

доц. Шеремет О. І.  
(ДДМА, м. Краматорськ, Україна),  
д.т.н. Садовой О. В., доц. Сохіна Ю. В.  
(ДДТУ, м. Дніпродзержинськ, Україна)

## ПОНЯТТЯ ДИСКРЕТНОГО ЧАСОВОГО ЕКВАЛАЙЗЕРА

*Сформульовано основні принципи, якими слід користуватися для виконання синтезу автоматизованих електромеханічних систем при відмові від використання теорії стандартних поліномів. Запропоновано дискретні регулятори, які налаштовуються на бажані квантовані перехідні функції називати терміном "дискретний часовий еквалайзер", виходячи з подібної функціональності програмних еквалайзерів, але в частотній області.*

**Ключові слова:** регулятор, перехідна функція, еквалайзер, синтез, квантування, електромеханічна система.

**Вступ.** Відмова від використання стандартних поліномів під час синтезу автоматизованих електромеханічних систем потребує встановлення інших засадничих принципів, що дозволяють враховувати динамічні особливості реальних електроприводів у відповідності до наявних технологічних норм експлуатації [1–3].

Сформулюємо основні засадничі принципи, що дозволяють виконувати синтез автоматизованих електромеханічних систем без використання теорії стандартних поліномів [4, 5]:

1 Об'єкт керування слід привести до однієї передатної функції або, якщо це можливо, структурно представити у вигляді однієї зі стандартних форм (якнайкраще для цього підходить перша канонічна форма керованості).

2 Потрібно виконати зворотне перетворення від об'єкту керування. Результатом перетворення може бути передатна функція або структурна схема оберненої еталонної (дзеркальної) моделі. Якщо об'єкт має у своєму складі інтегратори, то виконувати їх компенсацію недоцільно, оскільки їх наявність підвищує порядок астатизму системи.

3 Для практичної реалізації принципу симетрії структурних схем до прямої гілки замкненої системи слід ввести блок модифікації зворотного перетворення, який являє собою інтегруючу ланку. При цьому

замкнена система, що складається із об'єкта керування, дзеркальної моделі та блока модифікації буде мати певну реальну та передбачувану динаміку.

4 Виходячи із переваг дискретних регуляторів, бажану динаміку автоматизованої електромеханічної системи потрібно задати у вигляді квантованої перехідної функції.

5 Необхідно синтезувати дискретний регулятор, що забезпечить технічну реалізацію бажаної квантованої перехідної функції.

Зупинимось докладніше на виборі квантованої перехідної функції, що повинна забезпечувати бажану динаміку автоматизованої електромеханічної системи.

**Постановка задачі.** Під час синтезу за допомогою традиційних підходів (з використанням стандартних характеристичних поліномів) проєктант не має можливості формувати потрібну перехідну функцію на всьому часовому діапазоні її існування або на деякій ділянці. Він може обирати лише стандартні форми перехідних функцій. Поставимо задачу уніфікації вибору бажаних перехідних функцій, що можуть реалізовуватись за допомогою дискретних регуляторів певної структури.

**Результати роботи.** Розглянемо приклад, що ілюструє традиційний підхід щодо вибору бажаних перехідних функцій. Поліноми Баттерворта характеризуються

## ЕЛЕКТРОТЕХНІКА. РАДІОТЕХНІКА

наступними передатними функціями (так званих фільтрів Баттерворта):

– першого порядку

$$W_{\delta 1}(p) = \frac{1}{T_{\delta} p + 1},$$

де  $T_{\delta}$  — стала часу фільтра Баттерворта;

– другого порядку

$$W_{\delta 2}(p) = \frac{1}{T_{\delta}^2 p^2 + 1,414 T_{\delta} p + 1};$$

– третього порядку

$$W_{\delta 3}(p) = \frac{1}{T_{\delta}^3 p^3 + 2 T_{\delta}^2 p^2 + 2 T_{\delta} p + 1};$$

– четвертого порядку

$$W_{\delta 4}(p) = \frac{1}{T_{\delta}^4 p^4 + 2,613 T_{\delta}^3 p^3 + 3,414 T_{\delta}^2 p^2 + 2,613 T_{\delta} p + 1}.$$

Перехідні функції  $h_{\delta}(t)$  при реакції фільтрів Баттерворта на одиничну ступінчасту дію за умови  $T_{\delta} = 1$  с наведено на рисунку 1.

Таким чином, регулятор, що синтезується за допомогою стандартних поліномів Баттерворта першого, другого, третього чи четвертого порядків, може забезпечити лише одну з можливих бажаних перехідних функцій, зображених на рисунку 1. Проектант обирає потрібну перехідну функцію такою, як вона є, та не може жодним чином змінити її повністю або на деякому діапазоні значень.

Подібний підхід щодо синтезу значно обмежує можливості для завдання бажаної динаміки автоматизованих електромеханічних систем. При незмінності форми кривої, на якій розташовані всі полюси стандартного полінома, можна одержати зовсім різні перехідні процеси (рис. 1), проте при різних способах розташування полюсів можна одержати майже ідентичні перехідні процеси [1–3].

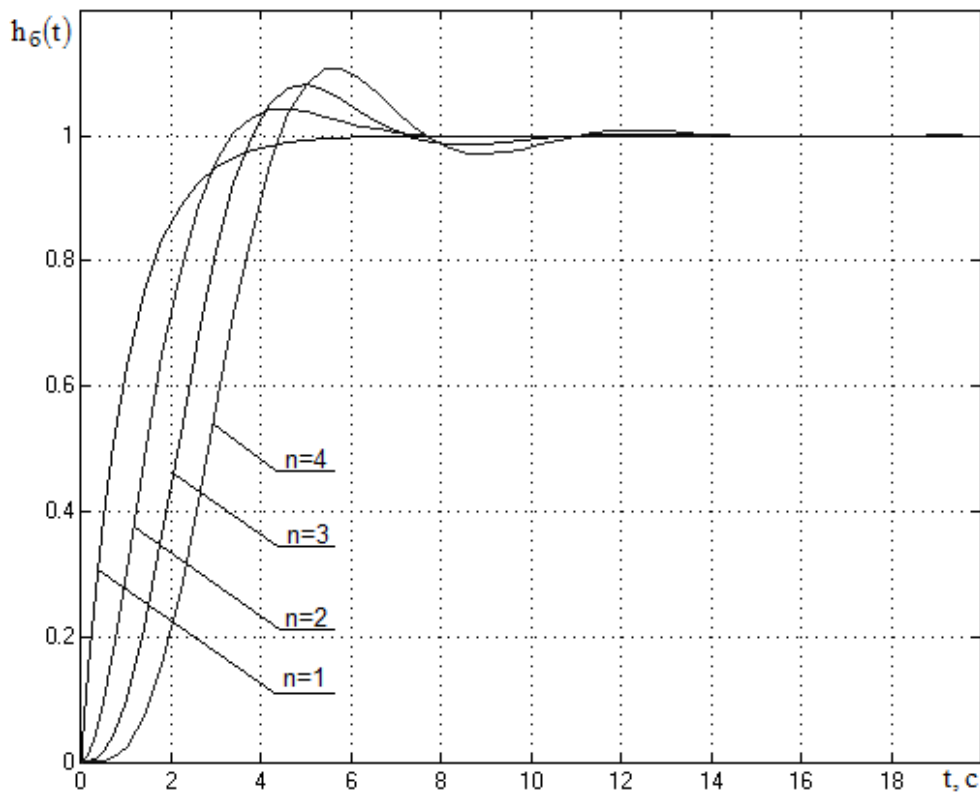


Рисунок 1 — Перехідні функції фільтрів Баттерворта різного порядку  $n$  при  $T_{\delta} = 1$  с

Коли перехідна функція розглядається у квантованому вигляді, то окремо задаються значення кожного її рівня з певним періодом квантування  $T_0$ , зменшення якого призводить до підвищення точності відтворення бажаної динаміки системи [4, 5]. Таким чином, проєктант має можливість сформувати перехідну функцію з окремих частин, розбиваючи часовий діапазон її існування на окремі відрізки. По-суті, виконується вибіркова корекція амплітуди сигналу в залежності від того, до якого з відрізків часу він відноситься.

Складність перехідної функції та можливість її представлення за допомогою елементарних функцій при такому підході значення не має. На рисунку 2 наведено деяку бажану перехідну функцію  $y(t)$ , котра розбивається на всьому часовому відрізку на 18 частин, тривалість кожної з них складає значення  $T_0$ . У моменти квантування амплітуда сигналу фіксується на

відповідних рівнях  $h_0, h_1, h_2, \dots, h_{17}$ , формуючи решітчасту функцію  $h(kT_0)$ , де  $k$  — номер такту.

Схожою на розглянуту вище функціональністю, але у частотній області, володіють еквайзери. Еквайзер (від англійського терміну *equalize* — “вирівнювати”) — це пристрій або комп’ютерна програма, що дозволяє коригувати амплітуду сигналу в залежності від частоти [6]. Еквайзери широко використовуються у побутовій та професійній аудіотехніці, у електронних музичних інструментах, у звукових підсилювачах тощо. Майже всі сучасні комп’ютерні програми, призначені для обробки та відтворення звуку, мають вбудований еквайзер. На рисунку 3 наведено приклад апаратної реалізації еквайзера — Behringer FBQ800 для студій звукозапису, а на рисунку 4 показано одну з програмних реалізацій еквайзера.

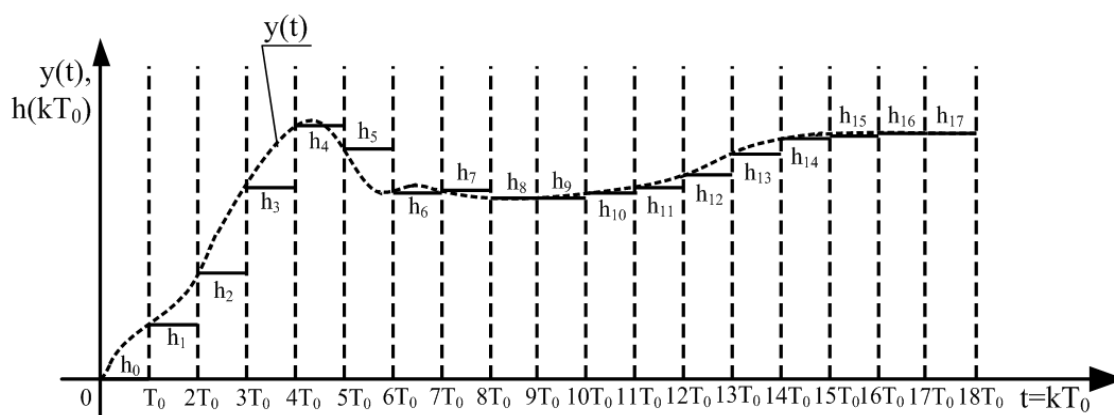


Рисунок 2 — Квантована перехідна функція



Рисунок 3 — Апаратна реалізація студійного еквайзера Behringer FBQ800

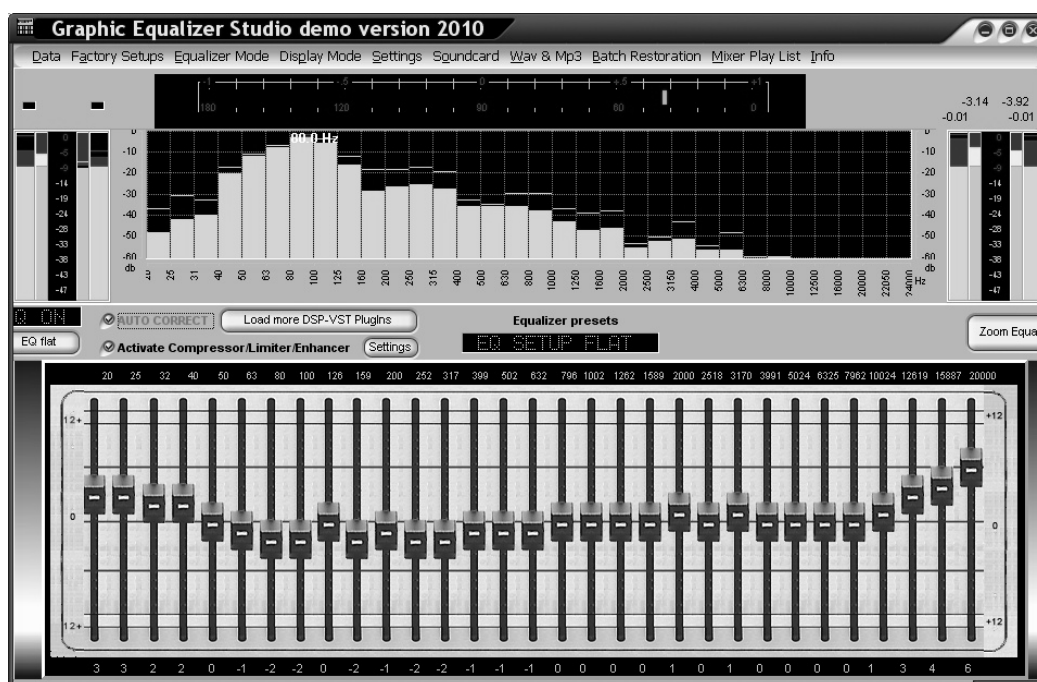


Рисунок 4 — Програмна реалізація еквалайзера Graphic Equalizer Studio

При програмній або апаратній реалізації еквалайзера весь діапазон частот розбивається на так звані полоси і кожен з повзунків еквалайзера підсилює або послаблює частоти своєї полоси. Чим більше таких полос має еквалайзер, тим складніші маніпуляції можна виконувати зі звуком.

**Висновок.** Якщо порівняти роботу проєктанта по формуванню бажаної квантованої перехідної функції (рис. 2) з роботою звукорежисера, котрий користується апаратним (рис. 3) або програмним (рис. 4) еквалайзером для обробки звукозапису, то можна зазначити, що вона є аналогічною. В обох випадках встановлюється рівень підсилення сигналу на деякому локальному діапазоні, от тільки звукорежисер працює в частотній області, а інженер — у часовій. Рівні бажаної перехідної функції у

моменти квантування — це аналоги полос частот еквалайзера.

Оскільки під терміном “еквалайзер” прийнято розуміти саме частотний еквалайзер, то назвемо регулятор, котрий забезпечує можливість налаштування на бажані квантовані перехідні функції, дискретним часовим еквалайзером. Термін “дискретний часовий еквалайзер” якнайкраще характеризує особливості синтезованих таким чином регуляторів: по-перше він підкреслює тип сигналу, а по-друге — говорить про еквалайзерне налаштування системи у часовому діапазоні. Звісно, що в даному разі мається на увазі часовий еквалайзер не як деякий пристрій, а як певна програма для мікропроцесорної або мікроконтролерної системи керування.

### Бібліографічний список

1. Шеремет О. І. Вдосконалення метода синтезу систем автоматичного керування за розташуванням полюсів / О. І. Шеремет // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: «Елек-тротехніка і енергетика» — Донецьк: ДВНЗ «ДонНТУ», 2007. — № 7 (128). — С. 35–38.

2. Шеремет О. І. Використання розкладання Хевісайда для синтезу регуляторів систем автоматичного керування / О. І. Шеремет // Вісник Донбаської державної машинобудівної академії: Збірник наукових праць. — Краматорськ: ДДМА, 2009. — № 1 (4Е). — С. 189–193.

3. Садовой О. В. Синтез систем автоматичного керування зі змінним характеристичним поліномом / О. В. Садовой, О. І. Шеремет // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету імені Михайла Остроградського. — КДПУ, 2009. — №. 4/2009 (57)., ч. 1. — С. 32–35.

4. Садовой О. В. Аналітичний синтез регуляторів за квантованою формою бажаної перехідної функції / О. В. Садовой, О. І. Шеремет // Збірник наукових праць Дніпродзержинського державного технічного університету: (технічні науки) — Дніпродзержинськ: ДДТУ, 2010. — Випуск 1(14). — С. 258–264.

5. Шеремет О. І. Синтез автоматизованих електромеханічних систем посредством дискретного часового еквалайзера / О. І. Шеремет // Вісник національного технічного університету “ХПІ”. Збірник наукових праць. Серія: Проблеми автоматизованого електроприводу. Теорія і практика. — Х.: НТУ “ХПІ”. — 2013. — №36 (1009). — С. 110–111.

6. Википедия. Свободная энциклопедия // Эквалайзер. — Режим доступа: <http://ru.wikipedia.org/wiki/Эквалайзер>. — 27.10.2013.

*Рекомендовано до друку д.т.н., проф. ДонДТУ Заблодським М. М.*

Стаття надійшла до редакції 01.04.14.

доц. Шеремет А. И. (ДГМА, г. Краматорск, Украина), д.т.н. Садовой А. В., доц. Сохина Ю. В. (ДГТУ, г. Днепродзержинск, Украина)

#### ПОНЯТИЕ ДИСКРЕТНОГО ВРЕМЕННОГО ЭКВАЛАЙЗЕРА

Сформулированы основные принципы, которыми следует пользоваться для выполнения синтеза автоматизированных электромеханических систем при отказе от использования теории стандартных полиномов. Предложено дискретные регуляторы, которые настраиваются на желаемые квантованные переходные функции называют термином "дискретный временной эквалайзер", исходя из подобной функциональности программных эквалайзеров, но в частотной области.

**Ключевые слова:** регулятор, переходная функция, эквалайзер, синтез, квантование, электромеханическая система.

Sheremet A. I., Candidate of Engineering Sciences (DSMA, Kramatorsk, Ukraine), Sadovoy A. V. Doctor of Engineering Science, Sokhina Yu. V. Candidate of Engineering Sciences (DonSTU, Dneprodzerzhinsk, Ukraine)

#### THE CONCEPT OF DISCRETE TIME EQUALIZER

Main principles which one should use to perform synthesis of electro-mechanical systems after having refused from using ordinary polynomial theory have been determined. Discrete regulators, which are adjusted for desired quantized transition functions, have been proposed to be called as discrete time equalizer based on similar functionality of programmed equalizers, but in frequency mode.

**Key words:** regulator, the transition function, equalizer, synthesis, quantization, electromechanical system.