

Релейний захист

ЗАХИСТ ГЕНЕРАТОРІВ



Види пошкоджень та особливі режими генераторів

Робота електричного генератора — синхронної машини — насамперед залежить від параметрів режиму: механічного приводу генератора — турбіни, електричного навантаження статора генератора, системи його збудження та власних потреб генератора, а також його систем охолодження.

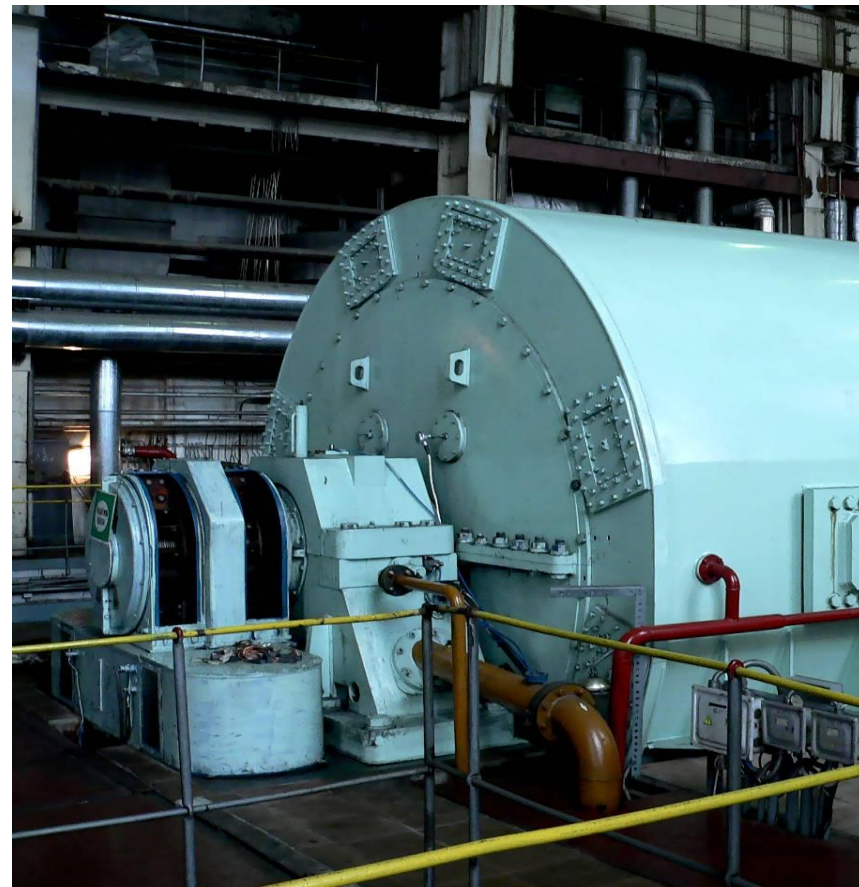
Режими генератора можна умовно розділити на три групи:

- довготривалі допустимі;
- короткочасно допустимі;
- **аварійні.**



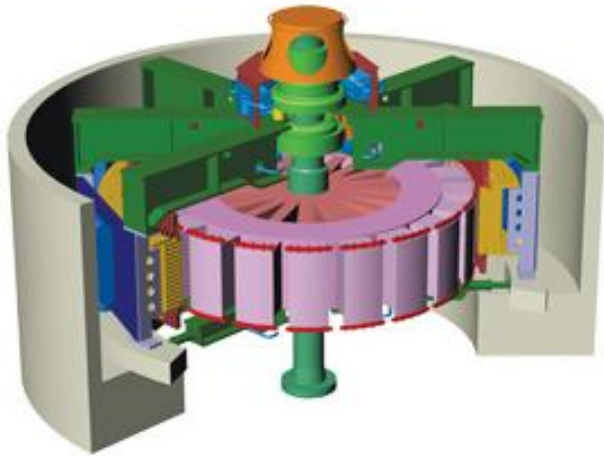
До аварійних режимів

зараховують такі режими, які не можна ліквідувати під час роботи генератора. Ці режими призводять до недопустимого перегрівання окремих частин генератора та його системи збудження, появи вібрації і, як наслідок, до механічного пошкодження генератора. За аварійних ситуацій генератор повинен автоматично вимикатись від мережі електричними (зазвичай, релейними) та технологічними захистами.



Основні види пошкоджень генератора – міжфазні к.з.; виткові замикання та замикання на землю в обмотці статора; замикання в одному та двох місцях обмотки збудження.

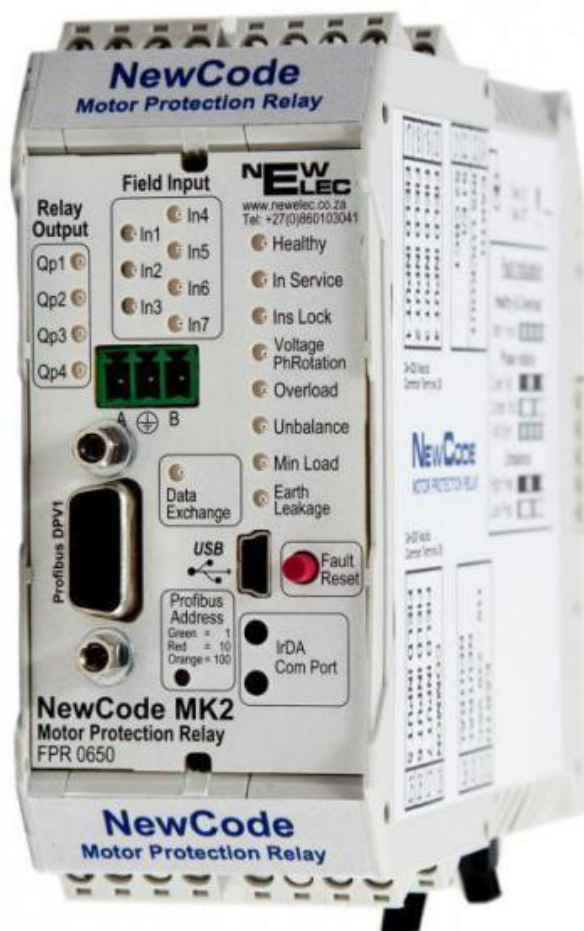
Аварійні режими генераторів



Особливі режими генератора – асинхронний режим, симетричні та несиметричні перевантаження обмотки статора; перевантаження обмотки ротора; перевищення напруги на виводах статора генератора за неробочого ходу.

Перевантаження статора та ротора виникає за несправностей в системі автоматичного регулювання збудження (АРЗ) генератора, коли безпідставно збільшується струм в обмотці ротора, а також за дефіциту реактивної потужності в енергосистемі, коли АРЗ діє на збільшення струму збудження. Перевантаження обмотки статора виникає також за масового самозапуску двигунів. Тривалість таких перевантажень обмежена умовами збереження електричних та механічних властивостей ізоляції обмоток генератора.

Поздовжній диференційний захист генератора



Для захисту генератора від міжфазних к.з. в обмотці статора застосовують поздовжній диференційний захист. Захист діє на аварійне вимкнення генератора від мережі. Для потужних генераторів (160МВт та більше) поздовжній диференційний захист виконують три фазним три релейним. На генераторах потужністю 160 МВт та більше традиційний поздовжній диференційний захист виконують з застосуванням реле серій РНТ або ДЗТ з проміжними швидко насичувальними трансформаторами.

Організація поздовжнього диференційного захисту

Для організації поздовжнього диференційного захисту використовують трансформатори струму, встановлені в лінійних виводах (ТА1) та біля нульових виводів (ТА2) генератора. Для генераторів типу ТВВ з паралельними вітками обмотки статора використовують трансформатори струму, встановлені в кожній вітці біля нульових виводів генератора. Вторинні обмотки цих трансформаторів струму з'єднують паралельно.

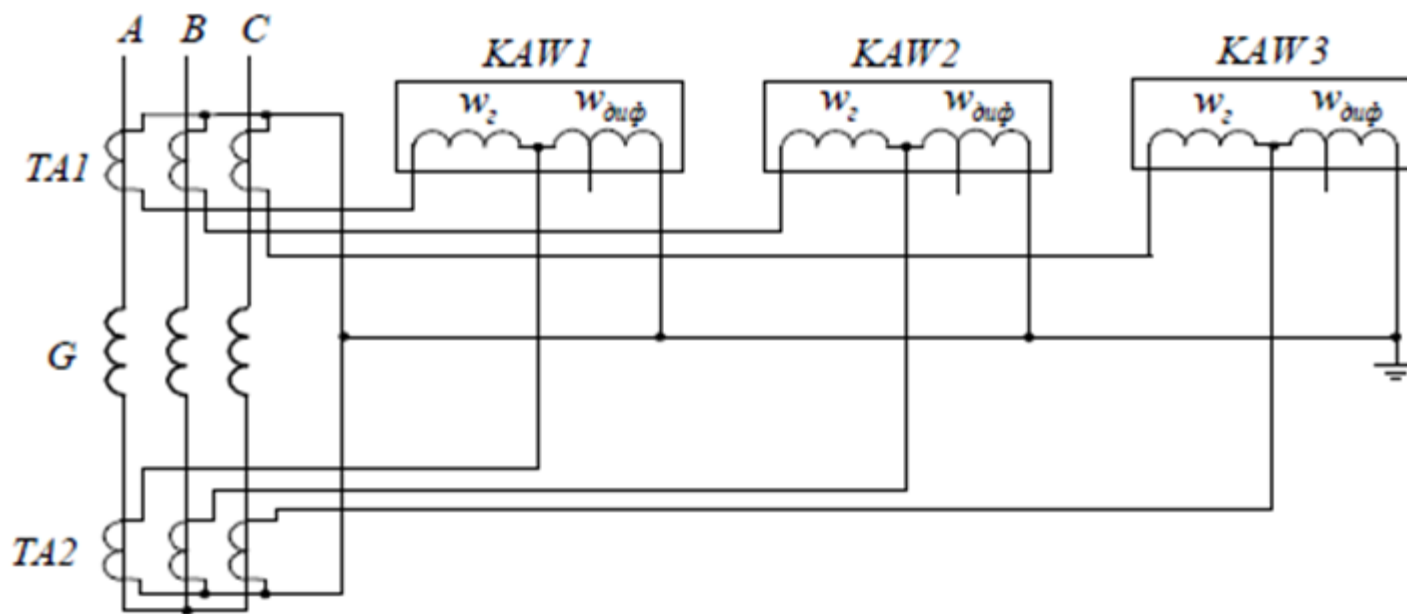
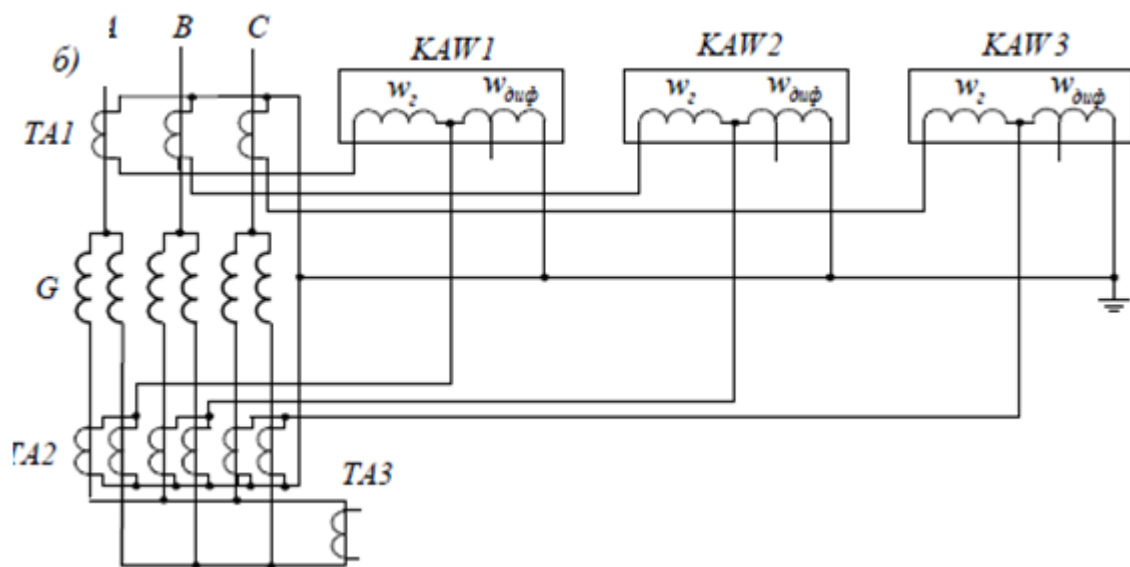


Схема поздовжнього диференційного захисту з реле ДЗТ-11/5 для генераторів потужністю 160 МВт та більше



Розрахунок поздовжнього диференційного захисту

Струм небалансу:

$$I_{\text{нб.розр}} = k_{\text{одн}} \cdot \varepsilon \cdot I^{(3)},$$

де $k_{\text{одн}}=0,5$ або 1 – коефіцієнт однотипності за застосування відповідно однотипних або різнотипних трансформаторів струму на лінійних виводах і на виводах в нейтралі генератора; $\varepsilon=0,1$ – похибка трансформатора струму; $I^{(3)}$ – періодична складова струму за трифазного к.з. або за асинхронного ходу генератора. З двох значень вибирають більше.

Максимальний струм за асинхронного ходу:

$$I^{(3)} = \frac{2 \cdot U}{\sqrt{3} \cdot (x'_d + x_T + x_C)},$$

де U – напруга на стороні вищої напруги блочного трансформатора; x'_d – перехідний реактанс генератора; x_T – реактанс блочного трансформатора; x_C – мінімальне значення реактансу приймальної системи

Магніторушійну силу диференційної обмотки:

$$F_{\text{диф}} = k_{\text{від}} \cdot \frac{I_{\text{нб.розр}}}{k_{TA}} \cdot w_{\text{диф}},$$

де $k_{\text{від}} = 1,6$ – коефіцієнт відведення; k_{TA} – коефіцієнт трансформації трансформатора струму; $w_{\text{диф}} = 144$ – кількість витків диференційної обмотки; $I_{\text{нб.розр}}$ – максимальне значення струму небалансу.

Кількість витків гальмівної обмотки:

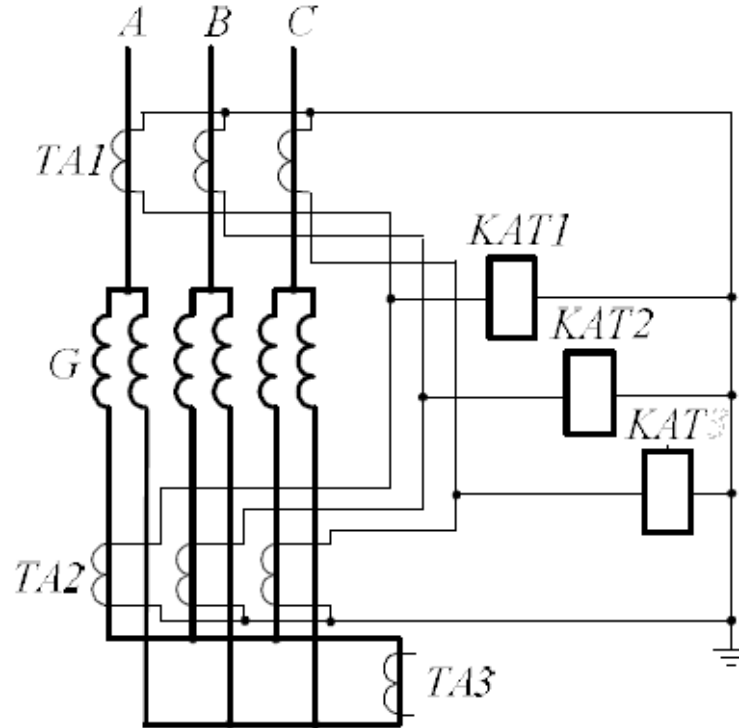
$$w_{\text{г.розр}} = \frac{F_{\text{г}}}{I^{(3)} / k_{TA}},$$

де $F_{\text{г}}$ – магніторушійна сила гальмівної обмотки; $I^{(3)}$ – періодична фазова струму за трифазного к.з. або асинхронного ходу генератора; k_{TA} – коефіцієнт трансформації трансформатора струму.

Для генераторів серії ТВФ (генератори потужністю до 100 МВт) застосовують поздовжній диференційний захист з реле РНТ-565 – з проміжним швидконасичувальним трансформатором. Схема приєднання вимірних органів диференційного захисту з реле РНТ-565 .

Схема диференційного захисту з реле серії РНТ

10



Розрахунок диференційного захисту з реле серії РНТ зводять до визначення кількості витків диференційної обмотки

Струм спрацювання захисту:

$$I_{с.з} = k_{від} \cdot I_{нб.розр},$$

де $k_{від} = 1,2$ – коефіцієнт відведення; $I_{нб.розр}$ – найбільший струм небалансу за зовнішнього к.з. чи асинхронного режиму.

Розрахунок кількості витків диференційної обмотки

$$w_{\text{диф.розр}} = \frac{F_{\text{с.р}}}{I^{(3)} / k_{TA}},$$

де $F_{\text{с.р}} = 100 \text{ A}$ – магніторушійна сила спрацювання реле; $I^{(3)}$ – періодична складова струму трифазного к.з. або асинхронного режиму генератора; k_{TA} – коефіцієнт трансформації трансформатора струму. Для реле РНТ- 565 найбільша кількість витків диференційної обмотки становить 69 витків.

Коефіцієнт чутливості захисту перевіряють за двофазного к.з. на виводах генератора, який працює на неробочому ході:

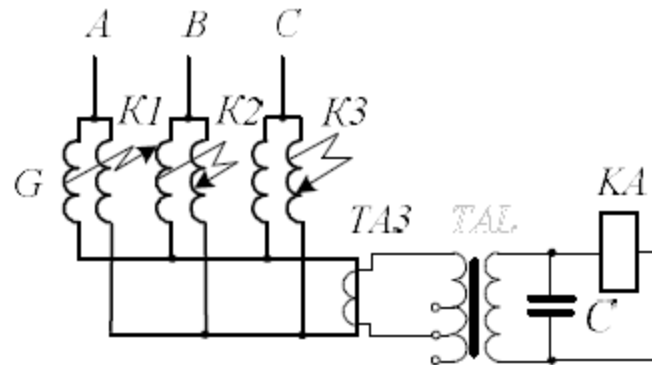
$$k_{\text{ч}} = \frac{I^{(2)}}{I_{\text{с.з}}} \geq 2,$$

де $I^{(2)}$ – струм в обмотці статора генератора за двофазного к.з. на його виводах за неробочого ходу.

Поперечний диференційний захист генератора



Для захисту генератора від виткових замикань в обмотці статора Застосовують поперечний диференційний захист. Захист діє на аварійне вимкнення генератора від мережі. Цей захист застосовують для генераторів з паралельними обмотками статора. Принципова схема поперечного диференційного захисту.



фільтрове реле типу РТ-40/Ф, приєднане до трансформатора струму ТА3, встановленого в перемичку

Вимірний орган захисту – з'єднує дві нейтралі обмоток статора (в схемах рис.1,б, 3). До складу вимірювального органа захисту входять проміжний трансформатор струму ТАЛ, фільтр С та реле струму КА. Поперечний диференційний захист обмотки статора генератора реагує на замикання: між витками однієї вітки, (точка К3 на рис.4), на замикання між витками однієї фази (точка К2), на замикання між витками різних фаз (точка К1). За цих к.з. порушується баланс струмів у вітках обмотки статора генератора і через перемичку, що з'єднує нейтралі паралельних обмоток статора, протікає струм. Тому вимірний орган захисту приєднують до трансформатора струму, встановленого в цій перемичці.

Розрахунок поперечного диференційного захисту

14

Уставку спрацювання захисту вибирають з умови відведення від максимального струму небалансу за зовнішнього трифазного к.з.

Попередньо струм спрацювання захисту:

$$I_{с.з} = 0,2 \cdot I_{Г.ном},$$

де $I_{Г.ном}$ – номінальний струм обмотки статора генератора.

Струм спрацювання вимірного органа захисту:

$$I_{с.р.в.о} = k_{від} \cdot (I_{нб.хх} + k_{кр} \cdot I_{нб.к.з}),$$

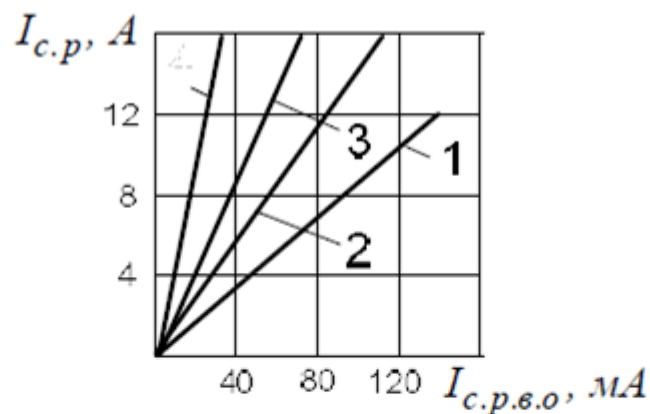
де $k_{від} = 1,5$ – коефіцієнт відведення; $I_{нб.хх}$ – виміряний струм небалансу за режиму неробочого ходу генератора; $I_{нб.к.з}$ – виміряний струм небалансу під час досліду зовнішнього трифазного к.з.; $k_{кр}$ – коефіцієнт кратності максимального значення періодичної складової струму к.з., величину якого розраховують як

$$k_{кр} = \frac{I_{к.з.макс}}{I_{ном}} = \frac{1}{x_d'' + x_T},$$

де x_T – надперехідний реактанс генератора, $x_T = \frac{U_K(\%)}{100}$ реактанс блочного

трансформатора, в.о де $U_K(\%)$ – напруга к.з. трансформатора, %.

За характеристикою що відповідає відпайці проміжного трансформатора ТАЛ, вибраній для даного генератора, відповідно до розрахованої за $I_{c.p.v.o}$ визначають струм спрацювання реле захисту $I_{c.p}$.



$$1 - I_{yem} = 1,75 - 3,5 \text{ A}, \quad 2 - I_{yem} = 2,9 - 5,8 \text{ A}, \quad 3 - I_{yem} = 4,4 - 8,8 \text{ A},$$

$$4 - I_{yem} = 8,8 - 17,6 \text{ A}$$

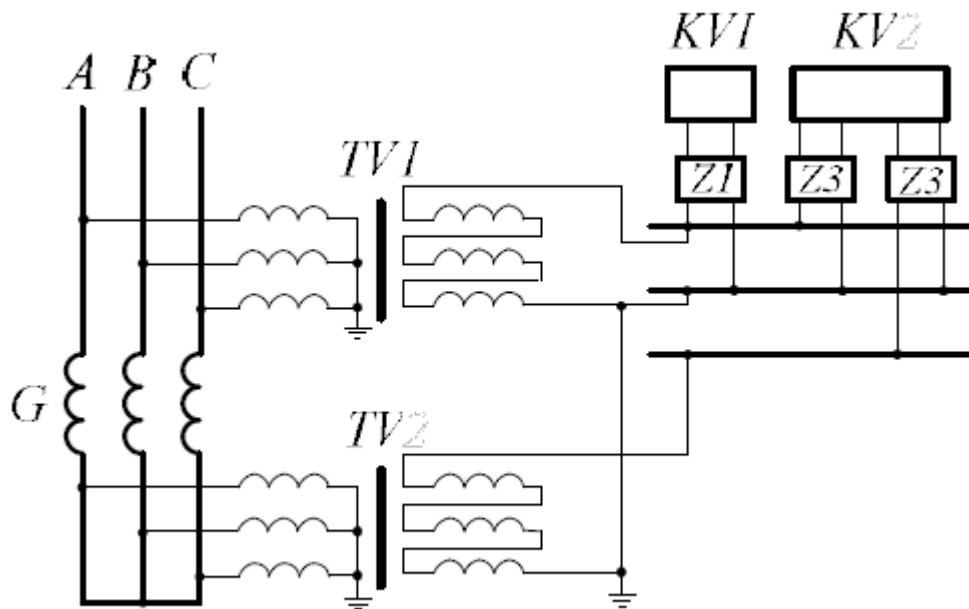
Отриманий з характеристики струм спрацювання реле $I_{c.p}$ виставляють на реле струм захисту КА.

Захист від замикань на землю

в обмотці статора генератора

За однофазного замикання на землю в обмотці статора генератора рівень струмів замикання є незначним. Він становить від кількох до декількох десятків А, оскільки потужні генератори на електростанціях працюють з ізольованою нейтраллю. Тому створити чутливий та селективний захист від замикань на землю в обмотці статора генератора, що реагував би на такі незначні струми замикання, сьогодні практично неможливо. Коли струм замикання на землю 5 А, захист діє на аварійне вимкнення генератора від мережі. Зазвичай, захисти від замикань на землю в обмотці статора генератора як в Україні, так і за кордоном, аналізують напруги обмотки статора. Для забезпечення чутливості до замикань на землю в усіх місцях обмотки статора захист має два органи – орган максимальної напруги нульової послідовності основної частоти, що захищає частину витків (85–95%) обмотки статора зі сторони лінійних виводів та орган напруги третьої гармоніки, що захищає частину обмотки статора (до 30%) зі сторони нейтралі та саму нейтраль. Ці органи приєднують до трансформаторів напруги, встановлених відповідно зі сторони лінійних виводів (TV1) та нейтралі (TV2) (рис. 6). Вимірні органи захисту реле напруги KV1 та KV2 приєднують до трансформаторів напруги через пропускаючі фільтри відповідно першої (Z1) та третьої (Z3) гармонік.

Схема приєднання вимірних органів захисту від однофазних замикань на землю обмотки статора генератора

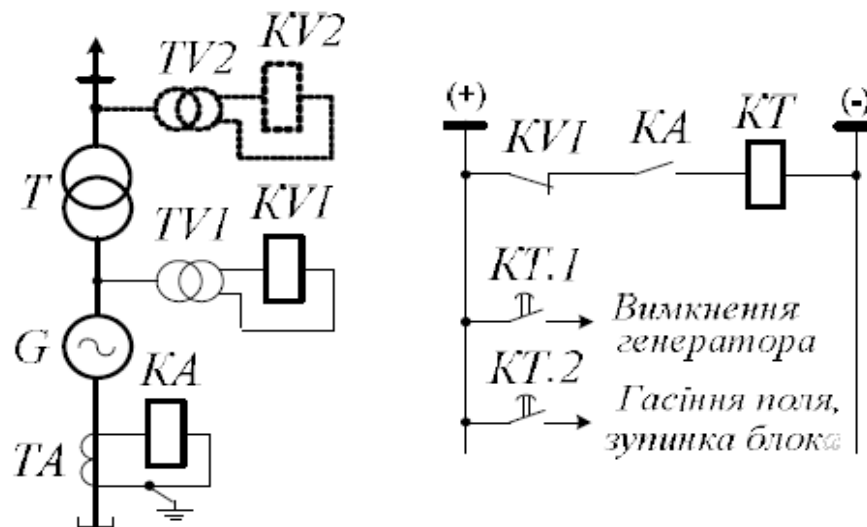


Для нормальної роботи вимірних органів захисту співвідношення коефіцієнтів трансформації трансформаторів напруги, встановлених в нейтралі генератора та на його виводах.

Захист генератора від зовнішніх симетричних коротких замикань

18

Цей захист виконує функції як дальнього резервування (за відмов захистів суміжних елементів), так і ближнього резервування (за відмов основних захистів генератора). Для захисту від зовнішніх симетричних к.з. застосовують максимальний струмовий захист з пуском за напругою – для генераторів невеликої потужності, а дистанційний захист – для генераторів великої потужності. На рис наведена схема максимального струмового захисту з пуском за напругою.



Струмовий орган – реле КА (рис. 8) вмикають на струм однієї з фаз статора генератора зі сторони нейтралі. За такого увімкнення струмового органа зона дії захисту охоплює усю обмотку статора генератора. Реле мінімальної напруги KV1 вмикають до лінійної напруги зі сторони виводів генератора. Для підвищення ефективності дальнього резервування захист доповнюють реле мінімальної напруги KV2, яке вмикають на напругу сторони вищої напруги блочного трансформатора Т. Захист виконують з двома витримками часу – для дальнього та ближнього резервування. За зовнішнього к.з. та неспрацювання (відмови) захистів суміжних елементів максимальний струмовий захист генератора з пуском за напругою з меншою витримкою часу, яка визначається першою уставкою реле часу КТ.1, діє на вимкнення генератора від мережі. Якщо після вимкнення генератора вимірні органи захисту залишились в спрацьованому стані, це свідчить про пошкодження в самому генераторі та неспрацюванні основних захистів генератора. У такому разі захист з другою, більшою витримкою реле часу КТ.2 діє на гасіння поля генератора та зупинку його теплосилового обладнання.

Розрахунок захисту генератора від зовнішніх симетричних коротких замикань

Струм спрацювання захисту відводять від номінального струму генератора:

$$I_{с.з} = \frac{k_{в\ddot{и}д}}{k_{п\ddot{о}в}} \cdot I_{Г.н\ddot{о}м},$$

де $k_{в\ddot{и}д}=1, 2$ – коефіцієнт відведення; $k_{п\ddot{о}в}$ – коефіцієнт повернення, величина якого залежить від типу реле, наприклад, для реле РТ-40 $k_{п\ddot{о}в}=0,8$; $I_{Г.н\ddot{о}м}$ – номінальний струм генератора.

Первинну напругу спрацювання вимірного органа мінімальної напруги:

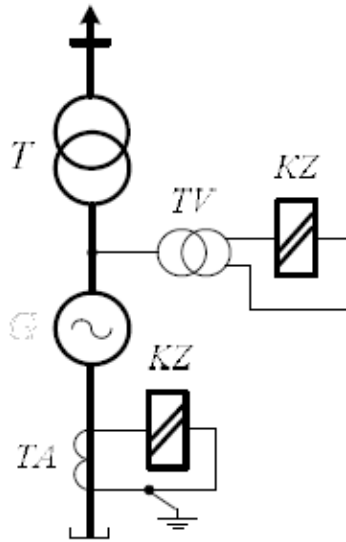
$$U_{с.з} = (0,5 \div 0,6) \cdot U_{Г.н\ddot{о}м},$$

де $U_{Г.н\ddot{о}м}$ – номінальна напруга на виводах статора генератора.

За автономної роботи генератора на виділене навантаження зона резервування максимального струмового захисту з пуском за напругою охоплює ділянку лінії, довжиною ~75 км. За живлення місця к.з. і від інших джерел ця зона істотно зменшується і становить 10–20 км.

Для розширення зони захисту генератора від зовнішніх симетричних к.з. доцільно встановлювати дистанційний захист. У цьому разі зона резервування захисту охоплює кілька сотень кілометрів повітряної ЛЕП.

Схема увімкнення вимірного органа дистанційного захисту генератора 21



На дистанційному реле можна налаштувати характеристики–кругову (рис. 9, а), кругову зі зміщенням в третій квадрант (рис. 9, б) та еліптичну (рис. 9, в).

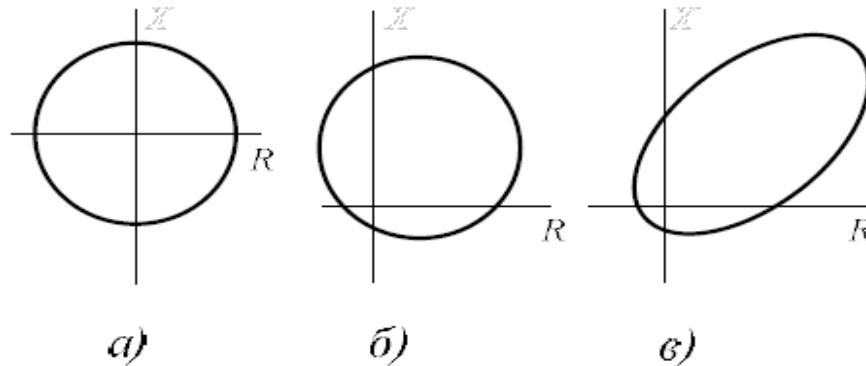


Рис. 9 Характеристики реле опору блок-реле КРС-2

Оптимальними є характеристики зі зміщенням в III квадрант (рис. 9, б, в). У цьому разі захист охоплює крім зовнішньої електричної мережі і виводи генератора. Еліптична характеристика (рис. 9, в) дає змогу відвести роботу захисту від максимального робочого режиму генератора. Опір спрацювання захисту вибирають з умови відведення від режиму максимального навантаження генератора.

Для реле з круговою характеристикою опір спрацювання захисту:

$$Z_{с.з} = \frac{Z_{нав}}{k_{від} \cdot k_{пов} \cdot \cos(\varphi_{м.ч} - \varphi_{нав})},$$

де $k_{від} = 1, 2$ – коефіцієнт відведення; $k_{пов} = 1,05$ – коефіцієнт повернення; $\varphi_{м.ч} = 80^\circ$ – кут максимальної чутливості; $\varphi_{нав}$ – аргумент імпедансу навантаження, що відповідає максимальному навантаженню генератора; $Z_{нав}$ – модуль імпедансу навантаження, який вибирають з умови короткочасного перевантаження генератора на 50%

$$Z_{нав} = \frac{U_{Г.мін}}{\sqrt{3} \cdot I_{Г.макс}} = \frac{0,95 \cdot U_{Г.ном}}{\sqrt{3} \cdot 1,5 \cdot I_{Г.ном}},$$

де $U_{г.мін}$ – мінімальна напруга на виводах статора генератора;
 $I_{г.макс}$ – максимальний струм обмотки статора генератора за допустимого короткочасного перевантаження генератора.

До виникнення перевантаження активну потужність:

$$P_{Г.НОМ} = \sqrt{3} \cdot U_{Г.НОМ} \cdot I_{Г.НОМ} \cdot \cos \varphi_{НОМ}$$

Після виникнення перевантаження:

$$P_{Г.НОМ} = \sqrt{3} \cdot 0,95 \cdot U_{Г.НОМ} \cdot 1,5 \cdot I_{Г.НОМ} \cdot \cos \varphi_{НАВ}$$

Модуль імпедансу, що відповідає більшій осі еліпса:

$$Z_{с.з.макс} = \frac{Z_{НАВ}}{k_{ВІД} \cdot k_{ПОВ}} = \frac{0,95 \cdot U_{Г.НОМ}}{0,8 \cdot P_{Г.НОМ} \cdot k_{ВІД} \cdot k_{ПОВ}}$$

Співвідношення осей еліпса визначає розрахунковий коефіцієнт еліптичності:

$$k_{еліп.розр} = \frac{Z_{с.з.мін}}{Z_{с.з.макс}},$$

де $Z_{с.з.мін}$ – модуль імпедансу, що відповідає малій осі еліпса.

$$Z_{с.з.мін} = k_{еліп} \cdot Z_{с.з.макс}.$$

Уставку спрацювання реле визначають з врахуванням коефіцієнтів трансформації трансформаторів струму та напруги:

$$Z_{с.р} = Z_{с.з} \cdot \frac{n_{TA}}{n_{TV}} \cdot n_{TL},$$

де n_{TA} , n_{TV} – коефіцієнти трансформації трансформаторів відповідно струму та напруги, до яких приєднаний вимірний орган захисту; n_{TL} – коефіцієнт трансформації проміжного трансформатора струму, якщо він додатково $n_{TL} = 1$ встановлений в струмових колах реле. За його відсутності приймають

Захист обмотки статора генератора від симетричних перевантажень

Захист діє на сигнал з витримкою часу 6–9 с за наявності симетричного перевантаження обмотки статора генератора. Для цього захисту застосовують одне реле струму, до якого підводять струм однієї фази – фази В генератора.

На вітчизняних електростанціях для захисту обмотки статора від перевантажень застосовують реле типу РТВК. Це реле має високий коефіцієнт повернення, порядку 0,99. Реле РТВК виконано з застосуванням напівпровідникових елементів – транзисторів, діодів, стабілітронів та інтегрального підсилювача. Особливістю цього реле є те, що воно не потребує спеціального блока живлення – до реле підводиться тільки струм від трансформатора струму. Живлення схеми реле здійснюється вторинним струмом трансформатора струму.

Розрахунок захисту обмотки статора генератора від симетричних перевантажень

Первинну уставку захисту від симетричних перевантажень:

$$I_{с.з} = \frac{k_{від}}{k_{пов}} \cdot I_{Г.ном} = \frac{1,05}{0,99} \cdot I_{Г.ном} = 1,06 \cdot I_{Г.ном},$$

де $k_{від} = 1,05$ – коефіцієнт відведення; $k_{пов} = 0,99$ – коефіцієнт повернення реле; $I_{Г.ном}$ – номінальний струм обмотки статора генератора.

Уставку реле визначається:

$$I_{с.р} = \frac{I_{с.з}}{k_{ТА}},$$

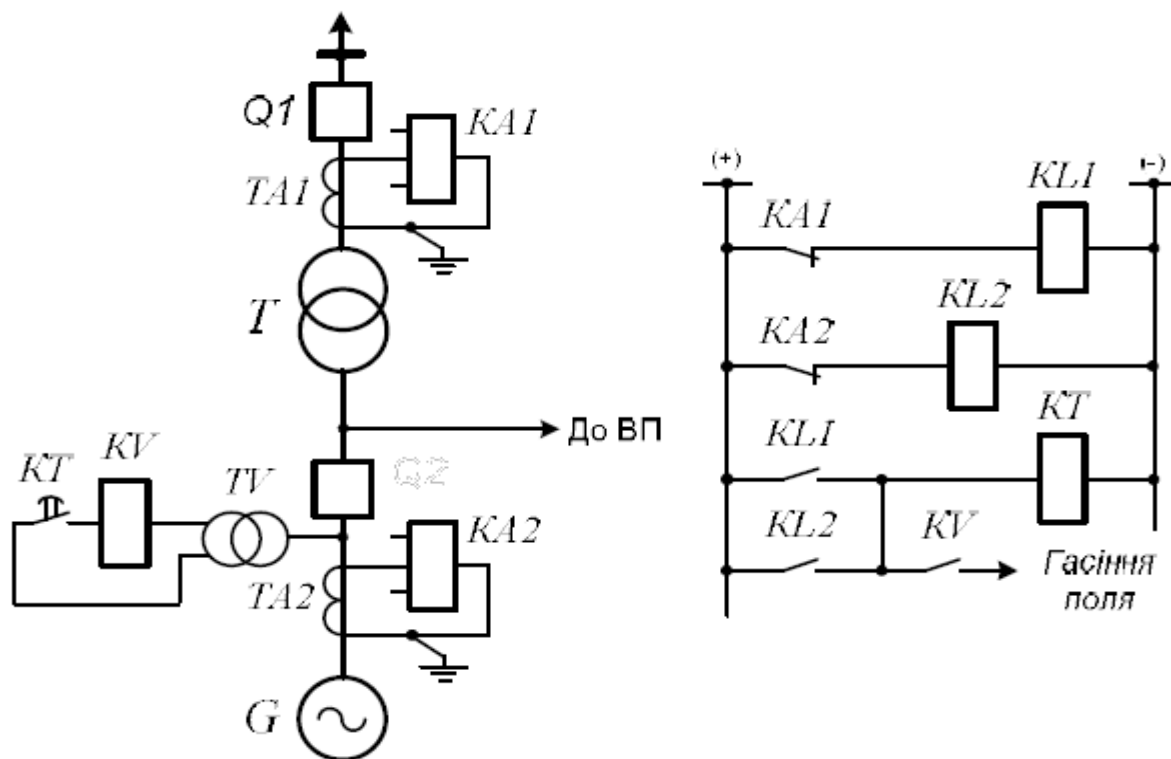
де $k_{ТА}$ – коефіцієнт трансформації трансформатора струму; $I_{с.з}$ – первинна уставка захисту.

Реле РТВК виконано на діапазон уставок $3,68 \div 14$ А.

Захист обмотки статора генератора від підвищення напруги

Цей захист запобігає пробом обмотки статора генератора від підвищення напруги під час роботи генератора на неробочому ході. Захист діє на гасіння поля генератора. Цей захист є обов'язковим для всіх генераторів потужністю 160 МВт та більше.

Принципова схема захисту :



Основний елемент захисту – реле максимальної напруги KV, яке контролює рівень міжфазної напруги на виводах генератора. Для вітчизняних генераторів використовують реле максимальної напруги типу РН-58/200. Захист виконаний з блокуванням за струмом – він діє тільки за відсутності струму в обмотці статора генератора, тобто під час роботи генератора на неробочому ході. Контроль струму здійснюють трифазні реле струму КА1 та КА2, які також використовують у схемах пристроїв резервування відмови вимикачів (ПРВВ). Ці реле контролюють наявність струмів усіх фаз. Реле спрацьовує за відсутності струму у всіх фазах. Це необхідно для контролю повнофазного вимкнення генератора від мережі. За неповнофазного вимкнення блочного вимикача генератор працює паралельно з системою і тоді захист не повинен працювати. Тому захист повинен спрацьовувати лише за відсутності струму у всіх фазах генератора.

Аналогічно схема працює і після вимкнення генераторного вимикача Q2. У цьому разі блокування за струмом здійснює реле струму КА2. Витримку часу вводять для відведення захисту від хибної роботи за короточасних підвищень напруги генератора, які можливі відразу після вимкнення генератора від мережі. Зазвичай, ця витримка часу становить 3 с.

для реле напруги:

$$U_{с.з} = 1,2 \cdot U_{Г.ном};$$

для блокувальних струмових реле:

$$I_{с.з} = 0,1 \cdot I_{Г.ном},$$

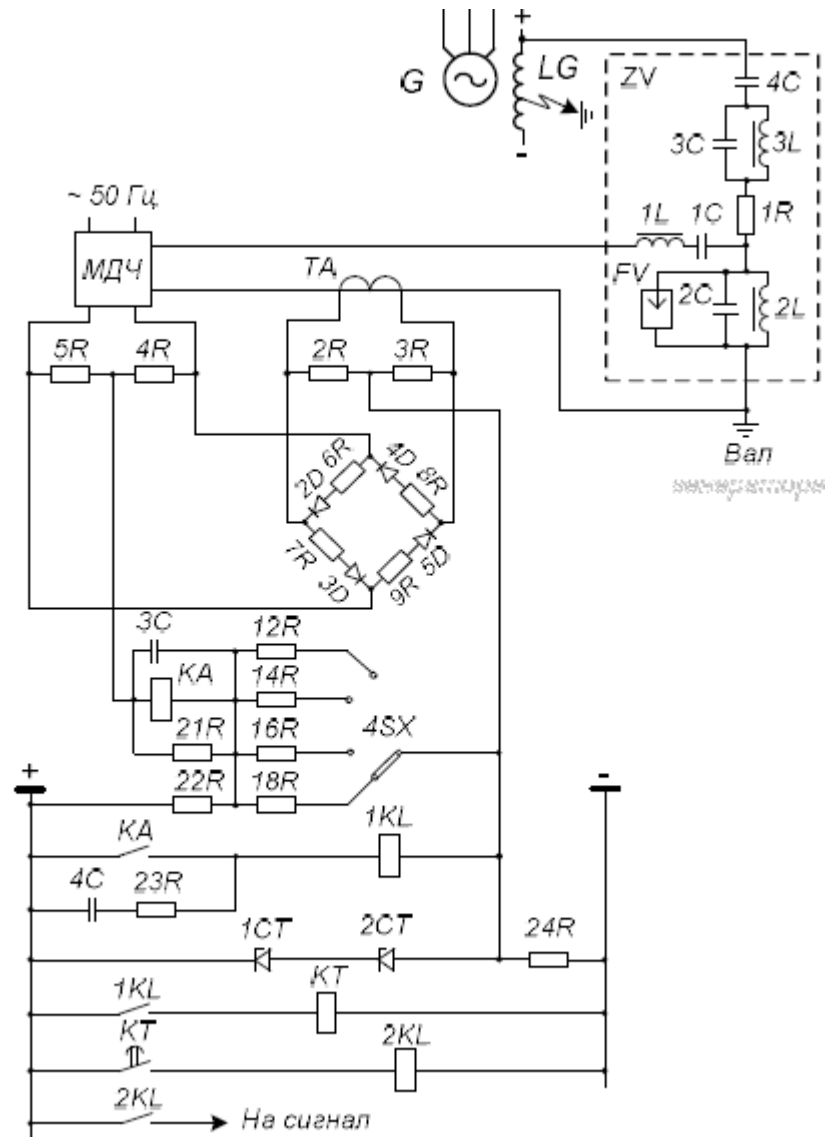
де $U_{Г.ном}$, $I_{Г.ном}$ – відповідно номінальна напруга та номінальний струм генератора.

Захист генератора від замикань на землю в колах збудження

Для генераторів застосовують захист від замикань на землю в одному місці кіл збудження, що діє на сигнал та захист від замикань у двох місцях кіл збудження, що діє на аварійне вимкнення генератора від мережі. Проте на генераторах великої потужності (500 МВт та більше) у зв'язку з тяжкими наслідками аварій за замикання в двох місцях кіл збудження, захист від замикання на землю в одному місці також діє на аварійне вимкнення генератора від мережі.

Для захисту генератора за появи землі в одному місці кіл збудження застосовують захист типу КЗР-3, в якому накладається на кола збудження змінний струм частотою 25Гц.

Схема пристрою захисту типу КЗР-3



Пояснення до схеми пристрою захисту типу КЗР-3 32

Джерелом живлення схеми є магнітний дільник частоти (МДЧ), що живиться від мережі 220 В власних потреб електричної станції. На виході МДЧ є дві обмотки, з яких знімається напруга частотою 25 Гц. З однієї обмотки напруга частотою 25 Гц подається в кола збудження генератора, з другої – в схему захисту. Змінну напругу частотою 25 Гц одним проводом підводять до заземленого вала генератора, а другим – до обмотки ротора через додатковий пристрій – фільтр ZV. Фільтр ZV блокує протікання струмів частотою 50 Гц та більше від системи збудження, що живить обмотку збудження генератора (тиристорна чи високочастотна система збудження, крім постійного струму, генерує і високочастотні складові). Це блокування здійснюють частотні L–C фільтри: 3L–3C, 2L–2C та 1L–1C. Конденсатори 4C та 1C призначені для не пропускання постійного струму збудження в кола захисту – постійний струм може намагнітити магнітопровід проміжного трансформатора струму ТА.

Струм частотою 25 Гц, що протікає через обмотку збудження, має дві складові – активну та ємнісну. Коли ізоляція кіл збудження є нормальною, у струмі, переважно, є лише ємнісна складова. За порушення ізоляції виникає і активна складова. На цю активну складову реагує захист. Активну складову струму частотою 25 Гц, що протікає через обмотку збудження, виділяє симетрична кільцева фазочутлива схема пристрою захисту.

Після виникнення замикання в одному місці кіл збудження, на виході фазочутливої схеми (з ділянки напруги, утвореного резисторами $5R-4R$ та $2R-3R$) виникає напруга, що буде більшою від еталонної напруги. Як відзначено вище, еталонна напруга знімається з ділянки напруги, утвореного резистором $22R$ та одним з резисторів $12R$, $14R$, $16R$ чи $18R$. У результаті спрацює чутливе магнітоелектричне реле КА. Реле замкне свій контакт КА в колі проміжного реле $1KL$, яке, своєю чергою, подасть живлення до обмотки реле часу КТ. Безпосередньо подавати живлення до реле часу магнітоелектричне реле КА не може, тому що має слабкі контакти. Реле КТ з заданою витримкою часу подасть живлення на проміжне реле $2KL$, яке запустить кола сигналізації. Основним недоліком захисту є те, що його чутливість залежить від ємності на землю кіл збудження. Якщо ємність кіл збудження становить ~ 2 мкФ, то похибка струму спрацювання захисту може досягати 30%. Зазвичай, за роботи генератора з робочим збудником (тиристорним, високочастотним, безщітковим), ємність ланок збудження менше ніж 2 мкФ, але у разі роботи генератора з резервним електромашинним збудником, ця ємність може сягати 5 мкФ.

Схема захисту від замикання в колах вимірювання

Таку величину ємності визначають значної довжини кабелі зв'язку між електромашинним збудником та генератором. У такому разі захист КЗР-3 не застосовують. Після спрацювання захисту типу КЗР-3, що сигналізує про наявність замикання в одному місці системи збудження, до кіл збудження даного генератора необхідно приєднують захист від замикань на землю в двох місцях. Цей захист діє на аварійне вимкнення генератора від мережі. Для цього застосовують захист типу КЗР-2.

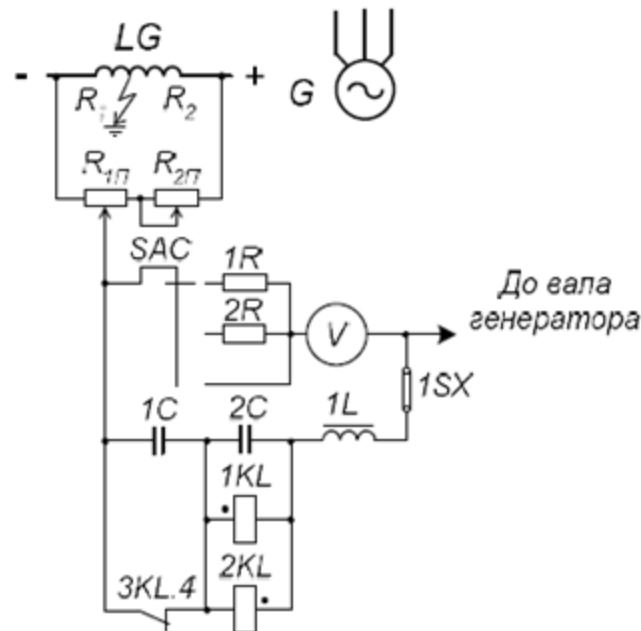
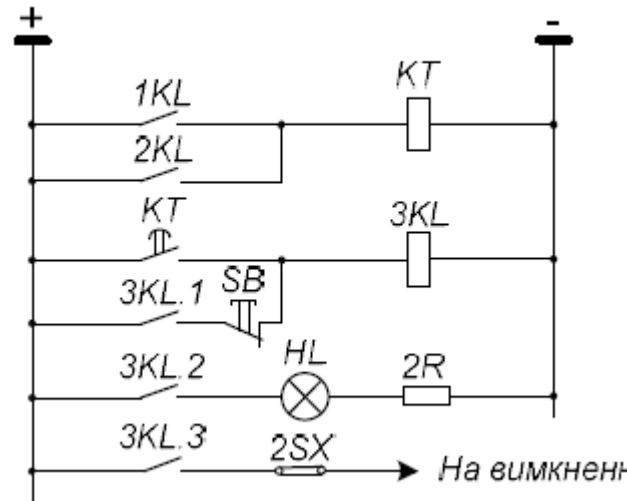


Схема захисту від замикання в оперативному колі збудження генератора

35



Основним недоліком захисту КЗР-2 - необхідність його налагодження та введення в роботу лише після появи замикання в одному місці кіл збудження. А на це потрібен час. Тому, якщо замикання в другому місці кіл збудження виникає відразу після появи замикання в одному місці, генератор практично не має захисту від замикання на землю в двох місцях. А це може мати катастрофічні наслідки для генератора. Тому вчасне вимкнення генератора можливе лише вручну і залежить від кваліфікації оперативного персоналу станції.

Захист обмотки ротора генератора від перевантаження струмом збудження

Перегрівання обмотки ротора (обмотки збудження) призводить до передчасного старіння її ізоляції і, як наслідок, до її пробою. Тому необхідно контролювати температуру обмотки ротора. Обмотка ротора нагрівається нерівномірно. Для повного аналізу її температурного стану необхідно контролювати температуру в різних місцях ротора, але технічно це зробити доволі складно. Тому на практиці застосовують непрямий контроль температури обмотки ротора. Оскільки основною причиною перегрівання обмотки ротора є струм збудження, то контролюють його величину і за величиною струму збудження роблять висновок про температурний стан обмотки. Цей принцип використано в різних типах захисту обмотки ротора від перевантажень.

Для роботи захисту необхідно контролювати струм ротора генератора. Інформація про струм ротора подається до захисту від спеціальних датчиків струму. Наявні різні датчики струму збудження.

Основними датчиками струму:

- константова вставка;
- трансформатор постійного струму (магнітний підсилювач);
- індукційний короткозамкнений датчик струму.

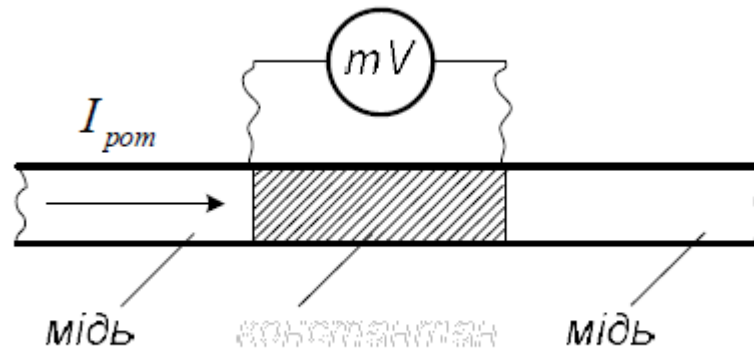
Шафа захисту системи збудження

36_2



ШЭ1113-910AG

Константанова вставка є найпростішим перетворювачем струму збудження . Константан – метал, який на відміну від міді, практично не змінює свого опору за певного діапазону температури (20–120°C). Невеликий фіксований об'єм константану впаюють у мідну обмотку збудження генератора . Спад напруги на цій вставці вимірюють за допомогою мілівольтметра.



Контроль струму збудження за допомогою константанової вставки

Якщо контролювати спад напруги на цій константановій вставці та знаючи її опір, можемо з достатньою точністю визначати величину струму обмотки ротора:

$$I_{\text{рот}} = \frac{U_{\text{к.вст}}}{R_{\text{к.вст}}},$$

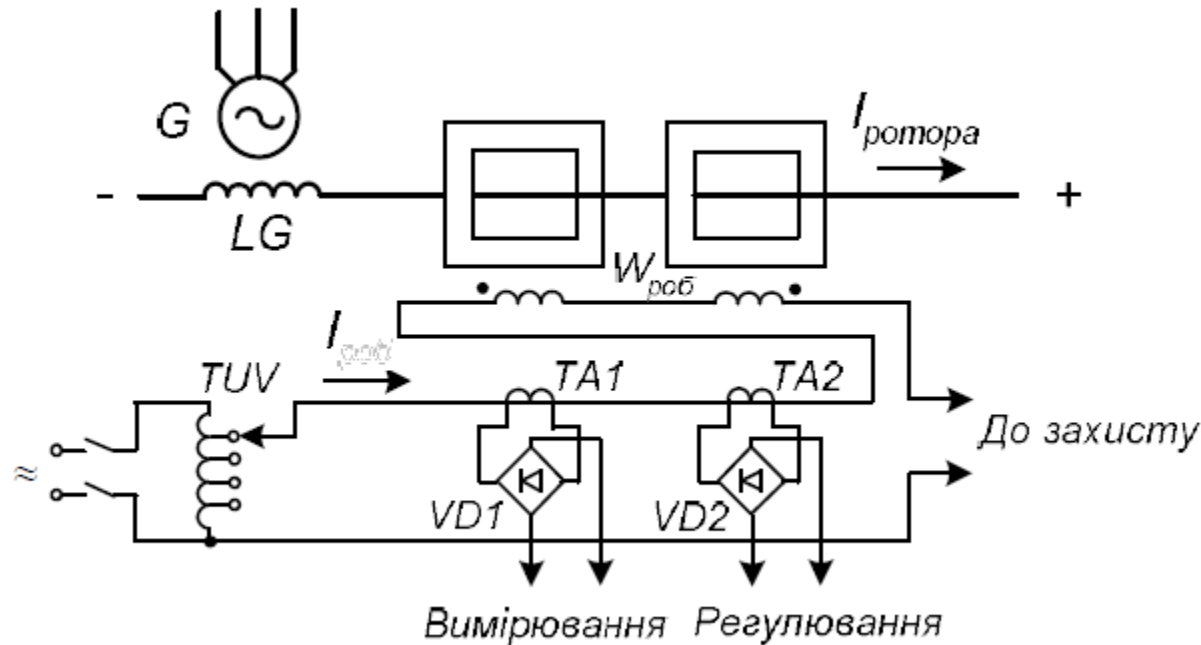
де $U_{\text{к.вст}}$ – спад напруги на константановій вставці;

$R_{\text{к.вст}}$ – опір константанової вставки, який вважають постійною величиною, що не залежить від нагрівання обмотки.

Але потужність джерела цієї напруги є недостатньою для роботи захистів, виконаних з застосуванням електромеханічних та напівпровідникових елементів. Таку схему контролю величини струму ротора можна застосовувати для цифрових захистів, вхідні кола яких споживають невелику потужність. Для вимірювання струму обмотки ротора за тиристорної чи високочастотної систем збудження застосовують трансформатор постійного струму ; за без щіткової системи збудження - індукційний короткозамкнений давач струму .

Трансформатор постійного струму (ТПС) – магнітний підсилювач, по керуючій обмотці якого протікає струм ротора $I_{\text{ротора}}$. Стрижень, по якому протікає струм ротора, проходить через вікно двох магнітопроводів. На кожному магнітопроводі розміщено чотири секції робочої обмотки $w_{\text{роб}}$, які з'єднані паралельно. Обмотки окремих магнітопроводів з'єднують послідовно за номінального струму ротора 1,5–2,5 кА, як показано на рисунку, або паралельно, коли номінальний струм ротора більший, ніж 3 кА.

Схема перетворювача струму ротора з застосуванням трансформатора постійного струму 40



Вторинне навантаження ТПС (захист, кола вимірювання та регулювання) приєднано у коло робочої обмотки. Напругу джерела живлення з частотою 50 Гц або 400 Гц через автотрансформатор TUV підводять до робочої обмотки ТПС. Отже, струм у кола захисту, вимірювання та регулювання подається від цього джерела живлення через робочу обмотку ТПС.

У ТПС, що є дросельним магнітним підсилювачем з великим опором в колі управління, за зустрічно-послідовно увімкнених робочих обмоток уроб обох осердь і підведення до кола цих обмоток синусоїдної напруги живлення в цьому колі протікатиме змінний струм практично прямокутної форми з частотою напруги джерела живлення.

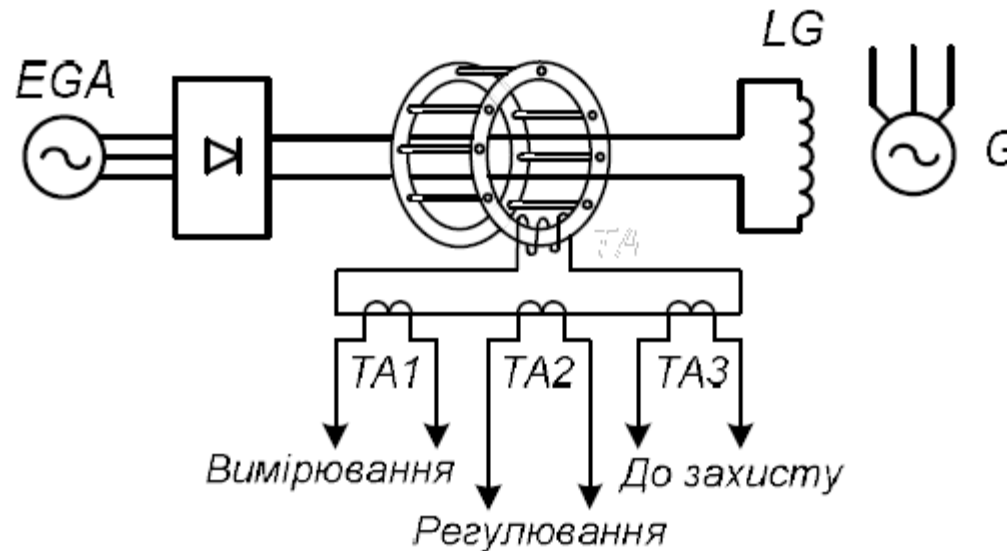
Похибка ТПС для струмів ротора $(0,25 - 1,2)I_{\text{рот.ном}}$ не перевищує 1,53%. Для струму $2I_{\text{рот.ном}}$ похибка становить 5–10%. За безщіткової системи збудження безпосередньо контролювати струм збудження неможливо.

Індукційний короткозамкнений перетворювач струму

Індукційний перетворювач струму - це короткозамкнена "білкова клітка", яка охоплює вал генератора, всередині котрого проходять проводи від збудника EGA до обмотки ротора LG. За обертання ротора генератора, в нерухомій "білковій клітці" обертове магнітне поле, зумовлене струмом збудження, що протікає по проводах від збудника EGA, індукує струми Фуко. Ці струми, своєю чергою, трансформуються у закорочену вторинну обмотку додаткового трансформатора струму ТА, яка водночас є первинною обмоткою трансформаторів струму ТА1, ТА2, ТА3. Від вторинних обмоток цих трансформаторів струму підводять струми до реагуючих органів систем вимірювання, регулювання та захисту. Параметри індукційного давача струму розраховані та обрані такими, що за номінального струму обмотки збудження генератора, вторинний струм трансформатора струму ТА дорівнює 2,5 А.

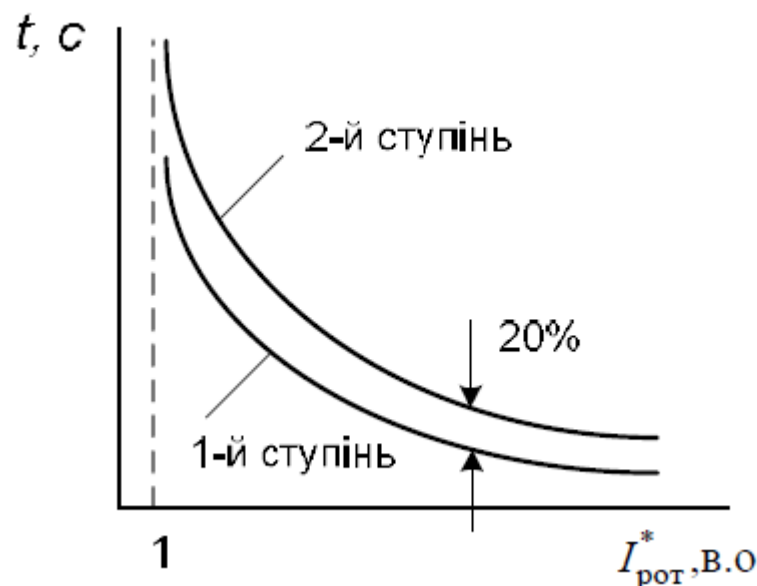
Індукційний перетворювач струму в обмотці ротора

43

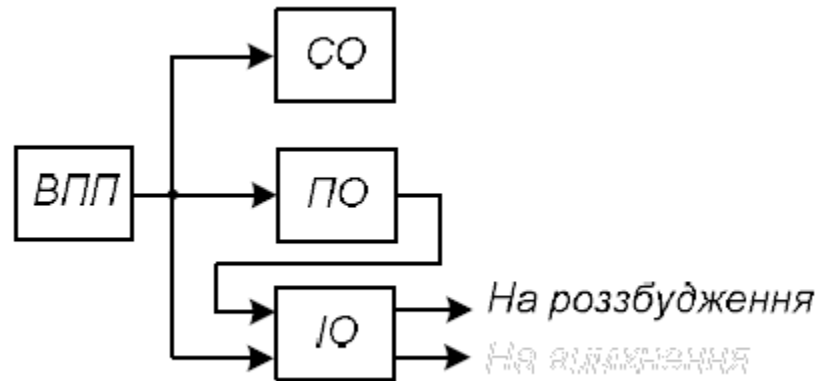


Для генераторів, потужністю 160 МВт та більше, що експлуатують електростанції України, для захисту ротора від перевантаження застосовують захист типу РЗР-1М. Цей захист має два ступені. Перший ступінь з залежною від кратності струму перевантаження витримкою часу діє на розбудження генератора через систему автоматичного регулювання струму збудження, другий – також з залежною витримкою часу – на аварійне вимкнення генератора від мережі. Витримки часу цих двох ступенів за тих самих струмів відрізняються на 20% (рис. 15).

Характеристики захисту від перевантаження обмотки ротора струмом збудження



До складу пристрою захисту типу РЗР-1М входить вхідний перетворювальний пристрій (ВПП), призначений для налагодження вхідних кіл РЗР-1М на заданий вторинний номінальний струм обмотки ротора та для перетворення змінного струму в випростовану згладжену напругу. З виходу ВПП ця напруга подається до основних органів захисту – сигнального СО, пускового ПО, інтегрального ІО. Кожен з цих органів має свою уставку спрацювання.



Сигнальний орган СО сигналізує про виникнення перевантаження кіл збудження. Діапазон уставок сигнального органу становить $(1-1,2)I_{\text{рот.ном}}$. Зазвичай, встановлюють значення $1,05I_{\text{рот.ном}}$. Інтегральний орган ІО призначений для оцінювання акумуляції тепла в обмотці ротора. ІО розраховує кількість теплоти, яка нагромаджується в роторі з врахуванням перевантаження за струмом обмотки ротора та його охолодження після зняття перевантаження. Час спрацювання інтегрального органу становить

$$t = \frac{A}{(k \cdot (I_{* \text{рот}} - B))^2},$$

де A – постійна, що враховує накопичення тепла в роторі; k , B – коефіцієнти, що визначають вид характеристики та діапазон уставок; $I_{* \text{рот}}$ – відносне значення струму збудження генератора.

Захист РЗР-1М виготовляють у двох модифікаціях – для захисту генераторів, для яких час допустимого двократного перевантаження за струму збудження становить відповідно 20 с та 30 с. З однією витримкою часу (меншою) інтегральний орган діє на роззбудження генератора, з другою (більшою) – на аварійне вимкнення генератора від мережі. Пусковий орган призначений для пуску інтегрального органа. Його уставка становить $(1,05-1,25)I_{\text{рот.ном}}$, зазвичай, встановлюють уставку $1,1I_{\text{рот.ном}}$.

Презентація закінчена.
Дякую за увагу