

УДК 621. 355

ЗАСТОСУВАННЯ НАДПРОВІДНИХ ІНДУКТИВНИХ НАКОПИЧУВАЧІВ (НПІН) ДЛЯ ДЕМПФУВАННЯ НЕРЕГУЛЯРНИХ КОЛИВАНЬ ПЕРЕТОКУ ПОТУЖНОСТІ

Ю.М.Васецький, докт.техн.наук, **І.І.Мазуренко**, канд.техн.наук, **А.В.Павлюк**,
Інститут електродинаміки НАН України,
пр. Перемоги, 56, Київ-57, 03680, Україна.

Показано можливість використання надпровідних індуктивних накопичувачів (НПІН) як динамічного активного засобу для демпфування низькочастотних нерегулярних коливань перетоків потужності в електроенергетичній системі. Вибрано параметри регулювання, визначено енергоємність та масогабаритні параметри НПІН нової конфігурації. Показано, що при обраному способі регулювання некомпенсованими залишаються лише коливання потужності з характерним періодом, що відповідає обраному часу згладжування, і частотою, яка не є небезпечною для виникнення аварійних режимів. Бібл. 3, табл. 1, рис. 2.

Ключові слова: надпровідний індуктивний накопичувач, електроенергетична система, демпфування.

Вступ. Серед способів запобігання виникнення аварійних ситуацій, коли низькочастотні нерегулярні коливання навантаження є близькими до домінуючих власних частот енергосистеми, слід виділити новий спосіб забезпечення демпфування низькочастотних коливань перетоку потужності з використанням НПІН як елементу електроенергетичної системи, що виступає як швидкодіючий динамічний пристрій з незалежним регулюванням активної та реактивної потужностей. Враховуючи досягнення в галузі створення надпровідних пристроїв та існуючий світовий досвід демпфування низькочастотних коливань в енергосистемах за допомогою НПІН [1], уявляється, що у найближчій перспективі будуть створені нові НПІН, які призначені для виконання в енергосистемі функції демпфування нерегулярних коливань з періодом від секунди до кількох хвилин. Метою роботи є моделювання функції НПІН демпфування нерегулярних відхилень потужності від усередненого значення, вибір характеристик регулювання і параметрів магнітної системи пристрою нової конфігурації з елементами механічної утримуючої системи всередині тороїдального об'єму [2].

Компенсація відхилень перетоку потужності від усередненого значення може здійснюватися при підключенні НПІН до високовольтних ліній через трансформатор з використанням перетворювача на повністю керованих напівпровідникових пристроях [3]. Висока швидкодія системи накопичувач-перетворювач дозволяє впливати на значення потужності практично за кожний період змінного струму. Під усередненою (трендовою) потужністю розуміється її середнє значення за час усереднення Δt . В результаті досліджень було встановлено, що найбільш доцільно використовувати рухомий тренд, кожне значення якого обчислюється за обраний проміжок часу Δt , причому для кожної наступної точки обирається сукупність значень, що зсунуті на період 0,02 с відносно попередньої точки.

Накопичувач повинен працювати постійно, тому проблемою є прогноз тренда, відхилення від якого демпфуються. В результаті дослідження різних варіантів було використано лінійну екстраполяцію за попереднім часом усереднення на найближчий період 0,02 с. Результат для одного з режимів передачі потужності показано на рис. 1. Найбільш суттєвим є те, що частота залишених коливань потужності відповідає часу згладжування Δt . Це дозволяє регулювати частоту коливань, обираючи відповідні значення часу згладжування.

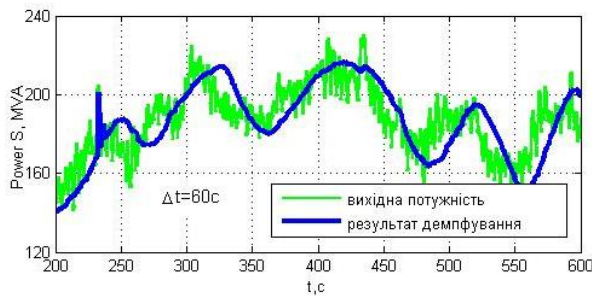


Рис. 1

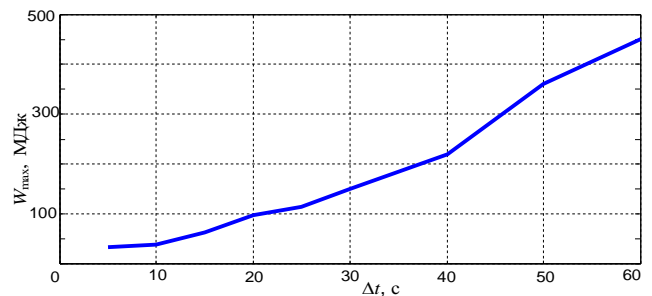


Рис. 2

Для індуктивного накопичувача важливою характеристикою є його енергоємність. Вона може бути визначена за максимальною по модулю енергією, що віддана або спожита накопичувачем

$$W(t) = \int_0^t [P(\tau) - P'_{cp}(\tau)] d\tau, \quad \text{де} \quad P'_{cp} = \frac{1}{\Delta t} \int_0^{\Delta t} S(t) dt - \text{прогнозне трендове значення потужності.} \quad (1)$$

Значення W_{\max} залежить від обраного часу згладжування. Така залежність для досліджуваного режиму передачі потужності показана на рис. 2. Виходячи з представлених даних, за базовий обрано накопичувач з енергоємністю 450 МДж – величина, яка не перевищує досягнутих значень для створених накопичувачів.

Параметричний аналіз накопичувача. В роботі обрано тороїдальний надпровідний накопичувач з круглими котушками і запропонованою новою конфігурацією механічної утримуючої системи, елементи якої розташовані всередині тороїдального об'єму [2]. Проведений аналіз дозволив на підставі вихідних параметрів (енергоємності і властивостей матеріалів) визначити основні шукані масогабаритні параметри магнітної системи надпровідного накопичувача. Параметри представлено в таблиці.

Вихідні параметри	Шукані параметри
Енергоємність: $W = 450$ МДж	Радіуси тору і котушок: $R=3,366$ м, $r=1,346$ м
Відносний радіус котушок: $\varepsilon = 0,4$	Об'єм матеріалу надпровідної обмотки: $V_{sc}=10,7$ м ³
Допустима індукція на обмотці (NbTi): 5 Тл	Об'єми матеріалу механічної утримуючої системи:
Допустима густина струму (NbTi): $4 \cdot 10^7$ А/м ²	- під дією напруг розтягу - $V_t=2,11$ м ³
Допустима механічна напруга: 350 МПа	- під дією напруг стиску - $V_c=0,82$ м ³

Висновки. НППН може бути застосований як швидкодіючий динамічний засіб для демпфування низько-частотних нерегулярних коливань перетоків потужності. Цей висновок має наступні підстави: амплітуда коливань перетоку потужності, що залишається через неточність прогнозу трендового значення, зменшується, а їхній період відповідає обраному часу згладжування; енергоємність накопичувача не перевищує досягнутих на практиці значень. Запропонована нова конфігурація магнітної системи НППН характеризується меншою матеріалоємністю механічної утримуючої системи і має більш просте конструктивне виконання порівняно з відомими конструкціями.

1. Rogers J.D., Schermer R.I., Miller B.L., Hauer J.F. 30-MJ Superconducting Magnetic Energy Storage System for Electric Utility Transmission Stabilization // IEEE Trans. of Magnetics. – 1983. – Vol. 71. – N9. – Pp. 1099–1107.
2. Васецкий Ю.М., Мазуренко И.Л., Павлюк А.В. Параметры сверхпроводящих магнитных систем с удерживающими элементами внутри тороидального объема // Техн. электродинамика. – 2011. – № 5. – С. 36–47.
3. Божко С.В. Применение сверхпроводящих накопителей электромагнитной энергии при решении задач повышения устойчивости энергосистем и улучшения качества электроэнергии // Промелектро. – 2002. – №4. – С. 40–44.

УДК 621. 355

ПРИМЕНЕНИЕ СВЕРХПРОВОДЯЩИХ ИНДУКТИВНЫХ НАКОПИТЕЛЕЙ ЭНЕРГИИ ДЛЯ ДЕМПФИРОВАНИЯ НЕРЕГУЛЯРНЫХ КОЛЕБАНИЙ ПЕРЕТОКА МОЩНОСТИ

Ю.М. Васецкий, докт.техн.наук, И.Л. Мазуренко, канд.техн.наук, А.В. Павлюк, Институт электродинамики НАН Украины, пр. Победы, 56, Киев-57, 03680, Украина.

Показана возможность использования сверхпроводящих индуктивных накопителей энергии (СПИН) как динамического активного средства для демпфирования низкочастотных нерегулярных колебаний перетоков мощности в электроэнергетической системе. Выбраны параметры регулирования, определены энергоёмкость и массогабаритные параметры СПИН новой конфигурации. Показано, что при выбранном способе регулирования некомпенсированными остаются лишь колебания мощности с характерным периодом, который отвечает выбранному времени сглаживания, и частотой, не являющейся опасной для возникновения аварийных режимов. Библ. 3, табл. 1, рис. 2.

Ключевые слова: сверхпроводящий индуктивный накопитель, электроэнергетическая система, демпфирование.

APPLICATION OF SUPERCONDUCTING MAGNETIC ENERGY STORAGE (SMES) FOR DAMPING OF IRREGULAR POWER FLUCTUATIONS IN ELECTRIC SYSTEMS

Yu.M.Vasetskyi, I.L. Mazyrenko, A.V. Pavliuk, Institute of Electrodynamics National Academy of Science of Ukraine, Peremogy, 56, Kyiv-57, 03680, Ukraine.

Possibility of use of SMES as dynamic active means for damping of low-frequency irregular power fluctuations in electric power system is shown. Regulation parameters are chosen, energy as well as mass and size parameters of new configuration SMES are defined. At the proposed regulation way characteristic period of non compensated fluctuations corresponds to chosen time of smoothing and its frequency is not dangerous to occurrence of emergency mode of operation. References 4, table 1, figures 2.

Key words: superconducting magnetic energy storage, electric power system, damping.

1. Rogers J.D., Schermer R.I., Miller B.L., Hauer J.F. 30-MJ Superconducting Magnetic Energy Storage System for Electric Utility Transmission Stabilization // IEEE Trans. of Magnetics. – 1983. – Vol. 71. – N 9. – Pp. 1099–1107.
2. Vasetskiy Yu.M., Mazyrenko I.L., Pavliuk A.V. Parameters of superconducting magnetic systems with support elements inside of toroidal volume // Tekhnichna elektrodynamika. – 2011. – № 5. – Pp. 36–47. (Rus)
3. Bozhko S.V. Application of superconducting magnetic energy storage for solving problems of improvements of sustainability of power systems and electric power quality // Promelektro. – 2002. – № 4. – Pp. 40–44. (Rus)

Надійшла 12.01.2012

Received 12.01.2012