

## Визначення інтеграла Джоуля

Кількість тепла, що виділилося у провіднику, визначається **інтегралом Джоуля** – імпульсом квадратичного струму:

$$B_K = \int_0^{t_{\text{відкл}}} I_{\text{кт}}^2 dt = \int_0^{t_{\text{відкл}}} (I_{\text{П}} + I_{\text{А}})^2 dt.$$

Без суттєвої похибки можна вважати, що

$$B_K = B_{\text{К.П}} + B_{\text{К.А}},$$

де  $B_{\text{К.П}}$  – інтеграл від періодичної складової струму КЗ,

$B_{\text{К.А}}$  – інтеграл від аперіодичної складової струму КЗ.

Розрізняють 4 типи розрахункових схем:

1) Якщо в розрахунковій схемі для **всіх джерел** (систем, генераторів, синхронних компенсаторів) КЗ є **віддаленим** (тобто **відношення** діючого значення періодичної складової струму будь-якого генератора в початковий момент КЗ до його номінального струму **менше двох**), то перетворенням схеми всі джерела енергії замінюють **одним** еквівалентним джерелом, ЕРС якого не змінюється.

При цьому інтеграл Джоуля визначають за формулою

$$B_K = I_{\text{П.С}}^2 \left[ t_{\text{відкл}} + T_{\text{А.С}} \left( 1 - e^{-\frac{2t_{\text{відкл}}}{T_{\text{А.С}}}} \right) \right], \quad (1)$$

де  $I_{\text{П.С}}$  – діюче значення періодичної складової струму КЗ від еквівалентного джерела (системи);

$T_{\text{А.С}}$  – постійна часу затухання аперіодичної складової струму КЗ від еквівалентного джерела;

$$t_{\text{відкл}} = t_{\text{р.з.}} + t_{\text{вим}},$$

де  $t_{\text{р.з.}}$  – час дії основного релейного захисту;

$t_{\text{вим}}$  – повний час відключення вимикача

Спрощена формула визначення інтеграла Джоуля:

$$B_{\text{К}} \approx I_{\text{П.С.}}^2 (t_{\text{відкл}} + T_{\text{А.С}}).$$

2) Якщо в розрахунковій схемі для всіх джерел (генераторів, синхронних компенсаторів) КЗ є близьким (тобто відношення діючого значення періодичної складової струму будь-якого генератора в початковий момент КЗ до його номінального струму не менше двох), то інтеграл Джоуля визначають за формулою

$$B_{\text{К}} = I_{\text{П.0.Г}}^2 \left[ B_{\text{К.Г}}^* t_{\text{відкл}} + T_{\text{А.Г}} \left( 1 - e^{-\frac{2t_{\text{відкл}}}{T_{\text{А.Г}}}} \right) \right], \quad (2)$$

де  $I_{\text{П.0.Г}}$  – початкове діюче значення періодичної складової струму КЗ від генератора;

$T_{\text{А.Г}}$  – постійна часу затухання аперіодичної складової струму КЗ від генератора;

$B_{\text{К.Г}}^*$  – відносний інтеграл Джоуля від генератора (його значення при різних віддаленостях точки КЗ від генератора знаходять за рис. 1).

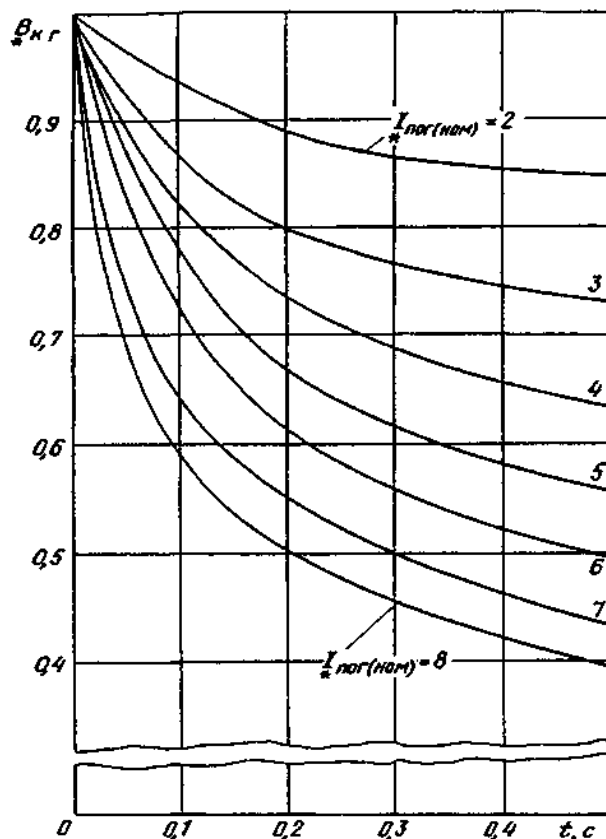


Рисунок 1 – Криві для визначення  $B_{KГ}$  від синхронних генераторів

Спрощена формула визначення інтеграла Джоуля:

$$B_K \approx I_{\text{п.о.г}}^2 \left( B_{KГ} t_{\text{відкл}} + T_{A.Г} \right).$$

3) Якщо в розрахунковій схемі є джерела, для яких КЗ є віддаленим, та генератор, для якого КЗ є близьким, то інтеграл Джоуля від періодичної складової визначають за формулою

$$B_{K.П} = \left( I_{\text{п.с}}^2 + 2I_{\text{п.с}} I_{\text{п.о.г}} Q_{KГ} + I_{\text{п.о.г}}^2 B_{KГ} \right) t_{\text{відкл}}, \quad (3)$$

де  $Q_{к.Г}^*$  – відносний інтеграл від періодичної складової струму КЗ від генератора (його значення при різних віддаленостях точки КЗ від генератора знаходять за рис. 2).

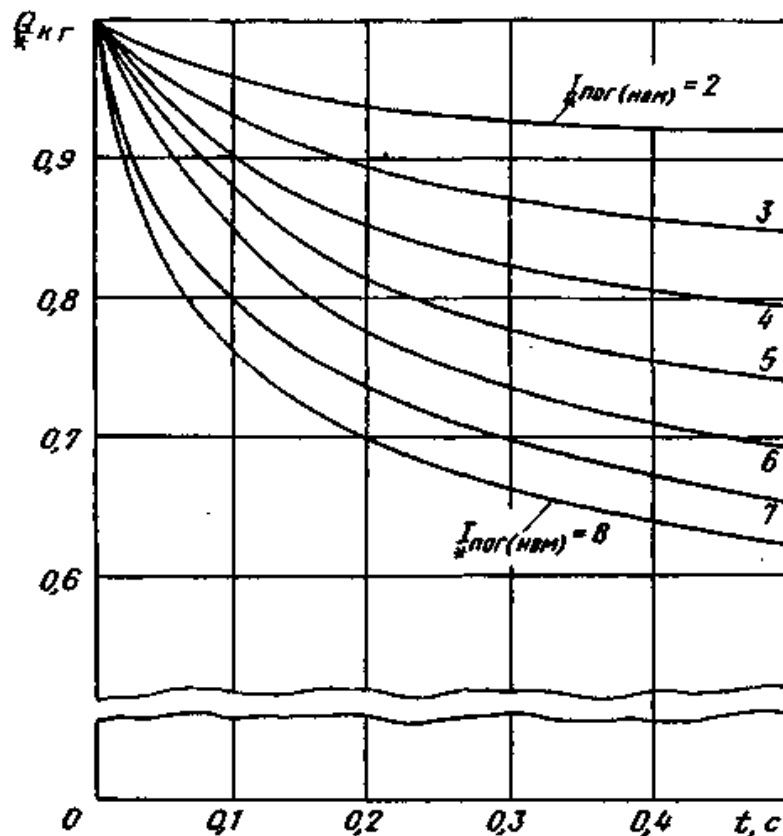


Рисунок 2 – Криві для визначення  $Q_{к.Г}^*$  від синхронних генераторів

Інтеграл Джоуля від аперіодичної складової визначають за формулою

$$\begin{aligned}
 B_{к.А} = & I_{п.с}^2 T_{А.с} (1 - e^{-\frac{2t_{відкл}}{T_{А.с}}}) + I_{п.о.г}^2 T_{А.г} (1 - e^{-\frac{2t_{відкл}}{T_{А.г}}}) + \\
 & + \frac{4I_{п.с}I_{п.о.г}}{\frac{1}{T_{А.с}} + \frac{1}{T_{А.г}}} (1 - e^{-t_{відкл}(\frac{1}{T_{А.с}} + \frac{1}{T_{А.г}})}). \quad (4)
 \end{aligned}$$

Спрощена формула визначення інтеграла Джоуля:

$$B_{K.A} = I_{П.С}^2 T_{A.C} + I_{П.0Г}^2 T_{A.Г} + \frac{4I_{П.С}I_{П.0Г}}{\frac{1}{T_{A.C}} + \frac{1}{T_{A.Г}}}$$

4) Якщо в розрахунковій схемі є джерела, для яких КЗ є віддаленим, та група однотипних електродвигунів (синхронних або асинхронних), для яких КЗ є близьким, то інтеграл Джоуля від періодичної складової визначають за формулою

$$B_{K.П} = \left( I_{П.С}^2 + 2I_{П.С}I_{П.0Д} Q_{K.Д} + I_{П.0Д}^2 B_{K.Д} \right) t_{відкл}, \quad (5)$$

де  $B_{K.Д}$ ,  $Q_{K.Д}$  – відносні інтеграли Джоуля від електродвигуна (їх значення при різних віддаленостях точки КЗ для синхронного двигуна знаходять за рис. 3, а для асинхронного – за рис. 4).

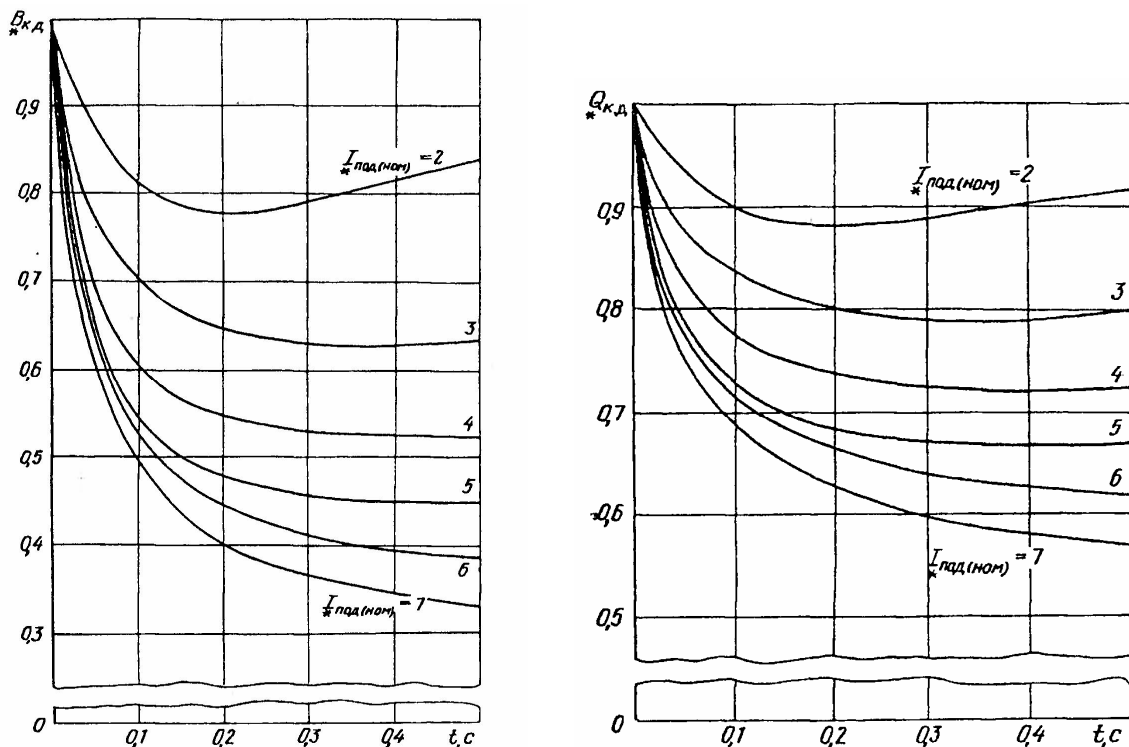


Рисунок 3 – Криві для визначення  $B_{K.Д}$ ,  $Q_{K.Д}$  від синхронних двигунів

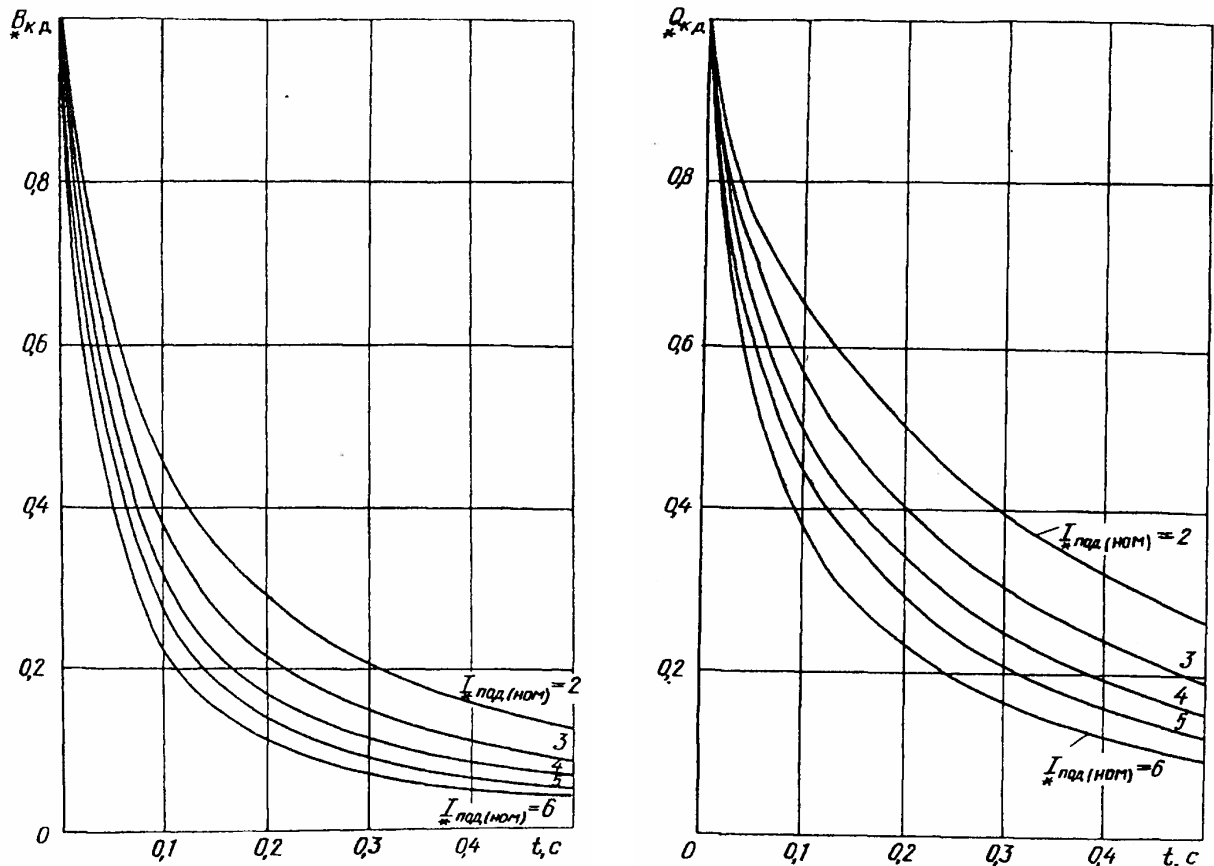


Рисунок 4 – Криві для визначення  $V_{кд}^*$ ,  $Q_{кд}^*$  від асинхронних двигунів

Інтеграл Джоуля від аперіодичної складової визначають за формулою

$$\begin{aligned}
 V_{к.А} = & I_{п.с}^2 T_{А.с} (1 - e^{-\frac{2t_{відкл}}{T_{А.с}}}) + I_{п.о.д}^2 T_{А.д} (1 - e^{-\frac{2t_{відкл}}{T_{А.д}}}) + \\
 & + \frac{4I_{п.с}I_{п.о.д}}{\frac{1}{T_{А.с}} + \frac{1}{T_{А.д}}} (1 - e^{-t_{відкл} \left( \frac{1}{T_{А.с}} + \frac{1}{T_{А.д}} \right)}). \quad (6)
 \end{aligned}$$

Спрощена формула визначення інтеграла Джоуля:

$$V_{к.А} = I_{п.с}^2 T_{А.с} + I_{п.о.д}^2 T_{А.д} + \frac{4I_{п.с}I_{п.о.д}}{\frac{1}{T_{А.с}} + \frac{1}{T_{А.д}}}.$$