

## ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ВЫПОЛНЕНИЯ ОПЕРАЦИЙ ДРОБНОГО ИНТЕГРИРОВАНИЯ И ДИФФЕРЕНЦИРОВАНИЯ

Бекмачев Д.А., Максимов К.О., Ушаков П.А.

*Ижевский государственный технический университет*

В настоящее время можно считать доказанным, что использование в системах автоматического управления ПИД-регуляторов дробного порядка (ПИ<sup>λ</sup>Д<sup>δ</sup>-регуляторов) позволяет повысить их эффективность по основным показателям качества регулирования.

Для создания динамических звеньев, выполняющих операции дробного интегрирования и дифференцирования (ДИД), требуются так называемые «элементы с постоянной фазой» (ЭПФ). Однако известные реализации ЭПФ сохраняют постоянство фазового сдвига ФЧХ входного импеданса лишь в ограниченном диапазоне частот ( $\omega_1 \dots \omega_2$ ) с погрешностью  $\pm \Delta\varphi_c$ .

В настоящее время не разработаны критерии оценки точности выполнения операций ДИД и нет исследований ее зависимости от указанных параметров ФЧХ входного импеданса ЭПФ.

В данной работе предпринята попытка устранить этот недостаток с тем, чтобы при инженерном проектировании ПИ<sup>λ</sup>Д<sup>δ</sup>-регуляторов была возможность синтезировать физически реализуемые ЭПФ по заданным требованиям к точности работы системы управления дробного порядка.

В ходе работы были получены следующие основные результаты:

1. Предложен критерий оценки точности выполнения операций ДИД в зависимости от параметров ФЧХ входного импеданса ЭПФ, используемого в динамических звеньях дробного порядка.

2. Получены зависимости точности операций ДИД от ширины рабочего диапазона частот и от величины отклонения от этого уровня. Найденные зависимости позволяют обоснованно задавать требования к параметрам ФЧХ двухполюсника при заданной точности, предъявляемой к точности устройств ДИД.

3. Показано, что для выполнения операций ДИД с допустимым значением СКО формы сигнала не более 5 % достаточной является ширина диапазона рабочих частот 3 декады при неравномерности ФЧХ фрактального импеданса не более 2,5 %.

Практика показывает, что эти требования могут быть реализованы с помощью двухполюсников на основе резистивно-емкостных элементов с распределенными параметрами, обладающих, по сравнению с двухполюсниками на RC-цепях на элементах с сосредоточенными параметрами, высокой компактностью, большей надежностью и возможностью динамического изменения параметров импеданса.