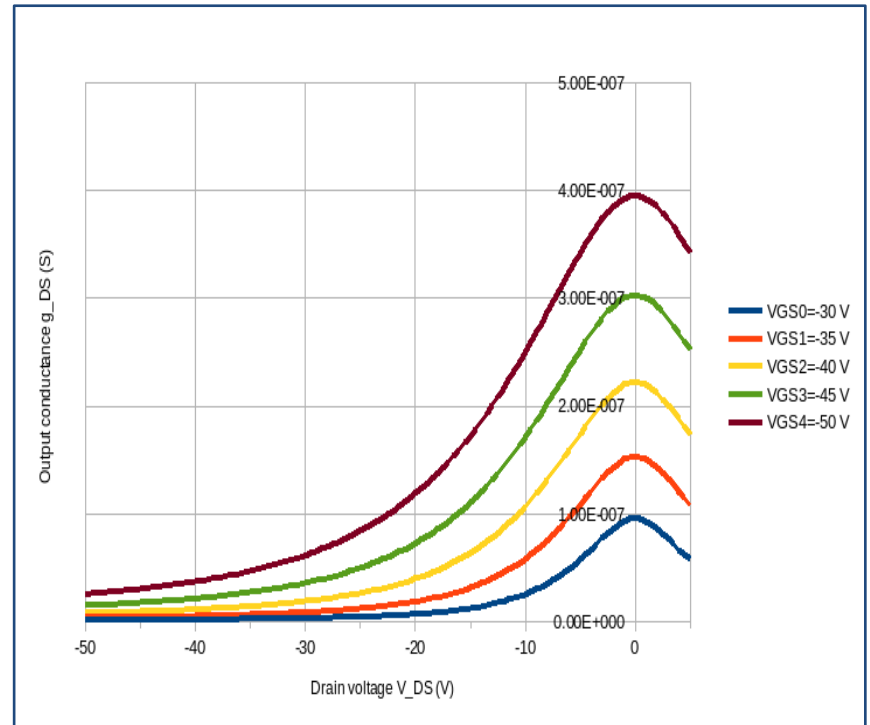
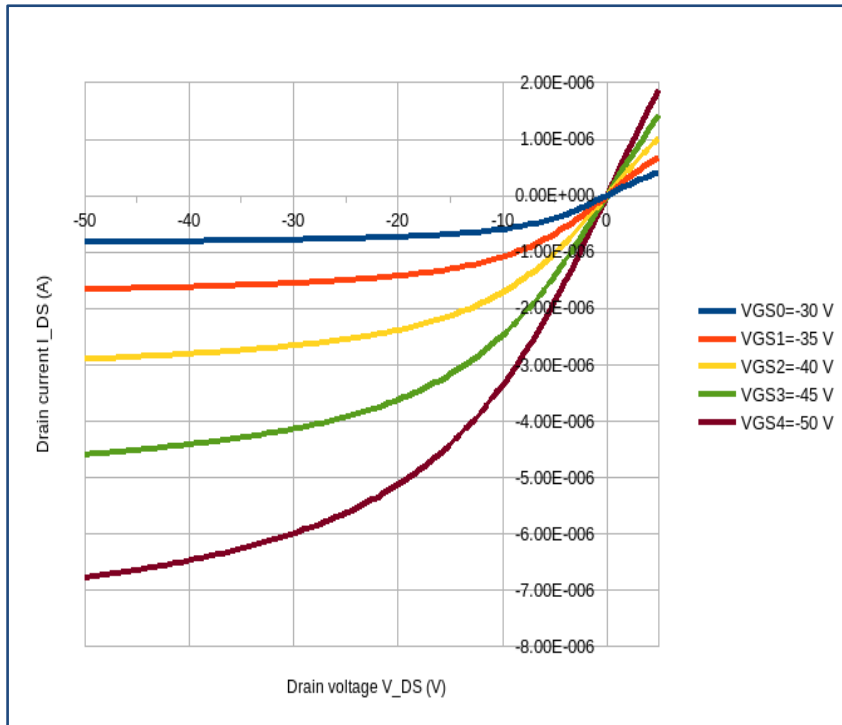
На рис. 1 - 3(а) представлены вольт - амперные характеристики, а на рис. 1 - 3(б) зависимости выходной проводимости от напряжения для модели из [1].

Поведение дифференциальной проводимости в случае малых напряжений на стоке немонотонно уменьшается от максимального до минимального значения для $\lambda = 0.01 \text{ V}^{-1}$ [2] и $\lambda = 0.02 \text{ V}^{-1}$.

Для $\lambda = 0.0012 \text{ V}^{-1}$, использовавшегося в [1], это трудно заметить, из-за малой величины λ .

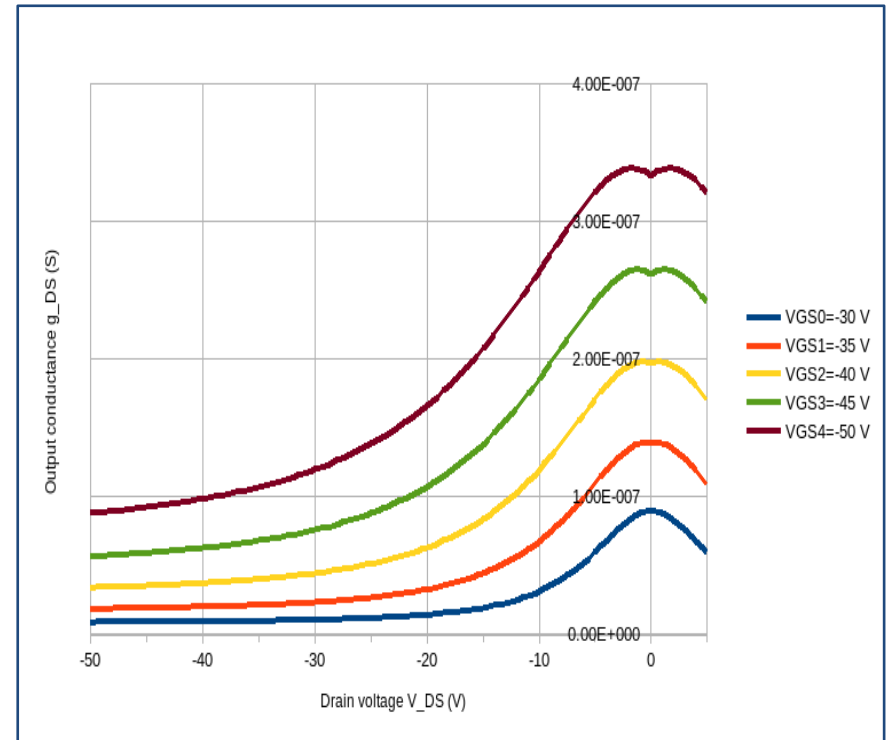
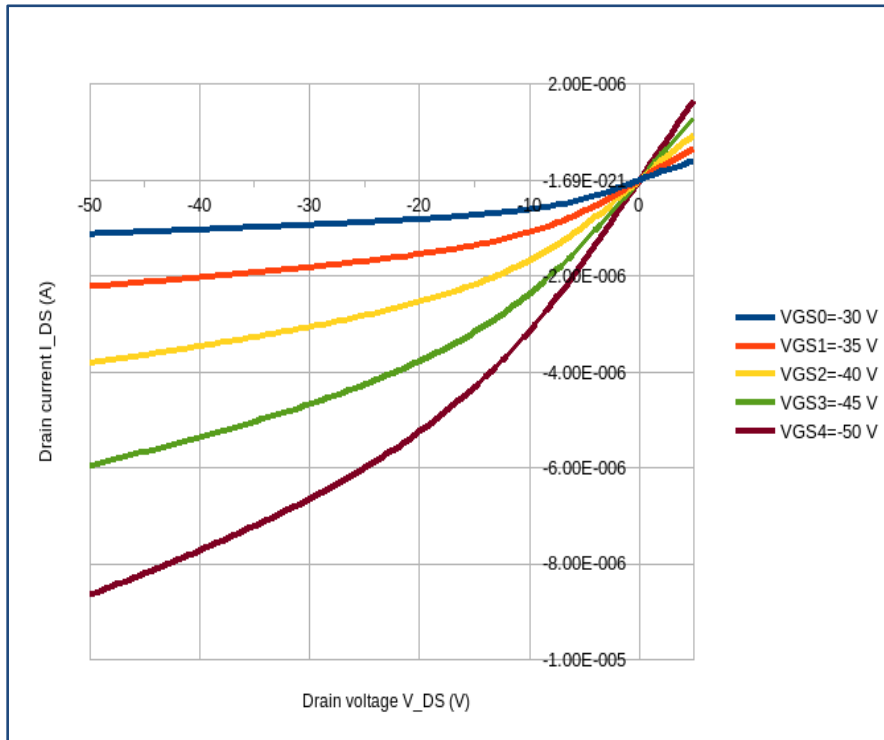
Вольт - амперная характеристика и зависимость дифференциальной проводимости от напряжения на стоке для модели [1]

$$\lambda = 0.0012 \text{ V}^{-1} [1]$$



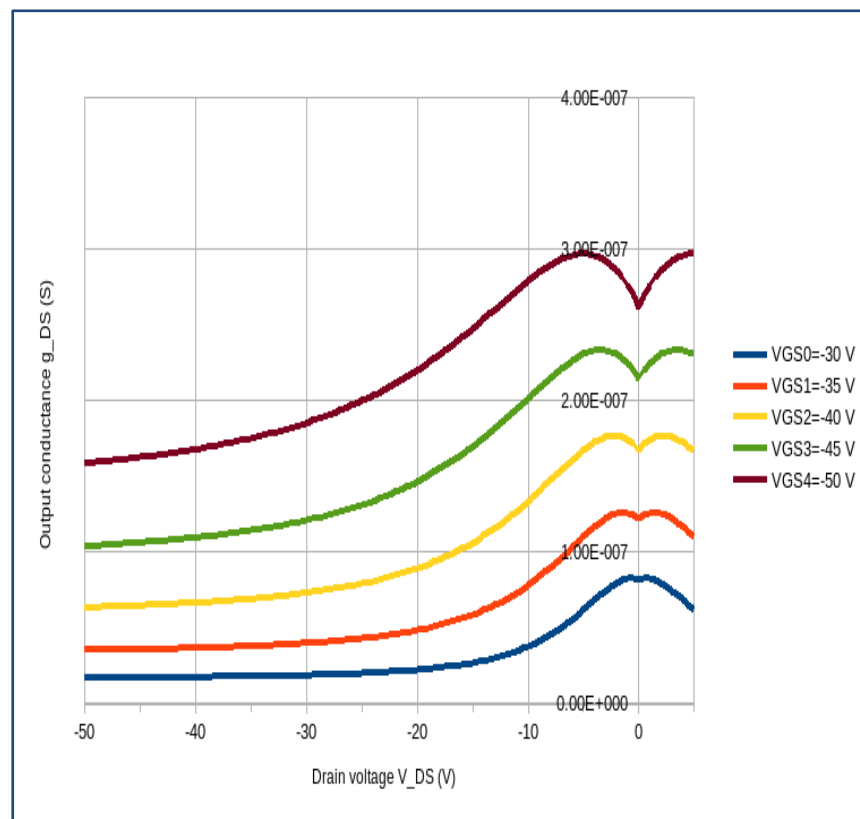
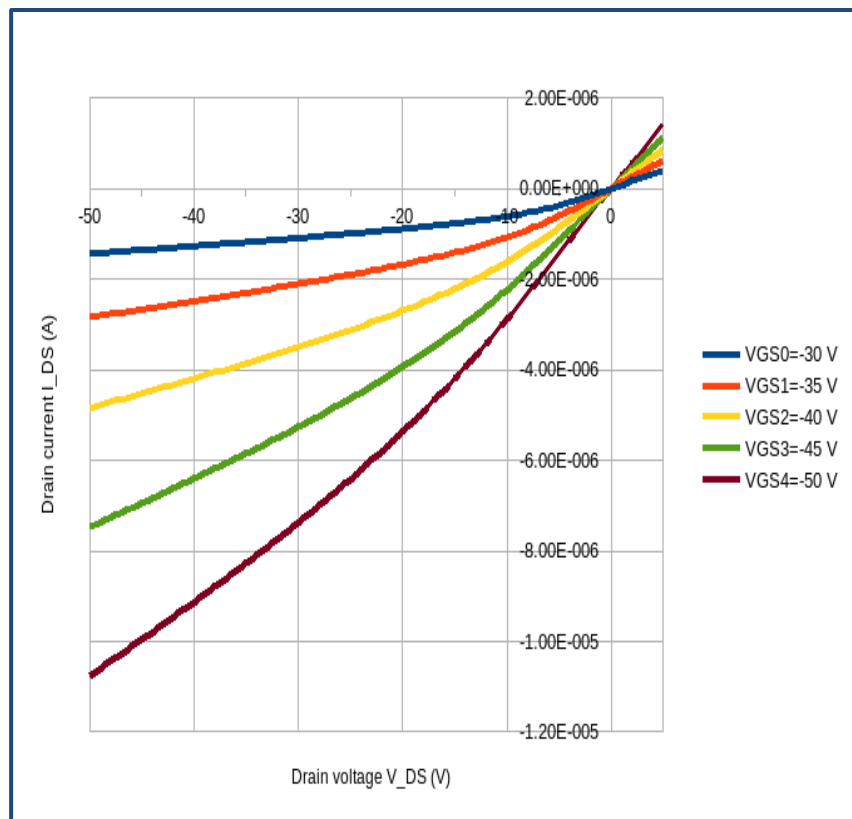
Вольт - амперная характеристика и зависимость дифференциальной проводимости от напряжения на стоке для модели [1]

$$\lambda = 0.01 \text{ V}^{-1} \quad [2]$$



Вольт - амперная характеристика и зависимость дифференциальной проводимости от напряжения на стоке для модели [1]

$$\lambda = 0.02 \text{ V}^{-1}$$



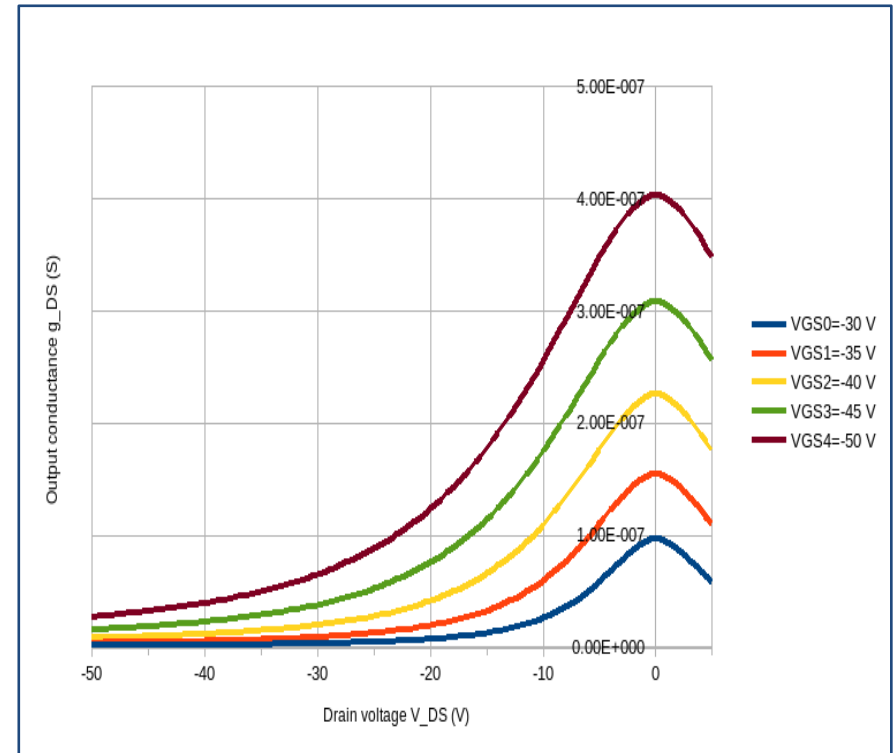
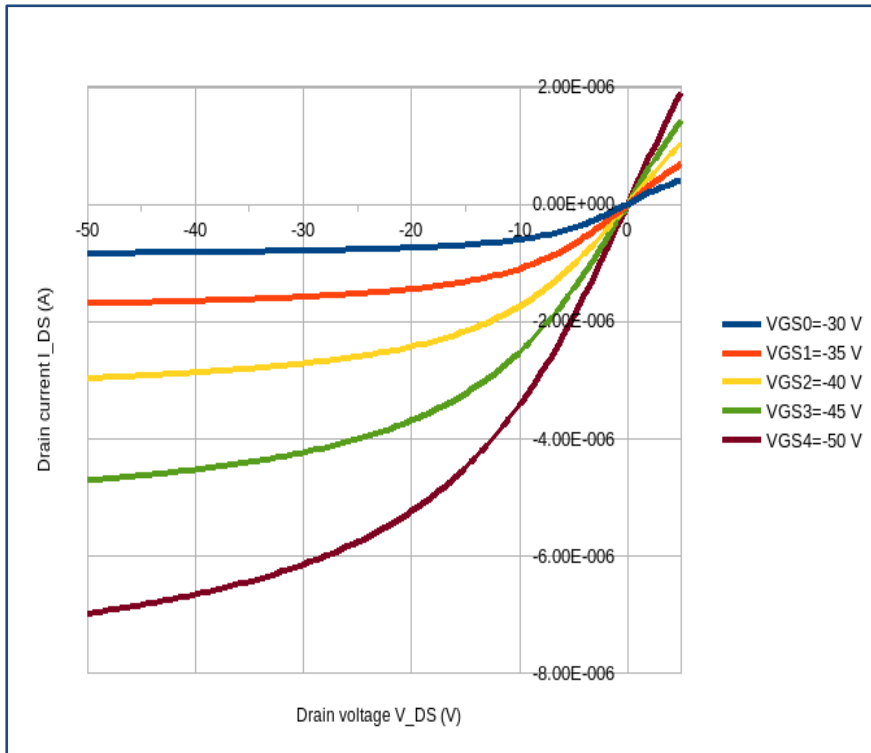
Анализ улучшенной модели

На рис. 4 - 6(а) представлены вольт - амперные характеристики, а на рис. 4 - 6(б) зависимости выходной проводимости от напряжения для улучшенной модели.

Вольт - амперные характеристики и зависимость выходной проводимости от напряжения отображаются корректно. Дифференциальная проводимость монотонно уменьшается от максимального до минимального значения для всей совокупности значений λ .

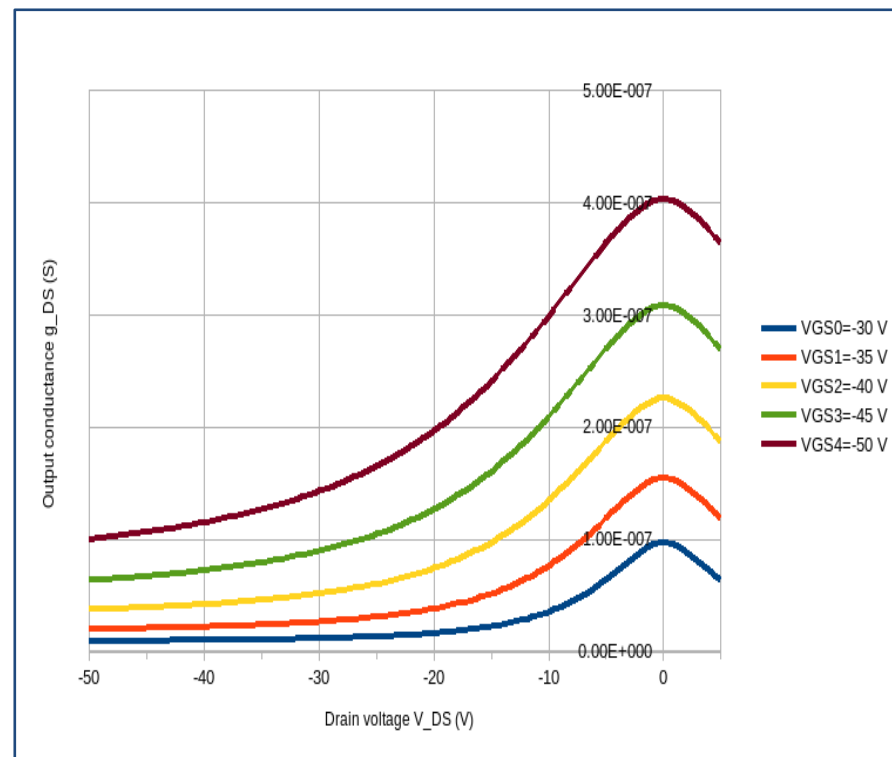
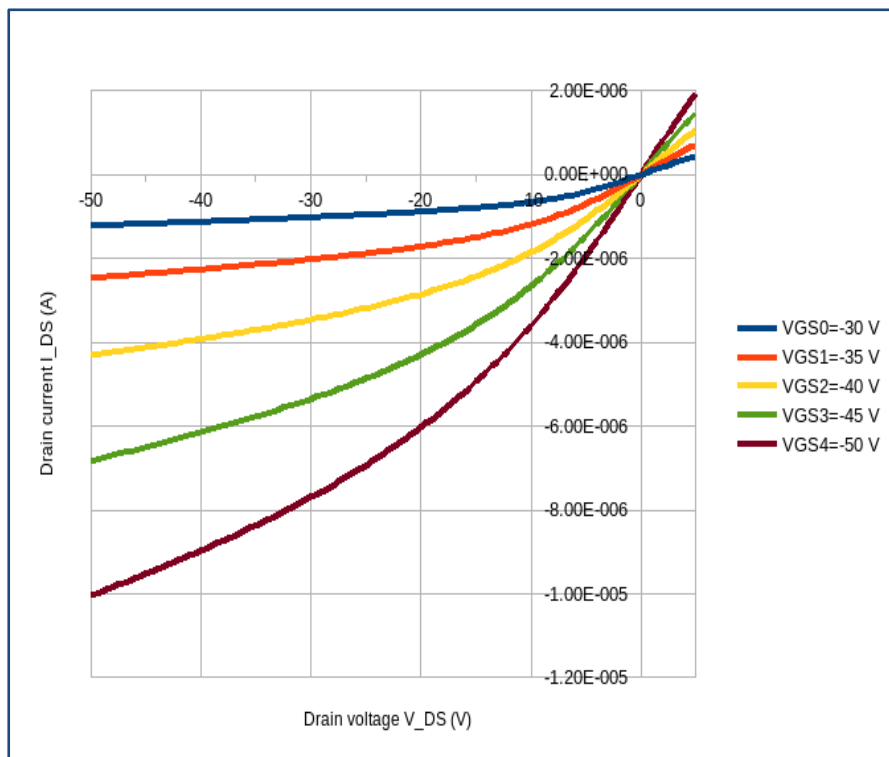
Вольт - амперная характеристика и зависимость дифференциальной проводимости от напряжения на стоке для улучшенной модели

$$\lambda = 0.0012 \text{ V}^{-1} \quad [1]$$



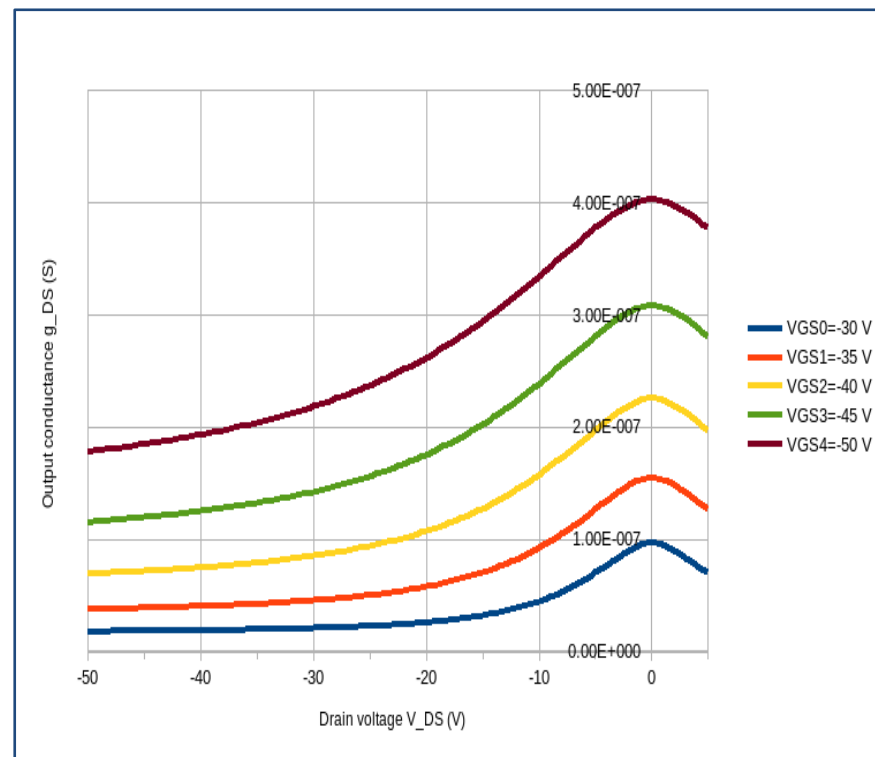
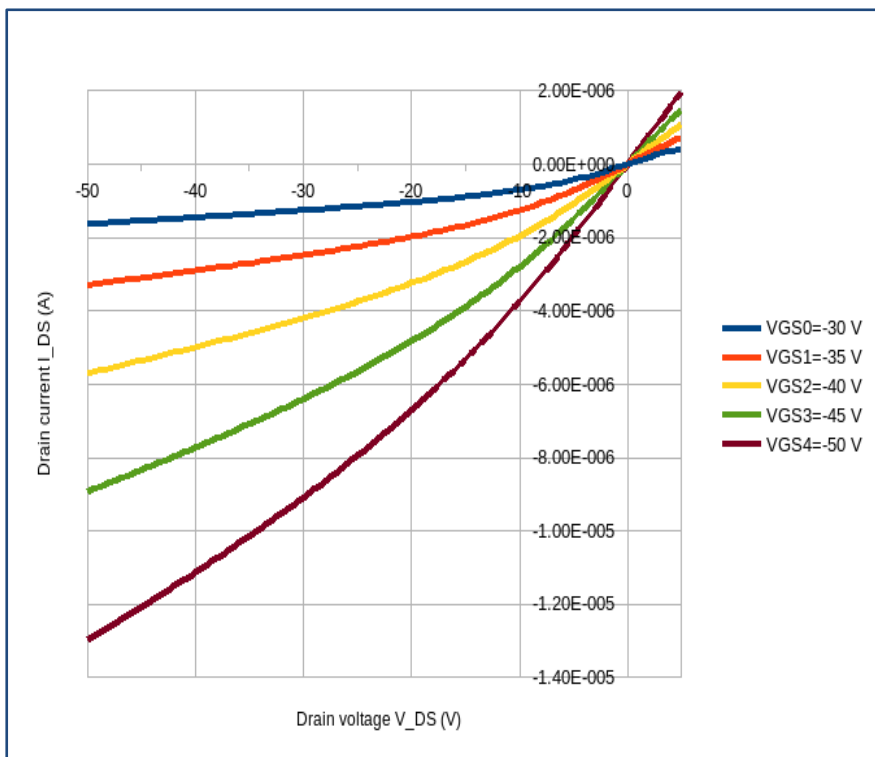
Вольт - амперная характеристика и зависимость дифференциальной проводимости от напряжения на стоке для улучшенной модели

$$\lambda = 0.01 \text{ V}^{-1} \text{ [2]}$$



Вольт - амперная характеристика и зависимость дифференциальной проводимости от напряжения на стоке для улучшенной модели

$$\lambda = 0.02 \text{ V}^{-1}$$



Выводы

Для описания тока стока органического полевого транзистора мы применили подход, ранее разработанный для МОП транзистора в [3-4], и обеспечивающий корректный учет дифференциальной проводимости в режиме насыщения с монотонным убыванием от максимального значения в линейном режиме до положительного или отрицательного – в режиме насыщения. При этом асимптотика для тока стока и другие параметры компактной модели органического транзистора соответствуют предложенным в работе [1].

В дальнейшем мы планируем учесть в компактной модели сопротивления истока и стока более точно, в соответствии с подходом предложенным для МОП транзистора в работе [5].

Литература

- [1] C.H.Kim et. al., “A Compact Model for Organic Field-Effect Transistors With Improved Output Asymptotic Behaviors”, IEEE Trans. Electron Devices, vol. 60, no. 3, pp. 1136-1141, March 2013.
- [2] C.H.Kim et. al., “Compact DC Modeling of Organic Field-Effect Transistors: Review and Perspectives”, IEEE Trans. Electron Devices, vol. 61, no. 2, pp. 278-287, February 2014.
- [3] V.O. Turin, A.V. Sedov, G.I. Zebrev, B. Iñiguez, and M.S. Shur, “Intrinsic compact MOSFET model with correct account of positive differential conductance after saturation,” in Proc. SPIE Int. Conf. Micro- Nano-Electron., Zvenigorod, Russia, Oct. 2009, vol. 7521, pp. 75211H-1–75211H-9.
- [4] V.O. Turin, G.I. Zebrev, S.V. Makarov, B. Iñiguez, M.S.Shur, “The correct account of nonzero differential conductance in the saturation regime in the MOSFET compact model”, International Journal of Numerical Modelling: Electronic Networks, Devices and Fields, Special Issue: Modeling of High-Frequency Silicon Transistors, vol. 27, no. 5-6, pp. 863–874, September-December 2014.
- [5] В. О. Турин, Г. И. Зебрев, С. В. Макаров, Б. Инигез, М. С. Шур. «Обобщение компактной модели MOSFET Level 1 при ненулевой дифференциальной проводимости в режиме насыщения на случай ненулевых сопротивлений истока и стока». Энерго– и ресурсосбережение 21 век.: материалы 13 международной научно - практической интернет - конференции, 15 марта – 30 июня 2015г., г. Орёл.