

Г.В.АЛЬОШИН, д-р техн. наук, професор, УкрДАЗТ

МЕЖІ ЗАСТОСУВАННЯ ФУНКЦІОНАЛУ ПРАВДОПОДІБНОСТІ ПРИ ОЦІНЦІ ПАРАМЕТРІВ СИГНАЛУ

У роботі показано, чому метод максимуму ФП можна застосовувати тільки для обробки результатів вимірювань параметра сигналу і не слід застосовувати для вимірювань і чому він приводить до суттєвих помилок у теорії і побудові інформаційно-вимірювальних систем.

Ключові слова: функціонал правдоподібності, вимірювання, фільтрація сигналів, сигнальна функція.

Вступ. Майже всі радіоелектронні системи у своїй роботі використовують вимірювачі параметрів систем і сигналів. З двадцятого віку почала бурно розвиватись, уточнюватись і ускладнюватись теорія інформаційно-вимірювальних систем (ІВС), центральним місцем якої був і є метод максимуму функціоналу правдоподібності (ФП). На основі цього методу розвинуті ідеї оптимального синтезу алгоритмів роботи, структур ІВС різного типу, параметрів і сигналів за критерієм максимуму ФП. Але подальший розгляд цих методів синтезу показав, що при постановці цих задач може бути закладена помилка. Ось чому тему про межі застосування ФП при вимірюванні будь-яких параметрів слід вважати актуальною.

Аналіз літератури. За час з початку застосування методу максимуму ФП кількість публікацій, де він використовувався, досягло не одну сотню тисяч. Є і нові публікації, які можуть вмщати визначену некоректність постановки задач синтезу ІВС. Частина їх вмщує бібліографічний список даної статті.

Мета статті. Метою статті є виключення можливих помилок у подальших роботах на таку тему і перегляд попередніх робіт з даних позицій.

Основний матеріал досліджень. Розглянемо фізичну сутність функції правдоподібності.

Відомі методи оцінки параметрів сигналу частіше ґрунтуються на використанні поняття «функції або функціонала правдоподібності».

Спочатку дамо фізичну інтерпретацію поняття «функція правдоподібності» для найпростішого випадку, коли вимірюється один незмінний в часі параметр сигналу λ при наявності випадкової похибки – завади вимірювача.

При численних вимірах будь-яким вимірювачем спочатку відомого параметру λ_n , який можна вважати еталоном, побудуємо гістограму, а потім щільність $p(\lambda - \lambda_n)$ розподілу реалізацій λ параметру. Це закон щільності ймовірності відхилення реалізацій (результатів вимірів) від відомого у дано-

му опиті параметра λ_n на даній шкалі вимірювача (рис. 1, вісь λ).

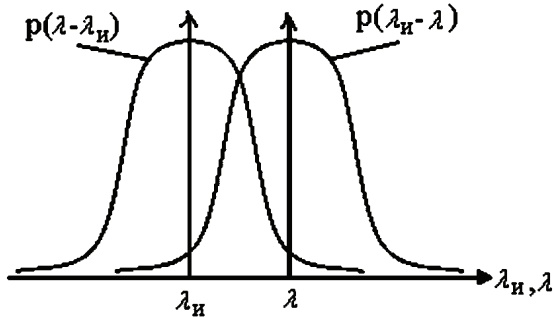


Рисунок 1 – Дисперсія розподілу p

Дисперсія розподілу $p(\lambda - \lambda_n)$ є метрологічна характеристика вимірювача, що позначається на його класі точності. Після досліджень дисперсія, чи середньоквадратична похибка, вже відома для даного вимірювача.

Цією же шкалою вимірюємо тепер невідомий для нас вимірюємий параметр λ_n і маємо поки один результат вимірів – відому реалізацію λ .

Основним міркуванням є таке. Дійсне значення λ_n точно також відхиляється від отриманої реалізації λ , як і реалізація λ від еталонного значення λ_n .

Оце і є функція правдоподібності (ФП) $p(\lambda - \lambda_n)$. Випадкове для нас значення λ_n відхиляється від отриманої (вже відомої) оцінки λ за тим же законом $p(\lambda - \lambda_n)$, але вже відносно оцінки λ (див. рис. 1), де тепер вісь λ_n .

Принципово нічого не зміниться в міркуваннях, якщо ми розраховуємо ФП не для самого параметра λ_n , а для його функції $S(t, \lambda_n)$.

Функція або функціонал правдоподібності (ФП) корисний для процедур обробки результатів різноточних вимірювань одного або декількох параметрів з метою підвищення точності. Результуюча щільність розподілу ймовірності реалізацій має вигляд:

$$p(\lambda_u / \lambda_1, \dots, \lambda_n) = \prod_{i=1}^n p_i(\lambda_u - \lambda_i).$$

Для нормальних законів розподілів щільностей реалізацій конкретний алгоритм оцінки параметру λ^* приведений нижче:

$$\lambda^* = \sum_{i=1}^n \frac{\sigma_i^{-2}}{\sigma_p^{-2}} \lambda_i, \quad (1)$$

де

$$\sigma_p^{-2} = \sum_{i=1}^n \sigma_i^{-2}.$$

На цих можливостях ФП коло його використань обмежується. Хоча іс-

нує широкий спектр потреб використання у радіотехніці, де, на жаль, широко використовують його інтегральний некоректний варіант.

Для обґрунтування цього будемо слідувати за логікою Вудворда [1].

На вході радіоприймального пристрою є суміш сигналу $S(t, \lambda_u)$ з шумом:

$$y(t) = S(t, \lambda_u) + n(t), \quad (2)$$

де $n(t)$ – флуктуаційний гаусів шум з дисперсією σ^2 .

Шумовий процес обмежений за спектром з часом кореляції Δt . Процес тривалістю T має $m = T/\Delta t$ ступіней волі. Тоді m -мірну щільність ймовірності можна представити у вигляді:

$$p[n(t_1), n(t_2) \dots n(t_n)] = \prod_{i=1}^m \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \exp\left[-\frac{n^2(t_i)}{2\sigma^2}\right] = K_y \exp\left[-\frac{\sum_{i=1}^m n^2(t_i)\Delta t}{2\sigma^2\Delta t}\right],$$

або при $\Delta t \rightarrow 0$ у вигляді

$$p[n(t)] = K_y \exp\left[-\frac{1}{N_0} \int_0^T n^2(t) dt\right], \quad (3)$$

де $K_y = \text{const}$, $\sigma^2\Delta t = \sigma^2 / \Pi = N_0$.

Якщо замість шуму $n(t)$ тут підставити його значення з формули (2), то це буде функціонал правдоподібності:

$$p(\lambda_u / y(t)) = K_y \exp\left[-\frac{1}{N_0} \int_0^T [S(t, \lambda_u) - y(t)]^2 dt\right]. \quad (4)$$

Тепер потрібно знайти максимум ФП за параметром λ_u .

Але цей коректно отриманий функціонал використовувати взагалі недоцільно за приведеними нижче причинами.

1. Похідна від функціоналу (4) за параметром λ_u приводить до рівняння:

$$\int_0^T S(t, \lambda) S'(t, \lambda) dt = \int_0^T y(t) S'(t, \lambda) dt, \quad (5)$$

з якого розв'язок не можна отримати.

2. Максимум ФП, що дає оцінку параметру λ_u сигнала, може досягатись також за критерієм мінімуму середньоквадратичної похибки або мінімуму інтегралу під знаком «exp», якщо відома суміш $y(t)$. Передписання методу максимуму ФП може виглядати також як задача за методом найменших квадратів: знайти оцінку λ_u за функціоналом (4), якщо відома суміш $y(t)$.

Але цей метод незручний для виконання. Тому що така процедура складна: спочатку треба достатньо точно з малим інтервалом вимірювати миттєві значення широкосмугового процесу $y(t)$ у часі, а потім ще й вирішувати задачу отримання оцінки методом найменших квадратів (МНК).

Це значить, що до шумів буде додана значна похибка вимірювань про-

цесу $y(t)$, а потім – похибка МНК.

Таким чином, традиційні методи максимуму ФП при оцінці параметра сигналу не спрацьовують.

Тому у більшості робіт про вимірювальні системи [1-7 й т.і.], починаючи з Вудворда, Міддлтона і т.д., процедура отримання оцінки спрощується за рахунок своєрідного некоректного прийому, що приводить к некоректному методу максимуму ФП.

Сутність некоректності ФП, по суті – з алгебраїчного прийому, полягає в нижченаведеному.

Вудворд запевняє, що ніби природно уявить, що при вимірюванні затримки у сигналі формули (4) може бути представлений час передачі сигналу, а у суміші сигналу з шумом параметром сигналу є час затримки, який треба оцінити. Така незначна на перший погляд довільність приводить до значних негативних наслідків.

Спочатку треба мати на увазі, що різниця $S(t, \lambda_u) - y(t)$ згідно формулі (4) точно рівна шуму $n(t)$, тому що істинний параметр один і той же у представленому сигналу і в суміші. Якщо у будь-якому одному доданку довільно змінити параметр, то це означає, що ранішнього нормального розподілу шуму нема. Це інший розподіл. Але при такій підміні можна отримати що завгодно, тому що раніше ФП залежав тільки від одного оцінюємого параметру сигналу, а тепер завдяки підміні він залежить також і від введеного параметра.

Оскільки цей некоректний ФП став залежати від двох параметрів, і з них введений параметр вважається опорним, то звідсіля можна знайти алгоритм оцінки також істинного параметра. Оцінку, отриману таким шляхом, можна назвати потенційною, оскільки отримана з т.з. ФП. Знаючи «оптимальний» алгоритм, можна отримати «оптимальну» систему і «оптимальні» сигнали. Можна без кінця розвивати і ускладнювати цей напрямок, що, на жаль, і робиться у науці [1-14 та ін.].

Перетворення ФП за типом відношення правдоподібності й т.і. не роблять ФП коректним.

Все це повинно було насторожити читачів. Але крім цього при розкручуванні «ФП» ще є алгебраїчні помилки. І розробники систем не довіряють такій теорії.

Можна тільки здогадуватись, чому зроблена ця підміна параметрів.

Це просто неуважність Вудворда, Міддлтона та його численних послідовників або прагнення отримати сигнальну функцію на виході системи?

При підміні з'являється взаємкореляційна функція сигналу та суміші

$$\int_0^T S(t, \lambda_0) y(t) dt$$

, що складається з сигнальної функції та взаємкореляційної функції сигналу і шумів. При цьому $y(t)$ згідно (4) залежить від λ_u . Така функція дійсно корисна. Її слід використовувати і без ФП за Вудвордом. Сигна-

льна функція корисна тим, що згідно з Колмогоровим та Вінером вона використовує оптимальну фільтрацію сигналу в шумі з точки зору максимуму відношення сигнал/шум, що потрібно для вимірювань. Мабуть автор цього методу розмірковував таким чином: раз це призвело до оптимальної фільтрації, то при такій підміні ми на правильному шляху. Тільки сам ФП (4) тепер ні до чого. Можна і без ФП вибрати зв'язний алгоритм оптимальної фільтрації.

Тепер подивимось, до яких невірних висновків, положень і результатів призвела підміна у формулі (4) параметру розподілу λ_n .

Тобто, що ми отримуємо без підміни? Якщо підміни параметрів нема, то не зостається нічого іншого, як вимірювати суміш сигналу з шумом $y(t)$ з деякою похибкою, будувати ФП і оцінювати вимірюваний невідомий істинний параметр λ_n і, можливо, дисперсію. Але це досить накладно і складно. Ще й не дуже точно, як буде видно з подальшого. А якщо не вимірювати суміш $y(t)$, то невизначеними будуть і суміш, і вимірюємий параметр. Повна невизначеність! Точніше буде просто, не «оптимально», вимірювати параметр. А якщо зразу безпосередньо вимірювати сам невідомий параметр сигналу λ_n з суміші, то навіщо тоді ФП. Але таке вже рекомендовано у роботах [2,3 та ін.], де застосовано після формування ФП багатоканальну оцінку вимірюваного параметру (рис. 2).

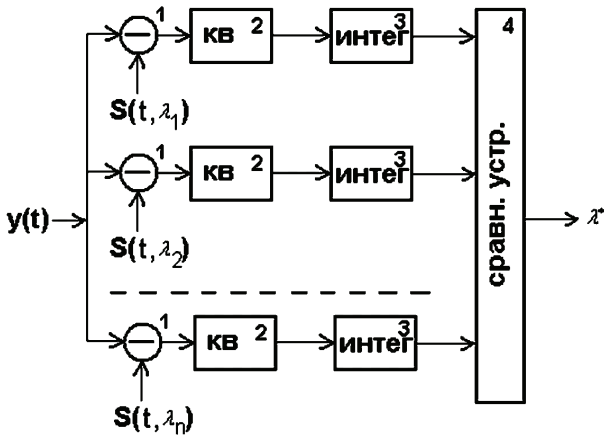


Рисунок 2 – Багатоканальна система вимірювання

Дійсно, без використання ФП і вимірів суміші сигналу та шуму $y(t)$ і втрати часу і точності можна одразу організувати багатоканальну систему, де у кожному каналі реалізується прийом сигналу системою з рівномірно за діапазоном розстроєними значеннями опорного параметру (рис. 2). На рис. 2 позначено:

- 1 віднімаючий пристрій
- 2 квадратор,

- 3 інтегратор,
- 4 пристрій зрівняння.

За оцінку приймається параметр настроювання каналу λ^* , де ϵ сигнал. Точність оцінювання півсмуги каналу за параметром.

Тобто, не потрібен ФП. Виміри вже успішно реалізовані реальними багатоканальними системою з означеною похибкою.

Що дає така підміна? Може слід за неї боротись? Які переваги вона дає? Може хоч при малій розбіжності опорного та вимірюємого параметру ФП справедливий?

Така підміна дає зразу усе, тому що отримаємо готовенький «ФП» у різному - багатомірному, корельованому, інтегральному, векторному та іншому вигляді.

Підміна дає:

- 1) можливість синтезу оптимального алгоритму і всієї системи;
- 2) можливість оптимального синтезу технічних параметрів;
- 3) оптимальний синтез сигналу;
- 4) створення теорії радіотехнічних систем;
- 5) можливість урахування корельованих завод;
- 6) обробку сигнальних векторних полів;
- 7) можливість використання матричних представлень;
- 8) можливість використання інтегральних рівнянь і багато іншого.

Тобто, така підміна дає роботу численній армії вчених.

Але істина дорожче. Некоректний функціонал не може бути основою для методу.

Тому проаналізуємо відомі результати від такої підміни і яку шкоду така підміна принесла. Почнемо з існуючої теорії вимірів, що дає, так звану, «потенціальну» точність вимірів.

Що сталося з бувшим справжнім ФП?

1) Він став некоректним і залежним від довільного параметру λ_0 ,
2) тепер знати і вимірювати суміш $y(t)$ немає сенсу, тому що підстановка «опорного» параметру у формулу ФП (4) хоч і не дає розподіл самісінького шуму без усяких параметрів, але дає щось схоже на то, що нам потрібне, і без усяких вимірювань, і без методу найменших квадратів,

3) тепер можна підставити у формулу (4) цю суміш в загальному вигляді з формули (2) і отримати новий, так званий, розподіл вимірюємого параметру, з якого одержимо оцінку, назвемо її «потенціальною», самою точною, для чого одержимо дисперсію оцінювання, а також одержимо усе, що вказано раніш.

Таким чином, для обґрунтування методу виявлення сигналу та для вимірювання його параметрів застосована підміна параметру у ФП (4), щоб створити кореляційний інтеграл, хоч и без цього було звісно, що узгоджена фільтрація оптимальна за критерієм максимуму відношення сигналу до шуму. А

це корисне при будь-яких вимірах.

У деякій літературі [1-7 й т.і.] спочатку отримують логарифм відношення правдоподібності, а потім призводять підміну параметру розподілу опорним параметром. Сутність від цього не змінюється.

Нічого принципово нового і ніщо не змінює ситуацію, якщо використовується відношення правдоподібності, тому що убирається тільки третій останній доданок в показникові експоненти, який, кажуть, нічого не вирішує. Теж відноситься також до логарифму відношення правдоподібності [1-7]:

$$l(\lambda_u, \lambda_0) = \frac{2}{N_0} \int_0^T y(t)S(t, \lambda_0)dt - \frac{E_c}{N_0}. \quad (6)$$

Нічого не змінюється також, якщо спочатку у ФП проведена підміна параметру розподілу, а потім вважають розподілом саму суміш сигналу з вимірюємим параметром з шумом [1-7]. Все одно – змінюється розподіл суміші, тому що різниця сигналів з різними параметрами не рівна шуму. Це справедливо і для логарифму.

В усякому разі проводиться підміна параметру розподілу. Якщо цього не робити, то замість автокореляційної функції буде завжди тільки енергія сигналу, що призводить до абсурду.

Оцінимо наступні більш суттєві **парадокси** некоректного методу максимуму ФП.

Почнемо з точності.

Після возведення різниці $S(t, \lambda_u) - y(t)$ у квадрат одержимо ФП:

$$p(\lambda_u) = K_y \exp \left[-\frac{1}{N_0} \int_0^T S^2(t, \lambda_0)dt + \frac{2}{N_0} \int_0^T S(t, \lambda_0)y(t)dt - \frac{1}{N_0} \int_0^T y^2(t)dt \right].$$

«Потенціальну» точність «методу максимуму ФП» отримують наступним способом.

Якщо розкласти сигнал у сигнальної функції в ряд Тейлора і обмежитись другою похідною, або, що теж саме, апроксимувати його квадратичною параболою, то можна одержати формулу для «потенціальної» точності вимірювань:

$$\sigma_{\lambda_u}^2 = 1 / (q |\Psi''(0)|). \quad (7)$$

Якщо не поспішати возводити у квадрат різницю суміші і сигналу, а розложити у ряд Тейлора сам сигнал, то отримаємо [1-7 та ін.]:

$$\sigma_{\lambda_u}^2 = 1 / \left. \frac{d}{dt} l(\lambda_u) \right|_{\lambda_u = \lambda_0}^2, \quad (7a)$$

де $\Psi(\lambda_u, \lambda_0) = \frac{1}{E} \int_{-\infty}^{\infty} S(t, \lambda_u)S(t, \lambda_0)dt$ – нормована сигнальна функція, E – енергія

ргія сигналу.

У літературі є дві формули (7), і (7а), хоч вони суттєво відрізняються. Тобто, формулу (7а) не завжди можливо отримати з формули (7), чи навпаки.

Крім того, покажемо, що не було за що боротись – у методі максимуму ФП точність гірша, ніж у звичайних дискримінаційних методів.

Про це можна дізнатись просто з фізичної ситуації, коли використовуються сигнальна функція $\Psi(\lambda_u, \lambda_0)$, що зображена на рис. 3.

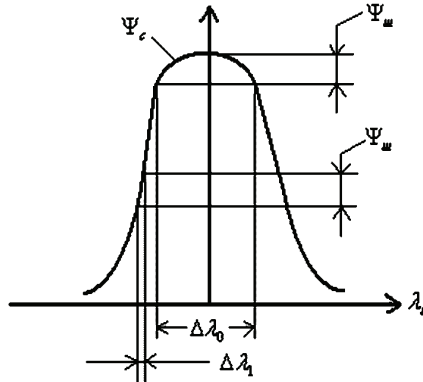


Рисунок 3 – Залежність точності вимірювань від крутизни сигнальної функції

Рівень шумової складової позначений символом

$$\Psi_{ш} = \frac{1}{N_0} \int_0^T n(t)S(t, \lambda_u) dt .$$

Згідно з принципом максимуму функціоналу правдоподібності потрібно знайти значення λ_u , що доставляє максимум ФП. На рівні максимуму нечутливість сигнальній функції надає шумова складова розміром $\Psi_{ш}$, що виливається в похибку або інтервал нечутливості $\Delta\lambda_0$. А якщо вимірювати у точці найбільшої крутизни при тієї ж нечутливості сигнальній функції $\Psi_{ш}$, то похибка або інтервал нечутливості буде $\Delta\lambda_1$, який значно менший. Тобто, похибку «максимуму ФП» даремно звать «потенціальною».

Тобто, метод максимуму ФП дає похибки значно гірші за похибки, наприклад, зв'язних різницевих схем – дискримінаційних.

При прямому пошуку максимуму цей метод ФП був би по суті методом екстремального регулювання зі своїми недоліками. Недоліком екстремального регулювання є також те, що при ньому неможливо за один вимір, тобто, при зміні параметру, визнати знак такої зміни.

А якщо шукати класичним диференційним методом, тобто, першу похідну прирівняти нулю, то все одно цей алгоритм гірше, тому що диференціювати треба суміш з випадковою величиною, що додає похибки. До того ж, схил ФП навколо його максимуму малий і потрібна більша кривизна. Тому

точність гірша. Намагатися збільшити кривизну або складно і не завжди доцільно. Тим більш, що сам метод ФП у згаданому варіанті невірний.

Формула потенціальної точності (7) визиває, крім того, недовіру також тим, що друга похідна, або кривизна, сигнальної функції навколо вимірюемого дійсного параметру λ_n може бути насправді будь-якою і може не впливати на точність. Тобто, більша кривизна не завжди відповідає більшій точності. Наприклад, теоретично для ідеального прямокутного імпульсного сигналу автокореляційна функція при вимірюванні затримки має вид трикутника, де на його піку нескінченно велика кривизна. Точність повинна бути дуже значна. Але, як нам відомо з реальних систем, на точність оцінювання параметру затримки це не впливає.

Формула «потенціальної точності» (7), на жаль, стала основою сигнального синтезу для вимірювальних систем. На жаль, вважають, що якщо для вимірюваного сигналу друга похідна від сигнальної функції вибрана якомога побільше, то це і є оптимальний сигнал.

Наприклад, для вимірювання затримки оптимальний сигнал згідно з теорією «потенціальної» точності повинен бути таким, щоб була максимальною ефективна ширина спектру.

$$\Delta f_e^2 = (2\pi)^2 \frac{\int_{-\infty}^{\infty} f^2 |S(f)|^2 df}{\int_{-\infty}^{\infty} |S(f)|^2 df}.$$

Це теж міф. Тому що, по-перше, у фазовому методі вимірювань використовується вузькосмугові гармоніки. Самі вчені [10] говорять, що багатошкальні вимірювачі не вписуються у метод ФП. По-друге, навіть у тієї ж формулі ефективна ширина спектру може стати більша у 4 рази при тієї ж енергії сигналу, якщо взяти тільки одну гармоніку з подвійною амплітудою. Але тут вже неясно, яку несучу частоту треба брати і як стабілізувати та визначити. Треба брати побільше. Тоді неоднозначність на одній шкалі не вирішує проблеми вимірів і тому такий синтез сигналу не внушає довіри. Не дарма фазові багатошкальні вимірювання не вписуються у метод максимуму ФП.

Аналогічно розмірковуючи, отримаємо, що для вимірів частоти сигнал повинен бути як дві дельта-функції за часом. Але таких вимірювачів також не було, тому що вони явно неоптимальні, навіть абсурдні, тому що потребують нескінченну смугу пропускання і приводять до малого відношення сигналу до шуму і малої точності. На практиці навпаки, використовують кращій сигнал – це гармонічний (доплерівський) сигнал. Такий же сигнал використовують також при фазових вимірах затримки сигналу, кутів і так інше, що також не вписуються у метод ФП.

Є і інші приклади некоректності «методу максимуму ФП».

Насторожує, що при збільшенні часу спостереження T енергія шуму тільки зростає і зменшує точність при заданій енергії сигналу.

Це також дивно. Тому що при малому часі інтегрування T буде велике значення взаємно кореляційної функції сигналу та шуму, а при великому часі T буде велике значення енергії шуму. Тобто, нібито існує оптимум точності за часом інтегрування за рахунок шуму при заданій енергії сигналу.

Якщо змодельовати процес формування ФП (4), то отримаємо схему рис. 4.

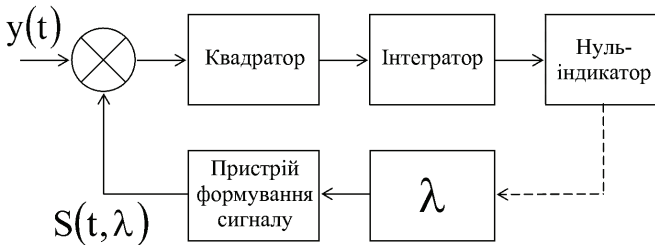


Рисунок 4 – Схема моделювання процесу формування ФП

Це по суті екстремальне регулювання зі своїми недоліками – з невизначеністю знаку розстройки з-за квадратора і з гіршою точністю. Пунктирною лінією зображено, так зване, екстремальне регулювання, тобто, автоматична або ручна зміна λ_n для відшукування і підтримки мінімального значення показань нуль-індикатора.

Але це був би диференціальний слідкуючий метод вимірювання, якщо б не було квадратора і у якості нуль-індикатора був звичайний вимірювач навіть малого діапазону і з великою кривизною. В будь-якому випадку параметр λ повинний бути апріорно відомим, опорним чи зразковим. А якщо завада достатньо сильно придушувалася б інтегратором, то це був би самий точний метод – нуль-метод.

Таким чином, для використовуємого ФП недоліком екстремального регулювання при прямому вимірі є порівняно гірша точність при заданій кривизні сигнальної функції (див. рис. 3) довкола дійсного значення параметра λ_n , а також невизначеність полярності ухилення параметру. А при використанні похідної від логарифму випадкового ФП точність ще гірше.

Значить, навіть сигнальна функція у максимумі неспроможна для використання у якості точного вимірювача.

Тому ФП доцільно використовувати тільки для обробки результатів багатократних вимірювань.

Якщо говорити про реальні системи, то при вимірюванні параметру сигналу доцільно використовувати сигнальну функцію з метою боротьби з шумом. І без квадратора. Але при цьому треба використовувати або її схили, або дискримінаційні схеми з попередньою фільтрацією, де майже пропорційний параметр, щоб виділяти сигнал похибки. Його можна відразу проградувати у значеннях параметру (розімкнутий зворотний зв'язок, а метод вимірів – диференціальний), або сигнал похибки використовувати для підстро-

ювання параметру сигналу (майже нуль-метод вимірів) при стежувальному методі. Це буде замкнута пошукова система. Пунктирна лінія буде суцільною.

Звісно, можливі й інші структури (і алгоритми) для пошуку оцінки параметру сигналу. Але вони отримані не за критерієм максимуму функціоналу правдоподібності, а за принципами метрології, які треба доповнити новими принципами для застосування в радіоелектронних системах.

Є і **інші недоліки існуючої теорії вимірів**. Наприклад, існує думка [1-7 та ін.], що оцінювання параметру або вектору параметрів сигналу в умовах впливу гаусових завад можливо для довільно широкої апіорної невизначеності при використанні функціоналу щільності розподілу апостеріорної ймовірності. Це не так. Апіорний діапазон реальних вимірювачів визначається розмірами функціональних характеристик реальних вимірювачів, яких нема в теорії «максимуму ФП».

Це теж повинно насторожувати читача.

У деякому вигляді їх може замінити сигнальна функція, що все одно повинна бути зв'язана з фізичним діапазоном параметру.

У реальних систем буває розподіл функцій боротьби з завадами і боротьби за точність вимірювань. Тому функціональні характеристики вимірювачів можуть бути не зв'язані з формою сигнальних функцій. Але реальний апіорний діапазон завжди повинен бути пов'язаний з функціональною характеристикою вимірювача.

Крім цього, широкий апіорний діапазон стає протиріччю показнику точності. За високу точність вимірювача часто платять зменшенням реального апіорного діапазону для підвищення чутливості приладів. В інститутах еталонів та стандартів це частіше і використовується, коли відношення потужностей сигналу до завад обмежене.

Цього також нема у некоректному «методі максимуму ФП». Нема в цій теорії також багатошкільних систем та чітких вказівок на те, як будувати багатошкільні системи, як їх оптимізувати. Нема також поняття «чутливості», що є в метрології та в реальних системах.

Викладене можна поширити на будь-які методи оцінювання, будь-які вектори і процеси параметрів, де використовуються такі вимірювачі.

Усе сказане стосується також дискретних систем зв'язку, тому що вони для виявлення або розрізнення дискретних сигналів з деякого алфавіту також використовують функцію фільтрації або автокореляції. І тут ФП ні до чого.

Тому потрібна нова адекватна теорія радіоелектронних вимірювань, що повинна відбивати всі нюанси вимірювань: фізичний апіорний інтервал, дискримінаційну характеристику, апертуру дискримінатору, оперативність вимірів, енергетичний потенціал, довіру до оцінок та вартість вимірювача.

Висновки.

1. Метод максимуму функціонала правдоподібності придатен лише для обробки результатів вимірювань.

2. Використання способу інтегрального представлення ФП [1-7 і т.і.] загальмував природний розвиток теорії вимірювальних систем, тому що пішов хибним шляхом. Результати синтезу за ФП систем різного ступеня складності, їх параметрів та сигналів потребують перегляду.

3. Метод максимуму ФП не враховує функціональні характеристики реальних вимірювачів й їх реальні показники якості: чутливість, реальний (фізичний) діапазон, апертуру характеристики вимірювача, оптимальне узгодження цього діапазону з апертурою функціональної характеристики і т.ін.

Список літератури: 1. Вудворд Ф.М. Теория вероятности и теория информации с применением в радиолокации / Ф.М.Вудворд. – М.: Сов. радио, 1968. 2. Бакут П.А. Вопросы статистической теории радиолокации. Т. 1, 2. / П.А.Бакут и др. – М.: Сов. радио, 1964. 3. Ширман Я.Д. Обнаружение радиолокационных сигналов и измерение параметров / Я.Д.Ширман. – М.: Сов. радио, 1969. 4. Гуткин, Л.С. Проектирование радиосистем и радиоустройств. / Л.С. Гуткин. – М.: Радио и связь, 1986. – 288 с. 5. Фалькович С.Е. Оценка параметров сигнала / С.Е. Фалькович. – М.: Сов. радио, 1980. – 336 с. 6. Дулевич В.Е. Теоретические основы радиолокации / В.Е.Дулевич и др. – М.: Сов. радио, 1964. – 732 с. 7. Володарский В.Я. О предельно достижимой точности измерения заданной величины / В.Я.Володарский // Измерительная техника. – М.: 1973. – № 1. 8. Вакман Д.Е. Сложные сигналы и тело неопределенности в радиолокации / Д.Е. Вакман. – М.: Сов. радио, 1966. 9. Кук Ч. Радиолокационные сигналы. Теория и применение / Ч.Кук, М.М. Бернфельд. – М.: Сов. радио, 1971. 10. Канцедал В.М. Сравнение качественных показателей многошкальных систем с теоретическими предельными / В.М.Канцедал, С.Е. Фалькович // Радиотехника и электроника. – М.: 1977. – Т. XXII. – С. 618-621. 11. Белагин О.В. Основы радионавигации / О.В.Белагин. – М.: Сов. радио, 1974. 12. Кошевой В.М. Синтез пары «сигнал-фильтр» при дополнительных ограничениях / В.М.Кошевой, М.Б. Свердлик // Радиотехника и электроника. – М.: 1976. – Т. XXI, № 6. – С. 1227. 13. Колмогоров А.Н. Интерполяция и экстраполяция стационарных случайных последовательностей / А.Н.Колмогоров // Изв. АН СССР, сер. Математика. – 1941. – № 5. 14. Тихонов В.И. Статистическая радиотехника / В.И. Тихонов. – М.: Сов. радио, 1966. – 678 с. 15. Альошин Г.В. Оцінка якості інформаційно-вимірювальних систем / Г.В. Альошин. – Х.: УкрДАЗТ, 2009. – 300 с. 16. Алешин Г.В. Эффективность сложных радиотехнических систем / Г.В.Алешин, Ю.А.Богданов. – К.: Наукова думка, 2008. – 288 с. 17. Алешин Г.В. О корректности методов синтеза измерительных радиотехнических систем / Г.В. Алешин // Сб. Информационные системы. – Х.: НАНУ, ПАНИ, ХВУ, 1998. – Вып. 1.

Надійшла до редакції 12.10.2012

УДК 621.396

Межі застосування функціоналу правдоподібності при оцінці параметрів сигналу / Г.В.Альошин // Вісник НТУ «ХП». Серія: Техніка та електрофізика високих напруг. – Х.: НТУ «ХП», 2012. – № 52 (958). – С. 3-14. – Бібліогр.: 17 назв.

У роботі показано, чому метод максимуму ФП можна застосовувати тільки для обробки результатів вимірювань параметра сигналу і не слід застосовувати для вимірювань і чому він приводить до суттєвих помилок у теорії і побудові інформаційно-вимірювальних систем.

Ключові слова: функціонал правдоподібності, вимірювання, фільтрація сигналів, сигнальна функція.

There is issue in the work: why the maximum method of the limits likelihood function is possible to use for the measuring results work; why cannot to use for measuring and why it go to the big errors in the theory and building of the measure and information system.

Key words: likelihood function, measurings, signal filtration, signal function.