

Робастность AQM систем с RED, PI и PID алгоритмами при изменении нагрузки трафика

В.И. Гостев¹, О.В. Невдачина¹, С.В. Кучер¹

Аннотация – In work it is investigated by a method of logarithmic frequency characteristics in interactive system MATLAB robustness AQM systems with RED, PI and PID algorithms at change of loading of the traffic. It is shown that these systems at the chosen parameters has good stability and robustness in a wide range of change of loading of the traffic.

Ключевые слова – активное управления очередью -AQM, робастность, RED, PI и PID алгоритмы.

I. ВВЕДЕНИЕ

Для телекоммуникационных систем с коммутацией пакетов характерно явление перегрузки, для борьбы с которым используют различные методы. Среди них важное место занимают методы управления очередью пакетов в маршрутизаторах. При пассивном управлении происходит отбрасывание пакетов, которые приходят во время, когда в соответствующей канальной очереди отсутствуют свободные места. Метод отбрасывания пакетов (**Tail Drop**) прост в реализации, но имеет ряд существенных недостатков, с которыми успешно справляются методы активного управления очередью - **Active Queue Management (AQM)**. Системы AQM, маркируют/отбрасывают определённую часть пакетов, которые попадают в маршрутизатор, до момента переполнения соответствующей канальной очереди. В работах [1-3] описаны линейно-ризованые системы AQM с **RED, PI и PID** алгоритмами как системы автоматического управления. В данной работе исследована устойчивость и робастность AQM систем с **RED, PI и PID** алгоритмами при изменении нагрузки трафика.

II. РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ

На рис.1 приведена блок-схема систем управления с обратной связью AQM с **RED, PI и PID** регуляторами. Подробное описание этих систем дано в [1-3]. Динамика объекта описывается передаточной функцией, которая представляет собой отношение по Лапласу переменной “длина очереди” к переменной “вероятность отбрасывания /маркировки пакета” и определена в [1-3]:

$$G_o(s) = \frac{\delta q(s)}{\delta p(s)} = \frac{\frac{(R_o C)^3}{(2N)^2} e^{-sR_o}}{\left(\frac{R_o^2 C}{2N} s + 1\right)(R_o s + 1)},$$

C - емкость связи (пакеты/сек), N - коэффициент нагрузки (число TCP сессий) $R_o = q/C + T_p$ - время

следования туда и обратно – **round trip time RTT** (в сек), T_p - задержка распространения (в сек).

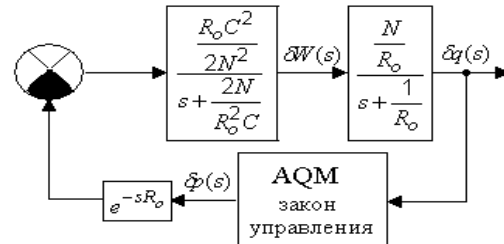


Рис. 1. Система AQM с RED, PI или PID законом управления

На рисунке: q - длина очереди (в пакетах), p - вероятность маркировки/ отбрасывания пакетов, $\delta q = q - q_o$, $p = p_o + \delta p$, q_o, p_o - значения длины очереди и вероятности маркировки/отбрасывания пакетов в рабочей точке. Передаточные функции **RED, PI и PID** регуляторов (AQМ законы управления) определены в работах [1-3] как

$$C_{red}(s) = \frac{L_{red}}{s/K + 1}, \quad G_{PI}(s) = K \frac{s/z + 1}{s},$$

$$W_{PID}(s) = \frac{K_i \left(\frac{K_d}{K_i} s^2 + \frac{K}{K_i} s + 1 \right)}{s}.$$

Передаточная функция скорректированных систем в разомкнутом состоянии определяется как $L(s) = G(s)G_o(s)$. Передаточную функцию звена запаздывания обычно аппроксимируют при помощи функции Паде. Для приближения Паде второго порядка можно записать ($\tau = R_o / 2$):

$$e^{-sR_o} = \frac{\frac{\tau^2}{3} s^2 - \tau s + 1}{\frac{\tau^2}{3} s^2 + \tau s + 1} \approx \exp(-2\tau s).$$

Определена робастность систем (см. рис.1), скорректированных **RED, PI и PID** регуляторами при изменении коэффициента нагрузки трафика N путем исследования логарифмических амплитудно-частотных характеристик (ЛЧХ) систем и определения запасов устойчивости по модулю и по фазе (диаграмм **Bode**). Используется пакет **Control System Toolbox 5.0** системы **MATLAB**. Запас по модулю определяется как величина, обратная модулю функции $L(j\omega)$ на частоте, при которой фазовый сдвиг равен $+180^\circ$ (для неминимально

¹ Государственный университет информационно-коммуникационных технологий, ул.Соломенская, 7, г. Киев, 03110, УКРАИНА, E-mail: nevdachinaoia@i.ua

фазових систем). Запас по фазе – величина, которая определяется на частоте, при которой $|L(j\omega)|=1$. В качестве примера на рис.2 показаны ЛЧХ (диаграммы Bode) системы, скорректированной **RED** регулятором, при параметрах, которые определены в работах [1-3]: $L_{red} = 1,86 \cdot 10^{-4}$, $K = 0,005$, $C=3750$, $R_o = 0,246$ и числе сессий N , равных 30 (1), 60(2) и 120(3).

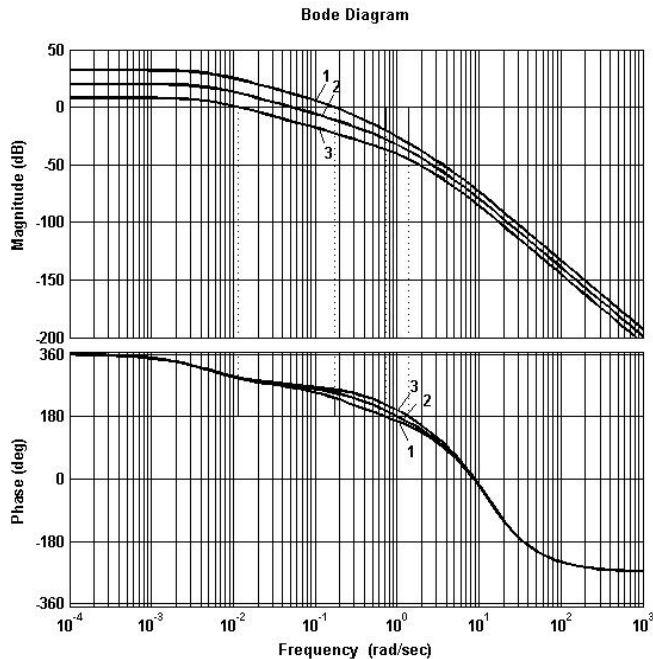


Рис.2. ЛЧХ (диаграммы Bode) системы, скорректированной RED-регулятором

На рис.3 показаны ЛЧХ той же системы с **PID**-регулятором, при параметрах регулятора $K_i=3,12 \cdot 10^{-5}$; $K_d=5,1 \cdot 10^{-5}$; $K_p=6,2 \cdot 10^{-5}$ и числе сессий N , равных 60(1), 120(2) и 240(3).

На рис.4 показаны ЛЧХ той же системы с **PI**-регулятором, при параметрах регулятора $K = 9,6426 \cdot 10^{-6}$ и $1/z=0,53$, и параметрах нагрузки - числе сессий N соответственно 30(1), 60(2) и 120(3).

III. ВЫВОД

AQM системы с **RED**, **PI** и **PID** регуляторами при изменении нагрузки трафика обладают достаточной устойчивостью и робастностью, но с увеличением нагрузки быстродействие систем уменьшается.

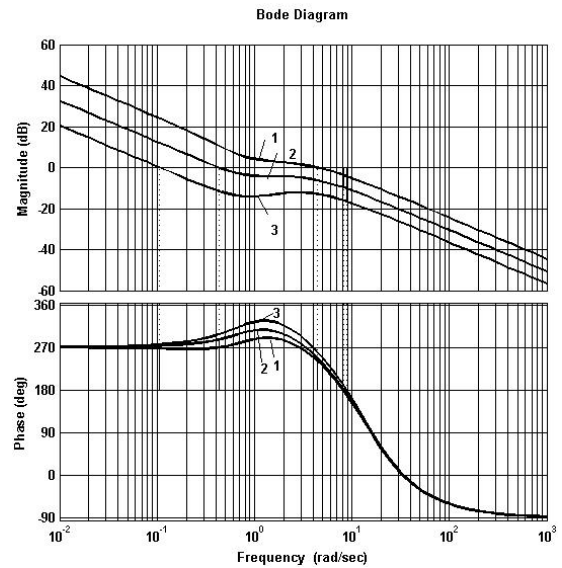


Рис.3. ЛЧХ системы с PID- регулятором

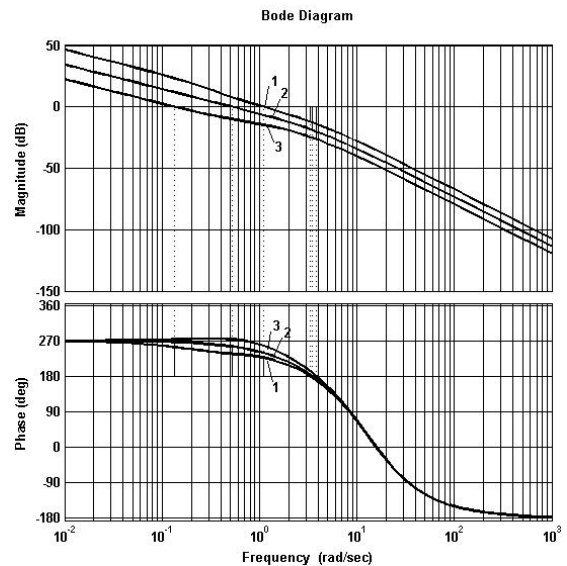


Рис.4. ЛЧХ системы с PI-регулятором

СПИСОК ССЫЛОК

- [1] C.V. Hollot, V. Misra, D. Towsley and W. Gong, "On Designing Improved Controllers for Routers Supporting TCP Flows", in Proceedings of IEEE INFOCOM'2001.
- [2] C. V. Hollot, V. Misra, D. Towsley, and W. Gong. "Analysis and design of controllers for AQM routers supporting TCP flows". IEEE/ACM Transactions on Automatic Control, vol. 47, no.6, pp 945-959, June 2002.
- [3] Ryu, S., and C. Rump. Application of a PID feedback control algorithm for adaptive queue management to support TCP congestion control. Journal of Communications and Networks 6 (2), 2004, pp. 133-146.