

УДК 533.9.083:519.67]:53756

Ю.С. Ямпольский, канд. техн. наук, проф.,  
В.П. Нокель, канд. техн. наук, доц.,  
С.Т. Тибаев, магистр,  
Одес. нац. политехн. ун-т

## ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СТАБИЛИЗАЦИИ УСИЛЕНИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ИНФОРМАТИВНОСТИ ХАРАКТЕРИСТИК ЗОНДА

Ю.С. Ямпольский, В.П. Нокель, С.Т. Тибаев. Застосування системи автоматичної стабілізації підсилення для підвищення інформативності характеристик зонда. Розроблено метод підвищення інформативності вольтамперних характеристик (ВАХ) зонда для розрахунку базових параметрів іонізованого газу. Запропонований метод істотно збільшує точність та інформативність вимірювань, вилучивши вплив нелінійностей зондових датчиків на результати експерименту.

*Ключові слова:* датчик, зонд, нелінійність, вольтамперна характеристика, аналізуюча напруга, вимірювальна система, плазма.

Ю.С. Ямпольский, В.П. Нокель, С.Т. Тибаев. Применение системы автоматической стабилизации усиления для повышения информативности характеристик зонда. Разработан метод повышения информативности вольтамперных характеристик (ВАХ) зонда для расчета базовых параметров ионизированного газа. Предложенный метод существенно увеличивает точность и информативность измерений, исключив влияние нелинейностей зондовых датчиков на результат эксперимента.

*Ключевые слова:* датчик, зонд, нелинейность, вольтамперная характеристика, анализирующее напряжение, измерительная система, плазма.

Y.S. Yampolsky, V.P. Nokel, S.T. Tibaev. Application of automatic gain stabilization system for more informative probe characteristics. A method is developed for more informative probe current-voltage characteristics (CVC) of the probe to calculate the basic parameters of the ionized gas. The proposed method significantly increases the accuracy and informativeness of measurements, excluding the impact of nonlinearities of the probe on the experimental results.

*Keywords:* sensor, probe; nonlinearity, current-voltage characteristic, analyzing voltage, measurement system, plasma.

В плазменных экспериментах часто возникает ситуация, когда наиболее информативные участки энергетических характеристик — вольтамперных характеристик (ВАХ) датчиков параметров плазмы не регистрируются из-за распределения большинства опросных точек телеметрического канала на неинформативных, пологих участках характеристик.

Погрешность конечного результата обработки ВАХ для получения динамики изменения параметров ионизированного газа в процессе вариации механических нагрузок в газотурбинных двигателях (ГТД) напрямую зависит от погрешности измерения самой ВАХ [1].

Несомненно, традиционные методы обработки ВАХ [2] предусматривают анализ полученных кривых на всем ее участке (рис. 1). На структурной схеме измерителя ВАХ.

При этом методе опроса датчика с линейной разверткой используется разбиение ВАХ на равномерные участки по оси напряжения  $U_A$  (рис. 2), с математической точки зрения — в соответствии с интегралом Ньютона. В качест-

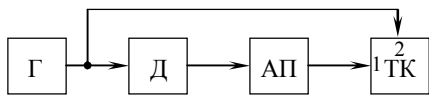


Рис. 1. Структурная схема измерителя ВАХ: Г — генератор анализирующего напряжения, Д — датчик, АП — амплитудный преобразователь, ТК — телеметрический канал

ве датчика используется двойной симметричный зонд Ленгмюра [3], применяемый в камере сгорания ГТД, поскольку он не чувствителен к скорости набегания ионизированного газа, которая связана с механическими нагрузками ГТД [1].

Как видно подавляющее большинство опросных точек — 3 из 6 — действительно фиксируется на неинформативных участках. Следовательно, нарастание во времени анализирующего напряжения  $U_A(t)$  не должно быть линейным. Не зная априори характер изменения ВАХ, нельзя задать закон изменения  $U_A(t)$ .

Задача состоит в создании системы опроса датчиков, автоматически регулируемую  $U_A(t)$  и адаптирующую его к характеру изменения тока  $i$  датчика, при этом измерительная система должна функционировать при анализе ВАХ любого датчика.

Аппаратурного решения этого вопроса можно добиться, используя способ автоматической стабилизации коэффициента передачи усилителей [3], при котором стабилизируется величина усиления между точками А и В и достигается поставленная задача — адаптации под ВАХ датчика анализирующего напряжения от генератора (рис. 3).

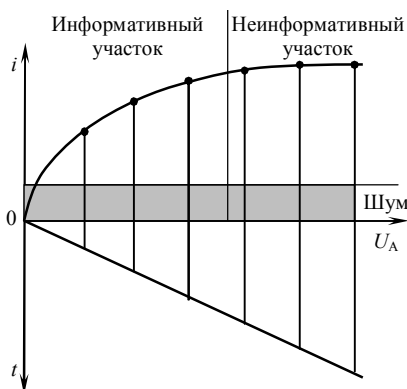


Рис. 2. Размещение опросных точек на ВАХ датчика при линейной развертке

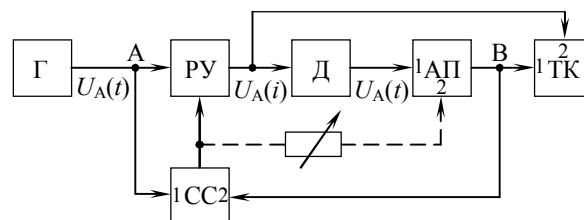


Рис. 3. Адаптивная структура измерения ВАХ:  $\Gamma$  — генератор анализирующего напряжения,  $\text{РУ}$  — регулируемый усилитель,  $\text{Д}$  — датчик,  $\text{АП}$  — амплитудный преобразователь,  $\text{ТК}$  — телеметрический канал,  $\text{СС}$  — схема сравнения

Пилообразные импульсы линейно изменяющегося анализирующего напряжения  $U_A(t)$  от генератора поступают на вход 1  $\text{СС}$ , где сравниваются с выходным сигналом  $\text{АП}$ , что поступает на вход 2, далее сигнал с выхода  $\text{СС}$  подается на входы 2  $\text{РУ}$  и  $\text{АП}$ . В регулируемом усилителе сигналы от  $\Gamma$  и  $\text{СС}$  перемножаются, и результирующий сигнал с  $\text{РУ}$  подается на датчик и на вход 2  $\text{ТК}$ . Анализирующее напряжение  $U_A(t)$  на выходе регулируемого усилителя повторяет обратную характеристику выходного напряжения датчика  $U_A(i)$  (рис. 4, а), это позволяет адаптировать анализирующее напряжение под ВАХ любого датчика, априори неизвестную. Нелинейность датчика компенсируется сигналом с  $\text{РУ}$  так, что форма зависимости тока  $i$  датчика повторяет форму линейного изменения напряжения  $U_A(t)$  генератора. С математической точки зрения, в предложенном методе обработки ВАХ происходит равномерное разбиение ВАХ по оси токов, наглядная интерпретация интеграла Лебега [4].

Переменная величина балансного резистора  $R$  (см. рисунок 3) между выходом схемы сравнения и входом 2 амплитудного преобразователя позволяет исключить маскировочный эффект шумов [5], а так же более равномерно распределить опросные точки на ВАХ. При крутом начальном участке часть опросных точек находится в шумах (рис. 4, а), поэтому необходимо несколько линеаризовать начальный участок ВАХ путем изменения величины балансного резистора  $R$  (рис. 4, б) так, чтобы первая опросная точка несколько превышала порог шума.

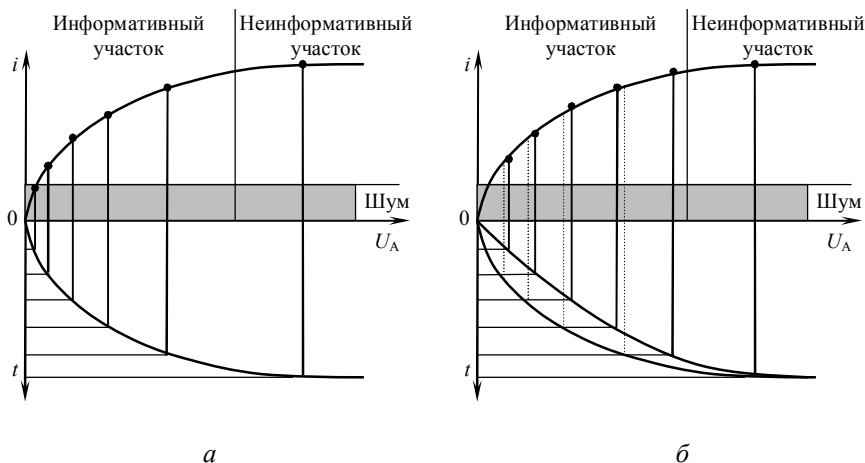


Рис. 4. ВАХ измерителя с: адаптивной структурой (а); адаптивной структурой с применением балансного резистора  $R$  (б)

Таким образом, применение системы автоматической стабилизации коэффициента передачи тракта А–В (см. рисунок 3) позволяет значительно увеличить информативность и точность измерений ВАХ во всем диапазоне анализирующих напряжений  $U_A(t)$ . Это приводит в конечном итоге к увеличению точности определения базовых параметров, концентрации  $N$  и электронной температуры  $U_E$  ионизированного газа в ГТД. Предложенная структура способна функционировать с ВАХ датчиков любого типа.

#### Литература

1. Иноземцев, А.А. Газотурбинные двигатели / А.А. Иноземцев, В.Л. Сандрацкий. — Пермь: ОАО “Авиадвигатель”, 2006. — 1176 с.
2. Гдалевич, Г.Л. Зондовые методы изучения ионосферы / Г.Л. Гдалевич // Ионосферные исследования. — М.: Наука, 1972. — № 18 — С. 95 — 119.
3. Анализ вычислительных алгоритмов для определения электронной температуры и концентрации плазмы в методе симметричного двойного цилиндрического зонда Ленгмюра: препринт — 1581 / Г.Г. Манагадзе, В.П. Нокель, Г.Л. Гдалевич и др. — М.: ИКИ АН СССР, 1989. — 9 с.
4. Колмогоров, А.Н. Элементы теории функций и функционального анализа / А.Н. Колмогоров, С.В. Фомин — Изд. 4-е, перераб. — М.: Наука, 1976. — 544с.
5. Учкан, Т. Асимметричный двойной зонд Ленгмюра: применение при малом сигнале / Т. Учкан // Приборы для науч. исслед. — 1987. — № 12. — С. 48 — 51.

#### References

1. Inozemtsev, A.A. Gazoturbinnyye dvigateli [Gas Turbine Engines] / A.A. Inozemtsev, V.L. Sandratskiy. — Perm, 2006. — 1176 p.
2. Gdalevich, G.L. Zondovyye metody izucheniya ionosfery [Probe Methods for Studying the Ionosphere] / G.L.Gdalevich // Ionosfernue issledovaniya [Ionospheric Research]. — Moscow, 1972. — # 18 — pp. 95 — 119.
3. Analiz vychislitelnykh algoritmov dlya opredeleniya elektronnoy temperatury i kontsentratsii plazmy v metode simetrichnogo dvoynogo tsylindricheskogo zonda Lengmyura [The Analysis of Computational Algorithms for Determining Electron Temperature and Plasma Concentration in the Method of Symmetrical Double Cylindrical Langmuir Probe]: preprint — 1581 / G.G. Managadze, V.P. Nokel, G.L. Gdalevich and others — Moscow, 1989. — 9 p.
4. Kolmogorov, A.N. Elementy teorii funktsiy i funktsional'nogo analiza [Elements of the Theory of Functions and Functional Analysis] / A.N. Kolmogorov, S.V. Fomin // 4<sup>th</sup> edition, revised. Moscow, 1976. — 544 p.

- 
5. Uchkan, T. Assimetrichnyy dvoynoy zond Lengmyura: primenenie pri malom signale [Asymmetric Double Langmuir Probe: Application in the Small Signal] / T. Uchkan // Pribory dlya nauchnykh issledovaniy [Instruments for Scientific Research]. — 1987. — # 12. — pp. 48 — 51.

Рецензент д-р техн. наук, проф. Одес. нац. политехн. ун-та Ситников. В.С.

Поступила в редакцию 12 декабря 2011 г.