УДК 00

**ОЦЕНКА МЕТОДИЧЕСКОЙ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ ПАРАЗИТНЫХ ЕМКОСТЕЙ МОП-ТРАНЗИСТОРОВ МОСТОВЫМ МЕТОДОМ.**

Амелин Сергей Александрович,

к.т.н., доцент

Сычев Владислав Андреевич

Студент

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ» в г. Смоленске

**Аннотация:** рассмотрен метод измерения межэлектродных паразитных емкостей МОП-транзисторов, проанализированы его преимущества и недостатки. Проведено моделирование процесса измерения межэлектродных паразитных емкостей мостовым методом с помощью конденсаторов и с помощью резисторов. Сформированы рекомендации по использованию рассмотренных методов при создании стенда для измерения параметров МОП-транзисторов.

**Ключевые слова:** МОП-транзистор, MOSFET, Spice модель, Micro-Cap, межэлектродные емкости, мостовой метод измерения, interelectrode capacitance.

EVALUATION THE METHODOLOGICAL PRECISION OF MEASUREMENTS, THE STRAY CAPACITANCE OF THE MOSFETS BRIDGE METHOD.

Amelin Sergey Alexandrovich,

Sychev Vladislav Andreevich

Abstract: the method of measuring interelectrode parasitic capacitances of MOSFETs is considered, its advantages and disadvantages are analyzed. The simulation of the process of measuring interelectrode parasitic capacitances by bridge method using capacitors and resistors is carried out. Recommendations for using the considered methods when you create the stand for measurements of parameters of MOS transistors.

Key words: MOSFET, MOSFET, Spice model, Micro-Cap, interelectrode capacitance, bridge measurement method, interelectrode capacitance.

Существует несколько методов измерения паразитных емкостей МОП-транзисторов, например, метод замещения в резонансном контуре, метод емкостно-омического делителя или мостовой метод. Мостовой метод является наиболее универсальными, так как позволяет определить емкость при наличии значительной шунтирующей проводимости или большого последовательного сопротивления. Специальные мостовые измерительные схемы могут иметь очень высокую точность измерения емкости (их погрешность может составлять ±0,1% и меньше). Для измерений используется емкостный мост на 1 МГц. Измеряемая емкость последовательно подключается к емкости известной величины для разделения по постоянному току, после чего происходит балансировка моста. При проведении исследований вместо полевого транзистора использовался его эквивалент с заранее известными значениями паразитных емкостей. Это позволяет оценить точность методики путем сравнения этих известных значений с результатами измерений. Для проверки методики было проведено моделирование указанных ниже схем при помощи программы схемотехнического анализа Micro-Cap [3].

Входная емкость определяется, как сумма емкости затвор-исток CGS и емкости затвор-сток CGD (рис.1).



Рисунок 1 – Схема измерения входной емкости Ciss

На рис. 2 представлен график зависимость амплитуды синусоидального напряжения между узлами A и B от изменяемой емкости. Она становится минимальной, когда измерительной мост сбалансирован, т.е. варьируемая емкость моста Cvar равна измеряемой.



Рисунок 2 – График зависимость амплитуды синусоидального напряжения от изменяемой емкости для измерения входной емкости

Как видно из графика, методика измерения дает результаты, совпадающие с заранее известными значениями емкостей эквивалента транзистора (Cgs+Cgd=800+150=950пФ), с минимальной погрешностью 0,1%. Аналогичным образом были исследованы схемы для измерения выходной и проходной емкостей.

На рис. 3 представлена схема измерения выходной емкости Coss, которая представляет собой сумму емкостей затвор-сток CGD и затвор-исток CDS.



Рисунок 3 – Схема измерения выходной емкости Coss

На рис.4 представлен график зависимости амплитуды синусоидального напряжения от изменяемой емкости.



Рисунок 4 – График зависимость амплитуды синусоидального напряжения от изменяемой емкости для измерения выходной емкости

Как видно из графика, методика измерения дает результаты, совпадающие с заранее известными значениями емкостей эквивалента транзистора (Cgs+Cds=150+100=250пФ), с минимальной погрешностью 0,135%.

На рис. 5 представлена схема измерения проходной емкости Crss, которая равняется емкости затвор-сток Cgd.



Рисунок 5 – Схема измерения проходной емкости Crss

На рис. 6 представлен график зависимости амплитуды синусоидального напряжения от изменяемой емкости.



Рисунок 6 – График зависимости амплитуды синусоидального напряжения от изменяемой емкости для измерения проходной емкости

Результат измерения, совпадает с заранее известными значениями емкостей эквивалента транзистора (150пФ).

Такая мостовая схема имеет недостаток – балансировать мост из конденсаторов достаточно проблематично. Эту проблему можно решить, заменив пару конденсаторов на резисторы и уже с их помощью балансировать мост, меняя сопротивление резисторов. После этого по формуле вычисляется неизвестная емкость.

На рис. 7 представлена схема измерения входной емкости Coss.

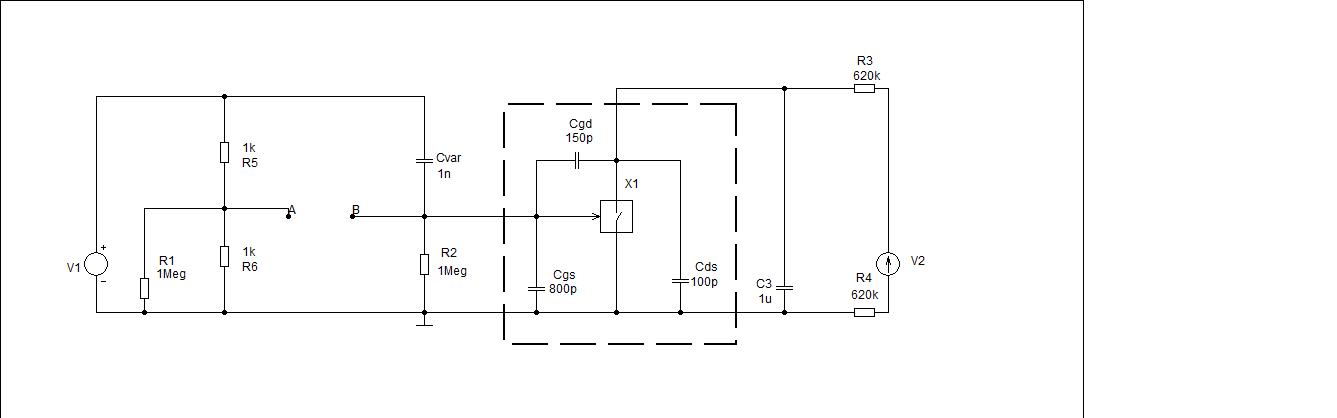


Рисунок 7 – Схема измерения входной емкости Crss

На рис. 8 представлен график зависимости амплитуды синусоидального напряжения от изменяемого сопротивления.

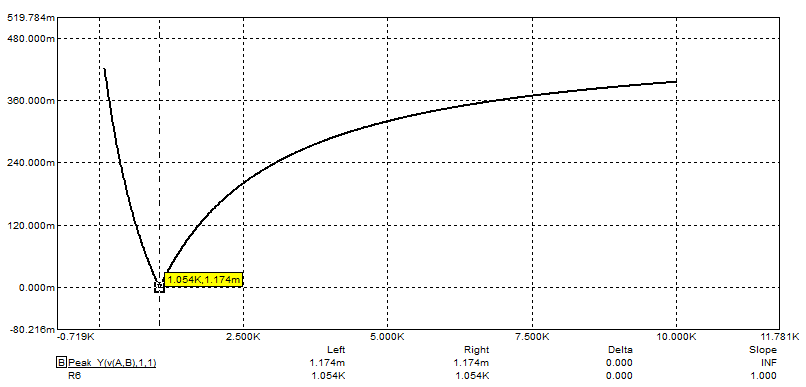


Рисунок 8 – График зависимости амплитуды синусоидального напряжения от изменяемого сопротивления для измерения входной емкости

Подставляя полученное значение сопротивления R6 для балансирования моста в формулу, получаем значение измеряемой емкости с точностью 0,1%.

На рис. 9 представлена схема измерения выходной емкости Coss.

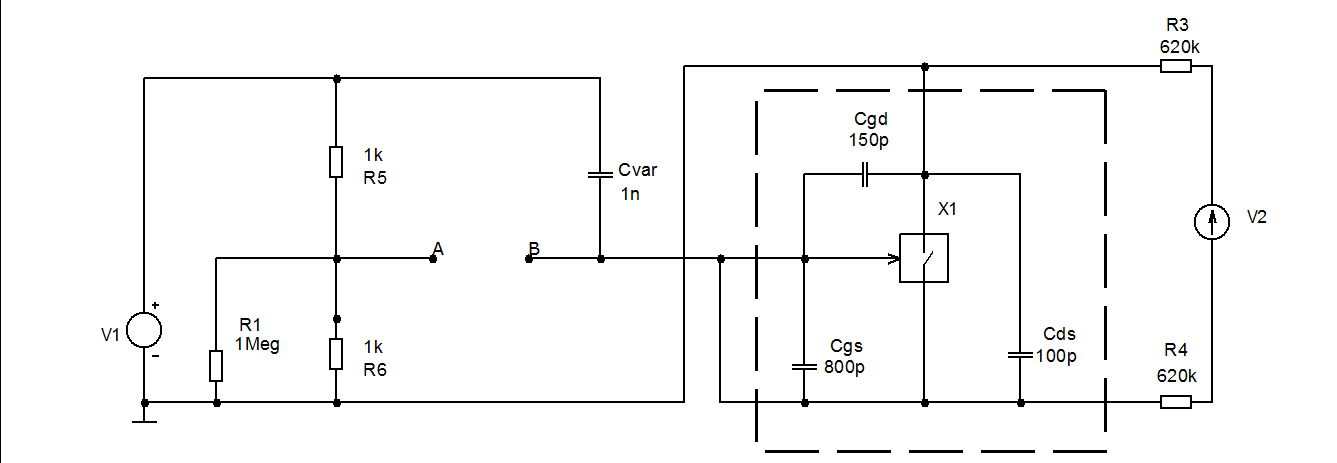


Рисунок 9 – Схема измерения входной емкости Crss

На рис. 10 представлен график зависимости амплитуды синусоидального напряжения от изменяемого сопротивления.

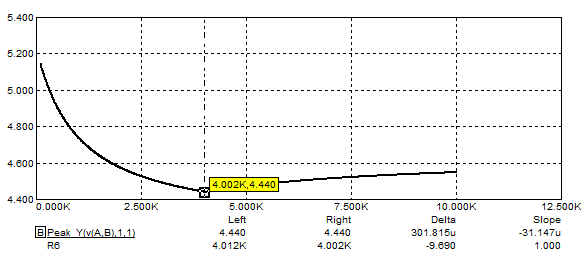
****

Рисунок 10 – График зависимости амплитуды синусоидального напряжения от изменяемого сопротивления для измерения выходной емкости

Подставляя полученное значение сопротивления R6 для балансирования моста в формулу, получаем значение измеряемой емкости с точностью менее 0,1%.

На рис. 11 представлена схема измерения проходной емкости Coss.

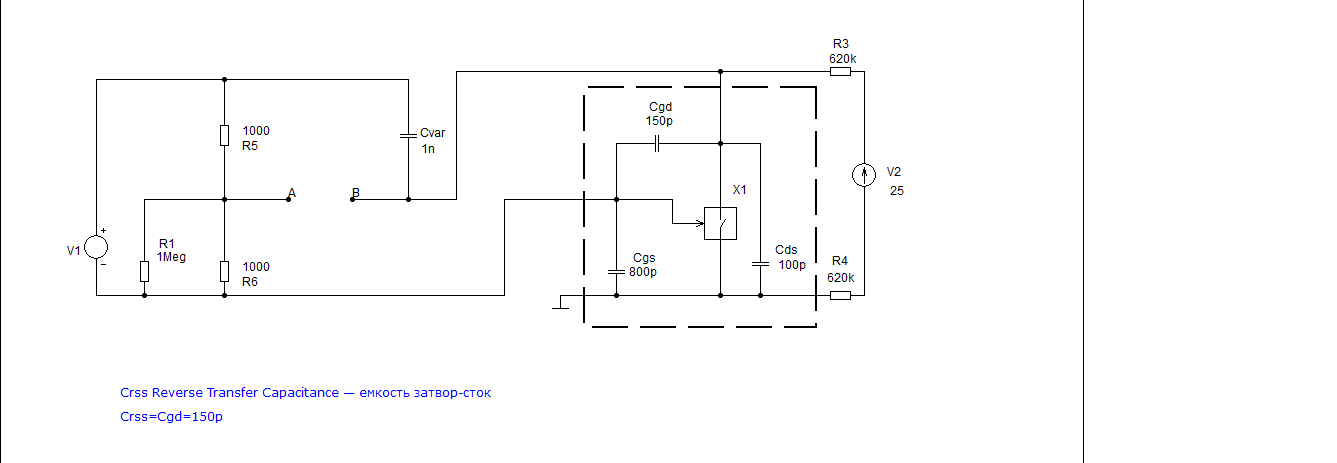


Рисунок 11 – Схема измерения проходной емкости Crss

На рис. 12 представлен график зависимости амплитуды синусоидального напряжения от изменяемого сопротивления.

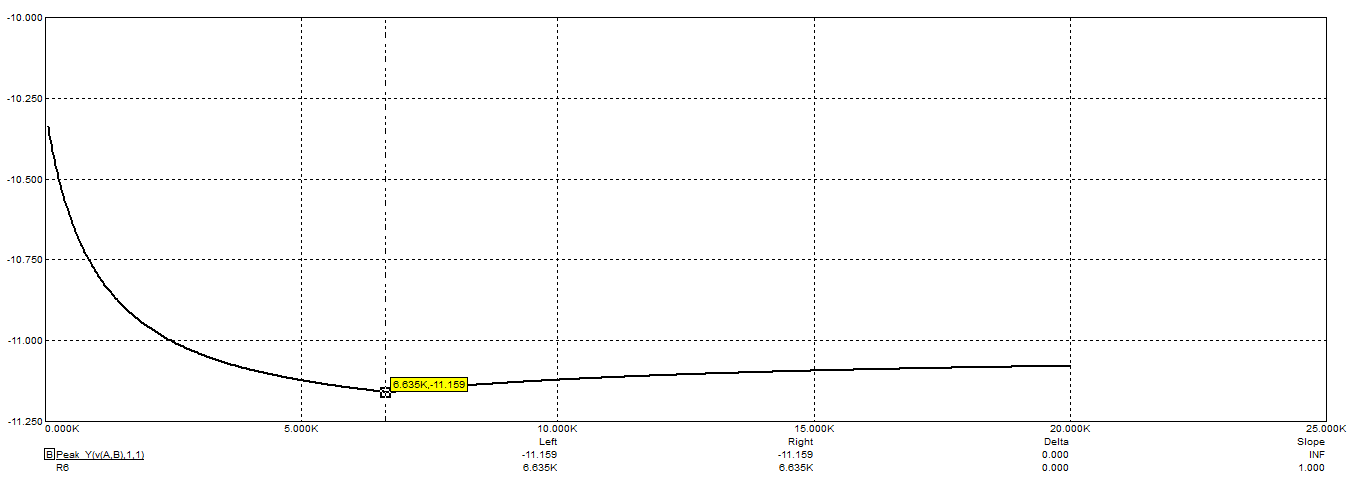


Рисунок 12 – График зависимости амплитуды синусоидального напряжения от изменяемого сопротивления для измерения проходной емкости

Подставляя полученное значение сопротивления R6 для балансирования моста в формулу, получаем значение измеряемой емкости с точностью менее 0,1%.

Сравнивая мостовые методы измерения паразитных емкостей МОП-транзисторов, реализованные на конденсаторах и резисторах, можно сделать вывод о том, что в обоих случаях погрешность измерения не превышает 0,5%. Однако намного проще реализовать изменение сопротивления, нежели емкости. Для автоматизации целесообразно использовать мостовой метод с изменением сопротивления, реализовать который можно с помощью электронных переменных резисторов, управляемых последовательными данными через интерфейс SPI или I2C.

**Список литература**

1. AN-975B. Измерение характеристик МОП-транзистора // International Rectifier
2. Амелина М.А., Амелин С.А. Программа схемотехнического моделирования Micro-Cap. Версии 9, 10. [Электронный ресурс]: учеб. пособие / Амелина М.А., Амелин С.А – Электрон. текстовые дан. – СПб. : Лань, 2014. – 632 с. Режим доступа: URL <http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=53665>
3. Гречишников В.М., Теряева О.В. Метрология и радио измерения: учеб. пособие / В.М. Гречишников, О.В. Теряева. – Самара: Изд-во Самарского университета, 2018. – 204 с.: ил.