

НАБЛИЖЕНИЙ РОЗРАХУНОК СТРУМУ РОБОЧОГО ПЕРЕВАНТАЖЕННЯ ТРІАКІВ

Approximated calculation of triac working overload current

The article deals with methods of calculation of working overload current of triacs, working in various regims. triac, dissipated power, overheating

Однією з основних сфер застосування тріаків є безконтактні комутатори (ключі змінного струму). Характерно, що під час функціонування тріаків у цих пристроях на тріак впливає (при кожному його включенні) перевантаження за струмом, величина і тривалість якого обумовлені характером навантаження.

Рекомендовані в [1, 2] методи розрахунку струму робочого перевантаження, на жаль, мають загальний характер, тож не дають змоги виконувати розрахунки тільки на підставі даних, які наводяться в інформаційних каталогах на тріаки. Метою цієї праці є розробка методики, придатної для інженерних розрахунків струму робочого перевантаження, яка дасть можливість правильно вибрати тип тріака для заданого режиму експлуатації.

Струм робочого перевантаження $I_{T(OV)}$ — це струм відкритого стану, який при постійному протіканні мав би викликати перевищення максимально допустимої ефективної температури переходу, але який настільки обмежений у часі, що температура не перевищується.

Потужність, що розсіюється в тріаку, визначається за формулою:

$$P_m = \frac{U_{T(TO)}}{k_\phi} I_{TRMS} + r_T I_{TRMS}^2 \quad (1)$$

де $U_{T(TO)}$ — гранична напруга;

r_T — динамічний опір;

I_{TRMS} — ефективне значення синусоїдального струму

З формули (1):

$$I_{TRMS} = \frac{\sqrt{\left(\frac{U_{T(TO)}}{k_\phi}\right)^2 + 4r_T P_m} - \frac{U_{T(TO)}}{k_\phi}}{2r_T} \quad (2)$$

Амплітудне значення струму

$$I_m = 2I_{TRMS} \quad (3)$$

Позначимо I_m , як струм робочого перевантаження, тобто $I_m = I_{T(OV)}$.

Максимально допустима потужність, що розсіюється тріаком, залежить від максимально допустимої температури переходу тріака, попереднього навантаження тріака, температури навколишнього середовища і теплового опору тріака з охолоджувачем:

$$I_m = \frac{\Delta T_{jm}}{Z_{(th)ja}(t)} \quad (4)$$

де: ΔT_{jm} — максимальний перегрів переходу від протікання струму перевантаження;

t — час протікання струму перевантаження;

$Z_{(th)ja}(t)$ — тепловий опір тріака з охолоджувачем у момент часу t , що відповідає тривалості перевантаження.

Максимально допустимий перегрів переходу тріака від струму перевантаження за умови, що перевантаженню передував струм навантаження I_{nonper} , визначається за формулою:

$$\Delta T_{jm} = T_{jm} - T_a - P_a (R_{thja} - Z_{(th)ja}(t)), \quad (5)$$

де T_{jm} — максимально допустима температура p - n переходу;

T_a — температура навколишнього середовища;

P_a — середнє значення потужності, що розсіюється від попереднього струму навантаження синусоїдальної форми:

$$P_a = r_T I_{nonper}^2 + \frac{U_{T(TO)}}{k_\phi} I_{nonper}; \quad (6)$$

k_ϕ — коефіцієнт форми струму;

R_{thja} — сталий тепловий опір тріака з охолоджувачем.

Для визначення максимального перегріву тріака ΔT_{jm} від розсіюваної потужності, P_m (формула (1)) представляємо виділену потужність у вигляді прямокутних імпульсів, еквівалентних синусоїдальним (рис. 1).

Тривалість прямокутних імпульсів струму, за потужністю еквівалентних синусоїдальним імпульсам струму перевантаження, визначається за формулою:

$$\tilde{t}_u = t_u = \frac{\frac{2}{\pi} + \chi}{1 + \chi}, \quad (7)$$

де \tilde{t}_u — тривалість еквівалентного імпульсу потужності;

t_u — тривалість синусоїдального імпульсу,

$$\chi = \frac{r_T I_m}{U_{T(TO)}}. \quad (8)$$

Залежно від I_m значення χ міняється від 0,5 до 0,64.

Приймаємо $\chi = 0,6$.

Тоді тривалість еквівалентних прямокутних імпульсів дорівнюватиме:

$$\tilde{t}_u = 0,6 t_u.$$

При синусоїдальному струмі частотою $f = 50$ Гц тривалість імпульсу $t_u = 10$ мс.

Таким чином, тривалість еквівалентного імпульсу

$$\tilde{t}_u = 0,6 \times 10 = 6 \text{ мс}$$

Максимальні значення температури переходу будуть наприкінці n -го еквівалентного імпульсу, тобто в моменти часу: 6 мс, 16 мс, 26 мс, 36 мс, ..., $(k-1) t_u + \tilde{t}_u$, де $k = 1, 2, 3, \dots$ — порядковий номер імпульсу (рис. 1).

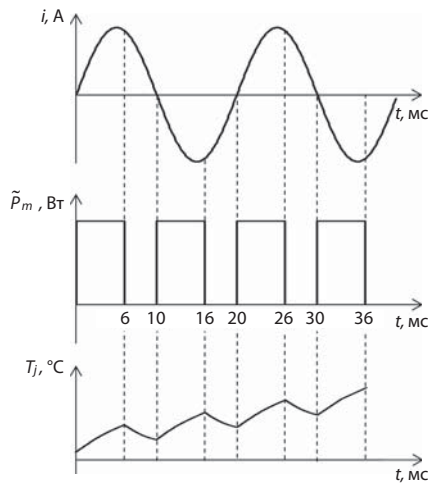


Рис. 1. Графік зміни температури р-п переходу під час навантаження синусоїдальним струмом

Якщо тривалість перевантаження – t , то число цілих синусоїдальних імпульсів:

$$n = \frac{t}{t_u}$$

Припустимо, тривалість перевантаження дорівнює 30 мс. Тоді число цілих синусоїдальних імпульсів:

$$n = \frac{30}{10} = 3$$

Третій еквівалентний імпульс закінчується через 26 мс від початку перевантаження. Виходить, у цей момент часу перегрів буде максимальним:

$$\begin{aligned} \Delta T_{jm} &= P_m Z_{(th)t}(26) - P_m Z_{(th)t}(26-6) + \\ &+ P_m Z_{(th)t}(26-10) - P_m Z_{(th)t}(26-16) + \\ &+ P_m Z_{(th)t}(26-20) = \\ &= P_m [Z_{(th)t}(26) - Z_{(th)t}(20) + Z_{(th)t}(16) - \\ &- Z_{(th)t}(10) + Z_{(th)t}(6)] \end{aligned} \quad (9)$$

Якщо кількість імпульсів струму n , то рівняння (9) у загальному вигляді запишеться:

$$T_{jm} = P_m \sum_{k=1}^n \{Z_{(th)t}(t_u + (k-1)t) - Z_{(th)t}(k-1)t\} \quad (10)$$

Для струму перевантаження, з врахуванням рівнянь (2), (3), (4), (5) і (10), одержимо:

$$P_{T(OV)} = \frac{\sqrt{\left(\frac{U_{T(O)}}{k_\phi}\right)^2 + 4r_T \frac{T_{jm} - T_a - P_a [R_{thja} - Z_{(th)ja}(t)]}{\sum_{k=1}^n \{Z_{(th)t}[\tilde{t}_u + (k-1)t_u] - Z_{(th)t}(k-1)t_u\}}} \cdot U_{T(O)}}{\sqrt{2} r_T} \cdot k_\phi \quad (11)$$

Для випадків, коли число імпульсів n велике (при $t \geq 1$), тепловий опір приладу можна усереднити за формулою:

$$\sum_{k=1}^n Z_{(th)t} = \frac{\tilde{t}_u}{t_u} Z_{(th)t}(t) + \left(1 - \frac{\tilde{t}_u}{t_u}\right) Z_{(th)t}(t_u + \tilde{t}_u) - Z_{(th)t}(t_u) + Z_{(th)t}(\tilde{t}_u) \quad (12)$$

Для струму перевантаження частотою 50 Гц тривалістю понад 1 секунду:

$$\Delta T_{jm} = P_m \left[\frac{\tilde{t}_u}{t_u} Z_{(th)t}(t) + \left(1 - \frac{\tilde{t}_u}{t_u}\right) Z_{(th)t}(t_u + \tilde{t}_u) - Z_{(th)t}(t_u) + Z_{(th)t}(\tilde{t}_u) \right] \quad (13)$$

З урахуванням значень $\tilde{t}_u = 6$ мс, $t = 10$ мс, рівняння (13) запишеться:

$$\Delta T_{jm} = P_m [0,6 Z_{(th)t}(t) + 0,4 Z_{(th)t}(16) - Z_{(th)t}(10) + Z_{(th)t}(6)] \quad (14)$$

Для величини струму перевантаження $I_{T(OV)}$ тривалістю понад 1 секунду, з урахуванням (14), одержимо:

$$I_{T(OV)} = \frac{\sqrt{\left(\frac{U_{T(O)}}{k_\phi}\right)^2 + 4r_T \frac{T_{jm} - T_a - P_a [R_{thja} - Z_{(th)ja}(t)]}{0,6 Z_{(th)t}(t) + 0,4 Z_{(th)t}(16) - Z_{(th)t}(10) + Z_{(th)t}(6)}} \cdot U_{T(O)}}{\sqrt{2} r_T} \cdot k_\phi \quad (15)$$

Таким чином, струм робочого перевантаження можна приблизно розрахувати за формулами (11) і (15), користуючись залежністю теплового опору від часу.

Коли струм робочого перевантаження протікає безпосередньо після включення триака, тобто коли попередній струм навантаження дорівнює нулю:

$$I_{T(OV)} = \frac{\sqrt{\left(\frac{U_{T(O)}}{k_\phi}\right)^2 + 4r_T \frac{T_{jm} - T_a}{0,6 Z_{(th)t}(t) + 0,4 Z_{(th)t}(16) - Z_{(th)t}(10) + Z_{(th)t}(6)}} \cdot U_{T(O)}}{\sqrt{2} r_T} \cdot k_\phi \quad (16)$$

Всі параметри, необхідні для розрахунку, наводяться в інформаційному каталозі на даний тип триаку. Залежність перехідного теплового опору Z від часу t визначається експериментально і представлена в каталозі на графіках.

Наприклад, графік залежності Z від t для триака ТС142-80 має вигляд, як на мал. 2.

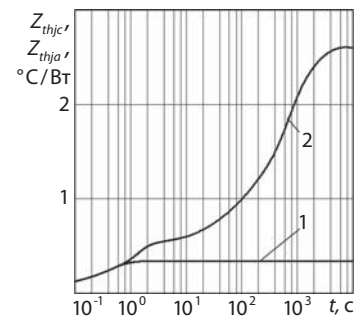


Рис. 2. Залежність перехідного теплового опору «перехід-корпус» Z_{thjc} (1) та «перехід-середовище» Z_{thja} (2) від часу t при природному охолодженні на типовому охолоджувачі при температурі навколишнього середовища $T_a = 40^\circ\text{C}$.

Висновки

Запропоновано формули для інженерних розрахунків струму робочого перевантаження триаків. Розрахунок може бути виконаний на підставі даних, наведених в інформаційному каталозі «Силловые полупроводниковые приборы ДИОДЫ, ТИРИСТОРЫ, ТРИАКИ ШТЫРЕВОЙ КОНСТРУКЦИИ на токи 10–125А» производства ООО «Элемент-Преобразователь».

ЛІТЕРАТУРА

1. А.А. Рабинерсон, Г.А. Ашкинази. Режимы навантаження силових напівпровідникових приладів. – М.: Энергія, 1976.
2. Расчет силовых полупроводниковых приборов. Под редакцией В.А. Кузьмина. Москва. «Энергия». 1980.
3. В.Л. Шпер, Об эквивалентном импульсе мощности. Э.П. «Преобразовательная техника», выпуск 6 (125).
4. Кремниевые управляемые вентили – тиристоры. Перевод с английского под редакцией В.А. Лабунцова и А.Ф. Свиридова. «Энергия», 1964.
5. Каталог «Силловые полупроводниковые приборы ДИОДЫ, ТИРИСТОРЫ, ТРИАКИ ШТЫРЕВОЙ КОНСТРУКЦИИ на токи 10-125А» производства ООО «Элемент-Преобразователь». [Http://www.element.zp.ua](http://www.element.zp.ua).