

СИСТЕМА РЕГУЛЮВАННЯ НАПРУГИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ МЕРЕЖІ ЗА УМОВИ ОБМЕЖЕНОГО СПОЖИВАННЯ РЕАКТИВНОЇ ЕНЕРГІЇ

Вступ. При розв'язанні задач щодо керування станом електроенергетичної системи визначальними критеріями є підтримання необхідної амплітуди, частоти, синусоїдності напруги споживачів електричної енергії [1]. В останній час, враховуючи обмежені можливості наших енергопостачальних організацій щодо підтримання цих величин в межах норми, застосовуються заходи (організаційні та технічні) по пониженню споживання реактивної енергії.

Одним зі способів підтримання напруги у споживачів електроенергії та запобігання надлишкового споживання реактивної енергії з мережі є застосування електротехнічного комплексу, що складається з силового трансформатора, обладнаного пристроєм регулювання під навантаженням (РПН), та трансформатора поперечного регулювання (ТПР), обладнаного також пристроєм для зміни коефіцієнту трансформації.

Постановка задачі дослідження. Задачею дослідження є розробка регулятора для реалізації системи регулювання напруги у споживачів електричної енергії з врахуванням ліміту споживання реактивної енергії з розподільчої мережі.

Слід зазначити, що комплекси з ТПР застосовуються в високовольтних магістральних мережах, де виконують функцію розподілу перетоків активної потужності між кількома лініями [2]. Відомим є також застосування ТПР в якості лінійних регуляторів для підвищення якості регулювання напруги у віддалених споживачів електроенергії мереж 10/0,4 кВ [3]. Однак комплексне вирішення задач стабілізації напруги у споживачів електроенергії та корекції споживання реактивної енергії без компенсуючих пристроїв з розподільчої мережі залишається актуальним.

Матеріали дослідження. Структура системи регулювання напруги у споживачів з врахуванням ліміту споживання реактивної енергії з мережі наведена на рис. 1. На рисунку: 1 – трансформатор поперечного регулювання, 2 – силовий трансформатор, обладнаний пристроєм РПН, 3 – первинний трансформатор ТПР, 4 – регулятор. Для такого комплексу в [4] запропонований закон регулювання (1), що передбачає введення регулюючої дії на об'єкт з врахуванням похідної напруги та споживаної реактивної енергії в часі та визначає час запізнення регулюючої дії, необхідний для уникнення хибних перемикань РПН та пристрою перемикання ТПР при короткочасних збуреннях.

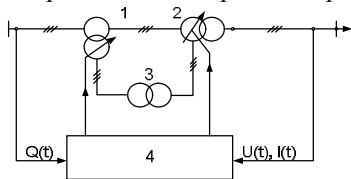


Рис. 1. Структурна схема фрагмента розподільчої мережі ТПР та силовим трансформатором з РПН

$$u(t) = \sqrt{\left(k_1 \cdot \left(k_1 \cdot (U(t) - U_{\text{зад}}) - k_2 \cdot (I(t) - I_{\text{мін}}) \right) \right)^2 + \left(k_j \cdot k_3 \cdot (Q(t) - Q_{\text{зад}}) \right)^2},$$

$$\left. \begin{array}{l}
 k_{i+1}; k_{j+1}, \text{ якщо } \begin{cases} U(t-\tau) > (U_{\text{зад}} + \Delta U), \\ \frac{dU(t)}{dt} > 0, \\ Q(t-\tau) < (Q_{\text{зад}} - \Delta Q), \\ \frac{dQ(t)}{dt} < 0, \end{cases} \quad k_{i+1}; k_j, \text{ якщо } \begin{cases} U(t-\tau) > (U_{\text{зад}} + \Delta U), \\ \frac{dU(t)}{dt} > 0, \\ Q(t) = Q_{\text{зад}}, \end{cases} \quad k_{i+1}; k_{j-1}, \text{ якщо } \begin{cases} U(t-\tau) > (U_{\text{зад}} + \Delta U), \\ \frac{dU(t)}{dt} > 0, \\ Q(t-\tau) > Q_{\text{зад}}, \\ \frac{dQ(t)}{dt} > 0, \end{cases} \\
 k_i; k_j \Rightarrow \begin{cases} k_i; k_{j+1}, \text{ якщо } \begin{cases} U(t) = (U_{\text{зад}} \pm \Delta U), \\ Q(t-\tau) < (Q_{\text{зад}} - \Delta Q), \\ \frac{dQ(t)}{dt} < 0, \end{cases} & k_i; k_j, \text{ якщо } \begin{cases} U(t) = (U_{\text{зад}} \pm \Delta U), \\ Q(t) = Q_{\text{зад}}, \end{cases} & k_i; k_{j-1}, \text{ якщо } \begin{cases} U(t) = (U_{\text{зад}} \pm \Delta U), \\ Q(t-\tau) > Q_{\text{зад}}, \\ \frac{dQ(t)}{dt} > 0, \end{cases} \\
 k_{i-1}; k_{j+1}, \text{ якщо } \begin{cases} U(t-\tau) < (U_{\text{зад}} - \Delta U), \\ \frac{dU(t)}{dt} < 0, \\ Q(t-\tau) < (Q_{\text{зад}} - \Delta Q), \\ \frac{dQ(t)}{dt} < 0, \end{cases} \quad k_{i-1}; k_j, \text{ якщо } \begin{cases} U(t-\tau) < (U_{\text{зад}} - \Delta U), \\ \frac{dU(t)}{dt} < 0, \\ Q(t) = Q_{\text{зад}}, \end{cases} \quad k_{i-1}; k_{j-1}, \text{ якщо } \begin{cases} U(t-\tau) < (U_{\text{зад}} - \Delta U), \\ \frac{dU(t)}{dt} < 0, \\ Q(t-\tau) > Q_{\text{зад}}, \\ \frac{dQ(t)}{dt} > 0, \end{cases}
 \end{array} \right\} \quad (1)$$

де k_i – коефіцієнт трансформації силового трансформатора з РПН на i -у відгалуженні обмотки високої напруги (ВН); $U_{\text{зад}}$ – задане значення напруги на виводах споживачів; $U_1(t)$ – дійсне значення напруги на

выводах споживачів; k_1 – коефіцієнт, що характеризує чутливість регулятора напруги; k_2 – коефіцієнт, що враховує комплексний опір розподільчої мережі з навантаженням та визначає нахил характеристики зустрічного регулювання напруги ($k_2 = 0,05 \cdot U_{\text{ном}} / (I_{\text{max}} - I_{\text{min}})$ [5]); I_{min} – струм навантаження в режимі мінімуму; $I(t)$ – фактичне значення струму навантаження; k_j – коефіцієнт трансформації на j -у відгалуженні ТПР; $Q_{\text{зад}}$ – дозволений (рекомендований) ліміт споживання реактивної енергії з мережі; k_3 – комплексний коефіцієнт передачі каналу зв'язку по реактивній потужності через систему керування та ТПР, що враховує опір розподільчої мережі і навантаження та струм мережі, τ – затримка в часі на дозвіл перемикавання пристроїв зміни коефіцієнтів трансформації, ΔU – допустиме відхилення напруги у споживачів від заданого значення, ΔQ – допустиме відхилення споживаної реактивної потужності (РП) від рекомендованого значення (визначається, виходячи з умов стійкої роботи енергосистеми в режимах з $\cos \phi \rightarrow 1$).

Для реалізації такого закону регулювання запропонована структура автоматичного регулятора (рис. 2), прототипом до якої стала структура регулятора напруги, описаного в [5].

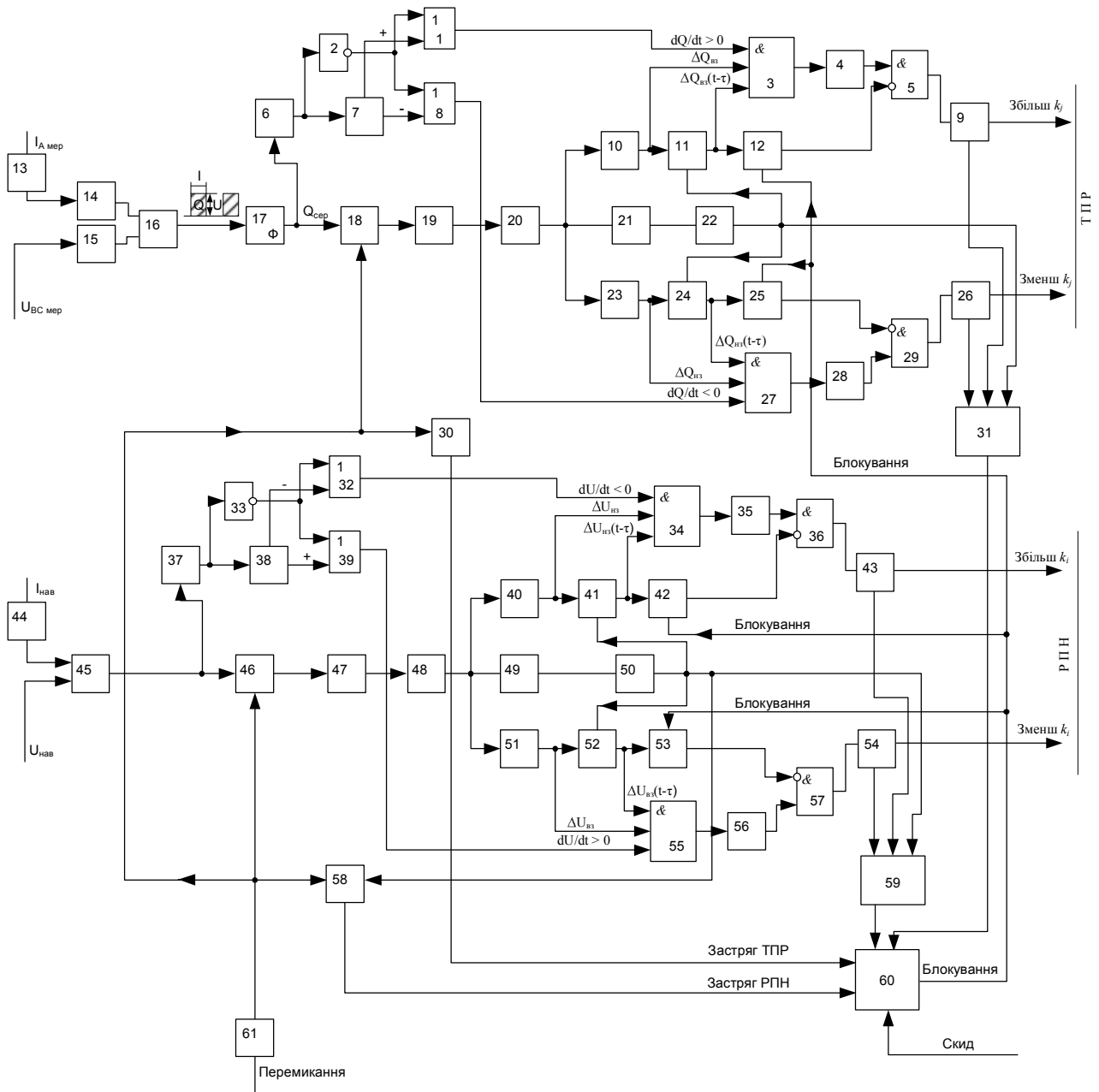


Рис. 2. Структура автоматичного регулятора напруги з врахуванням обмеженого споживання реактивної енергії

До складу запропонованої структури регулятора входять: 1, 8, 32, 39 – логічний елемент АБО; 2, 33 – логічний елемент НІ; 3, 5, 27, 29, 34, 36, 55, 57 – логічний елемент І; 4, 28, 35, 56 – блок пам'яті (БП); 6, 37 – диференціатор; 7, 38 – блок визначення знаку похідної (БВЗП); 9, 26, 43, 54 – вихідний релейний елемент; 10, 23, 40, 51 – блок перетворення імпульсного сигналу в потенційний (БПСІП); 11, 24, 41, 52 – блок часової затримки (БЧЗ); 12, 25, 42, 53 – блок заборони; 13 – датчик струму мережі ВН; 14 – широтно-імпульсний

модулятор; 15 – амплітудо-імпульсний модулятор; 16 – блок множення; 17 – фільтр середнього значення реактивної потужності; 18 – блок формування і зміни зони нечутливості по каналу реактивної енергії; 19 – блок уставки завдання по споживанню реактивної енергії; 20, 48 – пороговий блок; 21, 49 – блок зміни періоду тактових імпульсів; 22 – генератор тактових імпульсів пристрою перемикачів ТПР; 30 – блок контролю крайніх положень пристрою перемикачів ТПР; 31 – блок контролю схеми регулятора і електропривода пристрою перемикачів ТПР; 44 – датчик струму мережі НН; 45 – суматор; 46 – блок формування і зміни зони нечутливості по каналу напруги на виводах споживачів; 47 – блок уставки завдання по напрузі на виводах споживачів; 48 – блок уставки завдання по напрузі споживачів; 50 – генератор тактових імпульсів пристрою РПН; 58 – блок контролю крайніх положень пристрою РПН; 59 – блок контролю схеми регулятора і електропривода пристрою РПН; 60 – блок блокування роботи регулятора; 61 – блок перемикачів генераторів тактових імпульсів в нормальному режимі.

Визначення рівня споживання реактивної потужності здійснюється за допомогою блоків 13-17. Лінійний струм у фазі А зміщений відносно лінійної напруги ВС на кут 90° . Сигнал від датчика струму мережі ВН модулюється в широтно-імпульсному модуляторі 14 і поступає на вхід блоку множення 16, на інший вхід блоку 16 поступають імпульси, амплітуда яких пропорційна значенню лінійної напруги. На виході блоку множення формуються імпульси, площа яких пропорційна рівню споживання реактивної потужності (РП). Середній рівень споживання РП визначається в регуляторі вихідним сигналом фільтра 17. В диференціаторі 6 обчислюється похідна по споживанню РП.

Керуюча дія регулятора формується у вигляді включення вихідних релейних елементів пристрою перемикачів ТПР 9 та 26 та пристрою РПН 43 та 54, які відповідно вмикають комутаційну апаратуру електропривода пристрою перемикачів (на схемі не показано). При досягненні крайніх положень перемикаючих пристроїв з блоків діагностування схеми регулятора 31 та 59 на вхід блоку блокування 60 надходять відповідні сигнали. З блоку 60 відбувається блокування роботи одного з каналів регулятора (відповідно збільшення чи зменшення коефіцієнту трансформації), якщо досягнуто саме того стану, що відповідає мінімальному (максимальному) коефіцієнту трансформації. При заклинюванні електроприводів як пристрою РПН, так і пристрою перемикачів ТПР з блоків діагностування 30 та 58 на блок 60 подаються сигнали про несправність, а блок 60 блокує роботу всіх вихідних каналів регулятора за допомогою блоків заборони 12, 25, 42, 53. З блоків заборони сигнали поступають на інверсні входи логічних елементів І 5, 29, 36 та 57, які при цьому блокують проходження сигналів від тривходових елементів 3, 27, 34 та 55 на вихідні релейні елементи регулятора.

Робота регулятора по визначенню величини зони нечутливості по напрузі та споживаній РП, визначенню часу затримки регулюючого сигналу та знаку похідної огинаючої напруги на навантаженні і споживаній РП тотожна до роботи одноканального регулятора напруги [5].

Робота такого регулятора в комплексі (рис. 1) дозволяє швидше компенсувати відхилення напруги в споживачів, що виникає внаслідок зміни коефіцієнту потужності споживачів, обмежити споживання реактивної енергії з мережі на рівні заданого значення, покращити надійність регулювання напруги за рахунок уникнення зайвих перемикачів, наприклад пристрою РПН, шляхом введення регулюючого впливу через ТПР, зміна коефіцієнту трансформації якого має не тільки вплив на баланс реактивної потужності, а і нелінійно впливає на рівень напруги на споживачах [6].

Висновки.

1. На основі запропонованого закону регулювання напруги розроблено структуру автоматичного регулятора для системи регулювання напруги за умови обмеженого споживання реактивної енергії.
2. Обґрунтовано переваги застосування регулятора в електротехнічному комплексі розподільчої мережі.

Література.

1. ГОСТ 13109-97 Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения.
2. Інструкція по експлуатації трансформатора поперечного регулювання (ТПР) типу ОДЦТНП-92000/150. Національна енергетична компанія «Укренерго». Південно-Західна електроенергетична система.– Вінниця, 2004.
3. Идельчик В.И. Электрические системы и сети.– М.: Энергоатомиздат, 1989.– 592 с.
4. Грабко В.В., Левицький С.М., Свіридов М.П. Синтез закону регулювання напруги в електричній мережі в умовах оптимального споживання реактивної потужності // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2007. – №2. – С. 34-37.
5. Регулятор напряжения силовых трансформаторов. А.с.1140094 СССР МКИ Н02 Р13 / 06. /Б.И.Мокин, Н.А. Головатюк, А.Г. Маладыка (СССР).– №3529866/24-24; Заявл. 24.12.82; Опубл. 15.02.85, Бюл №6.
6. Грабко В.В., Левицький С.М. Аналіз та моделювання впливу поперечного регулювання напруги на споживання реактивної потужності в розподільчих мережах // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету імені Михайла Остроградського. – №3/2007(44). – Ч.2. – С. 122 – 125.