



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **142485** (13) **U**
 (51) МПК
H02M 1/08 (2006.01)

МІНІСТЕРСТВО РОЗВИТКУ
 ЕКОНОМІКИ, ТОРГІВЛІ ТА
 СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА
 УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

| | |
|--|--|
| <p>(21) Номер заявки: u 2019 11477</p> <p>(22) Дата подання заявки: 27.11.2019</p> <p>(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: 10.06.2020</p> <p>(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 10.06.2020, Бюл.№ 11</p> | <p>(72) Винахідник(и): Ушкаренко Олександр Олегович (UA), Дорогань Ольга Ігорівна (UA)</p> <p>(73) Власник(и): НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ КОРАБЛЕБУДУВАННЯ ІМЕНІ АДМІРАЛА МАКАРОВА, просп. Героїв України, 9, м. Миколаїв, 54025 (UA)</p> |
|--|--|

(54) СПОСІБ КЕРУВАННЯ ЗБУДЖЕННЯМ СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА ПРИ ЗМІНІ ЧАСТОТИ ВИХІДНОЇ НАПРУГИ

(57) Реферат:

Спосіб керування збудженням синхронного генератора при зміні частоти вихідної напруги, в якому перетворюють вихідну напругу генератора $U_{\text{вих}}$ в аналоговий сигнал $\Delta U_{\text{вих}}$ за допомогою функціональної структури $f(\pm U_{\text{вих}}, |\Delta U_{\text{вих}}|)$. Для подальшого перетворення і порівняння його з опорною напругою U_k в функціональній структурі $f_1(|\Delta U_{\text{вих}}| < U_k)$, та формують керуючий сигнал, який після підсилення подають на кільцевий розподільник імпульсів, за допомогою якого формують послідовні керуючі імпульси $U_{\varphi 1.n}$, $U_{\varphi 2.n}$ й $U_{\varphi 3.n}$, де "n" - неперервна послідовність конкретних значень аналогових сигналів керуючих імпульсів в функціональній структурі демультіплексора $f(\text{Demux})$, які подають на силові тиристори для формування синхронізованої напруги і струму збудження синхронного генератора, при цьому величину опорного аналогового сигналу U_k вибирають не вище лінійної частини перетвореного аналогового сигналу $|\Delta U_{\text{вих}}|$ синхронного генератора і активного вихідного аналогового сигналу $U_{\Delta t}$ тривалістю Δt в функціональній структурі порівняння $f_1(|\Delta U_{\text{вих}}| < U_k)$, і формують тільки в лінійній частині перетвореного аналогового сигналу $|\Delta U_{\text{вих}}|$, яким активізують функціональну структуру $f_1(\text{АЦП})$ для формування структури аналогових сигналів $U_{j \text{ вих}}$, формують структуру аналогових сигналів швидкості його зміни за допомогою функціональної структури логічного диференціювання $f(d/dn)$ і виконують логічне віднімання з наперед заданої структури аналогових сигналів $U_{j \text{ вих}}$ $f_2(d/dn)$ за допомогою функціональної структури суматора $f_1(\Sigma)$ для формування результуючого знаку $(+U/-U)f_1(d/dn)$ і величини $U_j f_1(d/dn)$ логічної похідної, і коригують початок формування послідовних керуючих імпульсів $U_{\varphi 1.n+1}$, $U_{\varphi 2.n+1}$ й $U_{\varphi 3.n+1}$ в функціональній структурі демодулятора $f(\text{Demux})$ з випередженням або відставанням відносно початку формування попередньої послідовності керуючих імпульсів $U_{\varphi 1.n}$, $U_{\varphi 2.n}$ й $U_{\varphi 3.n}$.

UA 142485 U

Корисна модель належить до галузі електроенергетики, зокрема до способу стабілізації напруги газодизель-генератора шляхом коригування його напруги збудження, і може бути використано для підвищення стабільності вихідної напруги при роботі синхронного генератора.

Відомий спосіб автоматичного регулювання частоти і активної потужності генератора (Хомяков Н.М. та ін. Суднові електроенергетичні установки. - Л.: "Суднобудування", 1966. Стор. 175, рис. 82), в якому для стабілізації частоти вихідної напруги синхронного генератора з первинним двигуном здійснюють вимірювання частоти вихідної напруги генератора, і за допомогою датчика частоти та серводвигуна виконують регулювання швидкості обертання первинного двигуна. Недоліком відомого способу автоматичного регулювання вихідної напруги є нестабільність роботи генератора при зміні зовнішнього навантаження.

Відомий також спосіб керування збудженням синхронного генератора при зміні частоти вихідної напруги ("Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи". За редакцією професора М.Г. Поповича та О.Ю. Лозинського. - Київ "Либідь", 2005. - С. 247, рис. 4.17), в якому для стабілізації роботи синхронного генератора фіксують момент зміни вихідної напруги генератора і перетворюють вихідну напругу генератора $U_{\text{вих}}$ в аналоговий сигнал $\Delta U_{\text{вих}}$ за допомогою перетворюючої функціональної структури $f(\pm U_{\text{вих}}, |\Delta U_{\text{вих}}|)$ для подальшого його порівняння з опорною напругою U_j , після чого з нього формують пилоподібну напругу $U_0 \rightarrow U_{\text{max}}$ тривалістю Δt і періодом слідування T_i , де i - число періодів, що отримується за допомогою функціональної структури $f_1[\Delta t(U_0 \rightarrow U_{\text{max}}, T_i)]$, після чого порівнюють пилоподібну напругу $U_0 \rightarrow U_{\text{max}}$ тривалістю Δt з опорною напругою U_j за допомогою функціональної структури $f_1(U_0 \rightarrow U_{\text{max}} > U_j)$ і формують керуючі сигнали з крутим переднім фронтом, які після

підсилення подають на кільцевий розподільник імпульсів функціональної структури демультиплексора $f(\text{Demux})$, за допомогою якого формують послідовні керуючі імпульси $U_{\phi 1.n}$, $U_{\phi 2.n}$ й $U_{\phi 3.n}$, де "n" - неперервна послідовність конкретних значень аналогових сигналів керуючих імпульсів, які подають на силові тиристори для формування синхронізованої напруги і струму збудження синхронного генератора, при цьому логіко-динамічний процес стабілізації синхронного генератора виконано у відповідності до математичної моделі виду

$$U_j \rightarrow \left. \begin{aligned} f_1(U_0 \rightarrow U_{\text{max}} > U_j) = U_{\Delta t} = f(\text{Demux}) &= U_{\phi 2.n}(\pm \Delta t_{n+1}) \\ &= U_{\phi 3.n}(\pm \Delta t_{n+1}), \end{aligned} \right\}$$

де $f(\pm U_{\text{вих}}, |\Delta U_{\text{вих}}|)$ - перетворююча функціональна структура; $f_1[\Delta t(U_0 \rightarrow U_{\text{max}}, T_i)]$ - функціональна структура, що формує пилоподібну напругу $U_0 \rightarrow U_{\text{max}}$ тривалістю Δt й періодом слідування T_i ; $f_1(U_0 \rightarrow U_{\text{max}} > U_j)$ - функціональна структура порівняння пилоподібної напруги $U_0 \rightarrow U_{\text{max}}$ з опорною U_j ; $f(\text{Demux})$ - функціональна структура демультиплексора.

Недоліком відомого способу є нестабільність роботи генератора через зміну частоти його вихідної напруги при зміні навантаження. Стабільність роботи синхронного генератора з урахуванням слідкуючої зміни струму збудження генератора може бути отримана в межах 10-15 % від номінальної потужності генератора.

Ставиться задача удосконалення способу керування збудженням синхронного генератора при зміні частоти вихідної напруги, в якому шляхом зміни моменту подачі напруги на обмотку збудження синхронного генератора забезпечують стабілізацію його реактивної потужності, що в кінцевому рахунку призводить до економії палива на 3-5 %.

Вирішується поставлена задача тим, що використовується спосіб керування збудженням синхронного генератора при зміні частоти вихідної напруги, в якому перетворюють вихідну напругу генератора $U_{\text{вих}}$ в аналоговий сигнал $\Delta U_{\text{вих}}$ за допомогою функціональної структури $f(\pm U_{\text{вих}}, |\Delta U_{\text{вих}}|)$ для подальшого перетворення і порівняння його з опорною напругою U_k в функціональній структурі $f_1(|\Delta U_{\text{вих}}| < U_k)$, та формують керуючий сигнал, який після підсилення подають на кільцевий розподільник імпульсів, за допомогою якого формують послідовні керуючі імпульси $U_{\phi 1.n}$, $U_{\phi 2.n}$ й $U_{\phi 3.n}$, де "n" - неперервна послідовність конкретних значень аналогових сигналів керуючих імпульсів в функціональній структурі демультиплексора $f(\text{Demux})$, які подають на силові тиристори для формування синхронізованої напруги і струму

збудження синхронного генератора, при цьому величину опорного аналогового сигналу U_k вибирають не вище лінійної частини перетвореного аналогового сигналу $|\Delta U_{\text{вих}}|$ синхронного генератора і активного вихідного аналогового сигналу $U_{\Delta t \uparrow}$ тривалістю Δt в функціональній структурі порівняння $f_1(|\Delta U_{\text{вих}}| < U_k)$, і формують тільки в лінійній частині перетвореного аналогового сигналу $|\Delta U_{\text{вих}}|$, яким активізують функціональну структуру $f_1(\text{АЦП})$ для формування структури аналогових сигналів $[U_j]_{\text{вих}}$, формують структуру аналогових сигналів швидкості його зміни за допомогою функціональної структури логічного диференціювання $f(d/dn)$ і виконують логічне віднімання з наперед заданої структури аналогових сигналів $[U_j]_{\text{вих}}$ $f_2(d/dn)$ за допомогою функціональної структури суматора $f_1(\Sigma)$ для формування результуючого знаку $(+U/-U)f_1(d/dn)$ і величини $[U_j]f_1(d/dn)$ логічної похідної, і коригують початок формування послідовних керуючих імпульсів $U_{\phi 1.n+1}$, $U_{\phi 2.n+1}$ й $U_{\phi 3.n+1}$ в функціональній структурі демодулятора $f(\text{Demux})$ з випередженням або відставанням відносно початку формування попередньої послідовності керуючих імпульсів $U_{\phi 1.n}$, $U_{\phi 2.n}$ й $U_{\phi 3.n}$, при цьому логіко-динамічний процес коригування струму збудження синхронного генератора виконано у відповідності до математичної моделі виду

$$\begin{array}{l}
 U_k \rightarrow \left. \begin{array}{l} \rightarrow \\ \rightarrow \end{array} \right\} f_1(|\Delta U_{\text{вих}}| < U_k) = U_{\Delta t \uparrow} \\
 \pm U_{\text{вих}} \rightarrow f(\pm U_{\text{вих}}, |\Delta U_{\text{вих}}|) \left. \begin{array}{l} \rightarrow \\ \rightarrow \\ \rightarrow \\ \rightarrow \end{array} \right\} f_1(\text{АЦП}) = [U_j]_{\text{вих}} \\
 [U_j] \rightarrow \left. \begin{array}{l} \rightarrow \\ \rightarrow \\ \rightarrow \\ \rightarrow \end{array} \right\} f_1(\Sigma) = f(d/dn) = \left. \begin{array}{l} \rightarrow \\ \rightarrow \\ \rightarrow \\ \rightarrow \end{array} \right\} f(\text{Demux}) = \left. \begin{array}{l} \rightarrow \\ \rightarrow \\ \rightarrow \\ \rightarrow \end{array} \right\} \begin{array}{l} = U_{\phi 1.n}(\pm \Delta t_{n+1}) \\ = U_{\phi 2.n}(\pm \Delta t_{n+1}) \\ = U_{\phi 3.n}(\pm \Delta t_{n+1}) \end{array} \\
 \downarrow U_{\Delta t} = \left. \begin{array}{l} \rightarrow \\ \rightarrow \\ \rightarrow \\ \rightarrow \end{array} \right\} f_2(d/dn) = \left. \begin{array}{l} \rightarrow \\ \rightarrow \\ \rightarrow \\ \rightarrow \end{array} \right\} [U_j]f_1(d/dn) =
 \end{array}$$

де \rightarrow і $=$ - система аналогових (\rightarrow) і аналогово-логічних функціональних зв'язків ($=$)

в функціональних структурах; $f_1(\text{АЦП})$ - функціональні структури аналого-цифрового перетворення; $f_1(\Sigma)$ - функціональна структура суматора; $f(d/dn)$ - функціональна структура логічного диференціювання; $f(\text{Demux})$ - функціональна структура демультиплексора.

Реалізується запропонований спосіб керування збудженням синхронного генератора при зміні частоти вихідної напруги в такий спосіб. Попередньо, відповідно до аналітичного виразу (1)

$$\begin{array}{l}
 U_k \rightarrow \left. \begin{array}{l} \rightarrow \\ \rightarrow \end{array} \right\} f_1(|\Delta U_{\text{вих}}| < U_k) = U_{\Delta t \uparrow} \\
 \pm U_{\text{вих}} \rightarrow f(\pm U_{\text{вих}}, |\Delta U_{\text{вих}}|) \left. \begin{array}{l} \rightarrow \\ \rightarrow \\ \rightarrow \\ \rightarrow \end{array} \right\} f_1(\text{АЦП}) = [U_j]_{\text{вих}} \uparrow
 \end{array} \tag{1}$$

вихідна напруга $U_{\text{вих}}$ синхронного генератора перетворюється за допомогою функціональної структури $f(\pm U_{\text{вих}}, |\Delta U_{\text{вих}}|)$ в аналоговий сигнал одного знаку $|\Delta U_{\text{вих}}|$. Після цього перетворений аналоговий сигнал одночасно подають на функціональну структуру $f_1(\text{АЦП})$ з опорними аналоговими сигналами $[U_j]$, де "j" - кількість інформаційних логічних аналогових сигналів, і функціональну структуру порівняння $f_1(|\Delta U_{\text{вих}}| < U_k)$ з опорним аналоговим сигналом U_k . При цьому величину опорного аналогового сигналу U_k вибирають не вище лінійної частини

перетвореного аналогового сигналу $|\Delta U_{\text{вих}}|$ синхронного генератора, і активний вихідний аналоговий сигнал $U_{\Delta t \uparrow}$ тривалістю Δt в функціональній структурі порівняння $f_1(|\Delta U_{\text{вих}}| < U_k)$ формують тільки в лінійній частині перетвореного аналогового сигналу $|\Delta U_{\text{вих}}|$, яким активізують функціональну структуру $f_1(\text{АЦП})$ для формування структури аналогових сигналів $[U_j]_{\text{вих}}$, для чого у відповідності до функціональної структури (2)

$${}^0[U_j]_{\text{вих}} f_2(d/dn) = \left. \begin{matrix} f_1(\Sigma) \\ f_1(\text{АЦП}) \end{matrix} \right\} = [U_j] f_1(d/dn) \uparrow \quad (2)$$

$\downarrow [U_j]_{\text{вих}}$ формують структуру аналогових сигналів швидкості зміни структур аналогових сигналів $f(d/dn)$ і виконують логічне віднімання з наперед заданої еталонної структури аналогових сигналів $[U_j]_{\text{вих}} f_2(d/dn)$ за допомогою функціональної структури суматора $f_1(\Sigma)$ для формування

10 результуючого знаку $(+U/-U)f_1(d/dn)$ і величини $[U_j] f_1(d/dn)$ логічної похідної. Після цього, у відповідності з функціональною структурою (3)

$$\downarrow [U_j] f_1(d/dn) = \left. \begin{matrix} f(\text{Demux}) \\ f_1(\Sigma) \end{matrix} \right\} = \begin{cases} = U_{\varphi 1.n}(\pm \Delta t_{n+1}) \\ = U_{\varphi 2.n}(\pm \Delta t_{n+1}) \\ = U_{\varphi 3.n}(\pm \Delta t_{n+1}) \end{cases} \quad (3)$$

аналізують сформований у виразі (2) логічний сигнал знаку $\downarrow (+U/-U)f_1(d/dn)$ і логічні аналогові сигнали $\downarrow [U_j] f_1(d/dn)$, і коригують початок формування послідовних керуючих імпульсів $U_{\varphi 1.n+1}$, $U_{\varphi 2.n+1}$ й $U_{\varphi 3.n+1}$ в функціональній структурі демодулятора $f(\text{Demux})$ з

15 випередженням або відставанням відносно початку формування попередньої послідовності керуючих імпульсів $U_{\varphi 1.n}(\pm \Delta t_{n+1})$, $U_{\varphi 2.n}(\pm \Delta t_{n+1})$ й $U_{\varphi 3.n}(\pm \Delta t_{n+1})$, які потім подають на силові тиристори для формування синхронізованої напруги і струму збудження синхронного генератора.

20 Для формування математичної моделі функціонально закінченого логіко-динамічного процесу керування збудженням синхронного генератора при зміні частоти вихідної напруги виконується об'єднання функціональних структур (1) - (3) і запис результуючого аналітичного виразу логіко-динамічного процесу перетворення аналогових сигналів

$$\begin{matrix} U_k \rightarrow \\ \pm U_{\text{вих}} \rightarrow f(\pm U_{\text{вих}}, |\Delta U_{\text{вих}}|) \\ [U_j] \rightarrow \\ \downarrow U_{\Delta t} \rightarrow \end{matrix} \left. \begin{matrix} \left. \begin{matrix} \left. \begin{matrix} f_1(|\Delta U_{\text{вих}}| < U_k) = U_{\Delta t \uparrow} \\ f_1(\text{АЦП}) \end{matrix} \right\} = [U_j]_{\text{вих}} \\ f_1(\Sigma) \end{matrix} \right\} = f(d/dn) \\ f_1(\Sigma) \end{matrix} \right\} = \begin{matrix} = (+U/-U)f_1(d/dn) \\ = f(\text{Demux}) \end{matrix} \left. \begin{matrix} \\ \\ \end{matrix} \right\} = \begin{matrix} = U_{\varphi 1.n}(\pm \Delta t_{n+1}) \\ = U_{\varphi 2.n}(\pm \Delta t_{n+1}) \\ = U_{\varphi 3.n}(\pm \Delta t_{n+1}) \end{matrix}$$

25 Використання запропонованого технічного рішення керування збудженням синхронного генератора при зміні частоти вихідної напруги дозволить підвищити його економічність на 3-5 %.

ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

30 Спосіб керування збудженням синхронного генератора при зміні частоти вихідної напруги, в якому перетворюють вихідну напругу генератора $U_{\text{вих}}$ в аналоговий сигнал $\Delta U_{\text{вих}}$ за допомогою функціональної структури $f(\pm U_{\text{вих}}, |\Delta U_{\text{вих}}|)$ для подальшого перетворення і

порівняння його з опорною напругою U_k в функціональній структурі $f_1(|\Delta U_{\text{вих}}| < U_k)$, та формують керуючий сигнал, який після підсилення подають на кільцевий розподільник імпульсів, за допомогою якого формують послідовні керуючі імпульси $U_{\phi 1.n}$, $U_{\phi 2.n}$ й $U_{\phi 3.n}$, де "n" - неперервна послідовність конкретних значень аналогових сигналів керуючих імпульсів в функціональній структурі демультіплексора $f(\text{Demux})$, які подають на силові тиристори для формування синхронізованої напруги і струму збудження синхронного генератора, при цьому величину опорного аналогового сигналу U_k вибирають не вище лінійної частини перетвореного аналогового сигналу $|\Delta U_{\text{вих}}|$ синхронного генератора і активного вихідного аналогового сигналу $U_{\Delta t \uparrow}$ тривалістю Δt в функціональній структурі порівняння $f_1(|\Delta U_{\text{вих}}| < U_k)$, і формують тільки в лінійній частині перетвореного аналогового сигналу $|\Delta U_{\text{вих}}|$, яким активізують функціональну структуру $f_1(\text{АЦП})$ для формування структури аналогових сигналів $[U_j]_{\text{вих}}$, формують структуру аналогових сигналів швидкості його зміни за допомогою функціональної структури логічного диференціювання $f(d/dn)$ і виконують логічне віднімання з наперед заданої структури аналогових сигналів $[U_j]_{\text{вих}}$ $f_2(d/dn)$ за допомогою функціональної структури суматора $f_1(\Sigma)$ для формування результуючого знаку $(+U/-U)f_1(d/dn)$ і величини $[U_j]f_1(d/dn)$ логічної похідної, і коригують початок формування послідовних керуючих імпульсів $U_{\phi 1.n+1}$, $U_{\phi 2.n+1}$ й $U_{\phi 3.n+1}$ в функціональній структурі демодулятора $f(\text{Demux})$ з випередженням або відставанням відносно початку формування попередньої послідовності керуючих імпульсів $U_{\phi 1.n}$, $U_{\phi 2.n}$ й $U_{\phi 3.n}$, який **відрізняється** тим, що логіко-динамічний процес коригування струму збудження синхронного генератора задають у відповідності до математичної моделі виду

$$\begin{array}{l}
 U_k \rightarrow \left. \begin{array}{l} \rightarrow \\ \rightarrow \end{array} \right\} f_1(|\Delta U_{\text{вих}}| < U_k) = U_{\Delta t \uparrow} \\
 \pm U_{\text{вих}} \rightarrow f(\pm U_{\text{вих}}, |\Delta U_{\text{вих}}|) \left. \begin{array}{l} \rightarrow \\ \rightarrow \\ \rightarrow \\ \rightarrow \end{array} \right\} f_1(\text{АЦП}) = [U_j]_{\text{вих}} \\
 [U_j] \rightarrow \left. \begin{array}{l} \rightarrow \\ \rightarrow \\ \rightarrow \\ \rightarrow \end{array} \right\} f_1(\Sigma) = f(d/dn) = \left. \begin{array}{l} = (+U/-U)f_1(d/dn) = \\ f_1(\Sigma) \\ [U_j]_{\text{вих}} f_2(d/dn) = \end{array} \right\} f(\text{Demux}) = \left. \begin{array}{l} = U_{\phi 1.n}(\pm \Delta t_{n+1}) \\ = U_{\phi 2.n}(\pm \Delta t_{n+1}) \\ = U_{\phi 3.n}(\pm \Delta t_{n+1}) \end{array} \right\} \\
 \rightarrow \left. \begin{array}{l} \rightarrow \\ \rightarrow \end{array} \right\} = \left. \begin{array}{l} \rightarrow \\ \rightarrow \end{array} \right\} =
 \end{array}$$

де \rightarrow і $=$ - система аналогових (\rightarrow) і аналогово-логічних функціональних зв'язків ($=$) в

функціональних структурах; $f_1(\text{АЦП})$ - функціональні структури аналого-цифрового перетворення; $f_1(\Sigma)$ - функціональна структура суматора; $f(d/dn)$ - функціональна структура логічного диференціювання; $f(\text{Demux})$ - функціональна структура демультіплексора.