

Laboratorní úloha č. 2: Závěrné zotavení diod a náboj řídicí elektrody MOSFET a IGBT

Příprava:

Dynamické chování tranzistoru MOSFET záleží především na vytvoření vodivého kanálu tedy době nabíjení a vybíjení kapacity C_{ox} a dalších parazitních kapacit. Jak je vidět z náhradního schématu na přechodové jevy budou mít vliv kapacity C_{GD} a C_{GS} , které se budou nabíjet přes odpor R_G . Především kapacita C_{GD} , která se vlivem Millerova efektu projevuje jako ekvivalentní vstupní impedance. V odporu R_G je zahrnut vnitřní odpor zdroje napětí U_{GS} a odpor polykrystalického Si.

$$C_{Mi} = (1 + g_{fs} \cdot Z) C_{GD} \quad - \text{Millerova kapacita}$$

$$C_{in} = C_{Mi} + C_{GS} \quad - \text{vstupní kapacita pokud } Z \text{ reálná}$$

Na obrázku 1.110 můžeme vidět, jak se nám jednotlivé kapacity mění v závislosti na napětí U_{DS} . Kapacita C_{GS} není závislá na napětí U_{DS} . Zatímco kapacita C_{GD} je značně závislá.

$U_{DS} < U_{GS}$ - kapacita C_{GD} je velká (je dána kapacitou tenké vrstvy oxidu)

$U_{DS} > U_{GS}$ - kapacita C_{GD} klesá (vlivem zvyšování napětí roste tloušťka ochuzené vrstvy a tím klesá kapacita)

Časovou konstantou $R_G C_{in}$ je limitovaná mezní frekvence tranzistoru v lineárním režimu (tuto konstantu se snažíme co nejvíce zmenšit):

$$f = \frac{1}{2\pi \sqrt{C_{in} R_G}}$$

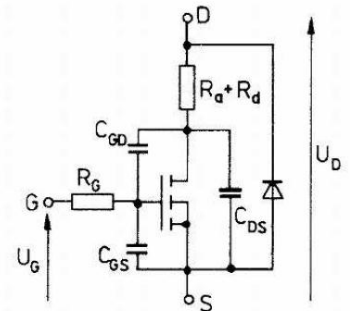
Spínací režim výkonového tranzistoru MOSFET :

Proces přechodových jevů závisí i na typu zátěže (vzhledem zpětného vlivu impedance zátěže na vstupní kapacitu vlivem Millerova efektu), nejběžnější zátěží je indukčnost s nulovou diodou (vinutí motoru, transformátoru, apod.). Při zapínání tranzistoru přivedeme na elektrodu G a S skokové napětí $U_{GS} = U_{GH}$. Tím se nabíjejí kapacity přes odpor R_G kapacity C_{GS} a C_{GD} . Tím nám roste napětí U_{GS} podle vztahu:

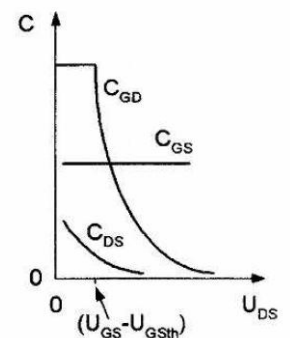
$$U_{GS}(t) = U_{GH} \left\{ 1 - \exp \left[\frac{-t}{R_G (C_{GS} + C_{GD})} \right] \right\}$$

$U_{GS} = U_{GS(th)}$ je dosaženo za dobu t_d

$$t_d = R_G (C_{GS} + C_{GD}) \ln \left[\frac{U_{GH}}{U_{GH} - U_{GS(th)}} \right]$$



Obr. 1.109. Zjednodušené náhradní schéma výkonového tranzistoru MOS



Obr. 1.110. Závislost kapacit na napětí U_{DS}

Pro proud hradlem nabíjející kapacitu je dán vztah :

$$I_G = \frac{U_{GH} - U_{GS}}{R_G} = \frac{U_{GH} - U_{GS(th)} - I_D / g_{fs}}{R_G}$$

Když zátěž L je překlenutá nulovou diodou, tak napětí U_{DS} je do doby t_2 konstantní, kde $I_D = I_{DM}$.

Jakmile proud I_D dosáhne max. hodnoty, tak začne napětí U_{DS} lineárně klesat na napětí U_{on} . Což je napětí na tranzistoru v zapnutém stavu a je dán proudem I_D a odporem v sepnutém stavu. Napětí U_{GS} je konstantní pro konstantní proud I_D . Poté co klesne napětí U_{DS} , tak se nám kapacita C_{Mi} zvětší podle předešlé úvahy. Tím se nám bude vstupní kapacita nabíjet na hodnotu U_{GH} vstupním proudem I_G .

Pro pokles U_{DS} platí rovnice

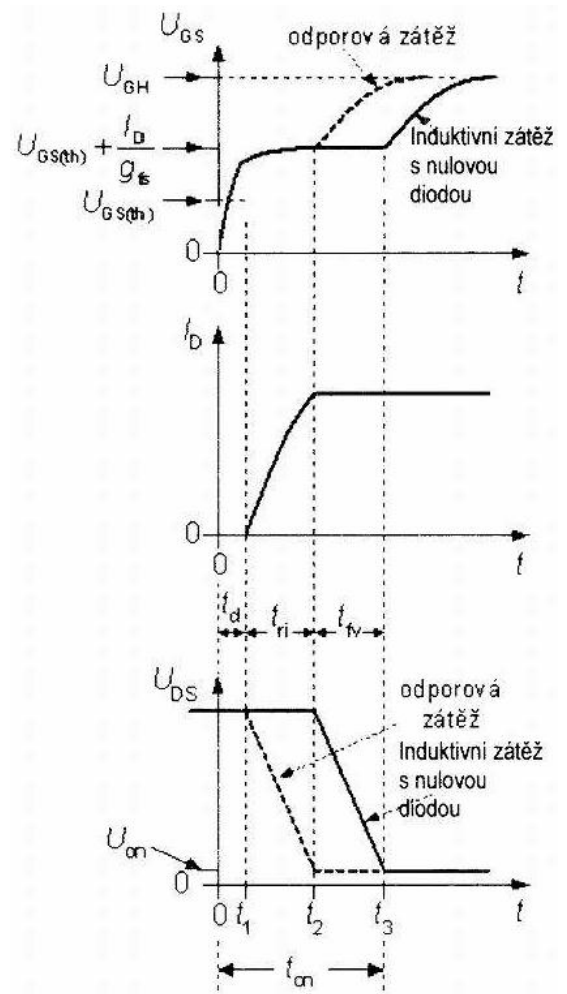
$$U_{DS} = U_{DM} - \frac{g_{fs} (U_{GH} - U_{GS(th)}) - I_{DM}}{g_{fs} R_G C_{GD}} (t - t_2).$$

K poklesu napětí dojde za dobu

$$t_{fv} = \frac{(U_{DM} - U_{on}) R_G C_{GD}}{U_{GH} - (U_{GS(th)} + I_{DM} / g_{fs})}.$$

Při čistě odporové zátěži nám napětí U_{DS} začne klesat s nárůstem proudu I_D . Jak je vidět, při přiložení řídicího napětí, tak se nám nejdříve nabíjí vstupní parazitní kapacity, tím se zpozdí nárůst napětí U_{GS} na prahové napětí až při kterém se tranzistor začne otvírat.

Z rovnic je také patrné, že kapacita C_{GD} nám zvyšuje dobu poklesu napětí U_{DS} na hodnotu U_{on} .



Průběhy napětí a proudu při zapínání tranzistoru MOSFET