**실험 15 MOSFET의 특성과 Digital Logic Gate**

**1. 실험 목적**

1) MOSFET의 구조적 특징에 대해 설명할 수 있다.

2) MOSFET 중 증가형 MOSFET의 동작 특성을 설명할 수 있다.

3) 디지털 로직 게이트를 기초로 하여 MOSFET의 동작을 이해한다.

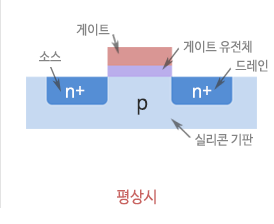
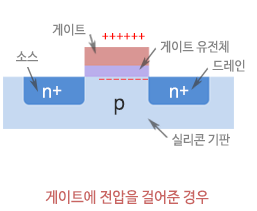
**2. 실험 이론**

Transistor라는 이름은 제어단자에 인가된 전압에 의해 생기는 전계로 흐르는 전류를 제어하는 물리적인 동작에서 유래한다. 즉, BJT가 베이스 전류에 의한 전류제어형인데 대하여 FET는 제어단자의 전압에 의한 전압제어형으로 생각할 수 있다. FET의 기본 개념은 1930년대부터 알려졌으나 소자 제작상의 제한으로 인하여 전자회로 분야에서 실용화된 것은 비교적 최근의 일이다.

FET에는 접합 전계효과 트랜지스터(JFET)와 금속-산화물 반도체 전계효과 트랜지스터(MOSFET)의 두 종류가 있으나 이 절에서는 MOSFET특히 증가형 MOSFET에 대해서 설명한다. MOSFET는 BJT에 비해서 아주 작게 만들 수 있고 제조공정이 간단하다. 초대규모집적(VLSI)회로, 예를 들면 현재의 마이크로프로세서나 메모리 칩 등은 MOSFET 기술로 만들어지고 있다. 또한, FET가 갖는 높은 입력저항과 저전압에서 동작이 가능한 특징을 살려 아날로그 집적회로에도 널리 사용되고 있다.

N-채널 MOSFET는 구조적으로 소스와 드레인 사이에는 n 채널이 존재하지 않는다. 그러면 증가형 MOSFET가 동작하기 위해서는 어떻게 하여야 하는가? 게이트 전압이 0V이면 소스와 드레인 사이에는 전류가 흐르지 않는다. 따라서 MOSFET는 차단상태이다. 증가형 MOSFET에서 전류가 흐르게 하기 위해서는 양의 게이트전압을 걸어 주어야 한다. 게이트전압을 양으로 하면 게이트는 자유전자를 P영역으로 끌어당긴다. 게이트전압이 충분히 크면 산화막(SiO2) 바로 밑에 얇은 n형 물질을 만드는 것과 같다. 이 얇은 도전층을 n형 반전층이라 부르며 이것에 의해 자유전자는 소스에서 드레인으로 쉽게 이동한다. 이러한 반전층을 형성하는 최소 VGS 전압을 문턱전압(threshold voltage)이라 하며 Vt로 표시한다. VGS가 Vt보다 작으면 드레인 전류는 0이며 VGS가 Vt보다 크면 n형 반전층이 소스와 드레인을 연결하므로 드레인 전류가 흐른다.

트랜지스터의 전압과 전류 특성

(a)게이트(G)에 전압을 걸지 않은 상태 (b) 게이트에 +전압 VGS를 인가하는 경우

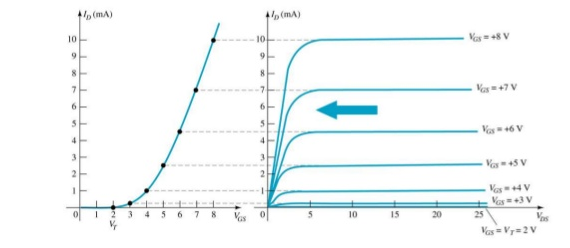
[그림 15-1 MOSFET의 구조와 VGS ]

위 그림은 공핍형과 증가형 MOSFET의 동작을 설명하기 위하여 nMOS트랜지스터의 중요한 부분을 나타낸 것이다. 그림(a)와 같이 게이트(G)에 전압을 걸지 않은 상태에서 드레인(D)-소스(S)간에 전압 VDS를 인가한 경우를 생각하면 그림에서 알 수 있듯이 D-S사이는 옆으로 n-p-n구조를 하고 있다. 따라서 드레인 측의 pn 접합이 역방향으로 바이어스되므로 D-S사이에는 전류가 흐르지 않는다.

다음에 그림(b)와 같이 게이트에 +전압 VGS를 인가하는 경우에는 MOS구조에서 설명한 것과 같이 게이트 전극의 + 전압에 의해 게이트 바로 밑의 D-S사이에 N형의 반전층이 형성된다. 이와 같은 상태가 되면 D-S사이에서는 pn 접합 부분이 없어지고 n-n-n 구조가 되므로 전류 ID가 D- S사이의 n형 반전층을 통하여 흐른다. 전류 ID가 흐르는 게이트 바로 밑의 반전층을 채널이라 한다. 이 경우, 채널은 n형이므로 이 트랜지스터를 n 채널 MOSFET라 부른다.

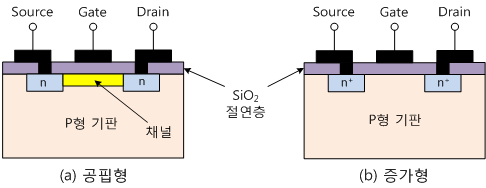
MOS 트랜지스터의 G-S 간의 전압 VGS를 증가시키면 게이트 하부의 반전층의 폭이 넓어지고 전류 ID가 많이 흐른다. 이와 같이 MOS 트랜지스터는 게이트- 소스 사이에 걸어주는 전압에

의해 드레인-소스 간의 전류를 제어하는 소자이다. 위의 그림은 증가형 MOSFET에 직류전압을 걸어준 회로이며, 아래 그림은 전압과 전류의 관계를 나타낸다. 아래 그림의 (a)는 전압 VGS에 대한 전류 ID의 관계를 나타낸다. VGS가 낮을 때는 반전층이 형성되지 않으므로 I D 가 흐르지 않는다. V GS 가 전압 Vt 보다 높으면 반전층이 형성되고 전류 ID가 흐르며, VGS에 의해 ID가 제어되는 것을 알 수 있다. VGS를 증가시켜 갈 때 전류가 흐르기 시작하는 전압 Vt를 문턱전압(threshold voltage)이라 부르며 보통 0.5~0.8V 정도이다.

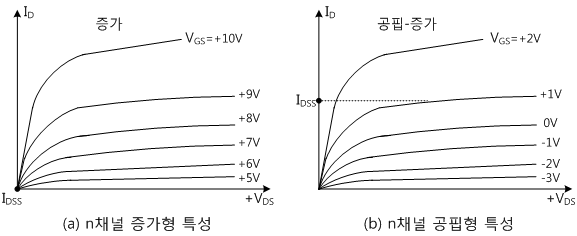


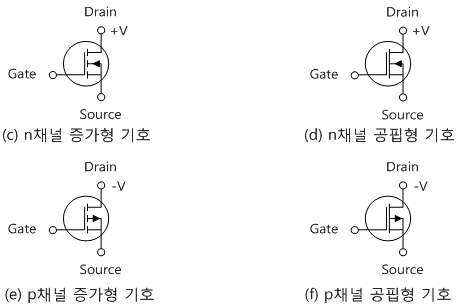
(a) 증가형 MOSFET의 ID-VGS Curve (b) 증가형 MOSFET의 ID-VDS Curve

[그림 15-2 MOSFET의 ID 전류 특성]



[그림 15-3 MOSFET의 구조 ]





[그림 15-4 MOSFET의 특성 비교 및 기호 ]

대표적인 증가형 MOSFET의 드레인 특성 곡선을 나타낸다. 제일 아래곡선은 VGS=Vt일 때의 곡선이다. VGS가 Vt보다 작을 때 드레인전류는 거의 0이다. VGS가 Vt보다 클 때는 채널이 형성되어 MOSFET는 도통되며 이때 드레인 전류는 게이트 전압에 의하여 제어된다. 특성곡선에서 거의 수직인 부분은 트라이오드(triode)영역이라하며 수평인 부분은 포화(saturation)영역이라 한다. 트라이오드 영역에서 동작하도록 바이어스 되면 MOSFET은 저항과 같으며 포화영역에서 바이어스 되면 정전류원과 같이 동작한다.

여기서 K는 MOSFET의 소자 파라미터로, K가 클수록 VGS에 의해 ID가 크게 변화한다. 위 식이 나타내는 것과 같이 ID는 드레인-소스 사이의 전압 VDS에 의존하지 않는다. 이것은 트랜지스터의 중요한 성질이다. 소스 전류 IS는 ID와 같고,

즉,

이다. 또한, 이 그림에서 VGS를 파라미터로한 ID와 VDS의 관계를 생각해 보면, VDS가 어느 정도 이상이 되면 ID는 VGS에 의존하지 않으므로 일정하다는 것을 알 수 있다.

여기서 증가형 MOSFET의 전압, 전류 특성의 성질을 정리하면 다음과 같다.

① 드레인 전류 ID는 게이트-소스 간의 전압 VGS에 의해 제어된다.

② ID는 드레인-소스 간의 전압 VDS에 의존하지 않는다.

③ VGS < 0 에서는 전류 ID는 흐르지 않는다.

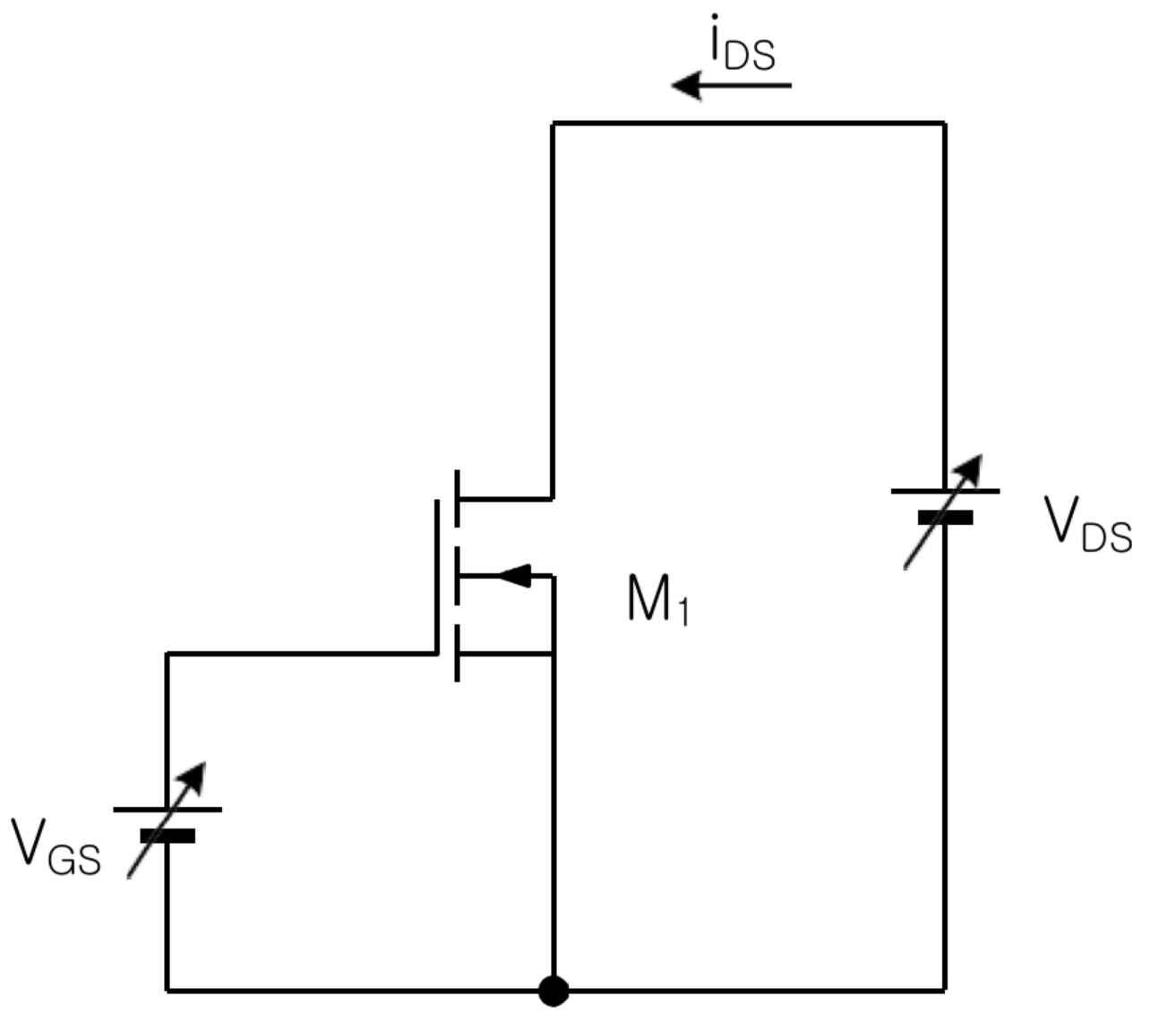
④ 게이트에는 전류 IG는 흐르지 않는다.

⑤ VGS > VTH (VTH > 0) 의 범위에서 ID가 제어된다.

**3. 실험시 유의사항**

MOSFET의 SiO2은 매우 얇기 때문에 100V 이하의 정전 전하가 게이트와 채널 사이에 가해진다 하더라도 SiO2 파괴될 수 있다. 이렇게 되면 SiO2 사이에 누설 전류가 흐르게 되어 MOSFET으로 사용할 수 없게 된다.

**4. 실험 방법**



[그림 15-5 MOSFET **Drain Characteristics**]

**Exp.1 Procedure:**

- 실험 장비 : 오실로스코프(1대), 펑션 제너레이터(1대), 파워서플라이(1대), 멀티미터(1대), 브레드보드(1대)

- 실험 부품 : 2N7000 (n-MOSFET)

Follow the below mentioned steps to obtain the **Drain Characteristics**

1. Set up the connections as indicated in the figure.
2. Keep both VGG and VDD at zero position.
3. By varying VGG set VGS to some value (slightly greater than the Threshold voltage determined from the transfer characteristics) Say 3.0V
4. Increase VDS by varying VDD gradually and note down the corresponding meter readings as shown in the table.
5. Repeat the steps 3 and 4 for VGS=3.2V and VGS = 3.4V
6. Plot the graph of ID Vs VDS

**TABLE – Drain Characteristics VGS = V2 = 3.0 (3.2V, 3.4V)**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **VDS =V1, V** | 0.2 | 0.4 | 0.6 | 0.8 | 1.0 | 1.5 | 2.0 | 3.0 | 5.0 | 10 | 12 | 15 | 18 | 20 |
| **ID , mA** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

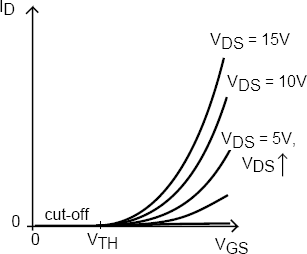
Follow the below mentioned steps to obtain the **Drain Characteristics**

1. Set up the connections as indicated in the figure.
2. Keep both VGG and VDD at zero position.
3. Vary the VDD and set VDS = 5V.
4. Increase VGS by varying VGG gradually and note down the corresponding meter readings as shown in the table.
5. Note down the minimum value of VGS for which drain current starts flowing and record VTH =
6. Repeat for VDS = 10V and 15V.
7. Plot the graph of ID Vs VGS

**TABLE – Transfer Characteristics VDS = V1 = 5V (10V, 15V)**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **VGS =V2, V** | 1.0 | 2.0 | 2.8 | 2.9 | 3.0 | 3.1 | 3.2 | 3.3 | 3.4 | 3.5 | 3.8 | 4.0 | 4.2 | 4.5 |
| **ID, mA** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

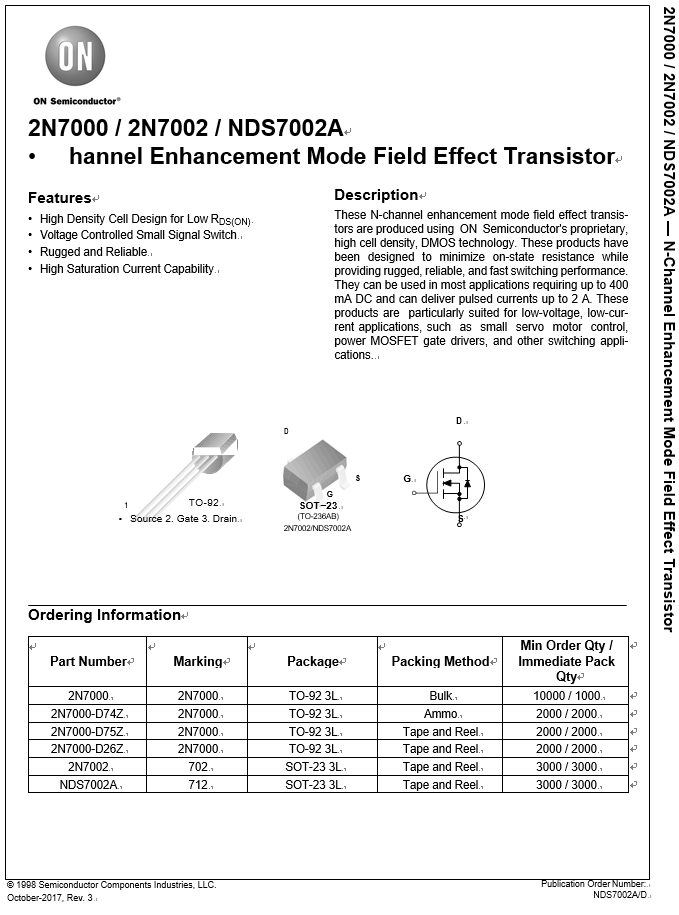
**Expected graphs:**

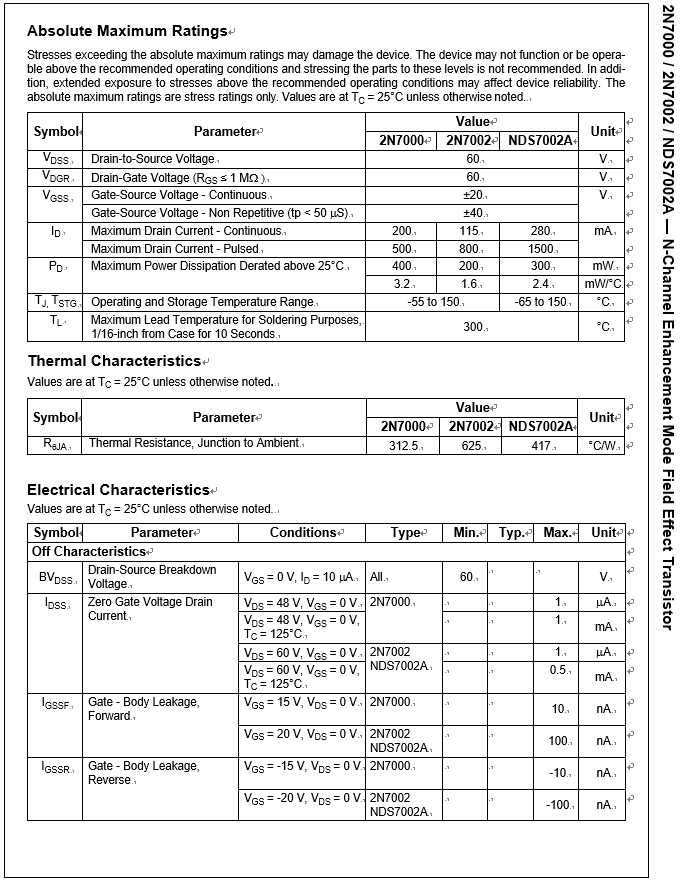
![](data:application/octet-stream;base64,)

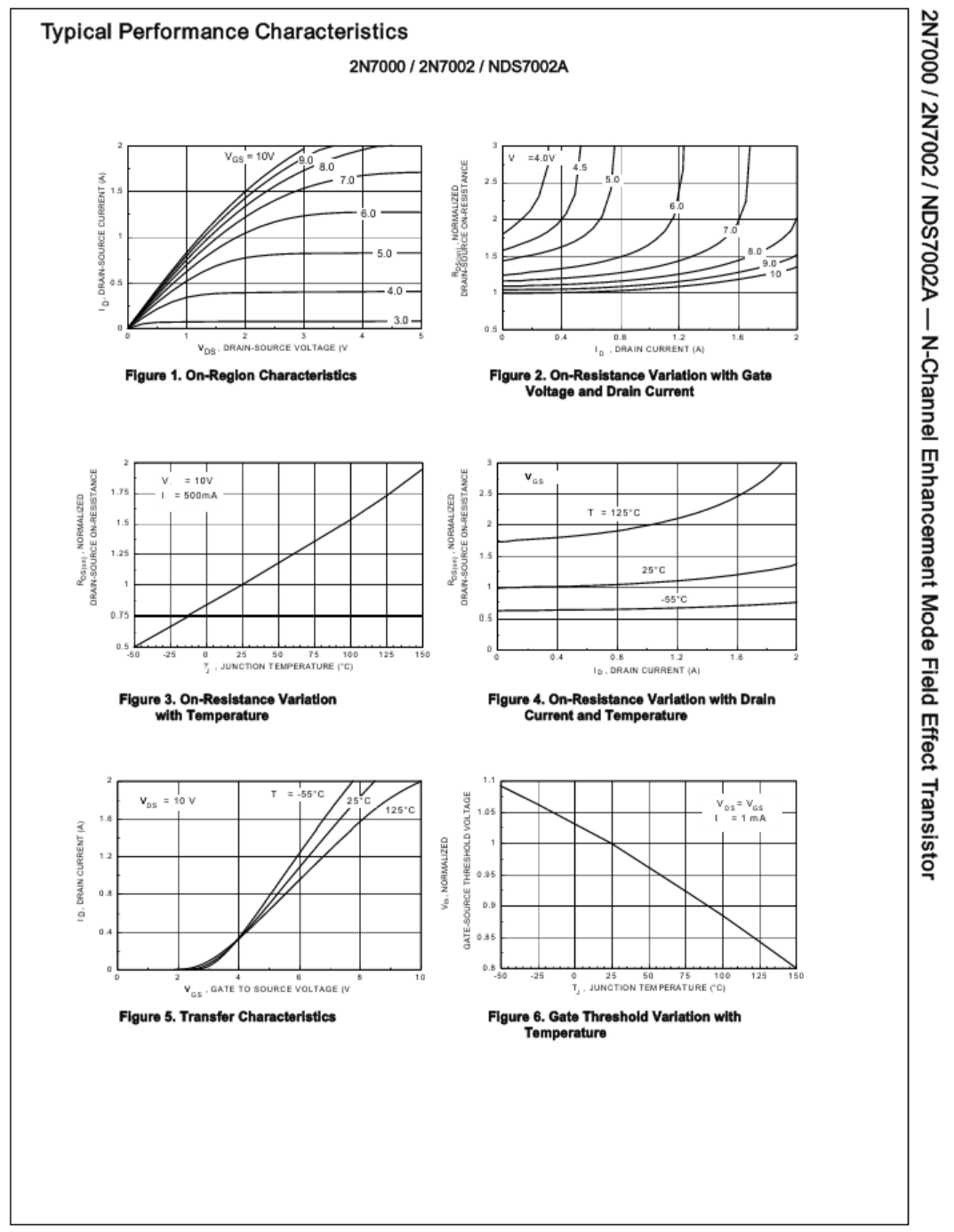
**Drain Characteristics Transfer Characteristics**

From the graphs determine

**gm = (**△**ID/**△**VGS)|VDS = Constant, rd =(**△**ID/**△**VDS)|VGS = Constant**

****

****

****