

УДК 621.313.1

**Радченко В. В.**, к.т.н, доцент (Запорізька Державна інженерна академія, м. Запоріжжя)

## **МОЖЛИВОСТІ МОДЕРНІЗАЦІЇ СИСТЕМИ ЗБУДЖЕННЯ ГІДРОГЕНЕРАТОРА**

**Наведено результати фундаментальної науково-дослідної роботи з розробки концепції моніторингу та управління агрегатами ГЕС на основі дослідження інформаційно-енергетичних показників гідроенергетичних процесів виконаної за державним замовленням.**

**Ключові слова:** гідрогенератор, система збудження, регулятор напруги, вимірювальний перетворювач, швидкодія.

У сучасній енергетиці значна увага приділяється питанням підвищення якості електричної енергії, швидкодії й стійкості роботи як окремих генераторів, станцій, так і енергетичних систем в цілому. Особливо важливо це стосовно умов гідроенергетики й обумовлене її функціональною роллю в енергетичній системі.

Гідроелектроенергетичні технології визначально зорієнтовані на екологічність, використання поновлюваних джерел енергоносія, – водної енергії. У цьому полягає їх істотна перевага. Проте ефективність такого перетворення енергії може бути вищою.

Системна роль гідроенергетики, – мобільного резерву потужностей вітчизняної енергетичної системи спричиняє істотне й невпинне збільшення числа робочих циклів основного устаткування ГЕС в рік. При цьому частка динамічної складової в роботі основного обладнання станцій істотно й невпинно зростає. Це підвищує вимоги як до якості перехідних процесів гідрогенераторів так і до їх динамічної енергоефективності зокрема.

Відповідно, важливого значення й актуальності набуває вдосконалення систем збудження гідрогенераторів, як основних елементів регулювання електромагнітних перетворень енергії в цих машинах.

**Існує достатнє різноманіття** технічних рішень систем збудження синхронних генераторів і їх елементів, /1/. Їх конфігурації і властивості істотно впливають, а часто й визначають робочі характеристики генераторів. При цьому ролі швидкодії й інерційних характеристик регуляторів напруги набувають особливого значення.

Характеристики гідрогенератора істотно визначаються якостями системи збудження. Особливо важливі вони для забезпечення саме не-

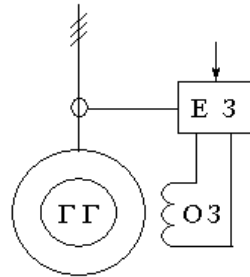
обхідних динамічних якостей в різних режимах.

Технічні, особливо динамічні, показники систем збудження в цілому безпосередньо залежать від рівня технічних рішень, що реалізують такі системи, а також методів виділення і перетворення інформаційних сигналів. Цю обставину необхідно враховувати з погляду структури системи і реального положення функціональних елементів, що також може мати істотний вплив на загальні показники систем. Особливо важливого значення набуває інерційність ланцюгів зворотного зв'язку, що здатна критично змінювати загальні динамічні якості системи регулювання напруги.

Завдяки регулюванню збудження гідрогенератора забезпечується необхідний рівень напруги та якість електричної енергії, [2].

Розглянемо основні підходи до реалізації процесу збудження гідрогенератора. Загальний підхід до організації збудження наведено на рис. 1.

Рис. 1. Загальний принцип організації збудження гідрогенератора: ГГ – гідрогенератор, ОЗ – обмотка збудження, ЕЗ енергетичне забезпечення



Управління робочими процесами гідрогенераторів реалізують системи збудження. Вони підключені до обмотки збудження, містять джерела живлення і регулятори електричних впливів. Вказані впливи мають забезпечувати необхідний рівень напруги з урахуванням поточного робочого режиму. Динамічні складові процесу регулювання збудження охоплюють тривалість і характер перехідного процесу гідрогенератора.

Узагальнена структура організації збудження синхронного генератора містить щонайменше джерело енергії і систему збудження.

Синхронний генератор  $G$  з боку обмотки збудження за рахунок впливу системи збудження  $СЗ$  отримує дозовану енергію від джерела  $W$ . Джерелом енергії збудження може бути як зовнішній пристрій, так і сам генератор. Структура системи збудження в загальному вигляді включає джерело енергії, регулятори й виконуючі органи.

Статична система збудження в своєму складі містить випрямляч  $B$ , регулятор напруги  $РН$ , початкове збудження  $ПЗ$  і систему струмової компенсації (компаундування)  $СК$ .

Регулятори збудження, що є основними активними елементами системи збудження, практично визначають її основні характеристики. При цьому важливі їх структурні й технічні особливості виконань.

Залежно від схемної організації системи збудження можливі певні функціональні відмінності реалізації окремих блоків. Найбільш поширені на цей час є АРЗ – СД, UNITROL Р АВВ та Redex 200 Alstom.

Системи збудження, згідно регулювальних характеристик машини, з урахуванням характеру навантаження, забезпечують необхідні зовнішні робочі характеристики гідрогенератора. Зазначені характеристики відображають вплив характеру навантаження на алгоритм управління збудженням. Вид зовнішніх характеристик відповідає рівнянням напруги ланцюга обмотки якоря синхронного генератора під навантаженням:

$$U = E_0 + E_{ad} + E_{aq} - I(r_a + jx_{sa}). \quad (1)$$

Згідно рівнянню, напруга СГ змінюється під дією двох чинників – за рахунок зміни падіння  $-I(r_a + jx_{sa})$  і впливу реакції якоря.

При навантаженні активно-емнісному збільшення вихідної напруги відбувається так само при збільшенні ЕРС, оскільки подовжня реакція якоря при цьому намагнічує, і за рахунок падіння напруги  $\Delta U$ , оскільки вектор струму випереджаючий щодо напруги.

Регулювальна характеристика показує, як необхідно змінювати струм збудження при зміні навантаження, щоб напруга на виводах генератора залишалася незмінною і номінальною:  $I_{zb} = f(I)$  при  $U$ ,  $\cos \varphi, f = \text{const}$ .

З розглянутих характеристик виходить, що при збільшенні активного або активно-індуктивного навантаження, вихідна напруга генератора зменшується, а при збільшенні навантаження емнісного – збільшується. Щоб підтримувати напругу на потрібному рівні необхідно відповідно до необхідного закону змінювати значення струму збудження.

Статизм зовнішньої характеристики гідрогенератора

$$\Delta U_{\text{ном}} = (U_0 - U_{\text{ном}}) / U_{\text{ном}} 100\%.$$

Заданого розподілу реактивної потужності між генераторами у мережі досягають у разі регулювання напруги саме за статичною характеристикою.

При статичному регулюванні напруга із зміною реактивного навантаження не залишається постійною. Межі її зміни визначаються коефіцієнтом  $k_{CT}$  і не перевищують

$$\Delta U_{CT} = (0,02 - 0,03) U_{CT, \text{ном}}$$

Якщо потрібно автоматично регулювати напругу в будь-якій точці системи, то пристрої АРЗ мають змінювати напругу на шинах ГЕС від-

повідно до статичної характеристики. Крутість характеристики визначається падінням напруги на ділянці від шин до заданої точки системи.

Таким чином реалізуються основні механізми управління гідрогенератором. Проте існує й ряд специфічних особливостей управління, в тому числі й динамічних.

Важливим моментом організації управління збудженням є врахування особливостей і обмежень електромеханічного перетворення енергії гідрогенератором. Основними умовами нормальної роботи генератора є:

$$\Delta P_{\text{ем}} > 0; \Delta M_{\text{ем}} > 0.$$

Існуючі системи збудження синхронних генераторів досить часто мають структурну, функціональну й ресурсну надмірність, що не виправдані їх ускладнює та істотно знижує ефективність.

Ці проблеми мають витoki в екстенсивних підходах й переважно обумовлені технологіями збудження, що реалізуються. При цьому важливі алгоритми й характеристики всіх основних елементів ланцюга перетворення сигналів управління.

Гідрогенератор переважно працює в режимі частих пусків і зупинок – завдяки своїй мобільності даний тип синхронних генераторів використовують для покриття пікових навантажень і інших динамічних впливів в системі.

Стрімке моральне застарівання технічних рішень СЗ з погляду існуючих вимог, перш за все обумовлене їх інерційністю. Використання сучасних засобів керування на основі мікроконтролерів дещо поліпшує динамічні характеристики за рахунок їх швидкодії, але не вирішує проблем інерційності кола керування принципово.

При цьому істотну роль відіграють саме принципи реалізації і алгоритмічні особливості організації найбільш відповідальних операцій процесу збудження.

Основні функціональні елементи статичної системи збудження гідрогенератора показані на рис. 2.

Тиристорний керований міст V через трансформатор збудження T, живить обмотку збудження генератора G. Це силовий, енергетичний ланцюг системи збудження.

Елементом, що управляє, слугує регулятор напруги РН, контролюючий значення вихідної напруги і струму генератора.

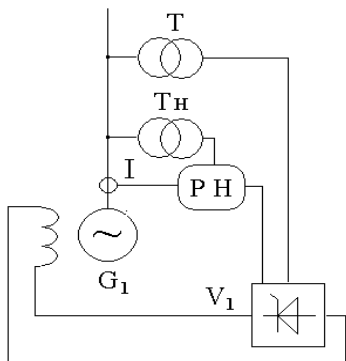


Рис. 2. Основні елементи системи збудження

Перевагою такої схеми є практична відсутність інерційності кола збудження. При цьому кола керування збудженням здатні вносити інерційні складові, що відповідно підсилюються колом збудження й впливають на об'єкт керування, знижуючи його динамічну ефективність.

Основні елементи узагальненої структури системи збудження гідрогенератора представлені на рис. 3.

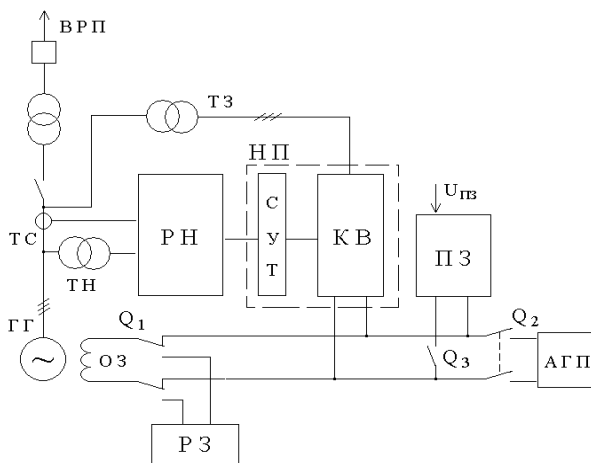


Рис. 3. Узагальнена структура системи збудження гідрогенератора: ТС – трансформатор струму, ТН – трансформатор напруги, ТЗ – трансформатор збудження, РН – регулятор напруги, НП – напівпровідниковий перетворювач, КВ – керований випрямляч, ПЗ – початкове збудження, АГП – автомат гасіння поля, РЗ – резервне збудження

Дана система збудження статичного типу. Управління збудженням реалізоване на цифровому автоматичному регуляторі напруги (АРН), який забезпечує включення керованих випрямних мостів на тиристорах, що забезпечують в обмотці ротора генератора необхідний рівень постійного струму збудження. Існують декілька можливих конфігурацій, залежних від вимог і умов збудження. РН має систему вимірювання напруги і струму.

Функція автоматичного регулювання напруги – АРН реалізується програмно. АРН визначає помилку по напрузі генератора (по сигналу завдання і її поточному значенню) і обробляє за ПІД – законом регулювання. Крім того, на вхід АРН можуть подаватися вихідний сигнал стабілізатора потужності і додатковий сигнал від функції вирівнювання реактивної потужності тощо. Вихідним сигналом АРН є так звана управляюча змінна  $U_c$ . Таким чином можливо набудувати і забезпечити прийнятну роботу регулятора напруги. Проте існуючі постійні часу інтегрування і диференціювання обумовлюють перерегулювання і відповідну коливальність перехідних процесів.

Застосований ПІД – закон регулювання напруги інерційний за визначенням. При такій інерційній реалізації регулятора напруги необхідні досить складні додаткові механізми стабілізації потужності гідрогенератора.

Пропорційно-інтегрально-диференційний закон формування впливів реалізують ПІД регулятори, [3, 16]. Він має наступний загальний вигляд:

$$\mu = k_p \left( \varepsilon + \frac{1}{T_I} \int_0^t \varepsilon \cdot dt + T_D \frac{d\varepsilon}{dt} \right), \quad (2)$$

де  $k_p$  – коефіцієнт передачі;

$\mu$  та  $\varepsilon$  – відносні змінні від базових величин ( $\varepsilon = x/x_0$ ;  $\mu = u/u_0$ );

$T_I$  та  $T_D$  – відповідно сталі часу інтегрування та диференціювання.

Вже на рівні пропорційного закону з інтегральною корекцією (пропорційна та інтегральна складові наведеного рівняння) забезпечується повноцінне астатичне регулювання, що витікає з наступного рівняння

$$d\mu = k_p (d\varepsilon/dt + \varepsilon T). \quad (3)$$

Слід зазначити, що похідну  $d\varepsilon/dt$  в (3) введено саме з метою підвищення якості регулювання. При цьому наявні щонайменше дві сталі часу: інтегрування та диференціювання. Це без сумніву впливає на реалізацію динамічних складових регулювання.

Функція, що описує роботу ПІД регулятора має наступний вигляд:

$$Y = K_p(u - x) + T_I \int (u - x) dt + T_D \frac{d(u - x)}{dt},$$

де  $Y$  – вихідний сигнал регулятора;

$K_p$  – коефіцієнт посилення пропорційного регулювання;

$T_I$  – коефіцієнт інтегрального регулювання;

$T_D$  – коефіцієнт диференціального регулювання;

$(u-x)$  – відхилення величини і від необхідного значення  $x$ .

Коефіцієнт  $K_p$  впливає на швидкість набору регульованою величи-

ною свого значення.

Коефіцієнт  $T_i$  визначає статичний коефіцієнт передачі об'єкту.

Коефіцієнт  $N_d$  реагує на швидкість зміни різниці ( $u-x$ ).

Наведене співвідношення доводить наявність щонайменше трьох складових за різними законами перетворення. Це автоматично викликає проблему їх узгодження та налагодження. ПІД-регулятор має щонайменше чотири параметри налагодження:  $K_p$ ,  $T_i$ ,  $T_d$  і  $K_d$ .

На практиці, в реальних регуляторах залежність відповідна закону ПІД регулювання

$$Wp(p) = Kp + Kp/TIP + K_d T_d P$$

формується двома шляхами: послідовною (рис. 4, а) або паралельною (рис. 4, б) корекцією ПІ-регулятора за допомогою реальної диференціюючої (РД) ланки. При цьому, в обох випадках ПІД-закон відтворюється тільки приблизно. Фактично він апроксимується з певною погрішністю. Наближені величини позначимо ПІД\*.

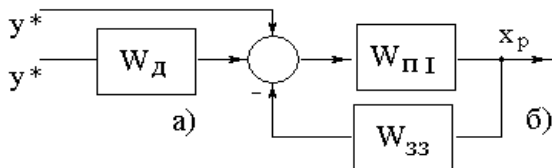


Рис. 4. Послідовна (а) і паралельна (б) корекція ПІ-регулятора диференціюючою ланкою

При послідовній корекції функція має вигляд

$$\begin{aligned} W^*_{ПІД}(p) &= \left[ \frac{K_d T_d p}{(1 + T_d p)} + 1 \right] \frac{Kp}{T_i p} (1 + T_i p) = \\ &= \frac{1}{1 + T_d p} \left( K^* p + \frac{Kp}{T_i p} + Kp T_d^* p \right), \end{aligned} \quad (4)$$

де  $K^* p = Kp \left[ 1 + \frac{T_d}{T_i} (1 + K_d) \right]$ ;  $T_d^* = T_d (1 + K_d)$ .

При паралельній корекції наближення наступне

$$W^*_{ПІД}(p) = \frac{Kp(1 + T_i p)}{T_i p \left[ 1 + \frac{K_d T_d p}{1 + T_d p} \cdot \frac{Kp}{T_i p} (1 + T_i p) \right]} =$$

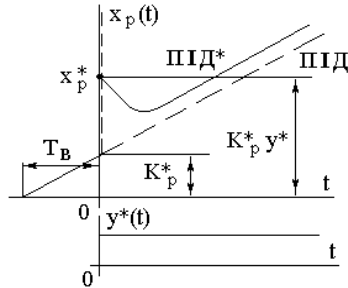
$$= \frac{1}{1+T^*p} \left[ K^*p \left( 1 + \frac{T_D}{T_I} \right) + \frac{K^*p}{T_I p} + K^*p T_D p \right],$$

де

$$K^*p = \frac{Kp}{1 + KpK_D \frac{T_D}{T_I}}; \quad T^* = T_D \frac{1 + KpK}{1 + KpK_D \frac{T_D}{T_I}}$$

При цьому перехідні характеристики регулятора набувають вигляду, показаного на рис. 5.

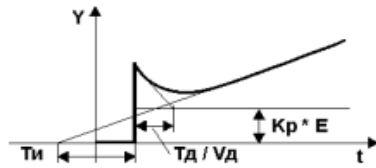
Рис. 5. Перехідні характеристики ПІД-регуляторів



Як впливає з наведених характеристик наближена характеристика ПІД\* від дійсної ПІД-регулятора відрізняється не тільки за величиною, але і формою. Ці спотворення можуть виявитися істотними, а можуть бути і критичними за певних умов, при дії таких регуляторів в системі керування гідроагрегату.

Відомо також, що реакція ПІД-регулятора на одиничну ступінчасту дію в достатньо повній мірі відображає його динамічні характеристики, рис. 6.

Рис. 6. Реакція ПІД-регулятора на одиничну ступінчасту дію



Реакція регулятора на імпульсну прямокутну дію показує явну наявність сумарної постійної часу регулювання.

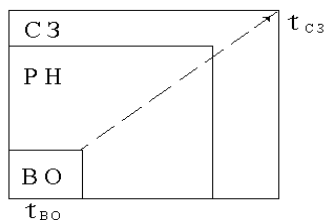
Основним функціональним елементом системи збудження гідрогенератора, що безпосередньо впливає на її якісні характеристики є регулятор напруги РН. Обов'язковим компонентом РН є вимірювальний орган ВО, що безпосередньо реалізує функцію контролю відхилення напруги від заданих значень.

Узагальнена функціональна структура системи збудження, що до-



зволяє відобразити розповсюдження інерційності, представлена на рис. 7.

Рис. 7. До аналізу причин інерційності



З урахуванням наведеного вище за аналізу інерційності основних компонентів системи збудження гідрогенератора із статичною системою збудження, слід зазначити, що в ній явно відсутня інерційність виконуючого органу у вигляді керованого випрямляча. Це істотна складова і умова швидкодії.

Проте регулятор напруги РН, що містить вимірювальні перетворювачі і реалізуючий ПД – закон управління, є джерелом інерційності. Вимірювальний орган ВО, реалізований по традиційній схемі порівняння вже є джерелом інерційності. Вказана інерційність, посилена регулятором напруги РН, загалом визначає динамічні характеристики СЗ. У свою чергу СЗ, виявляючись в контурі зворотного зв'язку АСРН, здатна істотно змінювати її динамічні характеристики.

Регулятори на основі ПД законів мають інтегральні і диференціальні складові формувачів управління і за своєю суттю інерційні. У даному контексті може йтися тільки про можливості налагоджень, що принципово не змінюють їх інерційної сутності.

Існуючі принципи вимірювань відхилень змінної напруги і струму також інерційні. Прояв інерційності сигналу управління в ланцюзі зворотного зв'язку, як показано вище, здатний змінювати її порядок і сприяти коливанням. Слід зазначити, що технологічна й транспортна затримки сигналу управління практично не позначаються на динамічних якостях системи регулювання.

Проведені дослідження дозволили визначити й розробити необхідні заходи щодо модернізації діючих систем збудження, /4, 5/. Розроблено метод неінерційних вимірювань.

Основою такого методу є формування і обробка динамічних інтегральних величин для виділення семантики процесу.

Саме інтегральна область у вершини включає максимум змістовної інформації про значення напруги і його поточну зміну. Вона по суті є реальним відображенням поточного його значення

$$\varphi: I_u \rightarrow I_s.$$

Вказана обставина забезпечує істотну перевагу даного підходу по

відношенню до функціональних можливостей контролю тільки амплітудного значення напруги.

Теоретичною основою розробленого методу є принципівий висновок про те, що алгоритмічна обробка вимірюваного сигналу має проводитися в інтегральній імпульсній формі, що виключає інерційність даного процесу.

Визначальним чинником реалізації вказаного методу є умови вибору значень рівнів обмеження сигналів.

Застосована тактова обробка виділених сигналів змінної напруги. Кожен такт відповідає півперіоду змінної напруги. Робочий цикл складається з двох тактів і відповідає періоду, рис. 8.

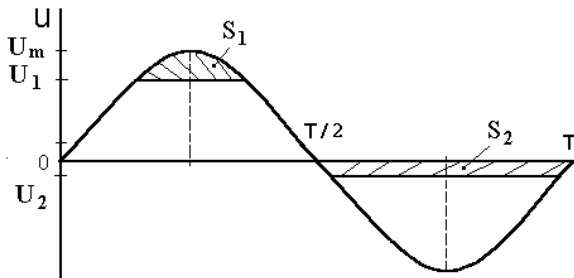


Рис. 8. Формування робочого циклу вимірювань

Протягом першого робочого такту інтегрується перевищення поточного значення напруги над рівнем  $U_1$

$$S_1 = \int_0^{\pi} (U - U_1) dt .$$

Це дозволяє фіксувати інформацію про поточне значення напруги в даний момент.

Протягом другого такту інтегрується сигнал зворотної полярності обмежений рівнем  $U_2$

$$S_2 = \int_{\pi}^{\alpha} U_1 dt .$$

Тривалість інтегрування під час другого такту обмежена умовою рівності інтегралів

$$S_1 = S_2 .$$

У момент настання рівності вказаних площ інтегрування припиняється і частина сигналу в межах  $S_2$ , що характеризується відповідним фазовим кутом  $\alpha$ , що залишилася, несе функціональну інформацію про

відхилення змінної напруги від заданого значення

$$\alpha = f(\Delta U).$$

Таким чином принципово забезпечуються всі необхідні і достатні умови практичної реалізації методу перетворення відхилення змінної напруги від встановленого значення для управління процесом регулювання, [5].

З урахуванням приведеного вище запропонований і розроблений спосіб швидкодіючого визначення відхилення змінної напруги від заданого значення, [6]. Його особливістю є розроблений алгоритм неінерційного виділення інформації про зміну поточного значення напруги і формування реакції, що управляє, протягом операційного циклу відповідного тривалості періоду контрольованої напруги.

Слід зазначити, що характер перехідних процесів, у поєднанні з істотним скороченням їх часу досить переконливо свідчать на користь реалізації ідеального сильного регулювання. Воно реалізується за умови

$$\frac{dE_3}{dt} = -grad P_3.$$

Вказаний ефект в даному випадку досягається неінерційністю РН у поєднанні з суттєвою крутістю активної ділянки його зовнішньої характеристики.

Апаратна реалізація каналу регулювання напруги системи збудження UNITROL ® Р показана на рис. 9.

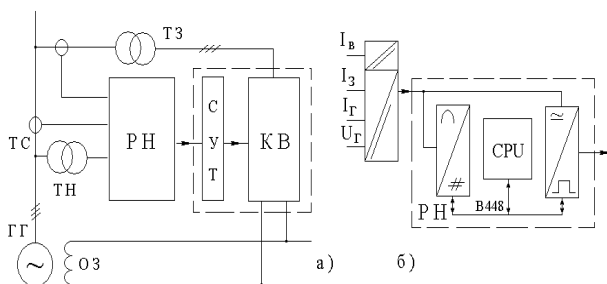


Рис. 9. Апаратна реалізація каналу регулювання напруги: а) структура каналу збудження; б) структура регулятора напруги

Апаратна реалізація динамічного вимірювального перетворювача представлена на рис. 10.

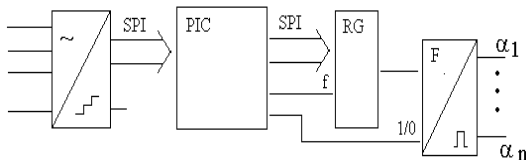


Рис. 10. Апаратна реалізація функціонального перетворювача змінної напруги

Наведена структурна схема дозволяє досить компактно вирішити завдання побудови МК вимірювального перетворювача РН. Однак характеристики останнього в значній мірі будуть визначатися можливостями каналу енергетичного забезпечення збудження. Тому важливо також звернути увагу на можливості побудови виконуючого органу РН.

Таким чином з'являється реальна можливість створення неінерційного швидкодіючого РН сильної дії на розробленій основі.

На зазначеній основі розроблено загальну структуру модернізованої системи керування збудженням гідрогенератора Дніпровської ГЕС, рис. 11.

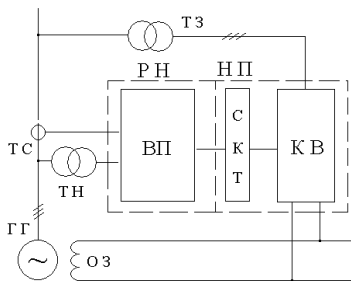


Рис. 11. Структура модернізованої системи керування збудженням гідрогенератора

Особливістю наведеної схеми є використання розробленого неінерційного вимірювального перетворювача ВП, що складає її основу. ВП крізь систему контролю тиристорів СКТ визначає режим керованого випрямляча КВ, що забезпечує потрібний рівень збудження гідрогенератора.

#### ВИСНОВКИ

- Основні існуючі проблеми управління гідроагрегатом безпосередньо пов'язані з динамічними якостями його регуляторів.
- Існуючі системи збудження гідрогенераторів принципово інерційні, концептуально і технічно надмірні, потенційно містять причини нестійкості.
- Динамічні якості системи збудження, за виключенням інерції мас і індуктивних електромеханічних характеристик перетворювача енергії, переважно визначаються постійними часу контура

управління.

– Запропонований і розроблений ефективний метод вимірювального перетворення відхилення змінної напруги в сигнал управління тиристором, що виключає інерційність і суттєво спрощує контур управління.

– Дослідження розроблених методів і пристроїв підтверджують частотну інваріантність рішень, показують їх відповідність в межах активної ділянки необхідній характеристиці регулятора напруги.

– Розроблені методи дозволяють шляхом налагодження змінювати закон регулювання, а також враховувати струм навантаження за рахунок реакції на зміну форми напруги від навантаження ГГ.

– Створені безінерційні регулятори напруги, що в замкнутій системі регулювання проявляють властивості сильної дії, дозволяють реалізувати жорсткий ідеальний негативний зворотний зв'язок, що підвищує стійкість АСРН.

**1.** Глебов И. А. Научные основы проектирования систем возбуждения мощных синхронных машин. – Л. : Наука, 1988. – 332 с. **2.** Глебов И. А. Электромагнитные процессы систем возбуждения синхронных машин. – Л. : Наука, 1987. – 344 с. **3.** Радченко В. В. Інформаційні аспекти підвищення ефективності регулювання. Електричний Журнал № 1, 1999. – С. 23–29. **4.** Пожуев В. И., Радченко В. В. Информационно-энергетическое обеспечение диагностики, контроля и управления в энергетических объектах. Монография. – Запорожье : ЗГИА, 2011. – 182 с. **5.** Радченко В. В. Процеси в системах збудження гідрогенераторів. Монографія. – Запоріжжя: ЗДІА, 2012. – 248 с. **6.** Радченко В. В. Спосіб визначення відхилення змінної величини від встановленого рівня. G01 R 19/22, Пат. України, № 68900, від 10. 04. 2012, Бюл. № 7. – 7 с.

Рецензент: д.т.н., професор Шкрабець Ф. П. (ДНГУ)

---

**Radchenko V. V., Candidate of Engineering, Associate Professor**  
(Zaporozhye State Engineering Academy, Zaporozhye)

## **POSSIBILITY OF UPGRADING HYDRO-GENERATOR EXCITATION SYSTEM**

**The results of basic research to develop the concept of monitoring and management of HPPs units based on research information and hydroelectric energy performance of processes performed by government order.**

**Keywords: Hydraulic, excitation system, voltage regulator, measuring transducer performance.**

---

**Радченко В. В., к.т.н., доцент** (Запорожская Государственная инженерная академия, г. Запорожье)

## **ВОЗМОЖНОСТИ МОДЕРНИЗАЦИИ СИСТЕМЫ ВОЗБУЖДЕНИЯ ГИДРОГЕНЕРАТОРОВ**

Приведены результаты фундаментальной научно-исследовательской работы по разработке концепции мониторинга и управления агрегатами ГЭС на основе исследования информационно-энергетических показателей гидроэнергетических процессов выполненной по государственному заказу.

**Ключевые слова:** гидрогенератор, система возбуждения, регулятор напряжения, измерительный преобразователь, быстрое действие.

---