

## ВЪРХУ МЕТРОЛОГИЯТА НА ОКЕАНОЛОЖКИ ИЗМЕРВАТЕЛЕН ИНСТРУМЕНТ

Атанас Ал. Атанасов ИО-БАН Варна

## ON THE METROLOGY OCEAN SCIENCES MEASURING INSTRUMENTS

Atanas Al. Atanasov IO-BAS Varna

**ABSTRACT:** Based on the standard equations of accuracy is analyzed single-channel measuring system. Also examined is the dynamic error of open single channel measurement system. Link is displayed on the sensitivity of the reversible measurement system.

**KEY WORDS:** reversible measurement system dynamic incorrectness, single-channel measurement system

**ВЪВЕДЕНИЕ.** В процеса на разработването на измервателен океаноложки инструмент определена роля се пада на измервателния алгоритъм (характеристика на преобразуване). Той е продукт на развитието и на усъвършенстването на методите за оценка на точността при изучаването на физичните химичните и биологичните процеси, както и на съответните им градиентните промени. Не бива да се жалят сили и средства за постигането на желаната чувствителност и точност на съответния океаноложки инструмент при изследването на определени аномалии в морското тяло. Работният диапазон, чувствителността, зоната на неопределеност, класът на точност изграждат физиономията на океаноложкия инструмент. Обикновено тази физиономия се проверява от еталонна апаратура или от статистически анализ приложен към експериментално получени резултати от съответни измервания, както и от теоретично построена характеристика на преобразуване.

Нека разгледаме нормираното уравнение на измерването [1]:

$$\delta(x_i) = \left( \frac{\Delta_{(i,0)}}{x_i} \right) + \left( \frac{x_i}{x_{im}} \right) + \gamma$$

Където:  $\Delta_{(i,0)}$  е прагът на чувствителност на измервателния инструмент;

$x_i$  – текущо значение на измервания параметър;

$x_{im}$  – горен праг на чувствителност;

$\gamma$  – мултипликативна грешка (грешка на чувствителността)

Ако приемем, че  $x_i \rightarrow 0$ , респективно, че  $x_i \rightarrow \Delta_{(i,0)}$  (измервателния инструмент може да различи промяната в съответния параметър), то  $\delta(x_i) \rightarrow \infty$ .

Нека  $x_i \rightarrow x_{im}$  и приемем, че  $(\Delta_{(i,0)}/x_{im}) = \gamma_{(i,0)}$ , то

горната връзка можем да представим като:

$$\gamma = \gamma_{(i,m)} - (\gamma_{(i,0)} + 1), \text{ където}$$

$$\gamma_{(i,m)} = \delta(x_{im}) = \Delta_{(i,0)}/(x_{im})$$

е нормирана грешка на чувствителността спрямо горния праг  $\delta(x_{im})$  (приведена грешка на чувствителността).

Ако приемем, че  $(\Delta_{(i,0)}/x_{im}) = \gamma_{(i,0)}$ , при  $\Delta_{(i,0)} = const$  за работния диапазон  $(\Delta_{(i,0)} - x_{im})$  получаваме, че  $\gamma_{(i,m)} \rightarrow \gamma_{(i,0)}$ .

Ако приемем, че  $\left( \frac{x_i}{x_{im}} \right) = 1/B$ , то от връзките:

$$[\delta(x_i) = \left[ \left( \frac{\Delta_{(i,0)}}{x_i} \right) + \left( \frac{x_i}{x_{im}} \right) + \gamma \right] \text{ и } \gamma = [\gamma_{(i,m)} - (\gamma_{(i,0)} + 1)]$$

можем да получим следното уравнение:

$$\delta(x_i) = \gamma_{(i,m)} B - 1 = B [(\Delta_{(i,0)}/x_i) + 1] - 1.$$

Допускаме, че изследваният физически процес е стационарен в работния диапазон:

$(\Delta_{(i,0)} - x_{im})$ , с абсолютно отклонение от вида:  $\Delta = \Delta_i + \gamma_i x_i$ .

Приемаме, че приведената грешка на нулата е

$\gamma_{(i,0)} = \frac{\Delta_i}{x_{im}}$ , то за приведената грешка на текущото измерване

$(x_i)$  е в сила:  $\Delta/x_i = \delta(x_i) = (\Delta_i/x_{im})(x_{im}/x_i) + \gamma_i = (\gamma_{(i,0)}x_i) + \gamma_i + (\gamma_{(i,0)} - \gamma_i)(x_{im}/x_i) - 1 + [\gamma_i + \gamma_{(i,0)}]$ .

Ако приемем, че  $(\Delta_{(i,0)}/x_{im}) = \gamma_{(i,0)} = D$  е класът на точност на измервателния инструмент, то  $[\gamma_i + \gamma_{(i,0)}] = C$  е поправката с която трябва да се коригира резултата на измерването.

При валидно абсолютно отклонение с адитивен и с мултипликативен характер от вида:

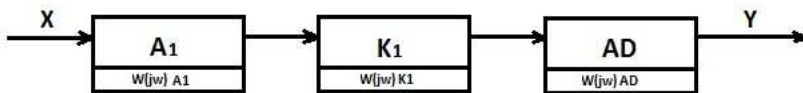
$(\Delta = \Delta_i + \gamma_i x_i)$ , приведената грешка спрямо текущото измерване е:

$$\delta(x_i) = (\Delta/x_i) = D[(x_{im}/x_i) - 1] + C.$$

Обикновено за приведената грешка спрямо текущото измерване е в

сила:  $\gamma_{(i,0)} \rightarrow \gamma_i$ , при което  $\delta(x_i) = D[(x_{im}/x_i) + 1]$ , респективно  $\delta(x_i) = F(D)$  е функция на класа на точност  $\delta(x_i) = F[\gamma_{(i,0)}]$ .

2. ИЗЛОЖЕНИЕ. Една класическа едноканална измервателна верига е показана на фигура 1. В своята структура тя включва:  $A_1$  - първичен преобразувател (трансформация на неелектричната входна величина в електрична),  $AD$  - аналого-цифров преобразувател,  $K_1$  - мащабен блок. При това  $X$  е входният сигнал (неелектрически), а  $Y$  - изходен сигнал [5].



Фиг.1 Едноканална измервателна верига.

Уравнението на преобразуване на едноканалната измервателна верига е [5]:

$$(1) Y = A_1 K_1 (AD)_1 X;$$

където:  $A_1$  - Коефициент на пропорционалност на трансформацията на неелектричната входна величина в електрична,  $K_1$  - мащабен коефициент  $AD_1$  - аналого-цифров преобразувател,  $X$  - входен сигнал (неелектрически),  $Y$  - изходен сигнал.

Приемаме, че измервателната верига работи в стационарен режим. При това, комплексните коефициенти на усилване са:  $W(jw)_A = A_1$ ; на първичния преобразувател и  $W(jw)_K = K_1$  на мащабния преобразувател.

За комплексния коефициент на усилване на аналого-цифровия преобразувател е валидно следното описание:

$$W(jw)[AD] = \begin{vmatrix} H & H_{(R)} \\ T & T_{(R)} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} H & 0 \\ T & 0 \end{vmatrix}$$

където:  $H$  е стъпка на квантоване по ниво;  $T$  - стъпка на квантоване във времето;  $H_{(R)}$  и  $T_{(R)}$  - бързодействие (преходни характеристики) на аналого-цифровия преобразувател.

Абсолютната грешка внесена в резултата на едноканалната измервателна верига за едно измерване е от вида:

$$(2) \Delta = \Delta_{A1} + \Delta_{AD} + \Delta_K = \Delta_M + \Delta_I = \Delta_M.$$

Където:  $\Delta_M$  е абсолютно отклонение на резултата от измерването от теоретичната характеристика на преобразуване;  $\Delta_I$  - инструментална грешка внесена от бързодействието. В стационарен режим на работа на измервателната верига е валидно  $\Delta_I = \Delta_M$ . Класът на точност на тази едноканална измервателна верига е:  $D = (\Delta_M/X_m)$ , където:  $X_m$  е максимален размер на измерената входна величина, при която се запазва целостта на измервателната структура. Направеният анализ показва значението на  $\Delta_I$  инструментална грешка внесена от бързодействието на измервателната верига.

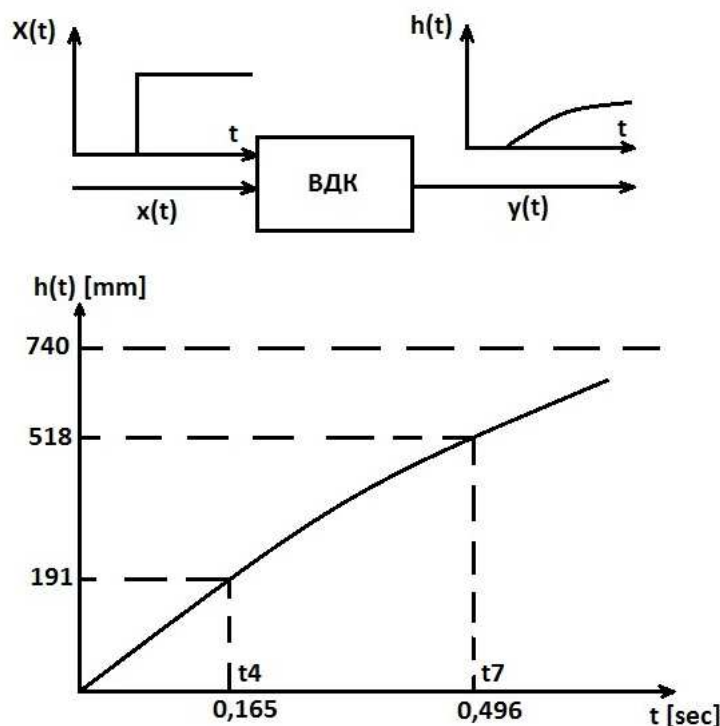
Нека разгледаме океаноложкия инструмент-ВДК, намерил единствено приложение за изследване на орбиталните вълнови скорости, което позволяват да се изяснят динамичните процеси в бреговата зона.

Характеристиката на преобразуване на ВДК е:

$$(3) V = (P/k)^{1/2}$$

където:  $V$  е моментната вълнова скорост;  $P$  - налягане върху приемната пластина на ВДК,  $k$  - коефициент на пропорционалност определен от специфичността на прибора и от плътността на водната среда.

За оценка на инструменталната грешка, внесена от бързодействието на ВДК, ще анализираме преходната мухарактеристика. Разглеждаме измервателния инструмент като „черна кутия“, на входа, на която внасяме единично въздействие  $X_{вх.} = 100[g]$ , а на изхода фиксираме преходната характеристика  $H(t, \infty) = 740[mm]$  (фиг.1). При  $k=0,8$  за ВДК от израза  $V = (P/k)^{1/2}$  получаваме, че на  $H(t, \infty)$  отговаря скорост  $V = 30[sm/sek]$ .



Фиг.2 Преходна характеристика на ВДК.

Като помощен инструмент на изследването на преходната характеристика е използван интерполационния анализ „метода на Орманс“, който позволява по няколко точки от експериментално снета преходна характеристика да се направи апроксимация към типови диференциални уравнения (Петков 1972, с.69-72) [2].

Преходната характеристика на ВДК, показана на фиг.2, за по голяма достоверност апроксимираме с диференциално уравнение от втори порядък (по метода на Орманс):

$$(4) T_1 T_2 (d^2 Y(t)/dt^2) + (T_1 + T_2) (dY(t)/dt) + Y(t) = K_0 X(t)$$

Съответната предавателна функция е :

$$(5) W(p) = K_0 / [T_1 T_2 p^2 + (T_1 + T_2)p + 1]$$

Ако преминем от временната в честотната област (приемем  $p = j\omega$ ) то за комплексен коефициент на усилване на ВДК получаваме:

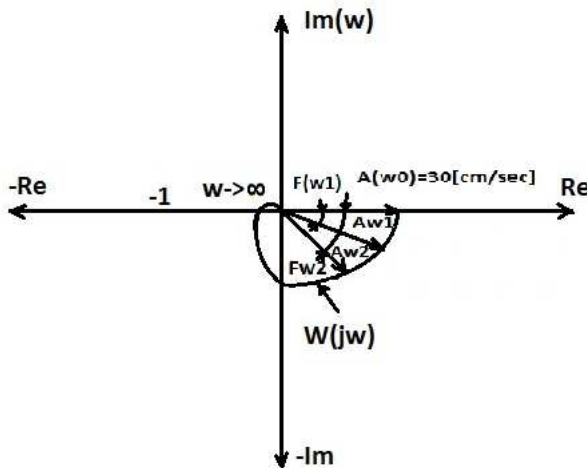
$$(6) W(j\omega) = K_0 / [1 - T_1 T_2 \omega^2 + j\omega(T_1 + T_2)] \\ = 30 / [1 - (0.297 - 0.15)\omega^2 + j\omega(0.297 + 0.15)]$$

Съответните амплитудно – честотни и фазо-честотни характеристики са от вида [2]:

(7)  $A(w) = \text{mod } W(jw) = 30 / \{[(1 - w^2 \cdot 0.15 \cdot 0.297)^2] + 0.15 \cdot 0.297 w^2\}^{1/2}$  - амплитудно-честотна характеристика и

(8)  $F(w) = - \text{arg. } W(jw) = \text{arctg} (0.297 + 0.15)w / (1 - (0.297 \cdot 0.15)w^2) = - \text{arctg} 0.447w / (1 - 0.0445w^2)$  - фазочестотната - характеристика.

С промяна на честотата  $w: (0 - \infty)$  [Hz] от изразите за  $A(w)$  и за  $F(w)$  получаваме ходографа на комплексния коефициент на усилване  $W(jw)$  на ВДК, показан на фигура 3.



Фиг.3 Ходограф на комплексния коефициент на усилване на ВДК.

Изменението на честотата на колебания на орбиталните вълнови скорости от 0-10(Hz), води до промяна на  $A(w)$  в диапазона 30[cm/sec]- 5,5[cm/sec], със съответни фазови отклонения  $F(w); 0^0 - (-130^0)$

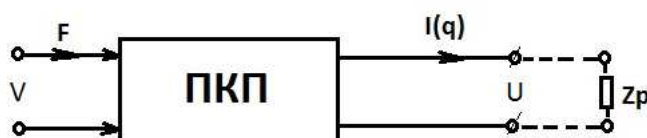
Промяната в честотата на колебания на орбиталните вълнови скорости от 0- 0.5(Hz) води до промяна на  $A(w)$  в диапазона 30[cm/sec] – 28.9[cm/sec] със съответни фазови отклонения  $F(w) - [0^0 - (-13^0)]$ .

Тези изменения определят динамична абсолютна грешка  $\Delta_M = 1,1$  [sm/sec] . Съответният клас на точност при  $X_m = 1,2$  (m/s) на ВДК е:  $K_{T(ВДК)} = \Delta_M / X_m \cdot (100) = 0,9$ . При това резултатът от измерването се оказва дефазирен на ъгъл  $(-13^0)$ .

3. ИЗВОДИ. Физиономията на метрологичната характеристика на океано-графския инструмент се определя от долния праг на чувствителност и от инструментална грешка  $\Delta_M$ . Не по малка е ролята и на горният праг на чувствителност  $X_m$ , който определя и работния диапазон. Направеният анализ на експериментално снетата преходна характеристика на ВДК и последващата интерполация по метода на Орманс е добра основа за оценка на бързодействието и на  $-\Delta_M$  инструменталната грешка . Горният праг на чувствителност, гарантиращ функционалността и целостта на измервателния инструмент  $X_m$ , е в основата на клас на точност  $K_{T(ВДК)} = \Delta_M / X_m \cdot (100)$  на океаноложкия измервателен инструмент.

Показаният анализ на бързодействие може също да намери приложение за идентификация на преобразуватели, които са в динамичен режим на работа.

Нека анализираме обратимия преобразувател- пиезочермичния блокова схема, на който е показана на фигура 4.



Фиг.4 Схема на обратим пиезочермичен преобразувател

Тъй като чувствителността е отношение на изходната реакция спрямо входното въздействие, за четирите променливи на този преобразувател ( $F$ -сила,  $V$ - преместване,  $U$  – напрежение и  $I$ - ток), можем да получим осем отношения, по четири за всяко направление.

Обикновено, пиезокерамичният преобразувател работи в двигател – генераторен режим, преобразувайки механичното въздействие в електричество, което ни позволява да приемем за входна страна механичната [4]. При това, отношенията за чувствителността могат да се сведат до четири (фиг.4):

$$(9) E1 = U/F; E2 = q/F; E3 = U/V; E4 = q/V$$

За горните връзки са валидни следните отношения:

$$\begin{aligned} U &= q/C_U + k_1 f_U & F &= k_1 f_q + S_q U \\ (10) \quad q &= C_U U - k_2 e_U & F &= k_2 e U + S_U V \\ U &= q/C_F + k_3 g F & V &= -k_3 g q + F/S_q \\ q &= C_F U - k_4 d F & V &= -k_4 d U + F/S_U \end{aligned}$$

коэффициентите от  $K_1$ - $K_4$  са с размерност на дължина или имат нулева стойност. Останалите коэффициенти имат следния смисъл:

капацитет при застопорен кристал-  $C_V = q/U$  при  $V=0$  ;

капацитет при свободен ход  $-C_F = q/U$  при  $F=0$ ;

еластичност на празен ход  $-S_q = F/V$  при  $q=0$ ;

еластичност в режим на късо  $-S_u = F/V$  при  $U=0$ .

Между тези коэффициенти е валидна следната връзката:  $S_U/S_q = C_V/C_F$

От уравненията (9) и (10) получавме [4] :

$$(11) E1 = k_3 g / (1 + 1/C_F p Z); \quad E2 = k_4 d / (1 + C_F p Z);$$

$$E3 = k_1 f / (1 + 1/C_V p Z); \quad E4 = k_2 e / (1 + C_V p Z),$$

където:  $pZ$  е електрическият товар на генераторния изход.

Чувствителността на практика се определя от екстремалните режими на: празен ход ( $pZ = \infty; q = 0$ ) и късо ( $pZ = 0; U = 0$ ).

За тези режими са валидни следните връзки:

$$(12) E1_q = U/F = k_3 g \text{ при } q=0; \quad E2_U = q/F = k_4 d \text{ при } U=0$$

$$E3_q = U/V = k_1 f \text{ при } q=0; \quad E4_U = q/V = k_2 e \text{ при } U=0$$

Където:  $g, d, f, e$  са пиезокерамични константи, които еднозначно определят чувствителността на преобразувателя двигател-генератор.

Анализът на изходната метрологична характеристика – чувствителност на комплексния преобразувател е труден. Той илюстрира взаимната връзка и обусловеност между метрологична характеристика (чувствителност) и градивната пиезокерамика.

Литература

1. Атанасов, А.А. 2005. Метрологичен модел на океаноложки измервателен инструмент. Варна, Океанология. том.5 с.293-298.
2. Наплатанов, Н. 1971. Теория автоматического регулирования. С. Техника. том 1 с.526.
3. Петков, Тр. 1972. Идентификация объектов для автоматизации. С. Техника. с 412.
4. Харкевич, А.А. 1973. Теория Электроакустических Преобразователей. М. Наука. том 3 с.398.
5. Цветков, Э.И. 1998. Погрешности результата измерений. Измервательная техника. Кн.12. с.12-18.

За контакти:

Доц. д-р инж. Атанас Атанасов, e-mail: nasi47@abv.bg

9000 Варна, ПК 152

Институт по Океанология – БАН

Тел.: 052/710 258; 052/370 486(111)