

Homework #15

20221059 정상목

1. Mesh

이번 과제에서 사용할 mesh는 다음과 같습니다.

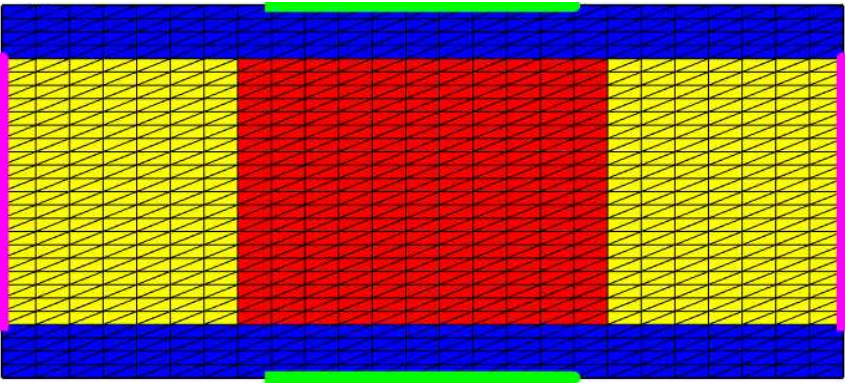
| Double gate MOSFET | Region information |
|---|--------------------------------|
|  | Oxide: blue, $t_{ox}=2nm$ |
| | Source/Darin: yellow, $L=15nm$ |
| | Channel: red, $L=20nm$ |
| | Gate contact: green |
| | Source/Drain contact: magenta |
| | Doping density |
| | N-type: $5e26 m^{-3}$ |
| | p-type: $2e21 m^{-3}$ |
| | Oxide workfunction: 4.3eV |
| | Vertex information |
| | Total veretx: 754 |
| | Jaco matrix: 2024*2024 |

Fig 1. Mesh

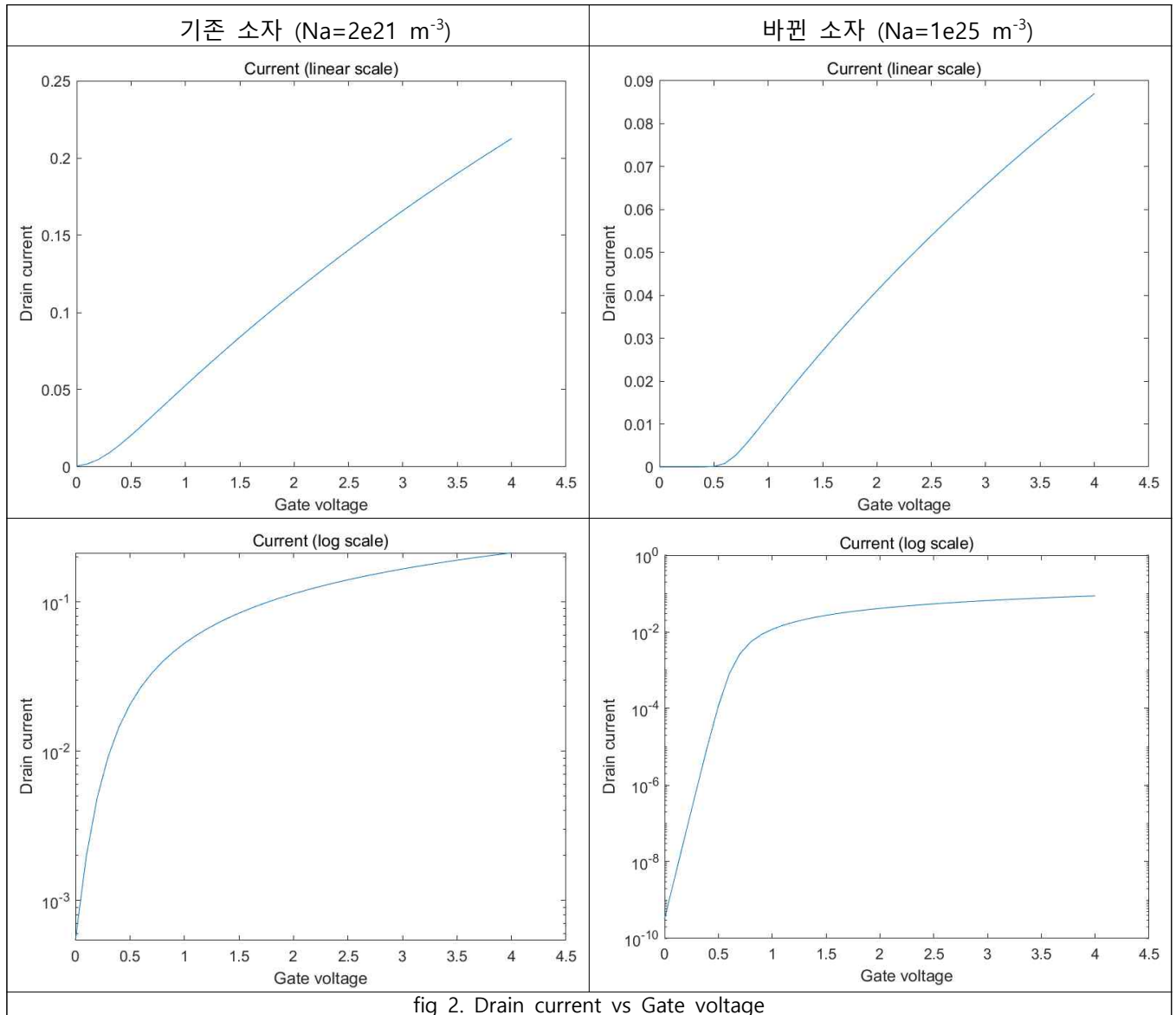
Homework #14와 mesh size와 doping density를 다르게 설정했습니다. Mesh size는 계산속도의 증가를 위해 $dx=1nm$ 에서 $dx=2nm$ 로 변경했습니다. MOSFET이 가로로 긴 형태기 때문에 dx 를 변경해도 결과에는 변화가 없을 것이라고 예상했습니다.

또한 Na의 농도를 $2e21 m^{-3}$ 에서 $1e25 m^{-3}$ 으로 도핑농도를 증가시켰습니다. P-type의 도핑농도가 너무 낮아 V_{th} 가 너무 낮은 전압($0.1V \sim 0.2V$)에 형성되었습니다. 따라서 Na를 증가시켜 V_{th} 를 증가시켰습니다.

위와 같은 변화가 있었기 때문에, 소자의 특성에 변화가 발생했습니다. 따라서 Homework #13에서 진행했던 소자 특성을 다시 측정했습니다.

2. 소자 비교

각 소자의 I-V curve는 다음과 같습니다. ($V_d=1\text{mV}$)



N_a 의 농도를 변경하여 V_{th} 를 약 0.1V에서 0.5V로 변경되었음을 확인할 수 있습니다. 바뀐 소자를 가지고 Transient를 확인했습니다.

3. Transient simulation

3.1. Equation

Transient simulation은 지난 과제였던 DD에서 다음 식을 추가하여 만들었습니다.

$$\text{Electron: } \frac{\partial n}{\partial t} = \frac{1}{q} \nabla J_n = \oint J_n ds = q \iiint_v \frac{\partial n}{\partial t}, J_n = J_{n,DD} + q \times CV \times \frac{\partial n}{\partial t}$$

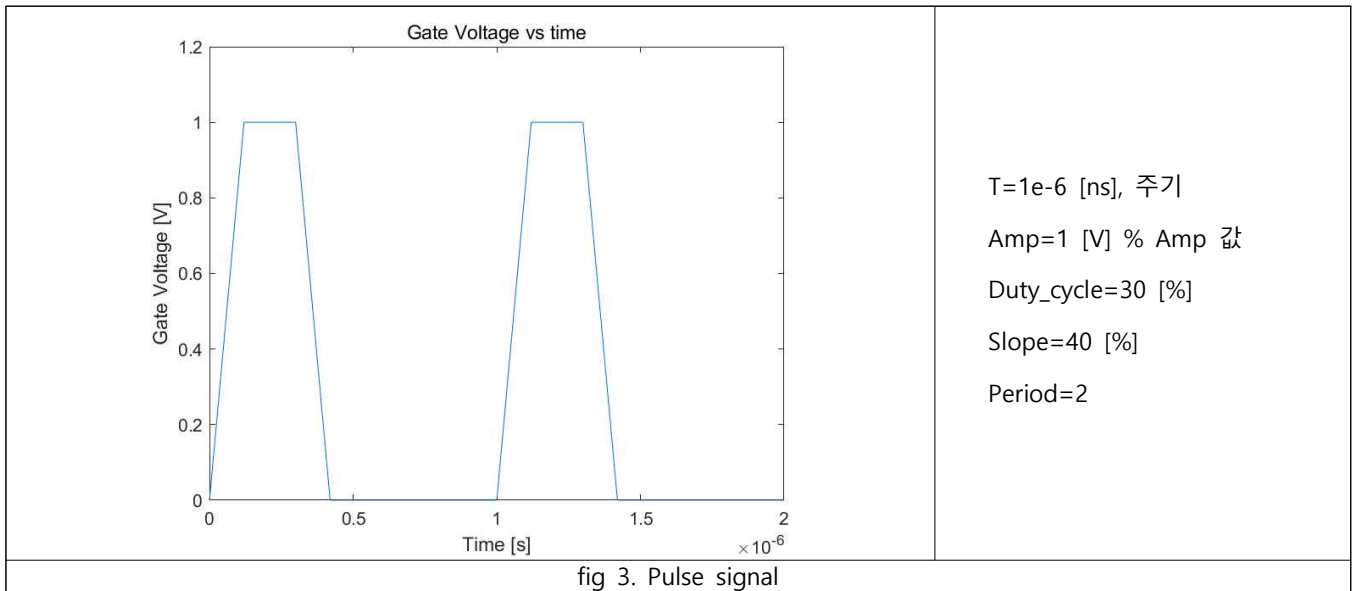
$$\text{Hole: } \frac{\partial p}{\partial t} = \frac{1}{q} \nabla J_p = \oint J_p ds = -q \iiint_v \frac{\partial p}{\partial t}, J_p = J_{p,DD} - q \times CV \times \frac{\partial p}{\partial t}$$

위 식을 residue vector에 추가해주었고, 미분해준 식을 Jacobian matrix에 추가해주었습니다.

또한 displacement current를 고려해 최종 전류를 계산할 때 같이 계산해 주었습니다.

$$\text{Displacement current: } J_{dis} = \frac{\partial D}{\partial t} = -\epsilon \frac{E - E_{old}}{\Delta t}$$

3.2. Pulse signal

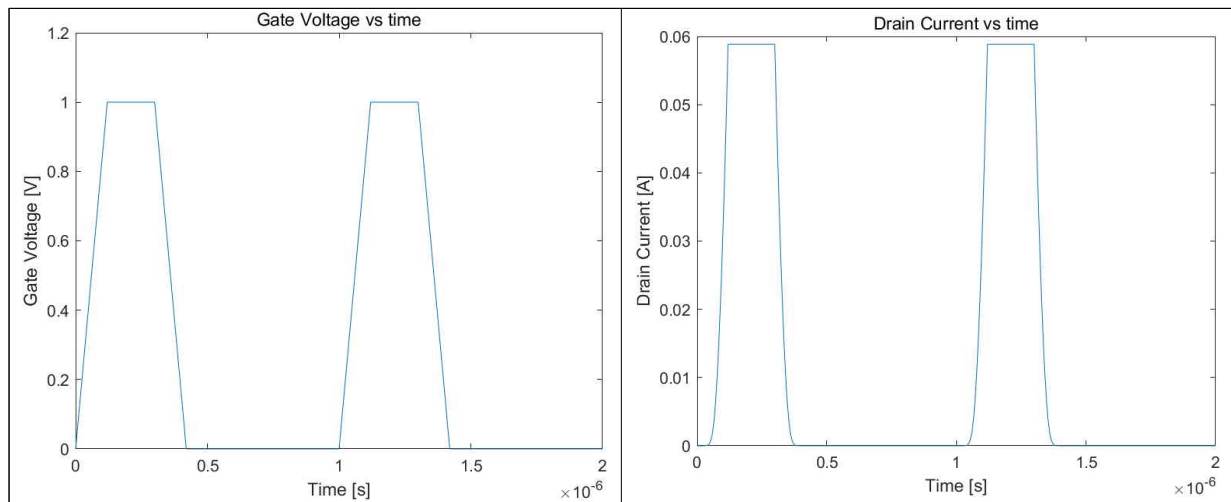


다음과 같은 pulse signal을 만들어 주었습니다. 주기, Amplitude, Duty cycle, slope, period를 변경할 수 있도록 했습니다. 실험 결과는 다음과 같습니다.

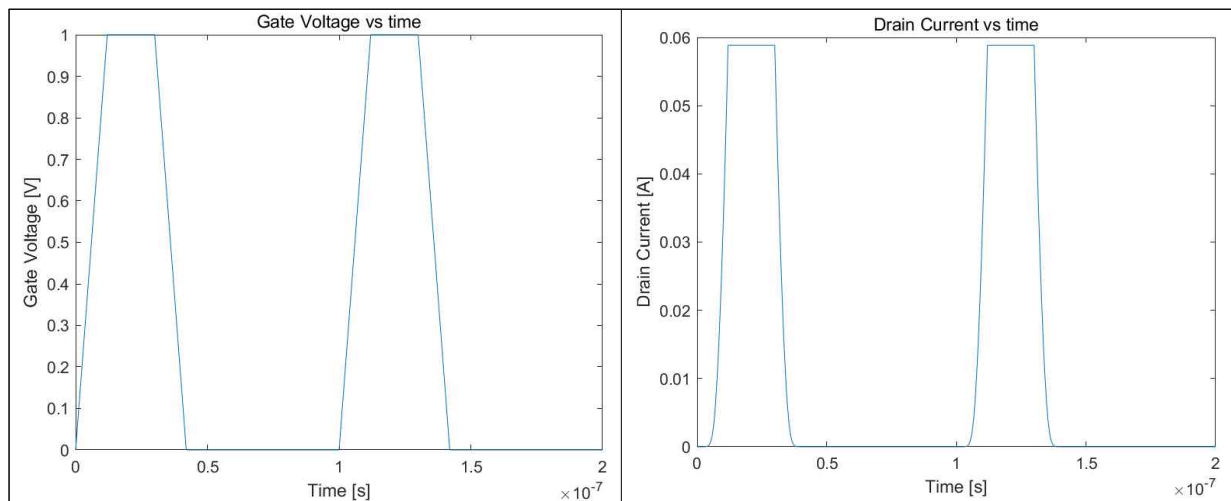
4. Result

먼저 동일한 duty cycle을 가지고 주기 T를 감소시켰습니다.

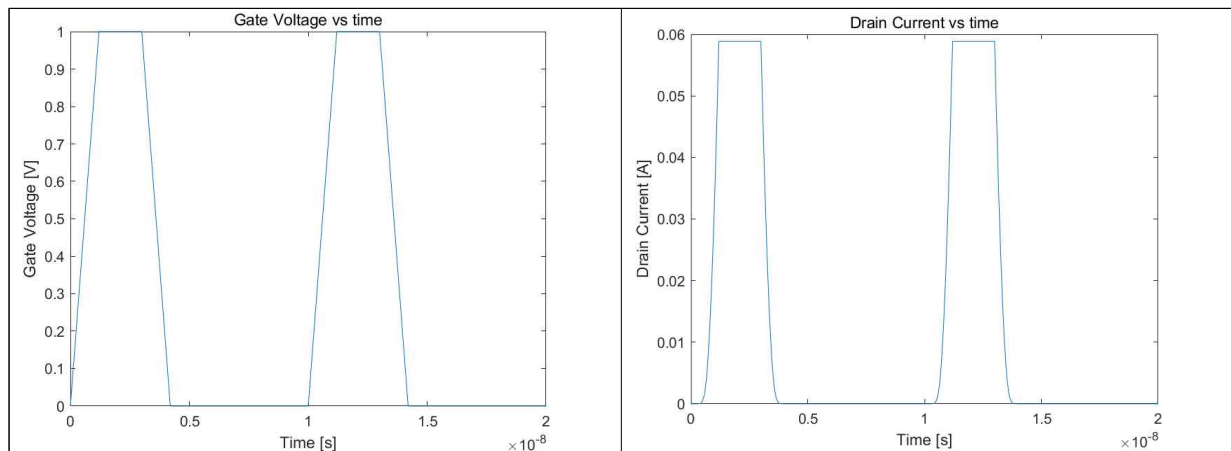
1) T: $1\mu s$, duty cycle: 30%



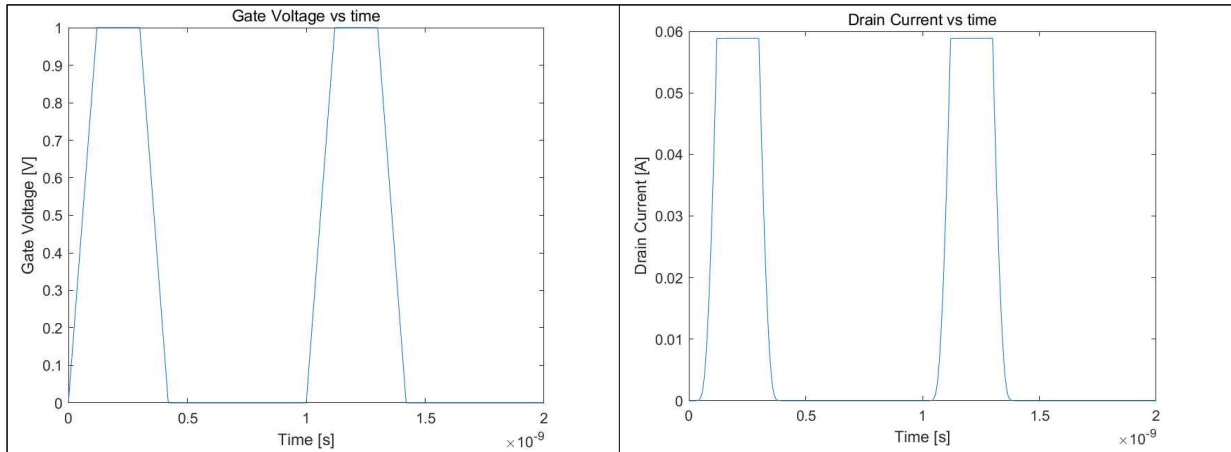
2) T: 100ns, duty cycle: 30%



3) T: 10ns, duty cycle: 30%

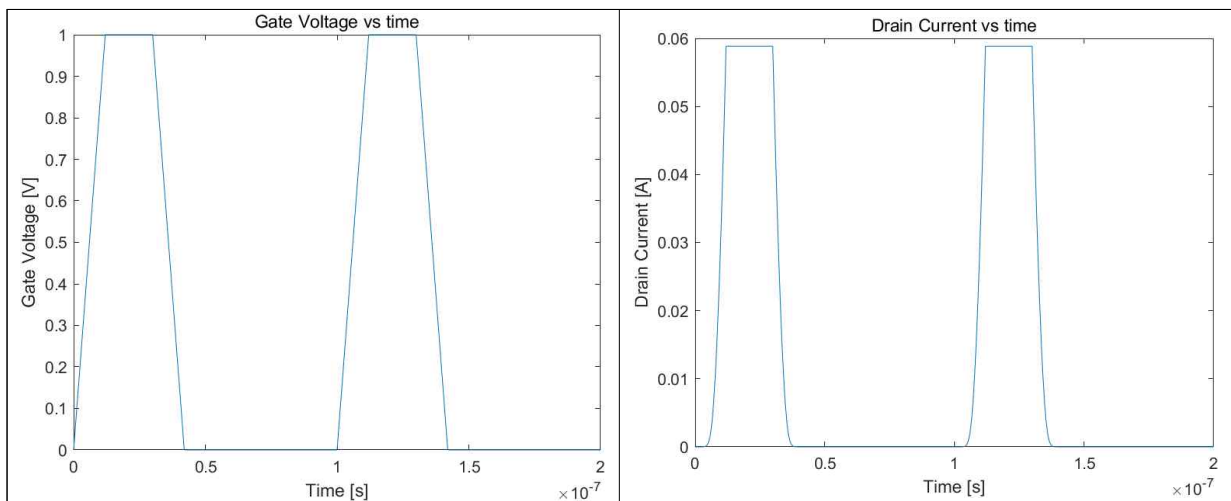


4) T: 1ns, duty cycle: 30%

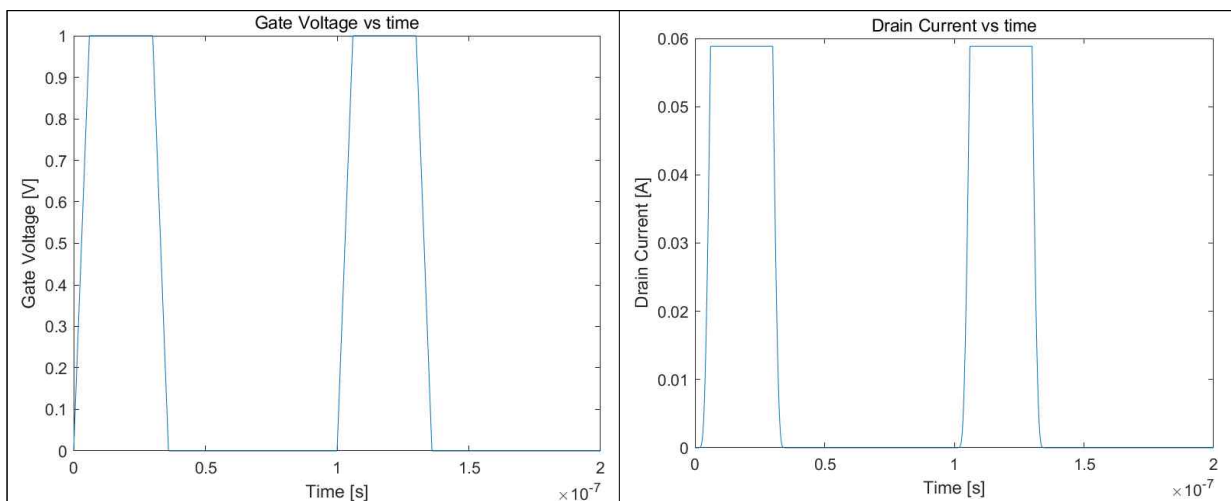


주기가 짧아짐에 따라 delay가 관찰되지는 않았습니다. 따라서 T를 100ns으로 고정하고 duty cycle을 줄여서 확인해보았습니다.

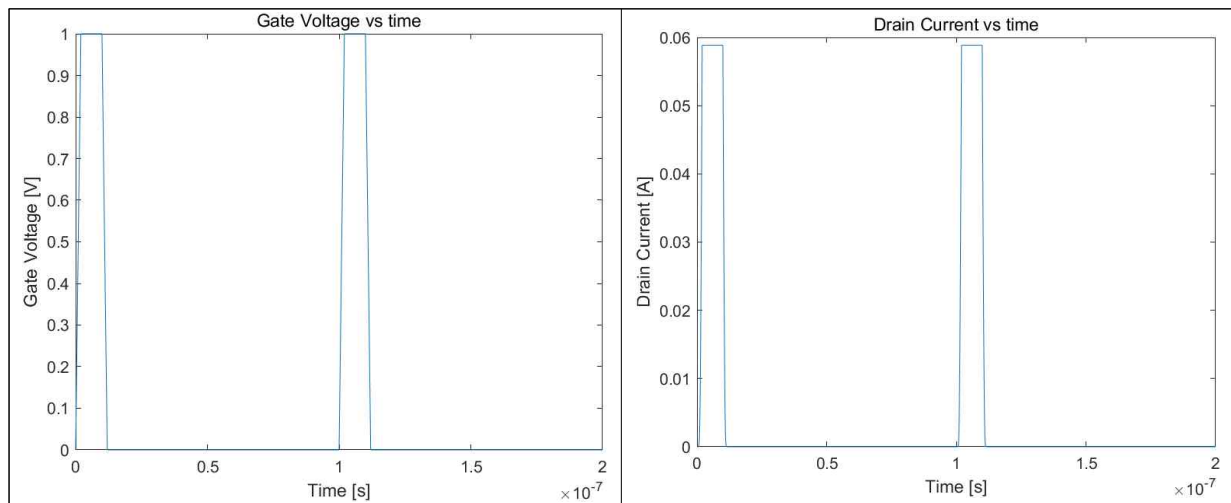
1) Duty cycle: 30%, t: 100ns



2) Duty cycle: 20%, t: 100ns



3) Duty cycle: 10%, t: 100ns



3가지 상황을 모두 비교해본 결과 duty cycle에 따른 delay는 관찰되지 않았다.

