

РОЗРАХУНОК ПІКОВИХ НАВАНТАЖЕНЬ, ЩО СТВОРЮЮТЬ УСТАНОВКИ ДЛЯ КОНТАКТНОГО ЕЛЕКТРОЗВАРЮВАННЯ В ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ

Денисенко М.А., докт. техн. наук ФРН,
Національний технічний університет України «КПІ»

ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

Під час проектування електричних мереж, що живлять установки для контактної електрозварювання (УКЕ), розрахункові пікові навантаження використовують для вибору комутаційних та захисних апаратів цих мереж.

Розрахункове пікове навантаження $S_{п.і}$ однієї УКЕ, що містить один зварювальний трансформатор (ЗТ), знаходять згідно [1] за формулою

$$S_{п.і} = U_{2.хх.макс} I_{2.кз.макс} \quad (1)$$

де $U_{2.хх.макс}$, $I_{2.кз.макс}$ — максимальні значення напруги холостого ходу та струму короткого замикання (с.к.з.) на вторинній стороні ЗТ.

За відсутності цих даних приймають $S_{п.і} = 3S_{наст}$.

Для багато трансформаторних УКЕ величину $S_{п.і}$ розраховують з урахуванням $U_{2.хх.макс}$, $I_{2.кз.макс}$ кожного ЗТ, кількості ЗТ, що одночасно вмикають, і їх розподілу в трифазній мережі.

Під час розрахунку пікового навантаження групи УКЕ окрім ступінчастості графіка електричних навантажень (ЕН) (одноступінчасті і багато ступінчасті) необхідно враховувати наступне [2]. Зварювальні трансформатори звичайно виготовляють на напругу 380 В. У кожній багато точковій УКЕ одна або декілька груп ЗТ своїми контакторами можуть вмикатись одночасно на одну, дві або три лінійні напруги (однофазні, двофазні і трифазні УКЕ відповідно).

Як правило, УКЕ працюють незалежно. Однак, в автоматизованих зварювальних лініях може передбачатись одночасне увімкнення декількох УКЕ. Крім того, з метою зниження пікових навантажень потужні УКЕ блокувальними пристроями вмикають за схемою чекання, тобто вони можуть працювати за чергою. Також кожному багато точкову УКЕ, групи ЗТ якої вмикаються за чергою, також можна розглядати як групу однофазних УКЕ, що вмикаються за чергою.

В даній статті надається метод розрахунку пікових навантажень групи УКЕ, розроблений в [3...7]. Одержання вихідних даних для розрахунку — повної потужності S_i і коефіцієнта увімкнення $K_{y,i}$ кожної i -ї УКЕ наведено в [8]. Для УКЕ величина $K_{y,i}$ тотожна тривалості увімкнення TB_i .

ПРОПОНОВАНИЙ МЕТОД РОЗРАХУНКУ ПІКОВИХ НАВАНТАЖЕНЬ

Розрахунок пікових навантажень, як і навантажень за нагріванням [2], пропонується здійснювати за повною потужністю. Розрахунку передують розподіл одно- і двофазних УКЕ в трифазній мережі. Умову і порядок такого розподілу наведено в [2].

Знаходження розрахункового пікового навантаження $S_{п}$ пропонується вести за найбільш навантаженим плечем (міжфазною напругою) трифазної мережі. При цьому ЕН кожної однофазної $S_i^{(1)}$ і двофазної $S_i^{(2)}$ УКЕ приводять до трифазних ЕН $S_i^{(3)}$.

Для однофазних УКЕ використовують формулу

$$S_i^{(3)} = a_i^{(1)} S_i^{(1)}, \quad (2)$$

де $a_i^{(1)}$ — коефіцієнт приведення, рівний: 2 — для однофазних УКЕ, які вмикають на напругу розрахункового плеча (розрахункову міжфазну напругу); 0,5 — для однофазних УКЕ, які вмикають на дві інші міжфазні напруги.

Для двофазних УКЕ застосовують одну з формул:

$$S_i^{(3)} = 2S_1 + 0,5S_2; S_i^{(3)} = 0,5S_1 + 0,5S_2. \quad (3)$$

Перша — якщо двофазна УКЕ вмикається тільки одним плечем (S_1) на розрахункову напругу; друга — якщо двофазна УКЕ не вмикається на розрахункову напругу жодним плечем. Якщо $S_1 = S_2$, відповідно одержуємо:

$$S_i^{(3)} = 1,25 \cdot S_i^{(2)}; S_i^{(3)} = 0,5 \cdot S_i^{(2)}. \quad (4)$$

Умовою такого приведення є рівність падіння напруги в трифазній мережі, яке створює одно- або двофазна УКЕ і приведена трифазна УКЕ.

Для подолання труднощів подальшого розрахунку, пов'язаних з відмінністю величин S_i і коефіцієнтів увімкнення $K_{y,i}$, група трифазних і приведених до них УКЕ замінюється потім однією УКЕ максимальної потужності S_M і умовною n_y кількістю УКЕ з однаковою умовною потужністю S_y кожної УКЕ.

Величини n_y і S_y у підраховують за формулами:

$$n_y = \frac{\left(\sum_{i=1}^n S_i K_{y,i} - S_{i,m} K_{y,y} \right)}{\left(\sum_{i=1}^n S_i^2 K_{y,i} - S_{i,m}^2 K_{y,y} \right) K_{y,y}}; \quad (5)$$

$$S_y = \frac{\sum_{i=1}^n (S_i K_{y,i}) - S_{i,m} K_{y,y}}{n_y K_{y,y}}, \quad (6)$$

де $K_{y,y}$ — умовний коефіцієнт увімкнення однієї УКЕ після заміни, рівний середньому значенню коефіцієнтів $K_{y,i}$ всіх УКЕ.

Формули (5), (6) отримано за умови рівності середніх значень і дисперсій упорядкованої діаграми (УД) навантаження УКЕ і її двоступінчастої моделі (ДМ) згідно рис.1.

Величину S_n підраховують за виразом

$$S_n = S_m + (x - 1)S_y, \quad (7)$$

де x — величина еквівалентних перекриттів, яку знаходять за кривими [4, 6, 7] в залежності від $n = n_y + 1$, $K_y = K_{y,y}$ і прийнятої імовірності α . На рис.2 надано такі криві за імовірності $\alpha = 0,001$.

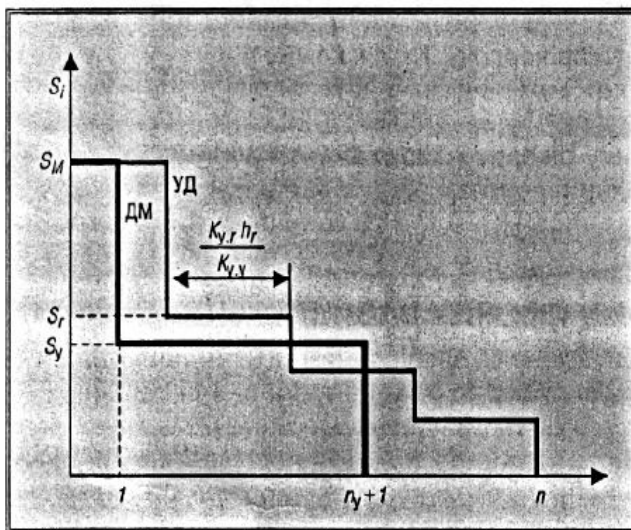
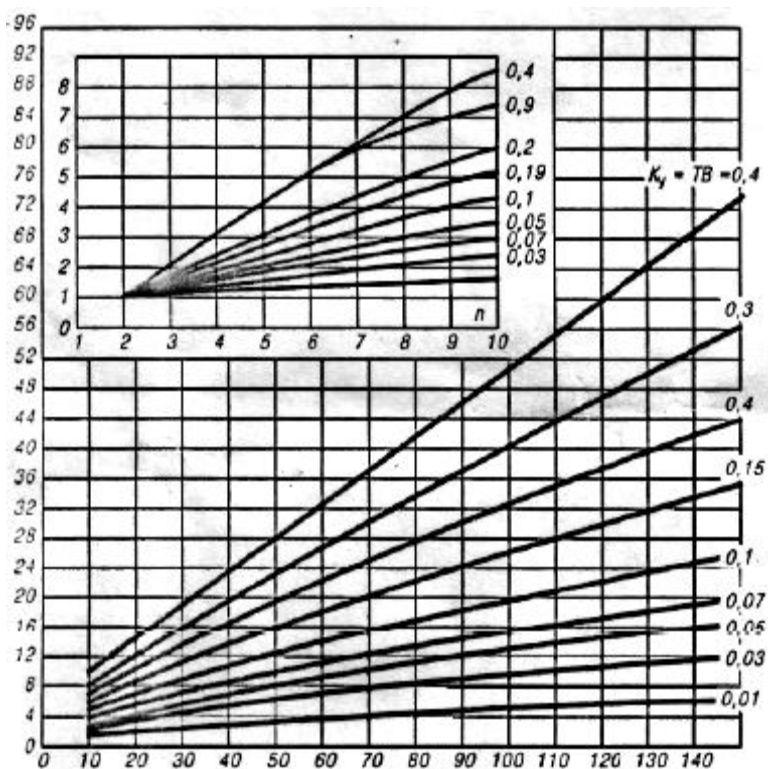


Рис. 1. Упорядкована діаграма навантаження УКЕ і її двоступінчаста модель

Фізичний сенс величини x видно на рис.3: вона дорівнює сумарному часу одночасної роботи всіх $n = n_y + 1$, УКЕ на даному інтервалі t_x . Величина t_x дорівнює проміжку часу 0, на якому знаходять розрахункове пікове навантаження.

Значення імовірності α витікає з визначення розрахункового пікового навантаження S_n , за яке приймають не його максимально можливе значення S_{\max} , а деяке менше значення S_α , імовірність α перевищення якого допустимо мала (рис. 4).

З рис. 4, де представлена функція розподілу $F(S)$ навантаження S групи УКЕ, витікає, що α є імовірністю того, що $S \geq S_n$. Якщо електрична мережа, що живить УКЕ, вибрана за умови допустимої втрати напруги $\Delta U_{д}$ і $S_n = S_{\alpha}$, то α є також імовірністю небажаної події $\Delta U \geq \Delta U_{д}$. Таким чином, величина α пов'язана з ризиком не провару (браку) зварених точок і повинна узгоджуватися з технологіями. Наприклад, на кузові автомобіля «Москвич» близько 7000 зварних точок. Якщо припустити, що все УКЕ є одно точковими, то за $\alpha = 0,001$ сім точок на кузові можуть виявитись неспроможними. Міцність кузова при цьому може бути забезпечена, оскільки кількість зварних точок вибирається технологіями з деяким запасом.



Виходячи з міжнародної практики в автомобілебудуванні рекомендується приймати:

$\alpha_{д} = 0,0001$ — за наявності всіх УКЕ багато точкового зварювання;

$\alpha_{д} = 0,001$ — за відсутності УКЕ багато точкового зварювання;

$\alpha_{д} = 0,0005$ — за наявності УКЕ всіх видів зварювання.

Для виготовлення будівельних залізобетонних конструкцій приймають $\alpha_{д} = 0,001$.

В [6] з використанням біноміального закону розподілу кількості m одночасно працюючих УКЕ із загальної їх кількості n , а також теорії імпульсних потоків отримана наступна залежність між величинами α , $TB_x = t_x / t_u$, TB , n , x :

$$\alpha = 1 - \sum_{t_1=0}^n \sum_{t_2=0}^{n-t_1} \sum_{t_3=0}^{n-t_1-t_2} (-1)^{t_3} n! (1 - TB_x - TB)^{t_1} (2TB_x)^{t_2+t_3} \times (TB - TB_x)^{n-t_1-t_2-t_3} / \{t_1! t_2! t_3! (n-t_1-t_2-t_3)! (t_2+t_3)! (x-n+t_1+t_2)^{t_2+t_3} \times \eta(x-n+t_2+t_3)\}, \quad (8)$$

де t_u — час циклу зварювання;

t_1, t_2, t_3 — проміжні параметри підсумовування;

TB — тривалість включення кожної з n ідентичних УКЕ;

η — одинична функція Хевісайда;

x — кількість еквівалентних перекриттів.

Використовуючи вираз (8), можна визначити величину x (отже, і величину S_n за виразом (7)) на будь-якому інтервалі $0 \leq t_x \leq t_{36}$, де t_{36} — час зварювання однієї точки, задаючись величиною t_x . На рис. 2 наведено криві $x = f(n, K_y, \alpha)$, які розраховано за умови $t_x = 0,4t_{36}$ (тобто $TB_x = 0,4TB$), де $0,4t_{36}$ — час формування литого ядра в кінці t_{36} , в перебігу якого напруга на затисках УКЕ не повинна знижуватися нижче допустимої, інакше згідно [9] буде неякісне зварювання навіть, якщо напруга на початку зварювання буде вище номінальної.

В [10, 11] наведено аналогічні криві за $TB_x = TB$, тобто у разі $t_x = t_{36}$. За їх допомогою можна розрахувати S_n за заданою $\alpha_{д}$, середня тривалість яких складає t_{36} .

Для кожної УКЕ з k -ступінчастим графіком навантаження під час розрахунку $K_{y,y}$ у якості $K_{y,i}$ беруть суму $K_{y,k}$ окремих ступенів графіка ЕН, а під час розрахунку S_y , n_y — навантаження S_k і коефіцієнт увімкнення $K_{y,k}$ кожного k -го ступеня графіка ЕН.

Аналогічно враховують групу УКЕ, працюючих за чергою, якщо УКЕ з потужністю $S_{i,m}$ не належить цій групі. В протилежному випадку для цієї групи беруть тільки $S_{i,m}$ зі своїм $K_{y,m}$, а інші $n-1$ УКЕ даної групи не враховують.

Групу УКЕ, працюючих одночасно, враховують як одну УКЕ зі своїм сумарним, в загальному випадку, багатоступінчастим графіком ЕН.

Слід зазначити, що дані n_y , $K_{y,y}$, S_y , отримані цим методом, можна використовувати і для знаходження розрахункових навантажень за нагріванням за виразом

$$S_p = S_e = \sqrt{S_c + D[S]}. \quad (9)$$

Якщо УКЕ з $S_{i,m}$ не входить до групи УКЕ, працюючих за чергою, то:

$$S_c = S_{i,m}K_{y,m} + n_y S_y K_{y,y}; \quad (10)$$

$$D[S] = D[S_{i,m}] + n_y D[S_y] = S_{i,m}^2 K_{y,y} (1 - K_{y,y}) + n_y S_y^2 K_{y,y} (1 - K_{y,y}). \quad (11)$$

Якщо УКЕ з $S_{i,m}$ входить до групи УКЕ, працюючих за чергою, то:

$$S_c = S_{c,1} + n_y S_y K_{y,y}; \quad (12)$$

$$D[S] = D[S_1] + n_y S_y^2 K_{y,y} (1 - K_{y,y}), \quad (13)$$

де $S_{c,1}$, $D[S_1]$ — середнє значення і дисперсія навантаження групи УКЕ, працюючих за чергою, які розраховують за виразами:

$$S_{c,1} = \sum_{i=1}^{n^{(3)}} S_{c,i}^{(3)} + \sqrt{3} \left[\sum_{i=1}^{n^{(1)AB}} S_{c,i,AB}^{(1)} + \sum_{i=1}^{n^{(1)CA}} S_{c,i,CA}^{(1)} \right]; \quad (14)$$

$$S_{e,1}^2 = \sum_{i=1}^{n^{(3)}} (S_{e,i}^{(3)})^2 + 3 \left[\sum_{i=1}^{n^{(1)AB}} (S_{e,i,AB}^{(1)})^2 + \sum_{i=1}^{n^{(1)CA}} (S_{e,i,CA}^{(1)})^2 \right]; \quad (15)$$

$$D[S_1] = S_{e,1}^2 - S_{c,1}^2. \quad (16)$$

де $n_{AB}^{(1)}$, $n_{CA}^{(1)}$ — кількість однофазних УКЕ, увімкнених на напруги U_{AB} , U_{CA} відповідно; $S_{i,AB}^{(1)}$, $S_{i,CA}^{(1)}$ — навантаження однофазних УКЕ, що вмикають на ці напруги.

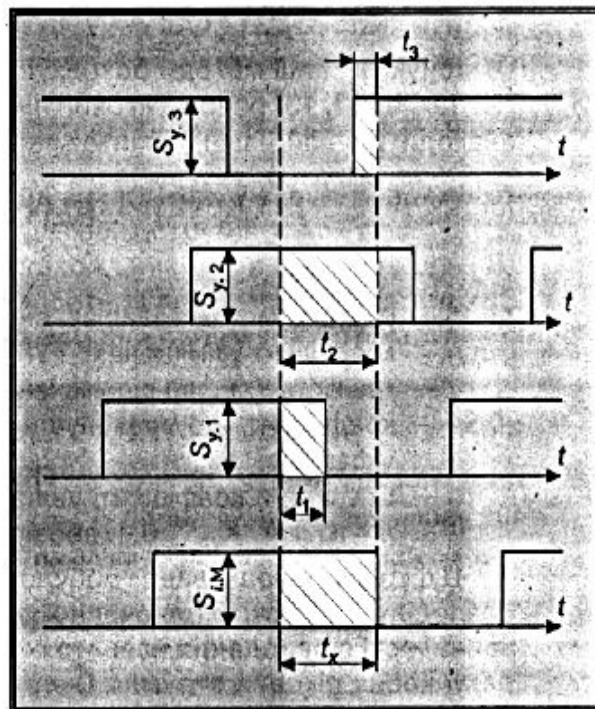


Рис. 3. Перекриття за часом електричних навантажень УКЕ: $x = (t_1 + t_2 + t_3) / t_x$

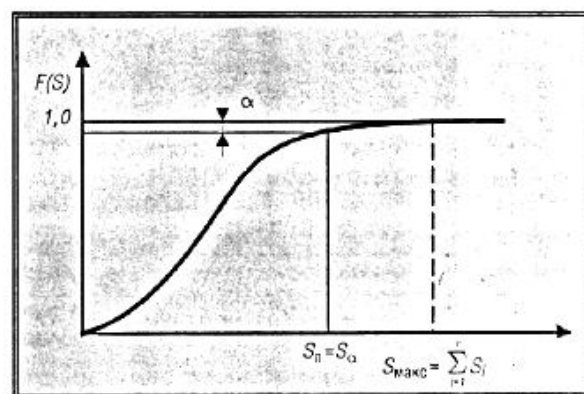


Рис. 4. Функція розподілу навантаження

ІНШІ МЕТОДИ РОЗРАХУНКУ ПІКОВИХ НАВАНТАЖЕНЬ

Існують і інші методи розрахунку S_n .

Так, в [12, 13] розрахунковий піковий струм $I_{n.A}$ згідно другого метода пропонується знаходити в найбільш навантаженій фазі (наприклад, A) за формулою

$$I_{n.A} = 0,94 \sum_{i=1}^{n_A} I_i K_{y,i} + \beta_c \sqrt{\sum_{i=1}^{n_A} I_i^2 K_{y,i} (1 - K_{y,i})}, \quad (17)$$

де I_i — струм в імпульсі зварювання i -ї УКЕ;

$K_{y,i}$ — коефіцієнт увімкнення i -ї УКЕ;

n_A — кількість УКЕ, що підключені до фази A ;

0,94 — коефіцієнт, що враховує необхідність геометричного підсумовування струмів у фазі A ;

β_c — статичний коефіцієнт, величину якого знаходять за кривою $\beta_c = f(n, K_{y,y})$, якщо $n = n_A \geq 4$ і $K_{y,y} \leq 0,1$, або приймають рівною 3,1, якщо $K_{y,y} > 0,2$ і $n = n_A > 10$.

Цю криву розраховано і побудовано тільки з використанням біноміального закону розподілу кількості m одночасної роботи УКЕ із загальної їх кількості n без врахування тривалості співпадання навантажень m УКЕ (рис. 3). Це призведе до завищення розрахункових пікових струмів. Очевидно цим пояснюється значення $\alpha_D = p[I_i \geq I_{n.A}] = 0,001$, яке рекомендується в цьому методі.

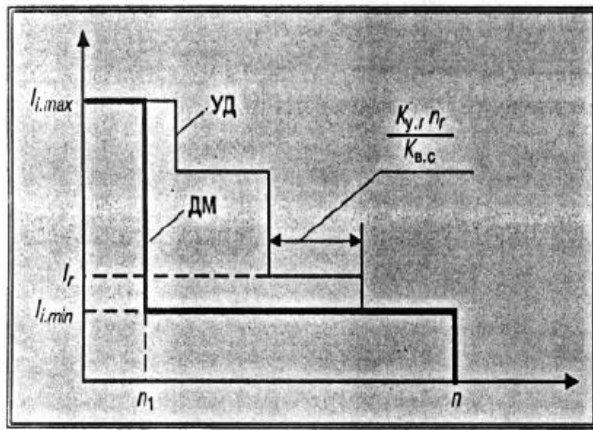


Рис. 6. Упорядкована діаграма струмів УКЕ та її двоступінчаста модель

підключені до однієї фази, розбивають на дві групи: n_1 — кількість УКЕ із струмом $I_{i,max}$; $(n - n_1)$ — кількість УКЕ із струмом $I_{i,min}$.

Величину $n_{1.A}$ наприклад для фази D , підраховують за формулою

$$n_{1.A} = \frac{\sum_{i=1}^{n_A} K_{y,y} I_{i.A} - n_A I_{i,min.A}}{K_{y,c.A} (I_{i,max.A} - I_{i,min.A})}, \quad (18)$$

де $K_{y,c.A}$ — середнє значення коефіцієнта увімкнення всіх УКЕ, підключених до фази A , рівний:

$$K_{y,c.A} = \sum_{i=1}^{n_{1.A}} K_{y,i} / n_{1.A}. \quad (20)$$

Потім за імовірнісними кривими знаходять кількість УКЕ $m_{1.A}$, що співпали в роботі, у функції від $K_{y,c.1.A}$ і $n_{1.A}$.

Аналогічно знаходять кількість УКЕ що співпали в роботі з усіх УКЕ підключених до фази A , у функції $K_{y,c.A}$ і n_A .

Максимальний піковий струм $I_{n.A}$ у фазі A з врахуванням коефіцієнта 0,94, що враховує зниження сумарного струму у момент збігу роботи УКЕ, підключених на напруги U_{AB} і U_{CA} підраховують за виразом

$$I_{n.A} = 0,94 \left[I_{i.макс.A} m_{1.A} + I_{i.мін.A} (m_A - m_{1.A}) \right]. \quad (21)$$

Величини $I_{n.B}$ і $I_{n.C}$ для двох інших фаз знаходять аналогічно. У якості розрахункового пікового струму беруть найбільше значення з пікових струмів трьох фаз.

Імовірнісні криві цього методу розраховано також, виходячи з біноміального закону розподілу кількості УКЕ m , що співпали в роботі, із загальної кількості n УКЕ, за імовірністю $\alpha_D = 0,001$. При цьому враховується сам факт збігу в роботі частини m УКЕ безвідносно тривалості цього збігу.