

# ИССЛЕДОВАНИЕ СТОКОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МДП-ТРАНЗИСТОРОВ

Беспалов Н.Н., Ильин М.В., Лысенков А.Е.

ГОУВПО «Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарева», г. Саранск  
E-mail: [bnn48@mail.ru](mailto:bnn48@mail.ru)

**Аннотация.** Представлен автоматизированный комплекс для измерения стокowych характеристик МОП-транзисторов

**Ключевые слова:** МОП-транзистор, ток стока, напряжение, измерение, автоматизация

## Введение

Одним из основных факторов, определяющих надёжность транзисторов при эксплуатации, является их тепловой режим. Известно, что с повышением температуры полупроводниковых приборов меняются их электрические параметры, и именно по этой причине уделяется большое внимание обеспечению необходимого теплового режима работы транзисторов при их проектировании, а также при конструировании электронной аппаратуры.

В настоящее время в определённых областях силовой электроники, например: в импульсной силовой технике, в системах преобразователей и инверторов для управления скоростью электродвигателей постоянного и переменного тока, в различной технике для военных и космических целей — биполярные транзисторы активно вытесняются полевыми транзисторами (ПТ) и, в частности, МДП-транзисторами. Это обуславливается, в первую очередь, тем, что они позволяют реализовать определённые схемные функции с простотой и качественными показателями, недостижимыми ранее. Поэтому исследование термочувствительных параметров и характеристик МДП-транзисторов является актуальной задачей развития силовой электроники.

## Постановка задачи

Для увеличения надёжности транзисторов необходимо знать основные характеристики конкретных приборов. В этой связи нами были поставлены следующие задачи:

- разработать программно-аппаратный измерительный комплекс, позволяющий определять статические вольт-амперные характеристики МДП-транзисторов;
- с помощью разработанного комплекса изучить и проанализировать влияние температуры на основные параметры трёх силовых транзисторов IRF830.

## Функциональная схема комплекса

Получение реальных вольт-амперных характеристик силовых полупроводниковых приборов — весьма трудоёмкий процесс, требующий проведения серьёзной предварительной работы. Необходимо отметить присутствие в процессе сторонних факторов [1]:

- наличие паразитных ёмкостей, что обуславливает появление переходных процессов при дискретных изменениях напряжения;
- нагрев прибора в ходе испытания, в связи с чем изменяется пороговое напряжение  $U_{GST}$ .

С учётом данных факторов разработано устройство, позволяющее автоматизировано определять стокowe характеристики ПТ. Устройство представляет собой программно-аппаратный комплекс, реализованный с помощью средств, предлагаемых компанией National Instruments. Управление устройством и сбор информации осуществляется персональным

компьютером (ПК). Программная часть выполнена в среде графического программирования LabVIEW. Связь ПК с аппаратной частью осуществляется с помощью универсальной платы сбора данных NI PCI-6251. Функциональная схема комплекса представлена на рис. 1. Временные диаграммы, поясняющие процесс определения стоковых характеристик, представлены на рис. 2.

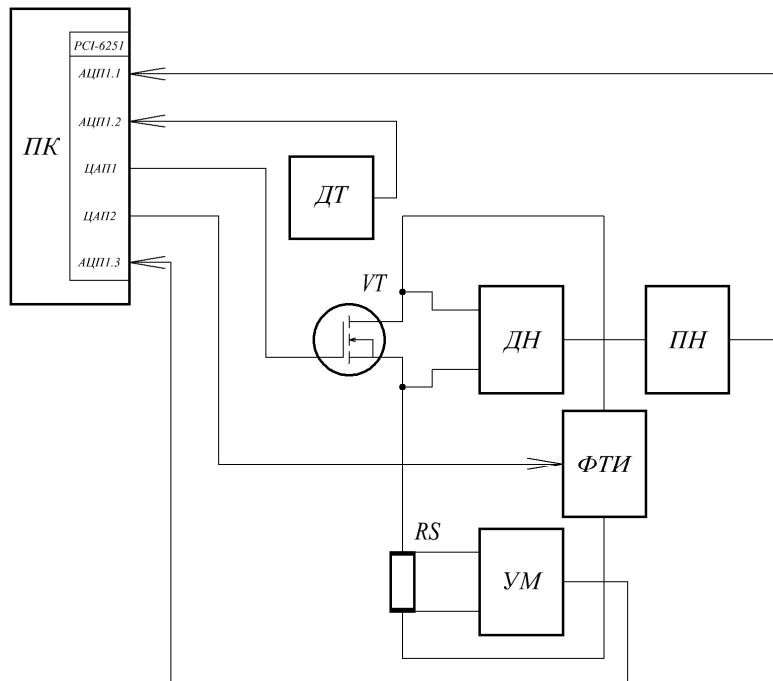


Рис. 1. Функциональная схема комплекса

Разработанный измерительный комплекс обеспечивает:

- формирование импульса напряжения  $U_{GS}$  амплитудой от 0 до 10 В;
- формирование/измерение тока стока  $I_D$  в пределах от 0 до 3 А;
- измерение напряжения  $U_{GS}$  в пределах от 0 до 30 В.

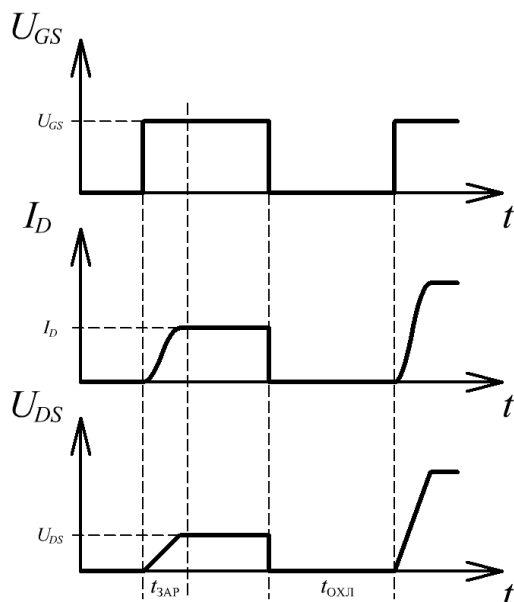


Рис. 2. Временные диаграммы, поясняющие работу комплекса

Определение ВАХ транзистора в комплексе осуществляется следующим образом.

1. С платы NI PCI-6251 на затвор исследуемого транзистора подается импульс напряжения  $U_{GS}$  заданной амплитуды. Длительность данного импульса ограничивается не только временем измерения, но и временем, необходимым для заряда паразитных емкостей.

2. Через интервал времени  $t_{3AP}$ , необходимый для заряда паразитных емкостей, на транзистор подается импульс тока с блока формирователя токового импульса ФТИ. Амплитуда импульса регулируется персональным компьютером ПК.

3. Информация о токе  $I_D$  снимается с шунта  $RS$  через усиливающий УМ и поступает на аналого-цифровой преобразователь (АЦП1.3),

расположенный на плате NI PCI-6251 ПК. Информация о напряжении  $U_{DS}$  снимается с делителя напряжения ДН и повторителя ПН и подается на вход АЦП1.1 платы NI PCI-6251 ПК.

4. Через интервал времени  $t_{охл}$ , необходимый для охлаждения транзистора, процесс повторяется с новым значением амплитуды импульса тока напряжения  $I_D$ .

### Стоковые характеристики МДП-транзисторов

Разработанный измерительный комплекс позволил определить стоковые характеристики конкретных ПТ. Для исследования были выбраны три мощных ПТ IRF830, выпускаемых фирмой International Rectifier. Данные транзисторы рассчитаны на постоянный ток  $I_D$  до 4,5 А и напряжение  $U_{DS}$  до 500 В. Стоковые характеристики транзисторов при различных напряжениях  $U_{GS}$  представлены на рис. 3—5.

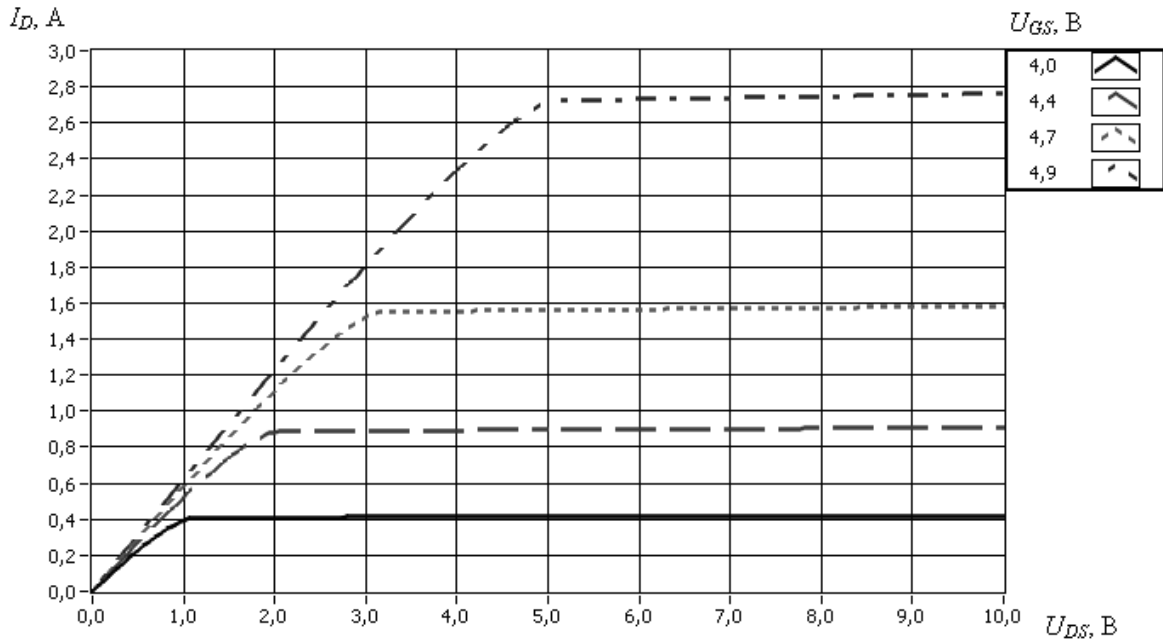


Рис. 3. Стоковые характеристики IRF830 №1

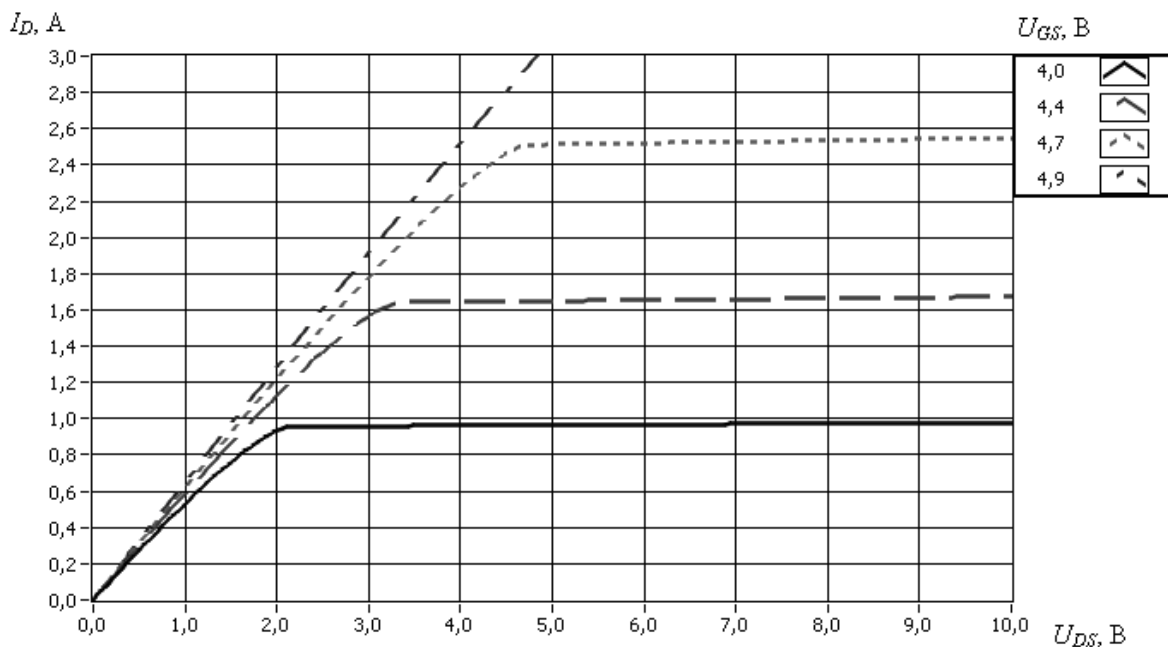


Рис. 4. Стоковые характеристики IRF830 №2

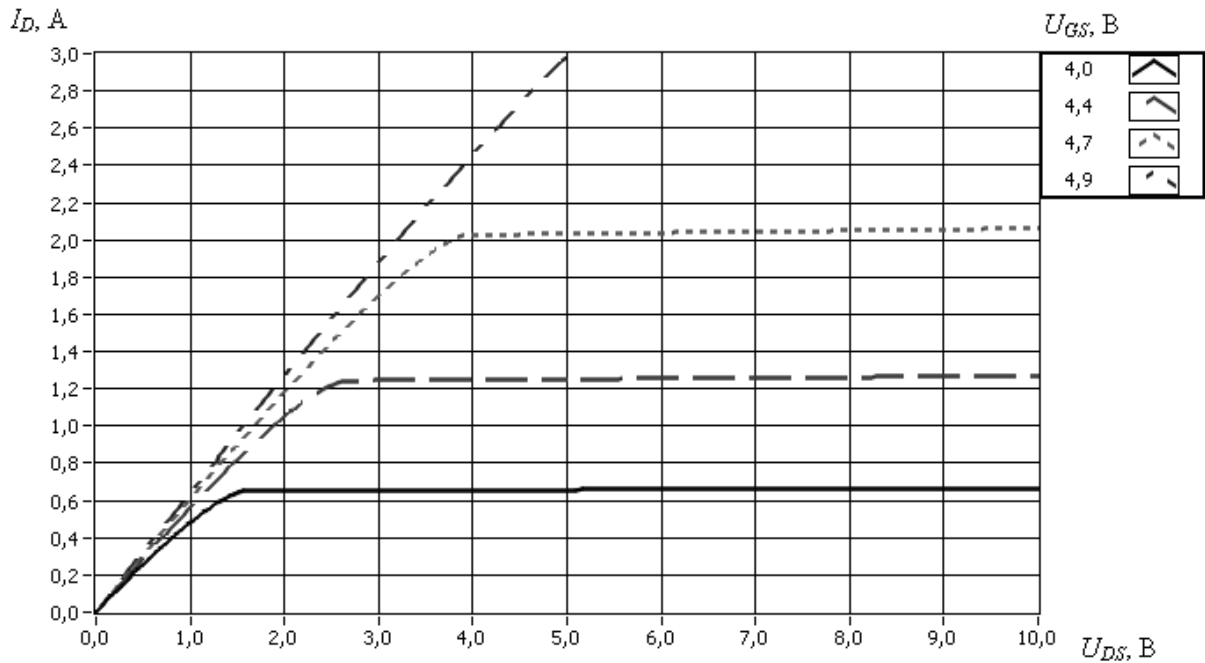


Рис. 5. Стоковые характеристики IRF830 №3

Данные характеристики наглядно свидетельствуют о достаточно большом технологическом разбросе параметров полупроводниковых приборов при их производстве. Например, при напряжении затвора  $U_{GS} = 4,4$  В и напряжении  $U_{DS} = 3$  В значения токов стока  $I_D$  меняются от 0,9 до 1,6 А, что негативно скажется на надёжности данных силовых транзисторов при эксплуатации. В частности, при параллельном соединении ПТ с различными параметрами существенно снизится КПД и возрастет риск выхода из строя прибора. Следовательно, для наиболее эффективного использования силовых ПТ необходимо предварительно измерять их параметры.

### Влияние температуры на сопротивление МДП-транзистора в открытом состоянии

Влияние температуры на стоковые характеристики транзисторов при напряжении  $U_{GS} = 4,9$  В отображено на рис. 6—8.

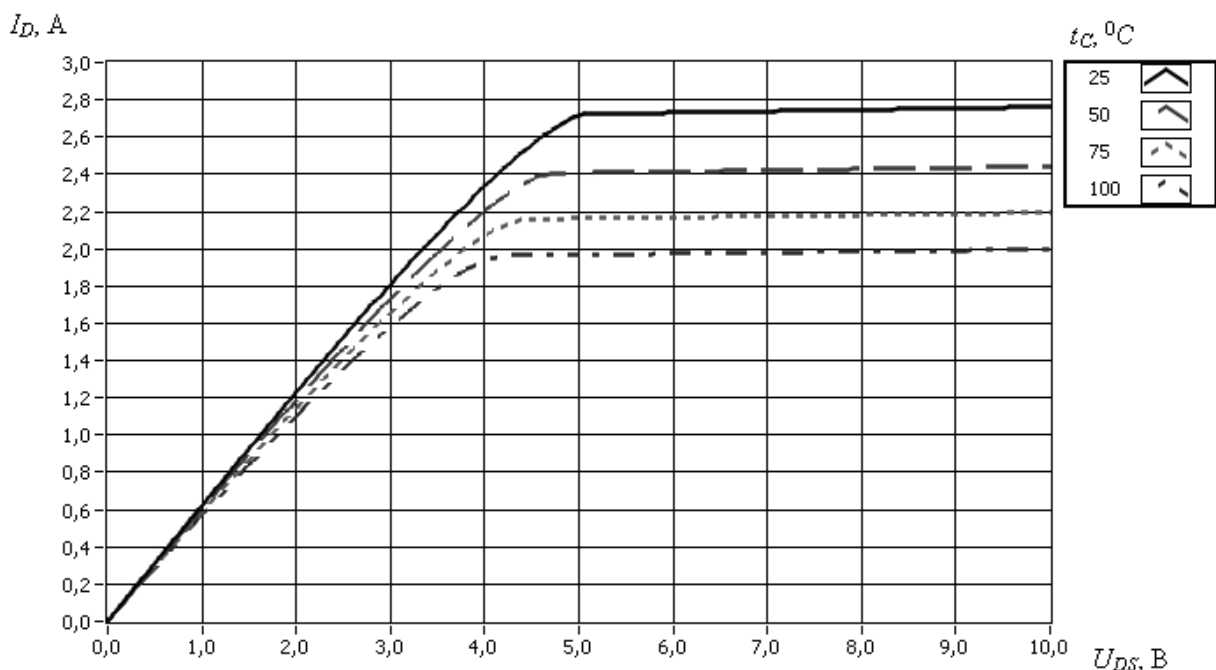


Рис. 6. Стоковые характеристики IRF830 №1 при различных температурах

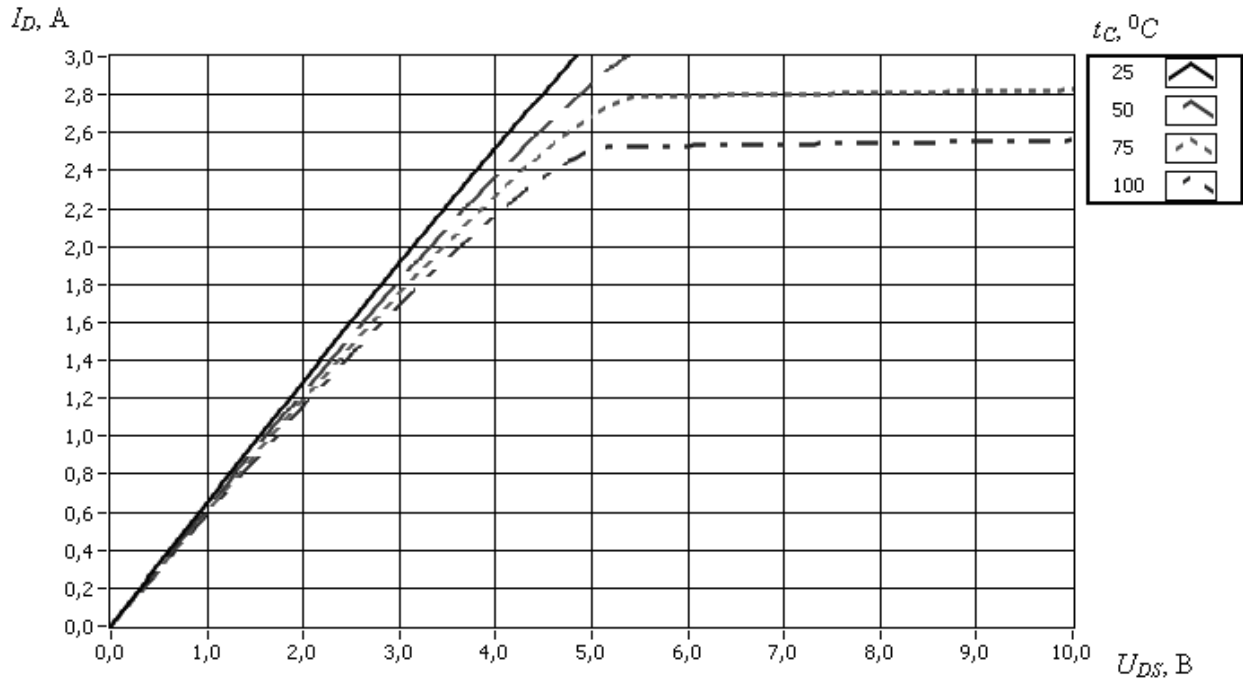


Рис. 7. Стоковые характеристики IRF830 №2 при различных температурах

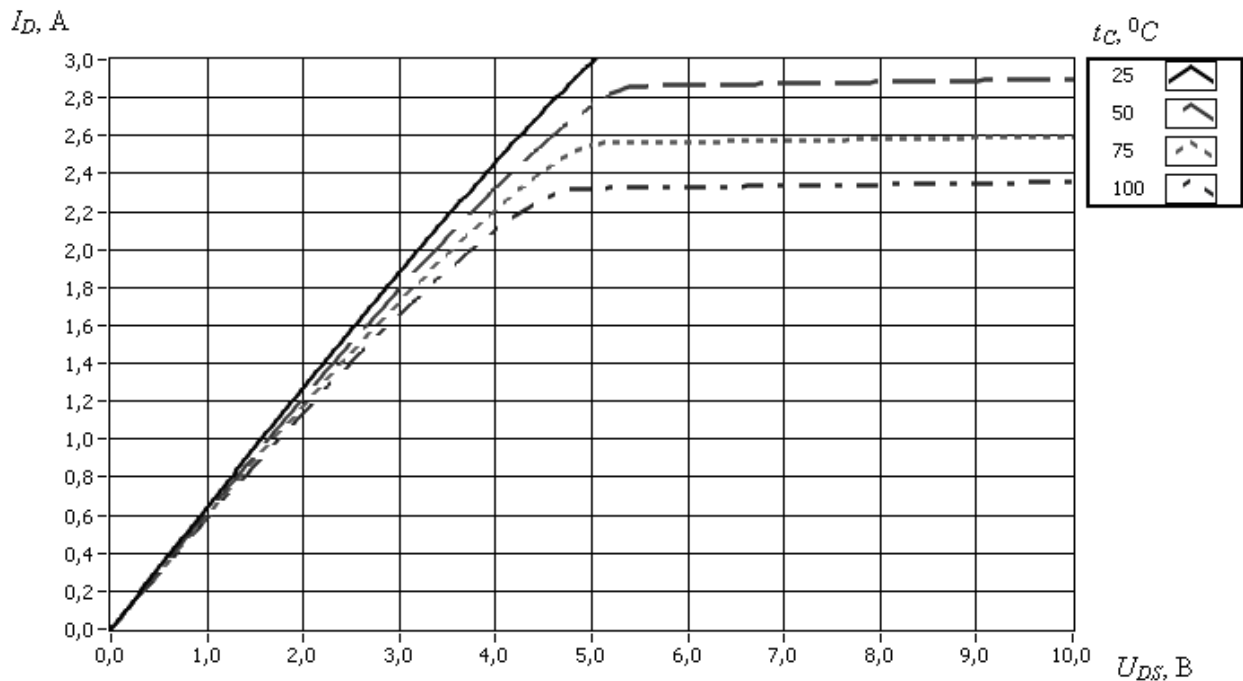


Рис. 8. Стоковые характеристики IRF830 №3 при различных температурах

Одним из основных преимуществ МДП-транзисторов перед БТ является теплоустойчивость. Рост температуры ПТ при подаче на него напряжения приведет к увеличению сопротивления  $r_{DS(on)}$  и, соответственно, к уменьшению тока  $I_D$ . Это происходит в связи с уменьшением подвижности носителей зарядов из-за сокращения длины свободного пробега.

Характеристики, представленные на рис. 6—8, позволили получить температурные зависимости сопротивлений транзисторов в открытом состоянии  $r_{DS(on)}(t_C)$  (рис. 9).

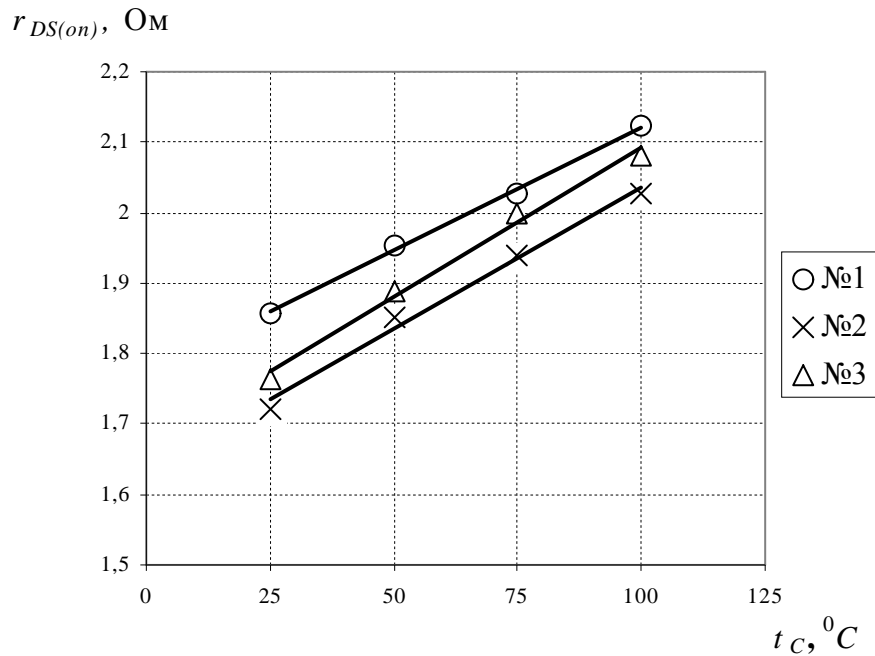


Рис. 9. Зависимости сопротивлений  $r_{DS(on)}$  транзисторов IRF830 от температуры

Полученные характеристики имеют линейный характер. Построенные с помощью программного продукта Microsoft Excel линии тренда имеют следующие величины достоверности аппроксимации:

- для IRF830 №1 —  $R^2 = 0,9973$ ;
- для IRF830 №2 —  $R^2 = 0,9902$ ;
- для IRF830 №3 —  $R^2 = 0,9921$ .

Температурные коэффициенты зависимости сопротивления  $r_{DS(on)}$  равны:

- для IRF830 №1 —  $3,5 \text{ мОм}/^\circ C$ ;
- для IRF830 №2 —  $4,0 \text{ мОм}/^\circ C$ ;
- для IRF830 №3 —  $4,2 \text{ мОм}/^\circ C$ .

Часто для увеличения коммутируемого тока в силовой электронике применяют параллельное соединение силовых транзисторов. Различие температурных коэффициентов исследуемых нами приборов свидетельствует о том, что формирование параллельной группы транзисторов без подбора по параметрам приведет к значительному усложнению схем управления и существенному снижению КПД.

### Сравнение полученных данных с паспортными

В официальной технической документации на транзисторы IRF830 имеется информация о ВАХ, которая представляет собой усредненные данные и неадекватно отражает действительность. Сравним стоковые характеристики, полученные в результате измерения и стоковые характеристики из паспортных данных (рис. 10).

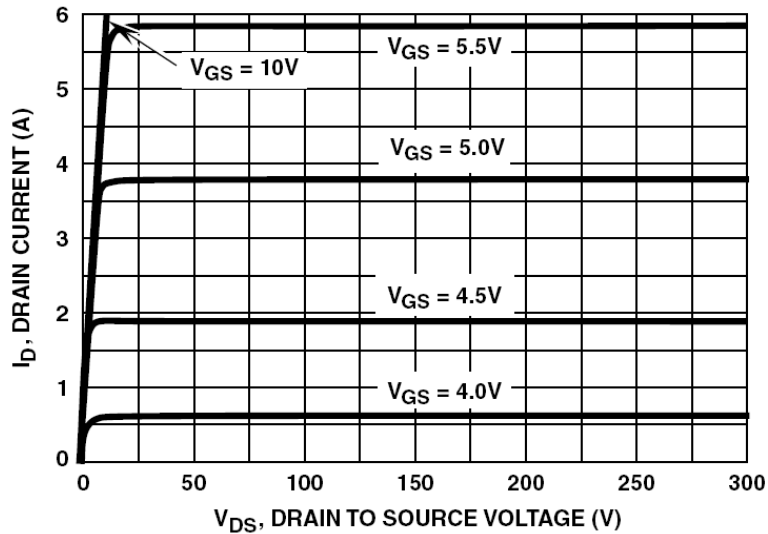


Рис. 10. Стоковые характеристики транзистора IRF830, представленные в технической документации

Как видно из рисунка, паспортные данные никак не отражают процесс уменьшения сопротивления  $r_{DS(on)}$  при росте напряжения  $U_{DS}$  в режиме насыщения транзистора, связанный с уменьшением длины индуцированного канала. Кроме того, характеристика, представленная в паспортных данных совершенно не совпадает с характеристиками реальных транзисторов №2 и №3 (рис. 4, 5), использованных в исследовании.

В технической документации не представлены такие важные характеристики, как зависимость сопротивления  $r_{DS(on)}$  и напряжения  $U_{GS}$  от температуры, что создает препятствия для определения наиболее эффективного режима эксплуатации транзисторов.

### Выводы

В современной силовой электронике МДП-транзисторы играют важную роль. Эффективность их использования снижается за счёт ряда факторов, таких как:

- значительный технологический разброс;
- использование при проектировании схем и устройств паспортных данных, в которых содержится информации об усреднённых значениях параметров и характеристик;
- отсутствие современных методов подбора транзисторов по параметрам и, связанная с этим, необходимость разработки при проектировании схем и устройств сложных систем управления.

Кроме того, для решения определённых задач, предъявляющих высокие требования к надёжности схем и устройств, информация, содержащаяся в паспортных данных на силовые транзисторы, не может быть использована. Следовательно, разработка эффективных методов контроля качества транзисторов и методов подбора транзисторов по параметрам является актуальной задачей развития силовой электроники.

### Список использованной литературы

1. Бочаров, Л. Н. Полевые транзисторы. Издание 2-е, переработанное и дополненное / Л. Н. Бочаров. — М.: Радио и связь, 1984. — с. 41—42.