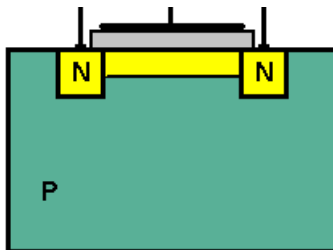


## Metodický návod:

1. Spuštění souborem „a.1.3\_MOSFET-ochuzovací typ.exe“.  
Zobrazena je struktura ochuzovacího typu tranzistoru MOSFET s kanálem typu N, připojená ke zdrojům napětí. Obě napětí jsou nulová, tranzistorem neprochází proud.
2. Nastavení:  $U_{DS} = 0 \text{ V}$ ,  $U_{GS} = 2 \text{ V}$ .  
Dochází k rozšíření zabudovaného kanálu a zvětšení počtu elektronů. Protože je  $U_{DS} = 0 \text{ V}$ , neprochází tranzistorem proud (elektrony jsou nehybné).
3. Při  $U_{DS} = 0 \text{ V}$  snižování napětí  $U_{GS}$  ze  $2 \text{ V}$  na  $-2 \text{ V}$ .  
Dochází ke zúžení zabudovaného kanálu a zmenšení počtu elektronů. Protože je  $U_{DS} = 0 \text{ V}$ , neprochází tranzistorem proud (elektrony jsou nehybné).
4. Při  $U_{DS} = 0 \text{ V}$  snížení napětí  $U_{GS}$  na  $-3 \text{ V}$  a  $-4 \text{ V}$ .  
 $U_{GS}$  pokleslo pod hodnotu prahového napětí – kanál zcela zaniká.
5. Při  $U_{DS} = 1 \text{ V}$  zvyšování napětí  $U_{GS}$  z  $-4 \text{ V}$  na  $2 \text{ V}$ .  
Po překonání prahového napětí začne kanálem procházet proud. Při takto malých hodnotách  $U_{DS}$  je šířka kanálu po celé délce téměř stejná, tranzistor se chová jako napětím  $U_{GS}$  řízený lineární odpor (při  $U_{GS} = -3 \text{ V}$  a  $-4 \text{ V}$  je odpor „nekonečný“).
6. Při  $U_{GS} = 2 \text{ V}$  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.
7. Nastavení  $U_{GS} = 2 \text{ V}$ ,  $U_{DS} = 4 \text{ V}$   
Dochází k zaškrcení kanálu.
8. Při  $U_{GS} = 2 \text{ V}$  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.

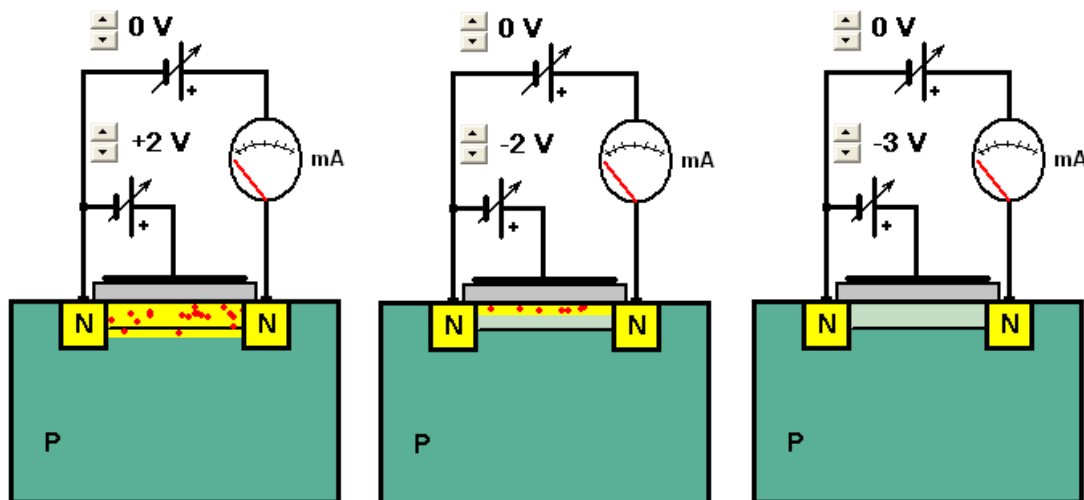
### Výklad:

Struktura MOSFETu se zabudovaným kanálem je znázorněna na obr. 11.6. V substrátu (v našem případě s typem vodivosti P) jsou vytvořeny dvě oblasti s opačným typem vodivosti (N), propojené technologicky vytvořeným kanálem (též typu 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  $\text{SiO}_2$ .



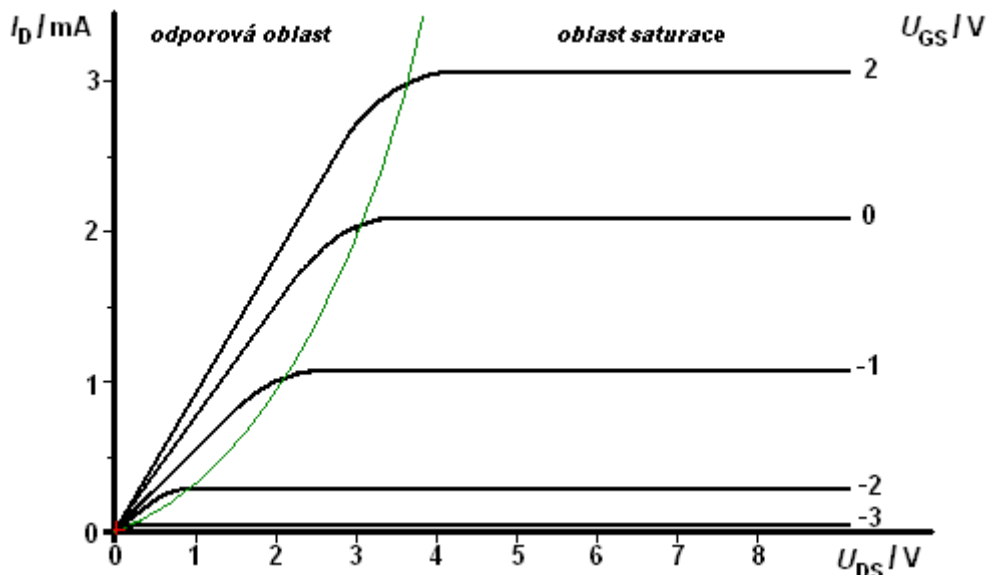
Obr. 11.6 Struktura tranzistoru MOSFET se zabudovaným kanálem

Postup při použití ve výuce je obdobný jako u předchozího modelu. Je třeba demonstrovat změny tvaru kanálu v závislosti na obou napětích. Vhodné je nejprve nastavit  $U_{DS} = 0V$  a měnit pouze  $U_{GS}$ . Při kladném napětí se již vytvořený kanál dále rozšiřuje a zvyšuje se koncentrace elektronů (červené tečky). Snižuje se tak odpor mezi elektrodami S a D. Při záporném napětí se kanál zužuje, počet elektronů klesá, odpor mezi elektrodami S a D se zvyšuje. Pokud napětí  $U_{GS}$  klesne pod hodnotu prahového napětí (v našem případě  $-3V$ ), vodivý kanál zcela zaniká (obr. 11.7). Protože je  $U_{DS} = 0V$ , neprochází kanálem proud (elektrony jsou nehybné).



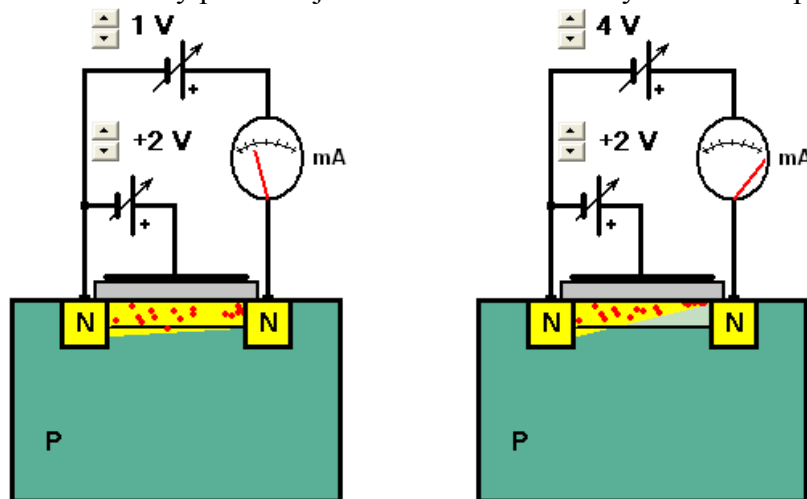
Obr. 11.7 Změna napětí  $U_{GS}$ , při  $U_{DS} = 0V$

Poté volíme hodnotu napětí  $U_{DS} = 1V$ . Napětí  $U_{GS}$  měníme v rozsahu  $-2V$  až  $2V$ . Při takto malém napětí se téměř neuplatňuje úbytek napětí na indukovaném kanále a kanál má tak po celé délce téměř stejný průřez. Tranzistor se při této hodnotě  $U_{DS}$  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. 11.8). Pro  $U_{GS} = -3V$  a  $-4V$  kanál zcela zaniká a odpor rezistoru je nekonečný.



Obr. 11.8 Výstupní charakteristiky tranzistoru MOSFET se zabudovaným kanálem

Dále je třeba ukázat, jakým způsobem se mění tvar vodivého kanálu při zvyšujícím se napětí  $U_{DS}$ . Proto volíme  $U_{GS} = +2V$ . Napětí  $U_{DS}$  se rozloží podél celého kanálu. Zatímco nejbližší k elektrodě 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. 11.9). 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). Pokud  $U_{GS} - U_{DS}$  klesne pod hodnotu prahového napětí, dojde k úplnému zaškrcení kanálu. Při dalším zvýšení napětí již dochází pouze k nepatrnému nárůstu proudu (oblast saturace – obr. 11.8). Zaškrcení kanálu se nepatrně posouvá směrem k elektrodě S. Elektronů procházejí ochuzenou oblastí díky velkému napěťovému spádu.



Obr. 11.9 Zvyšování napětí  $U_{DS}$ , při  $U_{GS} = 2V$