

calculation. The mathematical model of the converter is created for seven zoned regulations of the output voltage.

Key words: electromagnetic processes, output voltage and current.

1. Makarenko M.P., Senko V.I., Yurchenko M.M. Sistemiy analiz elektromagnitnyh procesiv u napivprovodnykovykh peretvoruvachah elektroenergii modulacynogo typu [System analysis of the electromagnetic processes in semiconductor converter of the electric powers inflexion type], (2005), *National academy of the sciences of the Ukraine, Institute of electrodinamiks Publ.*, Kyjv, Ukraine, 241 p. (In Ukrainian).

2. Makarenko M.P., Mihaylenko V.V. Analiz elektromagnitnyh procesiv u peretvoruvachah z bagatozonnym reguljuvannjam vuhidnoji naprugi funkciyamy bagatoparametruchnogo vydu [The Analysis of the electromagnetic processes in converter with much zoned regulations of the output voltage function multivariable type], (2002), *Technicheskaia electrodinamika. Silova elektronika i energoefektivnist. Thematic vypusk. Publ.*, Kyjv, Ukraine, Part 1, pp. 19-22 (In Ukrainian).

3. Makarenko N.P., Mihaylenko V.V., Yurchenko N.N. Analiz elektromagnitnyh procesov v dvenadcatipulsnom preobrazovatele s zonnym regulirovaniem vyhodnogo naprjageniya [Analysis of the electromagnetic processes in twelve pulse converter with zoned regulation of the output voltage], (2002), *Herald national technical "Harikovskiy polytechnic institute". "Problems automated electrodrive. Theory and practice" Publ.*, Kharkov, Ukraine, Part 1., pp. 233–234. (In Russian).

4. Makarenko M.P., Mihaylenko V.V. Matematychna model peretvoruvacha tryfaznoj naprugi v postinyu naprugu [Mathematical model of the converter of the three-phase voltage in direct voltage], (2002), *Electronics i svjaz Publ.*, Kyjv, Ukraine, № 14, pp. 73–75. (In Ukrainian).

5. Makarenko M.P., Mihaylenko V.V. Modelyuvannya elektromagnitnyh procesiv u napivprovodnykovykh peretvoruvachah elektroenergii z urahuvannjam parametriv meregi guvlennya [Modeling of the electromagnetic processes in semiconductor converter of the electroenergy with provision for parameter of the network of the power supply], (2005), *Technicheskaia electrodinamika. Silova elektronika i energoefektivnist. Thematic vypusk Publ.*, Kyjv, Ukraine, Part 2, pp. 48–51 (In Ukrainian).

В.В. Михайленко, канд. техн. наук,

Ю.Ю. Остапчук, В.П. Полино, Д.С. Булыга

Национальный технический университет Украины "Киевский политехнический институт"

**МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО
ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ С СЕМИЗОННЫМ РЕГУЛИРОВАНИЕМ
ВЫХОДНОГО НАПРЯЖЕНИЯ**

В этой статье проведено анализ электромагнитных процессов в электрических цепях с полупроводниковыми коммутаторами. Создано математическую модель для анализа электромагнитных процессов в полупроводниковых преобразователях с широтно-импульсным регулированием выходного напряжения. Приведено графики, которые отражают электромагнитные процессы в электрических цепях. При выполнении расчетов использовался метод многопараметрических функций. Математическая модель преобразователя создана для семизонным регулированием выходного напряжения.

Ключевые слова: электромагнитные процессы, выходные напряжение и ток

Надійшла 29.09.2014

Received 29.09.2014

УДК 621.22.018.7

П. В. Анахов

Державний університет телекомунікацій

**ПІДВИЩЕННЯ ВИРОБІТКУ ПОТУЖНОСТІ
ГІДРОЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ ЗА РАХУНОК ЕНЕРГІЇ СЕЙШІВ**

Пропонуються рішення щодо підвищення виробітку потужності гідроелектростанцій шляхом збудження сейшевих хвиль, максимізації їх висоти, вибору оптимального місця розміщення ГЕС.

Ключові слова: амплітудна модуляція сейшів, частотна модуляція сейшів, обертові сейші.

У світі працює понад 7 тисяч потужних гідроелектростанцій (ГЕС), які, в залежності від принципу використання енергії води, поділяються на руслові, пригреблеві, греблеві, дериваційні, гідроакмулюючі, хвильові, припливні. Разом вони виробляють близько 16% світового обсягу електроенергії [1].

Потужність дев'яти ГЕС Дніпровського і Дністровського каскадів та 50 малих ГЕС складає 6% від загальної потужності Об'єднаної енергетичної системи України [2].

На теперішній час особливої гостроти набула проблема енергетичної безпеки держав, пов'язана з процесами глобалізації світової економіки – попит на енергію збільшується зі швидкістю близько 3% на рік, суттєві негативні впливи систем енергетики на довкілля і виснаження традиційних енергетичних ресурсів [1].

Основою забезпечення енергобезпеки України є максимальне використання поновлюваних джерел енергії, зокрема гідроресурсів. Пропонуються рішення щодо підвищення виробітку потужності діючих і проєктованих ГЕС [3, 4, 5].

Збудження сейшевих хвиль. Потужність несхвильованого водотоку на гідротурбінах, за умови стабільності і горизонтальності деякого середнього рівня поверхні води, можна розрахувати за формулою [2]:

$$W = \rho g H \bar{Q}, \quad H = \text{const}, \quad (1)$$

де ρ – густина води; g – прискорення вільного падіння; H – падіння рівня поверхні води (різниця між рівнями у верхньому і нижньому б'єсах); \bar{Q} – середня витрата води.

Водоймам властиві коливання сейшів – стоячих хвиль, частота яких співпадає із частотою власних коливань водного басейну. Їх профіль змінюється в часі між вузлами поступального руху, а амплітуда коливань рівня змінюється вздовж довжини хвилі. На рис. 1 [6] показані три положення поверхні води при дії сейшів: два крайніх (штрихові лінії) і середнє (суцільна).

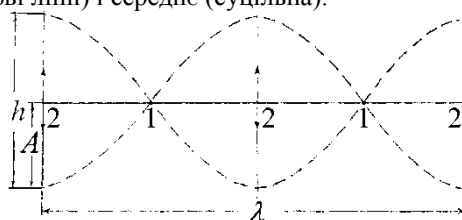


Рис. 1. Схема стоячої хвилі: 1 – вузли; 2 – пучності; $h=2A$ – висота хвилі, де A – амплітуда; λ – довжина хвилі

Потужність водотоку на ділянці гідротурбін, що співпадає із лінією пучності сейшевої хвилі, становитиме

$$W = \rho g [H \pm A(t)] \bar{Q}, \quad (2)$$

де $A(t)$ – миттєва амплітуда сейшів в момент часу t ; символ \pm вказує знак півперіоду.

Відповідний вираз у виробітку потужності ГЕС за позитивний півперіод сейшевої хвилі дорівнює:

$$W_S = \rho g A(t) \bar{Q}, \quad 0 < t < \frac{T}{2}, \quad (3)$$

де T – період сейшевої хвилі.

Сейші не відносяться до безперервних процесів. Повний цикл їх генерування являє собою резонансні амплітудно-модульовані коливання, що складаються з послідовності етапів – пауза, збудження, затухання. На рис. 2 [7] показані амплітудно-модульовані сейшеві коливання (суцільна лінія) на фоні стаціонарних гармонічних коливань (штрихова).

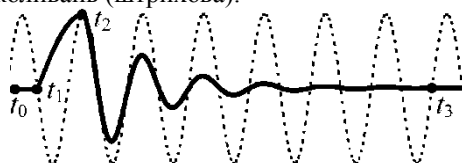


Рис. 2. Амплітудно-модульовані сейшеві коливання

Етап відсутності сейшів триває в період часу від t_0 до t_1 , збудження сейшів – від t_1 до t_2 , затухання – від t_2 до t_3 .

Згідно з принципом комбінаційного резонансу, селективний відгук коливальної системи (водної маси водосховища) на вплив з частотою, близькою до частоти її власних коливань може відбуватися за умови кратного або дробового співвідношень частот сейшів f (власних коливань басейну) і збуджуючої одиночної хвилі f_{out} [7]:

$$nf \approx f_{out}, n = (1; 2; \dots; n) \vee \left(1; \frac{1}{2}; \dots; \frac{1}{n} \right), \quad (4)$$

де \vee – знак диз'юнкції.

У багатьох водоймах серії коливань сейшів (збудження – затухання) слідує одна за одною. В озері Севан (Вірменія) безперервні коливання рівня спостерігались чотири доби. Спостережені довго не затухаючі сейші в затоці Монтерей (Тихий океан, США), озері Гатун (Панамський канал) [7].

Зважаючи на можливість довготривалості існування періодично збуджуваних сейшів, доцільне їх стимулювання. Такий режим роботи може бути запропонований в першу чергу для хвильових ГЕС, греблевих ГЕС в пік навантаження. У випадках відсутності або затухання сейшів для збудження сейшевих хвиль, за рахунок встановлення визначеного інтервалу часу подачі (скидання або підйому) води $T_{out}=1/f_{out}$ при керуванні водопропускними гідроспорудами, формують хвилю, дотримуючись при цьому умови (4) – кратного або дробового співвідношень частот коливань сейшевих і збуджуючої хвиль [3].

Максимізація висоти сейшевих хвиль. Теоретично встановлена закономірність модулювання частоти поверхневих сейшів функцією глибини водойми. Ефект пояснюється узагальненою формулою Меріана для прямокутного басейну з горизонтальним дном [7]:

$$f(t)_{ab} = \frac{\sqrt{g \times D(t)}}{2} \sqrt{\left(\frac{a}{L(t)} \right)^2 + \left(\frac{b}{B(t)} \right)^2}, L(t) = const, B(t) = const, t \leq T, \quad (5)$$

де f – частота сейшевих коливань; t – час; $a=1; 2; \dots; a, b=1; 2; \dots; b$ – кількість вузлів поздовжньої і поперечної сейшів, відповідно; $D, L, B, D(t), L(t), B(t)$ – глибина, довжина, ширина басейну і закони їх зміни, відповідно.

На рис. 3, для прикладу, показані спостережені зміни частот сейшів озера Севан від рівня поверхні води [7].

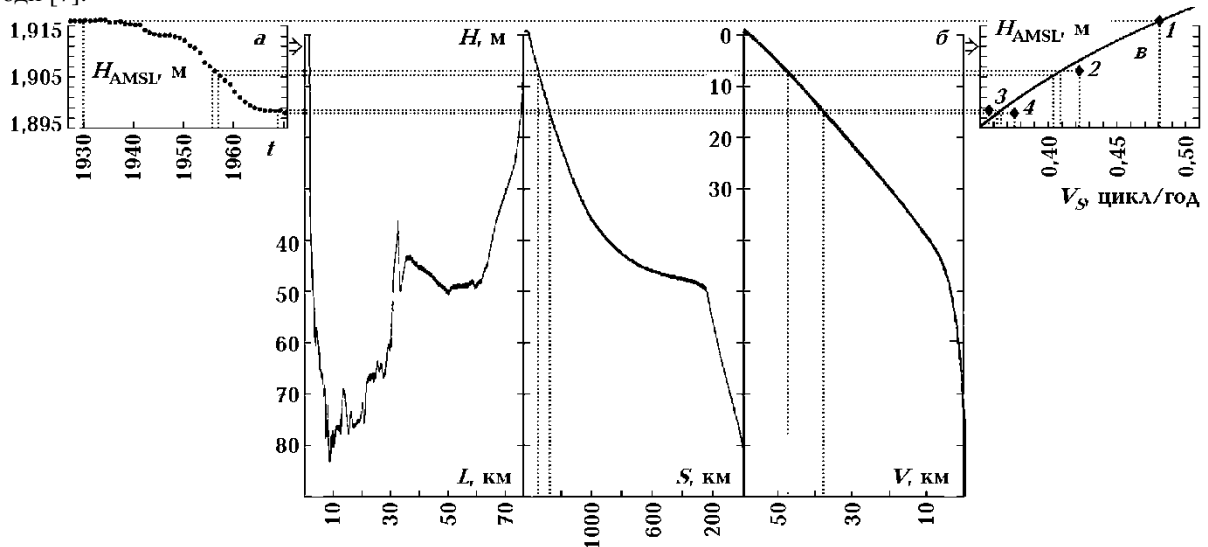


Рис. 3. Зміни рівня озера Севан (а), відповідні зміни морфометричних характеристик (б), і викликані ними зміни частоти сейшів (в): а – графік змін рівня озера над рівнем моря H_{AMSL} за період $t=1926-1971$ рр.; б – залежність морфометричних характеристик озера від рівня води: профіль дна; площа дзеркала S ; об'єм V ; в – частоти спостережених одновузлових поздовжніх сейшів озера ν_s (1 – 0,480, 2 – 0,423, 3 – 0,357, 4 – 0,375 циклів за годину)

Аналіз частот спостережених у водоймах світу сейшевих хвиль ($\approx 0,04-30$ циклів на годину) виявив їх сумірність із припливоутворюючими частотами обертання Сонця (0,042) і Місяця навколо Землі (0,081) [7].

Спільне використання властивостей залежності частоти сейшів від глибини водойми та резонансу їх із припливом дозволило максимізувати висоту сейшевої хвилі [4].

Виграш запишеться наступним чином [7]:

$$A = \frac{A_T}{(2\pi f_T)^2 - (2\pi f)^2}; nf \approx f_T; n = (1; 2; \dots; n) \vee \left(1; \frac{1}{2}; \dots; \frac{1}{n} \right), \quad (6)$$

де A_T, f_T – амплітуда і частота припливної хвилі, відповідно.

Вибір оптимального місця розміщення ГЕС. Якщо визначальний лінійний розмір водойми (довжина L чи ширина B) порівняний із радіусом деформації Росбі, або більший за нього, тоді обертальний рух Землі викликає оббігання сейшевої хвилі навколо амфідромічної точки, яка співпадає із вузлом сейші [8].

На рис. 4 наведено котидальні карти перших п'яти поздовжніх мод обертових сейшів озера Тріхоніс, Греція [9]. Котидальні лінії (лінії рівних фаз) накреслені суцільними, лінії рівних амплітуд (в умовних одиницях) – штриховими.

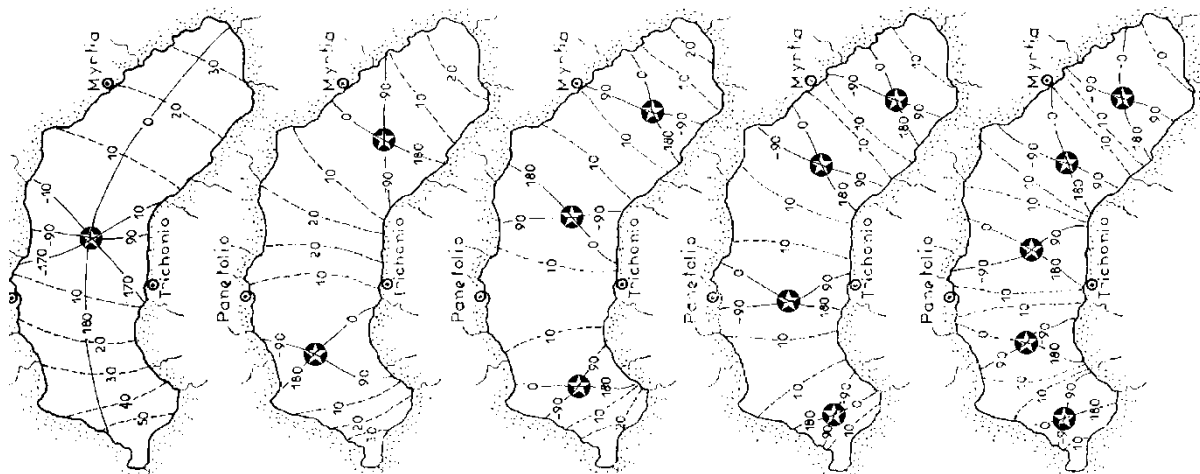


Рис. 4. Котидальні карти поздовжніх сейшевих хвиль озера Тріхоніс: зліва-направо – моди $f_{10}, f_{20}, f_{30}, f_{40}, f_{50}$; зірочками відмічені амфідромічні точки

Амплітуди коливань рівня змінюються як вздовж довжини хвилі (від 0 до $\lambda/4$), так і залежно від фази хвилі (від 0° до 360°), причому фаза відповідає певній точці на карті.

Результуюча висота рівня сейшевого хвилювання може бути розрахована за формулою [5]:

$$h = h_0 + \sum_{j=1}^j A_j \cos(2\pi f_j t + \varphi_j), \quad j = 1, 2, \dots, j, \quad (7)$$

де h_0 – висота середнього рівня над нулем глибин; φ – початкова фаза хвилі; j – мода.

Максимально можлива потужність в одному циклі сейшевого хвилювання розраховується за формулою [5]:

$$W_S = \frac{\rho g S \Delta h^2}{t}, \quad (8)$$

де Δh – різниця рівнів води в циклі.

Порівняння отриманих значень може бути критерієм при оцінці і виборі місця розміщення ГЕС [5].

Висновки. Виходячи з того, що основою забезпечення енергобезпеки України є максимальне використання гідроресурсів, пропонуються рішення щодо підвищення виробітку потужності ГЕС:

- збудження сейшевих хвиль шляхом встановлення визначеного інтервалу часу подачі води при керуванні водопропускними гідропорадами;
- максимізація висоти сейшевих хвиль шляхом встановлення режиму їх резонансу із припливною хвилею;
- вибір оптимального місця розміщення ГЕС з урахуванням амплітудної модуляції обертових сейшів.

Перелік літератури

1. Мазур И. И. Глобальная энергетическая безопасность // Век глобализации. – 2008. – №1. – С. 57-69.
2. Гидроэнергетика и окружающая среда / Под. общ. ред. Ю. Ландау, Л. Сиренко. – К.: Либра, 2004. – 484 с.
3. Пат. 85347 України, МПК F03B 13/12. Спосіб підвищення ефективності хвильової гідроелектростанції / Анахов П. В., Анахов С. П. – №u201309021; заявл. 18.07.2013; опубл. 11.11.2013; Бюл. №21.

4. Пат. 83039 України, МПК G01V 1/02. Спосіб управління режимом зміщень у фрагментах сейсмоактивних розривів депресійної зони водосховища / Анахов П. В. – №u201302278; заявл. 25.02.2013; опубл. 27.08.2013; Бюл. №16.
5. Пат. 90545 України, МПК E02B 9/08. Спосіб перетворення кінетичної енергії довгоперіодних водяних хвиль в електричну енергію / Анахов П. В. – №u201400883; заявл. 31.01.2014; опубл. 26.05.2014; Бюл. №10.
6. Егоров Н. И. Физическая океанография. Изд. 2-е, доп. и перераб. – Л.: Гидрометеиздат, 1974. – 455 с.
7. Анахов П. В. Використання мікросейсмогенних явищ для розвантаження тектонічних напружень // Геофизический журнал. – 2014. – Т. 36, №5. – С. 128-142.
8. Шулейкин В. В. Физика моря. Изд. 4-е, перераб. и доп. – М.: Наука, 1968. – 1083 с.
9. Zacharias I. Verification of seiching processes in a large and deep lake (Trichonis, Greece) // Mediterranean Marine Science. – Vol. 1/1. – 2000. – P. 79-89.

P. V. Anakhov

State University of Telecommunications,

INCREASE OF HYDROELECTRIC POWER DUE TO SEICHES ENERGY

We offer solutions for increasing power output of hydropower plants. Firstly, excitation of seiches by setting a certain interval of time the water supply in the driving of hydraulic structure (spillway or pump). Secondly, maximization the height of seiches by setting the mode of resonance with tidal wave. Thirdly, the choice of optimal location of hydropower plant taking into account of amplitude modulation of rotating seiches.

Key words: amplitude modulation of seiches, frequency modulation of seiches, rotating seiches.

1. Mazur I. I. Global'naja jenergeticheskaja bezopasnost' // Vek globalizacii. – 2008. – No. 1. – P. 57-69.
2. Gidrojenergetika i okruzhajushhaja sreda / Ju. Landau, L. Sirenko (Editors-in-Chief). – Kyiv: Libra, 2004. – 484 p.
3. Pat. 85347 Ukraine, Int. Cl. F03B 13/12. Sposib pidvyshhennja jefjetyvnosti hvyljovoji gidroelektrostantsiji / Anakhov P. V., Anakhov S. P. – Filed July 18, 2013, Ser. No. u201309021; Patented Nov. 11, 2013; Bul. No. 21.
4. Pat. 83039 Ukraine, Int. Cl. G01V 1/02. Sposib upravlinnja rjezhymom zmishhen' u fragmentah sejsmoaktyvnyh rozryviv djepresijnoji zony vodoshovyshha / Anakhov P. V. – Filed Feb. 25, 2013, Ser. No. u201302278; Patented Aug. 27, 2013; Bul. No. 16.
5. Pat. 90545 Ukraine, Int. Cl. E02B 9/08. Sposib pjerjetvorjennja kinetychnoji jenjergiji dovgojperiodnyh vodjanyh hvyl' v jeljektrychnu jenjergiju / Anakhov P. V. – Filed Jan. 31, 2014, Ser. No. u201400883; Patented May 26, 2014; Bul. No. 10.
6. Egorov N. I. Fizicheskaja okeanografija. Ed. 2nd. – Leningrad: Hydrometeoizdat, 1974. – 455 p.
7. Anakhov P. V. Viktoristannja mikrosejsmogennih javishh dlja rozvantazhennja tektonichnih napruzhen' // Geofizicheskij zhurnal. – 2014. – Vol. 36, Iss. 5. – P. 128-142.
8. Shulejkin V. V. Fizika morja. 4th ed., rev. and enlar. – Moscow: Nauka, 1968. – 1083 p.
9. Zacharias I. Verification of seiching processes in a large and deep lake (Trichonis, Greece) // Mediterranean Marine Science. – Vol. 1/1. – 2000. – P. 79-89.

УДК 621.22.018.7

П. В. Анахов

Государственный университет телекоммуникаций

ПОВЫШЕНИЕ ВЫРАБОТКИ МОЩНОСТИ ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ ЗА СЧЕТ ЭНЕРГИИ СЕЙШ

Предлагаются решения по повышению выработки мощности гидроэлектростанций путем возбуждения сейшевых волн, максимизации их высоты, выбора оптимального места размещения ГЭС.

Ключевые слова: амплитудная модуляция сейш, частотная модуляция сейш, вращающиеся сейши.

Надійшла 10.09.2014

Received 10.09.2014