

ПРОРАЧУН ГУБИТАКА И ТЕРМИЧКА ПОСТАВКА У ПРЕТВАРАЧИМА ЗАСНОВАНИМ НА ТИРИСТОРИМА И ДИОДАМА

ПРОРАЧУН ГУБИТАКА У ПРЕТВАРАЧИМА ЗАСНОВАНИМ НА ТИРИСТОРИМА И ДИОДАМА

Претварачи засновани на тиристорима и диодама су данас у великој мери ограничени на исправљаче и регулаторе напона. Губици у овим колима потичу претежно од губитака провођења; губици у искљученом стању су знатно мањи, а због упоредиво мале учестаности пекидања (нпр. 50Hz) прекидачки губици се такође могу занемарити. Најчешће су губици услед струје гејта такође занемарљиви.

- губици на тиристор и диоди у укљученом стању:

- тренутна снага губитака: $p_G(t) = V_{(TO)} \cdot i_T(t) + r_T \cdot i_T(t)^2$

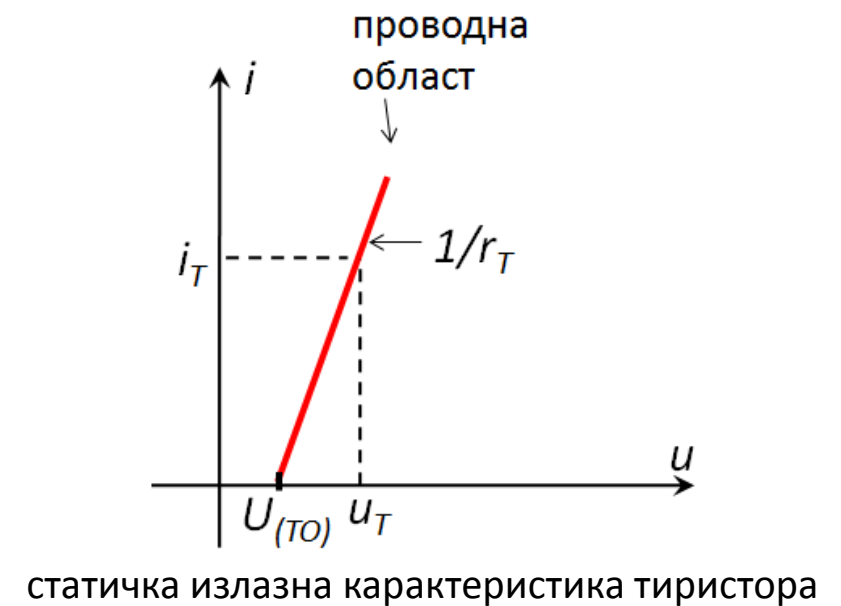
- где је: $V_{(TO)}$ праг провођења,

- r_T одговара нагибу излазне карактеристике компоненте (тзв. унутрашња отпорност).

- средња снага губитака: $P_G = V_{(TO)} \cdot I_{T(SR)} + r_T \cdot I_{T(EF)}^2$

- где је: $I_{T(SR)}$ средња струја тиристора,

- $I_{T(EF)}$ ефективна струја тиристора



ПРОРАЧУН ГУБИТАКА У ПРЕТВАРАЧИМА ЗАСНОВАНИМ НА ТИРИСТОРИМА И ДИОДАМА

- примери прорачуна средње и ефективне вредности струје тиристора:

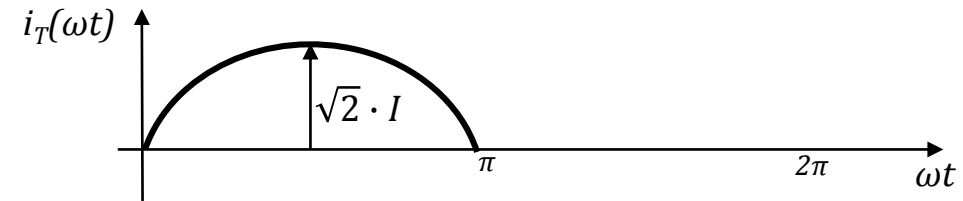
Уобичајени облици струје тиристора су синусни пулс одређеног трајања (тип. 180°) и правоугаони пулс одређеног трајања (тип. 180°, 120°, 90° итд.)

1. синусни пулс трајања 180° (код регулатора напона):

$$I_{T(SR)} = \frac{1}{2\pi} \int_0^\pi \sqrt{2} \cdot I \cdot \sin(\omega t) \cdot d(\omega t) = \frac{\sqrt{2} \cdot I}{\pi}$$

$$I_{T(EF)}^2 = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{2I^2}{2} \left[\omega t \Big|_0^\pi - \frac{1}{2} \sin(\omega t) \Big|_0^\pi \right] = \frac{I^2}{2}$$

$$\Rightarrow \frac{I_{T(EF)}^2}{I_{T(SR)}^2} = \frac{\pi^2}{4}$$



Пример прорачуна за трофазни регулатор напона заснован на тиристорским модулима **SKKT20**:

струја потрошача: $I = 20A$

$$P_G = V_{(TO)} \cdot I_{T(SR)} + r_T \cdot I_{T(EF)}^2 =$$

$$= 1 \cdot \frac{2}{\pi} \cdot \frac{I}{\sqrt{2}} + 16m \cdot \frac{I^2}{2} = 9 + 3,2 = 12,2W$$

V_T
$V_{T(TO)}$
r_T
$I_{DD}; I_{RD}$

$T_{vj} = 25^\circ C; I_T = 75 A$
$T_{vj} = 125^\circ C$
$T_{vj} = 125^\circ C$
$T_{vj} = 125^\circ C; V_{RD} = V_{RRM}; V_{DD} = V_{DRM}$

max. 2,3	V
max. 1	V
max. 16	mΩ
max. 10	mA

ПРОРАЧУН ГУБИТАКА У ПРЕТВАРАЧИМА ЗАСНОВАНИМ НА ТИРИСТОРИМА И ДИОДАМА

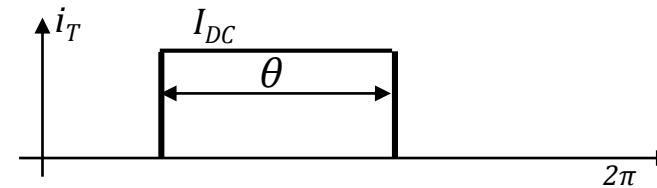
- примери прорачуна средње и ефективне вредности струје тиристора:

2. правоугаони пулс трајања θ ($\theta=120^\circ$ код 3.фазног исправљача):

$$I_{T(SR)} = I_{DC} \cdot \frac{\theta}{2\pi}$$

$$I_{T(EF)} = I_{DC} \cdot \sqrt{\frac{\theta}{2\pi}}$$

$$\Rightarrow \frac{I_{T(EF)}^2}{I_{T(SR)}^2} = \frac{2\pi}{\theta}$$



Пример прорачуна за трофазни тиристорски исправљач заснован на тиристорским модулима *SKKT20*:

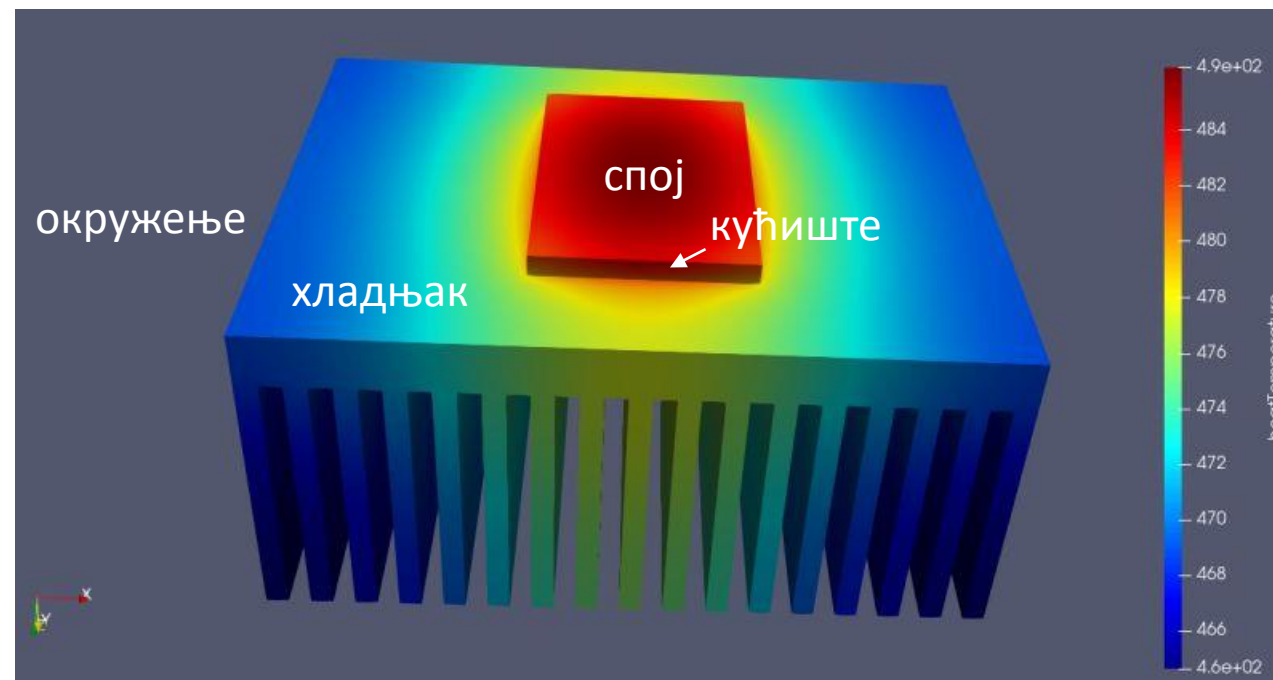
струја потрошача: $I_{DC} = 20A, \theta = 2\pi/3$

$$\begin{aligned} P_G &= V_{(TO)} \cdot I_{T(SR)} + r_T \cdot I_{T(EF)}^2 = \\ &= 1 \cdot \frac{I_{DC}}{3} + 16m \cdot 3 \cdot \left(\frac{I_{DC}}{3}\right)^2 = 10 + 4,8 = 14,8W \end{aligned}$$

ТЕРМИЧКИ ПРЕДСТАВА ПРЕТВАРАЧА

Термички склоп претварача садржи: а) једну или више полупроводничких плочица (**спојева**) које чине снажне полупроводничке компоненте; б) полупроводници су уграђени у засебна или заједничка **кућишта**; в) кућишта су постављена на засебне или зајдничке **хладњаке**, д) хладњаци се налазе у **окружењу** које може бити отвореног или затвореног типа.

Губици снаге се развијају на споју, а провођењем топлотне енергије се преносе на наредни ниво склопа.



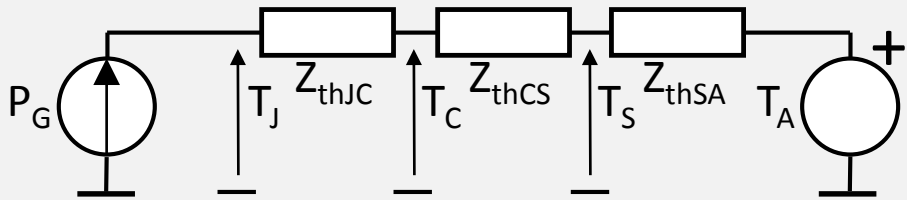
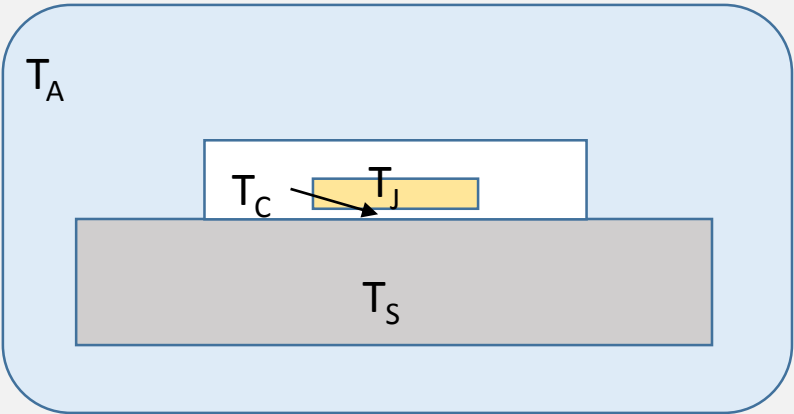
Овако сложен термодинамички склоп се може детаљно представити и проучавати применом метода коначних елемената. На слици је приказан температурни профил једног таквог склопа добијен овом методом.

УПРОШТЕНА ТЕРМИЧКА ПРЕДСТАВА ПРЕТВАРАЧА

Упростена термичка представа са занима на:

- 1. претпоставци да температура сваког од нивоа хомогена (једнака средњој вредности његове температуре)
- 2. претпоставци да је пренос температуре између суседних нивоа хомоген
- 3. примени аналогije између термодинамичког тока енергије и електричног тока енергије:

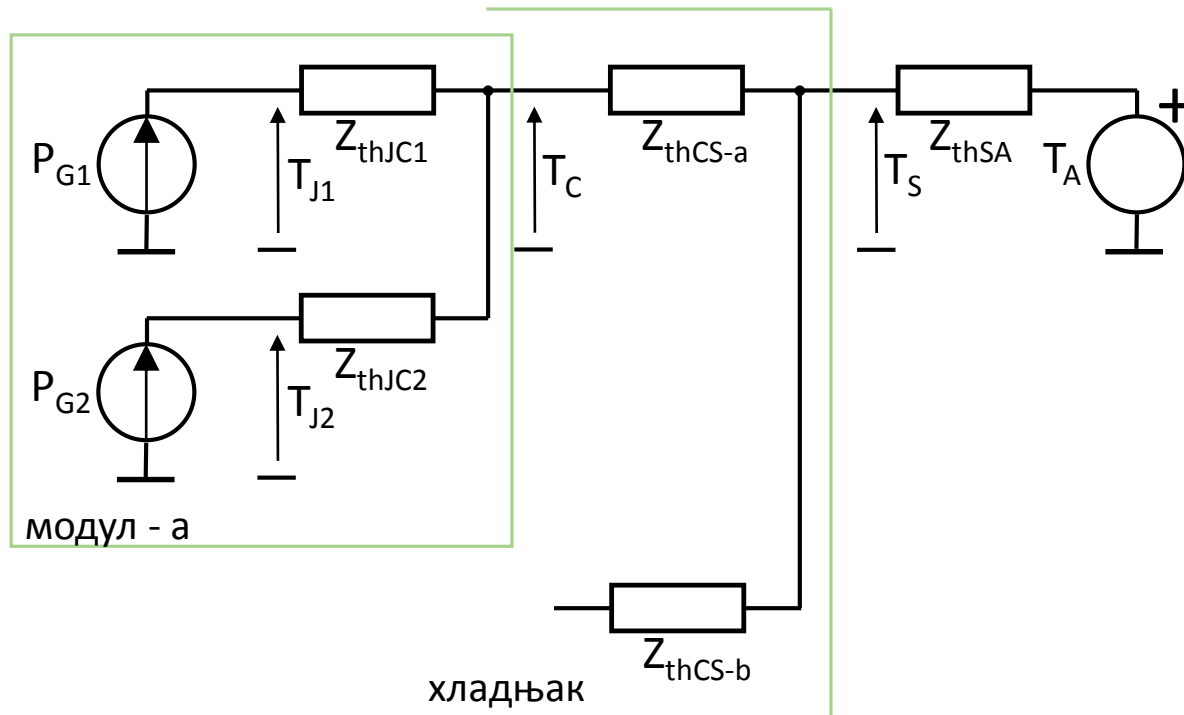
аналогија	
величине термодинамичког склопа	величине електричног склопа
извор термичке енергије – P_G [W]	струјни извор
температура нивоа – T [°K или °C]	напон чвора
термичка капацитивност нивоа и прелазна отпорност између суседних нивоа – Z_{th} [°K/W]	електрична импеданса између чворова



J – полупров. спој (*Junction*)
C – кућиште (*Case*)
S – хладњак (*Sink*) T – температура нивоа
A – окружење (*Ambient*) Z_{th} – термичка импеданса

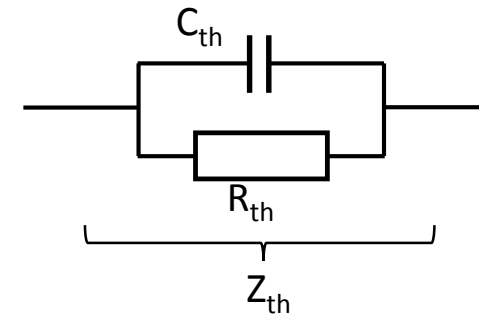
УПРОШТЕНА ТЕРМИЧКА ПРЕДСТАВА ПРЕТВАРАЧА

Упроштена термичка представа подржава редну везу више елемената у сложенијој представи више нивоа.



- термичка импеданса Z_{th} :

Произвођачи компоненти уобичајено користе Фостеров модел термичке импедансе у опису особина компоненти.



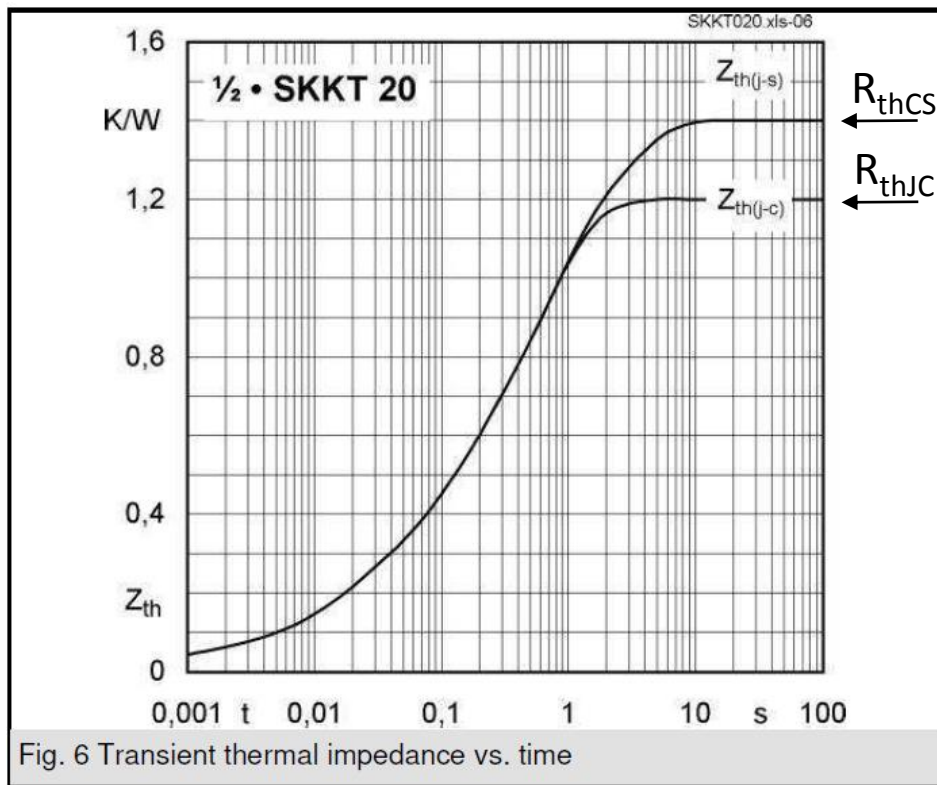
$$Z_{th} = R_{th} \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau_{th}}}\right)$$

R_{th} – термичка отпорност
 τ_{th} – термичка временска константа

Z_{th} се примењује у прорачуну таласања температуре споја, T_J , око средње вредности, нпр. при појави периодично променљивих оптерећења.

Z_{th} се изражава углавном у $^{\circ}\text{K}/\text{W}$. Међутим, прелаз на јединицу $^{\circ}\text{C}/\text{W}$ неће имати утицај јер се термичком анализом рачуна прираштај у температури, а он је исти у $^{\circ}\text{C}$ и $^{\circ}\text{K}$.

- термичка импеданса Z_{th} :



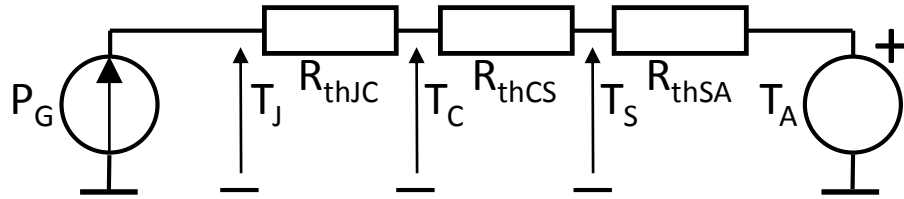
Зависност одговарајуће термичке импедансе од временског периода након нагле промене снаге губитака, P_G , дате претходно наведеним изразом $Z_{th} = R_{th} \cdot (1 - e^{-\frac{t}{\tau_{th}}})$, се уобичајено даје у облику дијаграма $Z_{th} = f(t)$; знатно ређе се дају вредности термичких временских константи, τ_{th} , па овај приступ у примени термичке представе неће бити разматран.

Након одређеног временског периода, протеклог након промене P_G , температуре посматраних нивоа ће се усталисти. У одговарајућем дијаграму Z_{th} ово одговара томе да Z_{th} досиже вредност R_{th} .

Примена дијаграма $Z_{th} = f(t)$ ће бити образложена кроз пример дат касније.

УПРОШТЕНА ТЕРМИЧКА ПРЕДСТАВА ПРЕТВАРАЧА

- термичка анализа у устаљеном стању (усредњена анализа):



$$T_J = T_A + P_G \cdot \sum R_{th}$$

Пример прорачуна средње вредности температуре споја, T_J :

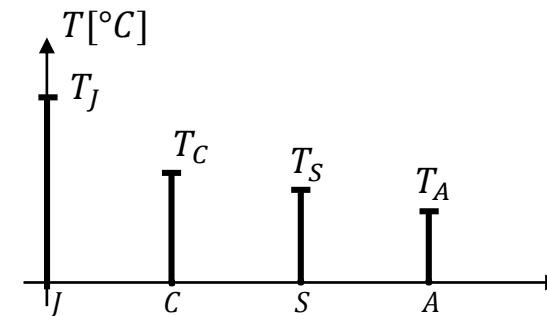
термички подаци о компоненти и хладњаку: $R_{thJC}=0,3^\circ\text{K/W}$, $R_{thCS}=0,05^\circ\text{K/W}$, $R_{thSA}=0,08^\circ\text{K/W}$

прорачунати губици: $P_G=150\text{W}$ највећа очекивана температура околине: $T_A=50^\circ\text{C}$

$$T_S = T_A + P_G \cdot R_{thSA} = 50 + 150 \cdot 0,08 = 50 + 12 = 62^\circ\text{C}$$

$$T_C = T_S + P_G \cdot R_{thCS} = 62 + 150 \cdot 0,05 = 62 + 7,5 = 69,5^\circ\text{C}$$

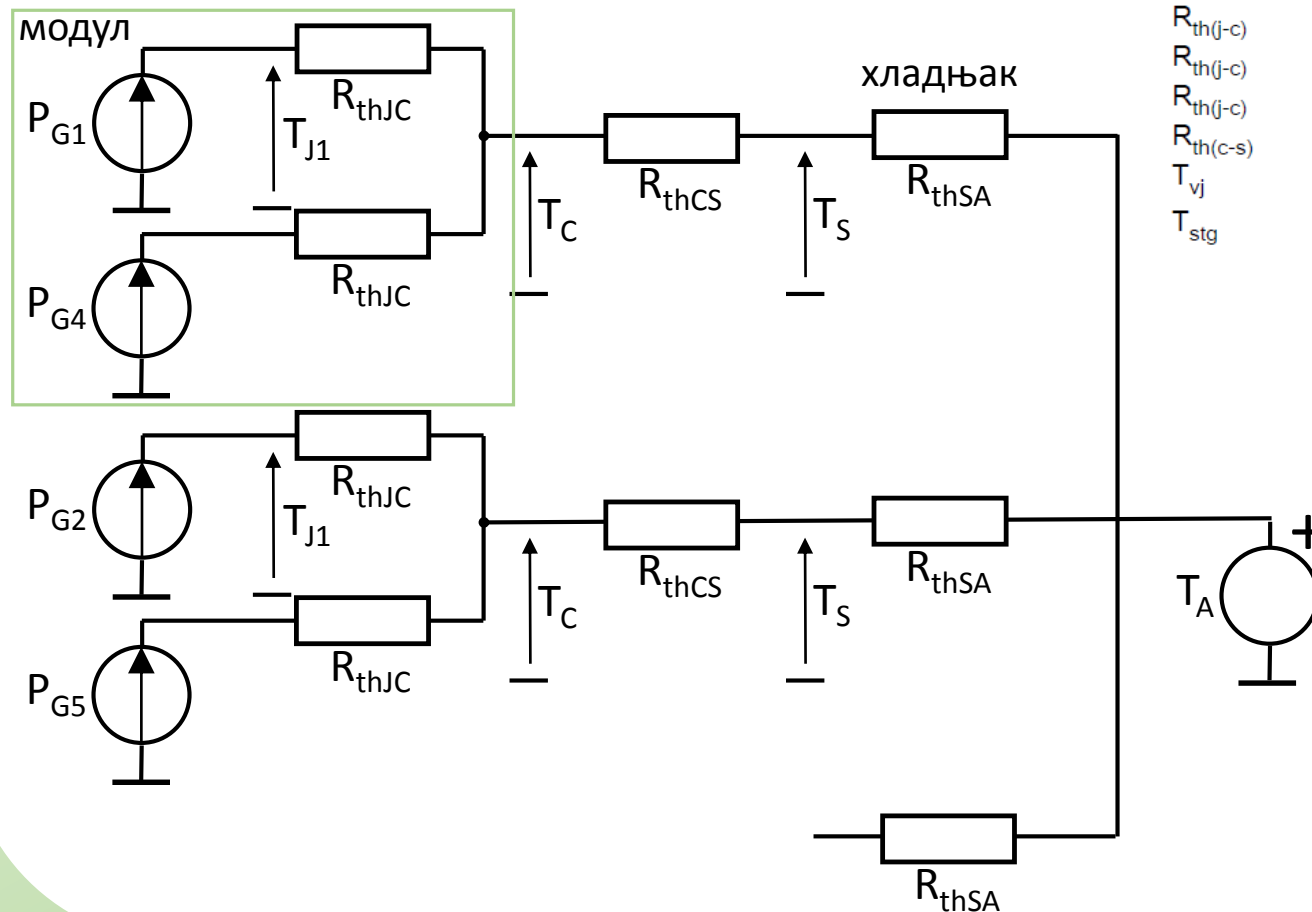
$$T_J = T_C + P_G \cdot R_{thJC} = 69,5 + 150 \cdot 0,3 = 69,5 + 45 = 114,5^\circ\text{C}$$



УПРОШТЕНА ТЕРМИЧКА ПРЕДСТАВА ПРЕТВАРАЧА

У случају да постоји више компоненти у кућишту, више кућишта на хладњаку и више уређаја у истом окружењу, поједини чиниоци се уливају (сабирају) према температури окружења.

Пример: два триситора у истом кућишту, свако кућиште има свој хладњак (NTE441A, $R_{thSA}=0,7\text{ }^{\circ}\text{C/W}$)



$R_{th(j-c)}$
 $R_{th(j-c)}$
 $R_{th(j-c)}$
 $R_{th(c-s)}$
 T_{vj}
 T_{stg}

cont.; per thyristor / per module
 sin. 180; per thyristor / per module
 rec. 120; per thyristor / per module
 per thyristor / per module

1,2 / 0,6

1,3 / 0,65

1,35 / 0,68

0,2 / 0,1

- 40 ... + 125

- 40 ... + 125

K/W

K/W

K/W

K/W

$^{\circ}\text{C}$

$^{\circ}\text{C}$

$$P_G = 14,8W$$

$$T_S = 2 \cdot P_G \cdot R_{thSA} + T_A = 2 \cdot 14,8 \cdot 0,7 + 50 = 20,72 + 50 = 70,72^{\circ}\text{C}$$

$$T_C = 2 \cdot P_G \cdot R_{thCS} + T_S = 2 \cdot 14,8 \cdot 0,1 + 70,72 = 2,96 + 70,72 = 73,68^{\circ}\text{C}$$

$$T_J = P_G \cdot R_{thJC} + T_C = 14,8 \cdot 0,68 + 73,68 = 10,1 + 73,68 = 83,75^{\circ}\text{C}$$

- термичка анализа у присуству пулсирајућег оптерећења
(примена Z_{th})

Ако постоји пулсирајуће оптерећење на излазу претварача или други узрок наглих промена снаге губитака на полупроводничким компонентама, P_G , оно може довести до значајних таласања температуре, пре свега споја, у односу на средњу температуру.

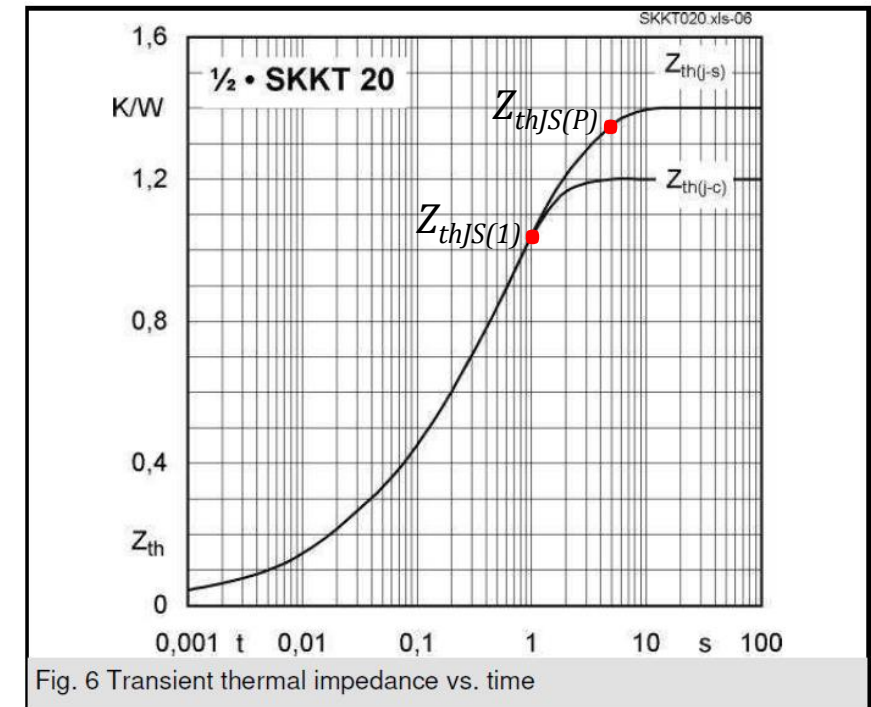
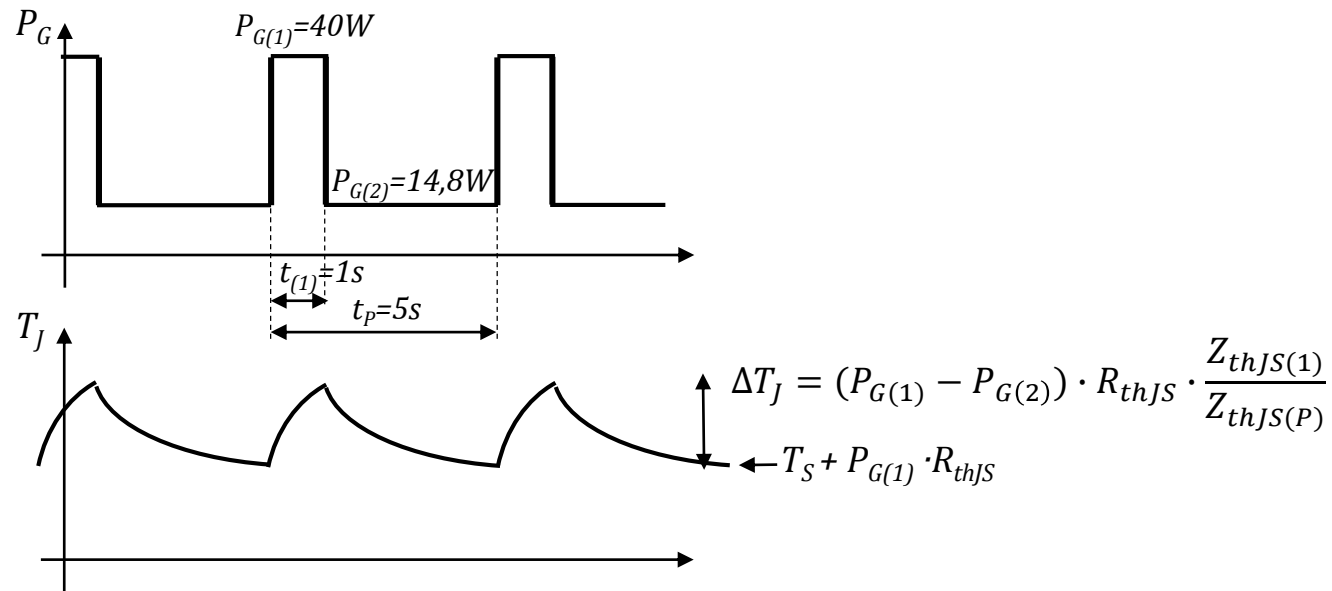
С обзиром на велики термички капацитет хладњака и околине, претпоставља се да ове промене неће утицати на нагле промене температуре ових нивоа, односно да ће оне остати једнаке својим средњим вредностима, T_A односно T_S .

Додатни раст температуре споја услед појаве пулсева, ΔT_J , се рачуна на следећи начин:

$$\Delta T_J = (P_{G(1)} - P_{G(2)}) \cdot R_{thJS} \cdot \frac{Z_{thJS(1)}}{Z_{thJS(P)}}$$

где је $P_{G(1)}$ снага губитака током трајања пулса оптерећења, $P_{G(2)}$ снага губитака ван пулсева, $Z_{thJS(1)}$ термичка импеданса спој-хладњак за период трајања пулса и $Z_{thJS(P)}$ термичка импеданса спој-хладњак за период понављања пулса.

Пример примене термичке анализе у присуству пулсирајућег оптерећења:
(наставка примера за два тиристора у истом кућишту)



$$T_S = 2 \cdot \left(P_{G(1)} \cdot \frac{1s}{5s} + P_{G(2)} \cdot \frac{4s}{5s} \right) \cdot R_{thSA} + T_A = 2 \cdot \left(40 \cdot \frac{1}{5} + 14,8 \cdot \frac{4}{5} \right) \cdot 0,7 + 50 = 77,8^\circ\text{C}$$

$$\begin{aligned} T_J &= T_S + P_{G(1)} \cdot R_{thJS} + (P_{G(1)} - P_{G(2)}) \cdot R_{thJS} \cdot \frac{Z_{thJS(1)}}{Z_{thJS(P)}} \\ &= 77,8 + 14,8 \cdot 1,55 + (40 - 14,8) \cdot 1,55 \cdot \frac{1,05}{1,35} = 131,1^\circ\text{C} \end{aligned}$$

Приметити да су за податке R_{thJS} и Z_{thJS} коришћене вредности које обухватају оба споја унутар модула, док су претходно коришћене вредности које се односе на појединачни спој. Разлог је што је график $Z_{thJS} = f(t)$ дат за обухваћене спојеве.