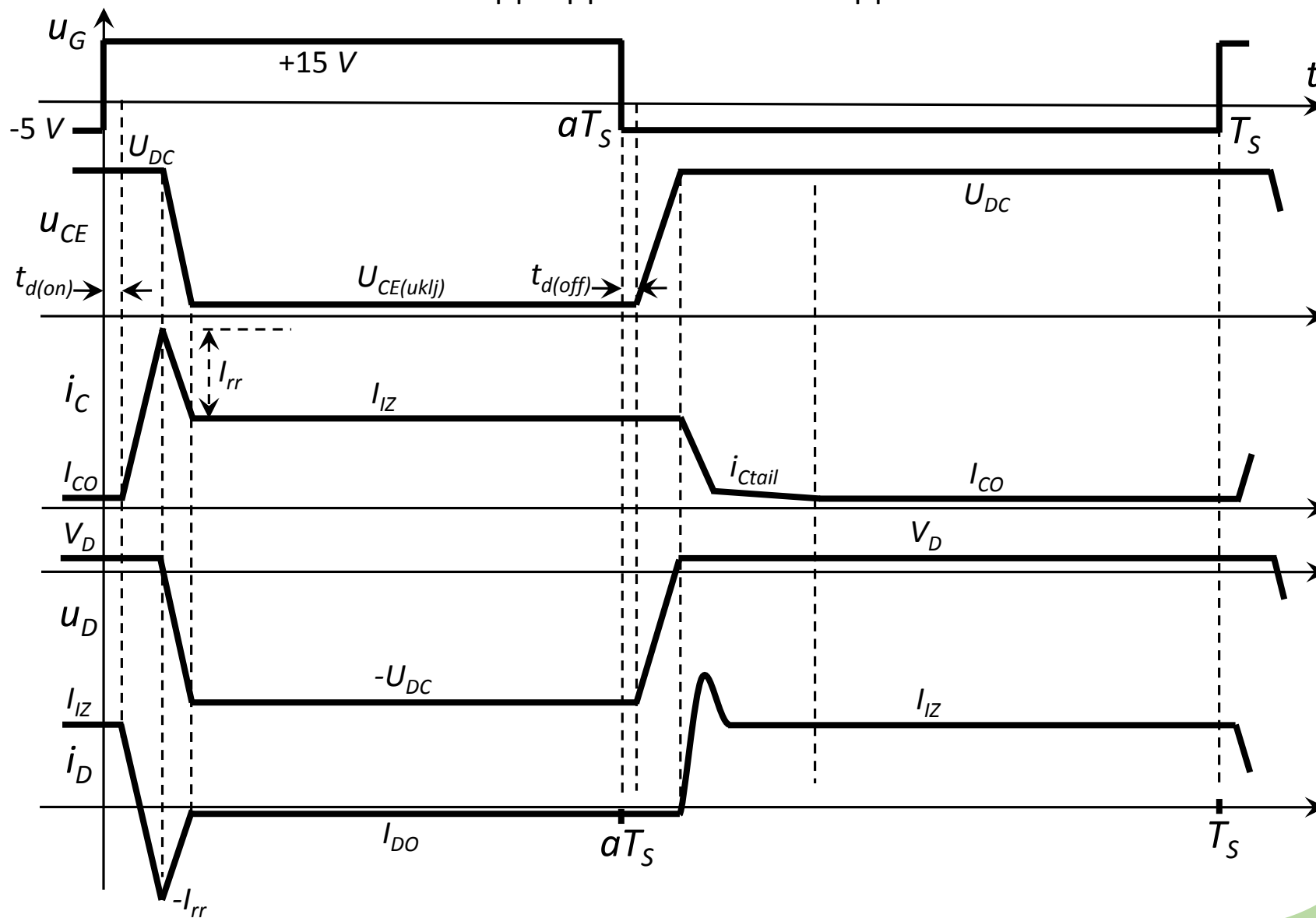
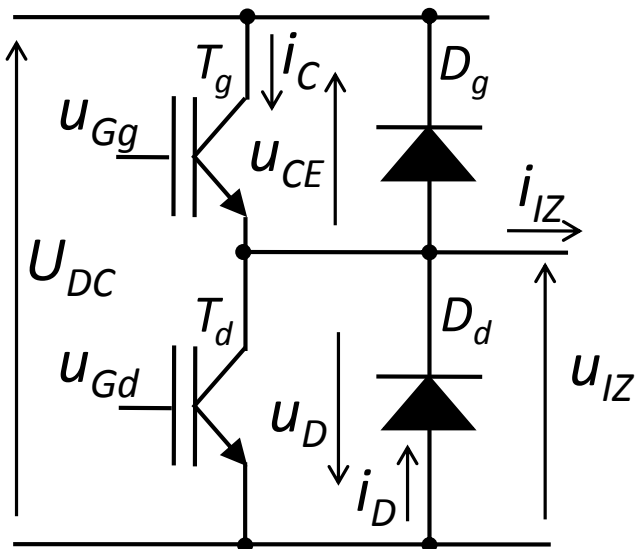


ПРОРАЧУН ГУБИТАКА КОД ЈЕДНОСМЕРНИХ И НАИЗМЕНИЧНИХ ПРЕТВАРАЧА

ПРЕЛАЗНЕ ПОЈАВЕ НА ТРАНЗИСТОРУ И ДИОДИ ТОКОМ ПРЕКИДАЊА



СРЕДЊА СНАГА ГУБИТАКА НА ТРАНЗИСТОРУ

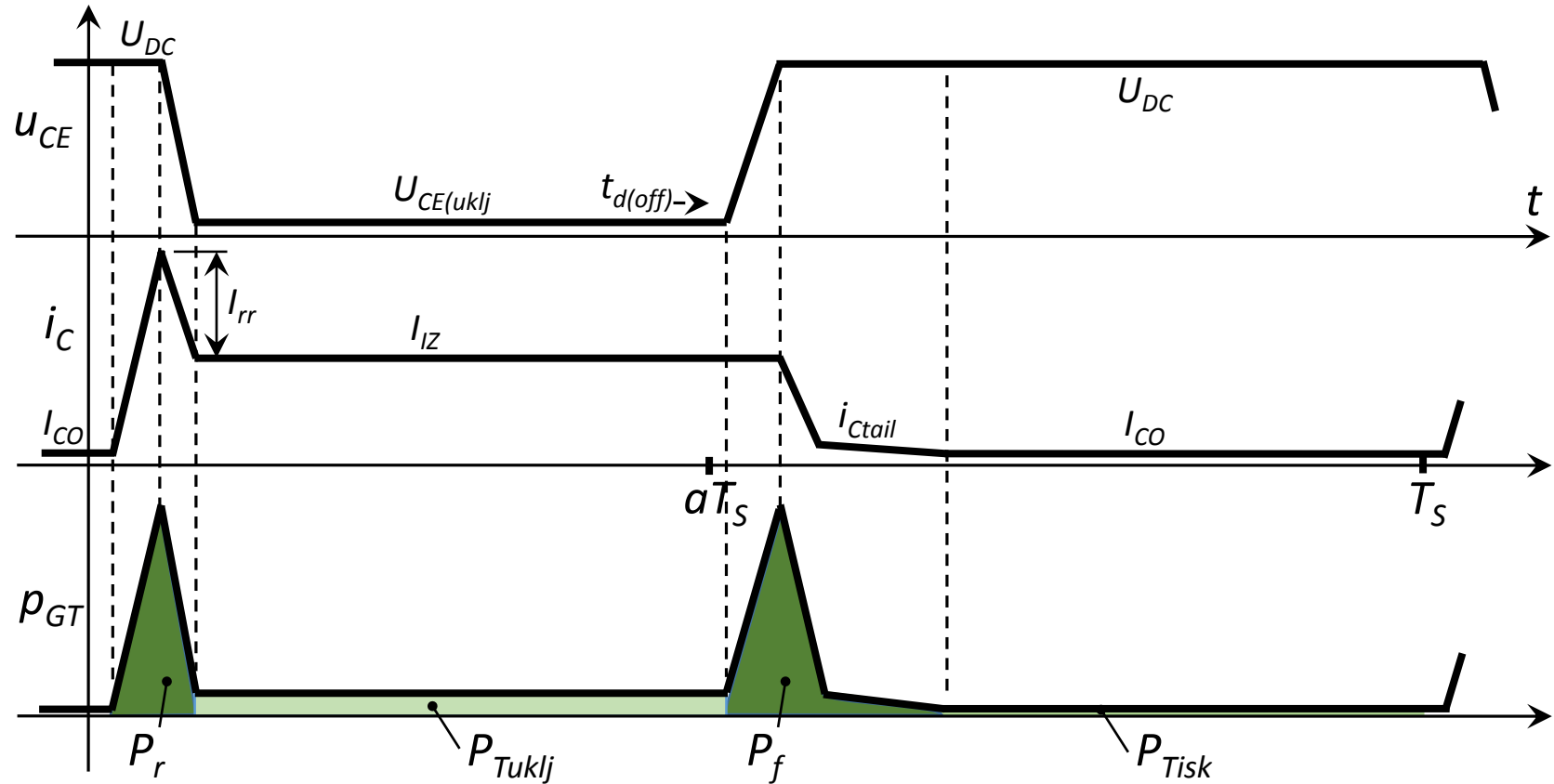
- тренутна снага губитака на транзистору:

$$p_{GT}(t) = u_{CE}(t) \cdot i_C(t)$$

- средња снага губитака на транзистору:

$$P_{GT} = \frac{1}{T_S} \cdot \int_0^{T_S} p_{GT}(t) \cdot dt =$$

$$= P_{Tuklj} + P_{Tisk} + P_r + P_f$$



P_r – средња вр. губитака укључења

P_{Tuklj} – средња вр. губитака укљученог стања

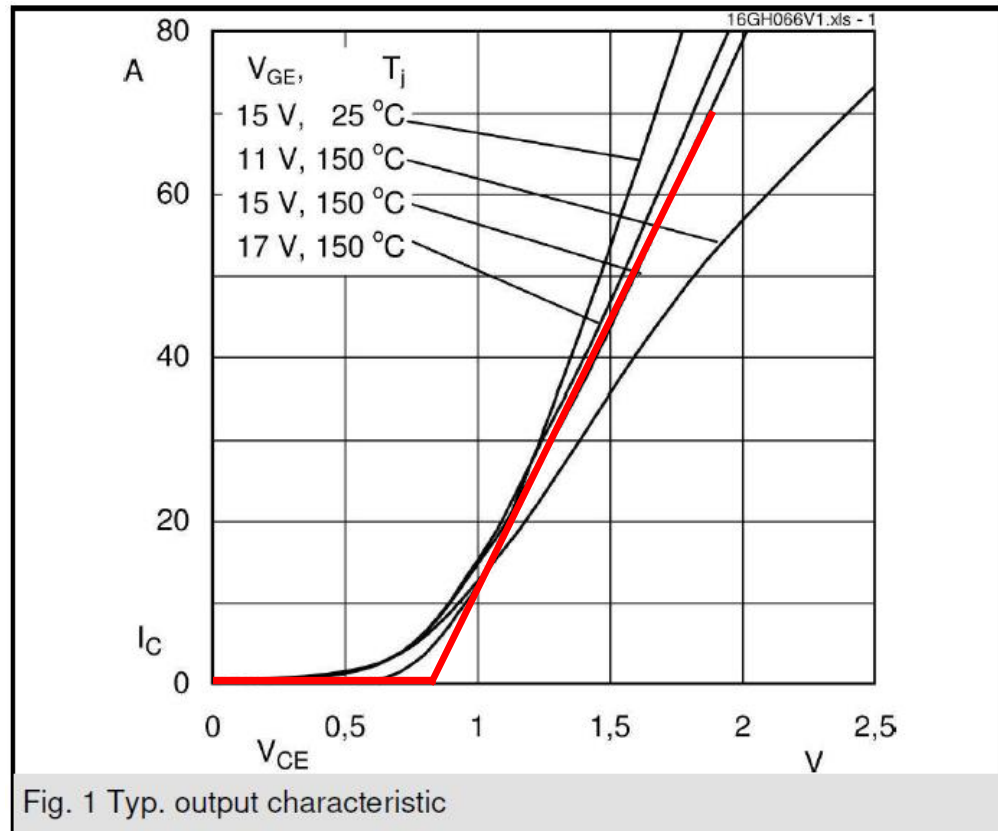
P_f – средња вр. губитака искључења

P_{Tisk} – средња вр. губитака искљученог стања

СРЕДЊА СНАГА ГУБИТАКА НА IGBT ТРАНЗИСТОРУ

- средња снага губитака у укљученом стању:

$$P_{Tuklj} = \frac{1}{T_S} \cdot \int_0^{aT_S} u_{CE(uklj)} \cdot I_{IZ} \cdot dt = \frac{1}{T_S} \cdot (U_{T0} + r_{CE} \cdot I_{IZ}) \cdot I_{IZ} \cdot aT_S = (U_{T0} \cdot I_{IZ} + r_{CE} \cdot I_{IZ}^2) \cdot a$$



- пример одређивања параметара транзистора на основу каталошких података (16GH066V1 - Semikron):

$$U_{T0} = 0,8V$$

$$r_{CE} = \frac{1,5V - 1V}{42A - 10A} = 15,6m\Omega$$

СРЕДЊА СНАГА ГУБИТАКА НА *MOSFET* ТРАНЗИСТОРУ

- средња снага губитака у укљученом стању:

$$P_{Tuklj} = \frac{1}{T_S} \cdot \int_0^{aT_S} u_{DS(uklj)} \cdot I_{IZ} \cdot dt = \frac{1}{T_S} \cdot (r_{DS} \cdot I_{IZ}) \cdot I_{IZ} \cdot aT_S =$$

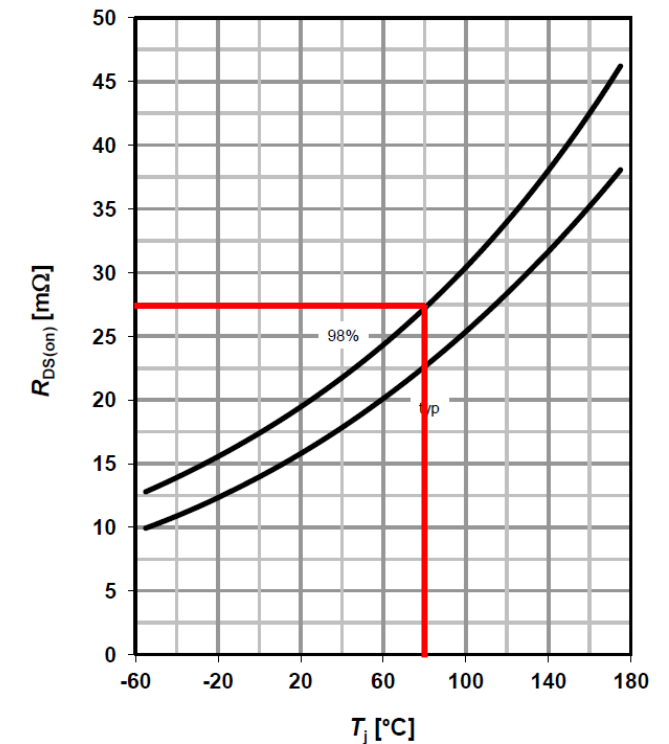
$$= r_{DS} \cdot I_{IZ}^2 \cdot a$$

- пример одређивања параметара транзистора на основу каталошких података (*IPD200N15N3 G - Infineon*):

$$r_{DS} = 27,5m\Omega$$

9 Drain-source on-state resistance

$$R_{DS(on)} = f(T_j); I_D = 50 \text{ A}; V_{GS} = 10 \text{ V}$$



СРЕДЊА СНАГА ГУБИТАКА НА IGBT И MOSFET ТРАНЗИСТОРУ

- средња снага губитака у прелазним периодима:

$$P_r = \frac{1}{T_S} \cdot \left[\int_0^{t_r} u_{CE}(t) \cdot i_C(t) \cdot dt \right] = f_S \cdot E_r;$$

$$P_f = f_S \cdot E_f$$

- пример одређивања параметара транзистора на основу каталошких података (16GH066V1 - Semikron):

за $R_G = 25 \Omega$, $I_{IZ} = 30 A$...

$$E_r = 2,2 mJ \cdot \frac{1,1}{1,7} = 1,42 mJ; E_f = 1,8 mJ \cdot \frac{1,1}{1,7} = 1,16 mJ$$

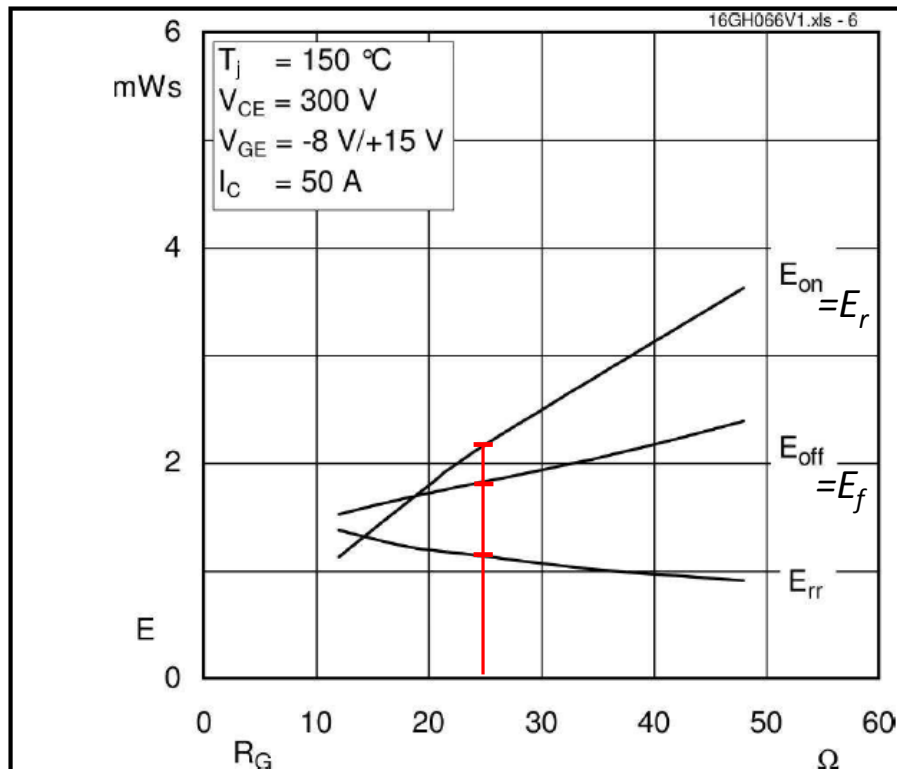


Fig. 6 Typ. turn-on /-off energy = $f(R_G)$

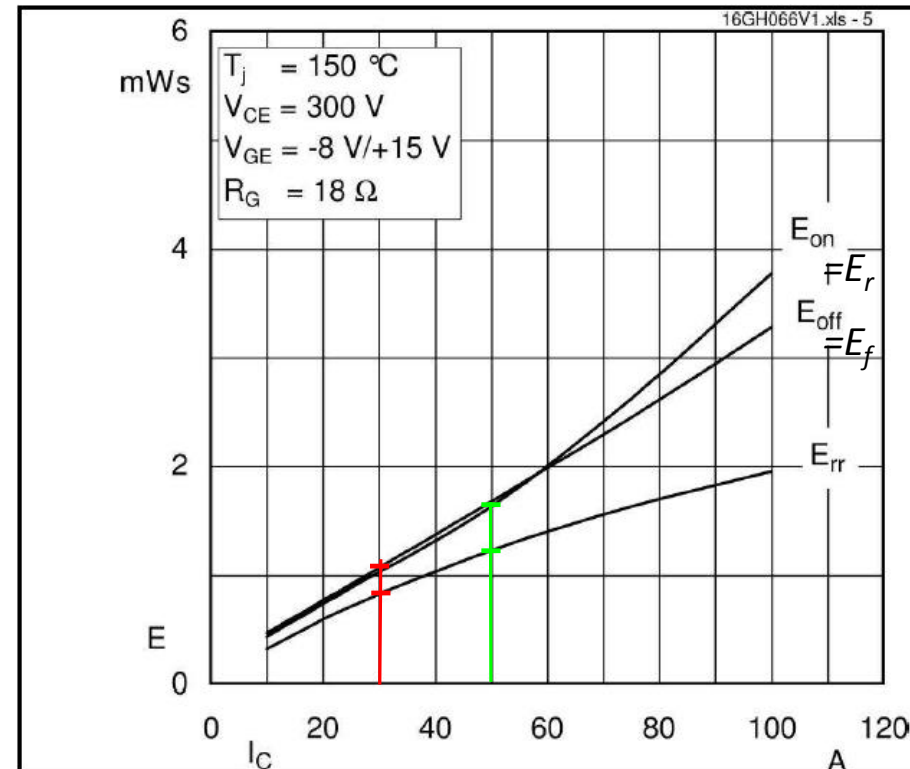


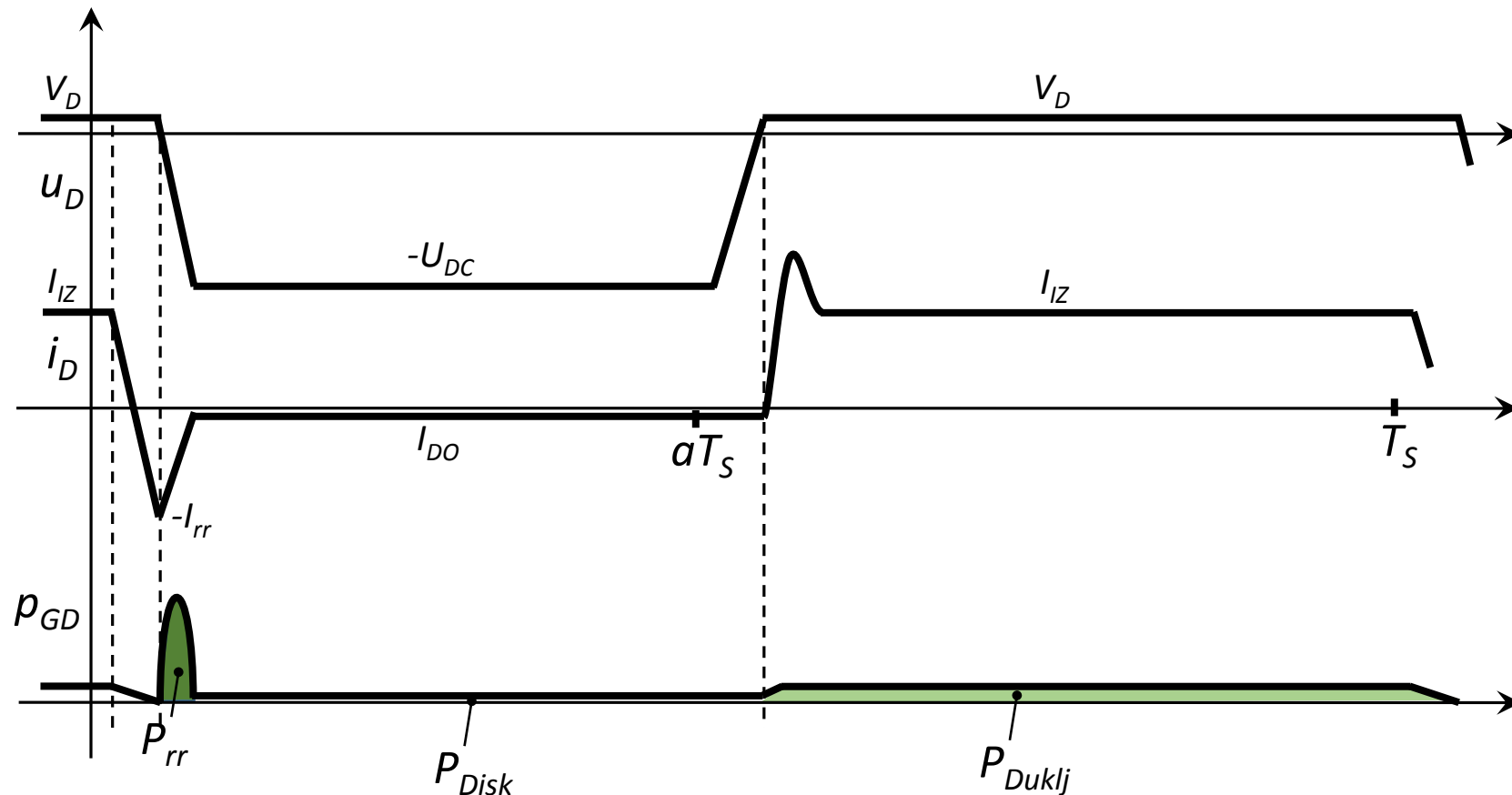
Fig. 5 Typ. turn-on /-off energy = $f(I_C)$

СРЕДЊА СНАГА ГУБИТАКА НА ДИОДИ

- средња снага губитака на транзистору:

$$P_{GD} = \frac{1}{T_S} \cdot \int_0^{T_S} p_{GD}(t) \cdot dt =$$

$$= P_{Duklj} + P_{Disk} + P_{rr}$$



P_{rr} – средња вр. губитака регенерације слободних наелектрисања

P_{Disk} – средња вр. губитака укљученог стања

P_{Tisk} – средња вр. губитака искљученог стања

СРЕДЊА СНАГА ГУБИТАКА НА ДИОДИ

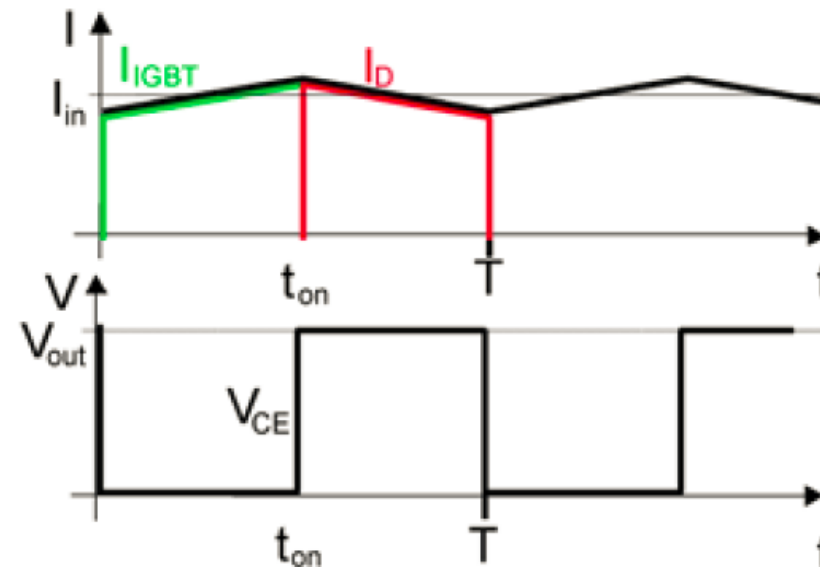
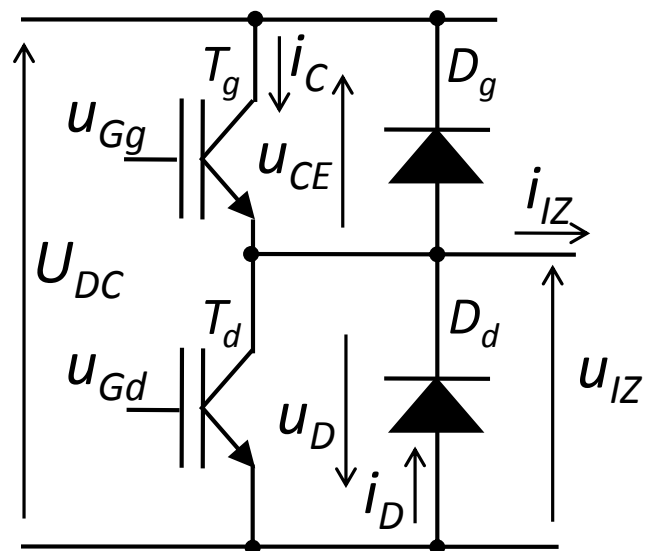
- средња снага губитака у укљученом стању:

$$P_{Duklj} = \frac{1}{T_S} \cdot \int_{aT_S}^{T_S} u_{D(uklj)} \cdot I_{IZ} \cdot dt = \frac{1}{T_S} \cdot (U_{D0} + r_D \cdot I_{IZ}) \cdot I_{IZ} \cdot (1 - a)T_S = (U_{D0} \cdot I_{IZ} + r_D \cdot I_{IZ}^2) \cdot (1 - a)$$

- средња снага губитака регенерације слободних наелектрисања:

$$P_{rr} = f_S \cdot E_{rr}$$

СРЕДЊА СНАГА ГУБИТАКА У КОЛУ ЈЕДНОСМЕРНОГ ПРЕТВАРАЧА



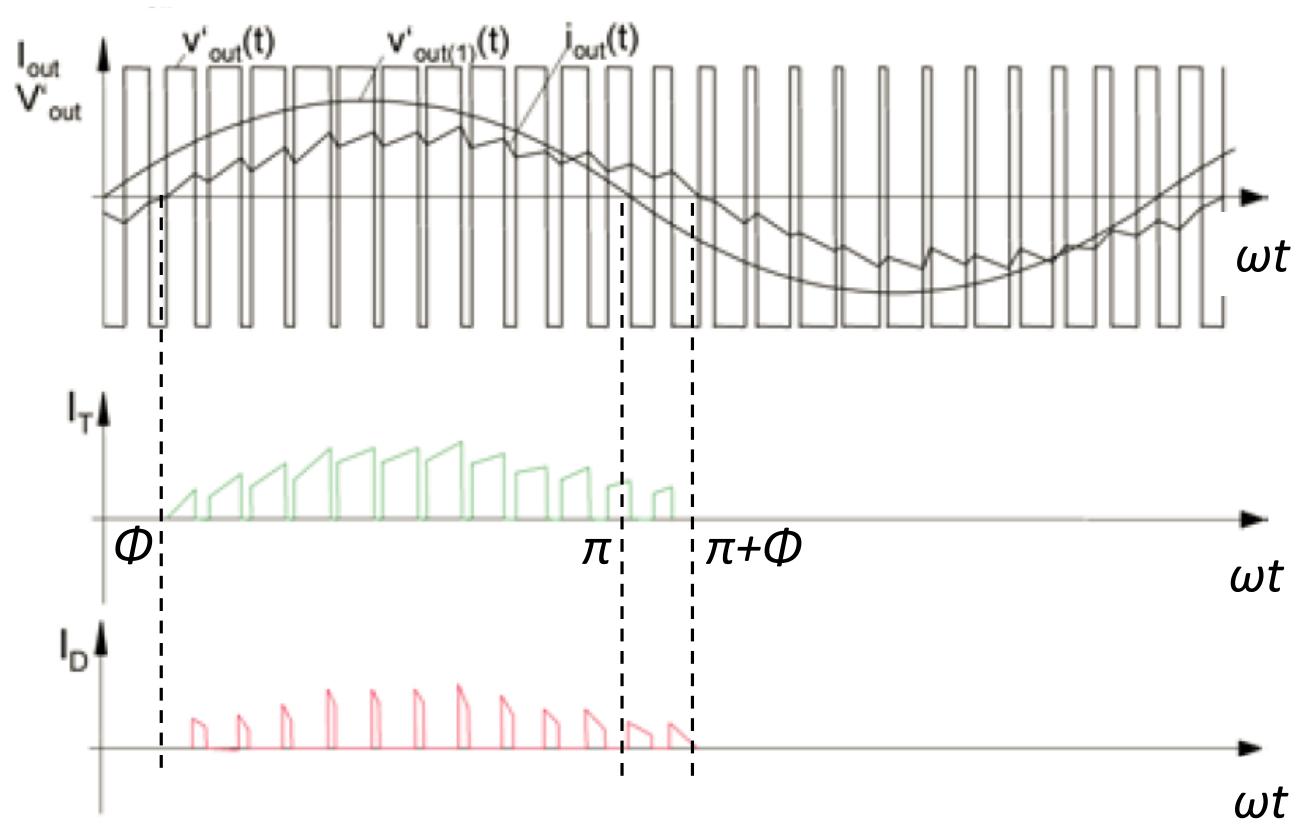
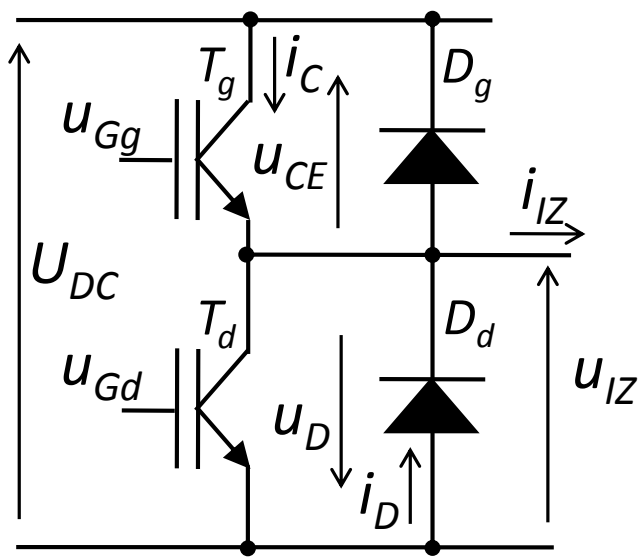
$$P_{Tuklj} = (U_{T0} \cdot I_{IZ} + r_{CE} \cdot I_{IZ}^2) \cdot a$$

$$P_r + P_f = f_s \cdot (E_r + E_f)$$

$$P_{Duklj} = (U_{D0} \cdot I_{IZ} + r_D \cdot I_{IZ}^2) \cdot (1 - a)$$

$$P_{rr} = f_s \cdot E_{rr}$$

СРЕДЊА СНАГА ГУБИТАКА У КОЛУ НАИЗМЕНИЧНОГ ПРЕТВАРАЧА



СРЕДЊА СНАГА ГУБИТАКА ПРИ СИНУСНОЈ МОДУЛАЦИЈИ

- средња снага губитака транзистора у укљученом стању:

$$P_{Tuklj} = \frac{1}{2\pi} \int_{\phi}^{\pi+\phi} \left[U_{T0} \cdot \hat{I} \cdot \sin(\omega t - \phi) + r_{CE} \cdot \hat{I}^2 \cdot \sin^2(\omega t - \phi) \right] \cdot s_T(\omega t) \cdot d(\omega t)$$

где је $s_T(\omega t) = 1$ за $u_{Gg} = +15V$, а $s_T(\omega t) = 0$ за $u_{Gd} = +15V$

$$\begin{aligned} P_{Tuklj} &\approx \frac{1}{2\pi} \int_{\phi}^{\pi+\phi} \left[U_{T0} \cdot \hat{I} \cdot \sin(\omega t - \phi) + r_{CE} \cdot \hat{I}^2 \cdot \sin^2(\omega t - \phi) \right] \cdot \frac{1}{2} (1 + m_a \cdot \sin(\omega t)) \cdot d(\omega t) \\ &= U_{T0} \cdot \hat{I} \cdot \left[\frac{1}{2\pi} + \frac{m_a}{8} \cdot \cos\phi \right] + r_{CE} \cdot \hat{I}^2 \cdot \left[\frac{1}{8} + \frac{m_a}{3\pi} \cdot \cos\phi \right] \end{aligned}$$

СРЕДЊА СНАГА ГУБИТАКА ПРИ СИНУСНОЈ МОДУЛАЦИЈИ

- средња снага губитака диоде у укљученом стању:

$$P_{Duklj} = \frac{1}{2\pi} \int_{\phi}^{\pi+\phi} [U_{D0} \cdot \hat{I} \cdot \sin(\omega t - \phi) + r_D \cdot \hat{I}^2 \cdot \sin^2(\omega t - \phi)] \cdot s_D(\omega t) \cdot d(\omega t)$$

где је $s_D(\omega t) = 1 - s_T(\omega t)$

$$\begin{aligned} P_{Duklj} &\approx \frac{1}{2\pi} \int_{\phi}^{\pi+\phi} [U_{D0} \cdot \hat{I} \cdot \sin(\omega t - \phi) + r_D \cdot \hat{I}^2 \cdot \sin^2(\omega t - \phi)] \cdot \frac{1}{2} (1 - m_a \cdot \sin(\omega t)) \cdot d(\omega t) \\ &= U_{D0} \cdot \hat{I} \cdot \left[\frac{1}{2\pi} - \frac{m_a}{8} \cdot \cos\phi \right] + r_D \cdot \hat{I}^2 \cdot \left[\frac{1}{8} - \frac{m_a}{3\pi} \cdot \cos\phi \right] \end{aligned}$$

СРЕДЊА СНАГА ГУБИТАКА ПРИ СИНУСНОЈ МОДУЛАЦИЈИ

- средња снага губитака транзистора у прелазним периодима:

$$\begin{aligned}
 P_r + P_f &= \frac{1}{2\pi} \int_{\phi}^{\pi+\phi} f_s \cdot (E_{r(ref)} + E_{f(ref)}) \cdot \frac{i_{IZ}(\omega t)}{I_{(ref)}} \cdot d(\omega t) \\
 &= \frac{f_s \cdot (E_{r(ref)} + E_{f(ref)})}{2\pi \cdot I_{(ref)}} \cdot \int_{\phi}^{\pi+\phi} \hat{I} \cdot \sin(\omega t - \phi) \cdot d(\omega t) = f_s \cdot (E_{r(ref)} + E_{f(ref)}) \cdot \frac{\hat{I}}{\pi \cdot I_{(ref)}}
 \end{aligned}$$

- средња снага губитака диоде у прелазним периодима:

$$\begin{aligned}
 P_{rr} &= \frac{1}{2\pi} \int_{\phi}^{\pi+\phi} f_s \cdot E_{rr(ref)} \cdot \left[\frac{i_{IZ}(\omega t)}{I_{(ref)}} \right]^{0,6} \cdot d(\omega t) \\
 &= f_s \cdot E_{rr(ref)} \cdot \left[\frac{I_{EF}}{I_{(ref)}} \right]^{0,6} \cdot \frac{\sqrt{2}^{0,6}}{2\pi} \int_{\phi}^{\pi+\phi} \sin^{0,6}(\omega t - \phi) \cdot d(\omega t) = f_s \cdot E_{rr(ref)} \cdot \left[\frac{I_{EF}}{I_{(ref)}} \right]^{0,6} \cdot \frac{\sqrt{2}}{\pi}
 \end{aligned}$$

СРЕДЊА СНАГА ГУБИТАКА ПРИ СИНУСНОЈ МОДУЛАЦИЈИ СА ДОДАТКОМ ТРЕЋЕГ ХАРМОНИКА

- средња снага губитака транзистора у укљученом стању:

$$\begin{aligned}
 P_{Tuklj} &\approx \\
 &\approx \frac{1}{2\pi} \int_{\phi}^{\pi+\phi} [U_{T0} \cdot \hat{I} \cdot \sin(\omega t - \phi) + r_{CE} \cdot \hat{I}^2 \cdot \sin^2(\omega t - \phi)] \cdot \frac{1}{2} (1 + m_a \cdot (\sin(\omega t) + 0,142 \cdot \sin(3\omega t))) \cdot d(\omega t) \\
 &= U_{T0} \cdot \hat{I} \cdot \left[\frac{1}{2\pi} + \frac{m_a}{8} \cdot \cos\phi \right] + r_{CE} \cdot \hat{I}^2 \cdot \left[\frac{1}{8} + \frac{m_a}{3\pi} \cdot \cos\phi - \frac{0,142}{15 \cdot \pi} \cdot m_a \cdot \cos 3\phi \right]
 \end{aligned}$$

- средња снага губитака диоде у укљученом стању:

$$\begin{aligned}
 P_{Duklj} &\approx \\
 &\approx \frac{1}{2\pi} \int_{\phi}^{\pi+\phi} [U_{D0} \cdot \hat{I} \cdot \sin(\omega t - \phi) + r_D \cdot \hat{I}^2 \cdot \sin^2(\omega t - \phi)] \cdot \frac{1}{2} (1 - m_a \cdot (\sin(\omega t) + 0,142 \cdot \sin(3\omega t))) \cdot d(\omega t) \\
 &= U_{D0} \cdot \hat{I} \cdot \left[\frac{1}{2\pi} - \frac{m_a}{8} \cdot \cos\phi \right] + r_D \cdot \hat{I}^2 \cdot \left[\frac{1}{8} - \frac{m_a}{3\pi} \cdot \cos\phi + \frac{0,142}{15 \cdot \pi} \cdot m_a \cdot \cos 3\phi \right]
 \end{aligned}$$

- средње снаге губитака транзистора и диоде у прелазним периодима су исте као код синусне модулације:

$$P_r + P_f = f_s \cdot (E_{r(ref)} + E_{f(ref)}) \cdot \frac{\hat{I}}{\pi \cdot I_{(ref)}} \qquad P_{rr} = f_s \cdot E_{rr(ref)} \cdot \left[\frac{I_{EF}}{I_{(ref)}} \right]^{0,6} \cdot \frac{\sqrt{2}}{\pi}$$