

УДК 621.3

## РАНЖИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ УПРАВЛЕНИЯ РАЗЛИЧНЫМИ ДИНАМИЧЕСКИМИ СОСТОЯНИЯМИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО РЕАКТИВНОГО ШАГОВОГО ДВИГАТЕЛЯ

Мансури Валид Ахмад<sup>1</sup>, Хобаллах Мустафа Мохамад<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Ливанский университет, Ливан, Триполи,

<sup>2</sup> Американский университет культуры и образования (AUCE) Ливан, Бейрут

**Аннотация:** в процессе реализации автосинхронного управления электромагнитными шаговыми двигателями, важно оценить влияние различных параметров управления на основные координаты функционирования электромагнитного шагового двигателя в режиме разгона / установившееся движение, и влияния различных видов коммутации на режим торможения.

**Ключевые слова:** электромагнитный, шаговый электродвигатель, коммутации, управление, торможение, форсировка, ток, напряжение.

При реализации автосинхронного управления электромагнитными шаговыми двигателями (ЭМШД) [1,3,4] эффективно использовать силовые коммутаторы с форсировкой тока в фазах ЭМШД от источника повышенного напряжения [1,2]. При этом можно выделить следующие основные параметры управления [4, 6]:

- тип коммутации  $k$ ;
- начальный зазор коммутации  $\alpha$ ;
- величина рабочего напряжения  $U_p$ ;
- величина форсировочного напряжения  $U_f$ ;
- длительность форсировки  $T_f$ ;

В результате количественного анализа можно проранжировать влияние перечисленных параметров управления на основные координаты функционирования ЭМШД в режиме разгон/установившееся движение (см. табл. 1).

Таблица 1

Ранжирование влияние параметров управления на координаты функционирования ЭМШД

Управ. воз. Коор- динаты	$K$	$\alpha$ , м	$T_f$ , о.е	$U_p$ , в	$U_f$ , в
$V_y$ , м/с	I	II	IV	III	V
$T_p$ , с	I	II	IV	V	III
$N_p$ , шаг	I	II	V	IV	III
$A_p$ , м/с	I	II	V	IV	III
$W_p$ , Дж	I	II	V	IV	III

© Мансури Валид, Хобаллах Мустафа, 2017

Необходимо отметить, что регулирование  $U_p$  и  $U_f$  отличается значительной трудоемкостью, в то время как  $k$ ,  $\alpha$  и  $T_f$  имеют большую доступность в управлении и их регулирование достаточно легко осуществляется программными средствами [5]. Используя подходы функционально - стоимостного анализа для регулирования функционированием ЭМШД в режиме разгон/установившееся движение предлагается использовать  $k$ ,  $\alpha$  и  $T_f$ , причем с помощью  $k$  и  $\alpha$  можно осуществлять грубую настройку, а с помощью  $T_f$  - точную, что обусловлено более слабым влиянием  $T_f$  на координаты функционирования ЭМШД (см. табл.1).

Более сложным является управление динамическим состоянием "торможение" при функционировании ЭМШД. Как отмечается в литературе [4,6] для этих целей в ЭМШД эффективно использовать противовключение, когда коммутируемая фаза создает усилие, противоположное направлению движения подвижного элемента ЭМШД. Условием останова подвижного элемента ЭМШД в заданной точке траектории движения является точное определение участка (количества шагов) торможения.

Наиболее простым является предположение [7], что для осуществления торможения подвижного элемента ЭМШД достаточно применить управление, противоположное разгону. В силу указанного допущения величину предполагаемого участка торможения можно определить следующим образом:

$$X_T = X_3 - \sum_{i=1}^n X_i \{ \Delta t g = 0 \} \quad (1)$$

где  $X_T$  – участок торможения;

$X_3$  – заданный участок перемещения;

$\sum_{i=1}^n X_i \{\Delta t g = 0\}$  – суммарное количество пройденных шагов, у которых не изменялось время перемещения ( $\Delta t g$ ), т.е. участок установившегося движения.

Подобный метод формирования участка торможения позволил бы сформировать трапецеидальную или треугольную траекторию перемещения подвижного элемента ЭМШД.

Однако необходимо принять во внимание различное влияние некоторых параметров ЭМШД на его функционирование в различных режимах. Так, сила сопротивления ( $F_c$ ) будет источником дополнительного тормозного усилия, что может привести к возникновению участка дотягивания. В то же время, инерционные свойства ( $m$ ) подвижного элемента ЭМШД и отрицательная нагрузка ( $-F_n$ ) могут привести к перегулированию. Поэтому необходимо иметь возможность регулирования предполагаемого участка торможения. Для этой цели предлагается ввести параметр соотношения режимов разгона/торможения ( $Z_{сррт}$ ), который можно определить из выражения:

$$\Delta Z_c = Z_{сррт} - \Delta t g \quad (2)$$

где  $\Delta Z_c$  - оценка изменения динамики разгона ЭМШД на пройденном шаге.

$$\begin{cases} N_p = N_p, & \text{если } \Delta Z_c \geq 0 \\ N_p = N_p + 1, & \text{если } \Delta Z_c < 0 \end{cases} \quad (3)$$

Разработаны алгоритм и программа определения величины предполагаемого участка торможения с учетом различных значений параметров  $Z_{сррт}$ .

Анализ результатов работы программы, показывает, что изменение  $Z_{сррт}$  позволяет регулировать величину участка торможения. Очевидно, существует такое значение  $Z_{сррт}$ , которое обеспечило бы останов подвижного элемента ЭМШД в заданной точке без перегулирования или дотягивания.

Важно также оценить влияние различных типов коммутаций на режим торможения ЭМШД. В общем случае, для многофазных ЭМШД (более 3 фаз) можно выделить следующие возможные тормозные типы коммутаций:

1) одиночные типы тормозных коммутаций:

– возбуждается обмотка управления, ферромагнитный элемент которой находится в положении магнитного равновесия (тип коммутации А, “стоп”);

– возбуждается обмотка управления, торец ферромагнитного элемента которой находится на расстоянии от полюсного наконечника, равном величине базового дискрета перемещения, а электромагнитное тяговое усилие при включении обеспечивает противоположное совершаемому движению направление воздействия (тип коммутации В, “противовключение с малого зазора”);

– возбуждается обмотка управления, торец ферромагнитного элемента которой находится на расстоянии от полюсного наконечника, равном величине двух базовых дискретов перемещения, а электромагнитное тяговое усилие при включении обеспечивает противоположное совершаемому движению направление воздействия (тип коммутации С, “противовключение с большого зазора”);

2) групповые типы тормозных коммутаций:

– возбуждаются совместно обмотки управления, алгоритмы коммутации которых соответствуют типам А и В (парная коммутация тип D, “стоп + противовключение с малого зазора”);

– возбуждаются совместно обмотки управления, алгоритмы коммутации которых соответствуют типам А и С (парная коммутация тип E, “стоп + противовключение с большого зазора”);

– одновременно возбуждаются три обмотки управления, алгоритмы коммутации которых соответствуют типам А, В и С (тройная коммутация тип F, “стоп + противовключение с большого и малого зазора”).

С использованием подходов имитационного моделирования [8] произведено ранжирование влияния различных видов коммутации на режим торможения ЭМШД (см. таблицу 2). Ухудшение параметров в таблице 2 направлено от I к IV.

Таким образом, для практической реализации торможения подвижного элемента ЭМШД воздействием на него сил электромагнитного поля следует использовать алгоритм возбуждения обмоток управления типа D как наиболее эффективный с точки зрения достижимого минимума величины участка торможения. С целью обеспечения возможности регулирования координат ЭМШД на участке торможения целесообразно ввести коэффициент тормозного усилия ( $K_t$ ). величина которого изменяется в пределах от нуля до единицы. При этом значение коэффициента тормозного усилия равно нулю соответствует тормозному алгоритму возбуждения обмоток управления типа А, а  $K_t=1$ , если тормо-

жение реализуется тормозным алгоритмом типа D.

Введение коэффициента тормозного усилия позволяет регулировать величину участка торможения внутри диапазона, ограниченного возможностями тормозных коммутации типа А и D, т.к. под значением  $K_t = 0.3$  понимается, что на десять тормозных коммутаций обмоток управления ЭМШД приходится три коммутации типом D и семь типом А.

Таким образом, для управления функционированием ЭМШД в режиме торможения предлагается использовать следующие управляющие воздействия:

- начальная скорость торможения  $V_{нт}$ ;
- инерционность подвижного элемента ЭМШД  $m$ ;
- величина динамической нагрузки  $F_n$ ;
- коэффициент тормозного усилия  $K_t$ .

Таблица 2.

Ранжирование влияния видов коммутации на режим торможения ЭМШД

Ранг	Тип	Характеристика	Качественная оценка
I	D	Парная стоп + противовключение с малого зазора	Эффектное
II	F	Тройная (стоп + противовключение с большого + малого зазора)	Энергоемкое эффективное
III	A	Одиночная (стоп)	Устойчивое
IV	B	Одиночная (противовключение малого зазора)	Неэффектное
V	E	Парная (противовключение с малого + большого зазора)	Слабое
VI	C	Одиночная (противовключение большого зазора)	Неустойчивое

#### Список использованной литературы

1. Сабинин, Ю. А., Кулешов, В. И., Шмырева, Н. М. Автономные дискретные электропри-

вода с силовыми шаговыми двигателями. [Текст] – Л.: Энергия, 1980. – 160 с.

2. Чиликина, М. Г., Дискретный электропривод с шаговыми двигателями [Текст] / Под ред. М. Г. Чиликина – М.: Энергия, 1971. – 624 с.

3. Афонин, А. А., Билозор, Р. Р., Гребенников, В. В. и др. Электромагнитный привод робототехнических систем [Текст] / А. А. Афонин, Р. Р. Билозор, В. В. Гребенников //– К.: Наукова думка 1986.– 267 с.

4. Афонин, А. А., Бондаренко, В. И., Писанко, В. В. и др. Линейный электромагнитный двигатель в режиме автокоммутации [Текст] / А. А. Афонин, В. И. Бондаренко, В. В. Писанко // Техническая электродинамика – 1987. – №2.– С. 65–71.

5. Бондаренко, В. И., Панин, В. В., Писанко, В. В. Особенности динамики электропривода автоматического устройства для маркирования проб металла [Текст] / В. И. Бондаренко, В. В. Панин, В. В. Писанко // Динамические режимы работы электрических машин и электроприводов.– Днепродзержинск, 1985.– Ч. 1.– С. 77–78.

6. Кацалап, С. М., Писанко, В. В., Бондаренко, В. И. Автосинхронное управление линейным электромагнитным двигателем дискретного движения [Текст] / В. И. Бондаренко, В. В. Писанко, С. М. Кацалап // Электромеханические преобразователи энергии.– К.: Наукова думка, 1986.– С. 80–83.

7. А. С. 1580581 СССР, МКИ H02P8/00. Способ управления разгоном многофазного шагового двигателя [Текст] / В. И. Бондаренко, В. В. Писанко и др. СССР. – Опубл. 23.07.90. Бюл. N27// Открытия, Изобретения. – 1990. – С. 89.

8. Писанко, В. В., Кулинич, Э. М., Мансури Валид, Хобаллах Мустафа. Имитационное моделирование динамических состояний электромагнитного реактивного линейного шагового двигателя [Текст] / В. В. Писанко, Э. М. Кулинич, Мансури Валид, Хобаллах Мустафа // International scientific-technical conference on unconventional electromechanical and electrotechnical systems.– schetsen: 1996. – p. 255–260.

#### References

1. Sabinin, Y. A., Kuleshov, V. I., Shmyreva, N. M. (1980), Autonomic discrete electric drives with power stepping motors [Avtonomnye diskretnye ehlektroprivoda s silovymi shagovymi dvigatelyami], Energia, L. 160 p.

2. Chilikina, M. G. (1971) Discrete electric drive with stepper motors [Diskretnyj ehlektro-

privod s shagovymi dvigatelyami]Energia, Moscow, 624 p.

3. Afonin, A. A., Bilozor, R. R., Grebennkov, V. V. (1986) Electromagnetic drive of robotic systems. [Ehlektronnitnyj privod robototekhnicheskikh sistem] Naukova dumka, K. 267 p.

4. Afonin, A. A., Bondarenko, V. I., Pisanko, V. V., etc. (1987), Linear electromagnetic motor in the auto-commutation mode [Linejnyj ehlektronnitnyj dvigatel' v rezhime avtokommutacii] Technical electrodynamics N2. pp. 65–71.

5. Bondarenko, V. I., Panin, V. V., Pisanko, V. V. (1985) Features of the dynamics of the electric drive of an automatic device for marking metal samples // Dynamic modes of operation of electric machines and electric drives [Osobennosti dinamiki ehlektroprivoda avtomaticheskogo ustrojstva dlya marki-rovaniya prob metalla] Dneprodzerzhinsk, Part 1. pp. 77–78.

6. Katsalap, S. M., Pisanko, V. V., Bondarenko, V. I. (1986) Auto synchronous control of a linear

electromagnetic motor of discrete motion [Avtosinhronnoe upravlenie linejnym ehlektronnitnym dvigatelem diskretnogo dvizheniya] Electromechanical energy converters, Naukova dumka, K. pp. 80–83.

7. A.S. 1580581 USSR, MKI H02P8 / 00. (1990) Method controlling the acceleration of a multiphase stepper motor. [Sposob upravleniya razgonom mnogofaznogo shagovogo dvigatelya] Bondarenko V. I., Pisanko V. V. and other USSR. – publication 23.07.90. Bul. N27 // Openings, Inventions. P. 89.

8. Pisanko, V. V., Kulinich, E. M., Mansouri Walid, Hoballah Mustafa. (1996), Simulation modeling of the dynamic states of the electromagnetic reactive linear stepping motor [Imitacionnoe modelirovanie dinamicheskikh sostoyanij ehlektronnitnogo reaktivnogo linejnogo shagovogo dvigatelya] // International scientific-technical conference on unconventional electromechanical and electrotechnical systems.- schetsen: 1996. pp. 255–260.

## RANKING OF THE CONTROL PARAMETERS OF VARIOUS DYNAMIC STATES ELECTROMAGNETIC REACTIVE STEPPER MOTOR

Mansouri Walid Ahmad<sup>1</sup>, Hoballah Mustafa Mohamad<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Lebanese University Lebanon – Tripoli,

<sup>2</sup> American University of culture & education (AUCE) Lebanon, Beirut

**Abstract:** In the process of implementing auto-synchronous control of electromagnetic stepper motors, it is important to analyze the effect of different control parameters on the basic coordinates of functioning of the electromagnetic stepper motor on the acceleration / steady motion mode and the effect of various types of commutations in the braking mode. In this paper, for those purposes, a quantitative analysis of the basic control parameters, such as type of commutation, Initial commutation gap, the value of the operating voltage, the value of the boosted voltage and the duration of boosting. As a result of quantitative analysis, it is possible to rank the influence of the basic control parameter on the coordinate of electromagnetic stepper motors operated in acceleration / steady motion mode. And using the imitative modeling approaches performed the ranking of the influence of various types of commutation on the braking mode of electromagnetic stepping motors.

**Key words:** electromagnet, stepper motor, commutation, control, braking mode, boosting current, voltage.

## РАНЖУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ УПРАВЛІННЯ РІЗНИМИ ДИНАМІЧНИМИ СТАНАМИ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО РЕАКТИВНОГО КРОКОВОГО ДВИГУНА

Мансурі Валід Ахмад<sup>1</sup>, Хобаллах Мустафа Мохамад<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Ліванський університет, Ліван, Тріполі,

<sup>2</sup> Американський університет культури та освіти (AUCE) Ліван, Бейрут

**Анотація:** в процесі реалізації автосінхронного управління електромагнітними кроковими двигунами, важливо оцінити вплив різних параметрів управління на основні координати функціонування електромагнітного крокового двигуна в режимі розгін / усталений рух і впливу різних видів комутації на режим гальмування.

**Ключові слова:** електромагнітні, кроковий електродвигун, комутації, управління, гальмування, форсировка, ток, напруги.

Получено 19.04.2017



**Валид Ахмед Мансури**, кандидат технических наук Ливанского университета, Ливан, Триполи.

Тел.: +9613392056

Email: [wmanso@mail.ru](mailto:wmanso@mail.ru)

**Walid Ahmad Mansouri**, Ph.D

Lebanese University

Lebanon – Tripoli

Tel: +9613392056

Email: [wmanso@mail.ru](mailto:wmanso@mail.ru)

PO Box: 113-6433 Beirut - Lebanon

**ORCID:** 0000-0001-6808-7171



**Мустафа Хобаллах**, кандидат технических наук Американского университета культуры и образования (AUCE), Ливан, Бейрут.

Тел.: +9617370059

Email: [mustapha.hoballah@auce.edu.lb](mailto:mustapha.hoballah@auce.edu.lb)

**Mustapha Hoballah**, Ph.D

American University of culture & education (AUCE)

Lebanon, Beirut

Tel: +9617370059

Email: [mustapha.hoballah@auce.edu.lb](mailto:mustapha.hoballah@auce.edu.lb)

**ORCID:** 0000-0002-4120-1306