

# ДОДАТОК

## З ДОСВІДУ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

УДК 621.313.333

В.В. Тутка  
Бурштинська ТЕС

### СИСТЕМИ ЗБУДЖЕННЯ ГЕНЕРАТОРІВ БУРШТИНСЬКОЇ ТЕС ТА ЇХ МОДЕРНІЗАЦІЯ

О Тутка В.В., 2008

**Проаналізовано існуючі системи збудження генераторів Бурштинської ТЕС, обґрунтовано необхідність та наведено рекомендації щодо їх модернізації.**

**The existent excitation systems of generators of Burshtyn power plant are analysed in the paper and the recommendations for their modernization are presented.**

**Постановка завдання.** На Бурштинській ТЕС вводились в роботу турбогенератори типу ТГВ-200 з 1965 по 1969 рік. У період експлуатації генератор ТГ 8 випуску 1968р. було замінено на генератор ТГВ – 200 випуску 1975 р. Генератор ТГ–12 типу ТГВ – 200 випуску 1969 р. в 1974 р. було замінено генератором типу ТГВ – 200 М. В 1985 р. Генератор ТГ-10 типу ТГВ–200 випуску 1968р. було замінено генератором типу АСТГ–200, а турбогенератор ТГ-9 типу ТГВ–200 випуску 1969р. був замінений генератором типу АСТГ–200 в 1991 році.

Одним із напрямків технічного переоснащення енергоблоків є заміна фізично і морально застарілих систем збудження турбогенераторів.

Для підвищення якості регулювання напруги генератора, підвищення стабільності його роботи в енергосистемі доцільним є використання швидкодіючих статичних систем регулювання збудження з цифровими регуляторами збудження [1].

Впровадження таких систем вимагає ґрунтового аналізу існуючих систем збудження генераторів. Виконання такого аналізу та вироблення рекомендацій щодо модернізації існуючих систем збудження генераторів Бурштинської ТЕС є завданням цього дослідження.

**Тиристорна система збудження ТГВ-200.** Як основна система збудження на турбогенераторах ТГВ-200 Бурштинської ТЕС використовується статична система самозбудження із застосуванням послідовних вольтододаткових трансформаторів, керованих кремнієвих вентилів і АРЗ сильної дії [2]. Структурна схема цієї системи показана на рис. 1, на якому позначено: Г – турбогенератор; Т – силовий трансформатор; ПВ – повітряний вимикач; ТВ – випрямний трансформатор (збудження); ПТ – послідовний трансформатор; ТС – трансформатор струму; ТН – трансформатор напруги; АГП – автомат гасіння поля; КГВ-Р – робоча група вентилів; КГВ-Ф – форсувальна група вентилів; КВ-Ф – некерована група вентилів; 1ТВП-Р – трансформатор ВП робочої групи; 2ТВП-Ф – трансформатор ВП форсувальної групи; ДБЗЗЗ – дільник напругових кіл ЖЗЗ; БЗЗЗ – блок зворотного зв'язку; БКС – блок компаундування за струмом статора; ДП – допоміжний пристрій;  $2I_{\text{рот.ном}}$  – пристрій обмеження максимального струму ротора; БПЧ – блок перетворення частоти; Ф – фільтр; БЧЗ – блок частоти і захисту; ВПР – блок вимірювання перевантаження ротора; БН – блок напруги; Відкл.АРЗ – реле відімкнення АРЗ; ОМЗ – блок обмеження мінімального збудження; ОП – блок обмеження перевантаження; ОБ – операційний блок;  $\Delta U$ ,  $U'$ ,  $\Delta f$ ,  $f'$ ,  $I_{\text{рот.ном}}$ ,  $I_{\text{рот.}}$ , ЖЗЗ, ГЗЗ, Форс – канали регулювання АРЗ; СУТ-Р – система управління робочої групи, СУТ-Ф – система управління форсувальної групи; БФ – блок фільтрів СУТ; БЖ – блок живлення СУТ; УІ – перший каскад МУ АРЗ; УІІ – другий каскад МУ АРЗ; ТПС – трансформатор постійного струму; БОР-2І – блок обмеження струму ротора до  $2I_{\text{рот.ном}}$ .

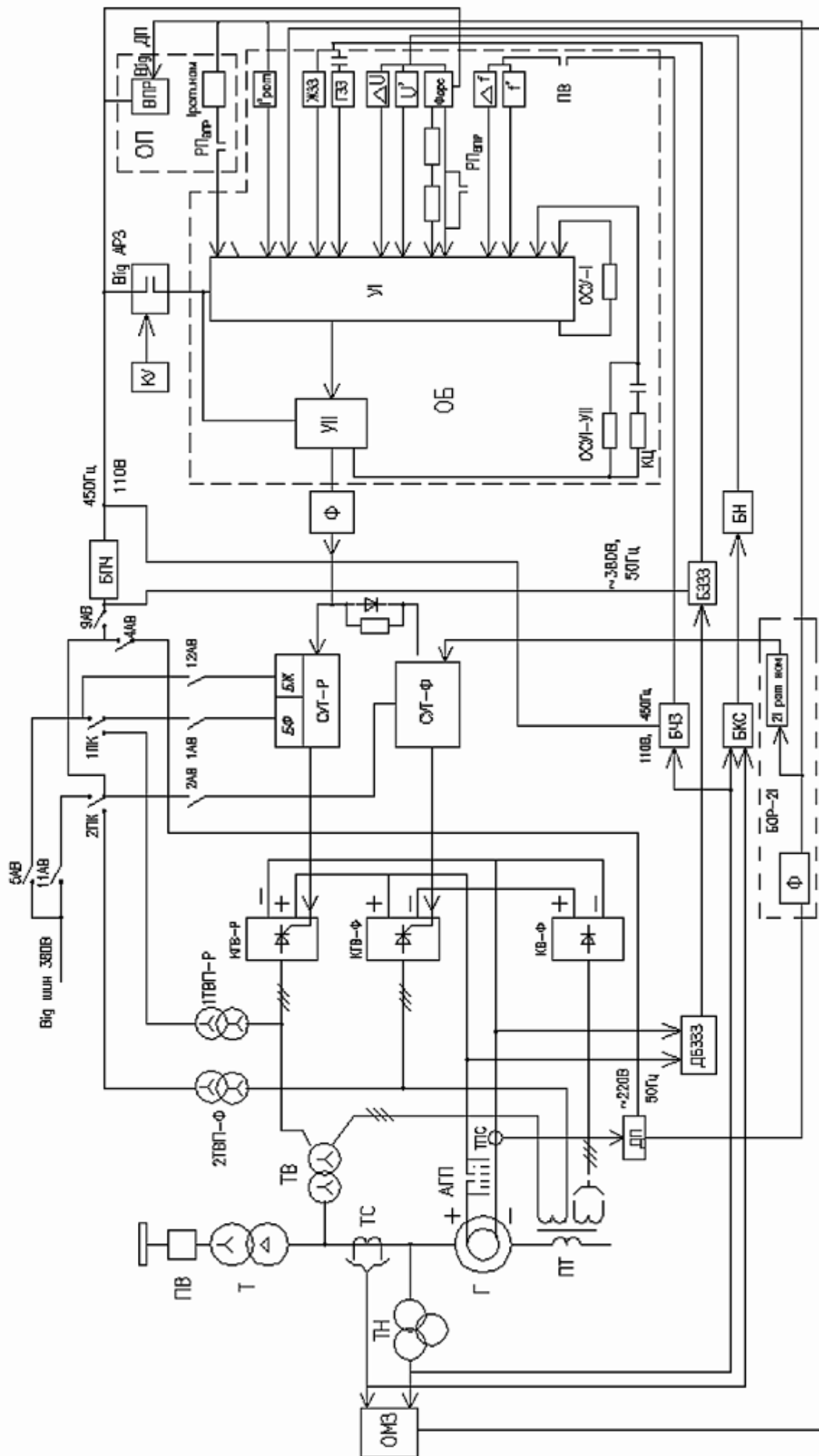


Рис. 1. Структурна схема статичної системи самозбудження турбогенератора ТГВ-200

Основні параметри системи збудження генераторів у номінальному режимі: струм збудження 1890 А (паспортне значення), напруга збудження за робочої температури ротора 390-420 В.

Як збудники застосовується тиристорний збудник виробництва „Уралелектротязмаш” типу ВТС –  $\frac{460 \cdot 2}{2} - \frac{3200}{96 + 24}$ .

Система збудження забезпечує такі режими роботи турбогенератора: ввімкнення генератора в мережу методом точної синхронізації або самосинхронізації, експлуатаційні режими від недозбудження і холостого ходу до номінального навантаження, форсування збудження, гасіння поля генератора, розбудження, нормальні і аварійні зупинення.

Регулювання збудження турбогенератора здійснюється АРЗ сильної дії за відхиленням напруги статора  $\Delta U$ , похідної напруги  $U'$ , за відхиленням частоти  $\Delta f$  і похідної частоти  $f'$ , за похідною струму збудження.

Діапазон зміни уставки АРЗ за напругою статора в режимі неробочого ходу генератора становить від 0.8 до  $1.1 U_{\text{ген.ном.}}$ . Регулятор забезпечує підтримку напруги на шинах станції зі статизмом від 2 до 4 %.

За вимкненого АРЗ за допомогою блока ручного управління (БРУ) за необхідності можна здійснювати зміну (коректування) струму збудження генератора (струм збудження може плавно змінюватися за допомогою БРУ від  $0.8 I_{\text{Гнх}}$  до  $I_{\text{Гном}}$ )

Коефіцієнт АРЗ з відхилення напруги  $\Delta U$  становить  $50 \frac{\text{од.збуд}}{\text{од.напруги}}$ . Збудник має лінійну регульовальну характеристику в діапазоні зміни напруги на роторі від  $0,4 U_{\text{н.х.}}$  до  $1,2 U_{\text{ном.}}$  за номінальної активної потужності генератора в нормальних експлуатаційних умовах.

Система тиристорного збудження забезпечує двократне форсування за напругою і струмом збудження (у разі навантаження вище  $P=0.85 P_{\text{ном.}}$  з номінальним  $\cos\phi$ ; при встановленому трифазному короткому замиканні на стороні високої напруги блока генератор-трансформатор; під час виникнення і в момент вимкнення к.з.), самозбудження генератора за трифазного к.з. на стороні високої напруги блока і під час вмикання генератора в мережу методом самосинхронізації.

Система збудження має пристрої, що забезпечують миттєве обмеження струму збудження до значення  $2I_{\text{Гном}}$ , обмеження за перевантажень струму збудження за часом, залежним від кратності перевантаження; обмеження мінімального збудження з уставкою, залежною від активної потужності.

Під час перехідних процесів короткочасне інтенсивне розбудження здійснюється дією АРЗ на закриття тиристорів і переводу робочої групи в інверторний режим.

Гасіння поля ротора під час спрацювання захистів здійснюється паралельно вимкненням АГП і переходом тиристорного збудника в режим інвертування.

Тиристорний збудник забезпечує необхідні режими генератора за зміни частоти в межах 47,5–52,5 Гц тривало і 45–55 Гц короткочасно.

У разі виходу з ладу однієї вітки в плечах тиристорного перетворювача і під час роботи двох груп забезпечуються всі тривалі і короткочасні режими збудження.

Тиристорний збудник складається з перетворювального агрегату (перетворювальні трансформатори живлення, тиристорні перетворювачі, трансформатори власних потреб, розрядники для захисту вентильних обмоток трансформаторів), АГП, силової комутаційної апаратури системи збудження, апаратури захисту ротора від перенапруг, контрольно-вимірювальної апаратури системи збудження.

Живлення тиристорних перетворювачів здійснюється від статора генератора через спеціальні трансформатори: випрямний, підімкнений до шин статора, і послідовні, ввімкнені в коло статора з боку нульових виводів генератора. Така система називається системою змішаного самозбудження.

У системі збудження є два тиристорні перетворювачі (дві групи тиристорів) – робочий і форсувальний, що працюють паралельно на ротор турбогенератора. Збудження генератора в номінальному режимі забезпечується переважно робочою групою вентилів, а форсувальний режим – переважно форсувальною групою. Робоча група одержує живлення від відпаювань вторинних обмоток випрямного

трансформатора, форсувальна група являє собою послідовно ввімкнені випрямлячі – керований і некерований, зібрані за трифазною мостовою схемою. Керований випрямляч форсувальної групи одержує живлення від повних вторинних обмоток випрямного трансформатора, сполучених послідовно з однією з вторинних обмоток послідовних трансформаторів; некерований випрямляч одержує живлення від другої вторинної обмотки послідовних трансформаторів.

**Система збудження асинхронізованого турбогенератора АСТГ-200.** Система збудження турбогенератора АСТГ-200 містить у собі два реверсивних тиристорних збудники, які живляться через дві пари контактних кілець, дві ідентичні обмотки збудження, розміщених на роторі під кутом 90 електричних градусів. Живлення кожного збудника відбувається від відповідної вторинної обмотки трансформатора, первинна обмотка якого підімкнена до шин генератора (схема самозбудження) між генератором і блоковим трансформатором.

Система збудження під час роботи з автоматичним регулятором збудження типу АРЗ-АС забезпечує:

- автоматичний пуск, початкове збудження та ввімкнення в мережу під час роботи в режимі асинхронізованого генератора способом точної синхронізації (автоматичною та ручною), а в аварійних режимах допускає вмикання в мережу методом самосинхронізації;
- форсування збудження з заданою кратністю і збудження при порушеннях в енергосистемі, які викликають відповідні зниження чи підвищення напруги на шинах станції за будь-якого напрямку струму в обмотках збудження;
- автоматичне і ручне переведення з режиму асинхронізованого генератора під час роботи з АРЗ на роботу в режимі асинхронного генератора (обмотки ротора закорочені) і зворотний (ручний);
- дублювання АРЗ під час роботи в режимі асинхронізованого генератора з автоматичним та ручним переведенням на резервний комплект АРЗ;
- роботу в режимі асинхронізованого компенсатора при 100% генеруючої чи споживаючої реактивної потужності;
- автоматичний перехід в режим роботи на одній обмотці збудження під час перевищення подвійного значення струму ротора в будь-якій обмотці збудження.
- всі режими роботи генератора і параметри збудження перераховані вище, у разі виходу з ладу однієї паралельної вітки в будь-якому чи кожному плечі перетворювача;
- автоматична заборона форсування і граничне значення струму збудження, який відповідає відповідній активній потужності генератора  $P=P_{ном}$  і коефіцієнту потужності, що дорівнює одиниці – у разі виходу з ладу двох паралельних віток у будь-якому плечі будь-якого тиристорного перетворювача;
- ефективне демпфування коливань ротора, що виникають в перехідних режимах роботи енергосистеми.

Система збудження забезпечує гасіння поля генератора у разі дії захистів генератора незалежно від його режимів роботи.

На рис. 2 показана структурна схема системи збудження АСТГ-200. На рисунку позначено: СШ – система шин 330 кВ; ПВ – повітряний вимикач; ТНс – трансформатор напруги системи шин 330 кВ; Т – блоковий трансформатор; ТВП – трансформатор власних потреб; ТНг – трансформатор напруги генератора; ТВ – випрямний трансформатор; АСТГ – асинхронізований турбогенератор 200 МВт; ТВq (ТВd) – тиристорний випрямляч обмотки q (обмотки d); 1Pd (2Pd) – рубильник вводу на ТВd прямої послідовності (зворотньої послідовності) обмотки d; P01d (P02d) – реактор обмежувальний прямої (зворотньої) послідовності обмотки d; 1Bd (2Bd) – автомат вводу ТВd прямої (зворотньої) послідовності обмотки d; СУТ1d (СУТ2d) – система управління ТВ прямої (зворотньої) послідовності обмотки d; АПЗ – агрегат початкового збудження; 4P – рубильник вводу агрегату початкового збудження на обмотку d; 33d – автомат вводу резервного збудження на обмотку d; Pd – рубильник вводу резервного збудника обмотки d; P3d – резервний збудник обмотки d; АГПд – автомат гасіння поля обмотки d; АЗPd – автомат закорочування ротора обмотки d; КССд –

контактор самосинхронізації обмотки d; РТР – розрядник тиристорний; Rd – гасильний опір обмотки d; O3d (O3q) – обмотка збудження d(q); ДКПР – давач кутового положення ротора; АРЗ – автоматичний регулятор збудження; Uс – напруга системи шин; Uг – напруга генератора; Iст. – струм статора; Ipd (Iрq) – струм ротора обмотки d (обмотки q).

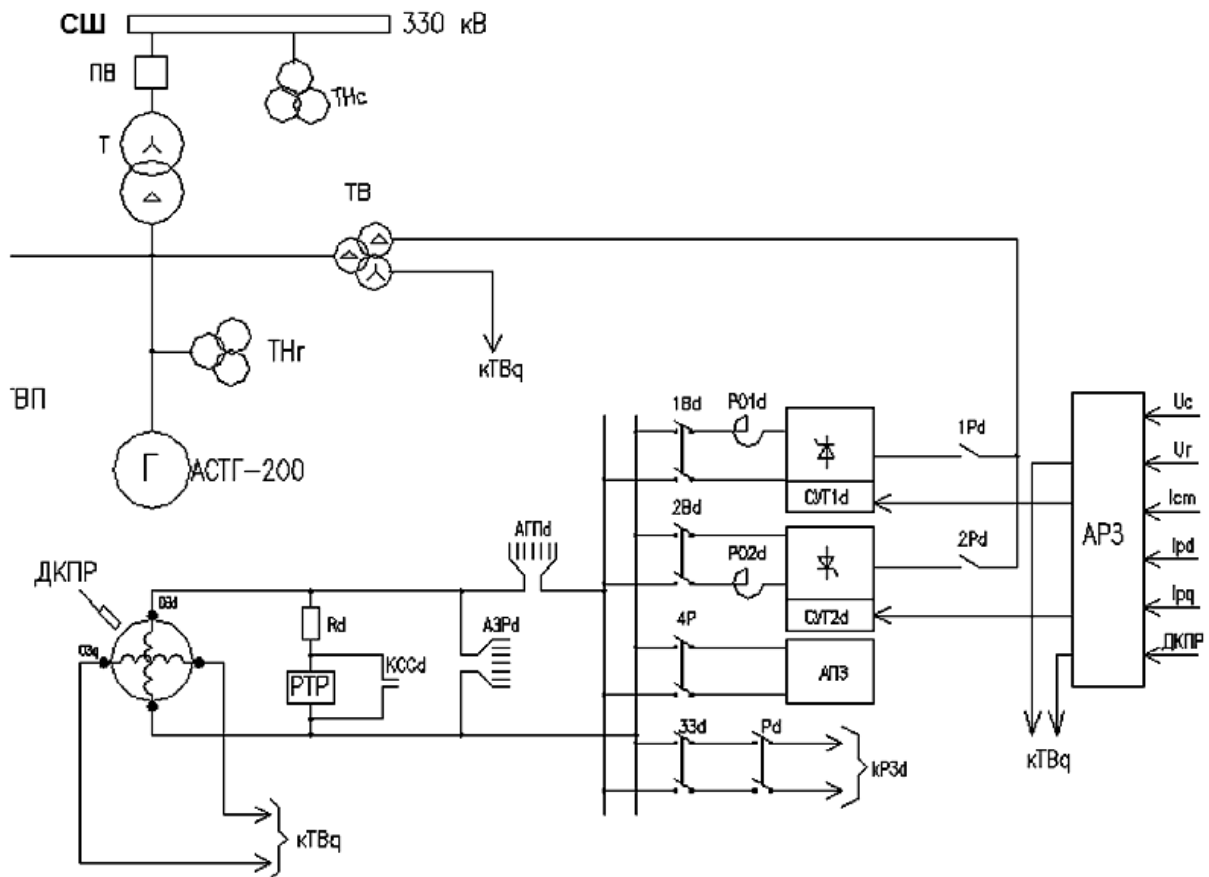


Рис. 2. Структурна схема збудження турбогенератора АСТГ-200

Обмотки збудження OВd, OВq, підімкнені до двох ідентичних статичних реверсивних тиристорних перетворювачів ПТd, ПТq, які слугують силовими органами регулювання струму збудження.

До складу кожного реверсивного перетворювача входять: силові вентиляні секції, ввімкнені за зустрічно-паралельною трифазною мостовою схемою випрямлення, система управління тиристорами СУТ і блок роздільного управління БРУ (СУТ і БРУ на рисунку не показано). СУТ здійснює формування і зсув по фазі управляючих імпульсів залежно від рівня і знака вихідного сигналу регулятора. БРУ призначений для здійснення роздільного управління мостовими випрямлячами тиристорної системи збудження АС-турбогенератора.

У схемі системи збудження передбачені також випрямляючий трансформатор ТВ1, трансформатори власних потреб TV, ТА, пристрій початкового збудження УНВ, комутаційні пристрої – ввідні на стороні змінного струму і вихідні на стороні постійного струму, автомати гасіння поля АГПd, АГПq, контактори самосинхронізації КССd КССq з струмообмеженими опорами R1d, R1q, автомати закорочування ротора АЗPd, АЗPq, тиристорні розрядники багаторазової дії FVd, FVq, апаратура управління, захисту і сигналізації, система охолодження тиристорів (водяна). Основним елементом управління є автоматичний регулятор збудження АРЗ-АС. Для реалізації прийнятого закону регулювання на його вимірювальні входи подаються сигнали напруги мережі і генератора, струму генератора і ротора по кожній осі, кутового положення ротора.

Вхідні сигнали регулятора АВЗ-АС подаються з вимірювальних трансформаторів напруги і струму, а також від давачів струму ротора і кутового положення ротора.

Вихідні сигнали регулятора АРЗ-АС діють на відповідні входи СУТ перетворювачів ПТ, які забезпечують необхідний рівень та знак напруг, прикладених до обмоток збудження.

З метою підвищення надійності в роботі регулятора АРЗ-АС міститься два ідентичних комплекти АРЗ1 АРЗ2, кожний з яких забезпечує виконання повного набору функцій регулювання. Перемикання з одного комплекта на інший забезпечується за допомогою блока комутації сигналів в автоматичному режимі.

**Модернізація систем збудження Бурштинської ТЕС.** У результаті аналізу тиристорних систем збудження Бурштинської ТЕС встановлено, що за поточний період експлуатації проявилися такі негативні наслідки:

- через морально застарілу елементну базу виникали дефекти, які зумовлювали вихід з роботи АРЗ, а також виникають труднощі з їх ремонтпридатністю;
- несприятливий температурний режим, підвищена запиленість, вібрація і вологість призвели до прискореного фізичного старіння апаратної частини, в конструкції якої недостатньо враховані ці несприятливі фактори;
- недостатній обсяг самодіагностики мікропроцесорного АРЗ приводить до того, що пошуки та усунення дефектів займають багато часу;
- громіздкість засобів керування системою збудження, по мірі фізичного старіння, спричиняє збільшення кількості дефектів і відмов у роботі цих засобів;

Зазначені недоліки зумовлюють необхідність заміни існуючих систем збудження, альтернативою яким стає статична система самозбудження з цифровим АРЗ. Структурна схема статичної системи самозбудження виробництва “Перетворювач” [3] показана на рис. 3, на якому позначено: СШ – система шин 330 кВ; ПВ – повітряний вимикач; ТНС – трансформатор напруги системи шин; Т – блоковий трансформатор; 1ТН (2ТН) – трансформатор напруги генератора; ТС – трансформатор струму генератора; ТВ – випрямний трансформатор; Г – генератор типу ТГВ-200; QS1 (QS3) – рубильник вводу по змінному струму першого (другого) комплекта; QS2 (QS4) – рубильник вводу по змінному струму першого (другого) комплекта; ТП1 (ТП2) – тиристорний перетворювач першого (другого) комплекта; СК1 (СК2) – система керування першого (другого) комплекта; АПЗ – агрегат початкового збудження; 1ВВ – автомат вводу тиристорного збудження; 2ВВ – автомат вводу резервного збудження; Ш – шунт вимірювальний; ШС – шунтовий опір; АГП – автомат гасіння поля; Р – розрядник; Ксс – контактор самосинхронізації; К – реле струмове.

Застосування програмованих мікропроцесорних засобів для системи керування (СК) на базі однокристальних мікро-ЕОМ дало змогу, крім якісного вирішення типових завдань, переглянути структуру автоматичного регулятора збудження (АРЗ) і вирішити нові завдання, які раніше не були доступні СК на базі аналогових засобів.

До типових завдань модернізації потрібно зарахувати такі:

- відмова від релейної апаратури логіки СК, що призведе до значного зниження масогабаритних показників;
- автоматичний перехід збудження між комплектами тиристорного збудника без зміни режиму роботи генератора при 100 % резервуванні тиристорного перетворювача і СК (рис. 3);
- можливість зміни алгоритму функціонування СК без зміни її конструкції;
- розширений обсяг інформації у вигляді “біжучого” рядка відкритим текстом на пультовому терміналі для обслуговуючого персоналу про роботу окремих вузлів, пошкодження елементів і режим роботи генератора;
- сумісність з персональним комп’ютером і автоматизованою системою керування енергоблока і всієї електростанції;



- значно розширилась область стійких режимів роботи агрегату, з підвищеною точністю регулювання напруги статора;
- підвищилась точність реалізації обмежень за малих перевантажень ротора, коли необхідний відлік великих інтервалів часу;
- оптимально використовуються можливості генератора в режимі мінімального збудження.

Низку нових підходів було реалізовано в розробці тиристорного перетворювача з природним повітряним охолодженням. Оригінальні конструкції алюмінієвих радіаторів і системи охолодження загалом, разом із застосуванням силових тиристорів з номінальним струмом 2000 А дали змогу перейти від схеми із кількома паралельними витками в плечі до схеми з одним тиристором в плечі.

Тиристорний перетворювач з одним тиристором в плечі з природним повітряним охолодженням з погляду конструктивного виконання і кількості елементів схеми є найпростішим із відомих багатоамперних тиристорних перетворювачів.

Апаратна частина СК стала істотно простішою від відомих аналогових засобів керування. Вона виконана на базі шістнадцятирозрядної мікро-ЕОМ Atmega 128-16AI із застосуванням найсучаснішої елементної бази провідних виробників та конструктивних елементів фірм Vago і Weidmuller. Вдалі конструктивні рішення в поєднанні із сучасними комплектуючими і матеріалами дали змогу створити засоби керування з високою надійністю та зручними в обслуговуванні. У цій СК передбачена можливість прямого програмування та зміни уставок за допомогою персонального комп'ютера. Ця СК оснащена автономним реєстратором аналогових і дискретних сигналів параметрів системи збудження турбогенератора, який постійно уведений в роботу в режимі аварійного осцилографа.

Тиристорний перетворювач з природним повітряним охолодженням і одним тиристором в плечі виготовлений на базі тиристора типу T273-2000-28-71-УХЛ2 із застосуванням захисних запобіжників типу 12,51URD73TTF 1250 на струм 800 А.

За результатами впровадження і тривалої експлуатації виявились такі істотні переваги і особливості цієї системи збудження:

- гнучка комплектація обладнання дає можливість у разі заміни системи збудження залишати придатні до подальшої експлуатації обладнання і шафи, наприклад, гасячі опори, шафи кіл уводу ротора, автомати уводу збудників тощо;
- завдяки розробленим технічним рішенням для проектування і спеціальним заходам, передбаченим робочим проектом, є можливість виконувати значну частину монтажних і налагоджувальних робіт в умовах працюючого блока;
- наявність сучасного штатного реєстратора з можливістю негайного відображення осцилограм на дисплеї персонального комп'ютера, а також оптимальної програми пускових випробувань дає можливість істотно зменшити час випробувань і, як наслідок, всі затрати, з цим пов'язані;
- наявність повного резервування тиристорного перетворювача і СК дає можливість, за необхідності, виведення з роботи одного комплекту без будь-якого обмеження режимів роботи турбогенератора;

**Висновки.** 1. Досвід експлуатації і виконані дослідження довели, що статична тиристорна система паралельного самозбудження з кратністю форсування 2,5 у поєднанні із сучасними засобами керування є альтернативою всім відомих сьогодні системам збудження зі струмом до 6000 А.

2 На базі розроблених принципів засад головного зразка системи тиристорного збудження типу ССТЕ-2100-465-2,5УХЛ4 для турбогенератора типу ТГВ-200 можливо здійснити заміну застарілих систем збудження на генераторах потужністю від 2,5 до 500 МВт.

*1. Иванов С.Л., Кожевников В.А., Комков А.Л., Попов Е.Н. Опыт модернизации морально устаревших систем возбуждения турбогенераторов с использованием комплекта оборудования*



*КОСУР // Матеріали междунар. науч.-техн. конф. “Современные системы возбуждения для нового строительства и реконструкции электростанций. Опыт наладки и эксплуатации систем возбуждения нового поколения”. – СПб., 2004. – Вып. 1. – С. 223–237. 2. Гессе Б.А. Эксплуатация тиристорных систем возбуждения генераторов. – К.: Техника, 1981. 3. Бойко І.Б., Лахович С.Г., Хорунжий Ю.М. та ін. Розробка і впровадження нової системи тиристорного збудження для трубогенератора типу ТГВ-200 Буришинської ТЕ // Експлуатація та налагодження енергетичного устаткування ТЕС ВАТ “Західенерго”. – Львів: НВФ “Українські технології”, 2005. – С. 240–245.*

УДК 621.314.213.08

П. Євтух, Б. Оробчук, О. Рафалюк

Тернопільський державний технічний університет імені Івана Пулюя

## **АВТОМАТИЗОВНА СИСТЕМА ДИСПЕТЧЕРСЬКОГО КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯМ РАЙОННИХ ЕЛЕКТРОМЕРЕЖ**

© Євтух П., Оробчук Б., Рафалюк О., 2008

**Розглянуто особливості побудови автоматизованої системи диспетчерського керування районом електромереж (АСДК РЕМ), її функціональні можливості та обладнання. Така система дає змогу побудувати автоматизовану систему контролю і керування в системах електропостачання. Наведено технічні параметри цієї системи.**

**The features of construction of the automated system of controller’s management of the electric systems a district are considered, it functional possibilities and equipments. Such system enables to build the automated checking and management in the systems of electro-supply system. The technical parameters of this system are resulted.**

Безперервне електропостачання всіх споживачів є основним завданням енергопостачальних компаній.

Забезпечення безперервності електропостачання вимагає наявності в персоналі оперативно-диспетчерських служб достовірної інформації про стан енергооб’єктів та параметри мережі, щоб оперативно впливати на електропостачання в будь-яких аварійних ситуаціях та своєчасно запобігати виходу з ладу системи під час перенавантаження. Контроль стану та управління енергооб’єктами забезпечують системи телемеханіки.

Одним з основних параметрів сучасних систем телемеханіки є наявність надійного, високошвидкісного та порівняно недорогого каналу зв’язку. Більшість сучасних систем працює по каналах лінійного зв’язку, побудова та експлуатація яких сьогодні потребує великих капіталовкладень. Значно дешевшим і надійнішим є радіоканали зв’язку.

Сучасні канали радіозв’язку, які знаходять застосування в системах телемеханіки, дозволяють з великою достовірністю здійснювати прийом-передавання інформації в діапазоні 148–172 мГц на швидкості до 19200 біт/с при ширині каналу в 25 кГц. Саме на такі канали зв’язку орієнтована автоматизована система диспетчерського керування районом електромереж (АСДК РЕМ) “Стріла”. Комплекс об’єднує обладнання диспетчерського пункту та обладнання для підстанції 110/35/10 кВ.

АСДК РЕМ “Стріла” призначена для побудови автоматизованих систем збору даних, контролю і керування обладнанням електричних підстанцій по радіоканалу зв’язку, а також передавання даних про стан електричних підстанцій по будь-яких сучасних каналах зв’язку на вищий рівень керування – обленерго.