нелінійності до розрахованої. Продовжуються дослідження зв'язані з технічною реалізацією алгоритму на базі мікропроцесорної техніки в цілеорієнтованій системі для діагностики електрогідравлічних приводів.

Література

1. Локазюк В.М., Ю.Г. Савченко. Надійність, контроль, діагностика і моделювання ПК: Навч. посібник для вузів / За ред. В.М. Локазюка. – К.: Академія, 2004. – 375 с.

2. Метод гармонической линеаризации в проектировании нелинейных систем автоматического управления / Под ред. Ю.И. Топчеева. – М.: Машиностроение, 1970. – 568 с.

3. Математические основы теории автоматического управления (Учебн. пособие для вузов). / В.А. Иванов, В.С. Медведев, Ю.К. Чемоданов и А.С. Ющенко: Под ред. Б.К. Чемоданова. – М.: Высшая школа, 1971. – 808 с.

Надійшла 9.2.2010 р.

УДК 621.372 (075)

О.И. ХАРЧЕНКО, В.И. ЧУМАКОВ
Харьковский национальный университет радиоэлектроники,

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЛИНЕЙНЫХ СИСТЕМ С ПАМЯТЬЮ ДЛЯ ВЫДЕЛЕНИЯ ПОЛЕЗНОГО СИГНАЛА ИЗАДДИТИВНОЙ СМЕСИ ГАРМОНИЧЕСКОГО КОЛЕБАНИЯ И ГАУСОВА ШУМА

Рассмотрена возможность применения нелинейных систем с памятью к коротким реализациям случайного процесса, являющегося аддитивной суммой гармонического сигнала и нормального шума. Исследованы два вида уравнений, описывающих нелинейные устройства, одно из которых обладает эффектом стохастического резонанса (СР). Приведены результаты расчета отношения сигнал/шум на выходе нелинейного устройства в зависимости от частоты гармонического сигнала для различных значений сигнал/шум на входе. Показано, что рассмотренные нелинейные системы работают как низкочастотный фильтры. Рассмотрены достоинства и недостатки применения данных нелинейных устройств для выделения сигнала в случае коротких реализаций.

Possibility of application of the nonlinear systems is considered with memory to short realization of casual process, being the additive sum of harmonic signal and normal noise. Two types of equalizations, describing nonlinear devices are investigational, one of which possesses the effect of stochastic resonance (SR). The results of calculation of relation are resulted signal/noise on the output of nonlinear device depending on frequency of harmonic signal for different values signal/noise on an entrance. It is rotined that the considered nonlinear systems work as nizkochastotnyy filters. Dignities and lacks of application of these nonlinear devices are considered for the selection of signal in the case of short realization.

Ключові слова: сигнал, гаусів шум.

Введение

Принято считать, что наличие шума в системе всегда является отрицательным фактором и борьба с шумами является одной из актуальных задач повышения помехоустойчивости радиотехнических систем. Разрабатываются малошумящие устройства и методы шумоподавления.

Вместе с тем, исследования, проводимые в последнее время в области теоретической и экспериментальной физики показали, что в ряде случаев воздействие шума не приводит к ухудшению характеристик нелинейных систем [1, 2]. Рост шума может вызывать увеличение отношения сигнал/шум на выходе нелинейного устройства. Одним из примеров указанного поведения является эффект СР. Стохастическим резонансом называется усиление периодического сигнала под действием белого шума определенной мощности. СР является универсальным эффектом, присущим многим нелинейным системам, находящимся под внешним воздействием одновременно хаотического и слабого периодического воздействия.

В известных работах [1, 2], посвященных СР, рассматривались достаточно продолжительные реализации процесса.

В данной статье рассматривается возможность использования СР для коротких отрезков реализаций в случае аддитивной смеси синусоидального сигнала и нормального шума на входе нелинейного устройства.

Понятие стохастического резонанса

Отклик нелинейной системы на слабый внешний сигнал в случае СР заметно усиливается с ростом интенсивности шума в системе и достигает определенного максимума при некотором уровне шума.

Уравнение бистабильного осциллятора имеет вид [1,2]

$$\dot{\eta} = \eta - \eta^3 + x(t), \tag{1}$$

где $x(t)$ – входной процесс;

$\eta(t)$ – процесс на выходе нелинейного устройства.

Данное уравнение является уравнением Абеля 1-го порядка и не имеет аналитического решения [3]. Не удается также найти двумерную плотность вероятности с помощью точного решения уравнения Фоккера

– Планка даже в отсутствии внешнего гармонического сигнала [4]. Следовательно, точно не определяются корреляционные функции и спектральные плотности. Естественно, что с включением периодической внешней силы появляются дополнительные сложности.

Отношение сигнал/шум – энергетический критерий нелинейных систем

В отличие от линейных систем, энергетический спектр на выходе которых остается неизменным, энергетический спектр процесса на выходе нелинейного элемента имеет более сложную структуру [5, 6]. Через линейную систему сигнал и шум проходят независимо. На выходе нелинейного элемента образуются новые спектральные составляющие вследствие биения составляющих входного процесса. Причем их вид и интенсивность определяются видом нелинейного преобразования и статистическими характеристиками процесса на входе.

В случае, если входной процесс представляет собой аддитивную смесь немодулированной несущей и шума, в энергетическом спектре на выходе нелинейного элемента различают три главные части:

$F_{SxS}(\omega)$ – соответствует биениям между компонентами сигнала и его гармоник (дискретная часть спектра);

$F_{NxN}(\omega)$ – образуется биениями составляющих шума (непрерывная составляющая спектра);

$F_{SxN}(\omega)$ – образуется взаимными биениями компонент сигнала и шума (непрерывная составляющая спектра).

Дискретная часть спектра дополняется спектральной линией при $f = 0$, представляющей постоянную составляющую на выходе, которая также определяется биениями компонент сигнала и шума.

Следовательно, энергетический спектр на выходе нелинейного элемента определяется как

$$F(\omega) = F_{SxS}(\omega) + F_{SxN}(\omega) + F_{NxN}(\omega).$$

Типичными примерами энергетических критериев являются: полная мощность сигнала на выходе, интенсивность отдельной спектральной линии или любой энергетический статистический параметр, основанный лишь на продуктах $S \times S$ [5, 6]. Практически наиболее удобным энергетическим критерием является отношение сигнал/шум.

Так как выходной процесс представляет собой неразделимую смесь исходных процессов сигнала и шума, невозможно указать составляющие, которые зависели бы только от сигнала и, соответственно, только от шума.

Для того, чтобы определить отношение сигнал/шум на выходе нелинейной системы, необходимо решить, к сигналу или шуму отнести часть выходного спектра $F_{SxN}(\omega)$. В связи с этим получаем два выражения:

а) если биения между компонентами сигнала и шума отнесены к шуму:

$$SNR = \frac{\int_0^\infty F_{SxS}(\omega)d\omega}{\int_0^\infty [F_{SxN0}(\omega) + F_{NxN}(\omega)]d\omega},$$

б) если биения между компонентами сигнала и шума отнесены к сигналу

$$SNR = \frac{\int_0^\infty [F_{SxS}(\omega) + F_{SxN}(\omega)]d\omega}{\int_0^\infty F_{NxN}(\omega)d\omega}.$$

Очевидно, что в случае СР отношение сигнал/шум вычисляется по данной формуле и высокое значение этой величины обусловлено составляющей $F_{SxN}(\omega)$, т.е. взаимодействием сигнала и шума.

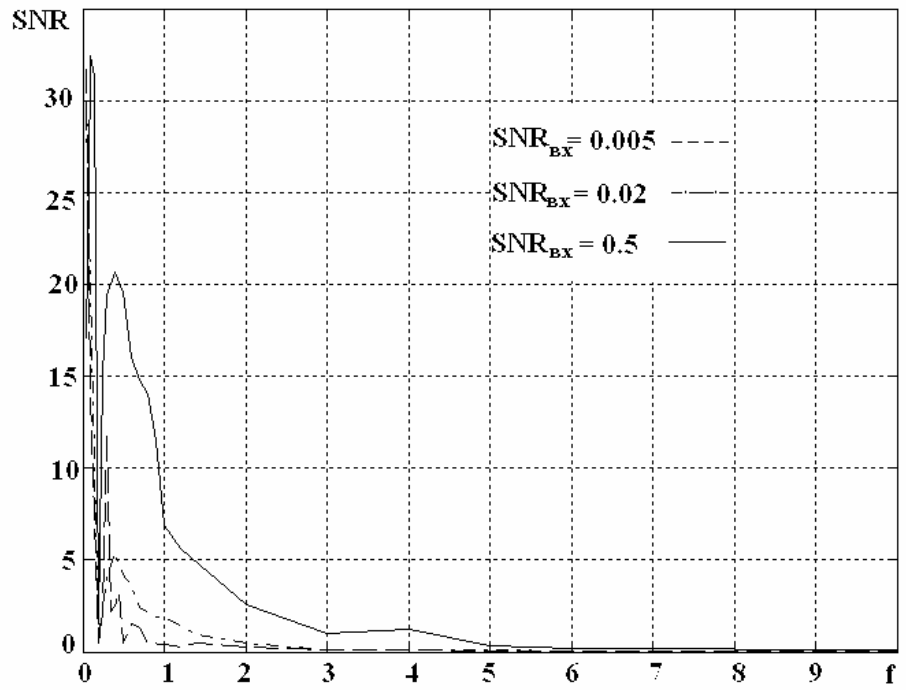
Определение отношения сигнал/шум на выходе нелинейного устройства

Рассмотрим случай, когда сигнал на входе СР является аддитивной суммой синусоидального сигнала и нормального шума

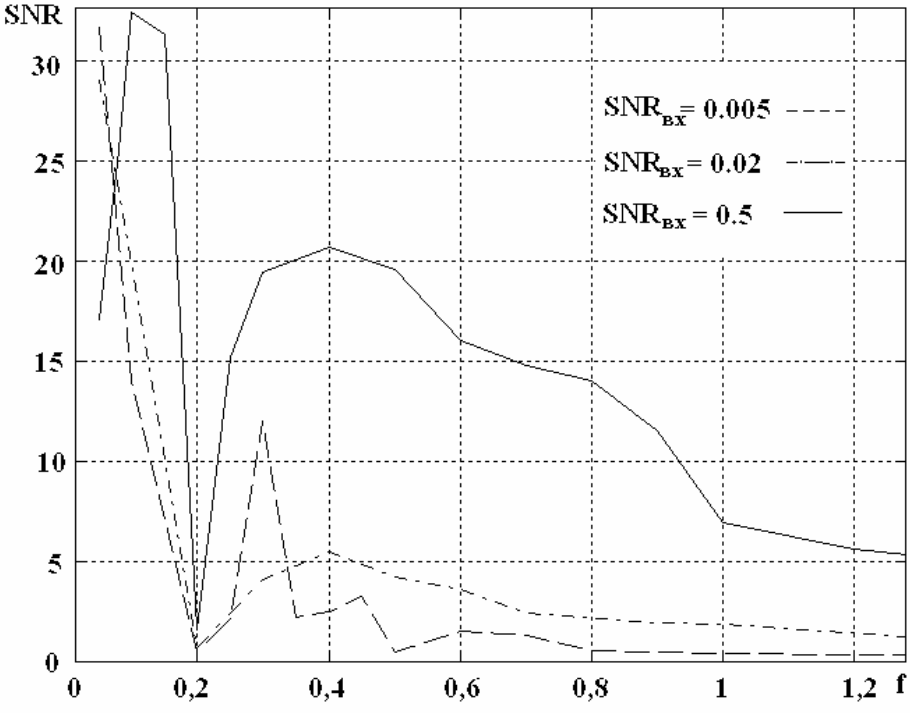
$$\dot{\eta} = \eta - \eta^3 + A\cos(2\pi ft + \varphi) + \sqrt{2D}\xi(t) \qquad (2)$$

где $\xi(t)$ – нормальный шум,

Определим отношение сигнал/шум на выходе нелинейного устройства с СР в зависимости от частоты f и отношения сигнал/шум на входе. Частоту f рассмотрим в интервале 0т 0,05 до 10 Гц. Отношение сигнал/шум на входе берем равным соответственно: 0,005; 0,02; 0,5 (по мощности). Результаты расчета приведены на рис. 1а и 1б. На рис. 1б низкие частоты приведены более детально.



а)



б)

Рис. 1. Зависимости отношения сигнал/шум (SNR) на выходе нелинейного устройства с СР от отношения сигнал/шум на входе (SNR$_{вх}$) для разных значений частоты f периодического входного сигнала

Из рисунков видно, что явление СР лучше выражено на низких частотах, т.е. СР представляет собой низкочастотный фильтр. Отношение сигнал/шум управляется интенсивностью внешнего шума и мощностью входного сигнала.

Необходимо сделать еще одно замечание: имеется лишь конечный период времени от 0 до T для наблюдения, т.е. для накопления данных. Рассматриваются короткие участки реализаций, содержащие 50 периодов частоты f. Естественно, что длительность этого промежутка времени влияет на результаты [4].

В зависимости от каждого конкретного случая может иметь место маломощная вторая или третья гармоника (рис. 2, 3).

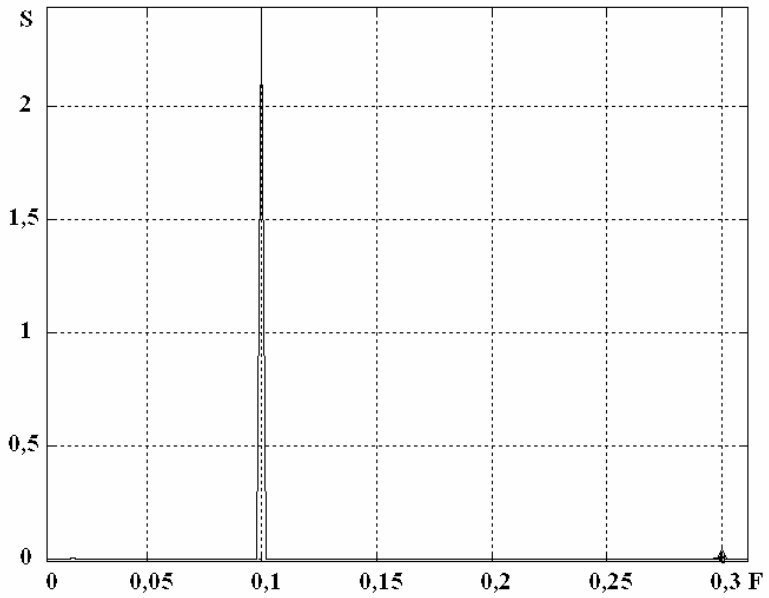


Рис. 2. Амплитудный спектр процесса на выходе нелинейного устройства с СР при $SNR_{вх}$ = 0,02 и f =0,1 Гц (третья гармоника на частоте f =0,3 Гц)

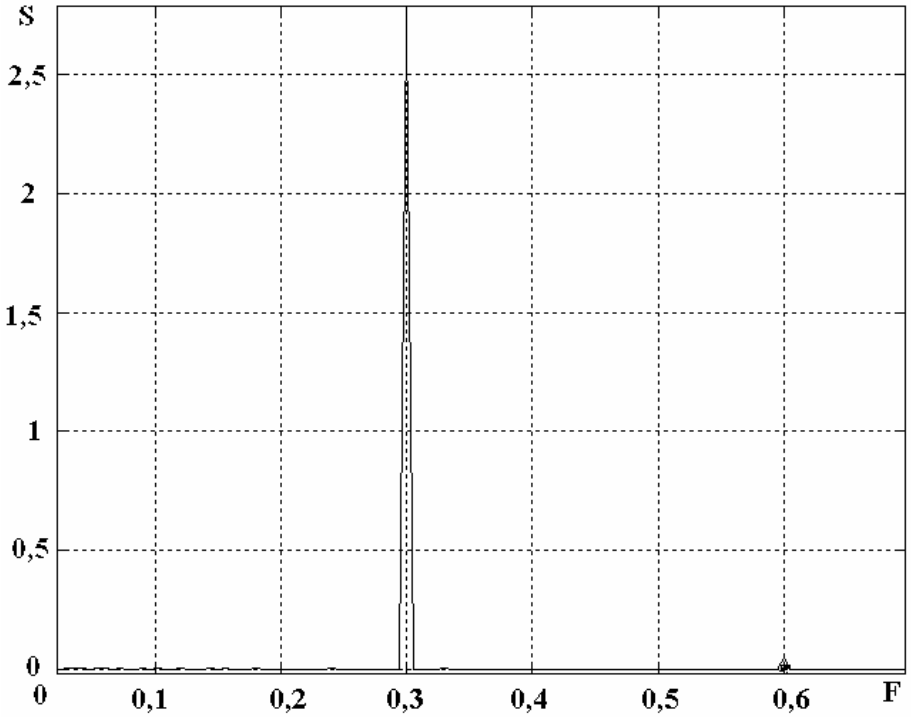


Рис. 3. Амплитудный спектр процесса на выходе нелинейного устройства с СР при $SNR_{вх}$ = 0,5 и f =0,3 Гц (вторая гармоника на частоте f =0,6 Гц)

Поменяв в уравнении знак: $\dot{\eta} = -\eta - \eta^3 + x(t)$, проведем тот же анализ для данного уравнения.

Определим отношение сигнал/шум на выходе нелинейного устройства с СР в зависимости от частоты f и отношения сигнал/шум на входе. Частоту f рассмотрим в интервале 0т 0,05 до 10 Гц. Отношение сигнал/шум на входе берем равным соответственно: 0,005; 0,02; 0,5 (по мощности).

Видно, что данная кривая (рис. 5) не имеет резких спадов в сверхнизкочавстотной области в отличие от кривой на рис. 1 (минимум на 0,2 Гц). Кроме того, отношение сигнал/шум на выходе выше во втором случае при одинаковых значениях частоты и отношения сигнал/шум на входе.

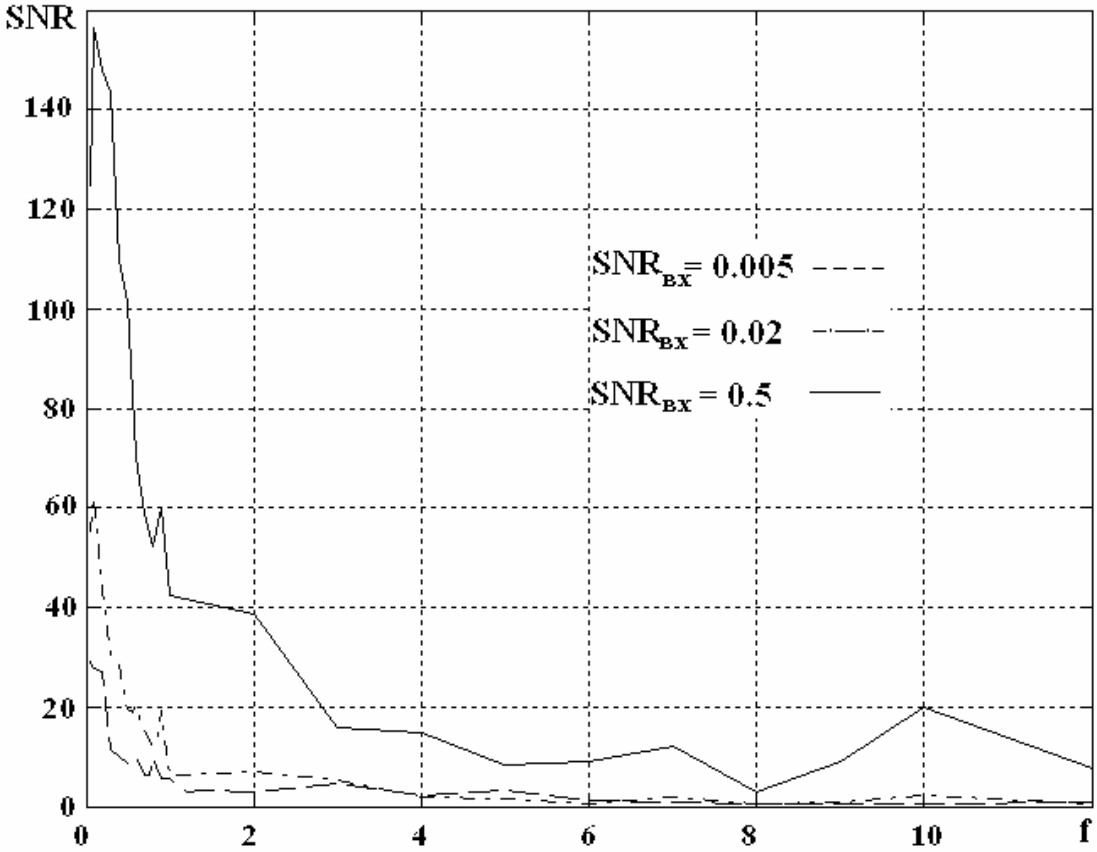


Рис. 4. Зависимости отношения сигнал/шум (SNR) на выходе второго нелинейного устройства от отношения сигнал/шум на входе ($SNR_{вх}$) для разных значений частоты f периодического входного сигнала

Плотность вероятности процесса на выходе нелинейного устройства с СР

Одной из важных характеристик случайного процесса является плотность вероятности. Определим плотность вероятности случайного процесса на выходе нелинейного устройства с СР. Для случайного процесса $x(t)$, воздействующего на инерционные нелинейные устройства, описываемые нелинейным дифференциальным уравнением вида

$$\dot{\eta}(t) = f[\eta(t)] + g[\eta(t), x(t), t],$$

где f и g – некоторые детерминированные функции, вид которых определяется заданными параметрами системы; $\eta(t)$ – процесс на выходе системы одномерная плотность вероятности процесса $\eta(t)$ определяется выражением [7].

$$W(\eta) = \frac{C}{K_2(\eta)} \exp\{\int_0^{\eta} \frac{K_1(z)}{K_2(z)} dz\},$$

Для нелинейного стохастического дифференциального уравнения [7].

$$\eta(t) = f[\eta(t)] + g[\eta(t)]x(t)$$

Структурные числа равны [7].

$$\left.\begin{array}{l} K_1(\eta\eta = f[\eta[\\ K_2(\eta\eta = N_0 g^2[\eta\eta \end{array}\right\}, \text{ где } N_0 = \int_{-\infty}^{\infty} \langle x(t)x(t+\tau)\rangle d\tau .$$

В нашем случае $K_1 = \eta - \eta^3$, $g = 1$. Входной сигнал является аддитивной смесью синусоидального сигнала и белого шума: $x(t) = s(t) + n(t)$, где $s(t) = A\cos(2\pi ft + \varphi)$.

Определим

$$\langle x(t)x(t+\tau)\rangle = \langle \{x(t) + n(t)\}\{x(t+\tau) + n(t+\tau)\}\rangle =$$
$$= \langle s(t)s(t+\tau)\rangle + \langle n(t)s(t+\tau)\rangle + \langle s(t)n(t+\tau)\rangle + \langle n(t)n(t+\tau)\rangle$$

где $\langle s(t)s(t+\tau)\rangle = \frac{A^2}{2} * \cos(\omega\tau)$.

Отсюда получим $K_2(\eta\eta = \frac{\pi A^2}{2}[\delta\delta(\omega + \delta(-\omega)] + \sigma^2/(2\alpha)$.

Определяем плотность вероятности

$$W(\eta) = \frac{C}{\frac{\pi A^2}{2}[\delta(\omega) + \delta(-\omega)] + \sigma^2/(2\alpha)} \exp\{2\int_0^{\eta} \frac{z - z^3}{\frac{\pi A^2}{2}[\delta(\omega) + \delta(-\omega)] + \sigma^2/(2\alpha)} dz\} =$$

$$= \frac{C \exp\{2[\eta^2/2 - \eta^4/4]/\sigma^2/(2\alpha)\}}{\sigma^2/(2\alpha)}.$$

Постоянная интегрирования C определяется из условия нормировки.

Выводы

При обработке с помощью рассмотренных нелинейных устройств коротких реализаций случайного процесса, являющегося аддитивной смесью гармонического сигнала и нормального шума, выявлены следующие особенности:

- отношение сигнал/шум на выходе является функцией частоты входного гармонического сигнала и отношения сигнал/шум на входе;
- данное нелинейное устройство работает как низкочастотный фильтр;
- в спектре выходного сигнала можно наблюдать слабые вторую или третью гармоники.

Литература

1. Анищенко В.С., Нейман В.Б., Мосс Ф., Шиманский-Гайер Л. Стохастический резонанс как индуцированный шумом эффект увеличения степени порядка // Успехи физических наук. – Т. 169, 1999. – № 1,. – С. 7– 37.

2. Геращенко О.В. Стохастический резонанс в асимметричной бистабильной системе // Письма в ЖТФ. – Т. 29, 2003. – вып.6. – С. 82– 86.

3. Камке Э. Справочник по обыкновенным дифференциальным уравнениям: Пер. с англ. – 2-е изд. переработанное и доп. – М.: Государственное издательство физико-математической литературы, 1961. – 703 с.

4. Мидлтон Д. Введение в статистическую теорию связи: Пер. с англ. / Под ред. Б.Р. Левина. – М.: Советское радио, т. 1, 1961. – 791с.

5. Левин Б.Р. Теоретические основы статистической радиотехники. – М.: Сов. Радио, 1969. – 752 с.

6. Горяинов В.Т., Журавлев А.Г., Тихонов В.И. Примеры и задачи по статистической технике / Под ред. В.И. Тихонова. – М.: Сов. радио, 1970. – 597 с.

Надійшла 25.2.2010 р.

УДК 622.271.001: 621.311.1

А.А. ШИЯН, Ю.А.ШУЛЛЄ
Вінницький національний технічний університет

СЦЕНАРІЇ ОПТИМІЗАЦІЇ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ УПРАВЛІННЯ ЕЛЕКТРИЧНИМИ НАВАНТАЖЕННЯМИ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ КОМПЛЕКСІВ

Запропоновано алгоритм ідентифікації сценаріїв поведінки електричних навантажень окремих електротехнічних комплексів (окремих підприємств), агрегації декількох сценаріїв в єдину модель прогнозування поведінки та оптимізації управління електричних навантажень електротехнічних комплексів.

It is offered authentication algorithm for scenarios of the electric loadings conduct at the separate electrical engineerings complexes (separate enterprises), agregation of a few scenarios in the unique model of conduct prognostication and management optimization of the electric loadings at the electrical engineerings complexes.

Ключові слова: електротехнічний комплекс.

Вступ

Задача оптимізації електричних навантажень стає все більш актуальною внаслідок стрімкого зростання кількості споживачів електричної енергії. Сьогодні це не тільки промислові підприємства та комунально-побутові споживачі, тенденції розвитку автомобільного транспорту свідчать, що незабаром до цього переліку додадуться вже і станції зарядки акумуляторів електромобілів або автомобілів на комбінованих двигунах.

Внаслідок цього задача оптимізації управління електричними навантаженнями електротехнічних комплексів з урахуванням різних характерних умов їх функціонування є актуальною як в науковому, так і в практичному планах.

Сьогодні певним стандартом для рішення задач визначення та прогнозування електричних