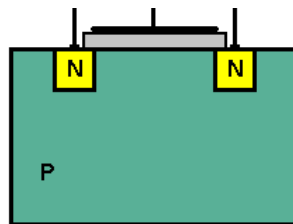


## Metodický návod:

1. Spuštění souborem „a.1.2\_MOSFET-obohacovací typ.exe“.  
Zobrazena je struktura obohacovacího typu tranzistoru MOSFET s kanálem typu N, připojená ke zdrojům napětí. Obě napětí jsou nulová, tranzistorem neprochází proud.
2. Nastavení:  $U_{DS} = 0 \text{ V}$ ,  $U_{GS} = 1 \text{ V}$ .  
Nebylo překročeno prahové napětí – indukovaný kanál není vytvořen.
3. Při  $U_{DS} = 0 \text{ V}$  zvyšování napětí  $U_{GS}$  z  $1 \text{ V}$  na  $5 \text{ V}$ .  
Prahové napětí bylo překročeno – je vytvořen indukovaný kanál, který se rozšiřuje se zvyšujícím se napětím  $U_{GS}$ . Protože je  $U_{DS} = 0 \text{ V}$ , neprochází tranzistorem proud (elektrony jsou nehybné).
4. Při  $U_{DS} = 1 \text{ V}$  snižování napětí  $U_{GS}$  z  $5 \text{ V}$  na  $2 \text{ V}$ .  
Vodivým kanálem prochází proud. Při takto malých hodnotách  $U_{DS}$  je šířka indukovaného kanálu po celé délce téměř stejná, tranzistor se chová jako napětím  $U_{GS}$  řízený lineární odpor (při  $U_{GS} = 1 \text{ V}$  ( $0 \text{ V}$ ) je odpor „nekonečný“).
5. Při  $U_{GS} = 5 \text{ V}$  zvyšování  $U_{DS}$  z  $0 \text{ V}$  na  $3 \text{ V}$ .  
Elektrony se dávají do pohybu. Díky úbytku napětí se indukovaný kanál zužuje směrem k elektrodě D.
6. Nastavení  $U_{GS} = 5 \text{ V}$ ,  $U_{DS} = 4 \text{ V}$ .  
Dochází k zaškrcení kanálu.
7. Při  $U_{GS} = 5 \text{ V}$  zvyšování  $U_{DS}$  ze  $4 \text{ V}$  na  $8 \text{ V}$ .  
Zaškrcení kanálu se nepatrně rozšiřuje. Elektrony procházejí touto oblastí s velkým odporem díky urychlení silným elektrickým polem. Proud již dále nenarůstá.

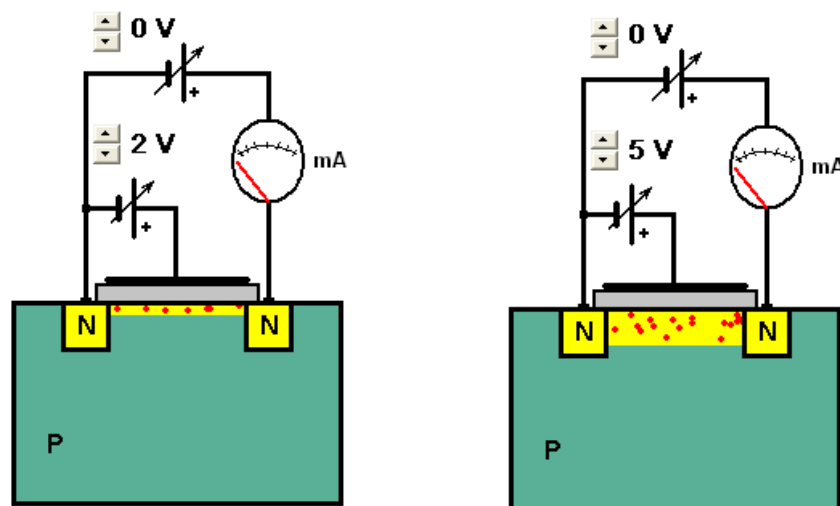
### Výklad:

Struktura MOSFETu s indukovaným kanálem je znázorněna na obr. 10.6. V substrátu (v našem případě s typem vodivosti P) jsou vytvořeny dvě oblasti s opačným typem vodivosti (N). K těmto oblastem je přivedena elektroda S (Source), dodávající nositele z vnějšího obvodu a elektroda D (Drain), která nositele po průchodu indukovaným kanálem odsává. Řídící elektroda G (Gate) je od substrátu odizolována vrstvou  $\text{SiO}_2$ . Pokud není na řídicí elektrodu připojeno žádné napětí, existují mezi elektrodami S a D dvě antisériově zapojené diody. Vždy jeden z těchto P-N přechodů je zapojen v závěrném směru.



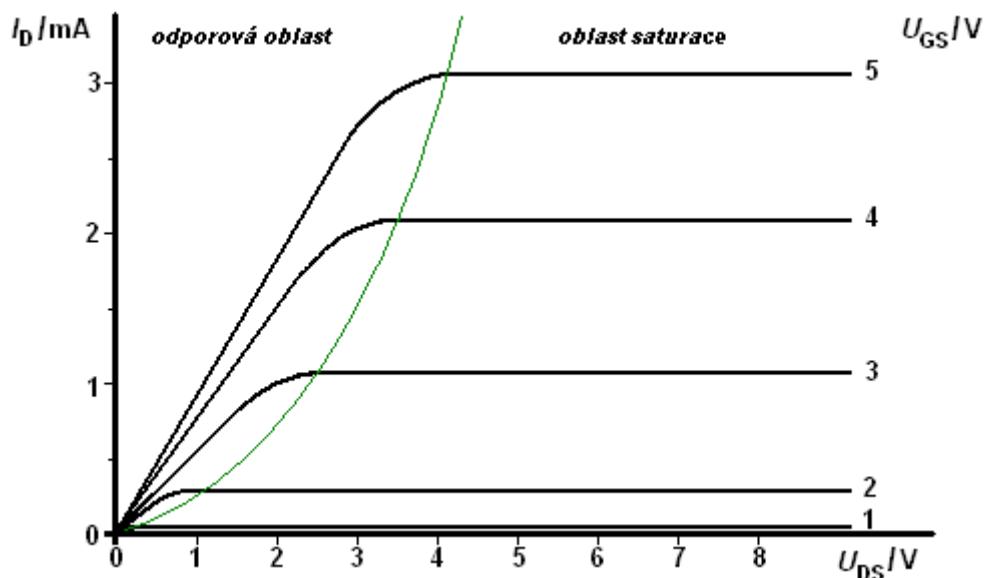
Obr. 10.6 Struktura tranzistoru MOSFET s indukovaným kanálem

Při zařazení do výuky je třeba demonstrovat změny tvaru indukovaného kanálu v závislosti na obou napětích. Je vhodné nejprve nastavit  $U_{DS} = 0V$  a měnit pouze  $U_{GS}$ . Pokud napětí  $U_{GS}$  nepřesáhne hodnotu prahového napětí (v našem případě 1 V), žádná změna nestane. Při dalším zvyšování tohoto napětí je vidět vytvoření a rozšiřování indukovaného kanálu s narůstající koncentrací volných elektronů (červené tečky na obr. 10.7). Snižuje se tak odpor mezi elektrodami S a D. Protože je  $U_{DS} = 0V$ , neprochází kanálem proud (elektrony jsou nehybné).



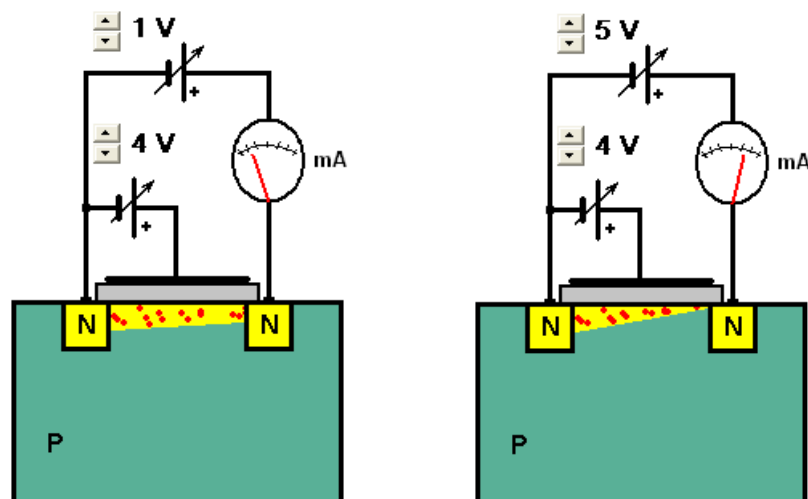
Obr. 10.7 Zvyšování napětí  $U_{GS}$ , při  $U_{DS} = 0V$

Pak volíme hodnotu napětí  $U_{DS} = 1V$ . Napětí  $U_{GS}$  měníme v rozsahu 2 V až 5 V. Indukovaným kanálem prochází proud (červené tečky znázorňující elektrony se pohybují kanálem). Při takto malém napětí  $U_{DS}$  se téměř neuplatňuje úbytek napětí na indukovaném kanále a kanál má tak po celé délce téměř stejný průřez. Tranzistor se pro malé hodnoty  $U_{DS}$  chová jako rezistor řízený napětím  $U_{GS}$ . To je vidět i na V-A charakteristikách, které mají pro takto malá napětí lineární průběh (odporová oblast – obr. 10.8). Pro  $U_{GS} = 1V$  ( $0V$ ) zaniká indukovaný kanál a odpor rezistoru je nekonečný.



Obr. 10.8 Výstupní charakteristiky tranzistoru MOSFET s indukovaným kanálem

Dále je třeba ukázat, jakým způsobem se mění tvar indukovaného kanálu při zvyšujícím se napětí  $U_{DS}$ . Proto volíme  $U_{GS} = 5V$ . Napětí  $U_{DS}$  se rozloží podél celého kanálu. Zatímco u elektrody S je mezi kanálem a řídicí elektrodou hodnota napětí  $U_{GS}$ , u elektrody D je to již  $U_{GS} - U_{DS}$ . Proto se kanál při rostoucím  $U_{DS}$  směrem k elektrodě D zužuje (obr. 10.8). Jak je vidět z V-A charakteristik, při nízkých hodnotách  $U_{DS}$  proud stoupá lineárně s napětím. V okamžiku, kdy dojde k přiškrcení kanálu, se odpor tranzistoru zvyšuje a nedochází již při dalším zvýšení napětí k lineárnímu růstu proudu (ohyb V-A charakteristik – obr. 10.7). Pokud  $U_{GS} - U_{DS}$  klesne pod hodnotu prahového napětí, dojde k úplnému zaškrcení indukovaného kanálu a nárůstu jeho odporu. Při dalším zvýšení napětí se tento přírůstek objeví na zaškrcení (oblasti s největším odporem). Zaškrcení kanálu se nepatrně posouvá směrem k elektrodě S. Elektronů procházejí ochuzenou oblastí díky velkému napěťovému spádu. Dochází již pouze k nepatrnému nárůstu proudu (oblast saturace – obr. 10.7).



Obr. 10.8 Zvyšování napětí  $U_{DS}$ , při  $U_{GS} = 4V$