

## Задатчик реверсивного электромеханического развертывающего устройства

В.Н. Дроздов, В.А. Толмачев, Д.А. Субботин  
ФГБОУВПОНИУ «Информационных Технологий Механики и Оптики»,  
Санкт-Петербург, Российская Федерация  
E-mail: Subb-Dm@yandex.ru

### Авторское резюме

**Состояние вопроса:** В настоящее время при проектировании точных реверсивных электромеханических развертывающих устройств большое внимание уделяется характеристикам объекта управления и качеству системы управления. В то же время качество функционирования реверсивных развертывающих устройств определяется, в первую очередь, точностью задающего сигнала, грамотным формированием которого зачастую пренебрегают. Это приводит к необходимости поиска способов формирования задающего воздействия.

**Материалы и методы:** В ходе исследования использован пакет моделирования MatLab, в котором построены соответствующие математические модели и проведено математическое моделирование.

**Результаты:** Представлены синтез и математическая модель задатчика для реверсивного развертывающего устройства в системе Simulink пакета MatLab.

**Выводы:** Полученная модель задатчика позволяет учитывать требования к ускорению, скорости и положению рабочего элемента. Сформированное описанным образом задающее воздействие позволяет получить точное значение скорости и положения развертывающего (сканирующего) элемента на рабочем участке.

**Ключевые слова:** задающее воздействие, реверсивное развертывающее устройство, задатчик.

## Electromechanical Reverse Scanning Device Adjuster

V.N. Drozdov, V.A. Tolmachev, D.A. Subbotin  
Saint Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics  
Saint Petersburg, Russian Federation  
E-mail: Subb-Dm@yandex.ru

### Abstract

**Background:** At present time in design of accurate reversible electromechanical scanner great attention is devoted to the characteristics of the control object and control system quality. At the same time, the quality of the operation of reversible scanner is determined, first of all, within the input assignment, which formation is often neglected. This leads us to the necessity of the input assignment ways forming search.

**Materials and methods:** During the research MatLab simulation package was used, where the corresponding mathematical models were designed and mathematical modeling was held.

**Results:** The paper presents a synthesis and a mathematical model for reverse scanning device adjuster in Simulink system of MatLab package. The obtained model takes into account the requirements set point to the acceleration, velocity and position of the work item.

**Conclusions:** Formed in the described manner input assignment can get the exact value of the speed and position of the scanning element in the work area.

**Keywords:** input assignment, reverse scanning device, adjuster.

**Введение.** Наряду с широко распространенными неререверсивными развертывающими устройствами, в которых осуществляется непрерывное вращение развертывающего элемента [1], в современной технике часто используются реверсивные развертывающие устройства, в которых развертывающий элемент может осуществлять достаточно сложные возвратно-поступательные линейные или вращательные движения. Подобного рода устройства используются, например, при 3D-печати зданий и сооружений [2], конструкционных деталей [3], в многокоординатных обрабатываю-

щих центрах. Приведенными примерами далеко не исчерпываются области применения реверсивных развертывающих устройств. Характерной особенностью этих устройств является большая инерционность элементов, осуществляющих возвратно-поступательные движения.

Качество работы развертывающего (сканирующего) устройства обеспечивается в первую очередь качеством задающей функции (программы). Рассмотрим формирование задающего сигнала, график которого представлен на рис. 1. Не теряя в общности, будем рассматривать случай вращательного движения.

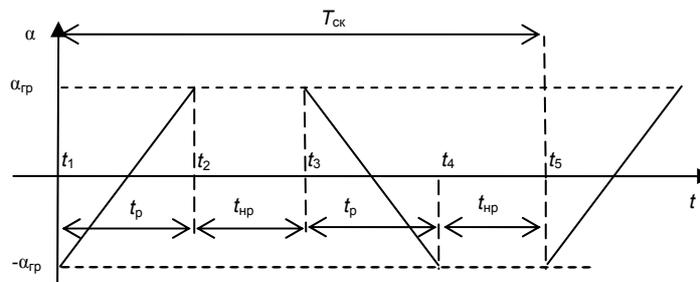


Рис. 1. Программа изменения угла поворота объекта

Полный цикл сканирования  $T_{ск}$  содержит 2 участка рабочего хода ( $t_1-t_2$  и  $t_3-t_4$ ) с длительностью  $t_p$  и 2 участка нерабочего хода ( $t_2-t_3$  и  $t_4-t_5$ ) с длительностью  $t_{np}$ . На участках рабочего хода угол поворота оси должен меняться линейно в пределах от  $-\alpha_{гр}$  до  $+\alpha_{гр}$  с допустимой погрешностью нелинейности  $\Delta_n\%$ . Закон изменения угла на участках нерабочего хода не лимитируется. Длительность нерабочего хода измеряется между окончанием одного рабочего хода и началом следующего.

В настоящее время широкое распространение получила практика использования Simulink-моделей в реальном времени для управления реальными объектами. По этой причине будем разрабатывать задающее устройство в расширении Simulink

В случае больших реверсируемых масс обычно не допускается наличие скачков ускорения в программной траектории, ускорение программной траектории должно быть непрерывной функцией времени. В этом случае целесообразно принять скачкообразное изменение производной от ускорения в целях обеспечения форсированного разворота объекта за нерабочий отрезок времени  $t_{np}$ . Программа изменения угла поворота объекта в этом случае получится в результате трехкратного интегрирования производной от ускорения. Схема моделирования задающего устройства в системе

Simulink приведена на рис. 2. Отметим, что преобразование Simulink-модели в коды стандартных контроллеров не вызывает принципиальных затруднений [4].

График изменения третьей производной задающего воздействия приведен на рис. 3, где моменты времени имеют значения, отличные от значений на рис. 1, а именно:

$$t_1 = \frac{t_{np}}{2}, \quad t_2 = t_p + \frac{t_{np}}{2}, \quad t_3 = t_p + t_{np},$$

$$t_4 = t_p + 1,5t_{np}, \quad t_5 = 2t_p + 1,5t_{np},$$

$$t_6 = 2(t_p + t_{np}).$$

Начало периодической функции (рис. 3) совпадает с половиной нерабочего интервала задания. Причина такого выбора обусловлена желанием получить нулевое начальное значение скорости во время пуска системы. Для получения нулевого среднего значения ускорения необходимо выбрать отрицательное начальное значение ускорения, как это показано на рис. 4.

Разрыв ускорения в момент пуска (рис. 4) не приводит к неприятностям при пуске системы за счет специального вида начального участка задающей функции. Амплитуду импульсов третьей производной задания определим ниже.

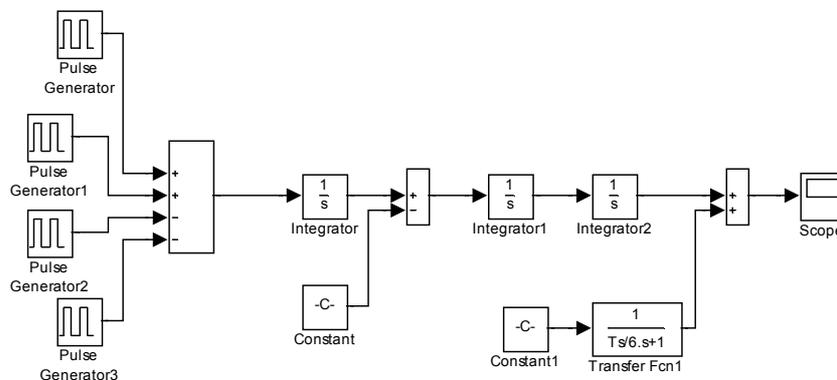


Рис. 2. Схема моделирования задающего устройства

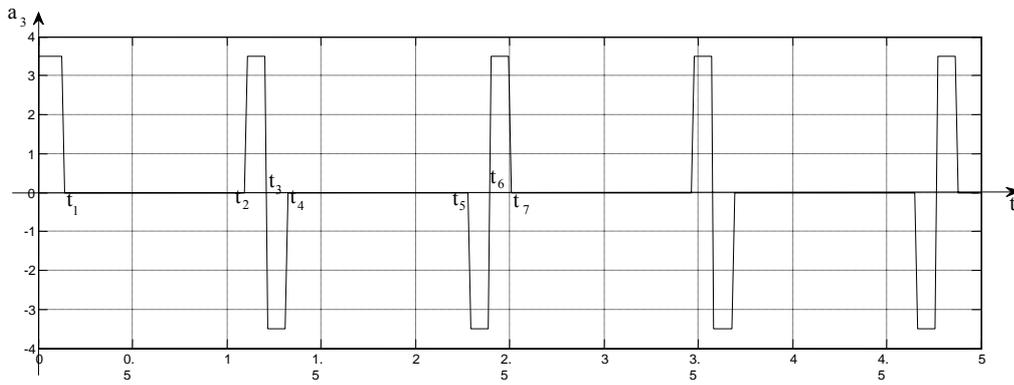


Рис. 3. График изменения третьей производной задающего воздействия

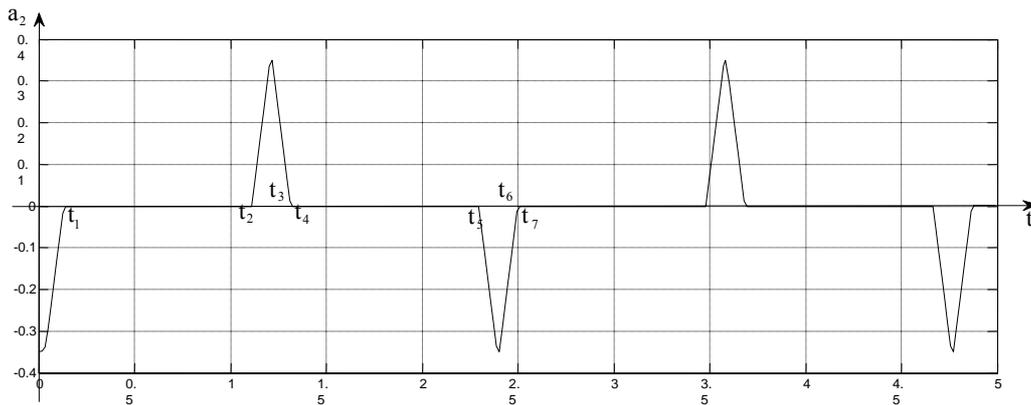


Рис. 4. График изменения ускорения задающего воздействия

Анализ графика на рис. 4 показывает, что ускорение при  $t > 0$  является непрерывной функцией времени, как это и требуется для инерционного объекта управления. В течение интервала времени  $0 < t \leq t_1$  ускорение отрицательное и увеличивается до нулевого значения. Поэтому скорость уменьшается от нулевого значения до номинального значения по кривой второго порядка (рис. 5). В момент времени  $t_1$  ускорение равно нулю, поэтому угловой коэффициент касательной кривой второго по-

рядка равен нулю, и при переходе на рабочий участок отсутствует излом графика скорости. Это свойство имеет существенное значение для уменьшения величины всплесков управляющего напряжения в системе управления.

Характер изменения ускорения и скорости понятен из графиков рис. 4, 5. Отметим только, что на рабочем интервале скорость остается строго постоянной. Дальнейшее протекание процессов должно быть понятно по приведенным графикам.

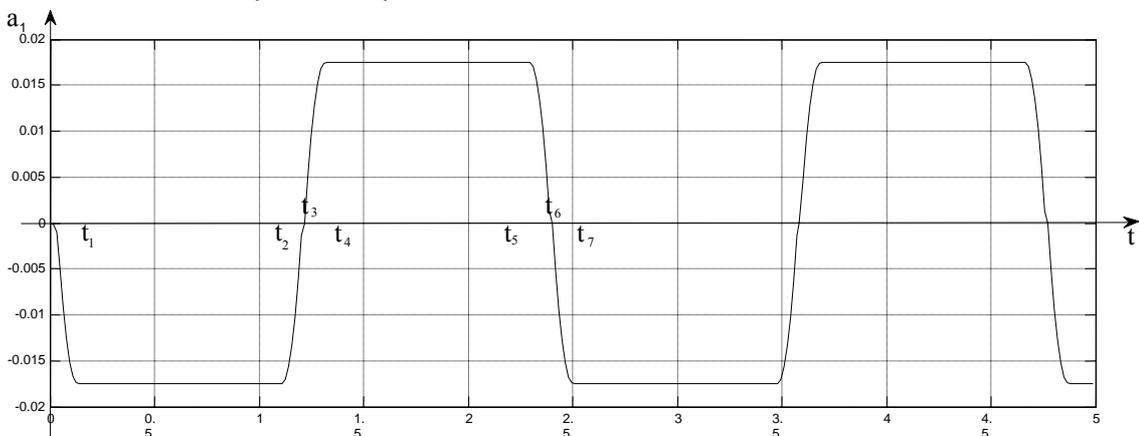


Рис. 5. График изменения скорости задающего воздействия

График задающего воздействия, представленный на рис. 6, получается в результате интегрирования графика скорости (рис. 5). График задания должен быть симметричным относительно оси времени, поэтому результат интегрирования последним интегратором (рис. 2) необходимо сместить вверх при помощи добавления константы. Для ликвидации скачка задания в момент пуска постоянное смещение подается через апериодическое звено с малой постоянной времени. В результате начальное значение задающего воздействия остается равным нулю, а постоянное смещение нарастает плавно. По истечении времени, примерно равного половине периода изменений задающего сигнала, график этого сигнала принимает необходимый вид.

Выполним расчет параметров задатчика сигнала, схема которого приведена на рис. 2. Согласно заданию, номинальное значение скорости на рабочем участке равно

$$\omega_H = \frac{2\alpha_{гр}}{t_p} \quad (1)$$

Обозначим амплитуду импульсов третьей производной задания (рис. 3)  $a_3$ , тогда ускорение в течение интервала времени  $0 < t \leq t_1$  при нулевых начальных условиях будет изменяться согласно выражению

$$a_2 = a_3 t \quad (2)$$

Скорость на этом же интервале при нулевых начальных условиях изменяется согласно выражению

$$a_1 = a_3 \frac{t^2}{2} \quad (3)$$

Закон изменения задания на этом интервале при тех же условиях будет иметь вид

$$a = a_3 \frac{t^3}{6} \quad (4)$$

За половину нерабочего интервала угловая скорость должна измениться от нулевого значения до номинального. Подставив в (3) вместо  $t$  значение  $0,5t_{нр}$ , получим

$$\omega_H = a_3 \frac{t_{нр}^2}{8}$$

Находим амплитуду импульсов третьей производной задания:

$$a_3 = \frac{8\omega_H}{t_{нр}^2}$$

Воспользовавшись (1), окончательно получим значение амплитуды импульсов третьей производной задания:

$$a_3 = \frac{16\alpha_{гр}}{t_p t_{нр}^2} \quad (5)$$

Относительная длительность всех импульсов (скважность) равна

$$T_{скв} = \frac{t_{нр}}{2T_c} 100\% \quad (6)$$

Все импульсы (рис. 3) имеют период следования, равный  $T_{ск}$ . Первый импульс имеет нулевую задержку. Второй импульс задержан относительно начала отсчета на время, равное  $t_p + 0,5t_{нр}$ , третий импульс имеет задержку  $t_p + t_{нр}$ , и, наконец, четвертый импульс задержан на время  $t_p + 1,5t_{нр}$ . Далее график повторяется с периодом  $T_{ск}$ .

Положительное значение третьей производной задания в течение первой половины нерабочего интервала приведет к возрастанию ускорения, согласно (2), до значения

$$a_2 = a_3 \frac{t_{нр}}{2},$$

или с учетом (5)

$$a_2 = \frac{8\alpha_{гр}}{t_p t_{нр}} \quad (7)$$

Но ускорение на рабочем интервале должно быть равно нулю, поэтому выходной сигнал первого интегратора необходимо сместить вниз на величину, определяемую выражением (7). Смещение выполняется при помощи постоянного смещающего сигнала, как это показано на рис. 2. Этим самым обеспечивается нулевое значение ускорения на всех рабочих участках задания и, соответственно, строго постоянное номинальное значение скорости (рис. 5).

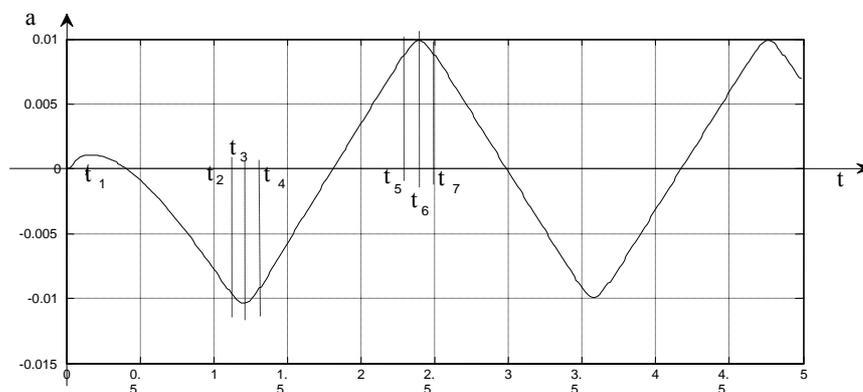


Рис. 6. График изменения задающего воздействия

Вычислим изменение задающего сигнала в течение первого нерабочего полуинтервала. Поскольку ускорение на этом полуинтервале начинается не с нулевого значения, а вместо (2) изменяется по закону

$$a_2 = a_3 t - \frac{8\alpha_{гр}}{t_p t_{нр}} = \frac{16\alpha_{гр}}{t_p t_{нр}^2} t - \frac{8\alpha_{гр}}{t_p t_{нр}},$$

то скорость вместо (3) будет изменяться по закону

$$a_1 = \frac{8\alpha_{гр}}{t_p t_{нр}^2} t^2 - \frac{8\alpha_{гр}}{t_p t_{нр}} t.$$

Интегрируя это выражение, получим изменение задающего воздействия в течение первого нерабочего интервала в виде

$$a = \frac{8\alpha_{гр}}{3t_p t_{нр}^2} t^3 - \frac{4\alpha_{гр}}{t_p t_{нр}} t^2.$$

Подставив в это выражение  $t = 0,5t_{нр}$ , получим значение задающего сигнала к концу первого нерабочего полуинтервала:

$$a = -\frac{2\alpha_{гр} t_{нр}}{3t_p}. \quad (8)$$

На рабочем участке  $t_1 < t \leq t_2$  отрицательная скорость имеет номинальное значение, следовательно, за этот период задающее воздействие уменьшится еще на величину, равную  $-2\alpha_{гр}$ . Но график задания должен быть симметричен относительно оси времени, поэтому выходной сигнал последнего интегратора необходимо сместить на величину, равную сумме модуля (8) и  $\alpha_{гр}$ , т.е. на величину

$$a_{см} = \frac{2\alpha_{гр} t_{нр}}{3t_p} + \alpha_{гр}.$$

*Дроздов Валентин Нилович,*

ФГБОУВПОНИУ «Информационные технологии механики и оптики»,  
доктор технических наук кафедры электротехники и прецизионных электромеханических систем,  
адрес: 197101, г. Санкт-Петербург, пр. Кронверкский, д. 49,  
e-mail: Subb-Dm@yandex.ru

*Толмачев Валерий Александрович,*

ФГБОУВПОНИУ «Информационные технологии механики и оптики»,  
кандидат технических наук кафедры электротехники и прецизионных электромеханических систем,  
адрес: 197101, г. Санкт-Петербург, пр. Кронверкский, д. 49,  
e-mail: Subb-Dm@yandex.ru

*Субботин Дмитрий Андреевич,*

ФГБОУВПОНИУ «Информационные технологии механики и оптики»,  
аспирант кафедры электротехники и прецизионных электромеханических систем,  
адрес: 197101, г. Санкт-Петербург, пр. Кронверкский, д. 49,  
e-mail: Subb-Dm@yandex.ru

Постоянное смещение вводится через апериодическое звено с малой постоянной времени (рис. 2). Это звено влияет на процесс в задающем устройстве только при пуске, устраняя скачок задания (рис. 6).

Сформированное описанным образом задающее воздействие имеет точное значение скорости и положения развертывающего (сканирующего) элемента на рабочем участке.

Проблемы реализации такого задающего устройства не возникают благодаря возможностям системы Simulink.

#### Список литературы

1. Самарин Ю.Н. Научные основы и методы проектирования выводных устройств допечатных систем / Московский государственный университет печати. – М.: МГУП, 2004. – 514 с.
2. <http://theoryandpractice.ru/posts/1754-napechatat-gorod-kak-3d-tehnologii-privodut-k-kulturnoy-revolyutsii>, 21.04.12.
3. <http://www.nanonewsnet.ru/articles/2011/pervoe-meropriyatie-po-3d-pechati-v-niderlandakh>, 21.04.12.
4. Дьяконов В.П. Simulink 5/6/7. – М.: ДМК-Пресс, 2008. – 784 с.

#### References

1. Samarin, Yu.N. *Nauchnye osnovy i metody proekirovaniya vyvodnykh ustroystv dopечатnykh sistem* [Scientific bases and methods for designing prepress output devices systems]. Moscow, MGUP, 2004. 514 p.
2. Available at: <http://theoryandpractice.ru/posts/1754-napechatat-gorod-kak-3d-tehnologii-privodut-k-kulturnoy-revolyutsii>, 21.04.12.
3. Available at: <http://www.nanonewsnet.ru/articles/2011/pervoe-meropriyatie-po-3d-pechati-v-niderlandakh>, 21.04.12.
4. D'yakonov, V.P. *Simulink 5/6/7*. Moscow, DMK-Press, 2008. 784 p.