

С. М. Левицький

КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ РЕГУЛЮВАННЯ НАПРУГИ В УМОВАХ ДЕФІЦИТУ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ

Розроблено модель системи регулювання напруги в умовах дефіциту реактивної потужності. За допомогою середовища Matlab Simulink, досліджено роботу системи регулювання у вузлі електропостачання при відхиленнях напруги мережі, напруги на навантаженні та зміні навантаження (величини та характеру).

Вступ

Відомо, що ефективне регулювання напруги у споживачів електричної енергії можливе з вирішенням питання дефіциту реактивної потужності у вузлі електропостачання. Такий висновок справедливий, оскільки напруга на споживачах навіть з однаковим значенням споживаного струму залежить від їх коефіцієнта потужності. В [1] запропоновано структуру автоматичної системи регулювання напруги в умовах обмеженого споживання реактивної потужності з використанням трансформатора поперечного регулювання (ТПР), що дозволяє стабілізувати напругу у споживачів та обмежувати споживання реактивної потужності з розподільчої мережі (збільшення останньої часто є наслідком зниження напруги у споживачів). Проблемою ефективності роботи будь-якої системи регулювання та її налагодження є забезпечення стійкості. Тому першочерговим завданням перед розрахунком та технічною реалізацією системи регулювання напруги є дослідження її на стійкість та визначення параметрів налагодження, що відповідають стійкому режиму.

В роботі [1] наведено модель системи регулювання напруги в умовах обмеженого споживання реактивної потужності зі застосуванням регулятора, що реалізує закон регулювання.

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

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

де $u(t)$ — напруга на шинах підстанції; k_i — коефіцієнт трансформації на i -му відгалуженні обмотки високої напруги (ВН); k_j — коефіцієнт трансформації на j -му відгалуженні ТПР; $U_{\text{зад}}$ — задане

значення напруги на виводах споживачів; $U(t)$ — дійсне значення напруги на виводах 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_3 — комплексний коефіцієнт передачі каналу зв'язку з реактивною потужністю через систему керування та ТПП, що враховує опір розподільчої мережі і навантаження та струм мережі; I_{\min} — струм навантаження в режимі мінімуму; $I(t)$ — фактичне значення струму навантаження; $Q_{\text{зад}}$ — дозволений (рекомендований) ліміт споживання реактивної енергії з мережі; $Q(t)$ — дійсне значення споживаної реактивної потужності з мережі; τ — час затримки сигналу на перемикання; ΔU — зона нечутливості регулятора за напругою на споживачах; ΔQ — зона нечутливості регулятора за споживаною реактивною потужністю.

Припустимо, що така система регулювання встановлена на підстанції 110/35 кВ, для моделювання задаємо значення зони нечутливості регулятора на рівні $\pm 5\%$ згідно з [2] за напругою. Система складається з автоматичного регулятора, що керує положенням пристроїв регулювання під навантаженням (РПН) вольтодобавочного трансформатора поперечного регулювання та силового трансформатора у відповідності зі запропонованою в [1] структурою. Загальна модель такої системи розроблена в середовищі Matlab Simulink [3] в повному обсязі з поелементною деталізацією згідно з [4]. Регулятор напруги має два входи за напругою (мережі та навантаження) і два входи за

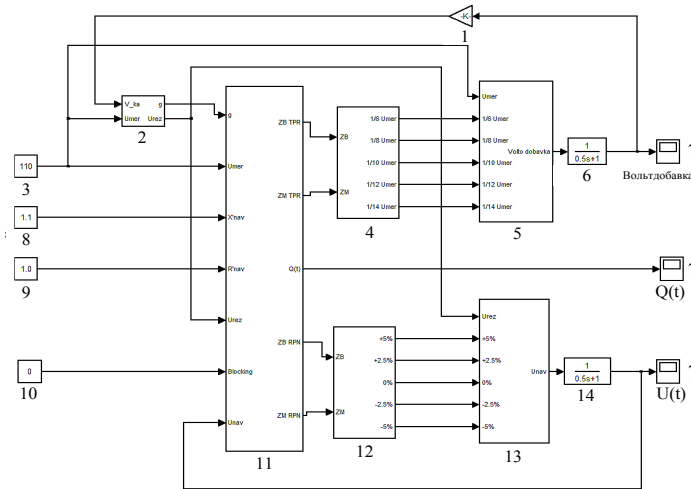


Рис. 1. Модель системи регулювання напруги в умовах обмеженого споживання реактивної енергії: 1 — коефіцієнт трансформації вторинного трансформатора ТПП; 2 — блок визначення результуючої напруги на первинній обмотці силового трансформатора; 3 — блок завдання значення напруги розподільчої мережі; 4 — модель пристрою РПН ТПП; 5 — модель ТПП; 6, 14 — модель електричної мережі; 7 — блок спостереження вихідних параметрів системи; 8 — блок завдання значення приведенного реактивного опору навантаження до первинної обмотки силового трансформатора; 9 — блок завдання значення приведенного активного опору навантаження до первинної обмотки силового трансформатора; 10 — блок введення сигналу блокування роботи регулятора; 11 — модель регулятора напруги в умовах обмеженого споживання реактивної енергії; 12 — модель пристрою РПН силового трансформатора; 13 — модель силового трансформатора

струмом (також мережі та навантаження). Оскільки струм мережі та струм навантаження визначаються значенням активного та реактивного опорів ліній електропередач, трансформаторів та самих споживачів, то в моделі системи регулювання для введення реальних значень струмів мережі та навантаження замість входів регулятора за струмом використовуються входи від блоків X та R, що задають значення відповідно реактивного та активного опорів навантаження, вторинної обмотки трансформатора та лінії електропередач, приведених до первинної обмотки трансформатора 110/35 кВ. Діючі та миттєві значення струмів мережі, навантаження в моделі визначаються у внутрішній структурі регулятора напруги. Модель системи регулювання показано на рис. 1.

Для моделювання впливу поперечного регулювання напруги на результуючу напругу, що прикладена до первинної обмотки силового трансформатора, згідно з прийнятою структурою автоматичної системи регулювання, введено додатковий блок 2. Введення поперечної складової напруги (сигнал V_{ka} (вольтодобавка) на рис. 1), що випереджає на-

пругу мережі на 90° ел., дозволяє отримати деякий кут зсуву між результуючою напругою на первинній обмотці силового трансформатора та напругою мережі g , який змінюється в залежності від величини поперечної вольтодобавки.

Модель регулятора напруги показана на рис. 2. Вихідним сигналом регулятора є імпульси на виходах логічних блоків I в тракці регулювання реактивної потужності (And B та And M) та в тракці регулювання напруги на навантаженні (And MU та And BU). Додатковим блоком, що входить до складу моделі регулятора, але який відсутній в фізичному регуляторі, є блок визначення параметрів мережі (миттєвих та діючих значень струму, напруги, різниці їх фаз, повного опору), про які вказано вище. В реальному регуляторі цей блок замінюється вимірювальними перетворювачами напруги та струму мережі.

Блок множення в моделі регулятора має два виходи: $q(t)$ миттєвого значення реактивної потужності та $Q(t)$ діючого значення реактивної потужності. Перший вихідний сигнал необхідний для визначення положення споживаної реактивної енергії відносно заданої зони нечутливості регулятора в тракті регулювання реактивної потужності, а другий вихідний сигнал — для визначення знаку похідної обвідної реактивної потужності.

Блоки формування зони нечутливості (БФЗН 1 та БФЗН 2) регулятора та її зміни під дією сигналу перемикавання в моделі подані як суматори відповідних входних сигналів з періодичним сигналом трапецеїподібної форми. Амплітуда трапецеїдального сигналу встановлює ширину зони нечутливості регулятора.

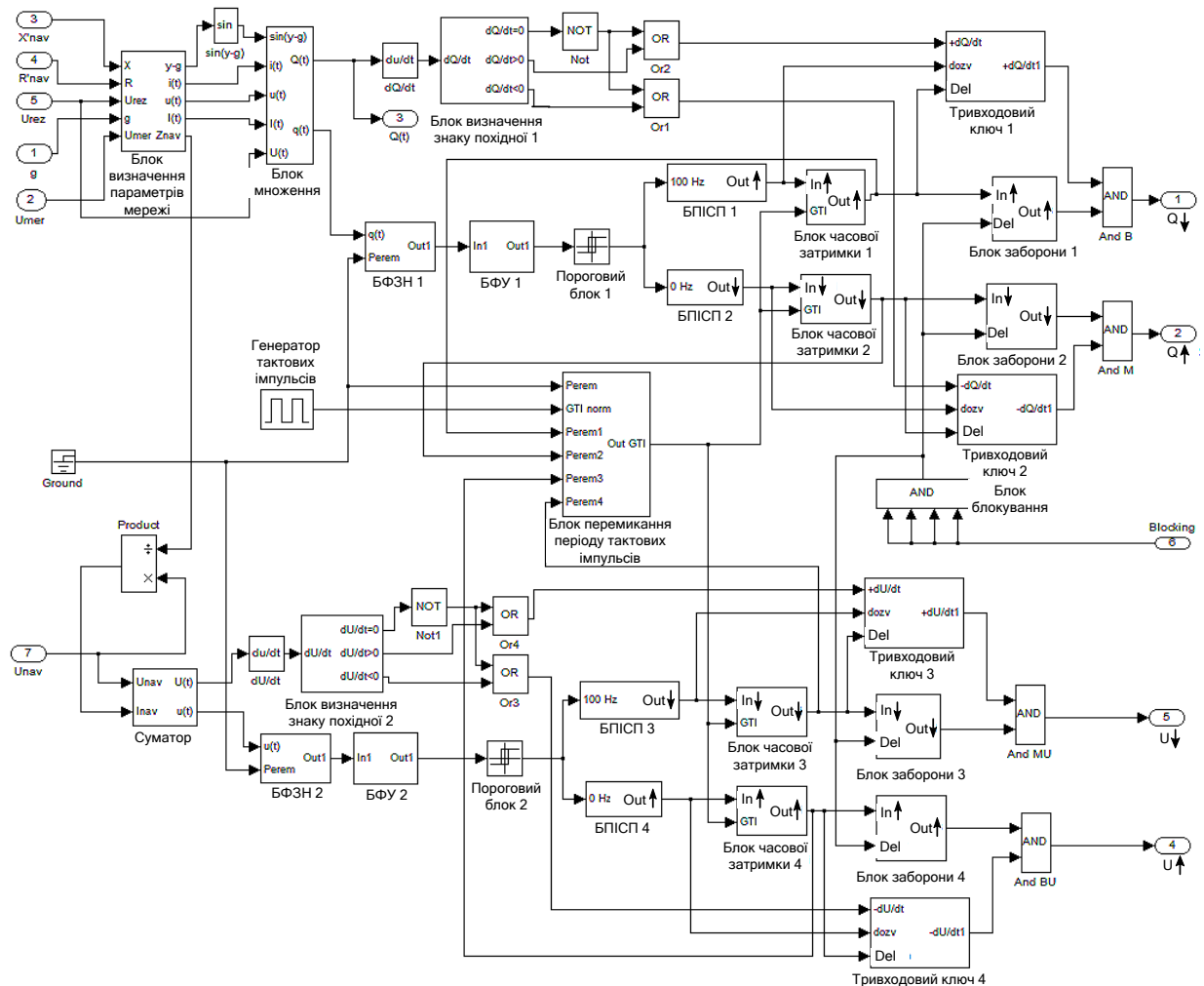


Рис. 2. Модель автоматичного регулятора напруги з умовою обмеженого споживання реактивної потужності

Порогові блоки 1 та 2 тракту регулювання реактивної потужності та напруги в моделі регулятора реалізовано за допомогою релейних елементів. На виході порогових блоків мають місце дискретні сигнали з частотою, рівній 0 Гц (вхідний сигнал регулятора знаходиться нижче зони нечутливості), 50 Гц (вхідний сигнал регулятора знаходиться в зоні нечутливості) та 100 Гц (вхідний сигнал регулятора знаходиться вище зони нечутливості).

Задача блоків перетворення імпульсних сигналів в потенційний (БПІСП 1, 2 – це формування вихідного сигналу логічної 1, якщо на вході має місце послідовність імпульсів з частотою 0 Гц (в ланцюгах формування команди «Збільшити») або 100 Гц (в ланцюгах формування команди «Зменшити»)).

Результати моделювання у вигляді графіків показані на рис. 3, 4.

На рис. 3, 4 $U_{нав}(t)$ – напруга на навантаженні; $U_{доб}(t)$ – напруга на виході вольтодобавочного трансформатора поперечного регулювання, кВ; $Q(t)$ – споживана реактивна потужність з мережі вузлом електропостачання.

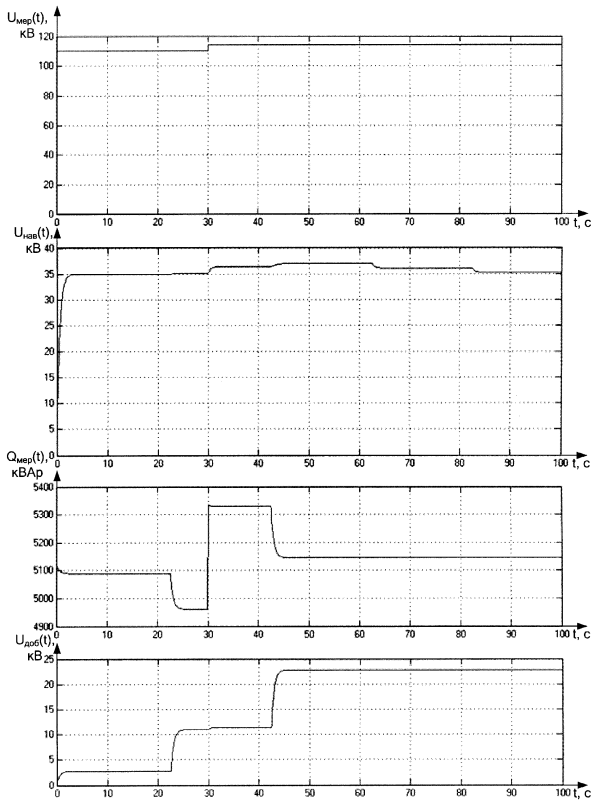


Рис. 3. Результат моделювання роботи системи регулювання зі ступінчатою зміни напруги мережі від 110 до 115 кВ

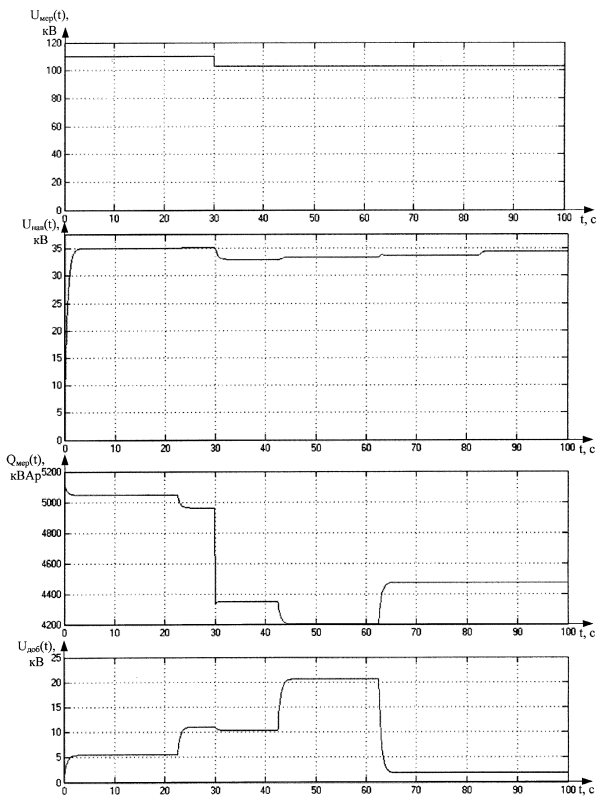


Рис. 4. Результат моделювання роботи системи регулювання при ступінчатій зміні напруги мережі від 110 до 102 кВ

Як видно з наведених результатів моделювання, розглянута система регулювання напруги в умовах обмеженого споживання реактивної енергії є стійкою та ефективно відпрацьовує закон регулювання (1).

Висновки

1. Розроблена комп'ютерна модель системи регулювання напруги в електротехнічних комплексах, які працюють в умовах дефіциту реактивної потужності.
2. Досліджено стійкість системи регулювання напруги в умовах дефіциту реактивної потужності.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Грабко В. В., Левицький С. М., Свиридов М. П. Синтез закону регулювання напруги в електричній мережі в умовах оптимального споживання реактивної потужності // Вісник Вінницького політехнічного інституту. — 2007. — № 2. — С. 34—37.
2. ГОСТ 13109-97 Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения.
3. Дьяконов В. П. Simulink 4. Специальный справочник. — СПб: Питер, 2002. — 528 с.
4. А. с. 1140094 СССР МКИ H02 P13 / 06. Регулятор напряжения силовых трансформаторов. / Б. И. Мокин, Н. А. Головатюк, А. Г. Маладыка (СССР). — № 3529866/24-24; Заявл. 24.12.82; Опубл. 15.02.85, Бюл № 6.

Рекомендована кафедрою електромеханічних систем автоматизації в промисловості і на транспорті

Надійшла до редакції 12.12.07
Рекомендована до друку 14.12.07

Левицький Сергій Михайлович — асистент кафедри електромеханічних систем автоматизації в промисловості і на транспорті.

Вінницький національний технічний університет