УДК 621.317.39

ПРОГНОЗИРУЮЩИЕ ИЗМЕРИТЕЛИ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

к.т.н. Черный С.В.
(представил д.т.н., проф. В.Н. Чинков)

Предложен подход к построению измерителей, выполняющих функции прогноза измеряемых физических величин. В основе прогнозирования - измерение высших производных и вычисление прогнозируемого значения при помощи ряда Тейлора.

Одним из перспективных направлений применения датчиков производных высокого порядка (ДПВП) [1] является построение на их основе измерителей прогнозирующего типа. Для построения такого измерителя необходимо выходные сигналы ДПВП просуммировать с весовыми коэффициентами, которые соответствуют коэффициентам ряда Тейлора:

$$\mathbf{Y}(\mathbf{t}+\Delta\mathbf{t})=\sum_{\mathbf{i=0}}^{\mathbf{n}}\mathbf{Y}^{(\mathbf{i})}(\mathbf{t})\frac{\Delta\mathbf{t}^{\mathbf{i}}}{\mathbf{i!}},\Delta\mathbf{t}=\frac{\Delta\mathbf{x}}{\mathbf{V}}, \tag{1}$$

где $\Delta\mathbf{t}$ - интервал прогноза по времени; $\Delta\mathbf{x}$ - интервал прогноза по дальности (при движении измерителя в физическом поле измеряемой величины); $\mathbf{V}$ - скорость движения измерителя относительно поля.

Точность прогноза измеряемой физической величины предлагаемым измерителем зависит от следующих факторов:

- аналитичности измеряемой величины;
- точности измерения производных;
- радиуса сходимости ряда Тейлора для измеряемой величины;
- количества измеряемых производных.

Рассмотрим точность прогноза при отсутствии шумов измерения. При условии аналитичности измеряемой величины, в пределах радиуса сходимости ряда Тейлора, при достаточно большом количестве его членов, для ДПВП варианта 1 [1] передаточная функция от измеряемой величины к ошибке прогноза определяется выражением:

$$W_\varepsilon(S,\Delta t)=\left(\frac{K_0}{K_n}-\frac{K_0}{S^n+\sum\limits_{j=1}^{n}K_jS^{n-j}}\right)\sum_{i=0}^{n}S^{(i)}(t)\frac{\Delta t^i}{i!}, \tag{2}$$

При ограниченном числе измеряемых производных передаточная функция по ошибке принимает вид:

$$W_\varepsilon(S,\Delta t)=\left(\frac{K_0}{K_n}\exp(S\Delta t)-\frac{K_0}{S^n+\sum\limits_{j=1}^{n}K_jS^{n-j}}\sum_{i=0}^{p}S^{(i)}(t)\frac{\Delta t^i}{i!}\right). \tag{3}$$

Анализ приведенных передаточных функций показывает, что в данном случае ошибка прогноза определяется, с одной стороны, полосой пропускания измерителя, а с другой - количеством используемых для прогноза производных. При этом если K_n ограничен, то стремление уменьшить ошибку прогноза за счет увеличения числа используемых производных приводит к увеличению порядка ДПВП и росту его динамической ошибки. Поэтому может существовать оптимальная величина порядка ДПВП, при котором ошибка прогноза минимальна для заданного K_n. Амплитудно - фазовая частотная характеристика (АФЧХ) идеального прогнозирующего измерителя имеет вид:

$$W_{ЦЛЬ}(j\omega,\Delta t)=\frac{K_0}{K_n}\exp(j\omega\Delta t) \tag{4}$$

Выбор параметров прогнозирующего измерителя должен осуществляться так, чтобы его амплитудно - частотная характеристика (АЧХ) была постоянна на возможно большем интервале частот изменения измеряемой величины, а фазо - частотная характеристика (ФЧХ) приближалась к величине $\omega\Delta t$.

В некоторых случаях, в частности, при решении задач обнаружения событий по данным прогноза, ошибка по фазе играет большую роль, чем ошибка по амплитуде. Поэтому рассмотрим детально аналитическое выражение ошибки прогноза по фазе:

$$\Delta\varphi = \omega\Delta t + \sum_{q=1}^{l} \operatorname{arctg}\frac{\omega}{a_q} + \sum_{p=1}^{r} \operatorname{arctg}\frac{2\xi_p\omega_p\omega}{\omega_p^2 - \omega^2} -$$

$$- \operatorname{arctg}\left(\omega\Delta t \frac{1 - \omega^2 \frac{\Delta t^2}{3!} + \omega^4 \frac{\Delta t^4}{5!} - \ldots}{1 - \omega^2 \frac{\Delta t^2}{2!} + \omega^4 \frac{\Delta t^4}{4!} - \ldots}\right). \tag{5}$$

Для малых фаз прогноза $(\omega\Delta t \to 0)$ и малом запаздывании сигналов в ДПВП $\left(\frac{\omega}{a_q} \to 0\right)$ в случае, когда все корни характеристического уравнения ДПВП действительны и равны, это выражение может быть записано в виде:

$$\Delta\varphi = \omega\Delta t + n\frac{\omega}{\omega_0} - \omega\Delta t \frac{1 - \omega^2 \frac{\Delta t^2}{3!} + \omega^4 \frac{\Delta t^4}{5!} - \ldots}{1 - \omega^2 \frac{\Delta t^2}{2!} + \omega^4 \frac{\Delta t^4}{4!} - \ldots}. \tag{6}$$

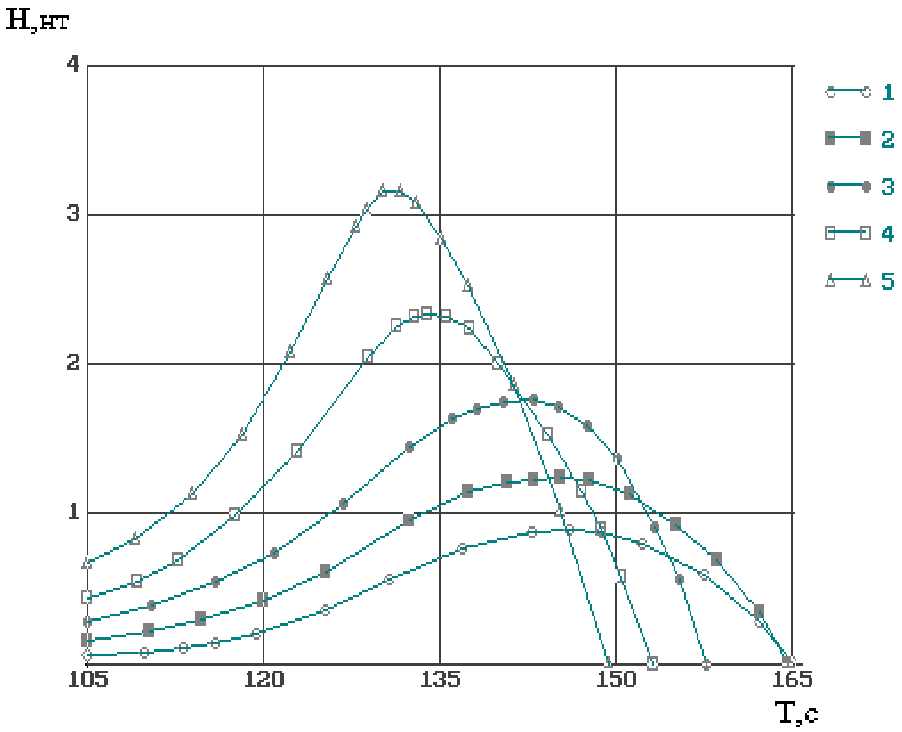
В предельном случае $(\omega\Delta t \to 0)$:

$$\Delta\varphi = n\frac{\omega}{\omega_0}. \tag{7}$$

Следовательно, в рассматриваемом прогнозирующем измерителе фактическая фаза прогноза будет всегда меньше величины $\omega\Delta t$ на величину $n\frac{\omega}{\omega_0}$, которая обусловлена запаздыванием информации в ДПВП.

Это обстоятельство можно учитывать, задавая при прогнозе величину Δt большей, чем задано по условиям конкретной задачи на величину $\frac{n}{\omega_0}$.

Результаты исследования работы прогнозирующего измерителя магнитного поля при приближении его к источнику аномалии магнитного поля, приведенные на рис. 1, показывают возможность прогноза измеряемой величины.



1- Δx=0 ; 2- Δx=200м ; 3- Δx=400м ; 4- Δx=800м ; 5- Δx=1000м ;

Рисунок 1 - Результаты прогноза аномального магнитного поля на различную дальность при приближении измерителя к аномалии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Черный С.В. Метод интегральной компенсации и измерители высших производных физических величин / Системы обработки информации. Харьков: НАНУ, ХВУ, 1998.- 160 с.