



Рисунок 10 – Изменение реакции R06 в опоре для базового механизма с частотой вращения главного вала  $n = 5000$  об/мин

Из графиков, изображенных на рисунках 2-10 видно, что реакции в кинематических парах R41, R46, R06 при резании достигают значений порядка 14,78Н; 15,62Н; 0,87Н соответственно. В базовом варианте работы машины с частотой вращения главного вала  $n = 420$  об/мин реакции в кинематических парах R41, R46, R06 достигают значений 2,3Н; 1,43Н; 0,21Н соответственно. Значение реакций R41, R46, R06, возникающих в кинематических парах механизма при его работе с частотой вращения главного вала  $n = 5000$  об/мин без учета силы резания составляют 325,98Н; 203,25Н; 28,48Н. Проведенные исследования показывают возможность безопасного использования механизма иглы швейного полуавтомата для привода пробойника.

#### Список использованных источников

1. Максимов, С.А. Оптимизация режимов обработки пластин ПВХ по критериям точности и производительности / С. А. Максимов, Б. С. Сункуев, А. А. Беляев, Ю. В. Петухов // ВІСНИК Київського національного університету технологій та дизайну, серія «Технічні науки» № 2 (96), 2016, с. 77 – 88.
2. Максимов, С.А. Определение сил резания при обработке окон технологической оснастки из листов ПВХ пробойником на швейном полуавтомате с ЧПУ/ С. А. Максимов, Ю.В. Петухов, А. В. Радкевич, И. В. Шинкевич // Вестник Хмельницкого национального университета / «ХНУ». – Хмельницкий, 2016. – С. 191 – 195.

УДК 687.053.68-52

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ КОММУТАЦИИ ОБМОТОК ШАГОВЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ НА ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

*Новиков Ю.В., к.т.н., доц., Апетенко А.И., студ.*

*Витебский государственный технологический университет,  
г. Витебск, Республика Беларусь*

**Ключевые слова:** управление, электродвигатель, коммутация.

**Реферат.** *Поставлена задача оптимального вида коммутации обмоток. Управление шаговым электродвигателем предусматривает дискретное программное регулирование в широких пределах частоты и напряжения импульсов, подаваемых на обмотки шагового электродвигателя. Частота приемистости для основных типов ШЭД не превышает единиц КГц, при плавном разгоне можно добиться частоты подачи управляющих импульсов до 20 КГц. Скорость ротора ШЭД при движении с постоянной скоростью можно повысить. Построение циклов переключения обмоток рассматривается графически. Вдоль осей обмоток откладывается вектор напряженности электрического поля, возбуждаемого соответствующей обмоткой (напряженность пропорциональна напряжению, подаваемому на обмотку). Суммарная напряженность поля определяется как геометрическая сумма векторов. Закон, применяемый для движения механизмов швейных полуавтоматов это старт-*

стопный, при котором угловое ускорение ротора постоянно при разгоне или торможении. Для выбора оптимального вида коммутации обмоток шаговых электродвигателей было проведено экспериментальное исследование на макете разработанной системы управления ШЭД ДШИ-200-1.

Способом коммутации можно в широких пределах изменять величину шага, энергетические характеристики и динамические свойства ШЭД [4]. Существует зависимость между видом коммутации обмоток и динамическими свойствами шагового двигателя [1,2,3]. Если способ коммутации задается коммутатором, то коммутация не поддается изменениям. В качестве объекта исследования выбран двигатель ДШИ-200-1, входящий в состав разработанного макета. Этот двигатель является 4-х фазным, его обмотки А, В, С, Д не могут находиться одновременно во включенном состоянии. Это предусмотрено при проектировании системы управления и необходимо для исключения встречного действия фазных полей. Управление напряжением на обмотках является потенциальным, так как напряжения изменяются только в момент поступления управляющих импульсов. При дроблении основного шага на произвольное число шагов получим обобщенные схемы переключения. По временным диаграммам можно сделать вывод, что нарастание фазного напряжения может осуществляться по различным законам  $U=U_m \sin(\varphi)$  и  $U=U_m t g(\varphi)$ . При первой схеме переключения двигатель работает приблизительно, как синхронный, крутящий момент на валу остается практически постоянным. При второй схеме подключения в некоторых положениях напряженность электрического поля возрастает, что должно увеличить крутящий момент на валу. Для управления шаговым двигателем по одной координате через порт вывода зарезервирована область памяти (для управления фазным напряжением обмоток А и С и для управления фазами В и Д). По этим исходным данным были найдены аналитические выражения функций для расчета управляющих сигналов. При нарастании напряжения по закону  $U=U_m \sin(\varphi)$  функция для расчета управляющего сигнала для обмоток А и С:

$$f_1 = \begin{cases} \sin\left(\varphi - \frac{3\pi}{2}\right) \cdot 63 + 128, & 0 < \varphi \leq \frac{\pi}{2} \\ \sin\left(\varphi - \frac{\pi}{2}\right) \cdot 63 + 64, & \frac{\pi}{2} < \varphi \leq \frac{3\pi}{2} \\ \sin\left(\varphi - \frac{3\pi}{2}\right) \cdot 63 + 128, & \frac{3\pi}{2} < \varphi \leq 2\pi \end{cases} \quad (1)$$

для обмоток В и Д:

$$f_2 = \begin{cases} \sin(\varphi) \cdot 63 + 128, & 0 < \varphi \leq \pi \\ \sin(\varphi - \pi) \cdot 63 + 64, & \pi < \varphi \leq 2\pi \end{cases} \quad (2)$$

Определены аналитические зависимости для дробления основного шага на произвольное число. Максимальное дробление ограничено, с увеличением дробления возрастает статическая погрешность отработки единичного шага из-за округления функций  $f_1$  и  $f_2$ .

Для управления шаговым двигателем по заданному закону движения  $\omega = \omega(t)$  необходимо рассчитать временную последовательность подачи управляющих импульсов. Последовательность определяется временем между подачей следующих друг за другом импульсов, временем задержки  $\Delta t_i$ , где  $i=1 \dots N$  – номер импульса, каждый из которых соответствует повороту ротора на один угловой шаг  $\Delta\varphi$ .

Методика расчета последовательности подачи управляющих импульсов для линейного и экспоненциального закона движения ротора с постоянным угловым ускорением [3]:

$$\Delta t_m = t_{m+1} - t_m = \left( \sqrt{g^2 - 2m\beta} - \sqrt{g^2 - 2(m-1)\beta} \right) \beta, \quad (3)$$

где  $m$  – номер импульса;  $\beta$  – угловое ускорение ротора, шаг  $c^{-1}$ ;  $g$  – начальное значение частоты, Гц. Эта методика не учитывает дробления основного шага, не применима для случая  $g = 0$ . На практике целесообразнее использовать угловое ускорение.

При разгоне ротора до скорости  $\omega_{\max}$  поворот составит угол

$$\varphi_P = \frac{\omega_{\max}^2}{2\varepsilon}, \quad (4)$$

где  $\varepsilon$  - угловое ускорение при разгоне.

Число импульсов, подаваемых на обмотки за время разгона

$$N = \frac{\varphi_P n}{2\varepsilon}, \quad (5)$$

где  $n$  – дробление основного шага,  $\Delta\alpha$  - угловая дискрета двигателя

$$\Delta\alpha = \frac{2\pi}{Z_p m \cdot n}, \quad (6)$$

где  $Z_p$  - число зубцов ротора,  $m$  – число обмоток управления.

Угол поворота ротора от начала движения до отработки  $i$ - го шага

$$\varphi_i = \frac{i \cdot \Delta\alpha}{n}. \quad (7)$$

Время от начала движения до отработки отработки  $i$ - го шага

$$t_i = \sqrt{\frac{2\varphi_i}{\varepsilon}} = \sqrt{\frac{2i\Delta\alpha}{n \cdot \varepsilon}}. \quad (8)$$

Время от начала движения до отработки

$$\Delta t_i = t_{i+1} - t_i = \sqrt{\frac{2(i+1)\Delta\alpha}{n \cdot \varepsilon}} - \sqrt{\frac{2i\Delta\alpha}{n \cdot \varepsilon}} = \sqrt{\frac{2\Delta\alpha}{n \cdot \varepsilon}} (\sqrt{i+1} - \sqrt{i}), \quad (9)$$

$i=0; \dots; N-1$ .

Число управляющих импульсов при разгоне можно определить по (5) с учетом (4)

$$N = \frac{\omega_{\max}^2 n}{2\varepsilon\Delta\alpha}. \quad (10)$$

Частным случаем старт-стопного закона движения является разгон за один импульс. Тогда расчет времени осуществляется по другим зависимостям.

По результатам экспериментальных исследований предельных скоростных режимов, сделан вывод о том, что динамические характеристики привода шаговым электродвигателем ДШИ-200-1 в значительной степени зависят от параметров коммутации их обмоток, и должны определяться индивидуально для каждого отдельно взятого случая.

#### Список использованных источников

1. Орловский, Б. В. Основы автоматизации швейного производства / Орловский Б. В. / - Москва : Легпромбытиздат, 1988. - 248 с.
2. Исмаилов, Ш. Ю. Автоматические системы и приборы с шаговыми двигателями / Исмаилов Ш. Ю. / - Москва : Энергия, 1968. - 136 с.
3. Кенио Т Шаговые двигатели и их микропроцессорные системы управления: пер с англ. / Кенио Т / - Москва : Энергоатомиздат, 1987. - 200 с.
4. Дискретный электрпривод с шаговыми двигателями / Под. Ред. Чиликин М.Г. / - Москва : Энергия, 1971. - 624 с.