



ДЕРЖАВНА СЛУЖБА  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ  
УКРАЇНИ

УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **103717** (13) **U**  
(51) МПК (2015.01)  
**H03L 5/00**

## (12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: <b>u 2015 06489</b>	(72) Винахідник(и): <b>Чередник Наталія Геннадіївна (UA), Бялобржеський Олексій Володимирович (UA)</b>
(22) Дата подання заявки: <b>01.07.2015</b>	
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: <b>25.12.2015</b>	(73) Власник(и): <b>КРЕМЕНЧУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ МИХАЙЛА ОСТРОГРАДСЬКОГО, вул. Першотравнева, 20, м. Кременчук, Полтавська обл., 39600 (UA)</b>
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: <b>25.12.2015, Бюл.№ 24</b>	

## (54) СПОСІБ СТАБІЛІЗАЦІЇ НАПРУГИ СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА В СКЛАДІ КОГЕНЕРАЦІЙНОЇ УСТАНОВКИ

### (57) Реферат:

Спосіб стабілізації напруги синхронного генератора в складі когенераційної установки включає вимірювання напруги статора генератора, при цьому формують та змінюють кут затримки, керують напругою та струмом збудження. Формують задану напругу статора генератора, формують задану частоту обертання ротора генератора, порівнюють задану напругу та виміряну напругу статора генератора, вимірюють значення частоти напруги мережі, порівнюють із заданою частотою генератора, вимірюють струм збудження генератора, розраховують похідну за напругою статора генератора, розраховують похідну за частотою напруги статора генератора, визначають напругу регулювання збудження підсумуванням масштабованих величин відхилення напруги статора, похідної напруги статора, відхилення частоти напруги статора, похідної частоти напруги статора та струму збудження, формують та змінюють кут затримки, керують напругою та струмом збудження.

UA 103717 U



Корисна модель належить до електротехніки і може бути використана при розробці автоматичного регулятора збудження систем стабілізації напруги синхронних генераторів.

Відоме технічне рішення (Спосіб регулювання напруги синхронного генератора, патент UA 38469, H03L 5/00, 15.05.2001, бюл. № 4, Зонтов Р.М., Алаєв В.В., Шоцький О.М.), в якому регулювання напруги синхронного генератора шляхом подачі, регульованої напруги на обмотку збудження, додатково вимірюється тимчасовий інтервал кожного такту пульсацій миттєвої, випрямленої напруги синхронного генератора по лінії порівняння з заданою опорною напругою, і по цьому часовому інтервалі на обмотку збудження подаються імпульси напруги живлення.

Спільними ознаками відомого технічного рішення із корисною моделлю, що заявляється, є: вимірювання напруги статора генератора, керування напруги та струму збудження.

Недоліками відомого технічного рішення є: відсутність контролю струму збудження, що знижує швидкість зміни струму збудження; відсутність контролю струму статора, що виключає визначення активної та реактивної потужності; відсутність контролю частоти, що може призвести до втрати стійкості.

Відоме технічне рішення (Спосіб регулювання напруги синхронного генератора з високочастотним збудником, патент EP 1976092 A1, H03L5/00, 15.04.2004, бюл. № 4, Шайтор М.М., Березовенко О.В.) реалізація запропонованого способу регулювання напруги синхронного генератора здійснюється трьома операціями: виміром часового інтервалу кожного такту пульсацій випрямленої напруги синхронного генератора, перетворенням тимчасового інтервалу у величину, зворотну величині кута затримки по відношенню до початку кожного напівперіоду випрямленої напруги збудження і зміною кута затримки по відношенню до початку кожного напівперіоду випрямленої напруги збудження, що дає зменшення перервності напруги збудження і відповідно зменшення спотворення синусоїди фазової напруги генератора.

Спільними ознаками відомого технічного рішення із корисною моделлю, що заявляється, є вимірювання напруги статора генератора, керування напруги та струму збудження, формування та зміна кута затримки.

Недоліками відомого технічного рішення є: відсутність контролю струму збудження, що знижує швидкість зміни струму збудження; відсутність контролю струму статора, що виключає визначення активної та реактивної потужності; відсутність контролю частоти, що може призвести до втрати стійкості.

Найбільш близьким до корисної моделі, що заявляється, є технічне рішення (Спосіб регулювання напруги синхронного генератора, UA патент 64495, H03L 5/00, 16.02.2004, Бюл. № 2, 2004 р. Алаєв В.В., Шоцький О.М.), що забезпечує розподіл реактивної потужності без зрівняльних зв'язків між синхронним генератором, шляхом виміру  $\cos \varphi$  синхронного генератора і коректування максимального значення напруги живлення обмотки збудження по величині  $\cos \varphi$  на заздалегідь розраховану величину, якщо  $\cos \varphi$  синхронного генератора більше специфікаційного значення для електроенергетичної системи, то максимальне значення напруги живлення обмотки збудження збільшують, якщо  $\cos \varphi$  синхронного генератора менше специфікаційного значення, то максимальне значення напруги живлення обмотки збудження зменшують.

Спільними ознаками даного технічного рішення та пропонованої корисної моделі є: вимірювання напруги статора генератора, керування напруги та струму збудження, формування та зміна кута затримки.

Недолік даного технічного рішення полягає у відсутності контролю струму збудження, що знижує швидкість зміни струму збудження; відсутності контролю частоти, що може призвести до втрати стійкості.

Дане технічне рішення вибрано як прототип корисної моделі, що заявляється.

В основу корисної моделі поставлена задача стабілізації напруги шляхом реалізації алгоритму пропорційно-диференціального автоматичного регулювання реактивної потужності, забезпечити статичну та динамічну стійкість паралельної роботи когенераційної установки з мережею.

Поставлена задача вирішується тим, що у відомому технічному рішенні вимірюють напругу статора генератора, формують та змінюють кут затримки, керують напругою та струмом збудження, згідно з корисною моделлю, формують задану напругу статора генератора, формують задану частоту обертання ротора генератора, порівнюють задану напругу та виміряну напругу статора генератора, вимірюють значення частоти напруги мережі, порівнюють із заданою частотою генератора, вимірюють струм збудження генератора, розраховують похідну за напругою статора генератора, розраховують похідну за частотою напруги статора генератора, визначають напругу регулювання збудження підсумуванням масштабованих величин відхилення напруги статора, похідної напруги статора, відхилення частоти напруги

статора, похідної частоти напруги статора та струму збудження, формують та змінюють кут затримки, керують напругою та струмом збудження.

Запропонована корисна модель пояснюється кресленням, де наведено Алгоритм реалізації способу.

5 Струм збудження генератора визначає його ЕРС  $E_q$ .

Напруга  $U_r$  і напруга лінії  $U_L$ , пов'язані між собою відношеннями:

$$E_g = \sqrt{(U_r + I_p X_d)^2 + (I_a X_d)^2}, \quad (1)$$

$$U_r = \sqrt{(I_M + I_p X_T)^2 + (I_a X_T)^2} \quad (2).$$

10 При відсутності автоматичного регулювання збудження ЕРС  $E_{g=const}$ . Реактивна потужність генератора

$$Q_r = Q_{E_q} = \frac{E_q U_M}{X_d + X_M} \cos \delta - \frac{U_M^2}{X_d + X_M}, \quad (3)$$

де  $X_M = X_T + X_L$ ;  $\delta = (E_q, U_M)$ .

Активна потужність електропередачі визначається:

$$P_r = P_{E_q} = \frac{E_q U_M}{X_d + X_M} \sin \delta. \quad (4)$$

15 Найбільша передана активна потужність досягається при куті  $\delta = \pi/2$ . При цьому в міру зростання активної потужності перехідна ЕРС  $E'$  і напруга  $U_r$  генератора знижуються.

Активній потужності відповідає певна реактивна потужність. Виключаючи з рівнянь (3) і (4) при допущенні  $Q_r = Q_L$  напругу  $U_M$ , можна отримати залежність  $Q_r = f(P_r)$  для неявно полюсного генератора. Зокрема, для кута  $\delta = \pi/2$  така залежність являє собою рівняння кола

$$20 \quad (Q_r - U_r^2 \frac{X_d - X_M}{2X_d X_M})^2 + P_r^2 = (U_r^2 \frac{X_d + X_M}{2X_d X_M})^2, \quad (5)$$

з центром, розташованим на осі реактивної потужності  $Q_r = U_r^2 (X_d - X_M) / 2X_d X_M$  і радіусом  $r = U_r^2 (X_d + X_M) / 2X_d X_M$ . Точки перерізу кола з віссю  $Q$  відповідають найбільшим при  $P_r = 0$  генерованій  $Q_{rmax} = U_r^2 / X_M$  і споживаній  $Q_{rmax} = -U_r^2 / X_d$  реактивним потужностям.

25 При автоматичному регулюванні збудження активна потужність, що віддається генератором, найбільша за умовою стійкості - зростає, внаслідок збільшення ЕРС  $E_q$ .

При автоматичному регулюванні, що забезпечує незмінність потокозчеплення обмотки збудження, вважається незмінною перехідна ЕРС генератора  $E' = const$ . Активна потужність при цьому дорівнює

$$P_{E'} = \frac{E' U_M \sin \delta}{(X_d + X_M)} - \frac{U_c^2 (X_d - X_d') \sin 2\delta}{2(X_d + X_M)(X_d' + X_M)}. \quad (6)$$

30 Найбільша передана потужність визначається динамічною характеристикою, досягається при кутах  $\delta > \pi/2$  і перевищує найбільшу потужність при відсутності регулювання збудження. При цьому залежність реактивної потужності від активної неявнополюсного генератора при граничному куті  $\delta' = (E', U_M) = \pi/2$ .

35 При автоматичній зміні струму збудження, при якому підтримується незмінною напруга генератора  $U_r = const$ . При такому автоматичному регулюванні активна потужність визначається виразом

$$P_{U_r} = \frac{U_r U_M}{X_M} \sin \delta - \frac{U_M^2 X_d}{2X_M (X_d + X_M)} \sin 2\delta. \quad (7)$$

Найбільша передана активна потужність досягає (150-180)% найбільшої потужності і настає при  $\delta_r = (U_r, U_M) = \pi/2$ .

40 Керування режимом генератора призначене не тільки для підтримання напруги на заданому рівні та генерованої або споживаної синхронним генератором реактивної потужності, а й для

підвищення до максимально можливих рівнів статичної та динамічної стійкості вузла електричної мережі підприємства в цілому.

Регульовальний вплив на керування режимом генератора зумовлюється поточними параметрами режиму вузла, до якого він підключений: струму навантаження  $I_{\text{сп}}$ , струму генератора  $I_{\text{ген}}$  та напруги мережі  $U_c$ . Відповідно до керування режимом генератора формування впливу за основним параметром, від якого залежить статична, динамічна і результуюча стійкість електропередачі - по куту  $\delta$  зсуву фаз між ЕРС  $E_q$  генератора і напругою  $U_c$  шин мережі.

Додатково керування режимом генератора за вказаними параметрами режиму визначає: відхилення амплітуди або діючого значення напруги  $U_r$  від заданого значення  $U_{r.\text{пр}}$  похідна напруги  $\dot{U}_r = dU_r / dt$ ; зміна  $\Delta f \approx d\delta / dt$  і перша похідна  $\dot{f} = df / dt \sim d^2\delta / dt$  частоти  $f$  і похідна струму збудження генератора  $\dot{I}_{\text{зб}} = dI_{\text{зб}} / dt$ .

Відхилення напруги  $\Delta U_r$  необхідно для забезпечення практично постійної (з точністю статичної похибки регулювання) напруги  $U_r$  при змінах струму навантаження генератора або напруги на початку лінії електропередачі

$$|U_c| = |U_r - jI_r X_r| \approx \text{const}, \quad (8),$$

формованого на виході регулятора моделюванням падіння напруги  $jI_r X_r$ .

Використання сигналу по похідній регульованої величини напруги  $U_r$  представляє другий спосіб забезпечення стійкості функціонування замкнутої автоматичної системи регулювання: перший спосіб введення місцевого гнучкого негативного зворотного зв'язку, тобто стабілізації. Сигнал по похідній напруги стабілізує автоматичну систему регулювання збудження насамперед при холостому ході генератора.

Сигнали, що відображають зміну і похідну частоти сумісно з сигналами по похідних напруги і струму збудження, тобто електрорушійної сили генератора, підвищують стійкість замкнутої автоматичної системи регулювання, що включає навантажену мережу електропередачі, забезпечуючи загасання електромеханічних перехідних процесів, - підвищуючи статичну і динамічну стійкість паралельної роботи декількох електричних машин.

Таким чином, алгоритм автоматичного регулювання збудження дії представляється у вигляді:

$$U_{\text{пер}} = k_u \Delta U + k_u \dot{U} + k_f \Delta f + k_f \dot{f} + k_{I_3} \dot{I}_3, \quad (9)$$

або в операторній формі у вигляді

$$U_{\text{пер}}(p) = (k_u + p k_u) \Delta U(p) + \left[ \frac{p k_f}{p T_{\text{др}} + 1} + p k_f \right] \Delta f(p) + p k_{I_3} \dot{I}_3(p), \quad (10)$$

де  $\Delta f$  - відхилення частоти напруги генератора  $f_r$  від синхронної  $f_c$ ;  $\Delta f = f_c - f_r$ ;  $k_u, k_f, k_f', k_{I_3}$  - коефіцієнти з розмірністю постійної часу.

В результаті сигнал регулювання напруги подається на збудження, де формується заданий струм збудження, який подається на (обмотку збудження) генератор.

Таким чином, вказані процеси реалізують регулювання збудження генератора, що призводить до підвищення якості та стабілізації електричної напруги синхронного генератора у складі когенераційної установки.

#### ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

Спосіб стабілізації напруги синхронного генератора в складі когенераційної установки, що включає вимірювання напруги статора генератора, при цьому формують та змінюють кут затримки, керують напругою та струмом збудження, який **відрізняється** тим, що формують задану напругу статора генератора, формують задану частоту обертання ротора генератора, порівнюють задану напругу та виміряну напругу статора генератора, вимірюють значення частоти напруги мережі, порівнюють із заданою частотою генератора, вимірюють струм збудження генератора, розраховують похідну за напругою статора генератора, розраховують похідну за частотою напруги статора генератора, визначають напругу регулювання збудження підсумуванням масштабованих величин відхилення напруги статора, похідної напруги статора,

відхилення частоти напруги статора, похідної частоти напруги статора та струму збудження, формують та змінюють кут затримки, керують напругою та струмом збудження.

