

ДОДАТОК Б

Магістерська кваліфікаційна робота на тему:

«Дослідження і аналіз практичних методів
розрахунку струмів короткого замикання»

Виконав: Гальчак В.І.
Керівник: Свиридов М.П.

Вінниця 2017

Актуальність теми. Позиція Міністерства енергетики та палива направлена на продовження безпечної експлуатації існуючих, а також на введення в дію нових енергоблоків. Успішне проведення реконструкції, а також забезпечення надійної та безпечної експлуатації існуючого парку енергетичного обладнання можливі тільки за умови серйозної науково-технічної підтримки.

Застосування на електричних станціях енергоблоків великої потужності призводить до суттєвого зростання рівнів струмів короткого замикання в системних і розподільчих мережах України, що призводить до значних народногосподарських збитків.

Серед проблем розвитку енергетичного комплексу України важливе місце в умовах постійного зростання рівнів струмів короткого замикання займають питання удосконалення і підвищення точності їх розрахунку.

Все це підтверджує актуальність і перспективність обраної теми магістерської роботи.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Основний зміст магістерської роботи складають результати досліджень, які здійснюються згідно з науковим напрямом та планами держбюджетної науково-дослідної роботи кафедри електричних станцій і систем ВНТУ.

Об'єктом дослідження існуючі методи розрахунку струмів короткого замикання.

Предмет дослідження – різноманітні, методи урахування впливу енергетичної системи на струми короткого замикання.

Методи дослідження. У роботі використовувалися елементи теорії надійності, багатоваріантного аналізу, метод симетричних складових, метод еквівалентних характеристик, методи еквівалентування розрахункових схем електричних мереж, методи дослідження, які базуються на теорії електротехніки, методи розрахунку струмів короткого замикання.

Наукова новизна одержаних результатів:

Розроблені математичні моделі для дослідження впливу електричної системи на величину струмів короткого замикання при різних способах еквівалентування початкових схем заміщення;

Запропонований спрощений порядок визначення параметрів еквівалентних схем заміщення без урахування дійсних значень ЕРС генераторів та напруги електричної системи;

Визначений можливий діапазон зміни струмів короткого замикання від електричної станції з турбогенераторами потужністю 100 – 500 МВт з урахуванням впливу електричної системи, а також встановлені відносні похибки у визначенні струмів короткого замикання в залежності від часу перехідного процесу.

Практичне значення одержаних результатів полягає в можливості використання в навчальному процесі спрощеної методики розрахунку струмів короткого замикання при виконанні відповідних розділів в курсових та дипломних проектах.

Особистий внесок автора. Дослідження і аналіз методів розрахунку перехідних процесів в електричних системах виконаний разом з участю керівника магістерської роботи.

Апробація результатів роботи і публікації. Не планувалися.

Основні припущення при розрахунках струмів короткого замикання

Під час розрахунку струмів КЗ робимо такі припущення:

- 1) вважаємо, що всі елементи системи симетричні;
- 2) нехтуємо насиченням магнітних кіл елементів системи;
- 3) нехтуємо струмами намагнічування трансформаторів і автотрансформаторів за винятком тих випадків, коли трифазні трансформатори, обмотки яких з'єднані за схемою $Y - 0/Y$, увімкнено на напругу нульової послідовності;
- 4) нехтуємо ємнісними провідностями лінії за винятком ліній напругою 110...220 кВ, довжина яких понад 200 км, і ліній напругою 330 кВ і вище довжиною понад 150 км. Ємнісні провідності слід враховувати під час розрахунку струму КЗ на землю у мережах з ізольованими нейтраліями трансформаторів;
- 5) нехтуємо активними провідностями лінії;
- 6) навантаження враховуємо наближено;
- 7) припускаємо, що кут зсуву між електрорушійними силами (ЕРС) генераторів системи під час перехідного процесу не змінюється;
- 8) під час розрахунку періодичної складової струму КЗ нехтуємо активними опорами елементів схеми, якщо результуючий активний опір схеми не перевищує третини її результуючого опору. Похибка розрахунку при цьому не перевищує 5%.

Розрахункові формули для визначення параметрів елементів розрахункових схем

в іменованих одиницях	у відносних одиницях
Генератор, синхронний двигун	
$x = x_d'' (U_{\text{НОМ}}^2 / S_{\text{НОМ}}) k_1^2 k_2^2 \dots k_n^2$	$x = x_d'' (U_{\text{НОМ}}^2 / S_{\text{НОМ}}) (S_{\text{б}} / U_{\text{б}}^2)$
$E = E_q'' U_{\text{НОМ}} k_1 k_2 \dots k_n / \sqrt{3}$	$E = E_q'' U_{\text{НОМ}} / U_{\text{б}}$
Асинхронний двигун	
$x = (1/I_{\text{ПУСК}}) (U_{\text{НОМ}}^2 / S_{\text{НОМ}}) k_1^2 k_2^2 \dots k_n^2$	$x = (1/I_{\text{ПУСК}}) (U_{\text{НОМ}}^2 / S_{\text{НОМ}}) (S_{\text{б}} / U_{\text{б}}^2)$
Навантаження	
$x = x_n'' (U_{\text{НОМ}}^2 / S_{\text{НОМ}}) k_1^2 k_2^2 \dots k_n^2$	$x = x_n'' (U_{\text{НОМ}}^2 / S_{\text{НОМ}}) (S_{\text{б}} / U_{\text{б}}^2)$
Трансформатор	
$x = (u_k / 100) (U_{\text{НОМ}}^2 / S_{\text{НОМ}}) k_1^2 k_2^2 \dots k_n^2$	$x = (u_k / 100) (U_{\text{НОМ}}^2 / S_{\text{НОМ}}) (S_{\text{б}} / U_{\text{б}}^2)$
Лінія	
$x = x_{01} l k_1^2 k_2^2 \dots k_n^2$	$x = x_{01} l (S_{\text{б}} / U_{\text{б}}^2)$
Реактор	
$x = (x_p / 100) (U_{\text{НОМ}} / \sqrt{3} I_{\text{НОМ}}) k_1^2 k_2^2 \dots k_n^2$	$x = (x_p / 100) (U_{\text{НОМ}} / I_{\text{НОМ}}) (I_{\text{б}} / U_{\text{б}}^2)$

Розрахунок надперехідних параметрів трифазного короткого замикання

1. Вибираємо систему обчислення: відносну або іменовану. Незалежно від системи обчислення є цілком допустимим користуватись наближеним приведенням параметрів схеми заміщення. Для системи відносних одиниць задають S_{σ} , і приймають; $U_{\sigma i} = U_{спi}$ базисні струми ступенів трансформації визначаються по виразу:

$$I_{\sigma} = \frac{S_{\sigma}}{\sqrt{3} \cdot U_{\sigma i}}$$

2. Для заданої системи енергопостачання складають схему заміщення. В ній всі джерела живлення скінченої потужності (генератори, синхронні компенсатори, синхронні і асинхронні двигуни та ін.), які підлягають врахуванню, входять у схему заміщення своїми надперехідними опорами x_d'' і E'' ЕРС

3. Розраховуються параметри елементів схеми заміщення. Надперехідні джерел живлення обчислюються по параметрам нормального режиму, який передував короткому замиканню. Для знаходження використовують вираз:

$$E'' = \sqrt{(U_0 \cdot \cos \varphi_0)^2 + (U_0 \cdot \sin \varphi_0 \pm I_0 \cdot x'')^2}$$

4. Спрощують схему. При наявності замкнених контурів доцільно на першому етапі спрощення привести схему до складно радіального вигляду. Наступне спрощення складається з знаходження E'' і x_d'' відносно вузла КЗ.

5. Підраховують основні параметри режиму короткого замикання:

• При використанні системи іменованих одиниць: $I_{(0)\Sigma}'' = \frac{E_{\Sigma}''}{\sqrt{3} \cdot x_{\Sigma}}$, або $I_{(0)\Sigma}'' = \sum \frac{E_i''}{\sqrt{3} \cdot x_i}$;

при використанні системи відносних одиниць:

$$I_{(0)\Sigma}'' = \frac{E_{\Sigma^{*6}}''}{\sqrt{3} \cdot x_{\Sigma^{*6}}} \cdot I_{\sigma}, \text{ або } I_{(0)\Sigma}'' = I_{\sigma} \cdot \sum \frac{E_i^{*6}''}{\sqrt{3} \cdot x_i^{*6}};$$

• Аперіодичний струм короткого замикання для часу t : $i_{at} = \sqrt{2} \cdot I_{0\Sigma}'' \cdot e^{-t/T_s}$

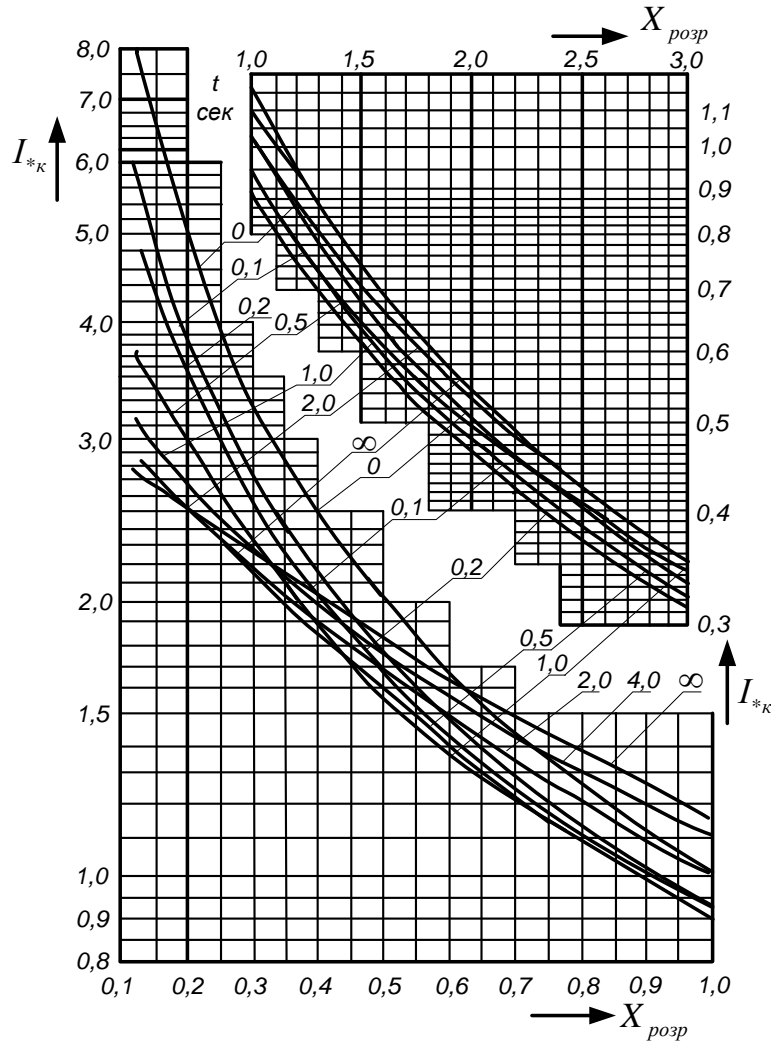
• Ударний струм КЗ, який розраховується по загальному ударному коефіцієнті, визначається виразом:

$$i_y = \sqrt{2} \cdot I_{0\Sigma}'' \cdot K_y.$$

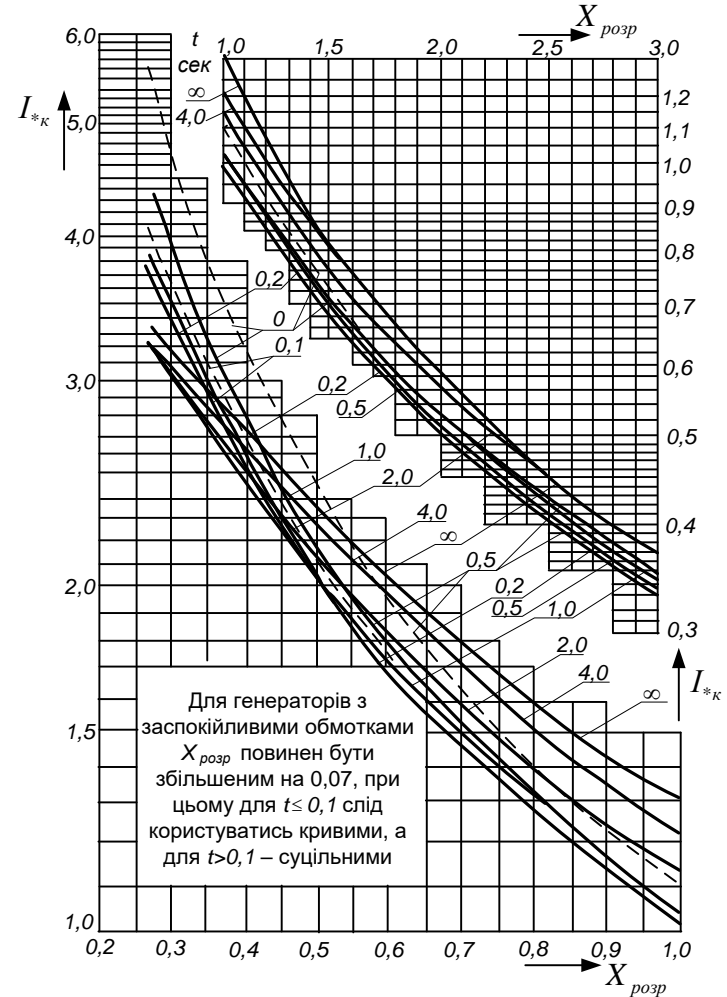
• Потужність короткого замикання визначається по формулі:

$$S_K = I_{(0)\Sigma}'' \cdot \sqrt{3} \cdot U_{сп}, \text{ або } S_K = I_{(0)\Sigma}''^2 \cdot S_K^*.$$

Метод розрахункових кривих

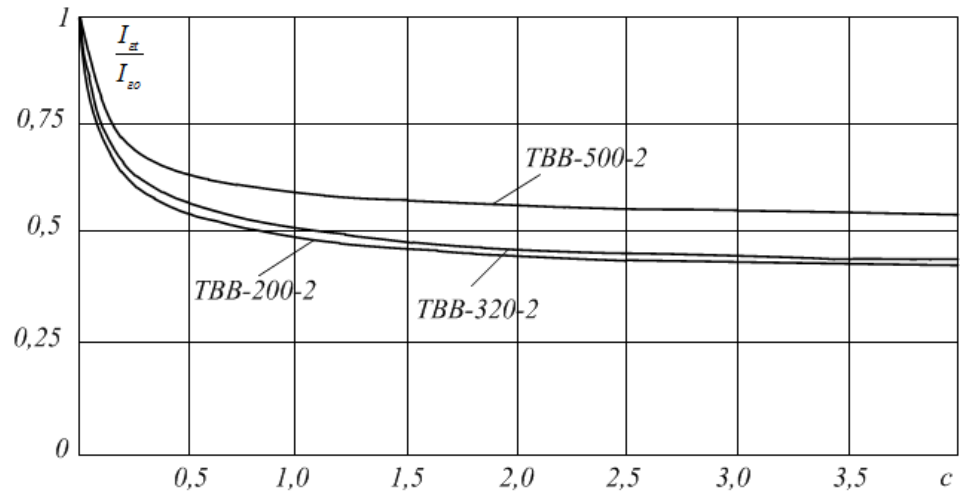
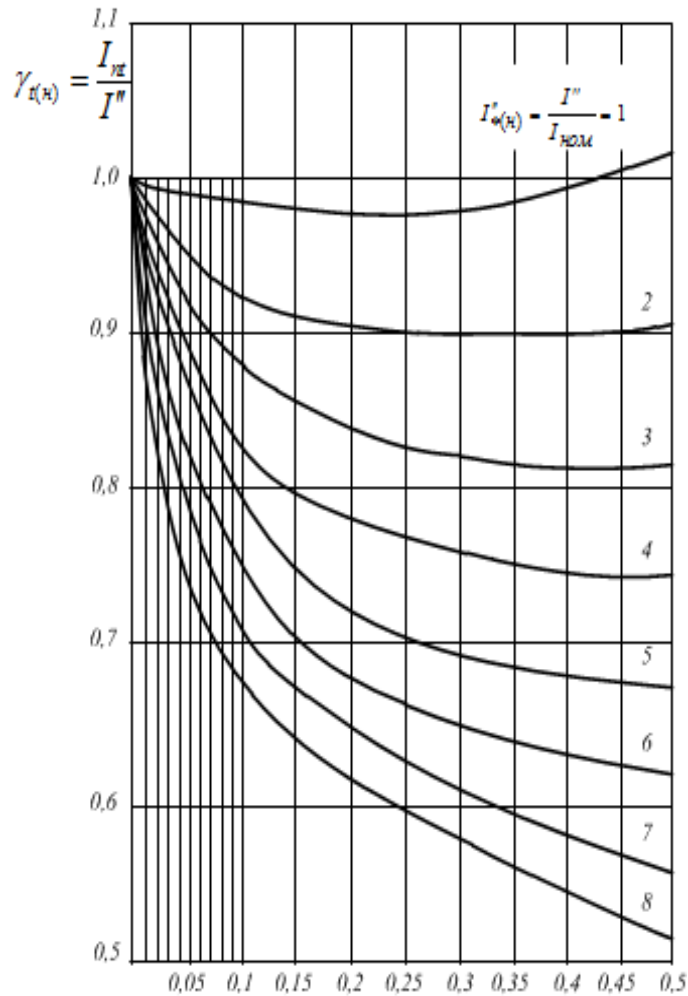


Розрахункові криві типового турбогенератора з АРЗ



Розрахункові криві типового гідрогенератора з АРЗ

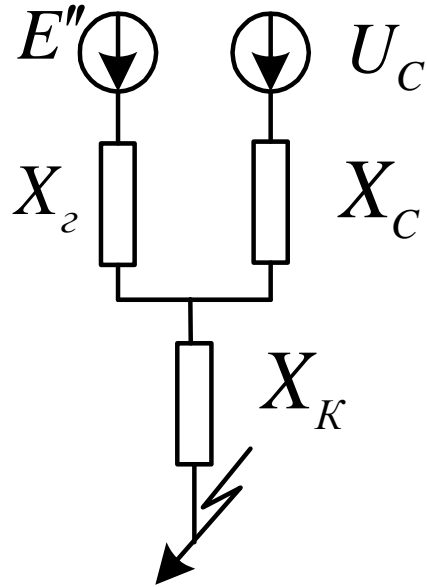
Метод типових кривих



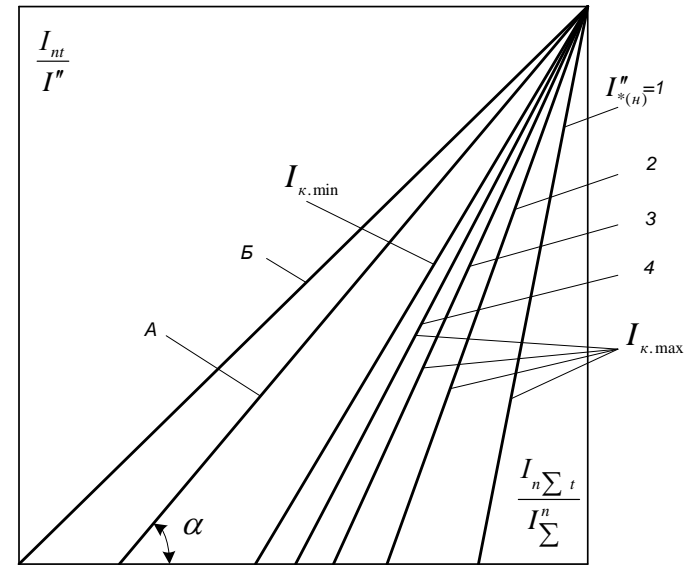
Криві зміни в часі струму короткого замикання турбогенераторів типу ТВВ-200-2, ТВВ-320-2 і ТВВ-500-2 при коротких замиканнях на виводах машин.

Криві зміни в часі струму короткого замикання від синхронної машини

Дослідження впливу енергосистеми на струми короткого замикання в методі типових кривих



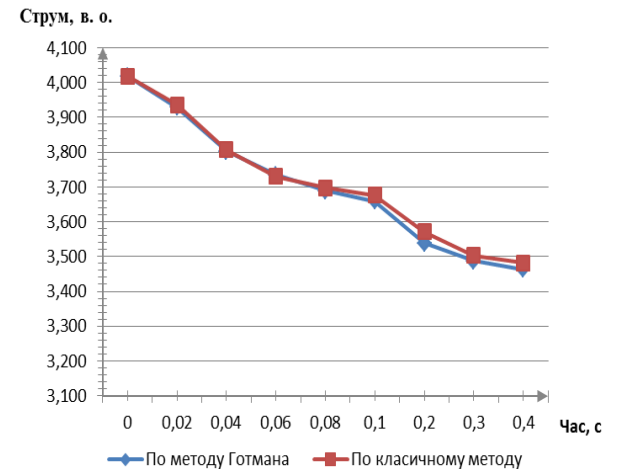
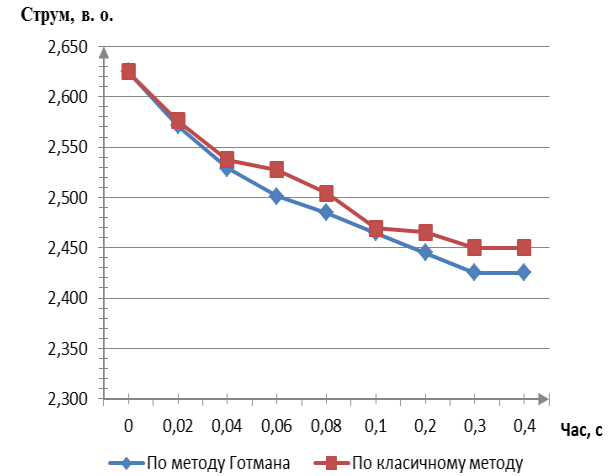
Розрахункова схема для визначення струму короткого замикання від синхронної машини з врахуванням енергосистеми



Залежність $I_{n\Sigma t} / I_{\Sigma}^n = f(I_{nt} / I^n)$ при постійному відношенні I'' / I_{Σ}^n і різних значеннях $I_{*(n)}^n$

Результати розрахунків при $x_1 = 0,315$ та $x_2 = 3$

t, c	0	0,02	0,04	0,06	0,08	0,1	0,2	0,3	0,4
$x_3 = 0,768 ; I_1^{\Gamma} / I_{НОМ} = 1; I_1^{nK} / I_{НОМ} = 0,971; \gamma^K \neq \gamma^{\Gamma}$									
γ^K	1	0,991	0,989	0,986	0,984	0,982	0,971	0,976	0,991
γ^{Γ}	1	0,99	0,987	0,985	0,983	0,98	0,97	0,975	0,99
$I_{3t}^K, \text{В.О.}$	1,062	1,053	1,051	1,048	1,046	1,044	1,040	1,036	1,033
$I_{3t}^{\Gamma}, \text{В.О.}$	1,062	1,052	1,049	1,047	1,045	1,042	1,037	1,034	1,032
$\varepsilon, \%$	0,000	0,120	0,221	0,134	0,140	0,241	0,350	0,265	0,177
$x_3 = 0,231 ; I^{\Gamma} / I_{НОМ} = 2; I^{nK} / I_{НОМ} = 1,982; \gamma^K \neq \gamma^{\Gamma}$									
γ^K	1	0,975	0,955	0,95	0,938	0,92	0,918	0,91	0,91
γ^{Γ}	1	0,973	0,952	0,938	0,93	0,92	0,91	0,9	0,9
$I_{3t}^K, \text{В.О.}$	2,167	2,117	2,077	2,068	2,044	2,008	2,004	1,988	1,988
$I_{3t}^{\Gamma}, \text{В.О.}$	2,167	2,113	2,071	2,043	2,027	2,007	1,987	1,967	1,967
$\varepsilon, \%$	0,000	0,210	0,328	1,218	0,843	0,070	0,878	1,097	1,097
$x_3 = 0,057 ; I^{\Gamma} / I_{НОМ} = 3; I^{nK} / I_{НОМ} = 2,994 \approx 3; \gamma^K = \gamma^{\Gamma} = \gamma$									
γ^K	1	0,97	0,928	0,905	0,89	0,88	0,84	0,823	0,815
γ^{Γ}	1	0,97	0,928	0,905	0,89	0,88	0,84	0,823	0,815
$I_{3t}^K, \text{В.О.}$	3,272	3,188	3,059	2,981	2,948	2,927	2,823	2,754	2,733
$I_{3t}^{\Gamma}, \text{В.О.}$	3,272	3,182	3,056	2,987	2,942	2,912	2,792	2,741	2,717
$\varepsilon, \%$	0,000	0,194	0,113	0,180	0,228	0,541	1,110	0,479	0,595



ВИСНОВКИ

- При складанні схеми заміщення для визначення струмів короткого замикання потрібно обов'язково враховувати розрахункові умови, викликані метою розрахунку, а також необхідно врахувати основні загальні припущення, а також додаткові припущення при розрахунках струмів несиметричного короткого замикання.
- Розрахунок струмів короткого замикання в перший момент перехідного процесу виконується виключно аналітичним способом. В практичних розрахунках струмів короткого замикання явнопольсна синхронна машина прирівнюється до неявнопольсних синхронних машин.
- Сучасні графоаналітичні методи розрахунку періодичної складової струму короткого замикання для довільного моменту, яка генерується електричними станціями, такі:
 - метод типових кривих;
 - метод розрахункових кривих;
 - метод Готмана В. І.

Кожен із зазначених методів має свої жорстко визначені границі застосування для кожного конкретного випадку виникнення короткого замикання в електричних мережах.

- Проведений аналіз графоаналітичних методів розрахунку струмів короткого замикання з урахуванням наближеного урахування енергосистеми, розроблені алгоритми і методи їх застосування, зроблені відповідні розрахунки перехідних процесів, викликаних короткими замиканнями і наведений їх порівняльний аналіз.
- Визначений можливий діапазон зміни струмів короткого замикання від електричної станції з турбогенераторами потужністю 100 – 500 МВт з урахуванням впливу електричної системи.
- Встановлені відносні похибки у визначенні струмів короткого замикання в залежності від часу перехідного процесу і електричної віддаленості точки короткого замикання.
- Як показали розрахунки струмів короткого замикання нехтування активним опором елементів електричної мережі не перевищує похибки 2%(1,8%). При визначенні струмів короткого замикання для довільного моменту перехідного процесу, потрібно використовувати метод типових кривих і тільки в деяких випадках може бути використаний метод розрахункових кривих.

Дякую за увагу!