

ВОССТАНОВЛЕНИЕ БЫСТРЫХ ПРОЦЕССОВ, ИСКАЖЕННЫХ ПРИ ПРОХОЖДЕНИИ ИНТЕГРИРУЮЩИХ СХЕМ

Гайкович К.П., Жилин А.В.

Институт физики микроструктур РАН, ГСП-105, Н. Новгород - 603950, Россия

Тел.: (8312)675037; факс: (8312)675553; e-mail: gai@ipm.sci-nnov.ru

Аннотация – Разработаны алгоритмы восстановления быстропротекающих процессов на входе интегрирующих схем по наблюдаемому выходному сигналу, основанные на теории некорректных задач Тихонова.

I. Введение

Задача восстановления истинной формы процесса по отклику на этот процесс, измеряемому на выходе интегрирующих RC-цепочек, возникает в тех случаях, когда существенные изменения входного сигнала происходят за время, малое по сравнению со временем интегрирования. С такой проблемой приходится иметь дело, когда для измерений используется готовый прибор, в котором нельзя изменить параметры интегрирующей схемы. Это довольно часто встречается при СВЧ-радиометрических измерениях (см., например, [1]), где для уменьшения флуктуационного порога стремятся по возможности увеличивать постоянную интегрирования. Аналогичную задачу нам приходилось решать и в [2]. В данной работе для решения подобных задач разработаны алгоритмы, основанные на строгой теории некорректных задач Тихонова.

II. Основная часть

Сформулированная задача в общем виде сводится к решению интегрального уравнения типа свёртки

$$T_B^m(t) = \int_{-\infty}^t T_B(\tau)F(t-\tau)d\tau, \quad (1)$$

где для определённости $T_B^m(t)$ – динамика яркостной температуры излучения, измеряемая на выходе радиометра, T_B – яркостная температура на его входе, F – передаточная функция. Передаточная функция легко может быть найдена экспериментально по отклику на короткий импульс или на скачок сигнала на входе. Для простой RC-цепочки (1) представляется как

$$T_B^m(t) = \int_{-\infty}^t T_B(\tau) \frac{1}{\tau_0} \exp\left(-\frac{t-\tau}{\tau_0}\right) d\tau, \quad (2)$$

где τ_0 – время интегрирования RC-цепочки.

Решение интегральных уравнений Фредгольма 1-го рода, к которым принадлежит и уравнение (1), является некорректной задачей [3], то есть без применения методов регуляризации, основанных на использовании различных видов дополнительной (априорной) информации о точном решении, погрешность решения может быть сколь угодно велика при сколь угодно малой погрешности исходных данных.

Это легко показать на примере уравнения (2), для которого нетрудно получить решение в явном виде:

$$T_B(t) = T_B^m(t) + \tau_0 \frac{dT_B^m}{dt}(t). \quad (3)$$

Можно видеть, что соотношение (3) содержит производную от исходных данных, задача вычисления которой при наличии в данных случайной погрешности является хорошо известной некорректной задачей [3]. В данном случае проблему часто решают путём сглаживания экспериментальных данных, например, путём аппроксимации полиномами с заданной точностью (см., например, [4]). Однако правильный подход к решению задачи заключается в использовании математически строгой теории некорректных задач [3].

Если искомое решение (процесс на входе интегрирующей схемы) является непрерывной функцией, то для решения могут быть использованы алгоритмы, основанные на методе обобщённой невязки Тихонова [3]. Во-первых, можно применять алгоритм метода обобщённой невязки для произвольных уравнений Фредгольма 1-го рода; во-вторых, можно использовать специфику уравнений типа свёртки и применять алгоритм, который основан на свойствах преобразования Фурье для свёртки.

Результаты численного моделирования и применения обоих подходов показывают, что у каждого из них имеются свои преимущества. Общий алгоритм позволяет восстанавливать исходный процесс во всём заданном интервале, тогда как при использовании преобразования Фурье на краях интервала возможны сильные искажения. Ширина зоны искажений на краях определяется локальным носителем ядра (1) (областью, где ядро существенно отлично от нуля) и составляет величину, в несколько раз превышающую τ_0 . С другой стороны, возможность использования быстрого преобразования Фурье позволяет сделать второй подход во много раз более быстрым.

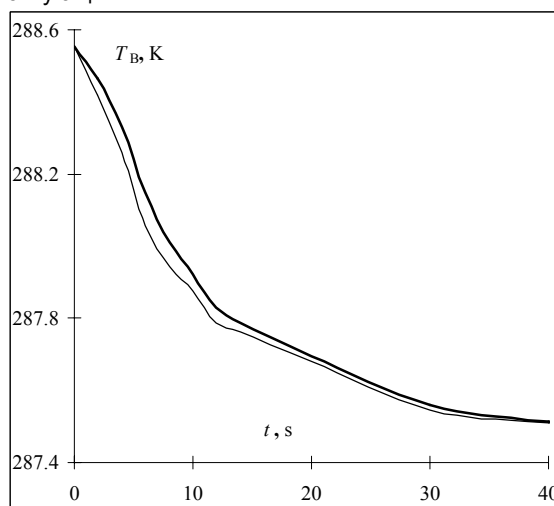


Рис.1. Яркостная температура на выходе радиометра (верхняя кривая) и её восстановленная динамика на входе (нижняя кривая).

Fig.1. Output radiobrightness (upper line) and retrieved input radiobrightness (lower).

На рис.1 представлены результаты восстановления динамики яркостной температуры водной среды, связанной с её обдувом по данным [1]. В данном случае применялся первый (общий) подход, поскольку наибольший интерес представлял именно начальный период динамики.

На рис.2-3 представлены результаты численного моделирования и восстановления по экспериментальным данным [2] магнитного поля над сверхпроводящей плёнкой с помощью сканирующей системы. В данном случае, поскольку основные особенности поля наблюдались в середине интервала восстановления использовался метод на основе использования преобразования Фурье.

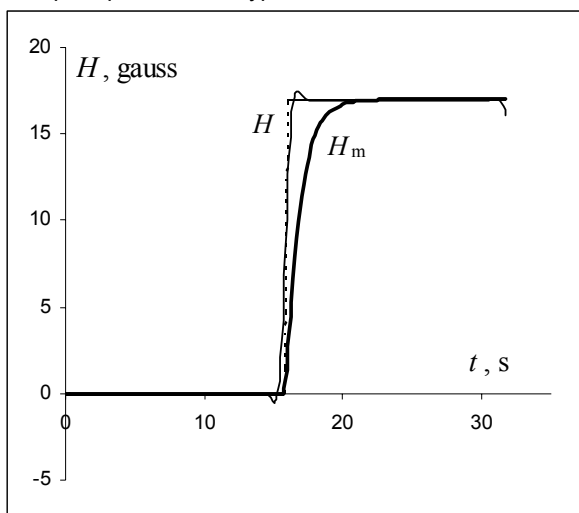


Рис.2. Численное моделирование восстановления скачка магнитного поля (H_m – исходные данные на выходе интегрирующей схемы; H – восстановленный скачок).

Fig.2. Numerical modeling of the retrieval of magnetic field step-function overfall (H_m – measured data, H – retrieved overfall).

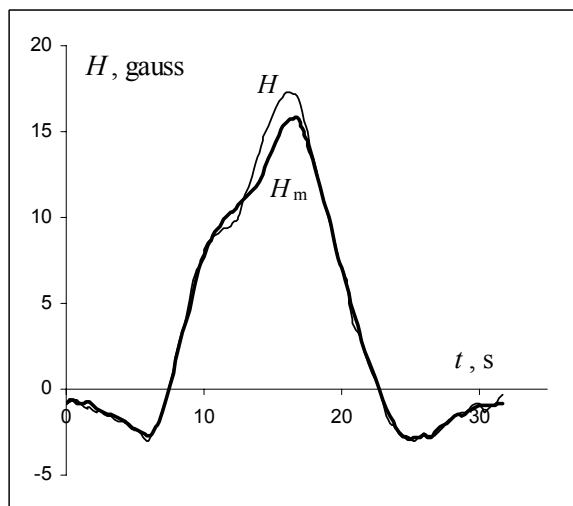


Рис.3. Восстановление магнитного поля по экспериментальным данным.

Fig.3. Retrieval of magnetic field by experimental data.

Представленные результаты показывают, что, как и следовало ожидать, наибольшее отличие процесса на выходе интегрирующих схем от процесса на их входе (искажение) имеет место в интервалах, где имеет место быстрая динамика. При этом методы восстановления, основанные на теории Тихонова, позволяют минимизировать погрешности восстановления.

III. Заключение

Таким образом, представленные результаты показывают эффективность разработанных алгоритмов восстановления быстрых процессов на входе интегрирующих схем по сигналу на их выходе.

Работа выполнена при поддержке РФФИ грант № 01-02-16432.

IV. Список литературы

- [1] Гайкович К.П., Троицкий П.В. Изв. вузов. Радиофизика, 1997, т.40, № 3, с.351-377.
- [2] Zhilin A.V., Gaikovich K.P., Nozdryn Y.N., Reznik A.N. Proceedings of 2000 International Conference on Mathematical Methods in Electromagnetic Theory MMET*2000 (Kharkov, Ukraine, 12-15 September 2000), v.2, pp. 601-603.
- [3] Тихонов А.Н., Гончарский А.В., Степанов В.В., Ягола А.Г. Регуляризирующие алгоритмы и априорная информация. М.:Наука, 1983. 200 с.
- [4] Гайкович К.П., Кутай Ш.Д. Исследование Земли из космоса, 1982, № 5, с.54-58.

RETRIEVAL OF FAST PROCESSES DISTORTED BY INTEGRATING CIRCUITS

Gaikovich K.P., Zhilin A.V.
 Institute for Physics of Microstructures RAS, GSP-105
 Nizhny Novgorod – 603950, Russia
 phone: (8312)675037, fax: (8312)675553
 e-mail: gai@ipm.sci-nnov.ru

I. Introduction

Algorithms for retrieval of rapid processes by the output of integrating circuits based on Tikhonov's theory of ill-posed problems have been worked out. It is important in cases when the time of changes of an input signal is shorter than the integration time of a capacitance integrator.

II. Main part

The problem for consist of the solution of the convolution equation (1) (written for the case of radiometric radiobrightness measurements), which for the simple capacitance integrator can be reduced to the equation (2). This equation has an exact solution (3), and one can see that it is an ill-posed problem because (3) includes a derivative of measured data.

The true approach to solution of these integral Fredholm equations of the 1-st kind consist of the application of Tikhonov's method of generalized discrepancy [3]. Two algorithms have been worked out. First of them is the algorithm to solve an arbitrary integral Fredholm equation; the second one uses the Fourier-transform for equations of the convolution type. Each of them has its advantages. In Fig.1 one can see results the retrieval of the fast radiobrightness dynamics using the first algorithm. The results of numerical modeling and retrieval of the magnetic field dynamics by experimental data using the second algorithm are shown in Figs.2,3.

III. Conclusion

Results show the effectiveness of both algorithms based on Tikhonov's theory of ill-posed problems to retrieve fast processes by output signals of integrating circuits in various applications.