

РОЗДІЛ «ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА. ЕЛЕКТРОТЕХНІКА»

УДК 621.313.322

ХОМЕНКО В.І., аспірант
НІЗІМОВ В.Б., д.т.н., професор

Дніпродзержинський державний технічний університет

КЕРУВАННЯ КОНТУРОМ ЗБУДЖЕННЯ СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА ПРИ РІЗКО ЗМІННОМУ НАВАНТАЖЕННІ

Вступ. Сучасні системи електропостачання мають високий ступінь надійності за наявності резервування елементів, застосування засобів релейного захисту і швидкодіючої автоматики, що робить втрату електроживлення споживачів малоймовірною.

Однак, у випадках природних катастроф і стихійних лих перерви електроживлення можуть спричинити тривалі порушення технологічних процесів, великі матеріальні втрати, а в ряді випадків – пожежі і вибухи, що може призвести до людських жертв і значного народногосподарського збитку [1].

В цих умовах для живлення відповідальних електроприводів механізмів, наприклад, шахтних вентиляторів, водонасосних станцій можуть застосовуватись мобільні автономні генеруючі установки (АГУ). Однак, кількість цих установок, як правило, недостатня і, крім того, для їх транспортування до місця аварії необхідний певний час.

Створення джерел електроживлення, що оперативно формуються, для промислових і побутових потреб дозволяє мінімізувати негативні наслідки природних катастроф і стихійних лих. Як автономне джерело енергії може бути застосований будь-який тип електричної машини.

Для джерел електроживлення на базі машин постійного струму стримуючими факторами є різна інерційність каналів керування (обмотка збудження) і збурення (якірне коло), а також необхідність застосування спеціальних модулів зв'язку між напругами постійного та змінного струмів. Застосування асинхронних двигунів (АД) потребує джерел ємнісного струму, крім того, дані двигуни мають незначну перевантажувальну спроможність.

Застосування синхронних двигунів (СД) в якості мобільних джерел електроенергії вимагає розробки нових технічних рішень, що дозволяють компенсувати інерційність контуру збудження. Для підвищення ефективності керування контуром збудження синхронного генератора (СГ) запропоновано систему збудження з ємнісною компенсацією інерційності контуру збудження. При цьому повинні бути досягнуті безвідмовність роботи в екстремальних умовах і простота реалізації, а також можливість якомога швидшого запуску генеруючої установки [1, 2].

Встановлення закономірностей і залежностей впливу ємнісних накопичувачів енергії (ЄНЕ) на режими роботи СМ і на цій основі створення нових систем керування АГУ, які забезпечують надійне електроживлення відповідальних споживачів як промислового, так і комунального сектору, є актуальною задачею.

Постановка задачі. Дослідження режимів керування контуром збудження для стабілізації вихідної напруги синхронного генератора автономної генеруючої установки при живленні електроспоживачів з різко змінним навантаженням.

Результати роботи. Проаналізовано режими збудження автономної генеруючої установки на базі СМ при підключенні споживачів співставної потужності за допомогою розробленої системи керування з релейним регулятором та ємнісним накопичувачем енергії в контурі збудження.

Створення джерел аварійного електроживлення, що оперативно формуються,

(ДАЕФ) для сільськогосподарських, комунальних та промислових підприємств полягає в забезпеченні умов для підвищення надійності роботи народногосподарських об'єктів в ситуаціях, пов'язаних з системним порушенням електропостачання. Застосування серійних мобільних автономних джерел резервного електроживлення на базі транспортних засобів [1, 3], наприклад, ПАЕС-2500, ЕСД, АСДА у випадку виникнення надзвичайної ситуації може виявитись недостатнім для забезпечення електропостачання через незначну кількість одиниць автономних джерел для територіально розосереджених електроспоживачів [2, 3].

Не дивлячись на досконалість сучасних системи збудження мобільних АГУ, наявність потужних демпферних контурів і інерційність обмотки збудження не дозволяють стабілізувати напругу СГ через аперіодичне запізнення струму збудження.

Створення джерел аварійного живлення можливе при належному врахуванні особливостей споживачів в умовах стихійних лих і катастроф. Для таких споживачів найчастіше характерна потужність 100...150 кВт та вища, коли їх сумарна потужність співмірна з потужністю генеруючої установки (табл.1), що дозволяє реалізувати ремонтно-відновлювальні роботи, освітленість, електроживлення насосів подачі води, перекачування хімічних рідин, систем вентиляції та ін. В табл.1 наведено технічні характеристики електроспоживачів значної потужності при аварійних умовах живлення за даними компанії «Вент Заводы» (м. Київ) за 2015 р. [4].

Таблиця 1 – Силлові споживачі потужністю 100 і більше кВт

Тип споживача	Подача, м ³ /год	Напір, м	Потужність, кВт	Частота обертання, об./хв.
Насос X 150-125-400 з ел. двигуном 5AM 280 S4 110 кВт	200	50	110	1450
Насос X 150-125-400 з ел. двигуном АВ 280 S4 110 кВт	200	50	110	1450
Насос 1X 250-200-500а з ел. двигуном АВ 280 M4 132 кВт	450	63	132	1450
Насос X 100-65-315 з ел. двигуном 5AM 315 S2 160 кВт	100	125	160	2900
Насос 1X 250-200-500 з ел. двигуном ВАО2-280 L4 200 кВт	500	80	200	1450
Насос 1X 250-200-500а з ел. двигуном 5AI 355 S4 250 кВт	450	63	250	1450
Насос 1X 250-200-500 з ел. двигуном ВАО2-315 L4 315 кВт	500	80	315	1450
<u>Насос 2СМ 250-200-400/4а (132,0/1500)</u>	760	42,5	132,0	1500
<u>Насос 2СМ 200-150-500/4 (160,0/1500)</u>	400	80	160,0	1500
Тепловентилятор КЭВ-90Т20Е	6000	-	87,5	1350
Тепловентилятор КЭВ-100Т20Е	6000	-	100	1350

Аналіз даних табл.1 показує, що в якості електроспоживачів є АД, характерною рисою яких є значні пускові струми $(5...7)I_n$, що призводить до значної посадки напруги.

В таких умовах існуючі системи збудження мобільних АГУ не забезпечують стабілізації вихідної напруги через інерційність контуру збудження та наявність потуж-

них демпферних контурів при підключенні електроспоживачів з різко змінним навантаженням.

Для аналізу впливу ЄНЕ на режим стабілізації вихідної напруги СГ запишемо рівняння електричної рівноваги напруг для контурів у вигляді [5]:

$$\left. \begin{aligned} u_d &= -r_1 i_d + p \psi_d - \psi_q \omega; \\ u_q &= -r_1 i_q + p \psi_q + \psi_d \omega; \\ u_f &= r_f i_f + p \psi_f + \frac{1}{p} x_c i_f; \\ u_{kd} &= r_{kd} i_{kd} + p \psi_{kd}; \\ u_{kq} &= r_{kq} i_{kq} + p \psi_{kq}. \end{aligned} \right\}, \quad (1)$$

де $u_d, u_q, u_{kd}, u_{kq}, u_f$ – складові напруги по відповідних осях і напруга збудження; $\psi_d, \psi_q, \psi_f, \psi_{kd}, \psi_{kq}$ – потокозчеплення власних контурів; $i_d, i_q, i_f, i_{kd}, i_{kq}$ – струми контурів; r_1, r_f, r_{kd}, r_{kq} – активні опори статора, обмотки збудження і демпферних контурів по осях d, q; ω – кутова швидкість ротора.

Рівняння потокозчеплень контурів та механічної рівноваги:

$$\left. \begin{aligned} \psi_d &= x_{ad} (-i_d + i_f + i_{kd}) - x_{\sigma} i_d; \\ \psi_q &= x_{aq} (-i_q + i_{kq}) - x_{\sigma} i_q; \\ \psi_f &= x_{ad} (-i_d + i_f + i_{kd}) - x_{\sigma f} i_f; \\ \psi_{kd} &= x_{ad} (-i_d + i_f + i_{kd}) - x_{\sigma kd} i_{kd}; \\ \psi_{kq} &= x_{aq} (-i_q + i_{kq}) - x_{\sigma kq} i_{kq}. \end{aligned} \right\}, \quad (2)$$

$$M = \psi_d i_q - \psi_q i_d,$$

де x_{ad}, x_{aq} – опори взаємної індукції по поздовжній і поперечній осях; $x_{\sigma}, x_{\sigma f}, x_{\sigma kd}, x_{\sigma kq}$ – індуктивні опори розсіювання відповідних контурів.

Рівняння електричної рівноваги напруг контурів СГ після підстановки відповідних потокозчеплень (2) мають вигляд:

$$\left. \begin{aligned} u_d &= -r_1 i_d + p \psi_{\delta d} - x_{\sigma} p i_d - \psi_q \omega; \\ u_q &= -r_1 i_q + p \psi_{\delta q} - x_{\sigma} p i_q + \psi_d \omega; \\ u_f &= r_f i_f + p \psi_{\delta d} - x_{\sigma f} p i_f + \frac{1}{p} x_c i_f; \\ u_{kd} &= r_{kd} i_{kd} + p \psi_{\delta d} - x_{\sigma kd} p i_{kd}; \\ u_{kq} &= r_{kq} i_{kq} + p \psi_{\delta q} - x_{\sigma kq} p i_{kq}. \end{aligned} \right\}, \quad (3)$$

На підставі системи рівнянь (2), (3) розроблено структурну схему керування контуром збудження синхронної машини з релейним регулюванням та з ЄНЕ, яку наведено на рис.1.

В структурній схемі передбачено два канали стабілізації напруги:

перший канал – включає зворотний негативний зв’язок за напругою та позитивний зв’язок за струмом статора, які впливають на напругу збудження. Цей канал стабілізує напругу генератора при малих збуреннях;

другий канал – стабілізації напруги СГ при великих збуреннях, керування яким здійснюється за похідною кута навантаження та релейним регулятором, що забезпечує ємнісну компенсацію інерційності контуру збудження.

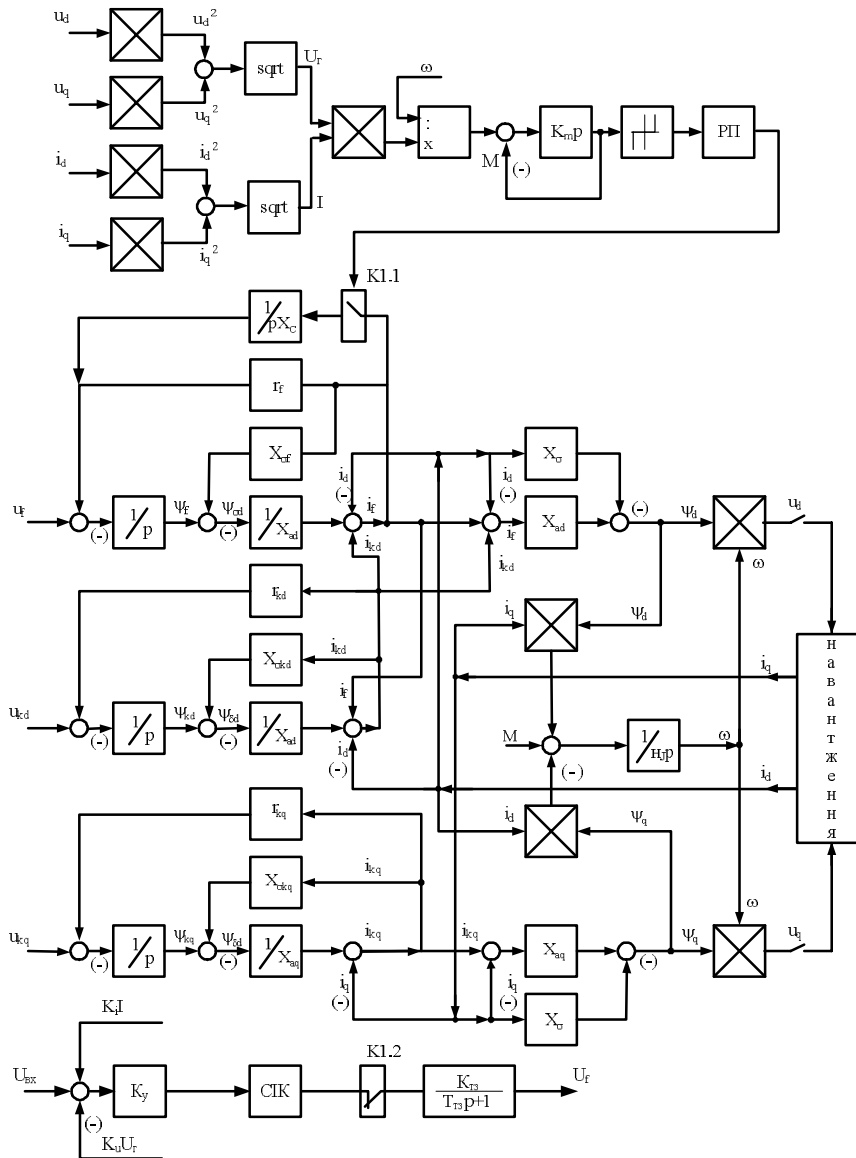


Рисунок 1 – Структурна схема системи керування з релейним регулятором та ємнісним накопичувачем енергії в контурі збудження СМ

Для оцінки впливу ємнісного накопичувача енергії на швидкодію наростання струму збудження i_f генеруючої установки електроживлення виконано розрахунки з використанням розробленої моделі (рис. 1).

На рис. 2, 3 наведено розрахункові залежності вихідної напруги СГ з початковим збудженням $U_f = 22$ В при вмиканні навантаження і ємності накопичувача енергії $C = 100$ мкФ.

Аналіз перехідних процесів показує, що час стабілізації вихідної напруги СМ без ЄНЕ складає $t \approx 0,6$ с, а з ЄНЕ $t \approx 0,2$ с. Напруга в контурі збудження синхронного

генератора з використанням компенсуючого пристрою зростає майже миттєво в порівнянні з некомпенсованим контуром. Таким чином при одній і тій самій кратності максимальної напруги збудження швидкодія пристрою, що досліджується, в режимі форсування в три рази вища, ніж без ЄНЕ.

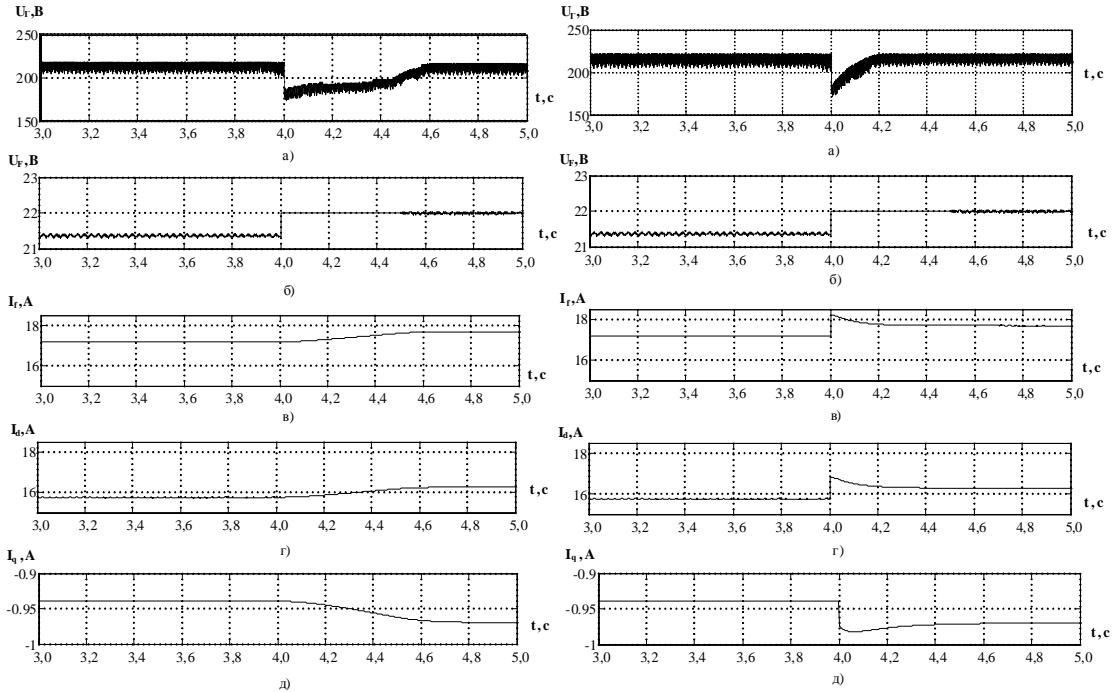


Рисунок 2 – Розрахункові залежності режиму форсування струму збудження СГ без ємнісної компенсації інерційності контуру збудження при надкиданні значного навантаження

Рисунок 2 – Розрахункові залежності режиму форсування струму збудження СГ з ємнісною компенсацією інерційності контуру збудження при надкиданні значного навантаження

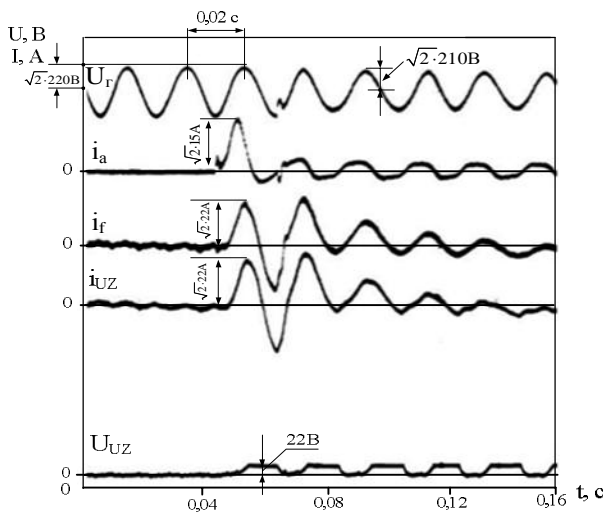


Рисунок 4 – Осцилограми підключення на виводи генератора співставного навантаження

При підключенні до синхронного генератора трифазного асинхронного двигуна співставної потужності працює контур стабілізації напруги збудження (рис.4).

На рис.4 позначено: U_T – лінійна напруга на затискачах статора; i_a – струм фази статора; i_f – струм в обмотці збудження; i_{UZ} – струм збуджувача; U_{UZ} – напруга збуджувача.

Аналіз наведеної осцилограми показує, що при вмиканні співставного навантаження на затискачі генератора вихідна напруга понизилась не більше, ніж на 4,5%.

При значних навантаженнях на СГ вмикається релейний регулятор та вводиться ємність в контур збудження

для компенсації інерційності, оскільки швидкість стабілізації напруги забезпечується інтенсивністю наростання струму збудження i_f .

На рис.5, 6 наведено осцилограми режимів форсування і гасіння поля СМ в серійних тиристорних збуджувачах і в розробленому пристрої.

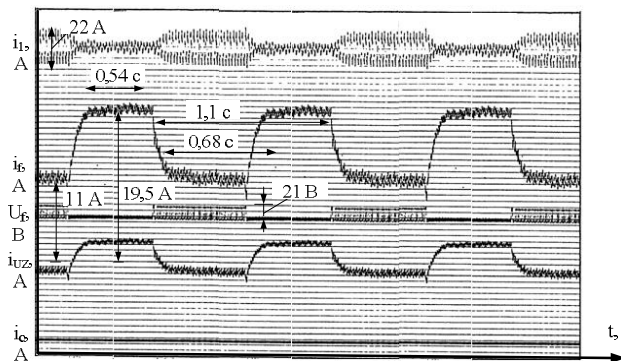


Рисунок 5 – Осцилограма режимів форсування збудження та гасіння поля СМ у існуючих збуджувачів

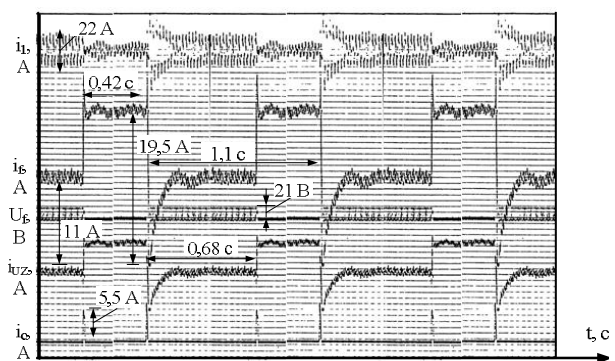


Рисунок 6 – Осцилограма режимів форсування збудження та гасіння поля СМ у розробленій схемі

Аналіз наведених осцилограм показує, що швидкодія режимів управління контуром збудження при форсуванні та гасінні магнітного поля значно вища в розробленій системі у порівнянні з існуючими системами.

Висновки. Розрахунками та експериментальними дослідженнями доведено, що інерційність контуру збудження СГ в сучасних системах не дозволяє ефективно підтримувати напругу статора при вмиканні споживачів з різко змінним навантаженням. Застосування ємнісного накопичувача енергії та релейного регулятора забезпечує більш швидку стабілізацію вихідної напруги при підключенні споживачів значної потужності.

ЛІТЕРАТУРА

1. Рыков Г.Ю. Рациональная структура генерирующей части формируемых источников аварийного электроснабжения / Г.Ю.Рыков, А.И.Гладырь // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету. – Кременчук: КДПУ. – 2006. – Випуск 4. Частина 1. – С.99-101.
2. Комаров Д.Т. Резервные источники электроснабжения сельскохозяйственных потребителей / Д.Т.Комаров, Н.Ф.Молоснов. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 88с.
3. Артамонов В.В. К вопросу создания формируемых источников аварийного электропитания / В.В.Артамонов, В.Е.Маслов, Д.И.Родькин // Проблемы создания новых машин и технологий: научные труды КГПУ. – Кременчук: КГПУ. – 2001. – Випуск 1(10). – С.114-120.
4. Електронний каталог прайс-листів електротехнічного обладнання компанії «Вент Заводи» [Електронний ресурс]. – 2015. – Режим доступу: <http://www.v-z.com.ua>.
5. Хоменко В.І. Дослідження автономної генеруючої установки формуючого джерела електроенергії / В.І.Хоменко, В.Б.Нізімов // Енергетика та енергоресурсозбереження. – Кременчук, КДУ. – 2010. – №3. – С.117-119.

Надійшла до редколегії 22.02.2016.