

ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ СТАНДАРТНЫХ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ ПРИ СИНТЕЗЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ

ЛЕБЕДЕВ С.К., канд. техн. наук, ГНЕЗДОВ Н.Е., инж., КОРОТКОВ А.А., студ.

Рассматривается определение среднегеометрического корня для регуляторов и наблюдателей состояния, динамика которых задается стандартными распределениями корней характеристического уравнения. Исследованы временные и частотные характеристики наиболее известных распределений. Предложены методики практических расчетов и аналитические соотношения, облегчающие расчет и исследование систем управления электроприводами различного назначения.

Ключевые слова: электропривод, система управления состоянием, среднегеометрический корень.

STANDARD ROOT DISTRIBUTION PARAMETERS CHOICE FOR ELECTRIC DRIVE SYNTHESIS

S.K. LEBEDEV, Candidate of Engineering, N.E. GNEZDOV, Engineer, A.A. KOROTKOV, Student

Root mean square value definition for state regulators and observers, which dynamic is defined by standard root distribution of characteristic equation, is examined. Transient and frequency characteristics of most known root distribution is analyzed. Practical calculation methods and analytic relationship for facilitation of different type electric drive control systems calculation and investigation is offered.

Key words: electric drive, state control system, root mean square.

Использование в системах электропривода функциональных элементов с модальными свойствами [1] (регуляторов переменных, регуляторов и наблюдателей состояния) и свойствами фильтров в большинстве случаев предполагает использование стандартных форм распределения корней характеристического уравнения. При выборе стандартного распределения первоначально производится выбор по характеру динамических процессов, а далее – по быстродействию, которое определяется во многом значением среднегеометрического корня ω_0 .

Наибольшее распространение в электроприводе получили следующие формы:

1. *Распределение по биному Ньютона.* Обеспечивает монотонный характер переходных процессов без перерегулирования.
2. *Распределение Баттерворта.* Имеет максимально плоскую амплитудную частотную характеристику в полосе пропускания.
3. *Распределение Чебышева с заданной неравномерностью в полосе пропускания.* Дает максимальное подавление помех в полосе задерживания.
4. *Распределение Бесселя.* Это максимально достоверное воспроизведение задания за счет постоянства времени группового запаздывания (линейности фазочастотной характеристики).

Большинство авторов [2-4] предлагает для специалистов связывать выбор ω_0 с нормированными переходными характеристиками (номограммами) и заданным временем регулирования t_p , как это показано на рис. 1.

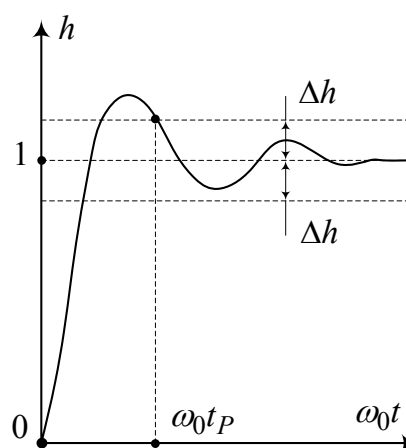


Рис. 1. Нормированная переходная характеристика

Использование номограмм дает значительную погрешность, а численное решение задачи приводит к громоздким вычислениям с использованием компьютерных средств. В табл. 1 приведены результаты расчета и анализа переходных характеристик стандартных распределений [5] для $\Delta h = 0,05$.

Требуемое значение среднегеометрического корня для заданных значений t_p и n может быть определено по данным табл. 1:

$$\omega_0 = \frac{(\omega_0 t_p)}{t_p}. \quad (1)$$

Таблица 1. Временные характеристики стандартных распределений

Формы распределений	Параметры	Порядок распределения (n)				
		2	3	4	5	6
По биному Ньютона	$\omega_0 t_p$	4,72	6,27	7,76	9,16	10,52
	$\sigma\%$	0	0	0	0	0
Баттерворта	$\omega_0 t_p$	2,9	5,97	6,86	7,65	8,44
	$\sigma\%$	4,6	8,15	11,15	12,67	14,32
Бесселя	$\omega_0 t_p$	2,95	3,27	3,6	3,87	4,11
	$\sigma\%$	0,4	0,68	0,82	0,77	0,64
Чебышева (неравномерность 0,1 дБ)	$\omega_0 t_p$	5,35	6,33	7,6	11,6	12,7
	$\sigma\%$	6,72	10,18	14,46	15,9	17,96

Как и следовало ожидать, распределение Бесселя показывает наилучшие показатели по быстродействию при минимальном перерегулировании. Монотонные процессы обеспечивает бином Ньютона, но при одинаковом t_p требуются большие, чем в распределении Бесселя и Баттерворта, значения ω_0 . Характеристики распределения Чебышева не могут быть рекомендованы для регуляторов и наблюдателей в системах электропривода. В любом случае такой подход существенно зависит от величины статической ошибки Δh , а в астатических системах, где $\Delta h = 0$, решение задачи отсутствует.

Поэтому достаточно рациональным в выборе параметров систем представляется подход на основе частотных характеристик распределений. Например, такой подход применяется в [6] при определении полосы пропускания электроприводов металлорежущих станков и промышленных роботов. На рис. 2,а показана графическая интерпретация определения полосы пропускания по ЛАЧХ системы, приведенной к единичному статическому коэффициенту усиления, полоса пропускания $\omega_{3дБ}$ определяется пересечением ЛАЧХ уровня -3 дБ, на рис. 2,б – полоса пропускания ω_{-90° определяется пересечением ЛФЧХ уровня -90° .

Согласно [6], полоса пропускания электропривода определяется как

$$\omega_{пр} = \min\{\omega_{3дБ}; \omega_{-90^\circ}\}. \quad (2)$$

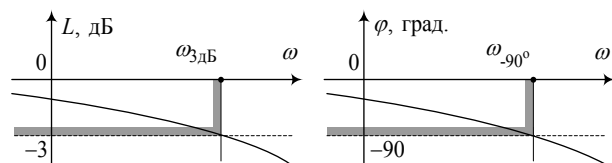


Рис. 2. Определение полосы пропускания: а – по ЛАЧХ, б – по ЛФЧХ

В соответствии с таким подходом для приведенных выше стандартных распределений получены нормированные частотные характеристики. В табл. 2 для рассматри-

ваемых форм распределений приведены значения относительных среднегеометрических корней:

$$\omega'_{0L} = \frac{\omega_0}{\omega_{3дБ}}; \quad \omega'_{0\varphi} = \frac{\omega_0}{\omega_{-90^\circ}}.$$

Относительный среднегеометрический корень определяется из двух значений:

$$\omega'_0 = \max\{\omega'_{0L}; \omega'_{0\varphi}\}. \quad (3)$$

Окончательно получаем среднегеометрический корень по заданной для синтезируемого устройства полосе пропускания ($\omega_{пр.з}$)

$$\omega_0 = \omega'_{0\omega_{пр.з}}. \quad (4)$$

Анализ результатов расчетов (табл. 2) показывает, что стандартное распределение Бесселя обеспечивает минимальное значение ω_0 практически для любого порядка уравнения. Это в совокупности с минимальными значениями перерегулирования и времени регулирования (табл. 1) позволяет рекомендовать его предпочтительное использование при синтезе регуляторов и наблюдателей состояния для автоматизированного электропривода.

Особо следует рассмотреть использование стандартного распределения по биному Ньютона в системах электропривода с жесткой механикой и в системах управления движением манипуляторов промышленных роботов. Решающим фактором при выборе стандартного распределения является безусловное требование монотонности переходных процессов скорости и упругих моментов.

Систему, соответствующую распределению по биному Ньютона, представим в виде n последовательно включенных апериодических звеньев с единичным коэффициентом усиления и постоянной времени обратной среднегеометрическому корню (рис. 3).

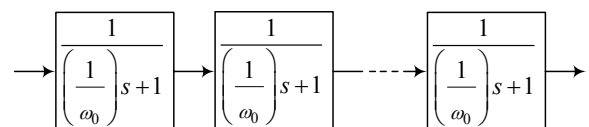


Рис. 3. Эквивалентная система

Таблица 2. Частотные характеристики стандартных распределений

n	Стандартные распределения							
	По биному Ньютона		Баттерворта		Бесселя		Чебышева (0,1 дБ)	
	ω'_{0L}	$\omega'_{0\phi}$	ω'_{0L}	$\omega'_{0\phi}$	ω'_{0L}	$\omega'_{0\phi}$	ω'_{0L}	$\omega'_{0\phi}$
2	1,557	1	1	1,189	1	0,789	1	1,064
3	1,965	1,732	1	1,389	1	1,109	1	1,408
4	2,303	2,414	1	1,754	1	1,626	1	2,0
5	2,598	3,078	1	2,128	1	1,560	1	2,564
6	2,863	3,732	1	2,5	1	1,709	1	3,125

Тогда условия обеспечения полосы пропускания по амплитуде и фазе предстают в следующей аналитической форме:

$$3 = n \cdot 10 \lg \left(\frac{\omega_{3дБ}^2}{\omega_0^2} + 1 \right), \quad \frac{\pi}{2} = n \cdot \arctg \left(\frac{\omega_{-90^\circ}}{\omega_0} \right). \quad (5)$$

Из уравнений (5) получаем аналитические выражения для относительных значений среднегеометрических корней:

$$\omega'_{0L} = \frac{1}{\sqrt{10^{3/10n} - 1}},$$

$$\omega'_{0\phi} = \frac{1}{\operatorname{tg}(\pi / 2n)}. \quad (6)$$

Из (6), используя соотношения (3) и (4), для заданного порядка распределения по биному Ньютона и требуемой полосы пропускания электропривода можно определить требуемое значение среднегеометрического корня и рассчитать параметры регуляторов и наблюдателей состояния.

Особенно эффективно использование выражений (6) для разработки и исследования систем с астатическими наблюдателями состояния, имеющими повышенный порядок астатизма [7, 8], где математические модели регуляторов и наблюдателей имеют различные порядки n .

Лебедев Сергей Константинович,

ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина», кандидат технических наук, доцент кафедры электропривода и автоматизированных промышленных установок, телефон (4932) 26-97-07.

Гнездов Николай Евгеньевич,

ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина», инженер кафедры электропривода и автоматизированных промышленных установок, телефон (4932) 26-97-07.

Коротков Александр Александрович,

ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина», студент кафедры электропривода и автоматизированных промышленных установок, телефон (4932) 26-97-07.

Результаты анализа временных и частотных характеристик стандартных распределений (табл. 1 и 2) позволяют корректно соотнести требования к динамике регуляторов и наблюдателей состояния, имеющих разные формы распределения корней характеристических уравнений.

Список литературы

1. Кузовков Н.Т. Модальное управление и наблюдающие устройства. – М.: Машиностроение, 1976.
2. Башарин А.В., Новиков В.А., Соколовский Г.Г. Управление электроприводами: Учеб. пособие. – Л.: Энергоиздат. Ленингр. отд-ние, 1982.
3. Егоров В.Н., Шестаков В.М. Динамика систем электропривода. – Л.: Энергоатомиздат, 1983.
4. Колганов А.Р., Буренин С.В. Алгоритмы и программы функционального проектирования систем управления электромеханическими объектами: Учеб. пособие. – Иваново: ИГЭУ, 1997.
5. Мошиц Георг, Хорн Петр. Проектирование активных фильтров. – М.: Мир, 1984.
6. ГОСТ 27.803–88. Электроприводы регулируемые для станков и робототехники. Общие технические требования. Введ. 1.01.1989. – М.: Изд-во стандартов, 1991.
7. Глазунов В.Ф., Лебедев С.К., Гнездов Н.Е. Разработка и исследование многодвигательных систем электроприводов переменного тока с нежесткой механикой // Вестник ИГЭУ. – 2005. – Вып. 3. – С. 6–11.
8. Лебедев С.К., Коротков А.А. Наблюдатели механической нагрузки регулируемого электропривода // Состояние и перспективы развития электротехнологии (XIV Бенардосовские чтения): Тез. докл. Междунар. науч.-техн. конф. 29–31 мая 2007 г. – Иваново: ИГЭУ, 2007. – Т. 1.