Formelsammlung Leistungselektronik

Markus Becker

27. Januar 2010

Schaltungsanalyse

Basics $i_C = C \cdot \frac{du_C}{dt}$ | $u_L = L \cdot \frac{di_L}{dt}$ | Hoch- / Tiefpass: $f_{res} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$
Transformator: $ü = \sqrt{\frac{L_1}{L_2}} = \frac{N_1}{N_2}$ | $M = \frac{1}{ü}$ | $U_2 = M \cdot U_1$ | $I_1 = M \cdot I_2$ | $R_1 = \frac{1}{M^2} R_2$

Zustandsvariablen & Zustandsraum Zustandsvariablen sind:

- Spannungen an unabhängigen Kondensatoren
- Ströme durch unabhängigen Induktivitäten

Darstellung in Matrizenform

$$\underline{K} \cdot \underline{x}'(t) = \underline{A} \cdot \underline{x}(t) + \underline{B} \cdot \underline{u}(t) \text{ und } \underline{y} = \underline{C} \cdot \underline{x}(t) + \underline{E} \cdot \underline{u}(t)$$

Mit $\underline{K}$: Systemmatrix; $\underline{x}$: Vektor der Zustandsvariablen; $\underline{A}$: Zustandsmatrix (Systemmatrix) des Netzwerks; $\underline{u}$: Eingangsvektor (Spannungs- & Stromquellen); $\underline{B}$: Steuermatrix; $\underline{y}$: Ausgangsvektor

Allgemeine Lösung im Laplace-Bereich

$$\underline{Y}(s) = \underline{C}\left[\left(\underline{K} \cdot s - \underline{A}\right)^{-1} \cdot \underline{B} \cdot \underline{U}(s) + \left(\underline{K} \cdot s - \underline{A}\right)^{-1} \cdot \underline{X}_0\right] + \underline{E} \cdot \underline{U}(s)$$

(mit $\underline{X}_0$: Anfangswerte des Zustandsvektor)

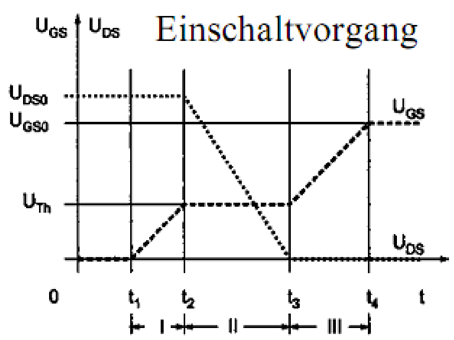
Schalter und deren Ansteuerung

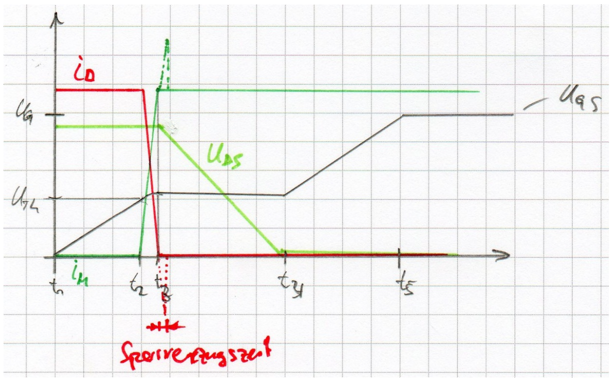
Verlustleistung an einer Diode $P_v = U_D \cdot I_{avg} + r_D \cdot I_{rms}^2$ (mit I_{avg}: Mittelwert; I_{rms}: Effektivwert)

MOSFET-Modell Modell im Leitenden Zustand: R_{DSon}

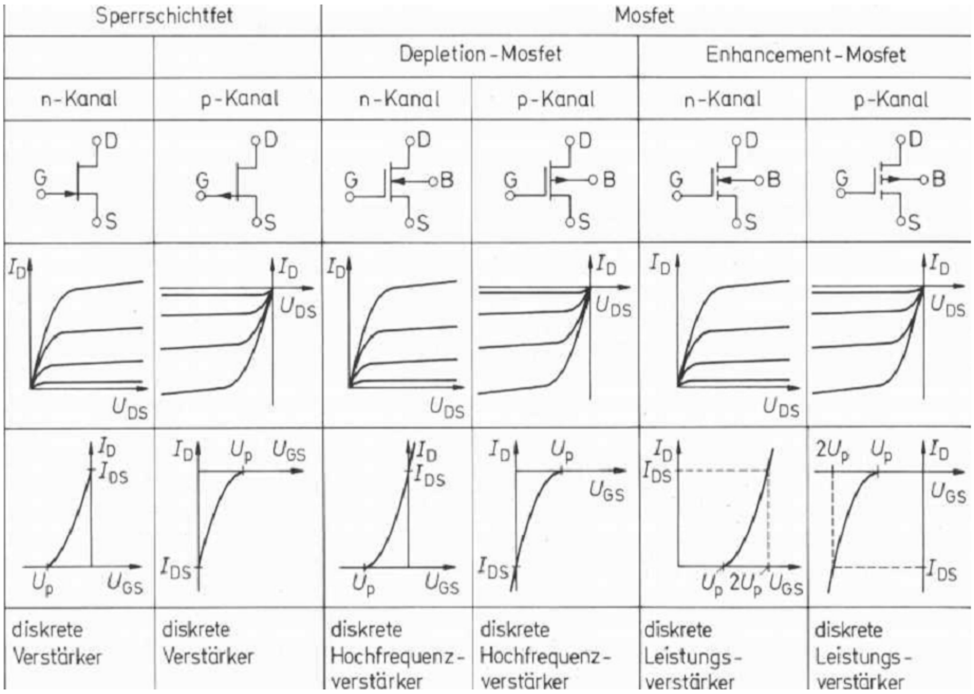
MOSFET-Schaltverhalten bei Widerstandslast:

- $t_1 - t_2$: Änderung der Gate-Spannung, C_{GS} und C_{DG} werden geladen: $I_G \approx \frac{U_{steuer} - 0{,}5 \cdot U_{th}}{R_G}$; Spannung am Drain bleibt ungefähr konstant.
- $t_2 - t_3$: Änderung der Drain-Spannung, Gate-Strom fließt in C_{DG}; $I_G \approx \frac{U_{steuer} - U_{th}}{R_G} = C_{DG} \cdot \frac{du_{C_{DG}}}{dt} \approx C_{DG} \cdot \frac{\Delta U_{C_{DG}}}{\Delta T_{an}}$; Spannung am Gate bleibt ungefähr konstant.
- $t_3 - t_4$: Änderung der Gate-Source-Spannung bei konstanter Drain-Spannung $U_{DS} = 0$





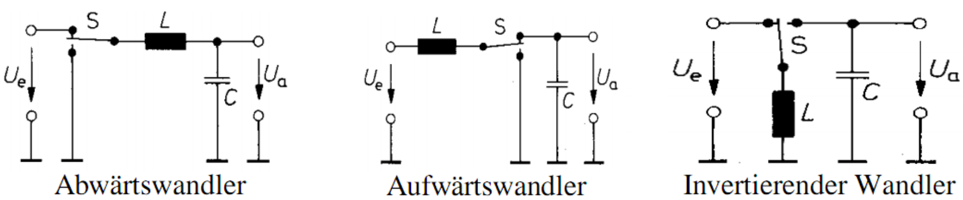
Auswirkung der Sperrverzugszeit einer Diode beim Ausschalten



Sperrschichtfet		Mosfet			
		Depletion-Mosfet		Enhancement-Mosfet	
n-Kanal	p-Kanal	n-Kanal	p-Kanal	n-Kanal	p-Kanal
G, D, S	G, D, S	G, D, B, S	G, D, B, S	G, D, B, S	G, D, B, S
I_D, U_{DS}	I_D, U_{DS}	I_D, U_{DS}	I_D, U_{DS}	I_D, U_{DS}	I_D, U_{DS}
I_D, I_{DS}, U_p, U_{GS}	I_D, U_p, U_{GS}, I_{DS}	I_D, I_{DS}, U_p, U_{GS}	I_D, U_p, U_{GS}, I_{DS}	I_D, I_{DS}, U_p, $2U_p$, U_{GS}	$2U_p$, U_p, I_D, U_{GS}, I_{DS}
diskrete Verstärker	diskrete Verstärker	diskrete Hochfrequenz-verstärker	diskrete Hochfrequenz-verstärker	diskrete Leistungs-verstärker	diskrete Leistungs-verstärker

Feldeffektransistoren

Wandler



Wandleranalyse

Stationärer Zustand: Ströme über Induktivitäten und Spannungen über Kapazitäten haben in jeder Periode den selben Verlauf. Die Mittelwerte sind in jeder Periode gleich, d. h. die Mittelwerte von Induktivitäten-Strömen und Kondensator-Spannungen sind null.

Abwärtswandler $M(D) = \frac{U_a}{U_e} = D$

Aufwärtswandler $M(D) = \frac{U_a}{U_e} = \frac{1}{1-D}$ | Mittelwert des Spulenstromes: $I_L = \frac{1}{1-D} \cdot \frac{U_a}{R}$

Invertierender Wandler $M(D) = \frac{U_a}{U_e} = -\frac{D}{1-D}$

Diskontinuierlicher Spulenstrom $\rightarrow$ 3 Zeiten D_1, D_2, D_3 $\rightarrow$ 2 unabhängige Gleichungen $\rightarrow$ u_L und i_C

Dynamisches Modell $u_L = L\frac{di}{dt}$, $i_C = C\frac{du}{dt} \neq 0$ über eine Periode $\rightarrow$ 2 unabhängige Gleichungen u_L und i_C

Verlustbehaftetes Modell Spulen- und Schalterwiderstände $\rightarrow$ 2 unabhängige Gleichungen u_L und i_C

Auslegung der Induktivitäten und Transformatoren

- Vorgabe: Analyse des Wandlers ergibt die Induktivität L und den minimalen Strom I_{max} aus Daten des Wandlers
- Fluss φ: $N \cdot \varphi = N \cdot B \cdot A = L \cdot I$
- Bestimmung von N: $L = \frac{N^2}{R_m}$ mit $R_m = R_{m,Fe} + R_{m,Luft}$
- Bestimmung von A: $A = \frac{L \cdot I}{N \cdot B_{Saettigung}}$